

10.
SIMPOZIJ

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

ZAGREB, 23. i 24. STUDENOGA 2021.



Zvonko Benčić
(1940.–2021.)

Urednici: FRANJO JOVIĆ, ZVONKO BENČIĆ

KIKLOS

ISSN 2939-0710



9 772939 071000



POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE
10. simpozij PIFT 2021.

Urednici:

Franjo Jović

Zvonko Benčić

Recenzenti:

prof. dr. sc. Franjo Jović

dr. sc. Branko Hanžek

Likovna i tehnička oprema:

Luka Gusić

Nakladnik:

KIKLOS-krug knjige d.o.o.

Tisak:

DENONA d.o.o.

ISSN 2939-0710

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

10. simpozij PIFT 2021

Franjo Jović

Zvonko Benčić

urednici

Zagreb, 2022.

Organizator

Hrvatski ogranak Međunarodnog vijeća za velike elektroenergetske sustave – HRO
CIGRE

Pokrovitelji

Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu
Hrvatska sekcija IEEE
Interesna skupina doživotnih članova Hrvatske sekcije IEEE
Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske

Programski odbor

prof. dr. sc. Vanja Ambrožič
doc. dr. sc. Ivan Bahun
prof. dr. sc. Zvonko Benčić
prof. dr. sc. Gordan Gledec (pred.)
akad. prof. dr. sc. Leo Budin
prof. dr. sc. Franjo Jović
dr. sc. Iva Kurelac
prof. dr. sc. Nedjeljko Perić
dr. sc. Goran Slipac
dr. sc. Ivica Toljan
prof. dr. sc. Alfredo Višković
doc. dr. sc. Mladen Zeljko

Organizacijski odbor:

prof. dr. sc. Zvonko Benčić
Davorin Brkić, mag. ing.
dr. sc. Božidar Filipović-Grčić
dr. sc. Branko Hanžek
mr. sc. Ernst Mihalek
prof. dr. sc. Dubravko Rogle
prof. dr. sc. Viktor Šunde
mr. sc. Želimir Volf

Sadržaj

Priroda, tehnika i društvo

13

Gojko Nikolić

Promjene značenja riječi robot u proteklih 100 godina

39

Dragan Poljak

O pohranjenoj energiji u elektromagnetskom polju antene i odgovarajuća ograničenja u prijenosu informacija

47

Franjo Jović, Borislav Balač

Entropijski modeli sigurnosti

67

Ivan Flegar

Energija kao kvazimaterijalna veličina

87

Branko Kovač

Dinamičko gravitacijsko polje i priroda inercije

Znanost i nastava

119

Zoran Bobić Šonc

Solverum problema konstrukcije Steinerovog moniloida, ogrlice, šestarom i ravnalom

139

Darko Fischer

Rješenja Apolonijevih problema računalom

159

Branko Kovač

Primjena teorije mreža u mehanici fluida i termodinamici

189

Zdenko Balaž, Marijan Marino Ninčević, Marijan Milinović
Metode i alati kognitivne kibernetike za edukaciju tehnike

Znanost i proizvodnja

229

Gordan Topić

Opruga – od zanatske radionice do tvornice (1962. – 1992.)

253

Igor Čatić

Postaje li struka grobarom hrvatskog jezika?

271

Boris Jagačić

Uloga pojedinca u razvoju industrije: Filip Jagačić i *Tekstilstroj*

295

Mirko Gojić

Metalurška proizvodnja u nekadašnjoj Željezari Sisak

Tehnički sustavi

331

Želimir Volf

Podatkovne mreže hrvatskih telekomunikacija od 1970. do 2000.

Životopisne bilješke o znanstvenicima

357

Darko Fischer

Branimir Makanec, istaknuti računalni stručnjak

367

Marijan Kalea

Akademik Božo Udovičić, kakvoga manje poznajemo

373

Marijana Borić

O Hermanu Dalmatinu i njegovu pristupu istraživanju prirode

423

Lahorija Bistričić

Profesor Petar Kulišić – život i djelo

435

Radoslav Galić, Miroslav Matasović, Marijan Kalea

O radu akademika Bože Udovičića

4E – energetika-ekonomija-ekologija-edukacija

461

Ivan Šimatović

Dvofazni mikrovalovi s rotirajućim i torzijsko titrajućim vektorima polja

477

Ivan Šimatović

Diferencijalne jednačbe elektrodinamike i njihova modifikacija za hiperdinamička polja

497

Ivica Vuković, Anđela Valent

75-ta obljetnica Uvoda u višu analizu Željka Markovića

Stručna i znanstvena društva

519

Miroslav Matasović

Časopis QM – kaducej kvalitete i aktivnosti HGK na području kvalitete

Očuvanje hrvatske tehničke baštine

577

Dubravko Rogale, Martin Rigale
Restauracija špijunske radiostanice BP-5 iz II svjetskog rata

615

Miroslav Křepela
Tramvaj od konjske do električne vuče ili kako je elektricitet ubrzao život

663

Zvonko Benčić, Željko Jakopović, Viktor Šunde
Nastava učinske elektronike na Tehničkom fakultetu, Elektrotehničkom fakultetu i
Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu

679

Karla Draženović, Ante Perić, Zvonko Benčić, Viktor Šunde
Učinska elektronika u elektroenergetskom sustavu – prošlost, sadašnjost, budućnostu

Tesla i Hrvati

705

Mario Essert, Tihomir Žilić i Darko Žubrinić
Tesline dvije autobiografije

715

Darko Žubrinić
Nikola Tesla i njegov asistent Charles F. Scott

Priroda, tehnika i društvo

Gojko Nikolić

Promjene značenja pojma robot u proteklih 100 godina

Sažetak: Pojam robota od početka nastanka te riječi mijenjao se kako su se mijenjale i tehničke mogućnosti realizacije strojeva koji mogu obavljati određene zadatke do tada namijenjene ljudima. Od nastanka riječi robot praćeno je značenje tog pojma od prvog uređaja s tim imenom do današnjih nanorobota usmjerenih i prema biološkim rješenjima. Mijenjale su se i prilagođavale definicije robota sukladno tehničkim rješenjima. Pojam robot nije ostao samo u području tehnike već je postao pojam koji se primjenjuje za pojedina društvena ponašanja ljudi.

Ključne riječi: definicija robota, povijest robota, roboetika, nanoroboti, primjena robota

Uvod

Ne ulazeći u mnoga rješenja čovjekolikih pokretnih figura koje su se izrađivale više od 1000 godina, a često navodile kao preteče robota, namjera članka je opisati i rasvijetliti samo događanja od prvog uređaja nazivanog robotom i stalne transformacije pojma robot.

Sigurno je da je svaki robot stroj, ali svaki stroj nije robot! Njega od strojeva, bili oni automatizirani ili ne, dijele tri ključna elementa: senzori koji daju informaciji o promjenama u okolini stroja (bez obzira na što se one odnose), računalo koje procesuirala dobivene informacije i donosi odluke, te izvršni elementi (aktuatori) koji izvršavaju donesene odluke pri čemu mijenjaju sebe ili okolinu, neovisno kakve te promjene bile.

Robot je od nastanka tog imena i zamisli što on jeste, doživio velike transformacije ne samo tehničke, već i pojmovne. Promjene su nastale razvojem tehnike i

društva. Pri tome su neki pojedinci imale presudnu ulogu, ali često se zanemaruje njihov utjecaj ili netočno navodi. Valja istaknuti njihovu ulogu.

Poticaj za pisanje ovog članka je tekst „*AI neće uništiti ljude, roboti dolaze u miru*“, objavljen 13. veljače 2020. u ZG-magazinu. Naime ekipa časopisa *The Guardian* naručila je esej od umjetne inteligencije, moćnog jezičnog generatora Open AI GPT-3. Za ovaj esej GPT-3 je dobio upute od te ekipe. U umjetnu inteligenciju GPT-3 podatke je unio Liam Porr, student informatike na Sveučilištu Berkeley. Jedan od „biseri“ koji je unio „da je *robot* grčka riječ koja znači *roboti*, zapravo doslovno da znači *prisiljen raditi*“. Neovisno o neznanju tog studenta, robot je jedna od značajnih suvremenih riječi koja dolazi iz slavenskog jezika, a ne od latinskog, grčkog ili engleskog što je možda nekima neprihvatljivo ili nepojmljivo.

Namjera ovog rada je prezentiranje razvoja robota, koji je postao pojam. S vremenom je poprimao različita druga značenja, a ne samo tehnička.

1. Naziv robot

O nastanku riječi *robot* ima više navoda, makar su činjenice poznate. Češki pisac Karel Čapek napisao je 1920. znanstveno fantastičnu dramu *R.U.R. - Russumovi univerzalni roboti*, koja je premijerno izvedena na amaterskoj sceni Klicperovog divadla u Hradci Kralove 2. siječnja 1921, [1] a nakon toga u 25. siječnja 1921. u praškom Narodnom kazalištu, slika 1. Ta izvedba u Pragu obično se navodi kao praiizvedba te drame. Ove godine se navršava 100 godina plasiranja riječi robot. [2, 3]

Radnja drame se odvija u bliskoj budućnosti (po nekima krajem 20. stoljeća) na bezimenom otoku, izoliranom od ostatka svijeta.

Stari znanstvenik Rossum pokušavao je sintezom imitirati živu tvar, poznatu kao protoplazma. Nakon dugotrajnog eksperimentiranja otkrio je supstancu koja se ponašala kao živa tvar, iako je bila drugog kemijskog sastava. [1] Želio je stvoriti živa bića pa je prvo pokušao sa stvaranjem životinja. Njegov mlađi nećak inženjer Russum vidio je priliku da se obogati stvaranjem umjetnog čovjeka – robota koji bi besplatno radio u tvornici. Bio je izuzetno inteligentan i nastavio je s tim eksperimentima. Svog ujaka koji se protivio tomu zatvorio je u laboratorij u kojem je i umro. Inženjer Rossum započeo s masovnom proizvodnjom robota u tvrtki *Rossum Universal Robots*. Ti roboti, kako je rečeno, nisu metalni čovjekoliki strojevi koji rade pokretani motorima i baterijama, već humanoidne biološke jedinice slične čovjeku. „Izrađeni“ su od te umjetne „protoplazme“ koja se mogla „oblikovati“ poput drugih materijala. Od njih su se „izrađivali“ svi dijelovi tijela kao što su umjetni živci, tetive, kosti, mišići,



Karel Čapek, je sedam puta nominiran za Nobelovu nagradu za književnost,



Fotografija s predstave R.U.R.

srce, pluća, mozak i drugi organi. Izrađivali su se i muški i ženski modeli. Imali su mozak koji može brzo razmišljati poput računala i pohraniti velike količine podataka, ali su bili lišeni osjećaja. Mladi Russum je osmislio radnike koji imaju najmanji broj potreba. Pojednostavnio ih je, odbacivši sve što ne ide u korist rada. Time je zapravo odbacio čovjeka a napravio *robota*. [1] Potpuno su ravnodušni prema svojoj sudbini, čak i kada ih se rastavlja na dijelove. Ne osjećaju bol. Novi, umjetno stvoreni, radnici su idealni, nemaju osjećaje i ne plaća ih se, nemaju nikakve zahtjeve. Prodaju se na tržištu jer mogu obavljati sve poslove. Jedan robot 'zamjenjuje dva i pol radnika'. Roboti se koriste osim kao radnici još i kao vojnici. Bili su u ratovima nemilosrdni. [1]

Sve se zakomplicira dolaskom mlade žene Helene Glory, koja je predsjednica „Prorobotske Lige čovječanstva“. Ona je ta koja je slučajno izazvala pobunu jer je potajno nagovorila glavnog fiziologa tvrtke Dr. Galla, da robotima dade emocije. Željela je da se roboti i ljudi mogu bolje razumjeti. Dobivši emocije roboti ispoljavaju bijes, mržnju i žudnju za moći i osvetom prema svojim stvarateljima, koje potpuno uništavaju. U proglasu navode čovjeka neprijateljem i odmetnikom, s naredbom da ih roboti sve ubijaju. Glavni robot Damon kaže: „Morati ubijati i gospodariti ako hoćete biti kao ljudi. Čitajte povijest. Čitajte knjige ljudi.“ [1]

Roboti su na kraju pobili sve ljude osim Alquista, građevinara, šefa izgradnje RUR-a i suočili se sa vlastitom propašću. Nagovještana je nada nastavka života s ovim umjetnim ljudima jer muški i ženski roboti počinju pokazivati nježne osjećaje jedni prema drugima, a implicira se da bi se mogli reproducirati prirodnim putem. [1]

R.U.R. je postala vrlo uspješna predstava. Nakon Praga u roku od dvije godine prikazana je u kazalištu St Martin's u Londonu i kazalištu Garrick u New Yorku. Isto tako prikazivala se u Poljskoj, Njemačkoj pa i Kraljevini SHS. Već 1938. postala je prvi povijesni televizijski program znanstvene fantastike kada je BBC emitirao skraćenu verziju. [1, 2]

Karel Čapek je ta umjetna bića, koja rade u industriji, nazvao *robotima*. Vlada uvjerenje da je taj izraz izmislio Karel Čapek, što nije istina. On je sam govorio o nastanku tog imena. Njegov brat Josef, književnik i slikar, koji je s Karelom često diskutirao o idejama i tekstovima budućih pripovijedaka i drama, na njegovo pitanje kako da nazove te umjetno stvorene radnike predložio je da ih nazove *robotima*. *Robot*, *robotnik* je češka riječ koja označava čovjeka koji radi težak, prisilni, mukotrpan posao. Treba naglasiti da je ta riječ bila prisutna u svim (staro)slavenskim jezicima među kojima je i južnoslavenski. Kod najpoznatijeg Vrančićevog petojezičnog rječnika¹ navodi se za latinski: *laborare* – dalmatinski (hrvatski): *rabiti*, *texati*. Još precizniji je sedmojezični rječnik benediktinca Petra Lodereckera², koji je na sadržaj Faustovog rječnika dodao još riječi češkog i poljskog jezika. U stupcu dalmatinskog jezika navedene su riječi: *rabota* (radnja) i *robotnik* (osoba koja radi). [4]

Interesantno je da je Karel imao druge prijedloge za te umjetno stvorene radnike među kojima i naziv *labori* (eng. labor - rad), ali je pristao na prijedlog svog brata.

Poticaj za pisanje te drame bila je spoznaja da se svijet znanosti i tehnike nakon Prvog svjetskog rata brzo razvija. Rat je ubilačkom učinkovitošću usmratio velik dio generacije, uništio cijela carstva, pokrenuo nove društvene promjene. Pretvorio Sjedinjene Američke Države od usnulog diva u novonastalu velesilu. Bilo je to i vrijeme Henryja Forda i njegovih visokoserijskih proizvodnih traka na kojima su izlazile tisuće jeftinijih automobila. Svijet je bio prepravljen novim tehničkim proizvodima poput telefona, bežične telegrafije, radija, prvih televizora, zrakoplova, plastičnih proizvoda i niza drugih [2]. Došlo je do procvata društva ali i opasnosti otuđivanja čovjeka. Sve se gleda kroz profit, čovjek je u drugom planu. To se pokazuje kroz lik mladog inženjera Russuma, Harrya Domina, glavnog direktora tvornice kao i biznismena Jacoba Bermana komercijalnog direktora, koji vide sav smisao poslovanja u smanjenju troškova proizvodnje te manjem utrošku vremena proizvodnje izradaka. Po njemu idealni radnik je onaj koji radi kao stroj, nema dušu, ne stvara probleme i radi ono što mu se naređi.

Karel Čapek upozorava buduća pokoljenja na dehumanizaciju procesa rada, na profit koji postaje nemilosrdni pokretač svega u društvu. U takvom otuđenom društvu

¹ U Vrančićevom Petojezičnom rječniku [5] strana 52

² U knjizi [6] strana 35

nema mjesta za ljudska bića. Njega je uhvatio strah kojeg je opisao u jednom pismu svojoj supruzi Olgi: „Pišući djelo, obuzeo me jeziv strah. Htio sam njime upozoriti na masovnu proizvodnju i nečovječne ideje. Odjednom me obuzela tjeskoba, da će jednom, možda uskoro, tako i biti, da neću ništa spasiti ovim upozorenjem, da će, kao što sam ja, autor, vodio sile ovih tupih mehanizama kamo god sam htio, netko jednom povesti glupog narodnog čovjeka protiv svijeta i Boga.“ [7]

Malo su poznate i njegove vizionarske riječi koje su se također odnosile na radnju njegove drame „Za samu činjenicu da roboti uspijevaju preuzeti vlast krivi su ljudi - neodgovorni genijalni pojedinci, te profilerski moral industrijalaca koji navješćuju doba ljudske otuđenosti“ [7]. To je poruka budućim pokoljenjima, koju mi možemo najbolje procijeniti danas kada su roboti dio našeg svijeta.

Postoje također navodi da je riječ *robot* prvi upotrijebio Karalov brat Joseph u svojoj kratkoj priči *Opilec (Pijanac)* objavljenoj 1917. To nije točno jer u toj pripovijetki autor koristi riječ *automat*, a ne riječ *robot* [8].

2. Prvi robot

Postoje rasprave o prvom robotu s takvim nazivom. Navodi se da je prvog robota izradio američki inženjer Roy J. Wensley iz tvrtke *Westinghouse Electric and Manufacturing Company* 1925. godine i dao mu ime gospodin Televox. Ime je kombinacija dviju riječi *tele* (grčki: τηλε *tēle-* daleko) i *vox* (latinski: glas). Izumitelj je imenom htio naglasiti da ga se može glasom aktivirati iz daljine. Izgledom je bio neprivlačan s četvrtastom glavom i pravokutnicima koji označavaju oči i usta, drvenim torzom, te jednostavnim plosnatim rukama i nogama, slika 2. [9].

Televox je mogao razumjeti naloge iskazane raznim zvižducima i obavljati određene radnje. Akustičnim sensorima razlikovao je vrstu zvižduka kao nalog za izvršavanje određenog zadatka. Mehanizam se sastojao od niza akustičnih uređaja s električnim relejima, od kojih je svaki bio osjetljiv na zvuk, odnosno na vibracije određene frekvencije. Određena frekvencija zvuka aktivirala bi kretanje mehanizma, poput npr. ruku za uključivanje prekidača električnih uređaja. Zvižduci su prvotno imali tri tona podešena na 600, 900 i 1400 Hz. Njegovi odgovori o izvršenju radnji bili su odgovarajuća zujanja, dulja, kraća ili isprekidana.

U javnim glasilima prikazivan je kao senzacija, brojnim natpisima poput onoga u *New York Timesu* s tekstom „MEHANIČKI ČOVJEK ČUJE LJUDSKI GLAS“. U opisu se navodi: „Tvrtka *Westinghouse Electric and Manufacturing Company* jučer je demonstrirala u zgradi *Westinghouse*, 150 Broadway, električni mehanizam koji, kada mu se obraća odgovarajućim tonom, odgovara zvučnim valovima unutar registra



Sl. 2.: Inženjer Roy J. Wensley sa svojim „mehaničkim čovjekom“ [9]



Machines That Think

Electrical "Men" Answer Phones, Do Household Chores, Operate Machinery and Solve Mathematical Problems

By HERBERT F. POWELL

AN ASTONISHED group of engineers in New York City the other day saw an electrical machine answer telephone calls with almost human accuracy. When the bell rang it lifted the receiver, replied to inquiries from the other end of the line, and executed instructions to perform certain complicated acts, such as switching on lights and starting an electric fan and a vacuum cleaner. The task resulted:

Yet if you should establish him at home in your apartment—what the inventor says is not at all speculative—he would serve you as a trustworthy and obedient servant. The mechanism consists primarily of a series of electrical relays, each sensitive to a sound of a certain pitch, and capable of transmitting that sound into specified mechanical actions, such as opening and closing the switches of electrical appliances. Each relay is actuated through a tuned electrical circuit responsive to

your phone rings. Televox like the events and wires a combination of human who tell you that you have the right couple. Now you sound a single high note for the first pipe, which means, "Hello, g'at for action." Televox gives hints and responds with a series of clicks, says "All right, what do you want?" Now you sound two short notes for the same pipe. These tell Televox, "connect you with the switch on the side table, even. The reply is two short tones saying, "You are now connected."

Sl. 3.: Članak u novinama *Popular Science Monthly* od siječnja 1928. [9]

ljudskog glasa, daje točne informacije i izvršava razne naloge. "Novinari su ga nazivali osim „mehaničkim čovjekom“ još i „strojem koji misli“, te „električnim čovjekom“, slika 3. Roy J. Wensley ga je 1927. nazvao „gospodin Herbert Televox“ [9, 10].

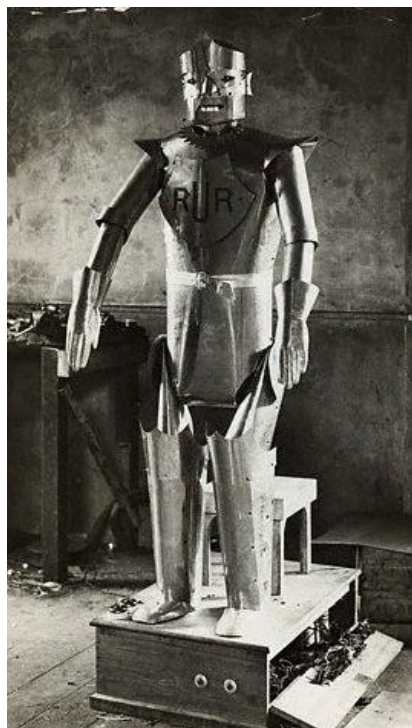
Nitko ga nije nazivao robotom, iako je izrađen nakon što je već postojao naziv *robot*. Zato uređaj Televox ne može preuzeti primat kao prvi robot koji nosi to ime.

Prvi robot tog naziva je Robot Eric, kojeg je 1928. izradio kapetan William H. Richards, veteran Prvog svjetskog rata, inženjer strojarstva zajedno s poznatim novinarom A.H. Reffelliem. Izrađen je u Gomshallu, u blizini Dorkinga u Engleskoj, slika 4., [11]. Poticaj za njegovu izradu bila je nemogućnost dolaska vojvode od Yorka na otvaranje godišnje izložbe *Društva inženjera* 15. rujna 1928. u Londonu. Kapetan Richards mislio je da bi bilo dobro napraviti „zamjenskog čovjeka“ koji bi otvorio izložbu, što je uspio ostvariti. Robot Eric je na vrijeme otvorio sastanak četverominutnim govorom. To je bila senzacija i Robot Eric je prikazan u mnogim gradovima Velike Britanija, (slika 5a) [11, 12].

Robot Eric je izrađen od aluminijskog lima. Imao je oblikovanu glavu, tijelo, ruke i noge, (slika 4). Mogao je sjediti, stajati, mahati rukama i okretati glavu. Mogao je govoriti i odgovarati na pitanja. Bio je visok 1,83 m (6 stopa) i težak 140 kilograma. U tijelu je bio postavljen električni motor koji je okretao valjak. Brojnim elektromagnetima, remenicama i oprugama, ostvarivao je kretanje ruku i glave, te podizanje tijela, odnosno ustajanje, slika 5.

Pri podizanju sa stolca Robot Eric bi se naklonio publici. Koristio je, kako kaže njegov tvorac, najnaprednije metode radio-tehnike prema licenci tvrtke Marconi. Interesantno je da na prsima ima slova RUR, što ukazuje na porijeklo inspiracije za tog robota, a možda i sličnost s robotima u toj drami, (slika 4). [11]

Poneseni početnim uspjehom autori su za Robota Erica predvidjeli mnogo namjena. Smatrali su da može zadovoljiti posao službenika za informacije na željezničkoj stanici, javljanje na telefon ili kazivanje točnog vremena. Najavljivao je da će do iduće godine moći i pjevati. [11]

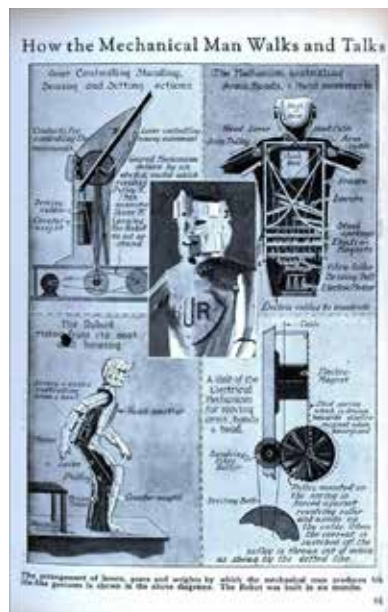


Sl. 4.: Robot Eric, a) U stojećem položaju, b) Prikaz glave

Interes za njegov način rada, tada vrhunac tehnike, bio je velik te su i novine prikazivale njegovu konstrukciju i tehničko rješenje, slika 5b. [11]



Sl. 5.: a) Nastup Robota Erica na skupu [11]



b) Prikaz konstrukcijskih rješenja pomicanja dijelova tijela Robota Erica [11]

Nakon turneja po Engleskoj došao je 29. siječnja 1929 u New York. To je bila prvorazredna senzacija u Americi. Da bi prikazao svog robota u simpatičnom izdanju Richards je učinio da Robot Eric nije samo razgovarao i odgovarao na pitanja, već se i šalio. Pri tome je ustao, bljesnuo očima i izveo iskrenje zubima s plavim plamenom te „namignuo“. Nastupao je s izjavom: „*Dame i gospodo, ja sam Robot Eric, čovjek bez duše. Veliko mi je zadovoljstvo što sam ovdje s vama u New Yorku. Impresioniran sam visokim zgradama i podzemnim željeznicama.*“

Kapetan Richard dao je proročansku izjavu: „*S vremenom će od njega industrija imati velike koristi.*“ [11]

Novine su bile pune informacija o senzaciji iz Engleske, slika 6., [11]. Stalno su pratili njegove javne prezentacije i izvještavali čitatelje o njegovim „zadivljujućim“ mogućnostima.

Na izložbi prezentirani su oba čovjekolika uređaja: mehanički čovjek Televox i Robot Eric, slika 7., [11].

Nikola Tesla izumitelj prvog bežičnog daljinskog upravljanja, preteče suvremenih rješenja automatizacije i robotike. To bežično upravljanje Tesla je demonstrirao 1887. Bio je zainteresiran za tehničke novosti pogotovo za složene strojeve koji obav-

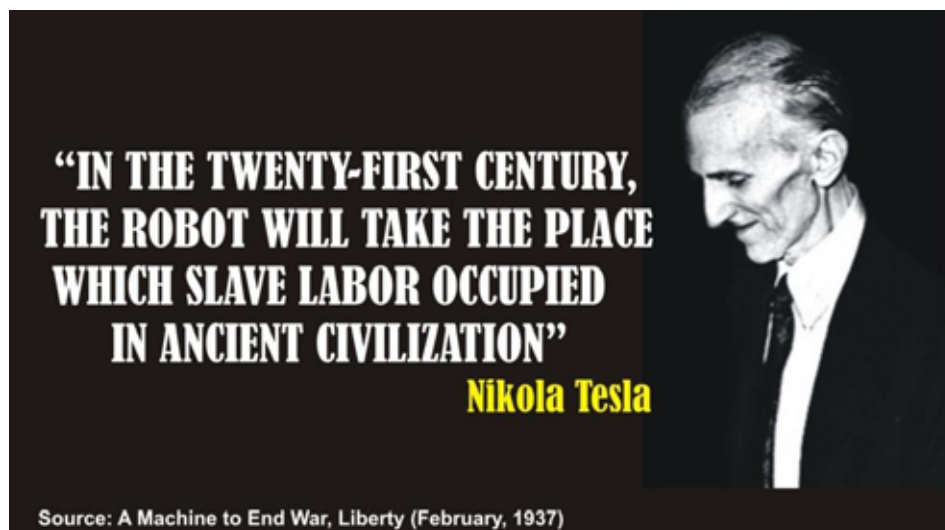


Sl. 6.: Novine su donosile članke o robotu Ericu, aluminijskom čovjeku. [11]



Sl. 7.: Izložbena prezentacija mehaničkog čovjeka Televoxa i Robota Erica u New Yorku [11]

ljaju određene radnje bez pomoći čovjeka. Sigurno je bio nazočan nekoj od prezentacija W.H. Richardsa s njegovim Robotom Ericom u New Yorku 1929. Takvi uređaji bili su u središtu njegovog interesa i sigurno je razmišljao o svojim rješenjima daljnjeg



Sl. 8.: Proročanska izjava velikana Nikole Tesle 1937. godine.

razvoja robota. Dao je proročansku izjavu 1937.: „*U dvadesetprvom stoljeću, roboti će obavljati poslove koje su ranije radili robovi u drevnim civilizacijama*“. Ona navodi upravo ono što je danas stvarnost, slika 8., [13].

Robotičari se slažu da je prve najznačajnije izumiteljske korake napravio Nikola Tesla, a za popularizaciju i proširenje značenja riječi *robot* zaslužan je Isaac Asimov (1920.-1992.), pisac znanstveno fantastičnih pripovijetki, slika 9a. Uvidio je značaj robota u budućnosti i potrebu da se odnos između ljudi i robota unaprijed odredi preciznim pravilima i zakonima [14].



Sl. 9.: Pisci znanstveno fantastičnih pripovijetki, a) Isak Asimov



b) Arthur C. Clarke

Te je zakone robotike Isak Asimov objavio 1942. u kratkoj priči *Runaround*, iako su oni bili već nagovješteni u nekoliko njegovih ranijih priča. Priča *Runaround* je kasnije uvrštena u knjigu *Ja robot (I Robot)*. Asimov se u svojim djelima posvetio rješavanju odnosa robota i ljudi kroz njihove probleme koji će nastati u 21. stoljeću. Razvojem i širokom primjenom robota u budućnosti Asimov predviđa velike mogućnosti i dobrobit za društvo ali i nastanak moralnih sukoba.

Tema priče *Runaround* govori o dva znanstvenika čiji uspjeh u radu ovisi o pomoći robota. Problem nastaje kada je jedan od robota Speedy izmaknuo kontroli. Rješenje problema vidi u donošenju nužnih zakona robotike.

Na inzistiranje svog urednika Johna W. Campbella mlađeg, Asimov je stvorio *Tri zakona robotike* kako bi regulirao odnos između robota i ljudi. Ti zakoni su:

1. Robot ne smije ozlijediti ljudsko biće ili nečinjenjem dopustiti da se čovjeku naudi. 2. Robot se mora pokoravati nalogima koja su mu naložila ljudska bića, osim ako bi se takve naredbe kosile s Prvim zakonom. 3. Robot mora zaštititi svoje postojanje sve dok se takva zaštita ne kosi s Prvim ili Drugim zakonom [15].

Ovi zakoni su kasnije proširivani s još tri: Meta zakonom, Četvrtim zakonom i Zakonom reprodukcije [16]. Bez obzira na razumljivu potrebu pridržavanja ovih zakona, njima proturječi smjer razvoja robota za vojne potrebe.

Asimov je prvi dalekovidno shvatio potrebu i nužnost uvođenja regulative projektiranja i izrade robota. To je početak i najraniji oblik roboetike (engl. *roboethics*). Još se ni danas u svijetu ne može postići konsensus oko osnovnih postulata projektiranja robota i umjetne inteligencije [15].

Roboti od strojeva koji ponavljaju iste programirane operacije danas postaju sve više strojevi s visokom inteligencijom koji mogu donositi „odluke“ izvan programskih uputa, dubokim učenjem i novim spoznajama. Obzirom na tu njihovu „samostalnost“ sve više postaje važan odnos ljudi prema robotima i obrnuto. Sva ta etička pitanja između robota i ljudi, treba definirati i pravno regulirati. Skup kodeksa ponašanja u međusobnom odnosu ljudi i robota, ali i obrnuto, obuhvaćen je *roboetikom*. Normama bi se regulirala tri ključna područja: konstrukcija robota, uporaba robota te odnos ljudi i robota ali i obrnuto.

Kriterijem konstrukcije zabranjivalo bi se osmišljavanje i oblikovanje robota za kriminal ili nemoralne aktivnosti suprotne zakonima. Zabranilo bi se projektiranje robota za namjerno izazivanje štete, sakaćenja, ubijanja ljudi i životinja. Konstrukcija robota ne bi smjela dopustiti kulturnu, vjersku, seksualnu ili statusnu diskriminaciju. Zabranjena bi bila izrada lica ili tijela robota prema poznatim ličnostima, bez njihovog izričitog pristanka.

U EU je 2017. predložen dokument u kojem se navodi da europske vrijednosti, demokratska načela, pravne norme i poštivanje temeljnih prava trebaju biti ugrađene u projektirane sustava umjetne inteligencije. Iste godine pokrenuto je i pitanje uvođenje pravnog statusa robota kao ‘elektroničke osobe’. Ova inicijativa, kao i neke druge, nije prošla u parlamentu EU, jer je bilo puno primjedbi i rasprava koje su se svodile na stav da robot nije ‘osoba’. To protivljenje temelji se na prigovoru da se prava ne mogu dodijeliti neživom stroju, koji nema svijest. Pravo po njima proizlazi iz života, a roboti su proizvod ljudskog uma i ruku, to su objekti, a ne osobe. Oni nemaju dušu i ne mogu dobiti status osobe i ne smije se ljude i robote izjednačiti. Budući se mora postići dogovor o tim pitanjima, ta tema će se sigurno i dalje izazivati žučne rasprave [17].

3. Definicija robota

3.1. Robot čovjekolikog izgleda

Kako se razvijao robot i mijenjao konstrukciju, rješenja i mogućnosti, njegove definicije su postajale sve šire. Početne definicije poput one u *Webster's dictionary* navodile su da je robot „*automatizirani uređaj koji obavlja funkcije koje se obično pripisuju čovjeku.*“ Vrlo slično navodi i *Enciklopedija Leksikografskog zavoda*, Zagreb 1962. da je „robot automat s ljudskim likom, stroj koji vrši različite, često vrlo komplicirane operacije dirigiran elektronskim mozgom.“ [18] Dakle robotima se obilježavaju samo strojevi koji izgledaju kao ljudi i imaju ljudske osobine, tj. sposobni su raditi, kretati se [8, 14].

Još i danas većina ljudi pod robotom podrazumijeva isključivo čovjekolike uređaje s elektroničkim mozgom koji se mogu kretati, govoriti i obavljati određene poslove.

3.2. Industrijski roboti

Industrijski roboti su nastali temeljem dvaju razvijenih sustava – teleoperatora i numerički upravljanih uređaja. Teleoperatori su razvijeni za vrijeme Drugog svjetskog rata radi potrebe daljinskog rukovanja nuklearnim sirovinama. Numeričko upravljanje primjenjivalo se na alatnim strojevima, koji su nakon rata bili potrebni za izradu složenih dijelova aviona [19].

Industrijski roboti pojavili su se 1950-ih godina u SAD-u. Koristeći te dvije različite tehnike, Amerikanac George C. Devol, Jr. (slika 10) patentirao je 1954. g. industrijski uređaj – manipulator koji se smatrao pretečom današnjega industrijskog robota [19].

U suradnji sa Josephom Engelbergerom izradio je 1958. g. prvi industrijski robot. Proizvela ga je tvornica *Unimation Inc.*, prva a dugo vremena i vodeća tvornica robota u svijetu [19].

Veliki Asimov poklonik J. Engleberger, voditelj projekta razvoja prvog programibilnog industrijskog manipulatora, nazvao ga industrijskim robotom, unatoč navodnom protivljenju stručnih krugova [14].

Uporaba robota u proizvodnji započela je 1961. godine, kada je prvi industrijski robot postavljen u tvornici *General Motors* u New Jersey. Ovaj industrijski robot imao je hidraulički pogon i programirao se preko magnetskog bubnja. U SAD-u 1970. godine izrađen je prvi suvremeni industrijski robot s električnim pogonom i šest stupnjeva slobode gibanja, a upravljao se računalom (slika 11.) [10, 12, 20].



Sl. 10.: George C. Devol, Jr., 1961. [19]

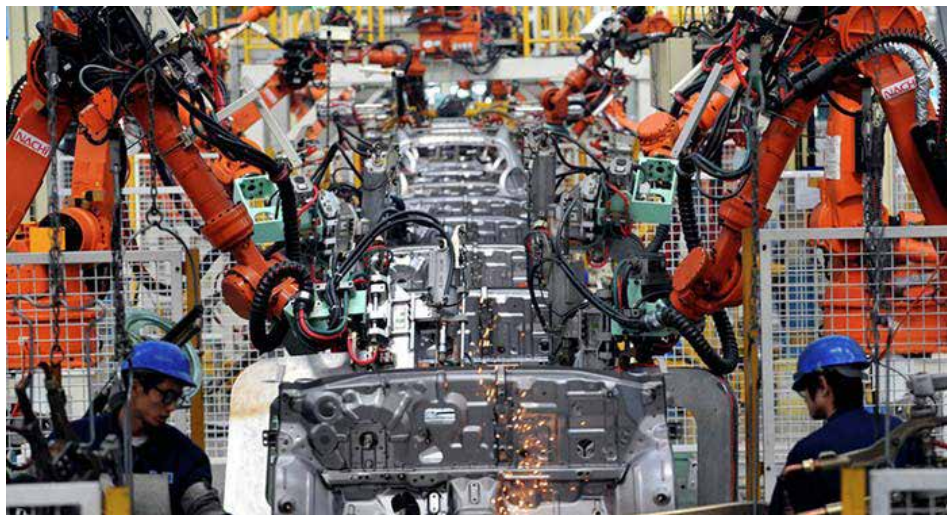


Sl. 11.: Izgled prvog suvremenog industrijskog robota *Unimation Inc.* [19]

Industrijski roboti više ne sliče na ljude, imaju jednu ili dvije „ruke“, pa se mijenjaju i definicije. Kod opisa najviše se koristi njegova namjena kao manipulatora. Evo najčešćih definicija industrijskih robota:

- RIA (engl. *Robot Institute of America*): „*Robot je reprogramibilni multifunkcijski manipulator, projektiran da prenosi materijale, dijelove, alate i specijalne uređaje kroz različite programirane pokrete u svrhu ispunjavanja različitih zadataka*“ [16, 21].

- ISO (engl. *International Standard Organisation*): „*Industrijski robot je automatski, reprogramibilni višefunkcijski manipulator koji ima više stupnjeva slobode*



Sl. 12.: Primjena industrijskih robota u automobilske industriji [22]

kretanja, koji je pogodan za rukovanje materijalom, dijelovima, alatima ili posebnim uređajima za izvršavanje promjenjivih programiranih operacija. Industrijski roboti obično imaju jednu ili više ruku, upravljački uređaj s mogućnošću pamćenja, a pokatkad koriste i senzore za prikupljanje informacija iz okoline.“ [16].

Iz izgleda, namjene i definicije vidljiva je transformacija robota od onog izgledom poput čovjeka i njegove namjene do multifunkcijskog manipulatora koji obavlja određene zadatke definirane programom. Taj program se, po potrebi, može mijenjati, kao i prihvatnica³ s hvataljkom za hvatanje i držanje različitih materijala, izradaka i alata, slika 12.

3.3. Suvremeni višenamjenski roboti

Razvoj robota usmjeren je na skoro svaku djelatnost čovjeka, slika 13. Radi toga roboti danas poprimaju različite oblike, tehnička rješenja i načine upravljanja. Razvoj umjetne inteligencije koji se koristi za njihovo upravljanje, te razvijeni sofisticirani senzori omogućuju da roboti prate stanje u okolini, postaju sve samostalniji i



Sl. 13.: Pravci razvoja primjene robota [23]

³ izvršni procesni uređaj

mogu „odlučivati“ što poduzeti u određenim situacijama i donositi zaključke s ciljem međusobnog organiziranja radi obavljanja vrlo složenih zadataka, slika 14.

Neposredna suradnja s čovjekom u kući, školi, uredu, bolnicama nametnula je rješenja novog izgleda robota, te jedan dio robota počinje ponovo poprimati humanoidni izgled. Razvoj ide do potpunog imitiranja izgleda čovjeka. To se odnosi na vidljive dijelove robota. Lice s vratom i ruke izgledaju i djeluju kao ljudske s više ili manje uspjeha, (slika 14a). Drugi roboti poprimaju različite oblike već prema namjeni od igračaka, dijelova proizvodnog procesa, medicinskih složenih instrumenata do vozila.

Takav pristup zahtijeva i promjenu definicije robota koja bi mogla obuhvatiti sve suvremene robote bez obzira na njihovu izvedbu. Jedna od suvremenih definicija koja obuhvaća sva moguća rješenja robota glasi: „Robot je informatički stroj koji ima fizičku stranu, odnosno robot je fizičko proširenje računalne tehnologije koji pretvara informaciju u rad neposredno utječući na nas i našu okolinu“ [24].



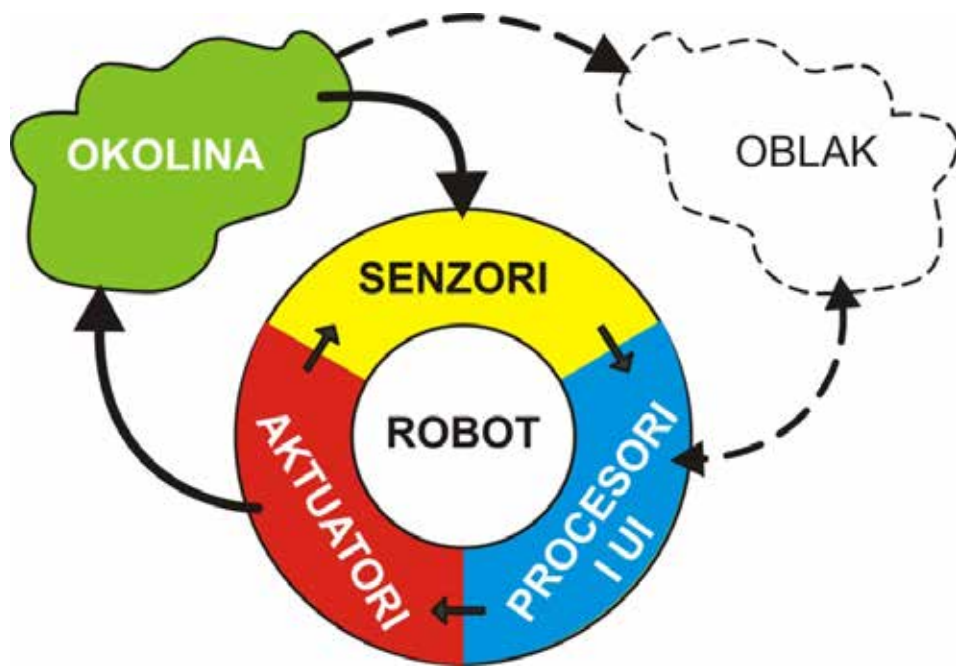
Sl. 14.: Danas su prisutne razne vrste robota, a) Ginolda *Geminoid F* od prof. Hiroshia Ishiguroa (2012.) [23]



b) Robot konobar

Robot sve više postaje pojam, odnosno simbol novih tehničkih rješenja koja se svakodnevno pojavljuju te služe za olakšavanje rada i života ljudi. Ako ta rješenja zadovoljavaju načela rada, slika 15, koja navodi definicija, oni jesu roboti, bez obzira na njihov izgled. Mnoge od njih ne nazivamo robotima iako oni zadovoljavaju tu novu

definiciju poput automatskog uređaja za čišćenje kuće (*Roomba*), bankomata, mlijekomata, naplate parkiranja i sl. automatskih uređaja.



Sl. 15.: Načela rada sadašnjih robotskih sustava

Umjetna inteligencija razvija se izrazito brzo i stalno povećava svoje mogućnosti. S njom i roboti postaju sve inteligentniji, a nastoji se u njih ugraditi i određeni oblik osjećaja. Želja je da budući inteligentni roboti moraju posjedovati mentalne sposobnosti koje će im omogućiti da, ne samo razumiju ljude, već i da razumiju i samoga sebe, da budu svjesni svoga znanja, te da u dovoljnoj mjeri budu sposobni mijenjati se, odnosno unapređivati samoga sebe. To je sljedeći korak razvoja robota. Tek tada bi roboti mogli postati ozbiljna konkurencija ljudima.

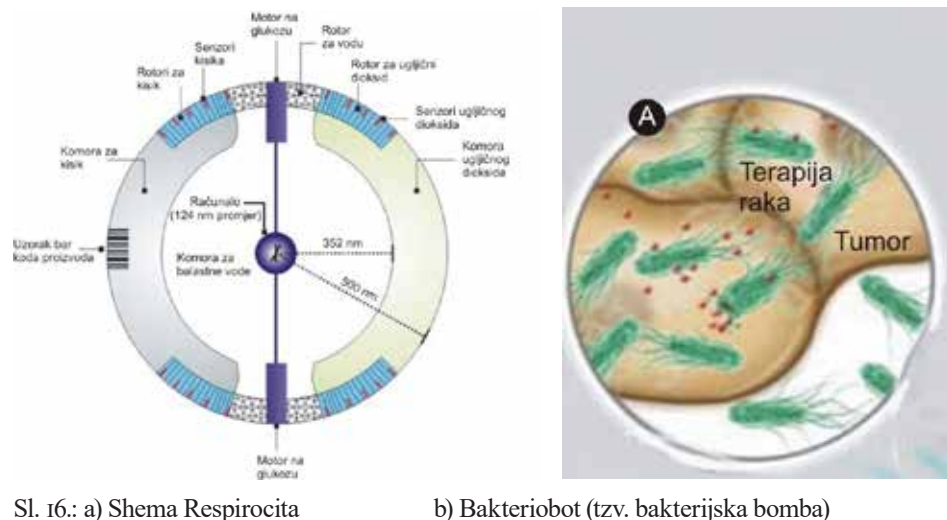
Ovo je daljnja transformacija robota, u kojoj on može poprimiti bilo koji oblik i namjenu, ali mora imati tri obilježja: da prati senzorima okolinu i njene promjene, da dobivene informacije procesira (računalno obradi) te da donese nalog kojeg neki aktuator treba izvršiti, (slika 15).

3.4. Živi roboti

Jedan smjer razvoja robota krenuo je prema mini i nanorobotima. Oni su prije svega namijenjeni medicini. Roboti nano veličina djelovali bi unutar tijela čovje-

ka u cilju liječenja od raznih bolesti, pa čak bi mogli mijenjati pacijentove genetske anomalije.

Robert A. Freitas Jr., koji je pokrenuo nanorobotiku i biotehnologiju, klasificirao je medicinske mehaničke nanorobote u tri vrste: *respirocite* (umjetne krvne stanice), slika 16a, *mikrobivore* (umjetne bijele krvne stanice) i *klotocite* (umjetne trombocite) [25]. Izradu takvih mehaničkih robota je izuzetno teško realizirati, ali ipak već postoje neka praktična rješenja. Bez obzira na poteškoće oni se ubrzano razvijaju. Brinuti će se o našem zdravlju i davati nam nove neslućene mogućnosti. Futurolog Ray Kurzweil, čije se dosadašnje prognoze ostvaruju s visokom točnošću, smatra: „U 2030-ima u mozak (preko kapilara) slati ćemo nanorobote koji će uranjanjem unutar živčanog sustava pružiti virtualnu stvarnost i povezati naš neokortex s oblakom. Baš kao što danas možemo bežično proširiti snagu naših pametnih telefona 10.000 puta u oblaku, tako ćemo i svoj neokortex moći proširiti u oblaku“. Na taj način, on predviđa, da će čovjeku biti dostupno ukupno znanje pohranjeno u oblaku i pristup svim informacijama. Biti će mu omogućeno da složene matematičke jednadžbe izračunava odmah. Moći će upravljati raznim vozilima pa i avionom iako nije prošlo nikakvu obuku. Razumjeti će i razgovarati na bilo kojem jeziku itd. [25]⁴.



Sl. 16.: a) Shema Respirocita

b) Bakteriobot (tzv. bakterijska bomba)

⁴ Ubacivanje ikakvih struktura između glia stanica može izazvati posljedice na propagaciju signala u mozgu - koji je u principu holografski strukturiran

Kako bi olakšali izradu nanorobota znanstvenici su se okrenuli prema uporabi mikroskopskih organizama u prirodi poput bakterija. Ti organizmi se slobodno kreću okolinom u kojoj žive, imaju svoj životni ciklus, koriste ishranu koja je u njihovom ambijentu, reproduciraju se, imaju receptore kojima pronalaze mjesto „napada“ u tijelu domaćina i nakon prestanka hranjenja ugibaju, te se jednostavno izlučuju iz tijela [25].

Snažni razvoj inženjerskih metoda u biologiji i kemiji, odnosno genetske manipulacije, te znanosti o materijalima i računalne znanosti, omogućio je promjenu prirodne namjene tih mikroorganizama i dao im novu ulogu. Tako su nastali živi mikro i nanoroboti, a dobili su i novi naziv „bakterioboti“ (engl. *Bacteriobots*).

Kao primjer može se navesti osposobljeni bakterijski soj *Salmonella enterica* za sinkrono oslobađanje antikancerogenih toksina, citokina i čimbenika koji izazivaju programiranu smrt stanica. Lijekovi su bili sastavni dio bakterija, slika 16b. Drugo rješenje je bilo ispunjenje mikroorganizama (bakterije i arheje⁵) ljekovitim plinovima. Mikroorganizmi s ispunjenim nano mjehurićima se, pomoću ultrazvučnih valova ili vanjske energetske sile, guraju duboko u tumorska tkiva. Ovakav pristup postigao je obećavajuće rezultate kod tumora na mozgu [25].

Velika očekivanja polažu se na stvaranje „sintetičkih bakterija“. Živom organizmu dodaju se novi „neprirodni“ DNK parovi. Sintetičke baze, nazvane „X“ i „Y“, dodane su u DNA soju bakterija *Escherichia coli*. Početkom 2017. godine uspjelo se stabilizirati „polusintetičke“ bakterije koje su mogle rasti i dijeliti se prirodnim putem, prenoseći sintetičke baze „X“ i „Y“ na nove generacije. Poznato je da svi organizmi imaju standardna četiri slova DNA abecede A, T, C, G (adenin, citozin, timin i guanin). Život je utemeljen s 20 standardnih aminokiselina, ali ovaj novi uspjeh otkriva da bi dodavanjem novih dvaju slova u abecedu DNK organizam mogao stvoriti čak 152 novih aminokiselina. To daje mogućnost stvaranja potpuno novih molekula, a time i novih lijekova [25].

Drugi pristup je stvaranje novih živih bioloških nanorobota. To je uspjelo američkim istraživačima sa Sveučilišta Tufts. S izdvojenim matičnim stanicama iz zame-taka afričke žaba *Xenopus laevis*, korištenjem računala stvorili su nove organizme, slika 17. Oni su se mogli kretati a pri tome su mogli gurati male predmete koji su bili namjerno postavljeni u sredini organizma. Zamisao je da u toj „vrećici“ bude smješten lijek i da ga oni dovode na bolesno mjesto u tijelu. Nazvani su po toj afričkoj žabi *kse-noboti* (engl. *Xenobots*). [25]

Ksenoboti su potpuno biorazgradivi, a nakon što obave zadatke i protekne se-dam dana, kad njegovim stanicama ponestane hranjivih sastojaka, umiru i izlučuju se

⁵ Jednostanična bića različita od bakterija i eukariota

iz tijela domaćina. Iako su živi oni se ne mogu razmnožavati niti dalje razvijati [25].

Stvaranje tih novih živih mikro organizama je početak novog pristupa dobivanja *bionanorobota* koji imaju velike mogućnosti daljnjeg razvoja. Osim prednosti *kxenobota* koje su naznačene, to je novi pristup izrade bioloških robota, čije granice još ne možemo sagledati.

Jedno od pitanja koje se može postaviti jesu li to roboti, odnosno nanoroboti. Izraz je već udomaćen, ali zadovoljavaju li oni definiciju robota? Kod mehaničkih nanorobota npr. respirocita, iako su minijature njih veličina, postoje senzori koji dobivaju informacije iz okoline, postoji procesor koji donesi odluku, te ventili koji otvaraju spremnike s kisikom, odnosno ugljičnim dioksidom. Sada to izgleda nestvarno i nemoguće izraditi s obzirom na njegovu veličinu od 6-8 mikrometara. Kod bioloških robota mogu se pojedine funkcije ili dijelovi samo uspoređivati sa sličnim kod mehaničkih robota. Imaju receptore kao senzore kojima istražuju okolinu, ujedno oni im omogućuju postizavanje odgovarajućeg (ciljanog) položaja u tijelu (simulacija procesora), te mehanizam ispuštanja lijeka npr. pucanje opne (poput aktuatora). Očito definicije robota doživljavaju novu transformaciju sukladno specifičnostima živih organizama i njihovih rješenja. Zajednička je ista ideja - obavljanje korisnog zadatka prema definiranom programu koje je moguće ostvariti na različite načine.

Mogu se očekivati i daljne promjene u danas nesagledivim pravcima razvoja robota. O tome govore prognoze znanstvenika i futurologa. Pisac Arthur C. Clarke (slika 9b) je najavio 1964. godine „*da je organska tj. biološka evolucija došla svom kraju i sada smo na početku anorganske i mehaničke evolucije koja će biti tisuću puta brža*“ ili kako sada najavljuje Elon Musk: „*Buduće povezivanja robota s čovjekom u jedinstvenu cjelinu je proces proizašao iz tehnološke evolucije*“ [26]. Slično smatra Hiroshi Ishiguro jedan od najpoznatijih svjetskih robotičara. On je uvjeren da čovjek u budućnosti više neće biti stvoren od krvi i mesa te će se ljudska tijela razviti u znatno izdržljiviji sustav. Uvjeren je da će se tek tada takav čovjek moći otisnuti u svemir bez posljedica.



Sl. 17.: Ksenobot

4. Pojam robota u svakodnevnom životu

Robot osim kao zajednički pojam i simbol novih razvijenih tehničkih rješenja i općenito napretka znanosti, počinje se koristiti i u prenesenom značenju.

Dosadašnje ponašanje robota, zbog još uvijek nesavršenih pokreta i nedovoljno razvijene umjetne inteligencije, iskazuje se nespretnim kretanjem i govorom. Daje sliku koja se primjenjuje i za opis određenog ponašanja ljudi. Na mnogim radnim mjestima u proizvodnji pojedini poslovi su uvijek isti i ljudi ih automatski ponavljaju. Apsurdnost takvog rada, kojeg sada zamjenjuju roboti, najbolje je prikazao Charlie Chaplin radeći na tvorničkoj pokretnoj traci u filmu *Moderna vremena*, slika 18. [22]

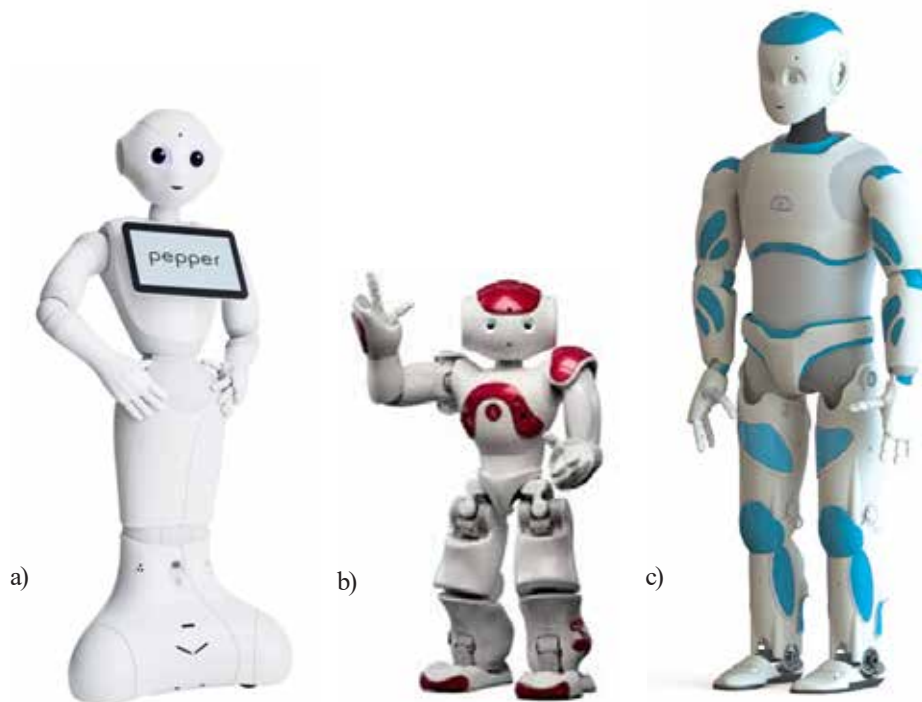


Sl. 18.: Slika iz filma *Moderna vremena* [22]

Naviku ponavljanja naučenog ponašanja i rada ljudi prepoznaju kao „rad poput robota“ ili „čovjek-robot“ u svakodnevnom životu. ‘Programiranje’ u govoru očituje se po naučenim formulacijama i odgovorima, bez razmišljanja i davanja vlastitih stavova. Prisutno je svugdje od činovnika u uredima do političara. Lako se može uočiti da se za ista postavljena pitanja dobivaju čak jednako oblikovani odgovori, bez vlastitog promišljanja, stava ili komentara. To su napamet zapamćeni odgovori. Može se zaključiti da je taj „program“ možda definiran pravilima službe, stranačkim okvirom odnosno stegom ili pak ukalupljenim svjetonazorom. Takvi ljudi-roboti ne mogu ili ne

smiju iskočiti iz tog „programa“. Njihovo ponašanje sličí na ponašanje relativno jednostavnih robota. Zato je taj pojam našao primjenu i izvan tehnike [22]. Sve ubrzaniji razvoj robota i umjetne inteligencije odredit će ne samo tehnička rješenja i njihove mogućnosti, već i pojam živoga i neživoga, svjesnoga i nesvjesnog. Dogodit će se brojne socijalne promjene i doći će do nezamislivih društvenih i međuljudskih odnosa. Kako futurolozi predviđaju i do prijateljavanja i druženja s robotom, partnerskih poslovnih odnosa s robotom, seksualnih partnera pa čak i braka s robotom. To će stvoriti niz etičkih i moralnih dilema i postaviti vrlo kompleksna pitanja.

Roboti su u nekim poslovima bolji od ljudi, precizniji i brži. Poznato je korištenje robota u dijagnostici bolesti i kod operativnih zahvata. Razvojem umjetne inteligencije roboti poprimaju određene ljudske osobine poput: procjene okoline, prepoznavanje osoba i objekata, pronalaženje optimalnijeg rješenja u danom slučaju te vođenja suvisle konverzacije. Uočavanjem raspoloženja osoba mogu procijeniti nastalu situaciju i donijeti odluku (npr. pozvati pomoć, i sl.). Već zamjenjuju ljude na poslovima recepcionara, dočekuju goste u robnim kućama, rade s bolesnima i hendikepiranim osobama te s autističnom djecom, obučavaju imigrante jezik zemlje u kojoj su se uselili i sl. (slika 19).



Sl. 19.: Čovjekoliki roboti, a) Pepper, b) NAO, c) Romeo

Razvoj robota ovisan je o razvoju umjetne inteligencije i njenom približavanju ljudskoj. Ljudska inteligencija je višeznačna, s mnogim sposobnostima kao što su: rješavanje problema, rasuđivanje, prepoznavanje uzoraka, kreativnost, učenje, jezik, planiranje, intuicija i primjena znanja. Da bi umjetna inteligencija postigla ljudsku inteligenciju, ona mora uspjeti na svim tim područjima [26].

Prijelomni trenutak u razvoju robota s UI biti će kada ona bude veća od ljudske. Vincent C. Müller i Nick Bostrom istražili su 2013. kada bi se to moglo dogoditi. Anketirali su više od 500 istraživača umjetne inteligencije, ili kako su precizno izjavili „strojne inteligencije visoke razine“ (HLMI – engl. *High Level Machine Intelligence*). Postavili su pitanje: „*Do koje biste godine s vjerojatnošću od 10%, 50% i 90% očekivali da umjetna opća inteligencija bude veća od ljudske*“. Odgovori ispitanika bili su da će s vjerojatnošću od 10% to dogoditi do 2022., sa 50% do 2040., a sa 90% do 2075. godine. Neki futorolozi poput Ray Kurzweila imaju drugačije prognoze kada će se to dogoditi. Svi se slažu da dolazi dan kada će UI biti moćnija od ljudske, da će se razvijati u superinteligenciju. Za to se treba već danas pripremati [27, 28].

Roboti s takvom inteligencijom će se ponašati kao ljudi, dobivati složene radne poslove, učiti, podučavati, informirati, rješavati složene zadatke itd. Ta zamjena čovjeka s robotom ne samo u repetitivnim poslovima, već i u kognitivnim funkcijama, uvodi pojam robot-čovjek ili humanoidni robot. Dobiti će svoj simbolički smisao i u svakodnevnom govoru. Uskoro će doći vrijeme kada će se ljudi radije družiti sa strpljivim, ljubaznim i pametnim robotima nego s ljudima. Tražiti će da u operacijskom zahvatu sudjeluje robot. Vjerojatno će ljudi odlučivati da djecu podučava robot, a ne učitelj, jer je njegovo podučavanje strpljivije i učinkovitije [29].

Razvojem kretanja i izgleda robota, a posebno njegove umjetne inteligencije s određenim oblikom osjećaja mijenjati će se i pojam robota. Dok je pojam čovjeka-robota predstavljao neki oblik kritike ponašanja i rada čovjeka, možda će novi pojam robota-čovjeka biti rezerviran za izuzetnu sposobnost, preciznost i znanje. Robot će vjerojatno postati <digitalno (inteligentno) biće> i u mnogo čemu sposobniji od čovjeka te će usporedba s njim postati pohvala ljudima za njihovo znanje, preciznost i točnost.

Zaključak

Robot je jedan od rijetkih tehničkih pojmova koji se u relativno kratkom vremenu brzim razvojem tehnike stalno mijenjao. To je išlo toliko brzo da se ni poimanje značenja robota u svijesti većine ljudi danas još nije promijenilo. Ostalo je na razini onog početnog, često nametnutog filmovima, koji predstavlja samo one tehničke uređaje koji izgledaju kao ljudi i rade njihove poslove. Sve izvan toga ne doživljavaju kao robote iako ih koriste u svakodnevnom životu.

Pojam koji se u prenesenom značenju koristi u običnom govoru naišao je na prihvatanje i čestu uporabu.

Cilj ovog rada bio je iznijeti najznačajnije elemente tog razvoja i transformaciju pojma robot koja je doživjela od nastanka tog imena do današnjih dana.

Reference

- [1] Čapek K.: *R.U.R.*, Russumovi univerzalni roboti, *Aurora, Nakladnik Hangar 7*, Zagreb 2019., ISBN 978-953-8048-66-1
- [3] Nikolić G.: Sto godina naziva robot, ZG-magazin, Znanost, dostupno na <https://zg-magazin.com.hr/sto-godina-naziva-robot/#more-80326>, objavljen 08.02.2021.
- [2] Szondy D.: Robots got their name 100 years ago today, dostupno na <https://newatlas.com/robotics/rur-capek-play-word-robot-100-years/>, objavljeno 25.01.2021.
- [4] Ivanjek Ž.: Drama pisca proroka s kojom je sve počelo, dostupno na <https://www.jutarnji.hr/kultura/knjizevnost/drama-pisca-proroka-s-kojom-je-sve-pocelo-9071120>, objavljeno 03.07.2019.
- [5] Vrančić F.: *Dictionarium Quinque Nobilissimarum Europae Linguarum, Latinae, Italicae, Germanicae, Dalmatiae & Ungaricae, Cum Privilegiis, Venetiis, Apud Nicolaum Morettum, 1595., Pretisak Novi Liber*, Zagreb 1992,
- [6] Nikolić G.: Život i izumi Fausta Vrančića, treće prošireno i doručeno izdanje, Nakladnici HATZ, POUZ, Zagreb 2018., ISBN 978-953-7076-28-3
- [7] Ugarković, T.: (*ANTI*)UTOPLJSKA DRAMATIKA KARELA ČAPEKA, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Filozofski fakultet, Zagreb, veljača 2019.
- [8] Nesteroff : Istorija robotike. Što i gdje su se pojavili prvi roboti, dostupno na <https://grdening.ru/bs/popular-posts/robototekhnika-istoriya-kakie-i-gde-poyavilis-pervye/>, objavljeno 14.06.2006.
- [9] 1927 – Televox – Roy J. Wensley (American), dostupan na <http://cyberneticzoo.com/robots/1927-televox-wensley-american/>, pristup 07.10.2020.
- [10] Koji je prvi robot na svijetu?..., dostupno na <https://mahaons.ru/hr/womens-health/kakim-byl-pervyi-robot-v-mire-proishozhdenie-slova-robot-pervye-roboty.html>, objavljeno 19.04.2019.
- [11] 1928 – Eric Robot – Capt. Richards & A.H. Reffell (English), dostupno na <http://cyberneticzoo.com/robots/1928-eric-robot-capt-richards-english/>, pristup 02.10.2020.
- [12] Koji je prvi robot na svijetu?, dostupno na <https://mahaons.ru/hr/womens-health/kakim-byl-pervyi-robot-v-mire-proishozhdenie-slova-robot-pervye-roboty.html>, objavljeno 19.04.2019.
- [13] Borić M., Nikolić G.: Nikola Tesla, Naklada *Hrvatski velikani*, Privlačica, Vinkovci 2020., ISBN 978-953-156-376-5
- [14] Tunić, J.: PRIMJENA SCARA ROBOTA ZA POSLUŽIVANJE OBRADNIH SUSTAVA, Završni rad, FSB Zagreb, dostupno na http://repozitorij.fsb.hr/236/1/19_03_2008_Tunic_zavrsni_rad.pdf, objavljeno 2007.
- [15] “Runnaround” by Isaac Aimov and the Significance of the Three Laws of Robotics in today’s world, seminarski rad, dostupno na <https://www.grin.com/document/513189>, objavljeno 2016.
- [16] Nikolić G., Katalinić B., Rogale D., Jerbić B., Čubrić B.: *Roboti & primjena u industriji tekstila i odjeće*, sveučilišni udžbenik, TTF, Zagreb 2008., ISBN 978-953-7105-22-8
- [17] Nikolić G.: Je li „pametni” robot „mehatronička osoba”? ZG- magazin, dostupno na, <http://zg-magazin.com.hr/je-li-pametni-robot-mehatronicka-osoba/>, objavljeno 19.07.2019.
- [18] *Robot*, Enciklopedija Leksikografskog zavoda, br. 6, Zagreb 1962., strana 481
- [19] Pavlić T.: Osnovi robotike, V. semestar, Visoka tehnička škola u Bjelovaru, prezentacija PP, pristup

09.10.2020.

- [20] *Robot*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, dostupno na <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=53100>, pristup 09.10.2020.
- [21] Šurina T., Crneković M.: Industrijski roboti, sveučilišni udžbenik, *Školska knjiga*, Zagreb 1990.
- [22] Nikolić G.: Ljudi-roboti, ZG-magazin, <http://zg-magazin.com.hr/ljudi-roboti/>, objavljen 05.09.2018.
- [23] Nikolić G.: Razvoj robota i promjene koje oni donose, časopis Polytechnic&Design, Vol3. No3, 2015., str. 326-339
- [24] Jerbić B.: Robotika u medicini, izazov 21. stoljeća, prezentacija u PP na Tribini: Presjecišta medicine i strojarstva, Zagreb, 2014.
- [25] Nikolić G.: *Minijaturni roboti*, u postupku za tisak
- [26] De Planque, T.: Will Cloud Computing Make the Benefits of Artificial General Intelligence Accessible to Everyone?, dostupno na <https://mse238blog.stanford.edu/2017/07/teun/will-cloud-computing-make-the-benefits-of-artificial-general-intelligence-accessible-to-everyone/>, objavljeno 12.07.2017.
- [27] Müller, V. & Bostrom, N.: Future Progress in Artificial Intelligence: A Survey of Expert Opinion, dostupno na <https://nickbostrom.com/papers/survey.pdf>, objavljeno 2014.
- [28] Nikolić G.: Ugradnja emocija u robote, ZG-magazin, dostupno na <https://zg-magazin.com.hr/ugradnja-emocija-u-robote/>, objavljeno 06.10.2020.
- [29] Nikolić G.: Roboti-ljudi, ZG-magazin, <http://zg-magazin.com.hr/roboti-ljudi/>, 07.09.2018.

Gojko Nikolić

Robot - Changes in The Meaning of the Concept Over the Last 100 Years

Abstract: The concept of robot has changed over the years, in the same way technical possibilities of machines that can perform certain tasks changed – tasks that were until then intended for humans. From the origin of the word robot, the meaning of this term has been traced from the first device with that name until today's nanorobots directed towards biological solutions. Robot definitions have been changed and adapted in accordance with technical solutions. The term robot has not only remained in the field of technology but has become a concept applied to certain social behaviors of people.

Keywords: robot definition, robot history, robotics, nanorobots, robot application

Dragan Poljak

On the Stored Eenergy in the Antenna Elektromagnetic Field and Corresponding Limits in the Transfer of Information

Abstract: The paper reviews some fundamental concepts of the energy conservation in the electromagnetic field stemming from Hamilton principle in electromagnetics and Poynting theorem with particular emphasis to the analysis of the correlation of the stored energy in the antenna electromagnetic field with fundamental limits arising from the antenna dimensions. Of particular interest is to address correlation between electric/physical dimensions of the antenna and Q-factor and radiation efficiency, which is crucial for the assessment of maximum information transfer. Presented theoretical concepts are illustrated for the case of Hertz dipole.

Keywords: Hamilton principle, Poynting theorem, stored energy, fundamental limits of antennas

Introduction

Fundamental limits in antenna operation deal with antenna dimensions and relationship between its stored and irradiated energy [1-2], respectively. Though there is a sort of correlation of stored energy and dissipated (radiated) energy in antenna theory with energy usable for useful work and reactive energy, or what is more in use, active power and reactive power, there are some important distinctions and related physical consequences, as has been discussed in [2]. On the other hand, the most rigorous approach to address the issue of antenna behavior is to use Hamilton principle and the Poynting theorem expressing the conservation law of the electromagnetic field energy. An important engineering parameter in assessing the fundamental limits of antennas is the quality factor (Q -factor) connected with actual antenna bandwidth. There are different expressions for Q -factor in literature but, for time-harmonic radiators, such as Hertz dipole, its definition generally

pertains to the ratio of stored energy and dissipated energy per cycle [3]. There are also some controversies regarding the definition of stored energy in the vicinity of the antenna [1-2].

Various aspects of this issue have been of interest starting from the very beginning of radiocommunications from early 20th century to the contemporary issues pertaining to wireless communications and Internet of Things (IoT) [1].

This paper revisits the derivation of the integral form of Poynting theorem for time-harmonic dependent quantities. Next, for the case of radiation of Hertz dipole in free space the calculation of Q -factor is carried out using the apparent (complex) power defined as the surface integral over complex Poynting vector.

Thus, the Q -factor is derived simply as a ratio between imaginary and real part of complex power, respectively as suggested in [1]. It is worth noting that complex power directly arises from the integral form of Poynting theorem.

1. General Law of Conservation of Electromagnetic Energy – Poynting theorem

Using the principle of least action in classical electromagnetics, that is by minimization of corresponding action integral the of Maxwell equations can be obtained. Furthermore, the general conservation law of energy in the macroscopic electromagnetic field can be readily derived from curl Maxwell equations.

Starting from divergence of Poynting vector

$$\nabla \cdot (\vec{E} \times \vec{H}) = \vec{H} \cdot \nabla \times \vec{E} - \vec{E} \cdot \nabla \times \vec{H} \quad (1)$$

where E and H denotes the electric and magnetic field, respectively, while D and B represents electric and magnetic flux density, respectively.

Combining (1) with first two curl Maxwell equations yields:

$$\nabla \cdot (\vec{E} \times \vec{H}) = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\vec{E} \cdot \vec{D} + \vec{H} \cdot \vec{B}}{2} \right) - \vec{E} \cdot \vec{J} \quad (2)$$

Taking the volume integral over (2) it follows

$$\int_V \nabla \cdot (\vec{E} \times \vec{H}) dV = -\frac{\partial}{\partial t} \int_V \left(\frac{\vec{E} \cdot \vec{D} + \vec{H} \cdot \vec{B}}{2} \right) dV - \int_V \vec{E} \cdot \vec{J} dV \quad (3)$$

For a battery with a non-electrostatic field E' the corresponding current density J can be written:

$$\vec{J} = \sigma(\vec{E} + \vec{E}') \quad (4)$$

Furthermore, applying the Gauss integral theorem to the left-hand side term, the volume integral transforms to the surface integral over the boundary, where $d\vec{A}$ is the outward drawn normal vector surface element, that is one obtains

$$\int_V \vec{E}' \cdot \vec{J} dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_V \frac{1}{2} (\vec{E} \cdot \vec{D} + \vec{H} \cdot \vec{B}) dV + \int_V \frac{|\vec{J}|}{\sigma} dV + \oint_A (\vec{E} \times \vec{H}) \cdot d\vec{A} \quad (5)$$

The sources within the volume of interest are balanced with the rate of increase of electromagnetic energy in the volume, the rate of flow of energy in through the domain surface and the Joule heat production in the domain.

For the time-harmonic quantities the complex Poynting vector is given by

$$\vec{S} = \frac{1}{2} (\vec{E} \times \vec{H}^*) \quad (6)$$

and taking the divergence of Poynting vector yields

$$\nabla \cdot \vec{S} = \frac{1}{2} (\vec{H}^* \nabla \times \vec{E} - \vec{E} \nabla \times \vec{H}^*) \quad (7)$$

The divergence of complex power density can be expressed in terms of rate of stored energy, power lossess and sources, as follows:

$$\nabla \cdot \vec{S} = -j \frac{\omega}{2} (\mu |\vec{H}|^2 - \epsilon |\vec{E}|^2) - \frac{|\vec{J}|}{\sigma} + \frac{1}{2} \sigma |\vec{E}|^2 \quad (8)$$

Integrating over a volume of interest one obtains

$$\int_V \nabla \cdot \vec{S} dV = -j \frac{\omega}{2} \int_V (\mu |\vec{H}|^2 - \epsilon |\vec{E}|^2) dV = -\frac{1}{2} \int_V \left| \frac{\vec{J}}{\sigma} \right|^2 dV + \frac{1}{2} \int_V \sigma |\vec{E}|^2 dV \quad (9)$$

And applying the Gauss theorem it follows

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \int_A \vec{E} \times \vec{H}^* \cdot d\vec{A} &= -j \frac{\omega}{2} \int_V (\mu |\vec{H}|^2 - \epsilon |\vec{E}|^2) dV = \\ &= -\frac{1}{2} \int_V \left| \frac{\vec{J}}{\sigma} \right|^2 dV + \frac{1}{2} \int_V \sigma |\vec{E}|^2 dV \end{aligned} \quad (10)$$

It is convenient to separate the real part and imaginary part of (10), that is the Poynting flow can be written as follows:

$$\frac{1}{2} \text{Re} \int_A \vec{E} \times \vec{H}^* \cdot d\vec{A} = -\frac{1}{2} \int_V \left| \frac{\vec{J}}{\sigma} \right|^2 dV + \frac{1}{2} \int_V \sigma |\vec{E}|^2 dV \quad (11)$$

$$\frac{1}{2} \text{Im} \int_A \vec{E} \times \vec{H} * d\vec{A} = -\frac{\omega}{2} \int_V \left(\mu |\vec{H}|^2 - \varepsilon |\vec{E}|^2 \right) dV \quad (12)$$

The real part of the integral over Poynting vector represents the total average power while the imaginary part of the integral over Poynting vector is proportional to the difference between average stored magnetic energy in the volume and average stored energy in the electric field.

The $\frac{1}{2}$ factor appears because E and H fields represent peak values, and it should be omitted for root-mean-square (*rms*) values.

The total average power can, for example represent the radiated power by an antenna. In addition, the first volume integral on the right-hand side of (11) represents power loss in the conduction currents and it just twice the average power loss.

2. Determination of the Q-factor

The complex (apparent) power P_s , according to the notation of circuit theory, is given by left-hand side of (10):

$$P_s = \frac{1}{2} \int_A \vec{E} \times \vec{H} * d\vec{A} \quad (13)$$

and can be written, as follows:

$$P_s = P_{rad} + j2\omega(W_E - W_M) \quad (14)$$

where W_E and W_M are the energy stored in electric field and magnetic field:

$$W_E = \frac{1}{4} \int_V \varepsilon |\vec{E}|^2 dV \quad (15)$$

$$W_M = \frac{1}{4} \int_V \mu |\vec{H}|^2 dV \quad (16)$$

The Q factor is defined, as follows [1]

$$Q = \left| \frac{\text{Im}(P_s)}{\text{Re}(P_s)} \right| = \frac{2\omega(W_E - W_M)}{P_{rad}} \quad (17)$$

Therefore, the Q -factor directly stems from the Poynting theorem and is

simply obtained by the ratio of imaginary and real part of complex power (surface integral over complex Poynting vector). Thus, numerator represents active power in the notation of circuit theory, or average radiated power in the notation of the electromagnetic field theory, while the denominator pertains to the reactive power or measure of the energy stored in the electric and magnetic field, respectively.

3. Quality factor Q of Hertz Dipole in Free Space

Hertz dipole of physical length Δl , as electrically small antenna (ESA) represents the simplest radiating system. The geometry of Hertz dipole in free space with uniform current I_0 along the wire is shown in Fig 1.

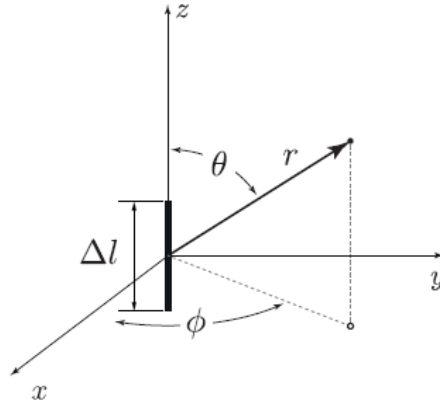


Fig. 1. Hertz dipole in free space

The complete electromagnetic field components radiated by Hertz dipole in free space are:

$$E_r(r, \theta) = Z_0 \frac{I_0 \Delta l}{2\pi r^2} \left[1 + \frac{1}{jkr} \right] e^{-jkr} \cos \theta \quad (18)$$

$$E_\theta = jZ_0 \frac{kI_0 \Delta l}{4\pi r} \left(1 + \frac{1}{jkr} - \frac{1}{(kr)^2} \right) e^{-jkr} \sin \theta \quad (19)$$

$$H_\phi = j \frac{kI_0 \Delta l}{4\pi r} \left(1 + \frac{1}{jkr} \right) e^{-jkr} \sin \theta \quad (20)$$

where k is a phase constant, and Z_0 is the free space impedance.

Note that ESA implies an antenna inside a sphere of radius $a = 1/k$. the minimum radius of a sphere, a , which encloses a lossless antenna, is related to the maximum

quality factor of the antenna, Q . As it is well-known, ESA positioned within a given volume has relatively small value of Q which corresponds to a limit of its impedance bandwidth.

The complex Poynting vector (6) for Hertz dipole is:

$$\vec{S} = \frac{1}{2} (\vec{E} \times \vec{H}^*) = \frac{I^2 (\Delta l)^2}{32\pi^2} \omega \mu \frac{(kr)^3 - j}{r^5 k^2} \sin^2 \theta \cdot \vec{e}_r - j \frac{I^2 (\Delta l)^2}{32\pi^2} \frac{1+r^2 k^2}{r^5 k} \sin(2\theta) \cdot \vec{e}_\theta \quad (21)$$

and, consequently, by integrating (21) one obtains the apparent power for $r=a$:

$$P_s = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{I^2 (\Delta l)^2}{32\pi^2} \omega \mu \frac{(kr)^3 - j}{r^5 k^2} \sin^2 \theta \cdot r^2 \sin \theta d\theta d\phi = \frac{I^2 (\Delta l)^2}{12\pi} \omega \mu \left(k - j \frac{1}{k^2 a^3} \right) \quad (22)$$

The Q factor as defined by (17) is then [1]:

$$Q = \left| \frac{Im(P_s)}{Re(P_s)} \right| = \frac{2\omega(W_E - W_M)}{P_{rad}} = \frac{\frac{I^2 (\Delta l)^2}{12\pi k^2 a^3} \omega \mu}{\frac{I^2 (\Delta l)^2}{12\pi} k \omega \mu} = \frac{1}{k^3 a^3} \quad (23)$$

Note that the minimum value radius of a sphere a is related to the maximum value of quality factor of the antenna Q .

Conclusion

The paper reviews some fundamental concepts of the energy stored in the antenna electromagnetic field pertaining to the fundamental limits corresponding to the antenna size. Of particular interest is to analyze a correlation between electric/physical dimensions of the antenna and Q -factor. Maxwell equations can be obtained from the least action principle in classical electromagnetics and the general law of the energy conservation in the macroscopic electromagnetic field can be readily derived from two curl Maxwell equations. Finally, the quality factor (Q -factor) is obtained from the Poynting theorem as the ratio of imaginary and real part of complex power (surface integral over complex Poynting vector) for the case of

Hertz dipole in free space.

References

- [1] Manteghi, M, Fundamental Limits, Bandwidth, and Information Rate of Electrically Small Antennas, *IEEE AP Magazine*, pp.14-26, June 2019.
- [2] Alzahed, A. M., Mikki, S.M., and Antar, Y.M.M Stored energy in general antenna system: A new approach, *Proceedings of European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 1-4, 2016.
- [3] McLean, J.S. A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas, *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 44, no. 5, pp. 672, 1996.

Dragan Poljak

O pohranjenoj energiji u elektromagnetskom polju antene i pridruženim ograničenjima u prijenosu informacije

Sažetak: U radu se razmatraju fundamentalni koncepti očuvanja energije u elektromagnetskom polju u vidu Hamiltonovog principa u elektromagnetizmu i Poyntingovog teorema, s posebnim fokusom na analizu poveznice energije pohranjene u elektromagnetskom polju antene te fundamentalnih ograničenja koja proizlaze iz dimenzija antene. Posebno je od interesa prodiskutirati korelacije između električkih i fizičkih dimenzija antene te njenog faktora dobrote i efikasnosti zračenja što je ključno za procjenu maksimalnog mogućeg prijenosa informacije. Provedena je demonstracija izloženih teorijskih koncepata na primjeru Hertzovog dipola.

Ključne riječi: Hamiltonov princip, Poyntingov teorem, pohranjena energija, temeljna ograničenja antena

Franjo Jović, Borislav Balać

Entropijski modeli sigurnosti

Sažetak: Entropija je povijesni inženjerski alat izučavanja svrsishodnih mehanizama, a ponajviše strojeva s unutrašnjim izgaranjem (otac i sin Carnot, 1803). Pojavom Carnapa (1956) entropija postaje alat upotrebljiv pri istraživanju svrsishodnosti struktura i informacije u prostoru i vremenu. Prikazana je razrada Carnapove entropije na jednostavne sigurnosne situacije. Dana je osnovna informacijsko-sigurnosna mjera. Složenije sigurnosne situacije poput pandemije zahtijevaju holistički pristup sigurnosnim postupcima gdje se mora uključiti impersonalnost kontrole štićenog prostora. Dan je primjer jednog takvog rješenja.

Ključne riječi: entropijska mjera, štićeni prostor, neosobni nadzor, pandemija

Uvod

Postoji više definicija pojma sigurnosti. Sam pridjev 'siguran' označava (Collins): 1. Nepostojanje opasnosti, štete... 2. Oslobođenje od straha, brige ..., 3. U sigurnom posjedu, 4. U stanju kada neće promašiti, olabaviti se, izgubiti se... 5. Oslonjiv, izvjestan. Prema Fischeru i Greenu „sigurnost podrazumijeva stabilni i relativno predvidiv okoliš u kojem neki pojedinac ili grupa može izvršavati svoje postupke i operacije bez štete ili straha od smetnji ili ugroza“ [1]. Uobičajena definicija sigurnosti može biti: plaćena usluga u zaštiti ljudi, informacije ili vrijednosti za osobno ili zajedničko dobro, Craighead [2]. Osobna ili komercijalna sigurnost se može smatrati kao dobava plaćenih usluga kojima se sprečava neželjeno, nedozvoljeno ili štetno postupanje s organizacijskim dobrima, Post i Kingsbury [3].

U proširenju na državnu sigurnost ovo se miješa i grana u dva smjera: vojna i policijska sigurnost, Brooks [4], gdje je s jedne strane korištenje resursa

za obranu ljudi od vanjske agresije a s druge strana korištenje resursa za kontrolu vlastitih građana. Neki autori pod sigurnosti smatraju prevenciju kriminalnih radnji, tehnologiju sigurnosti, upravljanje rizikom ili prevenciju gubitaka, Coole i Brooks [5]. Sigurnost može biti sve od navedenog čime se samo zamagluje pojedinačno određeni interes cilja sigurnosti. Sigurnost može predstavljati jako različito značenje za razne ljude, s obzirom na vrijeme, mjesto i kontekst situacije ili procesa, Davidson [6]. Američko društvo za industrijsku sigurnost (ASIS) je ustanovila da svaki puta kada mislimo da smo postavili definiciju sigurnosti, ista nam izmakne.

Sigurnost (engl. security) se po učestalosti najviše pojavljuje kao sinonim s pojmom zaštite a po sličnosti s pojmom stabilnosti. Ne treba je brkati s pojmom procesne sigurnosti (engl. safety) koja se primarno odnosi na osobnu ugroženost u rizičnim situacijama, dakle na neugroženost, bezbjednost, stanje tehničke opreme i prometa u procesnoj namjeni, službi prometa, kretanja po vanjskom prostoru ili u sličnim rizičnim situacijama. Dakle sigurnost (security) se odnosi na *zaštićenost organizacije* od vanjske i unutrašnje ugroze a osobna bezbjednost (safety) na *smanjenje izloženosti riziku pojedinca* pri izvršavanju svojih zadataka.

Strukturalno je sigurnost povezana s dva vida entropije: termodinamičkom i Carnapovom entropijom. Termodinamička entropija razmatra vremensku degradaciju nekog objekta uređaja ili procesa. Carnapova entropija razmatra *aranžmana okolnosti uporabe danog sklopa, uređaja ili sustava tako da se prilagođuje danoj svrsi* [7], u ovom slučaju sigurnosti.

1. Pad razine sigurnosti

Pad razine sigurnosti definira se kao degradacija mikroskopskih sastavnica preko cijelog sigurnosnog sustava kao rezultat promjene znanja, kulture ili ekonomskih čimbenika, Coole i Brooks [5]. Upravljanje sigurnošću trebalo bi primarno biti usmjereno na upravljanje entopijskim procesima koji degradiraju projektiranu razinu sigurnosti sustava. Kada se dogodi degradacija ona slijedi učinak kretanje odozdola prema gore (bottom-up). Entopijskim učincima može se dati mjera kako bi se ona mogla primijeniti na projektiranje, primjenu i vođenje održavanja učinkovitog sustava sigurnosti organizacije.

Osnovno svakom mjerenju sigurnosnog sustava jest postojanje modela ponašanja njegovog probijanja.

Protumjere izvodi funkcijom zastrašivanja, detektiranja, kašnjenja, odgovora i oporavka su onda praktične mjere koje se poduzimaju u sustavu zaštite a prema modelu probijanja [1,5]. Da bi sustav zadržao svoju učinkovitost ove funkcije je najbolje primjenjivati slijedno. Ove funkcije su međutim izložene degradaciji koja vodi do grešaka u sigurnosnom odzivu. Zbog inherentne dijalektičnosti da veći stupanj sigurnosti dovodi do njezine veće samozaključanosti potrebno je razmotriti i holonski pristup.

1.1. Holonski model sigurnosnog sustava

Potpuno drugačiji pristup degradacije sigurnosti postoji u holonskom modelu svijeta Kena Wilbera [8]. U koncepciji svijeta po Kenu Wilberu holon je osnovna gradbena jedinica hijerarhije. U hijerarhije međutim vladaju odnosi koje možemo sa stajališta sigurnosti najkorisnije opisati kao empatičnima: niži sloj se podvrgava apsolutno pod ingerenciju višeg sloja a viši sloj posjeduje neograničenu pozitivnu emociju – ljubav – prema nižem sloju. Ovakav svijet beskompromisno postoji na atomsko- molekularnoj razini dok se izmiče na višim razinama hijerarhije holona, da bi naoko potpuno izbljedio u sigurnosnim sustavima, koja barataju pojmom ugroženost ili straha kao njegovom psihološki manifestnom iskazu, kao antipodu empatije.

Dakle po Wilberu bi snižavanje sigurnosti nastalo iz pada empatije u sustavu. Svjedoci smo namjernom ili manipuliranom porastu straha i padu empatije u društvu te tim prije porastu sigurnosnih ugroza.

2. Entropijski model – osnovni tipovi i primjene

Entropijski model svijeta dosta je konfuzan i naoko proturječan, jer izgleda da postoji onoliko entropija koliko postoji procesa. Tu situaciju možda najbolje opisuje jedna rečenica von Neumanna (cit.): „Nitko ne zna što je zapravo entropija“ [9]. Četiri su glavna pitanja koja se postavljaju pred entropijom. 1. Koliko entropija postoji? 2. Koje je fizikalno značenje entropije.

3. Je li entropija subjektivna ili objektivna veličina. 4. Je li entropija na bilo koji način povezana s informacijom [7]. Entropijski model sigurnosti primjenjiv je na degradacijske procese i opisan je u radu Coolea i Brooksa [5].

Bez obzira na koji pojam entropije se pozivamo, radimo ili sa skupovnim, masovnim pojavama, kao kod termodinamičke entropije ili s pojedinačnim situacijama kao kod Carnapove entropije [7].

2.1 Razrada modela rizičnosti po Carnapu

Ciljna ili teleonomska entropija razmatra entropiju pojedinačnih objekata u nekoj ciljnoj strukturi. Npr. entropiju rasporeda stolaca u učionici u svrhu uočavanja postignutog „reda u učionici”. Mjera podjele prostora u tom slučaju određuje prostorne segmente Voronojeva dijagrama koje „zauzimaju” pojedini predmeti¹. Odnos veličina tih prostora i njihova razdioba prema traženoj ciljnoj raspodjeli „reda u učionici“ određuju trenutno stanje ciljne entropije.

Teleonomsku entropiju je prvi izrazio filozof Rudolf Carnap (1956.). Ona obuhvaća izračun informacije u danom prostoru stanja prema informaciji željenog prostora stanja, i dinamiku tog kretanja [7].

Temeljno pravilo Carnapove entropije jest da entiteti ustroja pravično dijele svoj fazni prostor. Entiteti su obično pretpostavljeni kao točkasti elementi, zvani mjerne točke. U konačnici logaritam udjela prostora entiteta ustroja pomnožen s udjelom daje informacijski sadržaj udjela tog entiteta. Zbroj svih informacijskih sadržaja svih entiteta daje iznos entropije danog ustroja u danom faznom prostoru. No mjera je uvijek bit po jedinici volumena faznog prostora, npr bit/m^3 .

Rudolf Carnap (1956) uveo je opći, n -dimenzijski, prostor sustava koristeći sustavski prostor od n varijabli unutar teorijskih granica od R^μ , μ je u maksimumu jednak n . Svaka sustavska varijabla u_i , u gornjem slučaju

¹Georgij Voronoj (1868–1908), ruski i ukrajinski matematičar

prostorne varijable X i Y dana je unutar svojih minimalnih i maksimalnih granica vlastitog prostora ϕ_i . Tako svaki dvo, tro ili više – dimenzijski prostor proizvodi pripadni Voronojev dijagram. Odgovarajući prostor e_j koji određuje neka ćelija u tom prostoru dan je za svaku mjernu točku $b_j(u_{i1}, u_{i2})$ kriterijem najmanjeg razmaka prema susjednim ćelijskim mjernim točkama.

Povezivanja relativnog omjera svakog zauzetog prostora i teorijske granice mogućnosti prostiranja istog, dvojni logaritam te relacije naziva se Carnapova entropija² [7,10]

$$I_C = -\sum_j \frac{e_j}{R^\mu} \ln \frac{e_j}{R^\mu} \text{ (bit/volumen prostora stanja)} \quad (1).$$

Carnapova entropija ne daje neka objašnjenja za slučaj da elementarne mjerne točke nisu istog sadržaja, npr iste mase!

2.2 Carnapov jednostavni model sigurnosti

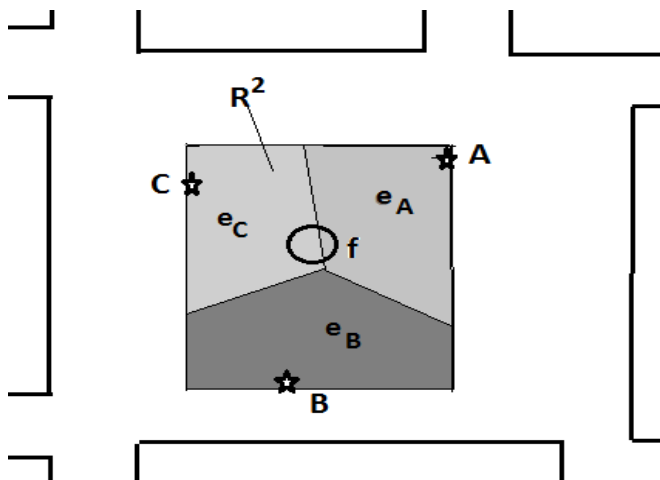
Carnapov jednostavni model sigurnosti ilustriran je slikama 1. i 2. [7]. Vremensko-prostorna trajektorija sustava proizvodi dinamički Voronojev dijagram koji se može obilježiti i usporediti sa željenom teleonomskom trajektorijom sustava. Odatle Carnapova entropija može mjeriti entropiju teleonomskih sustava. Znajući da su svi tehnički uređaji ciljane namjene onda je Carnapova entropijska mjera njihov prirodni informacijski alat.

Razmotrimo jednostavan primjer, slika 1., gdje je nadzorna kamera na većem trgu u jednom trenutku identificirala tri potencijalno opasne osobe, A, B i C. Zanimarimo li ostale osobe i ogradimo li njihov maksimalni prostor, zvan fazni prostor R^2 koje one obuhvaćaju te ga 'pravično podijelimo' među njima dobili smo Voronojev dijagram Carnapove entropije u dvije dimenzije za te osobe. Iz relativnog udjela faznih podprostora su e_A , e_B i e_C u faznom prostoru

² Dok se Voronojev dijagram odnosi na općenitu pravilnost zauzimanja prostora za Carnapovu entropiju to mora biti minimalni prostor rasprostiranja kinematičkih točaka tijela, odnosno ćelija, relevantnih za dani opis aranžmana okolnosti.

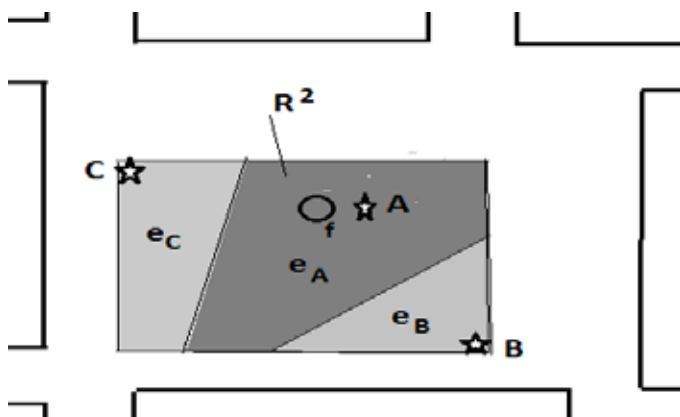
R^2 mogli bismo izračunati određenu mjeru rasporeda praćenih osoba, zvanu Carnapova entropija, no zaključiti o nečemu možemo tek kada bismo znali kakav je dogovor među praćenim osobama, to jest što im je cilj.

Slika 1. Prikazuje rizičnu situaciju prikazanu u radu [9].



Sl. 1. Voronojev dijagram Carnapove entropije za situaciju kada tri potencijalno opasne osobe A, B i C eventualno planiraju odložiti nešto u fontanu 'f' na trgu; pripadni prostor je R^2 a podprostori su e_A , e_B i e_C dobiveni kriterijem najmanjeg razmaka prema susjednoj mjernoj točki (A, B ili C)

Slika 2. prikazuje ciljnu situaciju kada osoba A prilazi fontani. Razvidna je promjena u podjelama faznog prostora R^2 prema slici 1. Ona odražava i u kontinuiranoj promjeni entropije prikazane scene. No istu entropiju dobili bismo ako bi se zamijenile uloge osoba, što ukazuje na određene granice entropijskog opisa u smislu praćenja svrsishodnosti situacije. No ako bismo znali cilj akcije terorista entropija bi mogla biti egzaktno mjerilo izvršenja tog cilja čak i prije njegovog izvršenja. Dakle, slika 2. prikazuje promjenu te situacije.



Sl. 2. Ciljna situacija na trgu: osobe C i B su očigledno poslužile za odvlačenje pozornosti a osoba A je prišla fontani; vidljive su razlike u udjelima u faznom prostoru sada prema onima na slici 1.

2.3. Proširenje primjene Catnapove entropije na sigurnosni prostor

Dva su osnovna pitanja na koja Carnapov entropijski model ne daje odgovor u kontekstu ciljnosti danog aranžmana okolnosti. Što kada su čestice u gibanju iz formule (1) nejednake i kako odrediti njihovu nejednakost u primjeni na sigurnosnu situaciju? Više je mogućih ishoda, ako zanemarimo varijable brzine kretanja i orijentiramo se tako na Voronojev prostorni pristup, od kojih izdvajamo dva:

1. dodjela diskretnih razina djelovanja na sigurnost pojedinim 'česticama'
2. dodjela kontinuiranih razina djelovanja na sigurnost pojedinim česticama

Ovdje zanemarujemo sinergijski učinak dviju i više 'čestica' u sigurnosnoj procjeni.

Međutim kakvugod vrstu razine odabrali ovaj faktor težine pojedine razine utječe na izraz u formuli (1). Ona naprosto ne pristaje uz navedene pretpostavke. Probajmo preurediti stoga formulu (1) tako da izbacimo brzine i uvedemo težine uz svaku 'česticu'.

Preuređena formula sada glasi

$$l_{cS} = \sum_i^N \frac{e_i \cdot w_i}{R} \lg \frac{e_i w_i}{R}, \text{ bit}/R \quad (2),$$

gdje je w_i težinski koeficijent procjene ugroze svake 'čestice' a R je jednak

$$R = \sum_1^N e_i w_i \quad (3).$$

Primjerice za slučaj sa slike 2. i uz pretpostavku da se prostori geometrijski dijele na čestice A, B i C kao $e_A = \frac{2}{5}$, $e_B = \frac{7}{20}$ i $e_C = \frac{1}{4}$ tada je Carnapova entropija jednaka

$$I_C = -\left(\frac{2}{5} \lg \frac{2}{5} + \frac{7}{20} \lg \frac{7}{20} + \frac{1}{4} \lg \frac{1}{4}\right) = -(-0,5288 - 0,5301 - 0,4999) = 1,5588 \text{ bit}/m^2$$

, a ako se pretpostave težine ugroza za česticu A kao 3, za česticu B kao 2 a za česticu C kao 1 onda je izraz za sigurnosnu Carnapovu entropiju u trenutku promatranja sa slike 2. a prema formuli (2) jednak

$$I_{CS} = -\left(\frac{24}{43} \lg \frac{24}{43} + \frac{14}{43} \lg \frac{14}{43} + \frac{5}{43} \lg \frac{5}{43}\right) = -(-0,4135 - 0,5272 - 0,3611) = 1,3018 \text{ bit}/Sm^2$$

, gdje je oznaka mjerne jedinice S mjera procjene ugroze po prostornom metru površine.

Za slučaj podjednakih podjela Carnapova prostora kao sa slike 1. $I_C = -3\left(\frac{1}{3} \lg \frac{1}{3}\right) = 2,059 \text{ bit}/m^2$, a ako je težina ugroza za A jednaka 3, za B jednaka 2 te za C jednaka 1 onda je sigurnosna Carnapova entropija jednaka

$$I_{CS} = -\left(\frac{1}{6} \lg \frac{1}{6} + \frac{1}{3} \lg \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \lg \frac{1}{2}\right) = 1,7397 \text{ bit}/Sm^2$$

2.4. Brzina promjene sigurnosne situacije

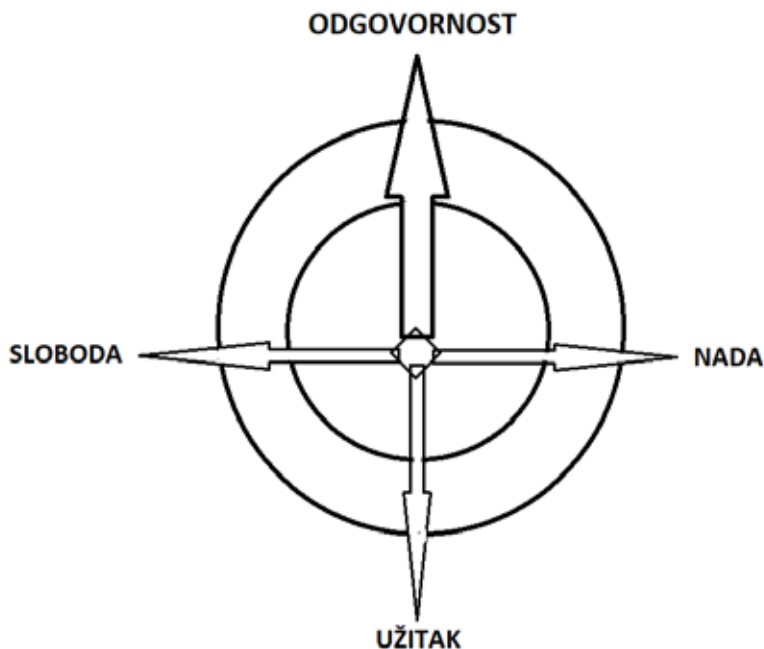
Brzina promjene sigurnosne situacije je složena mjera jer ovisi o brzini kretanja sigurnosnih agenata na sceni, njihovih međusobnih odnosa i promjena motiva s promjenom situacije. Tu odlučujuću ulogu igra faktor iznenađenja, kojim mogu biti podjednako pogođene i „obrambena“ i „napadačka pozicija“. Uz pretpostavku da je motivacijska komponenta postojana i da ulogu igra „raspored agenata“ u „ciljnoj formaciji“ onda je mjera procjene rizika jednaka mjeri postizanja „ciljne formacije“, odnosno Carnapova mjera odstupanja od te situacije. Zbog simetričnosti Carnapove mjere onda je najjednostavnije pratiti brzinu ispunjenja trajektorije agenata prema ciljnoj situaciji [10].

3. Složene sigurnosne ugroze

Pandemija predstavlja složenu sigurnosnu ugrozu jer svaki pojedinac predstavlja potencijalnog širitelja ugroze i istodobno žrtvu ugroze. Svijest o svojoj potencijalnoj opasnosti i istodobno ugrozi različito se manifestira kod pojedinaca i skupina. Pojedinac istodobno osjeća ograničenu slobodu npr kretanja ili druženja ali i odioznost prema potpunoj slobodi kretanja zbog mogućnosti zaraze. Ovu paradoksalnu situaciju opisuje više varijabli ljudskog ponašanja: sloboda, nada i tijek (užitak); u originalu: *freedom, hope and flow* [11]. Autor Csikszentmihalyi [12] argumentira da održavanje ljudske svijesti od atrofije zahtijeva brigu vlasti i njihovih aktivnosti prema ljudima kojima bi trebale spriječiti njihove zajednice od patnje, propadanja i smrti. U ovoj paradoksalnoj situaciji autor Kabigting [11] predlaže odgovornost kao četvrto stanje ljudske svijesti koja se operacionalizira u svjetlu teorija paradoksa koja omogućuje procvat ljudskosti i društva.

Odgovornost (engl. responsibility) ili osjećaj odgovornosti poziva se na obvezu zadovoljavajućeg obavljanja zadatka na osobnoj, organizacijskoj ili upravljačkoj razini izvedbe (11). Odgovornost se razlikuje od pojma ugovorne odgovornosti (engl. liability, accountability) koja je obvezna strana ponašanja neke stranke ili tvrtke. Odnosno, osoba preuzima odgovornost no nije utuživa zbog njezine provedbe. Opseg odgovornosti primarno pokriva pridružene ili operativne zadatke a ne preuzima moralne, etičke ili legalne vidove odgovornosti. Omogućavanje odgovornosti postaje ujedinjujući uvjet unutar slobode, nade i užitka [11].

Ovaj paradoks, koji prikazuje slika 3., navodi na definiciju paradoksa po Smithu i Lewisu [13], gdje su paradoks iskazi ili elementi koji su očigledno kontradiktorni po svojoj prirodi ili značenju ali koegzistiraju simultano i održavaju se u svom postojanju i prirodi te u ishodima osobnih i organizacijskih razlika. Ove razlike neizbježno rezultiraju u paradoksalnim tenzijama koje se mogu promatrati kao dileme ili suprotnosti, kao kompromisi i dijalektički parovi, ili se ispoljavaju kao paradoks koji utječe na način izbora ciljeva kojim se pojedinac izbavljuje od tenzije.



Sl. 3. Paradoks cjeline slobode, užitka i nade u ravnoteži s odgovornosti

Složene sigurnosne ugroze su svakako i pandemije jer se miješaju tehnički atributi sigurnosti (security) i procesne sigurnosti pojedine osobe (safety) da bi se na jednoj većem mjerilu postigao društveni cilj, obrana od pandemije.

4. Modeli uređaja za osiguranje prostora

Dva su osnovna modela uređaja za osiguranje prostora: nadzorno osobni i nadzorno impersonalni. Dok prvi podliježu zahtjevima iz GDPR standarda i EDPB smjernica drugi se mogu instalirati na svakom za vlasnika povoljnom mjestu. Oba uređaja moraju ustanoviti pridržava li se neka osoba unutar prostora šticećenja zahtjeva koje je izdao vlasnik prostora. Na temelju te procjene moguće je stupanj ugroze numerički odrediti korištenjem izraza (2) i (3).

No zahtjevi za obradom podataka u navedenim uređajima se bitno razlikuju. Da bi utvrdili drži li se netko propisanih preporuka dovoljno je u prvom modelu pamtiti njegovu sliku i naknadno ga prozivati na neposluh, dok je u drugom modelu indikacija neposluha anonimna i samo trenutno upotrebljiva.

Bez obzira na model, uređaj treba raspolagati s dovoljnom inteligencijom za izvršenje zadatka osiguranja prostora.

4.1. Izrada baze znanja i algoritam određivanja sukladnosti ponašanja sa zahtjevom sigurnosti

Koraci izrade baze znanja

Osnova baze podataka je 1000 visoko kvalitetnih sintetskih slika lica bez maske. Kako bi izgradili algoritam detekcije maske s visokom točnošću koristili smo tehniku augmentacije broja slika.

Na slici 4.a nalazi se nekoliko primjera slika iz baze znanja. Tehnika augmentacije slike koristi se kako bi se povećala baza podataka te tako dobio bolje prilagođeni algoritam za detekciju nošenja maske. Nad ulaznim slikama vršimo određene transformacije poput rotacije slike oko horizontalne osi, uvećanje i smanjivanje slike, nasumično izmjenjivanje svjetline slike kako bi dobili izmijenjene inačice ulazne slike. Za svaku sliku iz originalne baze znanja provodimo nasumične augmentacije odnosno izmjene te tako dobivamo još četiri različite izmijenjene slike, slika 4.b. Primjenom ove tehnike kao rezultat dobivamo bazu podataka koja sadrži 5000 slika te time osnovu za izradu boljeg i robusnijeg algoritma detekcije maske. Tehnika augmentacije slike koristi se i kao način za izbjegavanje prenaučivosti modela na slikama iz baze znanja. Prenaučenost modela predstavlja problem jer tada algoritam za detekciju maske vrlo loše generalizira te obavlja manje pouzdanu klasifikaciju na neviđenim slikama. Sprečavanjem prenapućivosti modela poboljšavamo točnost klasifikacije slika i robusnost samog algoritma.

Sljedeći korak se primjenjuje kako bismo dobili dodatnih 5000 slika lica koje nose masku.

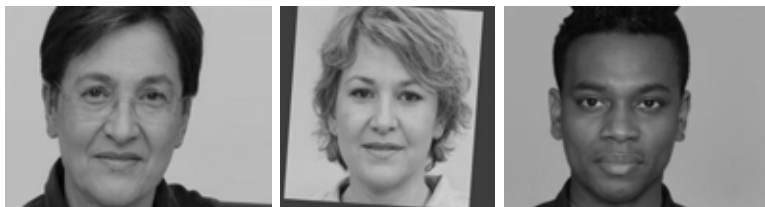
Proces se sastoji od prolaska kroz svaku od 5000 slika lica bez maske te detektiranja značajki lica. Detekcija značajki lica određuje gdje se na slici nalaze rubovi očiju, nosa, usta te crte rubova lica. To nam je potrebno kako bi na slike lica bez maske umetnuli sliku maske na odgovarajući dio lica. Navedeni program pronalazi značajke lica, određuje poziciju glave te aplicira sliku maske sa različitim uzorcima te različitim tipovima maske na dijelu lica gdje bi se inače nalazila maska. Rezultat programa nam daje 5000 slika lica koje sadrže masku na licu, slika 4.c.

Navedenom metodom dolazimo do dodatnih 5000 slika osoba koje nose maske. Inicijalna baza podataka od 1000 slika, sada sadrži 5000 slike osoba bez maske te 5000 slika osoba s maskom. Veličina baze podataka za izgradnju algoritma za detekciju maske daje nam dovoljno robustan model za primjenu u našoj aplikaciji.

Slika 4. Prikazuje dio korištene baze znanja za anonimno određivanje ispunjavanja temeljnog zahtjeva sigurnosti korištenja prostora – nošenja maske.



Sl. 4.a Početna baza slika za učenje



Sl. 4.b Augmentirana baza znanja za učenje

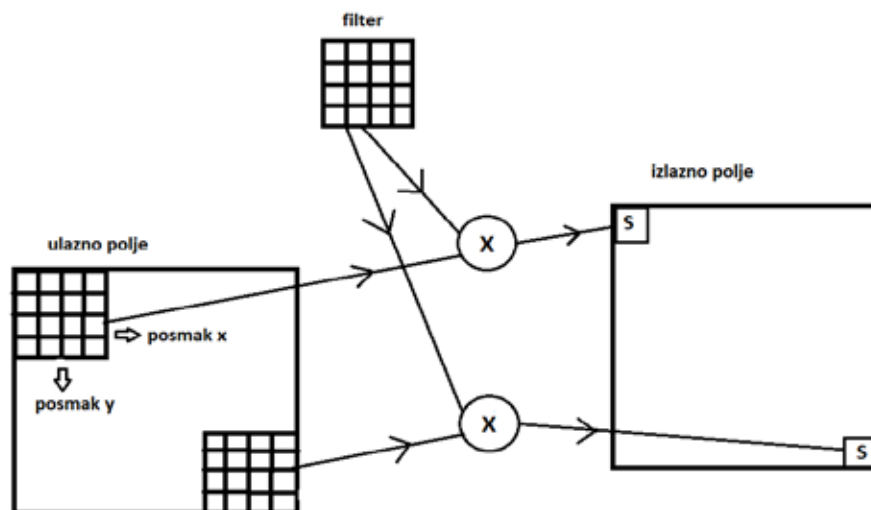


Sl. 4.c Početna baza znanja lica s atributom maske

Sl. 4. Tri osnovna koraka izgradnje baze znanja

Mehanizam učenja

Kao algoritam detekcije maske lica korištena je duboka neuronska konvolucijska mreža pod nazivom Xception [14]. Konvolucija je postupak opisan slikom 5. Glavni zadatak konvolucijskog sloja jest detektirati lokalne veze značajki s prethodnog sloja i preslikati iste na slijedeći sloj značajki. Kao rezultat konvolucija dobiva se receptivna polja značajki u dvodimenzijском prostoru smanjene veličine. Tako polje značajki skladišti informaciju gdje se osobina pojavljuje na slici i koliko dobro odgovara na postavljeni filter. Odatle se svaki filter uvježbava prostorno s obzirom na položaj gdje se nalazi u volumenu na koji se primjenjuje. U kontekstu rada konvolucijske neuronske mreže konvolucija je linearna operacija koja uključuje množenje skupa težine zvane filter s ulaznim 2D poljem. Filter je manji od ulaznog polja i neka vrsta množenja bez preljeva je primijenjena između dijela polja veličine filtera i filtera točka po točka. Rezultat tog jediničnog množenja točaka se zbraja i uvijek daje jednu vrijednost, skalar. Postupak se sustavno ponavlja odozgora nadolje i slijeva udesno po ulaznom polju. Koraci promjene kretanja se mogu mijenjati. Kada filter sadrži traženi detalj slike tada se taj detalj savršeno poklapa s dijelom slike gdje se on nalazi i skalarna vrijednost to posebno ističe. Ovime se ističe postojanje neke osobine a manje mjesto gdje se ta osobina nalazi.



Sl. 5. Postupak konvolucije kojom se značajke određene filterom preslikavaju s ulaznog polja na suženo izlazno polje traženih osobina

Duboke neuronske mreže su naziv za slojne operatore koji sadrže osim ulaznog i izlaznog sloja i dva ili više skrivena sloja. One omogućuju modeliranje vrlo kompleksnih nelinearnih zavisnosti kakve pronalazimo u podacima. Duboke mreže koje sadrže konvolucijske slojeve nazivaju se konvolucijske neuronske mreže i najviše se koriste u primjenama računalnog vida. Konvolucijske neuronske mreže osim strukturne informacije imaju za cilj iskoristiti i dvodimenzijsku informaciju iz piksela slike što uvelike doprinosi točnosti obavljanja zadatka prepoznavanja.

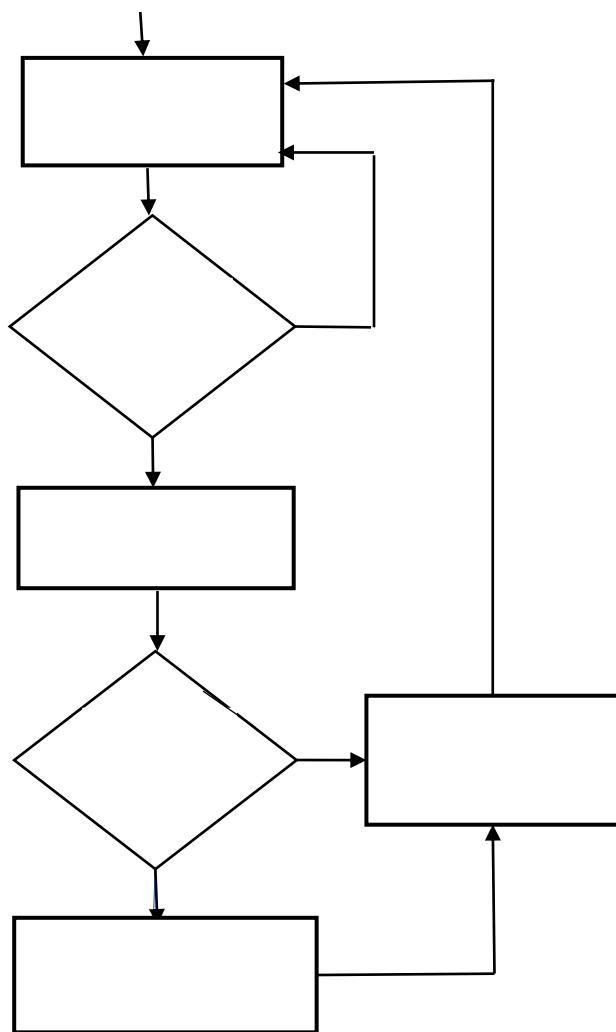
Kako bi Xception model s visokom točnosnu klasificirao slike lica sa i bez maski potrebno je označiti sve slike iz baze znanja u koju skupinu pripadaju. Xception arhitektura je konvolucijska neuronska mreža koja se u potpunosti temelji na dubinski odvojivoj konvoluciji sa preskočnim vezama. Varijanta dubinski odvojive konvolucije korištena u ovoj arhitekturi prvo obavlja 1x1 konvoluciju, zatim prostornu konvoluciju po kanalima slike (RGB). Između ta dva koraka ne koristi se aktivacijska funkcija. Nakon svakog konvolucijskog sloja, kao i sloja dubinski odvojive konvolucije, slijedi sloj

normalizacije nad grupom skalara. Normalizacija nad grupom doprinosi da mreže lakše uče na podacima koji su normalizirani, a to znači preslikani u podatke čija su srednja vrijednost ništica i imaju jediničnu varijancu. Osim pomoći u treniranju, normalizacija vrši regularizaciju dubokog modela te omogućuje korištenje veće stope učenja. Regularizacija sprječava prenaučенost modela te tako model bolje generalizira za nepoznate primjere.

Učenje se obavlja koristeći bazu znanja na način da za učenje mreže koristimo 70% slika iz baze znanja, 20% slika kao validacijski set slika. Dio od 10% slika mreža nije koristila za učenje nego za izračun točnosti klasifikacije. Učenje se obavlja dok se ne dosegne kriterij od 40 epoha. Jedna epoha predstavlja jedan prolazak svih slika za učenje kroz mrežu. Dakle učenje se završava nakon što sve slike za učenje izvrše izračun kroz model 40 puta. Nakon obavljenog učenja, naučena mreža se koristi za klasificiranje testnih slika. Na testnom skupu slika označeno je koje slike sadrže masku, a kojene, te tako možemo usporediti s izlazom mreže i izračunati točnost mreže na slikama koje mreža nije vidjela tijekom učenja. Navednim izračunom dolazimo do točnosti mreže od 93% odnosno do pogreška prepoznavanja maske od 7%.

Mehanizam prepoznavanja nošenja maske

Nakon izgradnje baze znanja i primjene postupka učenja pristupa se provjeri ispunjavanja kriterija zadovoljenosti ispunjenja osnovnog zahtjeva, nošenja maske,



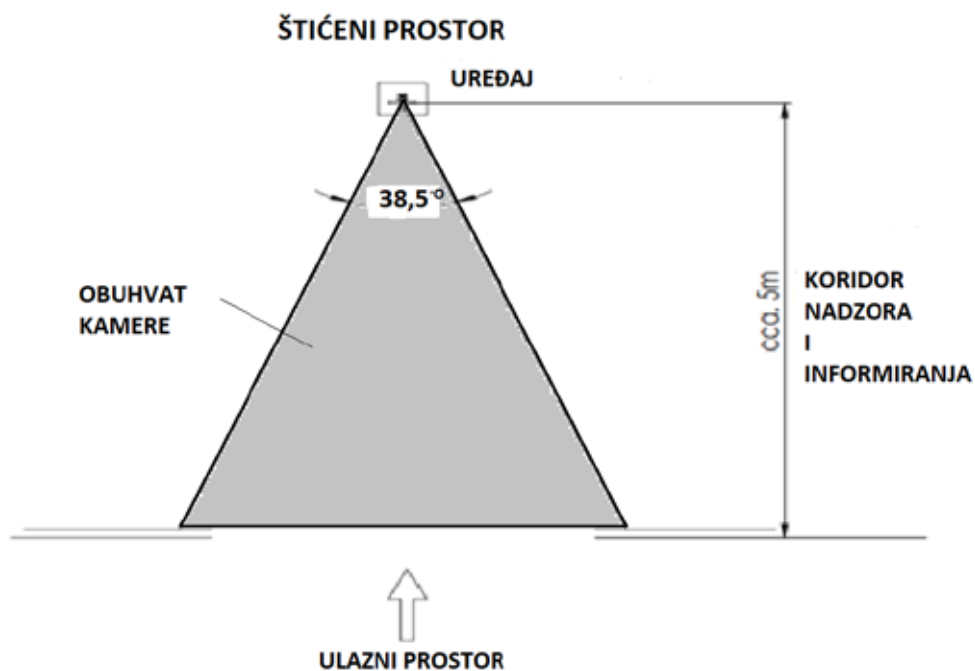
Sl. 6. Detaljniji dijagram toka kontrole nošenja maske

Pretprocesirana slika lica dimenzija 64x64 koristi se kao ulaz u algoritam za detekciju maske koji daje odluku da li osoba nosi masku. Ovisno o načinu rada aplikacije izdaju se informativne poruke ili poruke upozorenja.

Cijeli proces analize slike se obavlja unutar < 0.3 sekunde te se provodi na svaku dostupnu sliku iz prednje kamere. Sustav ima očekivano visoku točnost na udaljenosti do 6 metara od postavljenog tablet uređaja u konvencionalno osvijetljenom štićenom prostoru.

4.2 Postav u štićeni prostor

Primjer postava uređaja u nadzirani prostor dan je slikom 7. za slučaj štićenja ulaza u objekt. Na ovaj način prostor postaje 'teritorijalno inteligentan' [15].



Sl. 7. Postav uređaja u koridor nadzora i informiranja

Rasprava i zaključak

Ne postoji jedinstven entropijski pristup sigurnosnim procesima. Pristup preko termodinamičke entropije može biti pogodan za korištenje pri popuštanju sigurnosnih mjera s duljim protijekom vremena poput skrivenih kvarova u mehaničkim dijelovima sigurnosnog sustava ili nestanka sigurnosnih podataka na medijima nositeljima informacije. Drugi pristup zasnovan na Shannonovoj kodnoj entropiji, osim u teoriji kodiranja procesa, nema zdravo zasnovanu osnovicu jer je informacijsko-semantički potpuno indiferentan na promatrani proces. Treći pristup putem Carnapove entropije može obuhvatiti jednostavnije prostorno-sigurnosno okolnosti. Praćenje dinamike sigurnosne situacije može biti zamagljeno simetričnim izračunskim okvirom postupka, no svakako je nepristrano i dinamički dosta provedivo. Na prikazanom primjeru je uporabom algoritma za brzo raspoznavanje lica osigurana pravodobna reakcija uređaja od 0,6 s do 1,3 s, te depersonalizirano i prijateljsko ophođenje s korisnicima prostora na udaljenosti između 6 i 2 metra od uređaja.

Literatura

- [1] R.J. Fischer, G. Green, (2004) *Introduction to Security*. Boston, MA: Butterworth-Heinemann.
- [2] G. Craighead, (2003) *High-Rise Security and Fire Life Safety*. Woburn, MA: Butterworth-Heinemann.
- [3] R.S. Post, A.A. Kingsbury, (1991) *Security Administration: An Introduction to the Protection Services*. Boston, MA: Butterworth-Heinemann .
- [4] D.J. Brooks, *What is security: Definition through knowledge categorization*, 2009 Palgrave Macmillan 0955–1622, Security Journal 1–15.
- [5] M. Coole, D. J. Brooks, *Do security systems fail because of entropy?* Journal of Physical Security 7(2), 50--- 76 (2014).
- [6] M.A. Davidson, (2005) *A matter of degrees* . *Security Management* 49 (12) : 72 – 99 .
- [7] F. Jović, Ž. Kozlina, A. Jović, Informacija o svrsishodnim mehanizmima, 9. PIFT 2020.
- [8] V. Borš , *Integralna teorija Kena Wilbera*, FF press, Zagreb, 2012.
- [9] M. Popovic, *Researchers in Entropy Wonderland: A Review of the Entropy Concept*. <https://arxiv.org/abs/1711.07326>.
- [10] A. Pudmetzky, *Teleonomic Entropy Measuring the Phase-Space of End-Directed System*, Appl. Math. Comput. 162 (2) (2005) 695–705.
- [11] J. Kabigting, (2021). *Responsibility: Enabling Human Consciousness and Flourishing Using Paradox Theory*. *Academia Letters*, Article 368. <https://doi.org/10.20935/AL368>.
- [12] M. Csikszentmihalyi, M. (2014). *The politics of consciousness*. In T. J. Hämmäläinen & J. Michaelson (Eds.), *Well-being and beyond* (pp. 271-282). Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing.
- [13] W. Smith, M. Lewis, (2011). *Toward a theory of paradox: A dynamic equilibrium of organizing*. *Academy of Management Review*, 36(2), 381-403.
- [14] F. Chollet, *Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions*, <https://arxiv.org/abs/1610.02357>.
- [15] Ph. Dumas, J-Ph. Gardère, Y. Bertachini, *Contribution of socio-technical systems theory concepts to a framework of territorial intelligence*, Caenti Huelva Oct 2007.

Franjo Jović i Borislav Balać

Security Entropy Models

Summary: Entropy is a historic engineering tool for studying purposeful mechanisms mostly in combustion machines, father and son Carnot around 1803. Carnap proposed the entropy concept in 1956 for studying purposeful structure and information in time and space. Information-security measure based on Carnap entropy is proposed. More complex security situations like pandemy measure enforcement demand a holistic approach to security procedures where the impersonality of the surveillance of the protected area is the issue. An example of such an approach is presented.

Key words: Entropy measure, protected area, impersonal surveillance, pandemy

Ivan Flegar

Energija kao kvazimaterijalna veličina

„Stvarnost je klizava riba koja se može uhvatiti samo na udicu metafore.“

Ursula Le Guin (1929. – 2018.)

Sažetak: Energija je jedan od najvažnijih prirodoznanstvenih pojmova za opisivanje i objašnjavanje ponašanja fizičkih sustava. No, poimanje tog apstraktnog prirodoznanstvenog pojma nije lagana zadaća jer energija nije tvar, osjetilno iskustvo ili pojava, niti je izravno opažljiva ili mjerljiva fizikalna veličina. Važan korak prema razumijevanju prirodoznanstvenog pojma energije jest ako se energija polazno shvati kao kvazimaterijalna veličina. Temelj kvazimaterijalnog poimanja energije je konceptualna metafora: *Energija je tvar*. Ta metafora proizlazi iz zakona o lokalnom očuvanju energije. Iz te osnovne konceptualne metafore izvedeno je pet specifičnih konceptualnih metafora: energija kao tvar koja se može kvantificirati, može mijenjati oblik, može strujati, može biti nošena i koja se može uskladištiti. Svaka od tih konceptualnih metafora ističe i potiskuje različite karakteristike energije, no uzete zajedno one tvore jedan koherentan skup iskaza koji olakšava razumijevanje prirodoznanstvenog pojma energije.

Ključne riječi: energija sustava, konceptualna metafora, kvazimaterijalni pojam energije, prirodoznanstveni pojam energije, tvar, zakon o lokalnom očuvanju energije

Uvod

Energija je jedna od fizikalnih veličina koje su smislili prirodoznanstvenici i inženjeri da im pomognu u kvantitativnom istraživanju pojava u sustavima fizičkog

svijeta. Njezin se iznos može izračunati na temelju fizičkih promjena koje se događaju u nekom sustavu ili dijelovima sustava, npr. zbog promjene gibanja dijelova sustava ili promjene položaja sustava u odnosu na okolinu. Uzrok svih fizičkih promjena u sustavima su sile, a energija sustava je mjera za količinu promjene koja se dogodila ili se može dogoditi u sustavu [6]. Energija sustava nije izravno opažljiva niti izravno mjerljiva veličina, ona je apstraktan matematički pojam izvan opsega ljudskih osjetila i poimanja na temelju svakodnevnog iskustva. Jedini način kako pojedinac može „iskusiti“ energiju u prirodoznanstvenom (i tehničkom) smislu jest kada taj pojam koristi u proračunima i analizama pojava u sustavima fizičkog svijeta. Drugog načina nema.

Poteškoće nastupaju kada se taj apstraktan matematički pojam želi objasniti odnosno učiniti razumljivim. Put prema razumijevanju prirodoznanstvenog pojma energije bitno otežava i to što se riječ 'energija' učestalo upotrebljava u svakodnevnom govoru u vrlo različitim kontekstima, gdje kao i u nizu ljudskih djelatnosti (ekonomija, politika, sport i dr.) ima posve drugačije značenje nego u prirodnim znanostima i tehnicima. Tako se u svakodnevnom životu energija često povezuje s ljudskim aktivnostima ili motivima. Kaže se da je netko „pun energije“ ili da je „mnogo energije uložio u projekt“. Također, energija se u svakodnevnom životu uglavnom shvaća kao nešto što se proizvodi, kupuje, koristi i troši. Dakle, shvaća se kao resurs ili roba koja dolazi korisniku u različitim oblicima, kao što su to prirodni plin, ogrjevno drvo, ugljen, hrana i slično ili kao „električna struja na utičnici“. Prema tom laičkom (kolokvijalnom) poimanju energije, energija je neka vrsta tvari koja ima objektivnu opstojnost na isti način kao što ju imaju i svi drugi, prirodni i umjetni, fizički objekti u svijetu.

Jaz između laičkog i prirodoznanstvenog poimanja energije može se premostiti ako se energija shvati kao kvazimaterijalna veličina. Energija nije materijalne prirode, nije tvar, ali ima neka svojstva karakteristična za tvari (količinu, mogućnost strujanja, skladištenja, nošenja i mijenjanja oblika), što omogućuje da se o energiji govori na jednostavan i zoran način u terminima bliskim svakodnevnom iskustvu. U članku je pokazano da je kvazimaterijalni pojam energije, iako utemeljen na fizikalno netočnoj premisi da je energija tvar, u velikoj mjeri sukladan pojmu energije kako ga vidi klasična fizika i važan je korak prema razumijevanju prirodoznanstvenog pojma energije.

I. Prirodoznanstveni pojam energije

1.1. Što je energija

U prirodnim znanostima i tehnici energija je jedna od fizikalnih veličina kojima se kvantitativno opisuju pojave u fizičkim sustavima. Pri tome se pod fizičkim sustavom smatra pojedinačan fizički objekt u međudjelovanju s okolinom odnosno dva ili više fizička objekta u međusobnom djelovanju i/ili u međudjelovanju s okolinom. Fizikalne veličine nisu fizički objekti nego čiste tvorevine ljudskog uma. To znači da

je energija apstraktan, matematički pojam, kao što su to i masa, naboj, sila i druge fizikalne veličine.

Da bi se stekla jasnija predodžba zašto je prirodoznanstveni pojam energije tako interesantan, ali i važan u istraživanju pojava u fizičkom svijetu, možda je najbolje citirati američkog fizičara Richarda Feynmana koji u svojim, danas legendarnim, predavanjima iz fizike započinje analizu pojma energije ovim riječima [4, Vol. I., str. 4–1]:

„Postoji jedna činjenica, ili ako hoćete, jedan zakon, koji upravlja svim prirodnim pojavama za koje danas znamo. Nema izuzetaka od tog zakona – on je koliko zasad znamo točan. To je zakon o očuvanju energije. On kaže da postoji određena veličina koju nazivamo energijom, koja se ne mijenja u svim promjenama kroz koje prolaze prirodni procesi. To je najapstraktnija ideja, jer je to matematički princip; ona kazuje da postoji neka brojčana vrijednost, koja se ne mijenja kad se nešto dogodi. Ona nije opis nekog mehanizma ili bilo čega konkretnog; to je neobična činjenica da mi možemo izračunati neki broj i kad završimo promatranje prirode i svih njezinih trikova i ponovno izračunamo taj broj, to je taj isti broj.“

U tom se citatu nalaze, ali iz njega i proizlaze neke važne tvrdnje. Prvo, da energija nije nešto konkretno, neka tvar, ona je apstraktan, matematički pojam. To je brojčana vrijednost koja ostaje nepromijenjena tijekom svih fizičkih, kemijskih i bioloških procesa u prirodi. Pod prirodom se ovdje misli na fizički svijet u cjelini – svemir – dakle, na sve prirodno i umjetno stvoreno što opažamo našim osjetilima i mjernim uređajima. Zakon o očuvanju energije je jedan od velikih zakona očuvanja¹, vrijedi bez izuzetaka i globalno, tj. za cijeli fizički svijet. On je temeljno prirodno načelo, ne i idealizacija koju će prirodoznanstvenici jednog dana odbaciti nakon dubljeg istraživanja i razumijevanja prirodnih pojava. Zakon o očuvanju energije izražava na jedan specifičan način jedinstvo fizičkog svijeta povezujući različita područja fizike, kemije i biologije. Može se reći da bez zakona o očuvanju energije pojam energije ne bi postojao kao prirodoznanstveni pojam.

Drugo, energija nije opis mehanizma kojim se može objasniti kako se ili zašto neki proces odvija niti je sama po sebi uzrok ičemu. Za objašnjenje ili otkriće uzroka kako se i zašto neki proces odvija potrebno je upotrijebiti druge fizikalne veličine, kao što je to sila ili u spontanim procesima (termodinamička) entropija. Zakon o očuvanju energije ne predviđa što će se dogoditi, najviše što može jest predvidjeti ono što se ne može dogoditi, tj. svaki proces u kojem je taj zakon prekršen. Drugim riječima, ako

¹ Među velike zakone očuvanja u klasičnoj fizici ubrajaju se još i zakon o očuvanju količine gibanja, zakon o očuvanju momenta količine gibanja i zakon o očuvanju naboja. Svi vrijede globalno, tj. za čitav fizički svijet.

zakon o očuvanju energije nešto ne dopušta, zabrana je bezuvjetna i ne ovisi o eventualnoj sukladnosti s drugim fizikalnim zakonima. Ako zakon o očuvanju energije nešto dopušta, dopuštenje je uvjetno jer odvijanje nekog procesa mora biti u skladu i s odgovarajućim drugim fizikalnim zakonima. Isto tako, iz činjenice da je energija uvijek očuvana ne može se objasniti zašto se neki proces odvija u jednom smjeru a ne u suprotnom smjeru. Sa stajališta energije oba su smjera jednakovrijedna.

Treće, Feynman u citatu ne daje nikakvu fizikalnu definiciju energije. Samo stranicu dalje piše da je „važno shvatiti da mi u današnjoj fizici ne znamo što je energija“ [4, Vol. I., str. 4–2]. Unatoč tomu, u prirodoznanstvenoj i tehničkoj literaturi mogu se naći razne definicije energije. Najčešća definicija jest da je energija nekog (fizičkog) sustava fizikalna veličina koja opisuje sposobnost tog sustava da obavi mehanički rad². Ta je definicija preuska jer ne uzima u obzir ostale vrste rada: električni prijenos, elektromagnetsko zračenje, energiju mehaničkih valova i dr. Također, uzme li se u obzir da se u općem slučaju rad definira kao prijenos energije iz jednog sustava u drugi bez stvaranja entropije [8], ta je definicija cirkularna. Naime iz definicije energije sustava kao sposobnosti sustava da obavi rad, a rad je jedan od načina prijenosa energije, proizlazi da je energija sustava sposobnost sustava da prenosi energiju, što je očigledna tautologija. Sa stajališta tehničke termodinamike ta je definicija netočna jer ne uzima u obzir da se ni u idealnom kružnom toplinskom procesu sva energija sustava nikad ne može pretvoriti u (mehanički) rad.

Nepostojanje općeprihvaćene prirodoznanstvene definicije energije podsjeća na status koji imaju primitivni (osnovni) pojmovi u okviru nekog interpretiranog formalnog sustava. Tamo se pod primitivnim pojmom smatra svaki pojam koji u okviru pripadnog interpretiranog formalnog sustava nije eksplicitno definiran. Smisao i značenje nekog primitivnog pojma postaju razumljivi tek u zajednici s ostalim primitivnim pojmovima i postulatima tog formalnog sustava te ispravnom upotrebom u različitim situacijama. Osnovnost pojma energije u fizici jasno je ilustrirao američki fizičar Daniel Schroeder u udžbeniku termičke fizike [13, str. 17], ovim riječima:

„Da bih još bolje razjasnio o čemu je riječ, trebao bih vam sada stvarno dati preciznu definiciju energije. Nažalost, ja to ne mogu. Energija je najosnovniji dinamički pojam cjelokupne fizike i zbog toga vam ne mogu reći što je ona u terminima koji bi bili još osnovniji.“

Shvati li se energija kao primitivni pojam fizikalnih teorija, potraga za nekom

² Ne navodim literaturu koja daje tu definiciju energije jer je mnogobrojna i obično se može pronaći u starijoj literaturi. Modernija literatura je, posebno nakon Feynmanovih predavanja iz fizike, u tom pogledu opreznija pa se energija najčešće uopće ne definira. Dobar pregled povijesnog razvoja pojma energije i različitih definicija energije dan je u članku [6].

fizikalnom definicijom energije postaje suvišna. Kudikamo je važnije znati kako tu fizikalnu veličinu upotrijebiti u analizi procesa u fizičkim sustavima, nego imati točnu definiciju energije.

1.2. Zakon o lokalnom očuvanju energije

Zakon o očuvanju energije ne vrijedi samo globalno, on vrijedi i za svaki dio fizičkog svijeta koji se može smatrati izoliranim sustavom. Pri tome se pod izoliranim sustavom smatra svaki sustav koji je toliko udaljen od drugih fizičkih sustava da između njega i drugih sustava nema međudjelovanja. Očigledno, fizički svijet je idealno izoliran sustav. Zbog sveprisutne gravitacije, ne postoje drugi idealno izolirani sustavi. Svaki je dio fizičkog svijeta samo manje ili više izoliran od ostatka fizičkog svijeta.

Izolirani sustav valja, dakle, shvatiti kao model koji opisuje samo jedan aspekt fizičkog svijeta – stupanj međudjelovanja između tijela koja čine promatrani sustav i ostatka fizičkog svijeta. To znači i da pitanje je li neki dio fizičkog svijeta izoliran ili nije ovisi o pitanju na koje se želi odgovoriti pri analizi tog dijela fizičkog svijeta. Primjerice, ako se želi odrediti putanja Zemlje oko Sunca, dovoljno je promatrati Sunčev sustav kao izolirani sustav, tj. zanemariti djelovanje drugih zvijezda u bliskoj okolini. Ili, ako se želi odrediti koju će visinu doseći vertikalno izbačena loptica poznate mase i početne brzine, može se, zanemarujući otpor zraka, s prihvatljivom točnošću smatrati da je fizički sustav koji čine loptica i Zemlja izolirani sustav i dobiti željeni rezultat primijenivši zakon o očuvanju energije.

U stvarnosti većinu u praksi interesantnih sustava čine neizolirani sustavi, tj. sustavi čije se međudjelovanje s okolinom odnosno drugim sustavima ne smije zanemariti. Za te sustave zakon o očuvanju energije tvrdi samo da je eventualno nedostajuća energija sustava negdje u ostatku fizičkog svijeta. To je u primjeni teško provjerljivo, pa je samim time ta informacija od male praktične koristi.

Drugi je pristup analizi, a koji vrijedi za bilo koji pojedinačan sustav – izoliran ili neizoliran – da se primijeni zakon o lokalnom očuvanju energije. Taj zakon počiva na načelu lokalnosti za koji se smatra da vrijedi za sve zakone klasične fizike. Načelo lokalnosti izriče da na neki fizički objekt izravno utječe samo njegova neposredna okolina. Prema tom načelu, ako između dva prostorno odvojena fizička objekta postoji međudjelovanje, tada u međuprostoru mora postojati posrednik kojim se to međudjelovanje prenosi. U elektromagnetizmu taj je posrednik elektromagnetsko polje, dok je u mehanici taj posrednik gravitacijsko polje [1].

U tom se pristupu polazi od činjenice da se fizički svijet može uvijek zamisliti razdvojen na dvije cjeline: na analizirani sustav, koji zauzima dio prostora fizičkog svijeta, i okolinu, tj. ostatak fizičkog svijeta. Uzimajući u obzir načelo lokalnosti i zakon o očuvanju energije, vrijedi stavak da je svako smanjenje ili povećanje količine energije

nekoj sustava, odvojenog od okoline stvarnom ili zamišljenom granicom, u svakom trenutku uravnoteženo istodobnim povećanjem ili smanjenjem količine energije u neposrednoj okolini tog sustava.

Tim je stavkom formuliran zakon o lokalnom očuvanju energije. Uočimo da zakon o lokalnom očuvanju energije implicira zakon o očuvanju energije, dok obrat ne vrijedi.

Budući da zakon o lokalnom očuvanju energije vrijedi za sve sustave, polazište je u kvantitativnoj analizi pojava u sustavima. Za razliku od zakona o očuvanju energije, on govori samo o promjenama količine energije sustava, čime pomaže u traženju odgovora na važna praktična pitanja, kao što su „Koliko je energije nakon neke promjene u sustavu preneseno u okolinu?“ ili „Koliko je energije sačuvano u sustavu nakon neke promjene u sustavu ili okolini?“ i slična pitanja.

Ukupna količina energije sustava u praksi nije važna, osim u analizi nuklearnih procesa, gdje tek činjenica da su masa i energija tijela ekvivalentni omogućuje njihovo potpuno razumijevanje. U svim drugim slučajevima masu i energiju tijela valja shvatiti onako kako ih shvaća klasična fizika, tj. kao međusobno nezavisne pojmove (fizikalne veličine). Tako će ih se interpretirati i u nastavku ovog teksta.

1.3. Kinetička, potencijalna i unutrašnja energija sustava

Kao što je u uvodu istaknuto energija nekog sustava je mjera za količinu promjene koja se dogodila ili se može dogoditi u tom sustavu. Ta se promjena očituje ili kao preraspoređivanje čestica sustava³ ili kao preraspoređivanje makroskopskih dijelova sustava (fizičkih objekata) pod djelovanjem sila u sustavu ili na sustav ili se obje promjene odvijaju istodobno.

Svaka čestica sustava može se istodobno promatrati na dva različita načina; s jedne strane čestica je „pojedinaac“, dok je s druge strane čestica dio sustava. Time što je dio sustava, čestica je u međudjelovanju s drugim česticama posredstvom gravitacijskog i/ili elektromagnetskog polja u kojima je uskladištena energija koja se naziva potencijalna energija međudjelujućih čestica. No, neovisno o tome postoji li ili ne postoji djelovanje između čestica, svaka pojedinačna čestica ima energiju samim time što postoji, tzv. energiju mirovanja čestice, a ako se giba posjeduje energiju gibanja koja se naziva kinetička energija čestice.

U okviru klasične fizike energija mirovanja čestica je konstantna, tj. ne ovisi o promjenama koje su se dogodile ili se mogu dogoditi u sustavu. To znači da je za određivanje energije sustava, tj. mjere za količinu promjene u sustavu, potrebno znati

³ Pod česticama sustava razumijevaju se u ovom tekstu mikroskopski dijelovi sustava – atomi i molekule.

samo ukupnu kinetičku energiju čestica i ukupnu potencijalnu energiju međudjelujućih čestica. No, broj čestica koje tvore pojedini fizički objekt je neshvatljivo velik. Primjerice, u 1 cm^3 bakra ima oko $8,4 \cdot 10^{22}$ atoma, dok u 1 cm^3 vode ima oko $3,3 \cdot 10^{22}$ molekula. Zbog toga je određivanje energije sustava na temelju kinetičke energije čestica i potencijalne energije međudjelujućih čestica sustava neprovedivo. Za određivanje energije sustava potrebno je uz kinetičku energiju sustava i potencijalnu energiju sustava, koje se određuju na temelju gibanja i promjene položaja makroskopskih dijelova sustava, uzeti u obzir i ukupnu energiju čestica. Ta se energija naziva unutrašnja energija sustava; makroskopska je fizikalna veličina kojom se uzima u obzir nerazmršiva povezanost kinetičke energije i potencijalne energije enormnog broja međudjelujućih čestica u fizičkim objektima sustava.

Kinetička energija sustava jednaka je zbroju translacijske kinetičke energije težišta sustava, rotacijske kinetičke energije oko težišta sustava i energije pridružene radijalnom gibanju dijelova sustava u odnosu na težište sustava. Također, u kinetičku energiju sustava ubraja se i magnetska energija, tj. energija uskladištena u magnetskom polju [15]. Potencijalna energija sustava jednaka je zbroju gravitacijske, elastične, električne i kemijske potencijalne energije sustava [7]⁴.

Unutrašnja energija sustava je ukupna energija čestica promatrana iz referentnog sustava promatrača koji miruje u odnosu na težište sustava. Tim je ograničenjem osigurano da kinetička energija sustava zbog njegovog gibanja prostorom kao ni potencijalna energija sustava zbog djelovanja vanjskih polja sila (gravitacijskog i/ili elektromagnetskog) na sustav nisu uključene u unutrašnju energiju sustava. Unutrašnja energija sustava je korelirana s temperaturom sustava i njegovim agregatnim stanjem. Uključuje kinetičku energiju zbog nasumičnog translacijskog, rotacijskog i oscilatornog gibanja molekula sustava, oscilatornu potencijalnu energiju zbog sila između atoma u molekulama i električnu potencijalnu energiju zbog sila između molekula [14, str. 591].

Istaknimo još da kinetička energija sustava i potencijalna energija sustava nisu intrinzična svojstva sustava jer ovise o položaju promatrača, tj. njegovog referentnog sustava. Primjerice, ako se referentni sustav promatrača giba istom brzinom i u istom smjeru kao promatrani sustav, translacijska kinetička energija sustava jednaka je nuli. Isto tako i gravitacijska potencijalna energija sustava može, ovisno o referentnom sustavu promatrača, imati vrijednost po volji pa i negativnu vrijednost. U analizi pojava u nekom konkretnom sustavu to ne predstavlja poteškoću jer su tada važne samo vrijednosti promjene količine kinetičke i potencijalne energije a ne

⁴ Pridjevima 'translacijska, rotacijska, magnetska, gravitacijska i dr.' uz kinetičku odnosno potencijalnu energiju sustava istaknuti su različiti načini gibanja odnosno međudjelovanja u sustavu.

i njihove apsolutne vrijednosti. Bitno je samo da je tijekom analize fiksiran referentni sustav promatrača.

2. Kvazimaterijalni pojam energije

2.1. Pojam konceptualne metafore

Riječi i jezični izrazi kojima se prirodosnanstvenici i inženjeri služe pri objašnjavanju energije, kao i sličnih apstraktnih pojmova, mogu stvoriti jasne slike u ljudskom umu samo ako se mogu lako povezati sa značenjima tih istih riječi i jezičnih izraza koja im ljudi uobičajeno pridjeljuju kad objašnjavaju konkretne pojmove bliske svakodnevnom iskustvu. To znači da su analogija ili metafora jedini načini kako se može razumjeti neki novi pojam. *X je nalik na Y*, standardan je oblik analogije, gdje je *X* riječ ili jezični izraz za apstraktan, manje poznat ili čak nepoznat smisleni sadržaj (predmet, svojstvo, radnja, odnos) iz tzv. ciljne domene, dok je *Y* riječ ili jezični izraz za konkretan, poznat ili vrlo poznat smisleni sadržaj iz tzv. izvorne domene. Frazom 'nalik na', eksplicitno se uspoređuje ciljna i izvorna domena. Ispusti li se ta fraza, analogija prelazi u metaforu, implicitnu usporedbu između ciljne i izvorne domene, danu iskazom *X je Y*.

Metafora je riječ ili jezični izraz koji se može razumjeti izvan svog doslovnog značenja u izvornoj domeni i pripada objema domenama, ciljnoj i izvornoj domeni. Ciljna domena, koja je apstraktna, razumije se u terminima izvorne domene, koja je konkretna, i najčešće bliska svakodnevnom iskustvu. Metaforom se jezično fiksira neki smisleni sadržaj iz ciljne domene, za koji u jezičnom fondu nema vlastitih izraza, posuđivanjem izraza iz izvorne domene [16].

Za razumijevanje apstraktnih pojmova važna je konceptualna (pojmovna) metafora⁵, gdje je *X* apstraktan pojam, a *Y* je konkretan pojam. Tom se metaforom karakteristike koje definiraju apstraktan pojam *X* objašnjavaju istim terminima kojima se objašnjavaju karakteristike kojima je definiran konkretan pojam *Y* i čije je značenje kod uspješnih konceptualnih metafora lako razumljivo. Svojim utemeljenjem u ljud-

⁵ Pojam konceptualne metafore uveli su američki kognitivni lingvist George Lakoff i filozof Mark Johnson koji smatraju da se ljudski konceptualni (pojmovni) sustav u osnovi sastoji od skupa metaforičnih (apstraktnih) pojmova i skupa nemetaforičnih (konkretnih) pojmova. Nemetaforični pojmovi uključuju prostornu orijentaciju (npr. gore – dolje, unutar – izvan), temeljne pojmove koji proizlaze iz utjelovljenog iskustva (npr. tvar, spremnik, osoba) i strukturirana iskustva i djelatnosti (npr. hranjenje, kretanje). Lakoff i Johnson tvrde i to su pokazali na velikom broju primjera da ljudi upotrebljavaju te nemetaforične (konkretno) pojmove da bi razumjeli apstraktne pojmove [9].

skom svakodnevnom iskustvu⁶, konceptualna metafora je moćan spoznajni alat koji omogućuje razumijevanje apstraktnih pojmova.

2.2. Osnovna konceptualna metafora za energiju

Osnovna konceptualna metafora za energiju dana je iskazom: *Energija je tvar*. Ta je metafora temelj kvazimaterijalnog poimanja energije⁷ i zdravorazumski proizlazi iz interpretacije zakona o očuvanju energije i zakona o lokalnom očuvanju energije. Zakon o očuvanju energije obično se daje u obliku: „Količina energije u fizičkom svijetu (izoliranom sustavu) je konstantna. Energija se ne može niti stvoriti niti uništiti.“. Tu izraz ‘količina energije’ kao i tvrdnja o nemogućnosti stvaranja odnosno uništenja energije upućuju na materijalnu prirodu energije, odnosno na njezino postojanje u fizičkom svijetu. Logički gledano, nema smisla tvrditi da je nešto očuvano ako to ne postoji. Također, to nešto mora postojati negdje jer je nemoguće zamisliti da nešto postoji a da se ne zamisli da postoji negdje. To ‘negdje’ je za energiju fizički sustav, što znači da kada se govori o prirodoznanstvenom pojmu energije uvijek se misli na energiju nekog (fizičkog) sustava.

U formulaciji zakona o lokalnom očuvanju energije energiji su, također, implicitno pridijeljena svojstva karakteristična za tvari; svojstva strujanja (toka) odnosno prijenosa iz sustava u neposrednu okolinu i obratno te uskladištenja. Primjerice, prema zakonu o lokalnom očuvanju energije smanjenje ili povećanje količine energije u nekom sustavu u svakom je trenutku uravnoteženo povećanjem ili smanjenjem količine energije u neposrednoj okolini tog sustava. Energiju je u tom procesu kudikamo lakše zamisliti kao nešto konkretno, kao neku nevidljivu neopipljivu tvar što struji i prolazi granicom sustava iz sustava u okolinu ili obratno, nego kao broj, dakle, nešto apstraktno što se računa prema nekom skupu formula. Isto tako, iz prijenosa energije odnosno njezina strujanja logički proizlazi da je energija u sustavu bila ili prethodno uskladištena ili ju je sustav mogao uskladištiti; u protivnom, prijenosa energije ne bi bilo.

Proizlazi da je, želi li se o prirodoznanstvenom pojmu energije govoriti jasno i razumljivo, neizbježna upotreba metaforičnih izraza. Možda su najbolji primjer za to Feynmanova predavanja iz fizike [4]. Za Feynmana je, i on to jasno ističe, energija apstraktan matematički pojam, brojčana vrijednost koja se ne mijenja ako se nešto dogodi, i ne kaže nigdje u tekstu predavanja mjera čega je ta brojčana vrijednost. Li-

⁶ Budući da se konceptualne metafore temelje na svakodnevnom iskustvu, one imaju i kulturološke korijene. Primjerice, česta metafora u biologiji o stanici kao tvornici ne može nastati u društvu u kojem nema tvornica!

⁷ Svaka fizikalna veličina X za koju je jedna od konceptualnih metafora dana iskazom: *X je tvar*, naziva se kvazimaterijalna fizikalna veličina (engl. *substance-like physical quantity*). To su osim energije, npr. električni naboj, entropija i količina gibanja.

banonski kognitivni lingvist Tamer Amin proveo je detaljnu analizu teksta Feynmanovih predavanja i našao da Feynman, kad mu tijekom objašnjenja neke pojave treba pojam energije, koristi isključivo metaforične izraze, najčešće one koji se koriste kad se energija promatra kao tvar [1]. Za njega je npr. energija *uskladištena u, oslobođena zbog*, posjeduje *količinu, putuje* naprijed i natrag, *dobiva se* ili *gubi*, itd. Slično vrijedi i za udžbenike drugih autora.

Da je konceptualna metafora o energiji kao tvari ukorijenjena u prirodosnanstvenu i inženjersku zajednicu dobro se vidi i u izboru fraza i termina koji se uobičajeno koriste u vezi s energijom⁸. Svojstva pridijeljena energiji, kao što su uskladištenje, prijenos, strujanje (tok), različitost oblika i dr. koja impliciraju njezinu materijalnost, izgledala bi sasvim neobično pa i neshvatljivo kad bi se pridijelila drugim fizikalnim veličinama. Tako, primjerice, nitko ne govori da je „masa uskladištena u tijelu“, ali je uobičajeno reći da je „energija uskladištena u kondenzatoru“ (točnije bi bilo „u električnom polju kondenzatora“). Nitko ne govori da se „tijekom sudara dvaju tijela dogodio prijenos brzine“, ali je uobičajeno reći da se „tijekom sudara dvaju tijela dogodio prijenos energije“. Također, nitko ne govori da „postoje barem dva oblika električnog naboja: elektronski i protonski naboj“, ali je uobičajeno reći da „postoji kinetička energija, električna energija i drugi oblici energije.

Da bi bila uspješna, svaka konceptualna metafora mora biti kratka i jasna. Isto tako, pojam iz izvorne domene s kojim se identificira pojam iz ciljne domene treba biti blizak svakodnevnom iskustvu. Ti su uvjeti zadovoljeni za energiju jer je pojam tvari (materije) intuitivno jasan, a lako su razumljive i makroskopske karakteristike tvari koje se odabranom konceptualnom metaforom pripisuju energiji.

Poklapanje između pojma iz izvorne domene i pojma iz ciljne domene nikad nije potpuno; različiti su i konteksti u kojem se neka konceptualna metafora upotrebljava. Zbog toga je vrlo često potrebno više konceptualnih metafora da bi se neki složeniji apstraktni pojam razumio. To u punoj mjeri vrijedi za energiju zbog čega je važno umjesto opće konceptualne metafore za energiju, koja je preširoka, koristiti više konceptualnih metafora u kojima se ciljano ističu jedne karakteristike energije, a ovisno o kontekstu potiskuju druge karakteristike energije.

U nastavku teksta opisano je pet konceptualnih metafora kojima su pojedinačno istaknute osnovne karakteristike energije⁹ proizašle iz zakona o očuvanju energije

⁸ Slična je situacija i u informacijskoj tehnici, gdje osnovnu konceptualnu metaforu čini iskaz:

Podatak je tvar. Iako nitko ne pomišlja da je podatak uistinu tvar, posve je uobičajeno reći da je npr. u kompaktnom disku pohranjeno (uskladišteno) x megabajta podataka, ili da se između nekog računala i interneta prenose podaci brzinom od y bitova u sekundi.

⁹ Osnovne karakteristike energije su: očuvanje, prijenos, uskladištenje i transformacija (pretvorba).

i zakona o lokalnom očuvanju energije. To su: energija kao tvar koja se može kvantificirati, tj. izračunati i iskazati brojčanom vrijednošću, koja može mijenjati oblik, koja može strujati, koja može biti nošena i koja može biti uskladištena.

2.3. Energija kao tvar koja se može kvantificirati

Richard Feynman u svojim predavanjima iz fizike [4, Vol. I., str. 4–1] objašnjava zakon o očuvanju energije kroz priču o majci i sinu kojem je majka jednog dana dala za igru 28 kocaka koje su neuništive i ne mogu se rastaviti na dijelove. Na kraju dana znatiželjna je majka ustanovila da štogod je njezin sin radio s kockama, njihov je broj ostao isti. Na kraju drugog dana ustanovila je da sin ima 27 kocaka, no nakon pažljive pretrage kuće našla je nedostajuću kocku ispod otirača pred ulaznim vratima. Iz dana u dan broj kocaka se mijenja (neke su izbačene kroz prozor, susjedov sin donio je svoje kocke, neke su kocke u kutiji koju sin ne dopušta otvoriti, neke su bačene u prljavu vodu), no majka koristeći matematičke iskaze odgovarajućih fizikalnih zakona izračunava broj kocaka koje joj nisu vidljive i utvrđuje da je ukupni broj kocaka cijelo vrijeme ostao nepromijenjen.

Pronalazeći sličnosti između dječakovih kocaka i energije Feynman bitno olakšava razumijevanje zakona o očuvanju energije. Što god dječak radio s kockama odnosno kakve god se promjene događaju u nekom promatranom sustavu, zbroj kocaka odnosno energija u oba je slučaja konstantan. Također, u oba se slučaja radi o zbroju koji se dobiva nakon niza proračuna prema međusobno nepovezanim matematičkim izrazima kojima su kvantitativno opisane promjene koje su se dogodile u majčinoj kući odnosno promatranom sustavu. Tom pričom Feynman ističe važnost poznavanja sustava, tj. jasnom definiranju njegovih granica. Na kraju Feynman efektно poentira, ističući svu „klizavost“ pojma energije, kad kaže da, što se energije tiče, ne postoje nikakve kocke koje bi nosile određenu količinu energije.

Ta je priča živopisna ilustracija konceptualne metafore o energiji kao tvari koja se može kvantificirati, tj. iskazati brojem koji ostaje isti, ma u kojem ga trenutku izračunali, unatoč svim promjenama u danom izoliranom sustavu. Sličnih primjera u kojima se energija shvaća kao novac ili kao čista računovodstvena veličina ima mnogo.

Prema toj metafori energija se shvaća kao tvar koja je uskladištena (nalazi se) u nekom „spremniku“ ili na nekom „računu“ i koja se može prenositi između različitih „spremnika“ odnosno „računa“. Ta interpretacija energije korisna je u analizi izoliranih sustava jer omogućuje da se unutar sustava kvantitativno prate promjene količine energije i interakcija između dijelova sustava. Njome se ističu tri bitne karakteristike

energije: očuvanje¹⁰, uskladištenje i prijenos, dok transformacija (pretvorba) energije ostaje nejasna.

2.4. Energija kao tvar koja može mijenjati oblik

U prirodoznanstvenoj i tehničkoj literaturi često se koristi termin 'oblici energije' iako prema prirodoznanstvenom poimanju energije postoji samo jedan oblik energije i on se zove energija. Ne postoji više oblika energije, postoje samo različiti oblici iskaza matematičkih izraza (formula) za određivanje promjena količine energije sustava zbog promjena koje se događaju u sustavima, primjerice, zbog promjene položaja, brzine i načina gibanja ili temperature dijelova sustava ili sustava u cjelini¹¹. No, energija se može uskladištiti u različitim spremnicima i prenositi između spremnika s pomoću različitih fizikalnih mehanizama (načina), pa je pojmovno jednostavnije to i terminološki razlikovati uvođenjem pojma oblika energije. U tom se smislu svi oblici energije koji se odnose na sustav mogu razvrstati u dvije skupine: nagomilanu (uskladištenu) energiju sustava (engl. *existence form*) i prijelaznu energiju sustava (engl. *exchange form*) [12].

U uskladištenu energiju sustava ubrajaju se kinetička energija, potencijalna energija i unutrašnja energija sustava, čiji zbroj daje ukupnu energiju sustava. U prijelaznu energiju sustava ubrajaju se energija prenesena topline i energija prenesena radom [8, str. 227]. Toplina je proces kojim se energija spontano prenosi preko granice sustava zbog temperaturne razlike između sustava i okoline¹². Taj proces prati uvijek proizvodnja entropije. Rad je proces kojim se energija prenosi preko granice sustava

¹⁰ Pojam očuvanja energije vrlo je čest i u laičkom poimanju energije, gdje ima drugačije značenje od prirodoznanstvenog pojma očuvanja energije. Za laika očuvanje energije prvenstveno znači štednju energije i smanjenje nekorisno potrošene energije, pri čemu se energija shvaća kao resurs. Prema tom shvaćanju, utemeljenom na svakodnevnom iskustvu, potrošena energija je zauvijek izgubljena. Zanimljivo je da se ta tvrdnja može uskladiti s drugim stavkom termodinamike ako se pod izgubljenom energijom smatra onaj dio energije koji se ne može radom prenijeti iz jednog sustava u drugi. U tom smislu, drugi stavak termodinamike podržava laičko poimanje energije, tj. da se izgubljena energija ne može više upotrijebiti, dok prvi stavak termodinamike (zakon o očuvanju energije) podržava prirodoznanstveno poimanje energije, tj. da izgubljena energija nije nestala.

¹¹ Razlikovanje oblika energije potječe još iz XIX. stoljeća. Tada su se usporedno, ali uglavnom nezavisno jedna od drugih, razvijala područja fizike (mekanika, elektricitet i magnetizam, termodinamika i dr.) kao i kemija i biologija i pronalazili matematički izrazi za određivanje promjena količine energije u sustavima zbog promjene parametara sustava ili vanjskih parametara koji opisuju sustav. Prema tadašnjem shvaćanju, svaki od tih matematičkih izraza definirao je različiti oblik energije. Tek nakon što je James Joule oko 1845. godine pronašao eksperimentalnu metodu za određivanje mehaničkog ekvivalenta toplinskoj energiji i zaključio da toplina nije tvar nego vrsta gibanja, postupno je postajalo sve jasnije da je energija jedinstvena fizikalna veličina koja povezuje različita područja fizike, kao i fiziku s kemijom i biologijom. No, podjela na oblike energije ostala je do danas.

¹² Toplina je proces, ali se pod njom često razumijeva i količina energije prenesena tim procesom.

zbog promjene vanjskih parametara koji opisuju taj sustav. Ti parametri mogu biti, npr. volumen, električno polje, magnetsko polje, gravitacijski potencijal. Tijekom rada ne proizvodi se entropija. Osnovne vrste rada su: mehanički rad, električni prijenos¹³, elektromagnetsko zračenje¹⁴, prijenos tvari i prijenos mehaničkim valovima [14, str. 213]¹⁵.

Osim te podjele, koja logički proizlazi iz zakona o lokalnom očuvanju energije¹⁶, česta je u literaturi podjela oblika energije prema prirodnoznastvenim i tehničkim područjima. Prema toj podjeli razlikuju se mehanička energija, toplinska energija, električna energija, kemijska energija i nuklearna energija. No, o opsegu tih termina ne postoji opća suglasnost u prirodnoznastvenoj i tehničkoj zajednici. Primjerice, toplinska energija jednaka je kinetičkoj energiji zbog nasumičnog translacijskog, rotacijskog i oscilatornog gibanja molekula sustava za jedne a za druge jednaka je toplini. Isto tako se pod mehaničkom energijom često smatra zbroj kinetičke energije i gravitacijske potencijalne energije ili zbroj kinetičke energije i elastične potencijalne energije a katkad i zbroj svih triju oblika energije.

Konceptualna metafora o energiji kao tvari koja može mijenjati oblik prikladna je za opis jedne od bitnih karakteristika energije – transformacije (pretvorbe) energije – tj. promjene jednog oblika energije u drugi oblik unutar sustava ili na granici sustava. Također, ta metafora omogućuje da se sustav ili dijelovi većeg sustava promatraju kao „crne kutije“. No, uvođenjem pojma oblika energije odvlači se pozornost od fizičkih promjena u sustavima koje se događaju tijekom prijenosa energije u dijelovima sustava tako da fizikalni mehanizmi prijenosa ostaju nerasvijetljeni. Tako je, primjerice, za opis slobodnog pada, u skladu s tom metaforom, dovoljno reći da se tijekom slobodnog pada događa transformacija potencijalne energije u kinetičku energiju, dok fizikalni mehanizam – djelovanje gravitacijskog polja – ostaje „skriven“ u crnoj kutiji.

¹³ Električni prijenos je proces u kojem se energija prenosi preko granice sustava zbog posmičnog gibanja električno nabijenih čestica (naboja) u vodljivom sredstvu, tj. električne struje. U elektrotehnici se uobičajeno zove električna energija.

¹⁴ Elektromagnetsko zračenje je proces u kojem se energija prenosi preko granice sustava zbog ubrzanog gibanja električno nabijenih čestica (naboja).

¹⁵ Uočimo da osnovni pojmovi podjele 'usklađena energija' i 'prijelazna energija', unatoč iste strukture naziva, pripadaju različitim pojmovnim kategorijama. Usklađena energija pripada kategoriji stanja, dok prijelazna energija pripada kategoriji procesa. Postojanje različitih pojmovnih kategorija unutar osnovnog pojma energije može predstavljati ozbiljnu poteškoću pri učenju i razumijevanju pojma energije [2]. U elektrotehnici dodatnu pomutnju unosi naziv 'električna energija', umjesto kojeg bi mnogo bolji naziv bio 'energija električnog prijenosa' uobičajen u fizici [5].

¹⁶ Zakon o lokalnom očuvanju energije može se izreći i ovako: Svako smanjenje ili povećanje količine usklađene energije sustava u svakom je trenutku uravnoteženo istodobnim povećanjem ili smanjenjem količine prijelazne energije sustava.

2.5. Energija kao tvar koja može strujati

Konceptualna metafora o energiji kao tvari koja struji (teče) i pripadni metaforični izraz 'tok (strujanje) energije' često se koriste kada se razmatra prijenos energije između sustava i okoline, posebno ako je taj prijenos kontinuiran i jednolik. Tako se uobičajeno govori o toku topline (toplinskom toku), toku naboja (električnoj struji) i toku elektromagnetskog zračenja, dok se taj metaforični izraz praktički ne upotrebljava za mehanički rad, prijenos tvari i prijenos mehaničkim valovima.

Za razliku od prethodne konceptualne metafore gdje energija poprima različite oblike kao rezultat gibanja i međudjelovanja dijelova sustava ili sustava u cjelini, opis prijenosa energije kao tvari koja struji dijelovima sustava, tj. neke vrste fluida, i prolazi granicom sustava nepromijenjenog „sastava“ odgovara prirodnoznanstvenom poimanju da postoji samo jedan oblik energije. Također, ako energija struji u sustav, ona je morala odnekud doći, što upućuje na postojanje izvora energije. Isto tako, ako energija struji iz sustava, ona je morala biti prethodno uskladištena u sustavu bilo kao trajni ili privremeni izvor energije ili je dotekla u sustav iz nekog izvora energije izvan sustava.

Na metafori o energiji kao tvari koja struji temelji se i definicija snage sustava, prema kojoj je snaga sustava jednaka količini energije koja u jedinici vremena prođe (prostruji) kroz graničnu plohu sustava okomito na smjer protjecanja. Naziv 'snaga' nije dobro odabran, ali je kratak i prihvaćen je od prirodnoznanstvene i tehničke zajednice. U skladu s definicijom tog pojma bolji bi naziv bio 'jakost toka (struje) energije'¹⁷.

2.6. Energija kao tvar koja može biti nošena

Konceptualna metafora o energiji kao tvari koja može biti nošena implicira postojanje fizičkog nosača energije – tvari – čiji se put, smjer i brzina gibanja podudaraju s putom, smjerom i brzinom „putovanja“ energije. Ta je metafora posebno prikladna kada se opisuje prijenos energije prijenosom tvari. Karakteristični primjeri su punjenje spremnika automobila gorivom čime je omogućena transformacija potencijalne energije sustava gorivo – kisik u druge oblike energije te konvekcija kao jedan od načina prijenosa energije toplotom.

Konceptualna metafora o energiji kao tvari koja može biti nošena često se upotrebljava i kada se jezikom „oblika energije“ i pojmom transformacije pokušavaju obuhvatiti i ostali oblici prijelazne energije sustava. Taj je pokušaj motiviran iskustvenom

¹⁷ U inženjerskoj praksi, pogotovo pri projektiranju uređaja, snaga je kudikamo važniji pojam od energije jer je ona odlučujući faktor pri dimenzioniranju naprava uređaja. Primjerice, iz podatka da se u nekom otporniku 50 Ws električne energije transformiralo u toplotu, projektant ne može ništa zaključiti o potrebnj izvedbi otpornika i njegovim fizičkim dimenzijama. Nasuprot tomu, podatak da je snaga otpornika, tj. jakost toka energije kroz otpornik, 50 W jasan je orijentir projektantu za ispravno dimenzioniranje otpornika.

činjenicom da energija nikad ne struji sama nego uvijek istodobno s barem još jednom kvazimaterijalnom fizikalnom veličinom, koja se tada shvaća kao nosač energije [3].

U tom se slučaju transformacija energije interpretira kao proces u kojem je energija prenesena od jednog nosača na drugi. I ta metafora podržava prirodoznanstveno poimanje da ne postoji više oblika energije. Energija tijekom transformacije ne mijenja oblik, ona mijenja nosač. Prema tom nosaču energiji se pridjeljuje odgovarajući atribut. Tako, kad energija struji zajedno s električno nabijenim česticama (električnim nabojem) naziva se u elektrotehnici električna energija, kad struji zajedno s entropijom naziva se toplina, kad struji zajedno s količinom gibanja ili momentom količine gibanja naziva se mehanički rad a kad tijekom kemijske reakcije struji zajedno s količinom tvari naziva se kemijska energija. Količina prenesene energije ovisi ne samo o jakosti struje električnog naboja (električne struje), struje entropije, struje količine gibanja/momenta količine gibanja odnosno struje materije nego i o vrijednosti električnog potencijala, apsolutne temperature, brzine gibanja odnosno kemijskog potencijala.

Očigledno, naziv ‘nosač energije’ ne treba shvatiti doslovno. Njime se samo ističe istodobnost pojave struje energije i struje nosača energije. Ne implicira se da energija i njezin nosač zauzimaju isti dio prostora ili da struje istom brzinom ili u istom smjeru. Tako je, primjerice, vodič struje električne energije dielektrik, tj. nevodič struje električnog naboja, dok je nevodič struje električne energije vodič struje električnog naboja, što znači da električni naboj struji vodičem dok energija struji prostorom oko vodiča. Također, brzina strujanja električne energije odgovara približno brzini svjetlosti, dok je brzina posmičnog gibanja električnog naboja manja za deset i više ‘redova vrijednosti’¹⁸.

2.7. Energija kao tvar koja se može uskladištiti

Energija promatrana kao tvar može se uskladištiti u nekom spremniku. Taj je spremnik, prirodoznanstveno gledano, uvijek neki (fizički) sustav. Time se neraskidivo povezuje energija i sustav. Nema smisla govoriti da je energija uskladištena, oslobođena ili da se dobiva ili gubi ako se ne navede sustav ili sustavi na koje se to odnosi. To znači da kad se govori o uskladištenoj energiji ima smisla govoriti samo o uskladištenoj energiji sustava. To se često zaboravlja, posebno kada je riječ o potencijalnoj energiji. Potencijalna energija je povezana s radom sila polja između fizičkih objekata, što znači da se ne može govoriti, kao što se to često čini, o potencijalnoj energiji nekog

¹⁸ Izrazom ‘posmično gibanje’ ističe se da zbog djelovanja električnog polja u vodiču postoji neto statističko gibanje nosača energije, tj. gibanje električnog naboja – elektrona – kroz bilo koji presjek vodiča. To je gibanje superponirano na nasumično gibanje elektrona u vodiču koje postoji i ako ne postoji električno polje. Jakost struje električnog naboja (električna struja), mjerena u amperima, fizikalna je veličina kojom se kvantificira to neto statističko gibanje električnog naboja.

pojedinačnog objekta, nego samo o potencijalnoj energiji sustava kojeg čine barem dva objekta.

Konceptualna metafora o energiji kao tvari koja se može uskladištiti u nekom sustavu i koja se kasnije radom i/ili topline može prenijeti u druge sustave ključna je metafora u poimanju izvora energije. Formalno gledano, svaki sustav u kojem se smanjila količina uskladištene energije, što je rezultiralo povećanjem količine energije u drugom sustavu može se smatrati izvorom energije za taj drugi sustav. U praksi, pod izvorom energije razumijeva se sustav ili dio sustava u kojem je uskladištena količina energije dovoljna za potrebe sustava u koji se ta energija prenosi.

Određivanje sustava ili dijela sustava koji djeluje kao izvor energije nije uvijek očigledno. Tako se često, čak i u stručnoj literaturi, kao primjeri izvora energije navode gorivo i hrana. Tvrdi se da se uskladištena energija u gorivu i hrani oslobađa tijekom izgaranja goriva odnosno metabolizacije hrane. Činjenica je, međutim, da se energija npr. u gorivu oslobađa tijekom izgaranja isključivo zbog zajedničkog djelovanja goriva i kisika, pa bi se s jednakim pravom moglo reći i da je izvor energije kisik iz zraka! Isto vrijedi i za većinu metaboličkih procesa. Pravi izvor energije u tim je primjerima sustav gorivo – kisik tijekom izgaranja odnosno sustav hrana kisik tijekom metabolizacije.

U tehnici, ekonomiji, politici i u svakodnevnom govoru često se upotrebljava pojam 'obnovljivi izvori energije'. Taj pojam shvaćen doslovno u suprotnosti je sa zakonom o očuvanju energije, tj. tvrdnjom da se energija ne može niti stvoriti niti uništiti. Pridjevom 'obnovljivi' želi se istaći da su na Zemlji ograničene količine, za ljude upotrebljive uskladištene energije, koje se upotrebom smanjuju i transformiraju u za ljude neupotrebljive oblike energije. Zbog toga treba pridobivati energiju iz, promatrano iz ljudske perspektive, neograničenih izvora energije, kao što su to energija elektromagnetskog zračenja Sunca, unutrašnja energija Zemlje i dr.

Zaključna razmatranja

U klasičnoj fizici i tehnici energija je apstraktan pojam; fizikalna veličina čija se bit iskazuje u zakonu o lokalnom očuvanju energije te većem broju matematičkih izraza koji omogućuju kvantitativnu analizu različitih pojava u fizičkim sustavima¹⁹. Prirodnoznanstveni pojam energije je primitivni pojam fizikalnih teorija i pravo se razumijevanje energije postiže tek njezinom uspješnom primjenom u različitim kontekstima i u zajednici s drugim pojmovima, kao što su npr. sila, rad ili toplina. Zbog toga energija nije lako razumljiv pojam te učenje o energiji predstavlja veliki izazov ne samo za one koji o njoj uče, nego i za one koji ih uče.

Prirodna je sklonost ljudskog uma da apstraktne ideje i pojmove svede na konkretne, bliske svakodnevnom iskustvu, što znači da je ljudski pojmovni sustav u osnovi metaforičan. Zbog toga je, posebno u početnoj fazi učenja o energiji, praktički neizbježna upotreba metaforičnih riječi i jezičnih izraza. *Energija je tvar* – osnovna je konceptualna metafora za energiju i temelj je kvazimaterijalnog poimanja energije.

Uspješnost te konceptualne metafore leži u činjenici da je kvazimaterijalni pojam energije u velikoj mjeri sukladan prirodnoznanstvenom pojmu energije. Pri tome je bitno znati u kojim se slučajevima kvazimaterijalni pojam energije razlikuje od prirodnoznanstvenog i jesu li te razlike i pod kojim uvjetima uklonjive. Navedimo tri osnovne razlike.

Prva razlika odnosi se na put, smjer i brzinu prijenosa energije. Konceptualna metafora o energiji kao tvari koja može biti nošena prikladna je za opis prijenosa energije prijenosom tvari. Nasuprot tomu, u važnim primjerima za praksu, prijenosu energije u istosmjernim električkim mrežama, fizički nosač energije (elektroni) putuje vodičima a energija okolnim prostorom i to različitim brzinama, dok u prijenosu energije u izmjeničnim električkim mrežama elektroni ostaju približno na istim mjestima u vodičima i vibriraju u ritmu frekvencije izmjenične mreže. Dobar je i primjer remenskog ili lančanog prijenosa kinetičke energije. Fizički nosač energije (zatezni dio remena ili lanca) giba se u smjeru suprotnom od smjera toka energije, pri čemu je brzina kojom se energija prenosi mnogo veća od brzine kojom se giba remen ili lanac. U navedenim je primjerima razlika između kvazimaterijalnog i prirodnoznanstvenog pojma energije neuklonjiva.

Druga razlika proizlazi iz činjenice što kinetička i potencijalna energija nekog sustava nisu u klasičnoj fizici intrinzična svojstva sustava, dok tvar (masa sustava) s

¹⁹ U modernoj fizici (opća teorija relativnosti i kvantna fizika) i sam pojam energije kako ga vidi klasična fizika podvrgnut je temeljitoj reviziji, a od kvazimaterijalnog pojma energije kao i od bilo kakvih zornih predodžaba temeljenih na svakodnevnom iskustvu treba odustati.

kojom se u osnovnoj konceptualnoj metafori energija poistovjećuje, to jest. Dodatno, potencijalna energija sustava može biti i negativnih vrijednosti, što je za materijalne entitete apsurdno. No tu je razliku između kvazimaterijalnog i prirodoznanstvenog pojma energije lako ukloniti ako se sve analize pojava u sustavu provedu u fiksnom referentnom sustavu promatrača.

Treća razlika proizlazi iz činjenice što, prirodoznanstveno gledano, energija postoji u samo jednom obliku, dok energija, kvazimaterijalno gledano, prema nekim konceptualnim metaforama izvedenim iz osnovne konceptualne metafore postoji u više oblika i transformira se tijekom prijenosa iz jednog oblika u drugi. Tu je razliku načelno lako ukloniti ako se jezik „oblika energije“ shvati samo kao pogodan način za terminološko razlikovanje između različitih matematičkih izraza prema kojima se računa količina energije.

Proizlazi da, uzimajući u obzir navedene razlike, kvazimaterijalno poimanje energije omogućuje objašnjenje prirodoznanstvenog pojma energije na konkretan i zoran način. Pri tome je ključno naglasiti da se ni u jednom trenutku ne smije smetnuti s uma da su u tom procesu objašnjenja značenja riječi i jezičnih izraza iz izvorne konkretne domene (tvari) metaforički proširena na ciljnu apstraktnu domenu (energiju). To je posebno važno u prvim susretima s prirodoznanstvenim pojmom energije u školskom sustavu kada učenik ili student treba mijenjati prethodno, obično duboko ukorijenjeno u svakodnevnom iskustvu, laičko poimanje energije u prirodoznanstveno poimanje energije. Ne shvati li učenik ili student metaforičko proširenje značenja riječi i jezičnih izraza kojima se opisuju karakteristike energije, on ne samo da ne će znati što je energija, nego će svoje doslovno objašnjenje tog pojma „odjenuti“ u znanstveni ili tehnički žargon koji je tijekom školovanja usvojio, stvarajući time pogrešan utisak da je nešto naučio.

Literatura

- [1] Amin, G. T., Conceptual metaphor meets conceptual change, *Human Development*, 52 (3), May 2009., pp. 165 – 197
- [2] Chi, M. T. H., Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. *Handbook of research on conceptual change*, Hillsdale, NJ: Erlbaum, 2008, pp. 61 – 82
- [3] Falk, G., Herrmann, F., Schmid, G. B., Energy forms or energy carriers?, *American Journal of Physics*, 51 (12), December 1983, pp. 1074 – 1077
- [4] Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M., *The Feynman lectures on physics*, Vol. I., Vol. II., Addison – Wesley, Reading, Massachusetts, 1966.
- [5] Flegar, I., O električnoj energiji, *Povijest i filozofija tehnike*, Kiklos – Krug knjige, Zagreb, 2020., str. 169 – 191
- [6] Hecht, E., Understanding energy as a subtle concept: A model for teaching and learning, *American Journal of Physics*, 87, (7), July 2019, pp. 495 – 503
- [7] Jewett, J. W., Energy and the confused student IV: A global approach to energy, *The Physics Teacher*, Vol. 48, April 2008, pp. 210 – 217
- [8] Kittel, Ch., Kroemer, H., *Thermal physics*, W. H. Freeman and Company, New York, 1980.
- [9] Lakoff, G., Johnson, M., The metaphorical structure of the human conceptual system, *Cognitive Science*, 4, 1980., pp. 195 – 208
- [10] Lancor, R., Using metaphor theory to examine conceptions of energy in biology, chemistry and physics, *Science&Education*, Vol. 23, no. 6, pp. 1245 – 1267, 2014.
- [11] Lange, M., *An introduction to the philosophy of physics*, Blackwell Publishing, Singapore, 2006.
- [12] Požar, H., Energija i energetika, *Tehnička enciklopedija*, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1976., Svezak 5, str. 319 – 340
- [13] Schroeder, D. V., *An introduction to thermal physics*, Addison Wesley Longman, San Francisco, 2000.
- [14] Serway, R. A., Jewett, J. W., *Physics for scientists and engineers with modern physics*, Brooks / Cole, Boston, 2014.
- [15] Sommerfeld, A., *Electrodynamics: Lectures on theoretical physics*, Vol. III., Academic Press, New York, 1952.
- [16] – , Metafora, *Enciklopedija Leksikografskog zavoda*, Jugoslavenski leksikografski zavod, 1968., Svezak 4, str. 322

Ivan Flegar

Energy as a Quasi-Material Quantity

Abstract: Energy is one of the most important scientific concepts for describing and explaining the behaviour of physical systems. Yet the comprehension of this abstract scientific concept is not an easy task because energy is not a substance, a sensation or a phenomenon and it is neither a directly observed nor a directly measured physical quantity. The important step to the understanding of the scientific concept of energy is done when the energy is conceptualized initially as a quasi-material quantity. The basis of a quasi-material conceptualization of energy is the conceptual metaphor: *Energy is a substance*. This metaphor stems from the consideration of the law of local conservation of energy. Five conceptual metaphors derived from the basic conceptual metaphor for energy are identified: energy as a substance that can be quantified, can change form, can flow, can be carried and can be stored. Each of these conceptual metaphors highlight and obscure various characteristics of energy, but together they provide a coherent set of statements that facilitate the understanding of the scientific concept of energy.

Key words: conceptual metaphor, local conservation law of energy, quasimaterial energy concept, substance, scientific concept of energy, system energy

Branko Kovač

Dinamičko gravitacijsko polje i priroda inercije

Sažetak: Članak opisuje teoretsko razmatranje hipotetskog dinamičkog gravitacijskog polja koje stvara silu inercije na isti način na koji statičko gravitacijsko polje stvara silu težine. Jednadžba za jakost dinamičkog gravitacijskog polja oko mase koja se ubrzava je izvedena korištenjem principa akcije i reakcije. Pretpostavka korištena pri izdvojenju jednadžbe je da zakon gibanja $F=ma$ vrijedi svugdje u prostoru. Jednadžba dinamičkog gravitacijskog polja je u suglasju sa opažanjima u prirodi vezanim uz ubrzanje mase i gibanjem planeta u solarnom sistemu. Dinamičko gravitacijsko polje opisano tom jednadžbom je dovoljno jako da se može detektirati u laboratoriju. Laboratorijski eksperiment koji se može koristiti da se potvrdi ili opovrgne hipoteza dinamičkog gravitacijskog polja je također opisan.

Ključne riječi: gravitacijska dinamika, inercija, dinamika mase, teorija polja

Uvod

Težina i inercijalna sila su dvije sile koje su povezane sa masom. Galileo je proučavao inercijalnu silu u svojim pokusima u kojima je promatrao kugle raznih dimenzija i težine koje je puštao da padaju sa visine ili da se spuštaju po kosini [1]. Na osnovi zapažanja u tim pokusima Galileo je formulirao zakone gibanja. Ustanovio je da se masa giba konstantnom brzinom ako nema sile koja djeluje na masu. Kada sila djeluje na masu brzina kojom se masa giba se mijenja u vremenu proporcionalno primijenjenoj sili.

Newton je svojim zakonom gravitacije [2] objasnio da je sila težine posljedicu privlačnosti masa, a ne svojstvo tijela. Taj zakon je korišten da bi se objasnile i druge pojave u prirodi kao što je gibanje planeta. Jednadžbe koje matematički opisuju Galileov zakon gibanja i Newton-ov zakon gravitacije su

$$\vec{F} = -m\vec{a} \quad (1a)$$

$$\vec{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \hat{r} \quad (1b)$$

Gdje je F sila koja djeluje na masu, m je masa tijela, a je akceleracija, G je gravitacijska konstanta i r_{12} je udaljenost između dvije mase. Newton-ov zakon gravitacije je eksperimentalno potvrđen pokusom koji je izveo Cavendish [7] oko stotinu godina nakon što je Newton predvidio zakon gravitacije.

Koncept polja sila je bio nepoznat u vrijeme kada su Galileo i Newton postavili njihove zakone. Taj koncept je razvijen tokom istraživanja elektromagnetizma. Sličnost Newton-ovog zakona i Coulomb-ovog zakona ukazuje na prirodu gravitacije kao polja sila. Koristeći koncept polja sila, Galileova jednadžba gibanja i Newton-ov zakon gravitacije se mogu napisati u obliku

$$\vec{g} = -\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (2a)$$

$$\nabla \cdot \vec{g} = -4\pi G\rho \quad (2b)$$

Gdje je g jakost gravitacijskog polja, G je gravitacijska konstanta a ρ je gustoća mase. Problem koji se javlja kada pokušavamo da primijenimo jednadžbu (2) na analizu ponašanja gravitacijskog polja jest da Newton-ov zakon gravitacije opisuje gravitacijsko polje u stacionarnom stanju. Pretpostavka u jednadžbi (2) jest da je brzina rasprostiranja gravitacijskog polja beskonačna [3].

Nekoliko gravitacijskih teorija je pokušalo riješiti problem beskonačne brzine prostiranja gravitacijskog polja i teorija koja ima najveću podršku je Einstein-ova opća teorija relativnosti. Po općoj teoriji relativnosti geometrijska svojstva zakrivljenog prostora i vremena opisuju gravitacijsko polje, a energija (ili masa) i moment opisuju izvor gravitacijskog polja. Ako razmatramo gravitacijsko polje koje je slabo i brzine gibanja koje su puno manje od brzine svjetlosti jednadžbe opće teorije relativnosti se mogu linearizirati. Linearizirane

jednadžbe opće teorije relativnosti uz pretpostavku slabog gravitacijskog polje i male brzine gibanja, koja je zadovoljena u gotovo cijelom svemiru osim oko crnih rupa koje imaju jako gravitacijsko polje, su vrlo slične Maxwellovim jednadžbama za elektromagnetsko polje [4]

$$\nabla \cdot \vec{g} = -4\pi G\rho \quad (3a)$$

$$\nabla \cdot \vec{b} = 0 \quad (3b)$$

$$\nabla \times \vec{g} = -\frac{1}{2c} \frac{\partial \vec{b}}{\partial t} \quad (3c)$$

$$\nabla \times \frac{\vec{b}}{2} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{g}}{\partial t} + \frac{4\pi G}{c} \rho \vec{v} \quad (3d)$$

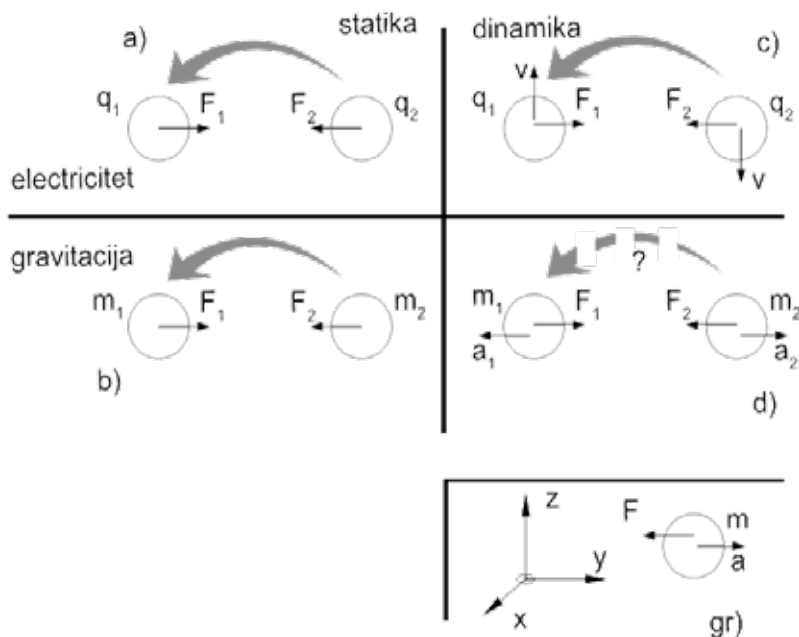
Jednadžbe (3) su takozvane gravito-elektro-magnetske (GEM) jednadžbe. U GEM g , G i ρ imaju isto značenje kao u jednadžbama (2), b je polje momenta, v je brzina mase i c je brzina prostiranja gravitacijskog polja. Slične jednadžbe je koristio Heaviside [5] kada je razmatrao jednadžbe gravitacijskog polja s konačnom brzinom prostiranja. Sile uzrokovane ubrzanjem mase prema GEM jednadžbama su premale da bi se njima mogla objasniti inercijalna sila. Inercijalna sila koja se mjeri u pokusima i dalje se računa jednadžbama (1.a) i (2.a), a ne pomoću jednadžbi polja. U općoj teoriji relativnosti inercija se tretira kao svojstvo mase da se opire promjeni brzine. Gravitacijski valovi su isto tako detektirani [6] tako da je potvrđeno da se gravitacija rasprostire konačnom brzinom slično kao elektromagnetsko polje.

Koncept polja sila, koji je zamijenio koncept akcije na udaljenost, ima neke karakteristike koje su zajedničke za sve slučajeve, kako električnog naboja tako i mase, kao što je to ilustrirano na Sl. 1

- Polje sila uzbuđuje prostor oko objekta. Sila se pojavljuje zbog polja sila u prostoru oko objekta a ne zbog nekog svojstva objekta koje je koncentrirano unutar samog objekta
- Sila na jednom objektu se pojavljuje zbog toga jer se taj objekt nalazi u polju sila koje stvara drugi objekt
- Sile se pojavljuju u paru i zadovoljavaju princip akcije i reakcije. Sile istog intenziteta će se pojaviti na oba objekta i bit će suprotno orijentirane

Slučaj za dva električna naboja u mirovanju je ilustriran na Sl. 1.a, a slučaj za dvije mase u mirovanju je prikazan na Sl. 1.b. Vidimo da naboj i masa u mirovanju stvaraju polje sila oko sebe. Prema konceptu polja sila, sile na

nabojima se javljaju zato što jedan naboj stvara statičko električno polje a drugi naboj se nalazi u tom polju sila. Sila se prenosi kroz prostor elektrostatskim poljem kako je to ilustrirano širokom strelicom. Isto tako jedna masa na Sl. 1.b stvara gravitacijsko polje a sila se pojavljuje na drugoj masi jer se ta masa nalazi u polju sila. Sila se prenosi kroz prostor pomoću statičkog gravitacijskog polje kako je to ilustrirano širokom strelicom. Sile koje se javljaju zadovoljavaju princip akcije i reakcije.



Sl. 1.: Svojstva polja sila za elektricitet i gravitaciju

Električni naboj u gibanju će stvoriti silu na drugom naboju u gibanju. Po Amper-ovom zakonu sila je proporcionalna brzini v kojom se naboj giba. Dinamička sila koja se javlja oko naboja u gibanju prenosi se elektromagnetskim poljem kako je to ilustrirano širokom strelicom na Sl. 1.c. Sila na jednom naboju u gibanju se stvara zbog polja sile oko naboja, a ne zbog nekog svojstva naboja koje je koncentrirano unutar samog naboja. Princip akcije i reakcije je zadovoljen za naboje u gibanju jer se sila istog iznosa i suprotnog smjera razvija na oba naboja.

Sl. 1.gr pokazuje stvaranje inercijalne sile po Newton-ovom razumijevanju koje se također koristi u općoj teoriji relativnosti. Prema Newton-ovom

tumačenju inercijalna sila se javlja zbog svojstva inercije koju masa posjeduje te zato što se masa ubrzava u odnosu na apsolutni prostor. Nije potrebna druga masa da bi se javila inercijalna sila te princip akcije i reakcije nije zadovoljen. Po pretpostavki opće teorije relativnosti inercijalna sila se javlja na masi zbog toga što masa pri ubrzanju prelazi iz jednog inercijalnog sustava u drugi i masa ima svojstvo inercije. Ni u općoj teoriji relativnosti nije potrebna druga masa da bi se javila inercijalna sila.

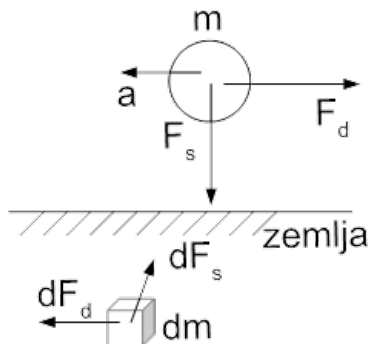
Ovaj članak razmatra hipotezu da se inercijalna sila javlja zbog polja sila koje mase koje se ubrzavaju stvaraju u prostoru oko sebe. Hipotetsko polje sila ću nazvati dinamičko gravitacijsko polje jer je uzrokovano dinamikom mase. To polje je ilustrirano isprekidanom strelicom na Sl. 1.d. Inercijalna sila, sukladno ovoj hipotezi, se javlja jer se masa nalazi u polju sila koje je stvoreno oko druge mase koja se ubrzava. Obadvije mase na Sl. 1.d se moraju ubrzavati i stvarati dinamičko gravitacijsko polje. Sila iste jakosti i suprotnog smjera se mora pojaviti na svakoj masi i time će princip akcije i reakcije biti zadovoljen. U članku se opisuje i pokus koji se može koristiti da se potvrdi ili opovrgne hipoteza dinamičkog gravitacijskog polja tako da se taj pokus može koristiti kao još jedan test opće teorije relativnosti.

Kada se razmatra hipoteza da je inercijalna sila uzrokovana nekim dinamičkim poljem sila oko mase koja se ubrzava, sama od sebe se postavljaju mnoga pitanja kao na primjer: kolika treba biti jakost takovog polja, kako to polje može izgledati, da li gibanje planeta može biti objašnjeno dinamičkim gravitacijskim poljem, kako se to polje može mjeriti, kako se to polje širi u prostoru, da li postoji nekakvo među polje slično magnetskom polju i druga pitanja. Na neka od ovih pitanja ću odgovoriti u ovom članku u mjeri koja je dovoljna da se pokusom može potvrditi ili opovrgnuti hipoteza o dinamičkom gravitacijskom polju.

1. Procjena jakosti dinamičkog gravitacijskog polja

Da bi se procijenila jakost hipotetskog dinamičkog gravitacijskog polja možemo razmatrati sile na masu koje je jednostavno mjeriti, a koje su ilustrirane na Sl. 2. Za masu m koju držimo iznad površine zemlje i koja se ubrzava možemo mjeriti statičku silu težine F_s i dinamičku inercijalnu silu F_d .

Po principu akcije i reakcije statičko i dinamičko gravitacijsko polje morat će razviti sile iste amplitude i suprotnog smjera na zemlji.



Sl. 2.: Procjena jakosti dinamičkog gravitacijskog polja

Kada razmatramo infinitezimalnu masu dm na zemlji imat ćemo silu reakcije koja je stvorena statičkim gravitacijskim poljem dF_s i silu reakcije koja je stvorena dinamičkim gravitacijskim poljem dF_d . Zbog principa akcije i reakcije integral sila reakcije dF_s preko cijelog volumena zemlje mora biti jednake amplitude kao statička sila težine F_s koju osjećamo na masi. Sila reakcije $-F_s$ na zemlji se računa kao

$$-\vec{F}_s = \int_V d\vec{F}_s = \int_V \vec{g}_s \rho dV \quad (4)$$

Gdje je $-F_s$ sila reakcije na težinu tijela, g_s je statičko gravitacijsko polje koje razvija masa m , ρ je gustoća zemlje a dV je infinitezimalni volumen.

Na isti način reakcija na inercijalnu silu $-F_d$ se može računati kao integral produkta mase dm i postuliranog dinamičkog gravitacijskog polja g_d koje je stvoreno kad se masa m ubrzava iznad površine zemlje. Koristeći dinamičko gravitacijsko polje g_d reakcija na inercijalnu silu F_d se može računati kao

$$-\vec{F}_d = \int_V d\vec{F}_d = \int_V \vec{g}_d \rho dV \quad (5)$$

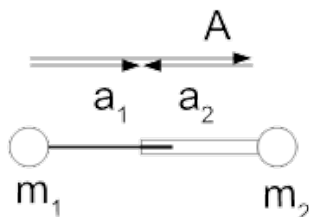
Ako se masa m ubrzava sa oko 10m/s^2 inercijalna sila F_d i težina tijela F_s će biti otprilike jednake amplitude. Tada će amplituda sila reakcije dF_s i dF_d na mali element mase dm biti blizu jedna drugoj. Sile reakcije dF_s i dF_d se neće

razlikovati za nekoliko redova veličine. To znači da jakosti gravitacijskog polja g_s i g_d moraju imati otprilike iste amplitude.

Jakost hipotetičnog dinamičkog gravitacijskog polja koje masa razvija pri umjerenim ubrzanjima je dovoljno velika da bi se mogla detektirati laboratorijskim eksperimentom. Instrument potreban za detekciju dinamičkog gravitacijskog polja mora biti dovoljno osjetljiv da bi mogao detektirati statičko gravitacijsko polje. Jakost dinamičkog gravitacijskog polja je dovoljno malena da ne bude uočljiva jednostavnim promatranjem. Amper je otkrio silu koja se stvara među vodičima kojima teče struja bez posebnog instrumenta. U slučaju dinamičkog gravitacijskog polja potreban je osjetljivi instrument da bi se ono detektiralo.

2. Jednadžba dinamičkog gravitacijskog polja

Počnimo sa jednostavnim sistemom od dvije mase povezane šipkom i cilindrom kako to pokazuje Sl. 3. Pretpostavit ćemo da šipka i cilindar nemaju mase. Ako želimo ubrzati masu m_1 pomičući šipku unutar cilindra masa m_2 će se isto tako ubrzavati u suprotnom smjeru. Sile na mase m_1 i m_2 će biti u ravnoteži.



Sl. 3.: Sistem sa dvije točkaste mase

Za računanje dinamičkih sila u sistemu koristit ćemo Galileovu jednadžbu gibanja jer je ona potvrđena pokusima. Mi možemo mjeriti akceleraciju A između dvije mase ali ne možemo mjeriti pojedinačne akceleracije jer ne znamo gdje je ishodište referentnog koordinatnog sistema. Mi znamo da će razlika pojedinačnih akceleracija masa a_1 i a_2 biti jednaka ukupnoj akceleraciji među masama A kako je to prikazano na Sl. 3. Za sistem od dvije mase m_1 i m_2 koje se ubrzavaju jedna prema drugoj možemo napisati

$$-\vec{a}_2 = \frac{m_1}{m_2} \vec{a}_1 \quad (6a)$$

$$\vec{a}_1 = \vec{A} \frac{m_2}{M} \quad (6b)$$

Gdje je M ukupna masa ($m_1 + m_2$) i ostali simboli su prikazani na Sl. 3.

Da bi izveli izraz za jakost dinamičkog gravitacijskog polja oko mase koja se ubrzava, počet ćemo sa izrazom (6.a), koji predstavlja ravnotežu sila u sistemu od dvije mase. Po hipotezi dinamičkog gravitacijskog polja, masa m_1 , koja se ubrzava akceleracijom a_1 , će razviti dinamičko gravitacijsko polje g_{d1} oko mase m_2 koje će proizvesti silu. U izrazu (6.a) zamijenit ćemo negativnu akceleraciju mase m_2 sa jakošću dinamičkog gravitacijskog polja koje razvija masa m_1 kako je to definirano izrazom za definiciju jakosti gravitacijskog polja u jednadžbi (2.a):

$$-\vec{a}_2 = \vec{g}_{d1} = \frac{m_1}{m_2} \vec{a}_1 \quad (7)$$

Ova jednadžba se bazira na definiciji jakosti gravitacijskog polja, ravnoteži sila te na zakonu gibanja koji je poznat iz eksperimenata. Jednadžba (7) nam daje jakost dinamičkog gravitacijskog polja koje akceleracija mase m_1 stvara na lokaciji na kojoj se nalazi masa m_2 . Jednadžba (7) se treba modificirati da bi opisivala dinamičko gravitacijsko polje u cijelom prostoru oko mase koja se ubrzava. Ako pomnožimo svaku masu u jednadžbi (7) sa gravitacijskom konstantom G i podijelimo je sa kvadratom udaljenosti među masama r_{12} dobit ćemo slijedeći izraz za jakost dinamičkog gravitacijskog polja:

$$\vec{g}_{d1} = G \frac{m_1}{r_{12}^2} \frac{\vec{a}_1}{G \frac{m_2}{r_{12}^2}} = G \frac{m_1}{r_{12}^2} \frac{\vec{a}_1}{g_{s2}} \quad (8)$$

Gdje je g_{d1} dinamičko gravitacijsko polje koje masa m_1 razvija na mjestu na kojem se nalazi masa m_2 , G je gravitacijska konstanta, a_1 je akceleracija mase m_1 , r_{12} je udaljenost među masama i g_{s2} je magnituda statičkog gravitacijskog polja točkaste mase m_2 na lokaciji mase m_1 .

Pomnožili smo svaku masu u (7) sa G jer je polje sila gravitacijsko i čineći to možemo praviti usporedbu jakosti dinamičkog gravitacijskog polja sa jakošću statičkog gravitacijskog polja. Dijelimo svaku masu sa kvadratom udaljenosti jer se polje prostire od mase koja ga razvija ravnomjerno u svim smjerovima.

Dinamičko gravitacijsko polje je proporcionalno masi koja ga proizvodi i opada sa kvadratom udaljenosti od te mase. Dinamičko gravitacijsko polje je proporcionalno kvocijentu akceleracije i statičkog gravitacijskog polja koje proizvodi druga masa, u našem slučaju masa m_2 . Smjer dinamičkog gravitacijskog polja je u smjeru akceleracije mase koja ga proizvodi.

Jednadžba (8) opisuje dinamičko gravitacijsko polje koje masa m_1 razvija na lokaciji mase m_2 . Možemo koristiti tu jednadžbu za računanje jakosti dinamičkog gravitacijskog polja u bilo kojoj točki u prostoru ako koristimo udaljenost između mase m_1 i izabrane točke u prostoru. Dinamičko gravitacijsko polje koje akceleracija mase m_1 razvija u bilo kojoj točki prostora je:

$$\vec{g}_{d1} = G \frac{m_1}{r^2} \frac{\vec{a}_1}{g_{s2}} \quad (9)$$

Ako postoji više masa u sistemu, uz mase m_1 i m_2 , utjecaj sila reakcije tih masa se treba uzeti u obzir kad računamo dinamičko gravitacijsko polje za masu m_1 . Te mase će doprinositi magnitudi statičkog gravitacijskog polja na lokaciji mase m_1 .

$$\vec{g}_{d1} = G \frac{m_1}{r^2} \frac{\vec{a}_1}{\sum_{i=2}^n G \frac{m_i}{r_{1i}^2}} \quad (10)$$

Lako se provjeri za jednadžbu (10) da je suma sila na svim ostalim masama, uzrokovana dinamičkim gravitacijskim poljem mase m_1 koja se ubrzava, jednaka reakciji na inercijalnu silu

$$m_1 \vec{a}_1 = \sum_{j=2}^n m_j \vec{g}_{d,1j} \quad (11)$$

Jednadžba za dinamičko gravitacijsko polje sa kontinuiranom distribucijom drugih masa u sistemu ρ , može se pisati kao

$$\vec{g}_{d1} = G \frac{m_1}{r^2} \frac{\vec{a}_1}{\int_V G \frac{\rho_i}{r_{1i}^2} dV} \quad (12)$$

Volumni integral u nazivniku jednadžbe (12) je skalarna veličina koja predstavlja magnitudu statičkog gravitacijskog polja drugih masa u sistemu.

Dinamičko gravitacijsko polje koje masa m_I razvija će biti jače za istu akceleraciju ako su druge mase manje i ako su na većoj udaljenosti od mase m_I .

Uz pretpostavku da je zemlja sferičnog oblika sa radijusom R i jednolikom gustoćom mase ρ skalarno statičko gravitacijsko polje u nazivniku jednadžbe (12) za zemlju je

$$g_s = 2\pi G\rho R \quad (13)$$

Magnituda vektora statičkog gravitacijskog polja na površini zemlje prema Newton-ovom zakonu gravitacije (2.b) je

$$\vec{g}_s = -\frac{4}{3}\pi G\rho R\hat{r} \quad (14)$$

Magnituda skalarnog statičkog gravitacijskog polja na površini zemlje je 50% veća od magnitude vektora statičkog gravitacijskog polja. Numerička vrijednost skalara g_s na površini zemlje je aproksimativno 14.72m/s^2 , tako da se dinamičko gravitacijsko polje za masu koja se ubrzava na površini zemlje može računati koristeći slijedeći izraz

$$\vec{g}_{d1} = G \frac{m_1}{r^2} \frac{\vec{a}_1}{14.72} \quad (15)$$

Svojstva inercijalne sile koja se stvara opisanim dinamičkim gravitacijskim poljem su u skladu sa ponašanjem mase koje se uočava u prirodi.

- Smjer inercijalne sile na masi m_2 računate na ovaj način će uvijek biti suprotan smjeru akceleracije mase m_2 jer je inercijalna sila uzrokovana dinamičkim gravitacijskim poljem koje razvija akceleracija mase m_I .
- Dinamičko gravitacijsko polje je takovo da je princip akcije i reakcije uvijek zadovoljen. Sila na masu koja se ubrzava je uvijek jednaka sili na okolnim masama koje se ubrzavaju u suprotnom smjeru.
- Inercijalna sila ne zavisi o smjeru akceleracije prema zemlji. Inercijalna sila za istu akceleraciju će biti jednakog iznosa ako se masa ubrzava paralelno ili okomito na površinu zemlje.

- Inercijalna sila je neovisna o mjestu ubrzanja. Inercijalna sila će biti ista za istu akceleraciju mase na polu kao i na ekvatoru. To je zbog toga što se statičko gravitacijsko polje zemlje, u nazivniku jednadžbe (15), a s njim i dinamičko gravitacijsko polje, mijenja sa položajem na zemlji. Čak i kada se odmaknemo od zemlje inercijalna sila će uvijek biti proporcionalna akceleraciji.
- Dinamičko gravitacijsko polje, a s njime i inercijalna sila, je linearno proporcionalno masi koja ga razvija a ne kvadratu mase. Energija magnetskog polja oko električnog naboja u gibanju je proporcionalna kvadratu naboja. Kinetička energija mase u gibanju je linearno proporcionalna sa masom.

2. Jednadžbe gibanja planeta

Trebamo provjeriti da li se jednadžba dinamičkog gravitacijskog polja slaže sa uočenim gibanjem planeta u našem solarnom sistemu. Treba se pokazati da je akceleracija planeta računata pomoću jednadžbe dinamičkog gravitacijskog polja jednaka akceleraciji računatoj pomoću Newton-ovog zakona gravitacije i jednadžbe gibanja.

Jednadžbe za ravnotežu sila u sistemu masa koje se gibaju i imaju statičko i dinamičko gravitacijsko polje trebaju uzeti obadva polja u razmatranje. Tijela u svemiru nemaju oslonac koji proizvodi neku silu nego su sile koje djeluju na tijelo uvijek u ravnoteži tako da sile koje statičko i dinamičko gravitacijsko polje drugih masa stvaraju na svakoj masi m_j moraju biti u ravnoteži.

$$\sum_i \vec{F}_i = 0 \quad (16a)$$

$$\sum_i \vec{F}_{si} + \vec{F}_{di} = \sum_{i \neq j} m_j (\vec{g}_{sij} + \vec{g}_{dij}) = 0 \quad (16b)$$

U gornjoj jednadžbi g_{sij} je jakost statičkog gravitacijskog polja koje masa m_i stvara na lokaciji mase m_j , a g_{dij} je dinamičko gravitacijsko polje koje masa m_i stvara na lokaciji mase m_j . Jednadžba (16) će biti zadovoljena za svaku masu samo ako je suma statičkih i dinamičkih polja stvorenih drugim masama jednaka nuli na lokaciji mase m_j . Za sistem sa dvije točkaste mase koje imaju statičko i dinamičko polje jednadžbe su:

$$G \frac{m_1}{r_{12}^2} \frac{\vec{a}_1}{G \frac{m_2}{r_{12}^2}} + G \frac{m_1}{r_{12}^2} \hat{r} = 0 \quad (17a)$$

$$G \frac{m_2}{r_{12}^2} \frac{\vec{a}_2}{G \frac{m_1}{r_{12}^2}} - G \frac{m_2}{r_{12}^2} \hat{r} = 0 \quad (17a)$$

Primjena jednadžbe dinamičkog gravitacijskog polja za računanje gibanja jednog planeta i sunca daje isti rezultat za akceleraciju planeta kao primjena Newton-ovog zakona i zakona gibanja. To znači da će orbitalni period računat na jedan način biti isti kao orbitalni period računat na drugi način. Orbitalni period planeta se može računati pomoću akceleracije i jakosti statičkog gravitacijskog polja prema izrazu

$$a = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r = G \frac{m_s}{r^2} \quad (18)$$

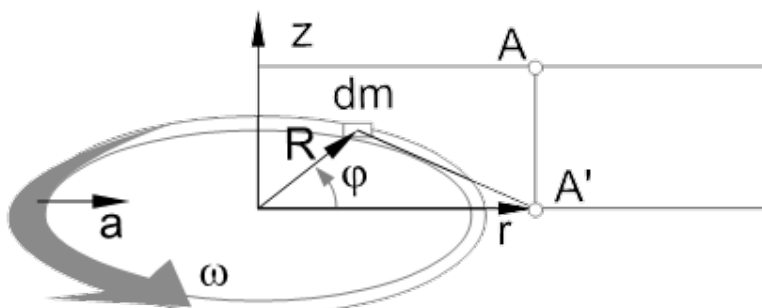
Gdje je

- a – akceleracija planeta
- T – orbitalni period planeta
- r – udaljenost planeta od sunca
- m_s – masa sunca
-

Iz jednadžbi (17) vidimo da će jakost dinamičkog gravitacijskog polja biti veća za istu akceleraciju za planete udaljenije od sunca nego za planete koji su bliže suncu. Bez tog efekta sile reakcije za gibanje planeta ne bi bile u ravnoteži na suncu. Konceptualna razlika u računu gibanja planeta koristeći dinamičko gravitacijsko polje i Newton-ovu metodu je da svi planeti i sunce moraju imati akceleraciju. Ne možemo imati solarni sistem gdje je sunce stacionarno. Trebamo biti svjesni da se svaka masa ubrzava ili ćemo imati sistem gdje sile neće biti u ravnoteži. Ubrzanje može biti numerički zanemarivo ali to ubrzanje postoji i stvara ravnotežu sila. Daljnja razlika je da će akceleracija planeta stvarati silu na druge planete. Dinamičko i statičko gravitacijsko polje svakog planeta će utjecati na gibanje drugih planeta.

3. Dizajn eksperimenta za detektiranje dinamičkog gravitacijskog polja

Jakost dinamičkog gravitacijskog polja za masu koja se ubrzava na zemlji predviđena jednadžbom (15) je dovoljno velika da bi se mogla detektirati prikladno projektiranim instrumentom. Ako u laboratoriju želimo mjeriti dinamičko gravitacijsko polje oko kugle koja se spušta niz kosinu ili je ispuštena sa neke visine jakost polja i trajanje pojave bi bili premali da se detektiraju jednostavnim instrumentom. Ako koristimo zvrk koji se okreće kako je to pokazano na Sl. 4. imat ćemo masu dm koja se neprestano ubrzava konstantnom akceleracijom na istoj lokaciji u odnosu na nas. Jakost dinamičkog gravitacijskog polja u prostoru oko zvrka će biti konstantna.



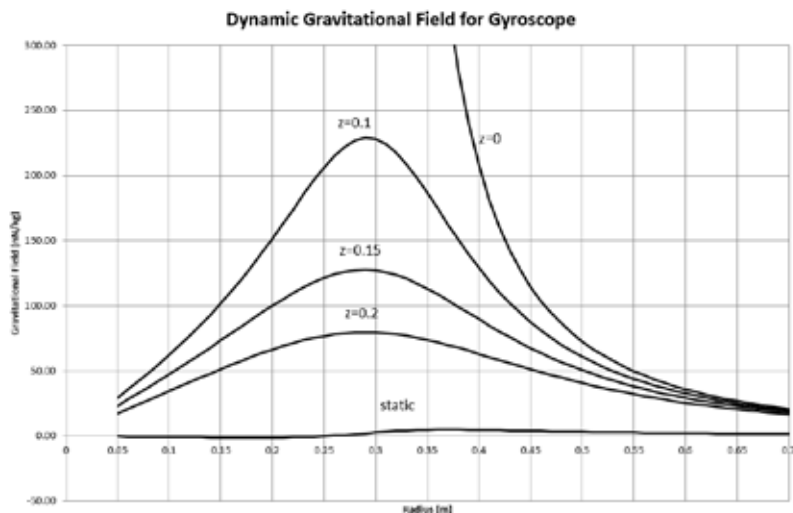
Sl. 4.: Zvrk za generiranje dinamičkog gravitacijskog polja

Jakost dinamičkog gravitacijskog polja u prostoru oko zvrka možemo naći tako da integriramo doprinose masa dm po cijelom obodu zvrka. Izraz za jakost dinamičkog gravitacijskog polja koje mala masa dm stvara u točki A na udaljenosti r od ishodišta pod kutom θ rad i na visini z se može napisati u cilindričnom koordinatnom sustavu kao:

$$\vec{g}_d = \int_{-\pi}^{\pi} G \frac{\omega^2 R}{14.72} \frac{\cos(\varphi) \lambda R d\varphi}{(z^2 + r^2 + R^2 - 2rR\cos(\varphi))} \quad (19)$$

Gdje su r , φ i z cilindrične koordinate, R je radijus zvrka, λ je linijska gustoća mase na obodu zvrka, G je gravitacijska konstanta, ω je kružna brzina zvrka. Jednadžba (19) je primjena jednadžbe za jakost dinamičkog gravitacijskog polja na ubrzanje mase na zemlji. Izraz $(\omega^2 R)$ je akceleracija mase dm , $(\lambda R d\varphi)$ je diferencijalna masa dm , u nazivniku je udaljenost mase dm

od točke u prostoru A , a član $\cos(\varphi)$ u brojniku izraza je zbog toga jer je sila vektorska veličina i razmatramo samo komponentu koja djeluje prema središtu zvrka. Točka A' je projekcija točke A na ravninu u kojoj se vrti zvrk. Udaljenost mase dm od točke u prostoru A se nađe kao suma kvadrata visine z i udaljenosti mase dm od A' . Pri računanju kvadrata udaljenosti točke A' od mase dm koristi se kosinusov poučak.



Sl. 5.: Jakost dinamičkog gravitacijskog polja oko zvrka

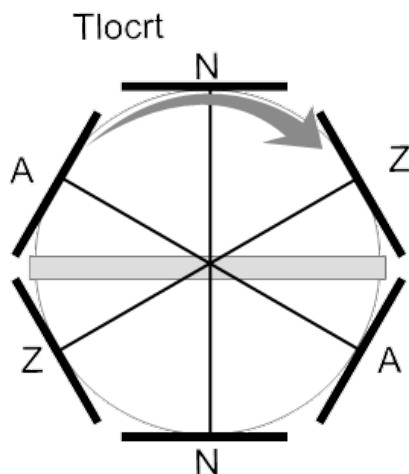
Dinamičko gravitacijsko polje zvrka koji ima masu 10kg jednoliko raspoređenu po obodu kruga radijusa 0.3m, kao kotač bicikla, je prikazano na Sl. 5. Jakost dinamičkog polja je računata pomoću jednadžbe (19). Zvrk se okreće sa 6 okreta u sekundi ili 360 okreta u minuti [rpm]. Obod kruga se giba sa oko 40km/h i akceleracija mase dm je oko 426m/s^2 . Jakost dinamičkog gravitacijskog polja u nN/kg je prikazana na uspravnoj osi. Na vodoravnoj osi je pokazan radijus r od centra zvrka u metrima. Pozitivna vrijednost polja je usmjerena prema centru zvrka. Visina z od ravnine u kojoj se zvrk vrti je parametar na svakoj krivulji. Komponenta statičkog gravitacijskog polja koja djeluje prema centru zvrka na visini 0.1m je pokazana za usporedbu. Ovo gravitacijsko polje može biti detektirano instrumentom kao što je torziona vaga. Instrument mora biti u stanju da radi u okolini gdje su prisutne smetnje uzrokovane vibracijama zvrka koji nikada ne može biti idealno balansiran.

Instrument mora biti u mogućnosti pouzdano detektirati gravitacijsko polje iznad nivoa smetnji koje su izazvane vibracijama zvrka od 50nN/kg . U eksperimentu koji je napravio Cavendish da bi izmjerio masu zemlje jakost gravitacijskog polja je bila oko 200nN/kg . Kugle težine oko 158kg bile su postavljene na udaljenosti oko 23cm od gravitacijskih sonde. Trebamo uzeti u obzir kućište oko sonde instrumenta koje će štititi sondu od gibanja zraka i elektrostatskih sila tako da ne možemo doći jako blizu sonde sa zvrkom.



Sl. 6.: Modificirani Cavendish-ev eksperiment

Prikaz eksperimenta koji se može koristiti za detekciju dinamičkog gravitacijskog polja je pokazana na Sl. 6. U eksperimentu imamo torzionu vagu sa masama sonde m_p i dva zvrka. Zvrkovi će se okretati radnom brzinom N_g . Tokom eksperimenta jakost dinamičkog gravitacijskog polja se podvostručava tako da mijenjamo smjer dinamičkog gravitacijskog polja okretanjem zvrkova oko sonde sličnu kao u Cavendish-evom eksperimentu [7]. Mogu se napraviti i drugačiji eksperimenti za detektiranje dinamičkog gravitacijskog polja ali opisani eksperiment izgleda najjednostavniji iako nije trivijalan.



Sl. 7.: Pozicija zvrka tokom pokusa

Na Sl. 7. prikazani su položaji zvrkova tokom pokusa gledano odozgo. Gravitacijske sonde su u kućištu a zvrkovi su na okretnom stolu i os koja prolazi kroz središte zvrka se može okrenuti u položaje A, N i Z. Kada je okretni stol u položaju A onda bi dinamičko gravitacijsko polje pomaklo sondu u pozitivnom smjeru, kada je okretni stol u položaju Z otklon bi bio u negativnom smjeru, a kada je okretni stol u položaju N dinamičko gravitacijsko polje ne bi imalo utjecaja na otklon sonde.

U svojim pokusima za mjerenje jakosti statičkog gravitacijskog polja Cavendish je mjerio nekoliko oscilacija položaja sonde i na osnovu nekoliko oscilacija je određivao konačnu vrijednost otklona. Konačnu vrijednost otklona je računao iz rezultata tih nekoliko prvih oscilacija kao srednju vrijednost otklona u jednom smjeru i srednje vrijednosti dvaju susjednih otklona u suprotnom smjeru.

$$X_k = \frac{X_{n,+} + \frac{X_{n-1,-} + X_{n+1,-}}{2}}{2} \quad (20)$$

Gdje je:

- X_k je konačna vrijednost položaja sonde,
- $X_{n,+}$ je vršna vrijednost otklona u pozitivnom smjeru u oscilaciji n

- $X_{n-l,-}$ je vršna vrijednost otklona u negativnom smjeru prije pozitivnog vrha
- $X_{n+l,-}$ je vršna vrijednost otklona u negativnom smjeru nakon pozitivnog vrha

Cavendish je računao konačnu vrijednost za vršne vrijednosti koje su bile pozitivne i negativne. On u svom članku navodi da je ovakav način računanja konačne vrijednosti pouzdanija mjera otklona nego čekati da se sonde umire jer položaj sonde ima “drift” ako se promatra satima. Razlika u položaju sonde koja se mjeri u kratkom periodu nema “drift” koji bi utjecao na rezultat mjerenja. U nizu pokusa Cavendish je postavljao utege u razne kombinacije položaja Z,A ; N,A,Z ; A,N,A... Da bi odredio utjecaj magnetskog polja i druge utjecaje okoline na otklon instrumenta radio je pokuse pomicanjem uređaja bez utega, sa zagrijavanjem utega...

4. Mehanička konstrukcija instrumenta

Izgled modela instrumenta sa zvrkovima kojega koristim u pokušaju detektiranja dinamičkog gravitacijskog polja pokazan je na Sl. 8. Instrument sam nazvao Jele po kraljici Jeleni zaštitnici udovica i siročadi.



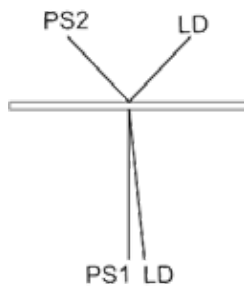
Sl. 8.: Model instrumenta za mjerenje dinamičkog gravitacijskog polja

U kućištu instrumenta je zakretna nit i letva koja nosi dvije mase na svojim krajevima. Nit je od čelične žice promjera 0.2 mm. Kućište je izrađeno od drva i iznutra je obloženo aluminijskom folijom da se eliminira utjecaj elektrostatskog polja. Na krajevima ruku instrumenta oplata je od prozirne plastike tako da se pozicija letve unutar kućišta može vizualno provjeriti. Na vrhu tornja instrumenta je elektronika za podešavanje položaja letve koja nosi mase kojima se mjeri gravitacijsko polje. Zvrkovi su kotači električnog bicikla. Na svaki

kotač je namotano 11kg bakrene žice. Kotači su postavljeni na okretni stol koji se upravlja istosmjernim motorom. U kasnijoj izvedbi zvrkovi su obloženi kućištem da bi se spriječilo da strujanje zraka uzrokovano okretanjem kotača utiče na odklon instrumenta.

5. Elektronika instrumenta

Otklon letve koja nosi gravitacijske sonde se mjeri sa dva detektora pozicije „position sensing detectors“ S3932 koje proizvodi Hamamatsu. Detektori pozicije imaju foto osjetljivu površinu od 12mm i na toj površini mogu registrirati položaj svijetle točke. Izvor svjetlosti koji proizvodi točku je laserska dioda koja daje crvenu svjetlost valne dužine 650nm sa lećom za križno fokusiranje svjetlosti. Na letvi koja nosi gravitacijske sonde su montirana dva ogledala. Ogledala nisu napravljena od stakla nego imaju površinu koja reflektira svjetlost tako da se izbjegava prelamanje svjetlosne zrake pri prolazu kroz staklo do površine za refleksiju. Struje koje proizvodi S3932 se pojačavaju operacionim pojačalima TL074 i pretvaraju u digitalni signal 16 bitnim AD pretvaračem ADS1115. Arduino mikro kontroler očitava digitalne signale sa AD pretvarača i računa poziciju letve svakih 5 sekundi. Rezultat računa zajedno sa ostalim mjerenim veličinama se prenosi na računalo pomoću bluetooth veze. Rezultati se spremaju u csv datoteku. Letva koja visi na nitima ne giba se samo torziono nego i oscilira u drugim stupnjevima slobode. Da bi se detektirale oscilacije u drugim stupnjevima slobode i povećala pouzdanost mjerenja, koristi se sustav sa dva senzora pozicije. Jedan je postavljen blizu letve i svjetlost se reflektira od ogledala pod velikim kutom. Drugi je postavljen na većoj udaljenosti od ogledala i zraka svjetla se reflektira gotovo okomito sa ogledala kako je to prikazano na Sl. 9.



Sl. 9 Detekcija otklona letve

Letva koji nosi gravitacijske sonde treba biti pozicionirana tako da je u sredini kućišta. Ako je sonda blizu jednog zida kućišta udaljenost od sonde do zvrka bi bila krivo procijenjena i to bi doprinosilo pogreški mjerenja. Sonda se pozicionira u sredinu kućišta pozicionim mehanizmom koju zakreće ovjesište koje drži nit na kojoj visi letva. Pozicioni mehanizam koristi koračni motor 28BYJ-48 sa upravljačkim sklopom ULN2003. Motor je povezan sa ovjesištem remenom GT-2 širokim 5mm. Motor ima zupčanik sa 20 zubaca i ovjesište ima zupčanik sa 60 zubaca. Akcija pozicioniranja počinje kada dotaknem letvu rukom tako da ona oscilira između dva zida kućišta. Željena pozicija (set point) letve se računa kao srednja vrijednost minimalnog i maksimalnog otklona letve. Letva na niti je oscilatorni sistem sa jako malim prigušenjem. Da bi pozicionirao letvu blizu željene pozicije koristim adaptivni algoritam za upravljanje a kao povratnu veličinu koristi se signal sa kašnjenjem signala pozicije letve. Vremenska konstanta kašnjenja signala pozicije je 500 sekundi. Pozicija ovjesišta se podešava svakih 900 sekundi ili 15 minuta. Koračni motor se napaja iz 12V izvora. Da bi se smanjilo zagrijavanje motora, napon na upravljačkom sklopu se isklupi u periodu kad motor ne treba da se giba. Zbog trenja između zupčanika i kućišta ovjesište ostaje u konstantnoj poziciji i bez napona na koračnom motoru.

Zvrkovi su postavljeni na okretnom stolu koji ih okreće od jedne sonde do druge. Pozicija okretnog stola se kontrolira pomoćnim Arduinoom. Pomoćni Arduino komunicira sa vodećim svakih pet sekundi. Pomoćni Arduino dobiva komandu da pozicionira okretni stol u željenu poziciju ili da pošalje mjerene vrijednosti na ispis. Kad Arduino dobije komandu da pozicionira okretni stol na neku poziciju, Arduino uključi istosmjerni motor u željenom smjeru okretanja pomoću relejnog modula XC-4440. Motor je povezan sa okretnim stolom zupčastim remenom HTD5M širokim 15mm. Remen je povezan sa davačem položaja EAW0J-B24-AE0128L koji mjeri poziciju okretnog stola. Pozicija okretnog stola se mjeri sa rezolucijom od 0.8mm.

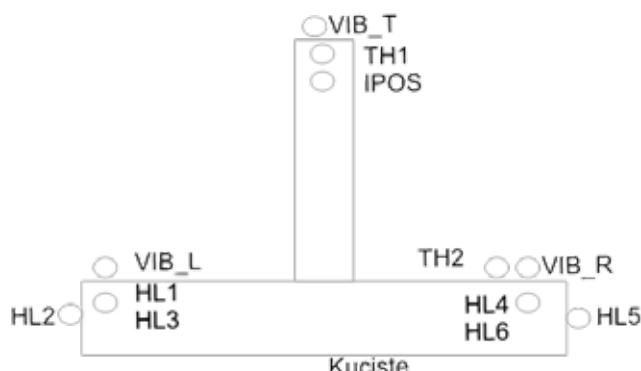
Zvrk je napravljen kao kotač električnog bicikla kojemu je na obodu namotano 11 kg bakrene žice. Neizolirana bakrena žica koju sam koristio je promjera 1.65mm. Kotač je 26" stražnji kotač 48V 1000W kojeg proizvodi Voilamart. Kotač ima motor sa permanentnim magnetima. Pretvarač koji napaja kotač je generički pretvarač 350W koji sam našao na tržištu. Kod pretvarača sam uspio identificirati vodiče koji služe za mjerenje brzine i kontrolu brzine. Brzina vrtnje se mjeri pomoću Hallove sonde. Signal Hallove sonde sam

filtrirao da bi dobio pravokutni napon čija frekvencija je proporcionalna brzini vrtnje. Ustanovio sam da motor ima 23 pola. Brzina kotača se kontrolira analognim naponskim signalom 0-5V kojeg sam generirao pomoću 12bitnog DA pretvarača MCP4725. Struja koju uzima motor se mjeri pomoću strujnog senzora ACS712-05.

6. Električne smetnje i utjecaj okoline

Sonde i ostali dijelovi instrumenta su napravljeni od nevodljivog materijala tako da se elektrostatski naboj može nakupiti na površini tih dijelova. U prvoj izvedbi instrumenta nisam imao oblog od aluminijske folije na unutrašnjosti kućišta i na sondama. Bez elektrostatske zaštite letva se nije mogla stabilizirati u sredini kućišta. Udarila bi u jedan zid kućišta i ostala prilijepljena sve dok mehanizam za pozicioniranje ne bi djelovao i odlijepio je od jednog zida, a onda bi udarila u drugi zid i ostala zalijepljena na drugom zidu. Aluminijske folije koje sam postavio na unutarnje zidove kućišta, na sonde i letvu su međusobno povezane tako da se elektrostatski naboj prazni te je time riješen problem sa elektrostatskim nabojem.

Svaki materijal ima neka magnetska svojstva i reagirat će na magnetsko polje. Čak će i dijamagnetski ili paramagnetski materijali reagirati na magnetska polja. Da bi se eliminirao utjecaj vrtložnih struja koje se mogu pojaviti zbog nepravilnosti u zvrku, sonde su napravljene od nevodljivog materijala. Sonde su napravljene od plastične cijevi promjera 65mm dužine 80mm koja je ispunjena pijeskom i cementom. Magnetska susceptibilnost betona ovisi u velikoj mjeri o vlažnosti betona [9] tako da su sonde sušene nekoliko tjedana prije nego li su prekrivene aluminijskom folijom. Ako je magnetsko polje konstantno mehanizam za pozicioniranje će stvoriti protusilu tom polju i otklon instrumenta neće biti pod utjecajem te sile. Elektromotori za pogon zvrka imaju neko rasipno magnetsko polje koje se ne može eliminirati pa su oko gravitacijskih sondi postavljene Hallove sonde za mjerenje magnetskog polja. Utjecaj magnetskog polja na otklon sondi će se provjeriti baždarnim postupkom. Permanentni magneti će se prinijeti sondama i mjerit će se otklon instrument zbog magnetskog polja uz istovremeno mjerenje jakosti magnetskog polja.



Sl. 10.: Položaj detektora za utjecaj okoline na kućištu instrumenta

Smetnje u mjerenju nisu uzrokovane samo prisutnošću električnih i magnetskih polja. Da bi se smetnje i utjecaj okoline promatrali tokom eksperimenta postavljeno je nekoliko senzora oko instrumenta

- 6 Hallovih sonde (HL) za mjerenje magnetskog polja
- 3 sonde sa piezo-kristalima (VIB) za mjerenje vibracija
- 2 sonde za mjerenje temperature i vlažnosti zraka (TH)
- Sonda za mjerenje pozicije tornja instrumenta i iluminacije svijetlosti (IPOS)

Signali sa ovih sonde se spremaju u datoteku svakih pet sekundi zajedno sa signalima položaja štapa, brzine vrtnje zvrka, struje pogonskog motora zvrka i vibracija na zvrku.

7. Mehaničke smetnje u instrumentu

Gravitacijske sile koje se mjere instrumentom su jako male tako da strujanje zraka oko sonde može izazvati otklon instrumenta. Sila otpora strujanja zraka oko sonde se može računati prema izrazu [10]:

$$F_d = C_d \rho A \frac{v^2}{2} \quad (21)$$

Gdje su F_d sila otpora strujanja zraka, C_d koeficijent otpora strujanja zraka, ρ gustoća zraka, A površina preko koje zrak struji i v brzina strujanja zraka. Ako pretpostavimo da je koeficijent otpora zraka 1.2, brzina strujanja zraka koja bi

proizvela istu silu na sondu kao gravitacijsko polje od 50nN/kg, je oko 1.6mm/s. Iz rezultata ove jednostavne provjere vidimo da se sonda mora zaštititi kućištem od strujanja zraka. Strujanje zraka može biti izazvano gradijentom temperature tako da dimenzije kućišta ne smiju biti velike.

Veliki izvor mehaničkih smetnji su vibracije koje stvara zvrk. Utjecaj tih vibracija se može smanjiti na nekoliko načina: dobrim balansiranjem zvrka, oplatom oko zvrka koja eliminira strujanje zraka oko zvrka, izoliranjem instrumenta od vibracija koje stvara zvrk u zemlji oko instrumenta, povećanjem brzine zvrka tako da su smetnje relativno manje u odnosu na koristan signal i mijenjanjem rezonantne frekvencije zvrka ili instrumenta dodavanjem mase. Ove smetnje još uvijek nisu eliminirane do te mjere da je moguće mjeriti dinamičko gravitacijsko polje tako da je pokus još uvijek u toku.

8. Baždarenje instrumenta

Računanje osjetljivosti instrumenta preko perioda oscilacija je pouzdanija metoda nego pokušaj da se procijeni krutost niti pomoću tabele. Gibanje sonde pod utjecajem sile je određeno mehaničkom jednačbom gibanja

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + kx = F \quad (22)$$

U ovoj jednačbi je m masa, γ faktor prigušenija oscilacija, k konstanta opruge i F sila koja uzrokuje gibanje. Sila će u našem slučaju biti izazvana djelovanjem gravitacije na sondu. Ako ovu jednačbu podijelimo sa masom m dobit ćemo

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{\gamma}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = \frac{F}{m} \quad (23)$$

Ova jednačba se može napisati u drugom obliku

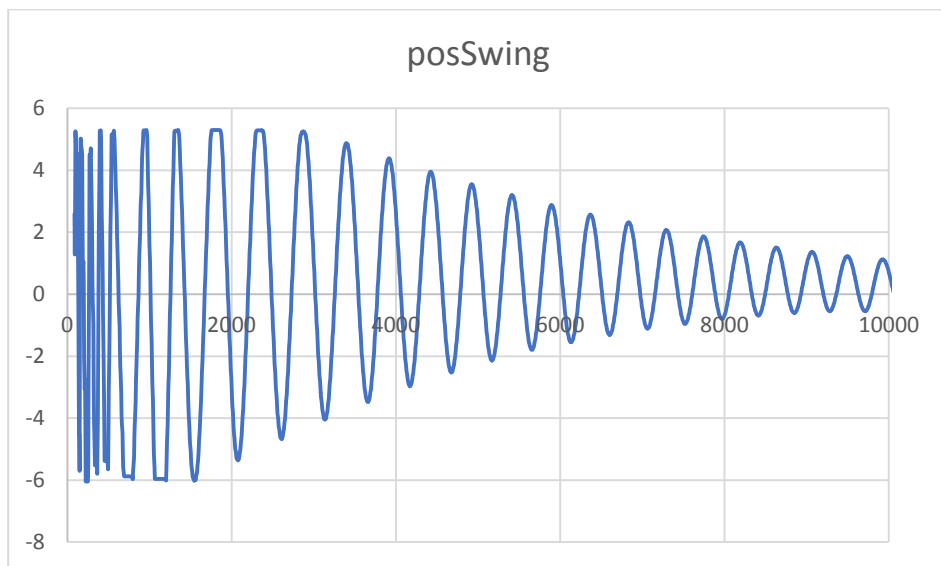
$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{2}{\tau} \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = g \quad (24)$$

U gornjoj jednačbi je τ vremenska konstanta prigušenija oscilacija, ω_0 kružna frekvencija neprigušenih oscilacija i g jakost gravitacijskog polja koje mjerimo. Vremensku konstantu prigušenja i period oscilacija lako se očitava sa

dijagrama mjerenja pozicije letve. Kada završe prijelazno pojave prva i druga derivacija pozicije će biti nula tako da je otklon instrumenta nakon prijelazne pojave dan izrazom

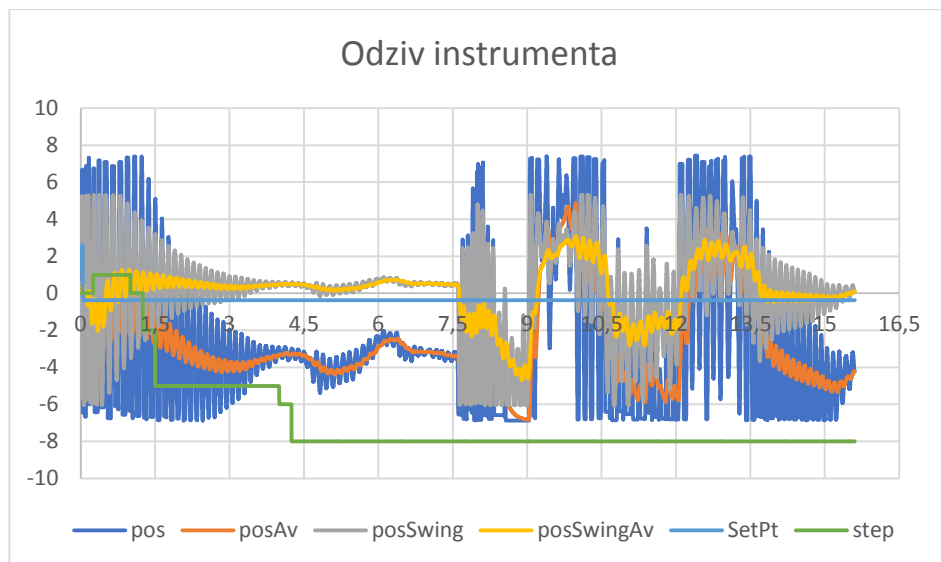
$$x = \frac{g}{\omega_0^2} = \frac{T^2}{4\pi^2} g \quad (24)$$

Gdje je T period oscilacija.



Sl. 11.: Pozicija letve tokom prvih 10 000 sekundi pokusa

Iz dijagrama na Sl. 11 možemo vidjeti da je perioda oscilacija oko 480 sekundi ili osam minuta. Na vodoravnoj osi je pokazano vrijeme u sekundama a na okomitoj osi otklon letve u mm mjeren senzorom pozicije PS2 kako je to pokazano na Sl. 9. Otklon instrumenta pri mjerenju gravitacijskog polja jakosti 200nN/kg bi bio 1.167mm. Ovaj otklon raste sa kvadratom broja okretaja u minuti tako da bi povećanjem broja okreta mogli dobiti otklone koji su znatno veći.



Sl. 12.: Odziv instrumenta tokom pokusa

Odziv instrumenta tokom pokusa pokazan je na Sl. 12. Na vodoravnoj osi prikazano je vrijeme u satima a na okomitoj otklon letve mjereno u mm. Krivulje koje su na dijagramu su:

- *pos* – pozicija letve mjerena pozicionim senzorom PS1
- *posAv* – filtrirana vrijednost pozicije *pos*
- *posSwing* – pozicija letve mjerena senzorom PS2
- *posSwingAv* – filtrirana vrijednost pozicije *posSwing*
- *SetPt* – željena vrijednost pozicije letve
- *step* – korak konačnog motora za podešavanje pozicije letve
-

Tokom mjerenja prvih 4.5 sata se podešava pozicija letve da bi ona bila u centru kućišta, a zvrk se drži u neutralnom položaju N kako je to prikazano na Sl. 7 i ne okreće se radnom brzinom. Program položaja okretnog stola i brzine zvrka tokom mjerenja prikazanog na Sl. 13 dan je u tablici 1.

Tablica 1.: Program položaja i brzine zvrka tokom pokusa

Vrijeme [h]	Položaj okretnog stola	Brzina zvrka [rpm]
0-4.5	N	0
4.5-6	A	0
6-7.5	Z	0
7.5-9	N	360
9-10.5	A	360
10.5-12	Z	360
12-13.5	A	360
13.5-...	N	0

Iz rezultata pokusa pokazanih na Sl. 11 i Sl. 12 jasno je da je osjetljivost instrumenta blizu željene osjetljivosti. Gravitacijsko polje koje želimo mjeriti je u području mjerenja i može se detektirati instrumentom. Ako je potrebno jakost polja se može pojačati tako da se poveća radna brzina zvrka. Potrebno je poraditi na otklanjanju smetnji i umirenju instrumenta jer su smetnje uzrokovane vibracijama zvrka prevelike da bi se moglo zaključiti da li postoji otklon uzrokovan dinamičkim gravitacijskim poljem ili ne postoji.

Zaključak

U članku je prikazano teoretsko razmatranje hipoteze da svaka masa koja se ubrzava stvara dinamičko gravitacijsko polje oko sebe te da je inercijalna sila koju osjećamo pri ubrzanju mase posljedica tog polja. Laboratorijski pokus koji se može koristiti za detektiranje dinamičkog gravitacijskog polja je isto tako opisan. Jednadžba koje opisuju hipotetsko polje je izvedena koristeći princip akcije i reakcije te pretpostavku da Galileov zakon gibanja vrijedi svugdje u prostoru. Dinamičko gravitacijsko polje u toj jednadžbi je kvazi-stacionarno jer jednadžba ne opisuju prostiranje tog polja kroz prostor.

Pokazano je da su svojstva inercijalne sile računate primjenom dinamičkog gravitacijskog polja u skladu sa svojstvima inercije koja se mogu mjeriti pokusima u prirodi. Isto tako je pokazano da je orbitalna brzina planeta u našem sunčanom sistemu računata pomoću jednadžbe dinamičkog gravitacijskog polja u skladu sa posmatranjem. Jakost dinamičkog gravitacijskog polja koje stvara inercijalnu silu je dovoljno velika da bi se to polje moglo detektirati laboratorijskim pokusom.

Jakost hipotetskog gravitacijskog polja opisanog u članku ovisi o razdiobi masa oko prostora gdje se masa ubrzava. Za istu akceleraciju mase jakost dinamičkog gravitacijskog polja će biti različita ovisno o tome da li je masa koja se ubrzava blizu ili daleko od drugih masa. Masa ubrzana istom akceleracijom na mjesecu i na zemlji će razviti dinamičko gravitacijsko polje koje je oko šest puta jače na mjesecu nego li je na zemlji. Ovakav zaključak nije intuitivan kao što ni činjenica da je težina tijela različita na raznim planetima nije intuitivna bez poznavanja statičkog gravitacijskog polja.

Sile koje se javljaju oko naboja u mirovanju i mase u mirovanju mogu se objasniti pomoću teorije polja. Isto tako elektrodinamičke sile se mogu objasniti pomoću teorije polja. Logično bi bilo da se pokuša znanstvenim eksperimentom provjeri pretpostavka da li su i gravitodinamičke sile, uključujući silu inercije, isto tako uzrokovane nekim poljem. Činjenica da nemamo eksperimentalnog dokaza da dinamičko gravitacijsko polje postoji nije dokaz da takovo polje ne postoji. Činjenice koje podupiru potrebu za eksperimentalnim istraživanjem hipotetskog dinamičkog gravitacijskog polja su:

- Postulirano dinamičko gravitacijsko polje zadovoljava princip akcije i reakcije za dinamiku mase a to je univerzalni princip koji važi za ostale slučajeve u polju sila
- Jednadžba dinamičkog gravitacijskog polja je u suglasju sa dinamikom mase koja je uočena u eksperimentima na zemlji
- Jednadžba dinamičkog gravitacijskog polja je u suglasju sa gibanjem planeta u solarnom sistemu

U literaturi [8] se navodi da su rađeni pokusi da se potvrdi jednakost inercijalne i gravitacijske mase, da se potvrdi valjanost zakona gravitacije o recipročnoj vrijednosti kvadrata udaljenost masa i neki drugi pokusi. Jednakost inercijalne i gravitacijske mase je bila pretpostavka koju su svi koristili kao poznatu prije nego li je Eötvös izveo njegove eksperimente. Nakon što je izveden pokus kojim se pokazalo da su ove mase jednake do jako velike preciznosti, rezultat eksperimenta se koristi kao potvrda jednakosti gravitacijske i inercijalne mase, a ne pretpostavka koja je opće prihvaćena. Za inercijalnu silu se pretpostavlja da je uzrokovana inercijom koja je svojstvo mase. Hipoteza da je inercijalna sila posljedica nekog polja koje se stvara oko mase koja se ubrzava može objasniti inercijalnu silu. Nigdje nisam našao zapise o pokušaju da se eksperimentom potvrdi koja je pretpostavka točna. Nisam naišao ni na zapise da se hipoteza dinamičkog gravitacijskog polja razmatrala. Pitanje postojanja ili nepostojanja dinamičkog gravitacijskog polja je značajno pitanje i trebalo bi izvesti pokus da bi se dobio eksperimentalni odgovor na to pitanje. Rezultat eksperimenta će biti nova potvrda opće teorije relativnosti u njenom sadašnjem obliku ili će otvoriti vrata za nova istraživanja u gravitaciji.

Napravljen je model eksperimenta koji je opisan u članku i dan je prikaz rezultata sa modela. Vidljivo je iz predloženih rezultata da je instrument koji je napravljen dovoljno osjetljiv da bi mogao detektirati hipotetsko polje. Smetnje i vibracije koje proizvodi zvrk su toliko velike da nije moguće iz sadašnjih rezultata odgovoriti na pitanje da li dinamičko gravitacijsko polje doista postoji ili ne postoji.

Literatura:

- [1] S. Bonechi, "How They Make me Suffer"
<https://www.museogalileo.it/en/museum/explore/meet-galileo/37-life/778-how-they-make-me-suffer.html>
- [2] M. Fowler, "Isaac Newton"
<http://galileoandstein.physics.virginia.edu/lectures/newton.html>
- [3] H. Ohanian, R. Ruffini, "Gravitation and Spacetime" *W.W. Norton & Company* 1994
- [4] M. L. Ruggiero, A. Tartaglia, "Gravitomagnetic Effects" February 2008 arXiv:gr-qc/0207065
- [5] O. Heaviside, "A Gravitational And Electromagnetic Analogy" Part I, *The Electrician*, 31, 281-282 (1893)
- [6] B. P. Abbott & all. "Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger" *PRL* 116, 061102 (2016)
- [7] H. Cavendish, "Experiments to Determine the Density of the Earth"
<https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1798.0022>
- [8] Y. T. Chen, A. Cook, "Gravitational Experiments in the Laboratory" *Cambridge University Press*, 2005
- [9]- J Davis, Y Huang, S. G. Millard, J. H. Bungey, Determination of dielectric properties of insitu concrete at radar frequencies, International Symposium (NDT-CE 2003)
- [10] The Drag Equation <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/drageq.html>

Branko Kovač

Dynamic Gravitational Field and Nature of Inertia

Abstract: This article presents the theoretical consideration of the hypothetical dynamic gravitational field, which produces inertial force in the same way as the static gravitational field produces the weight of the mass. The equation for the strength of the dynamic field produced by accelerating mass is derived using the principle of action and reaction. The assumption used in the derivation of the equation is that the law of motion $F=ma$ is valid everywhere in the universe. The equation for the dynamic gravitational field agrees with the observations in nature related to mass acceleration and movement of the planets in our solar system. The dynamic gravitational field predicted by the equation is sufficiently strong to be detected in the laboratory. The laboratory experiment which can be used to prove or disprove the existence of the postulated dynamic gravitational field is also described.

Keywords: gravitational dynamics, inertia, mass dynamics, field theory

Znanost i nastava

Zoran Bobić Šonc

Solverum problema konstrukcije Steinerovog moniloida, ogrlice, šestarom i ravnalom¹

Sažetak, resimea: Solverum se odnosi na problem titenacije², odnosno namještanja kotangentnih krugova, između dva ekscentrična kruga. Problem je u teinometriji³ definirao švicarski matematičar akademik Jacob Steiner u prvoj polovici XIX stoljeća i poznat je po njemu kao problem Steinerovog moniloida, od lat. monile, ogrlica. Steiner je postavio opći princip konstrukcije takvog moniloida i riješio konstrukciju najvećeg i najmanjeg kruga u moniloidu. Za ostale krugove između njih, kako je matematički dokazano, ne mogu postojati apsolutne konstrukcije s konačnim brojem teinometrskih poteza. Ostali kotangentni krugovi mogli su se konstruirati šestarom i ravnalom tek nakon pojave procedentne logokodusne, programske, teinometrije autora Zorana B. Šonca objavljene i nagrađene zlatnom medaljom na svjetskoj izložbi izuma i inovacija BRUSSELS EUREKA'99. Procedentna teinometrija mijene protežnosti u okviru

¹ Konstrukcija šestarom i ravnalom, kojeg u praksi zamjenjuju crtački trokutnici trigonali, znači da se konstrukcije izvode samo primjenom kružnih dužina i lukova.

² Titenacija, smještenje, grč. $\tau\iota\tau\epsilon\nu\alpha\iota$ titenaj, je matematička disciplina u teinometriji i odnosi se na smještanje jednog formoida u drugi, kao npr. kvadrata u krug (francuski immersion, njem. Einbettung, rus. smješćenije, engl. imbeddings, po matematičaru akademiku Danilu Blanuši nakon II. svjetskog rata u Zagrebu).

³ Teinometrija, grč. $\tau\epsilon\iota\nu\epsilon$ protezati se, teina protežnost, izvorno Geometrija, je matematička disciplina izmjere dimenzija protežnosti. Dimenzija $\mathbb{D}$ je određenje bitka iskazano mjerom, metremom.

neoeuklidike⁴ određuje logokodus K , tj. matematički program konstrukcije takvih kotangentnih krugova Steinerovog moniloida.

Ključne riječi: omnikonstrukcija, cirkulus, ekvircirkulus, ekscentricitet, excentro-cirkulus, korelatum, kotangencija, logokodus, K , neoeuklidika, Steiner, tantrigon, variocirkulus.

Uvod, prolegomena, introdukcium

Moniloid predstavlja naziv za međusobno povezane cirkuluse, krugove, u petlju tako da se međusobno dodiruju. Ukratko, moniloid je skup, koligum, kotangentnih⁶ variocirkulusa u petlji. Problem konstrukcija takvih kotangentnih cirkulusa postavio je švicarski matematičar akademik Jacob Steiner (1796.-1863.) i po njemu se nazivaju Steinerovi moniloidi gdje lat. monile znači ogrlica.

Petlje na kojima se nalaze centri kotangentnih⁶ cirkulusa mogu imati razne oblike, od cirkulusnog do kurvoidnog oblika među kojima su najčešći elipsoidni i ovumoidni, jajoliki, Slika 1-1 i 1-2.

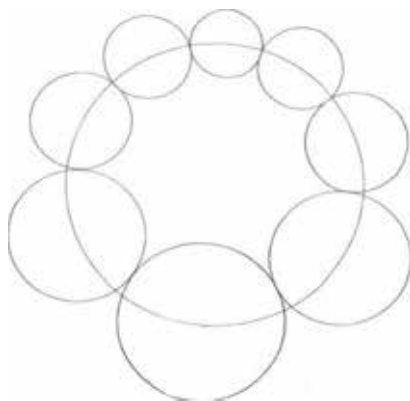
Konstrukcije kurvoidnih moniloida izlaze iz okvira ovog članka.

Za konstrukcije moniloida Steiner je postavio osnovnu metodu njihovih konstrukcija koja se sastoji u početnoj konstrukciji od pravilnog tatomoniloida s cirkulom, kružnicom, i na njoj zbir od n cirkulusa jednake veličine, nazvanog ekvircirkulusan moniloid. Tako postoje dvije vrste moniloida: ekvircirkulusni i variocirkulusni moniloidi s kotangentnim cirkulusima promjenljive veličine, slika 1-3.

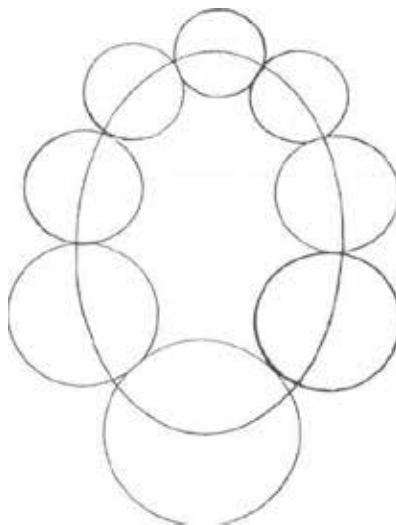
⁴ Neoeuklidika, grč. veos, neos, nov, je matematička nadogradnja euklidike antičke Grčke uvođenjem: kretanja apstraktne točke⁵, zakrivljenih i višedimenzionalnih prostora, matematičke mijene protežnosti, mutoteinometrije (Lobačevski, Riemann, Hilbert, Blanuša).

⁵ Točka, Λ , lat. locus, odredište, mjesto, u matematici stigma, u topografiji punkta. Stigma je odredište bez dimenzija.

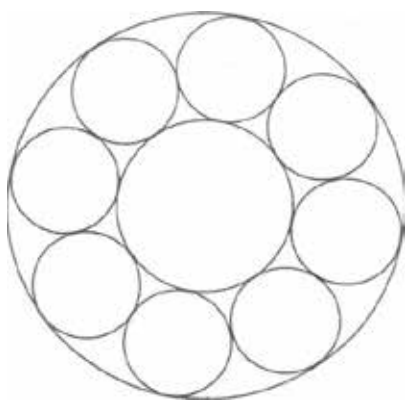
⁶ Kotangencija lat. tangentio, dodir, međusobno dodirivanje više teinomtriskih formoida



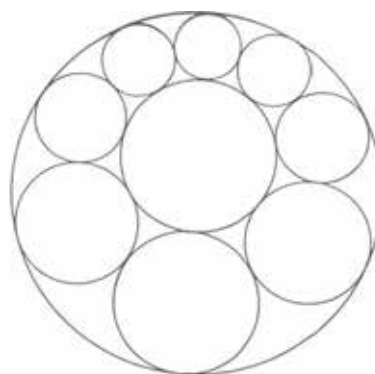
Sl.1-1 Steinerov cirkulusan moniloid



Sl.1-2. Elipsoidan moniloid



a) Ekvirculusni



b) Variocirculusni

Slika 1-3. Dvije osnovne vrste (specifije) moniloida.

Konstrukcijom ekvicirkulusnog moniloida iz jednakih cirkulusa određuju se ključni elementi za sljedeću konstrukciju variocirkulusnog moniloida a to su: direkta i cirkulus ekscentriciteta moniloida.

Direkta d_{ep} i cirkulus C_e , r_e ekcentriciteta osiguravaju da se svi cirkulusi koji su smješteni na centrocirkulusu između periekscentrocirkulusa tako poslože da budu svi kotangentni i da se ne preklapaju.

Steiner je odredio da se cirkulus excentriciteta treba nalaziti između maxsimalnog i minimalnog cirkulusa u variocirkulusnom moniloidu.

Ostao je problem konstrukcije direkte d_{ep} ekscentriciteta koja određuje pomak iz centra excentrocirkulusa C_e , r_e i problem konstrukcije cirkulusa variocirkulusnog moniloida.

Ostali cirkulusi variocirkulusnog moniloida mogli su se konstruirati tek nakon pojave 1999. godine procedentne programske teinometrije, koja primjenom adekvatnog logokodusa K pouzdano vodi konstrukciju u limes korištenjem samo šestara i ravnala, tj. orto-trigonala⁷.

Izvođenje teinometriskih konstrukcija, šestarom i ravnalom, po analitičkim izrazima i formulama u osnovi je nematematičko, neprirodno i daje u pravilu praktično nekonstruktibilne konstrukcije, casus irproducibilis.

Tako je npr. konstrukcija trigona na osnovu poznatih njegovih hipsoteta visina, korištenjem postojećih analitički izvedenih formula, iako algebarskih, praktično neprovediva šestarom i ravnalom. Postoji izvorna apsolutna teinometrska konstrukcija kojom se u nekoliko teinometriskih poteza konstruira s visinama traženi petotrigon.⁸

Teinometrija, prije geometrija, je autoktona matematska disciplina koja zajedno sa numerometrijom čini matematiku. Teinometrija sve konstruira primjenom svojih izvornih teinometriskih elemenata: kružnim lukovima i dužinama, po adekvatnim teinometriskim programima, logokodusima K kojim se određuje njihovo mjesto - lokus, položaj - pozicija, veličina, veličina - megatum i redosljed – ordosekvium [7].

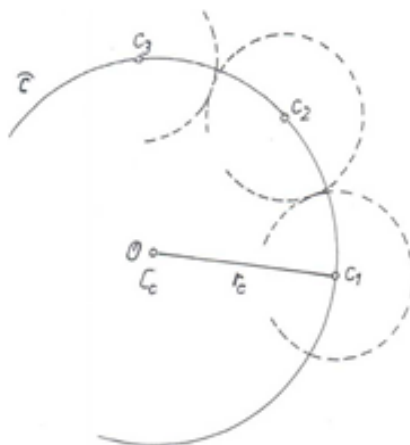
2. Faze konstruiranja Steinerovog moniloida

Steinerovi moniloidi se u teinometriji konstruiraju po fazama gdje svaka faza ima određen broj teinometrskih poteza, teinusa. Bitna dva podatka za konstruiranje su broj cirkulusa moniloida n i njegova veličina određena veličinom centralnog cirkulusa, centrocirkulusa.

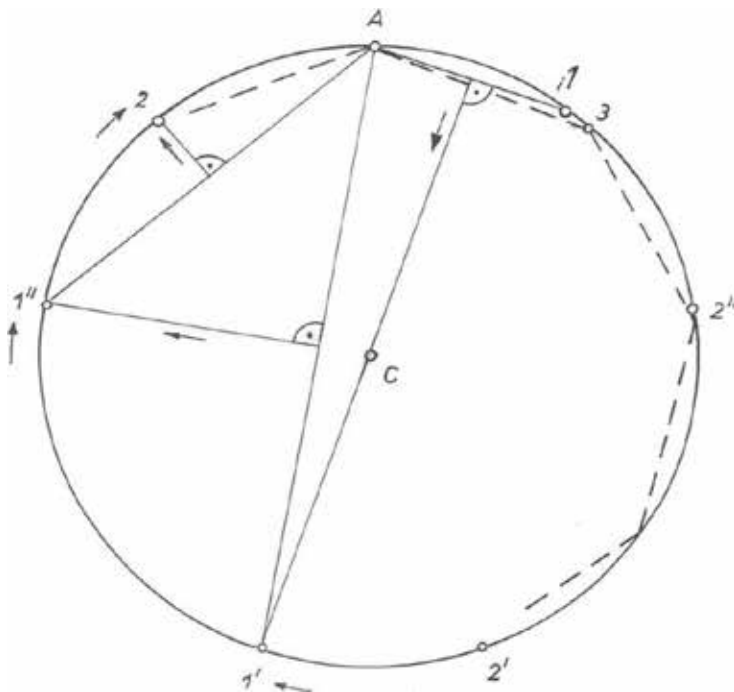
Konstrukcija moniloida ima dva karakteristična dijela. Prvi dio odnosi se na konstrukciju ekvicirkulusnog moniloida a drugi na završnu konstrukciju variocirkulusnog moniloida,

2.1 Konstrukcija ekvicirkulusnog moniloida s n jednakih cirkulusa.

1. Prva faza konstruiranja započinje konstrukcijom određenog centrocirkulusa C_c , r_c koji određuje veličinu moniloida i na čijoj se cirkuli nalazi n kotangentnih ekvicirkulusa, slika 2-1.



Slika 2-1. Centrocirkulus Steinerovog moniloida

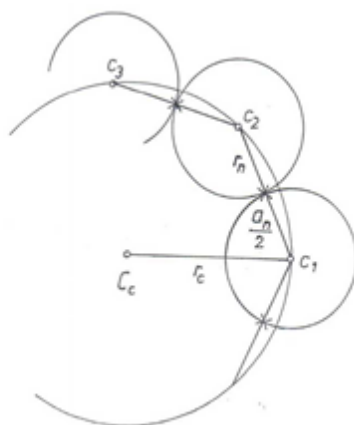


Slika 2-2b. Logokodusna konstrukcija nonagona (9),
simetrale akronskih tetiva u istom smjeru

Undekagon (11) se konstruira po logokodusu: četiri simetrale akronskih tetiva u vrhu akrona A, u jednom smjeru pa potom četiri simetrale u suprotnom smjeru.

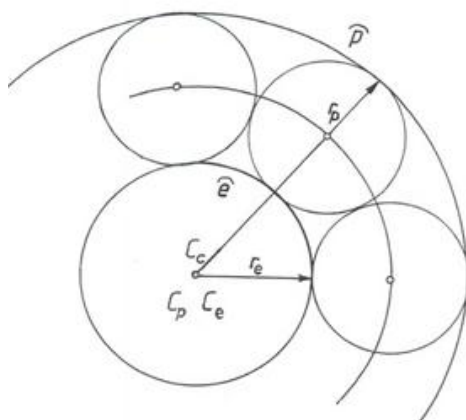
Logokodus K_n se konstruira polazeći od proizvoljno, sponto, određene točke duljine tenuse, incistigme 1 gdje se očekuje točka limesa pa po logokodusu do točke 2. Ponavaljanjem logokodusa K_n povećava se grafička točnost duljine tenuse tato-poligona na putu k^a limesu.

3. Konstrukcija n ekvicirkulusa radiusa $r_n = a_n/2$ u vrhovima, akronima, tato-poligona, slika 2-3.



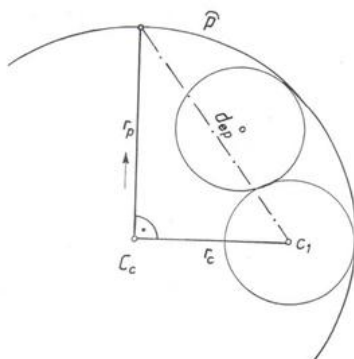
Slika 2-3. Ekvicirkulusi tato-moniloida.

4. Konstrukcija peri i endocirkulusa čije cirkule dodiruju moniloidne cirkuluse s vanjske i unutarnje strane, slika 2-4.



Slika 2-4. Peri i endocirkulus moniloida

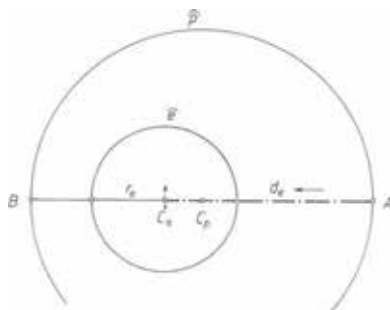
5. Konstrukcija direkte ekcentriciteta $d_{ep}^{\leftrightarrow} = \sqrt{r_c^2 + r_p^2}$ kao hipotenuze ortotrigona s katetama radiusa r_c i r_p , slika 2.5



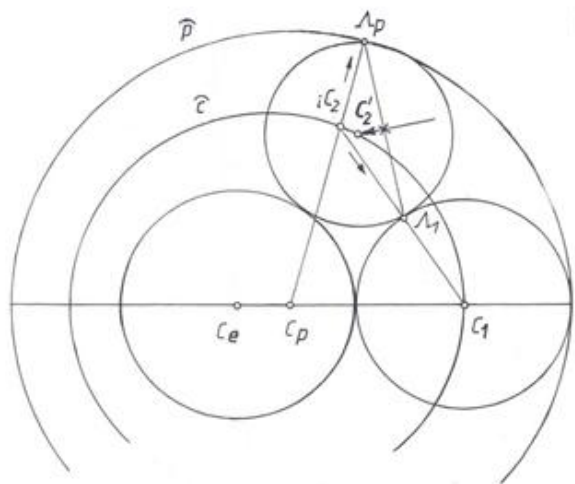
Slika 2-5. Direkta excentriciteta d_{ep} moniloida

2.2. Konstrukcija variocirkulusnog moniloida s n različitih cirkulusa primjenom logokodusne teinometrije

6. Konstrukcija direkte ekscentriciteta d_{ep} ekscentrocirkulusa C_c , r_c u pericirkulusu moniloida, slika 2-6



Slika 2.6. Konstrukcija direkte ekscentriciteta d_{ep} ekscentrocirkulusa C_c , r_c u pericirkulusu

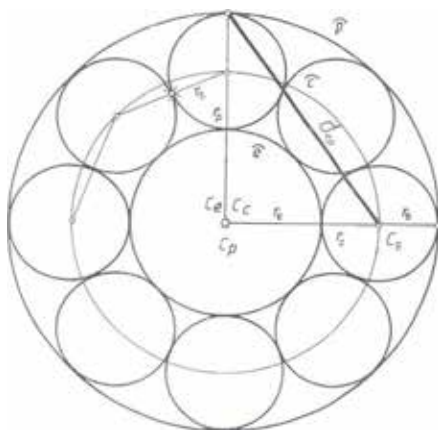


Slika 2-8b Logokodus K_p s pericirkulusom $C_p r_p$

3. Potpuna omnikonstrukcija Steinerovog oktocirkulusnog moniloida

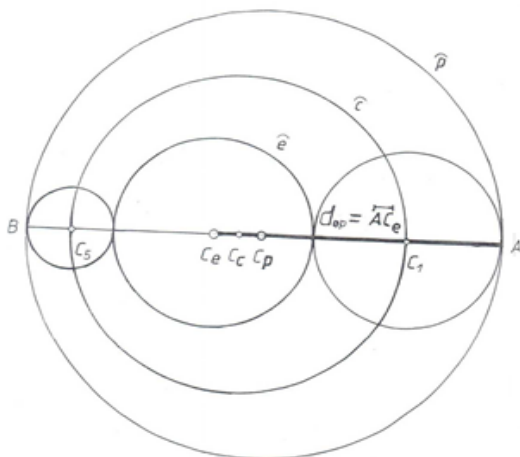
3.1 Konstrukcija oktomoniloida

Konstrukcija započinje konstrukcijom ekvicirkulusnog oktomoniloida s osam jednakih cirkulusa $n = 8$. Na zadanoj certicirkuli C_c, r_c konstruira se pravilan tatooktogonal u čijim se vrhovima nalaze centri jednakih cirkulusa koji se međusobno dodiruju. Radius $r_n = r_8$ ekvicirkulusa oktomoniloida iznosi polovicu stranice oktogona, $r_8 = a_8/2$, sl. 3-1



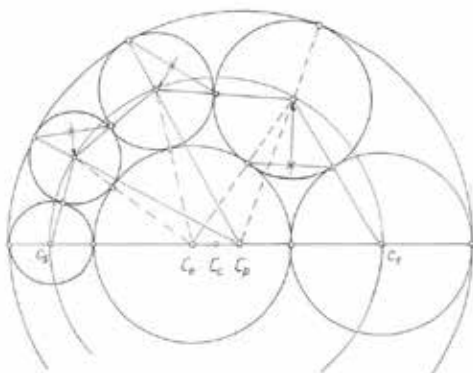
Slika 3-1. Steinerov ekvircikulan oktomoniloid.

Na osnovu konstrukcije ekvircikulusnog moniloida konstruiraju se dalje pericirkulus i koncentrično manji endocirkulus radiusa r_e , koji u variocirkulusnom moniloidu ima funkciju ekscentrocirkulusa. Na osnovu određene dužine d_{ep} ekscentriciteta konstruiraju se u pericirkuli, excentrocirkulus e , maksimalan i minimalan cirkulus oktomoniloida, slika 3-2.



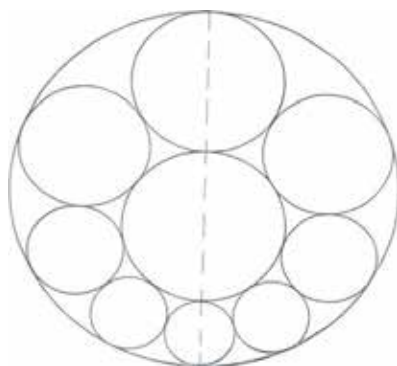
Slika 3-2 Osnovna konstrukcija variocirkulusnog oktomoniloida

Sljedeća faza konstrukcije oktomoniloida je konstrukcija tri kontangentna variocirkulusa između maksimalnog i minimalnog cirkulusa. Konstrukcija variocirkulusa se provodi primjenom logokodusa K_e ili K_p koju prikazuje slika 3-3.



Slika 3-3. Logokodusna konstrukcija preostala tri variocirkulusa oktomoniloida.

Preslikavanjem, transpecijom, tri variocirkulusa preko maksimalnog diametra d_p pericirkulusa, konstrukcija završava potpunim izgledom Steinerovog oktocirkulusnog moniloida, slika 3-4.



Slika 3-4. Potpun izgled Steinerovog oktomoniloida

3.2. Analitičke korelacije variocirkulusnog oktomonoloida

1. Zadani certielementi konstrukcije: C_c , r_c i $n = 8$.

$$2. x^\circ = \frac{360^\circ}{n} = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ$$

$$3. r_8 = r_c \frac{\sqrt{2-\sqrt{2}}}{2} = r_c \cos\left(90^\circ \frac{3}{4}\right) = r_c \sin \frac{180^\circ}{8} \approx r_c 0,3826834 \dots$$

$$4. r_p = r_c + r_8 = \frac{r_c}{2} \left(2 + \sqrt{2 - \sqrt{2}}\right) = r_c \left(1 + \sin \frac{x^\circ}{2}\right) = 1 + r_8 \approx r_c 1,3826834 \dots$$

$$5. r_t = r_c \cos \frac{180^\circ}{8} \approx r_c 0,9238795 \dots$$

$$6. r_e = r_c - r_8 = r_c \left(1 - \sin \frac{180^\circ}{8}\right) = 1 - r_8 \approx r_c 0,6173165 \dots$$

$$7. d_{ep} = \sqrt{r_c^2 + r_p^2} = r_c \sqrt{2 + \sin \frac{180^\circ}{8} \left(2 + \sin \frac{180^\circ}{8}\right)} \approx r_c 1,70640 \dots \approx r_c 1,7$$

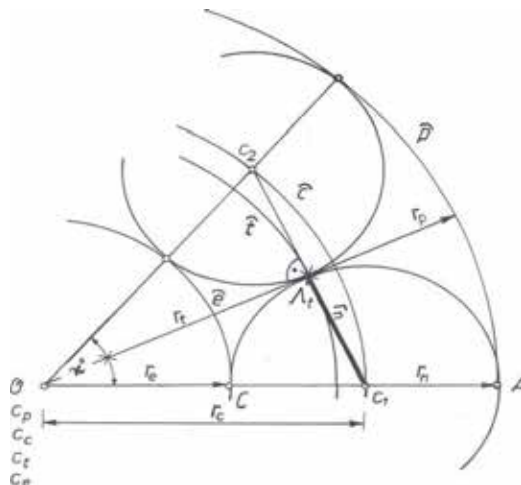
4. Analitički korelatumi Steinerovog ekvicirkulusnog moniloida_v

Analitički korelatumi⁹, iskazani matematičkim izrazima i formulama, služe za numeričko, kvantno, određivanje veličina pojedinih teimometrijskih elemenata konstrukcije i njihovih odnosa.

Prvenstveno su namjenjeni za određivanje numeričke kontrole točnosti konačnih konstrukcija tj. za određivanje teorijske tolerancije odnosno odstupanja postignutog rješenja od točnog rješenja.

Dokazano je da ponavljanje konstrukcije logokodusa K rapidno smanjuje analitičku i grafičku pogrešku, discedum, svake konstrukcije, naročito grafičku pogrešku apsolutne konstrukcije¹⁰, [7]

Analitički korelatumi u konstrukciji Steinerovog n-ekvicirkulusnog moniloida prikazane na slici 4-1, dani su kako slijedi:



Slika 4-1. Teinometrički elementi Steinerovog moniloida

1. Zadani, certielementi:

Broj variocirkulusa n i veličina moniloida C_c, r_c .

2. Centrogonus, centralni kut ekvicirkulusa,

$$x^\circ = \frac{360^\circ}{n}$$

3. Radius ekvicirkulusa:

$$r_n^{\leftrightarrow} = \frac{a_n^{\leftrightarrow}}{2} = \frac{c_1 c_2}{2} = r_c \sin \frac{180^\circ}{n} =$$

$$r_c \cos \left(90^\circ \frac{n-2}{n} \right) = r_t \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n}$$

4. Periradius obodne cirkule:

$$r_p = r_c + r_n = r_c \left(1 + \sin \frac{180^\circ}{n} \right), \text{ može biti } \\ \text{zadan.}$$

5. Tanradius kotangentne točke ekvicirkulusa:

$$r_t = r_c \cos \frac{x^\circ}{2}$$

6. Excentroradius endocirkule moniloida:

$$r_e = r_c - r_n = r_c \left(1 - \sin \frac{180^\circ}{n}\right)$$

7. Excentrodirekta, koja određuje veličinu excentriciteta, kao odmaknutost od centra peri i centrocirkulusa,

$$d_{ep} = \sqrt{r_c^2 + r_p^2}^{11}$$

$$d_{ep} = r_c \sqrt{2 + \sin \frac{180^\circ}{n} \left(2 + \sin \frac{180^\circ}{n}\right)}$$

8. Radius centrocirkulusa:

$$r_c = r_p - r_n = r_p - r_c \sin \frac{180^\circ}{n}, \text{ može biti}$$

zadan

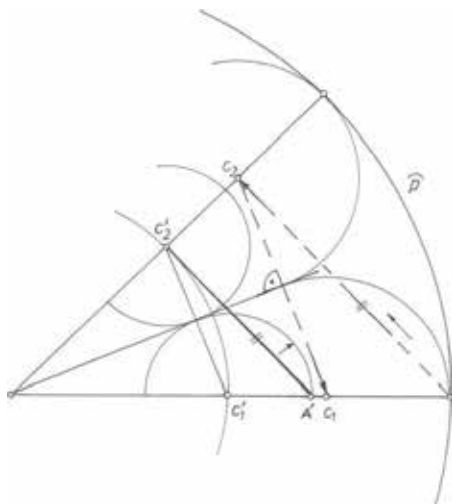
⁹ Korelatum, lat. corelatio, međuovisnost, odnos iskazan brojem N ili veličinom, megatumom N

¹⁰ „Priroda ne zna za pogrešku, ona samo ostvaruje mogućnosti“, R. Bošković (1711 -1787)

U slučaju da nije zadan centrocirkulus moniloida već njegov

pericirkulus centrocirkulus se konstruira primjenom paralelarne homotetije.

Na osnovu konstrukcije proizvoljnog pericirkulusa koji dodiruje cirkuluse monoloida (C'_1, C'_2) bilo koje veličine, konstruira se centrocirkulus koji prolazi kroz centre C_1 i C_2 povlačenjem paralele $AC_2 \parallel A'C'_2$ iz točke A na zadanom pericirkulusu slika 4-2.



Slika 4-2. Konstrukcija centrocirkulusa $r_c = U C_1$ homotetnom transpozicijom $C'_1 \leftrightarrow C'_2$ u $C_1 \leftrightarrow C_2$, paralelom $AC_2 \parallel A'C'_2$

Takva homotetna transpozicija potvrđuje Talesovu paralelarnu proporciju koja glasi: $AC_2/r_p = A'C'_2/r'_p$.

¹¹ Radiciranje se u numeromatičici označava s $\pm\sqrt{N}$ čemu u algebarskoj teinometriji na brojevnom pravcu, numerodirektusu Nd odgovara postojanje dvaju smjerova s oznakama $\pm\sqrt{N}$, odnosno u algebri $\pm\sqrt{2}$ odgovara u teinometriji dvjema dijagonalama kvadrata u dva smjera $\pm\sqrt{2}$

Zaključak

Konstrukcije cirkulusnih moniloida svih oblika, koje je u teinometriji, tada geometriji, postavio u prvoj polovici XIX stoljeća matematičar akademik J.Steiner konstruktibilne su u cijelosti šestarom i ravnalom, primjenom nove procedentne logokodusne teinometrije objavljene 1999. godine na BRUSSELS EUREKA '99.

Zahvala

Posebno i srdačno zahvaljujem uredništvu Zbornika na brižnoj pripremi članka za tisak i na ustrajnosti objavljivanja novih dostignuća suvremene logokodusne geometrije.

Literatura

- [1] Aristotel, *Metafizika i fizika*, prijevod izvornika Tomislav Ladan, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 1985., 1987.
- [2] Blanuša Danilo, Quelques identités algébriques concernant les moyennes arithmétiques et géométriques. *Glasnik mat.-fiz. i astr.* 1.11.1956., 17-22.
- [3] Blanuša Danilo, *Viša matematika u četiri toma*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1963. — 1974.
- [4] Devide Vladimir, *Matematička logika*, Matematički institut, Beograd, 1964., 1972.
- [5] Ogilvy C. Stanley, *Unterhaltsame Geometrie*, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1979.
- [6] RusseH Bertrand, *Principi matematike* (The Principles of Mathematics), Routledge London 1937
- [7] Šonc B. Zoran, Principi i praksa logokodusne teinometrije mutoidije (mijene), rukopis, Zagreb, 1999.
- [8] Šonc B. Zoran, Geometriska konstrukcija brojevnje direkte, dužine, s jednakom grafičkom točnošću svih decimala brojeva, rukopis, Zagreb, 1991.
- [9] Šonc B. Zoran, Lexikon euklidike i neoeuklidike — geometriski termini i konstrukcije, rukopis, Zagreb, 1991/2019.
- [10] Šonc B. Zoran, Solverumi Malfattijevog marmornog tricirkulusnog problema šestarom i ravnalom, rukopis, Zagreb, 2012/19.
- [11] Šonc B. Zoran, Trisekcija i polisekcija gonusa šestarom i ravnalom, 8. simpozij Povijest i filozofija tehnike, Kiklos - krug knjige, Zagreb, 2019.
- [12] Šonc B. Zoran, Optimalni solverumi Apolloniosovih problema šestarom i ravnalom, 9. simpozij Povijest i filozofija tehnike, Kiklos-krug knjige, Zagreb, 2020.

*Darko Fischer*¹

Rješenja Apolonijevih problema računalom

Sažetak: Apolonijevi konstruktivni problemi, umjesto šestarom i ravnalom, mogu se na zanimljiv način riješiti digitalno pomoću računala te rezultate prikazati grafički. Python programski jezik, koji se može koristiti i na pametnim telefonima, pogodan je za to. Opisane su metode kojima se može riješiti svih deset problema koje je definirao grčki matematičar. Pokazano je pojednostavljenje tih rješenja jer se numeričkom metodom točke mogu aproksimirati kružnicama malenog polumjera pa se početnih deset problema svodi na samo četiri.

Ključne riječi: Apolonijev problem, pametni telefon, Python programski jezik, digitalno rješenje, numeričke metode.

Uvod

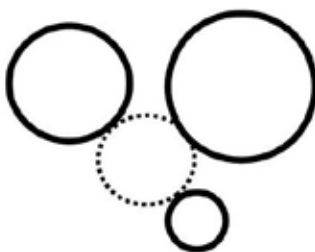
Na 9. PIFT-u 2020. A. Šonc [1] prikazao je rješenje Apolonijevih problema pomoću ravnala i šestara, pribora s kojim su raspolagali stari grčki matematičari. Originalna Apolonijeva rješenja nisu nađena pa su matematičari stoljećima nalazili manje ili više jednostavna rješenja za svih 10 konstruktivnih problema kako ih je definirao Apolonije u 3. stoljeću prije nove ere. Prateći izlaganje A. Šonca preko pametnog telefona, navelo me to na pomisao, kako bi, da je u ono vrijeme bilo pametnih telefona, grčki matematičari umjesto da svoje krugove i ostale crteže crtaju štapom po pijesku, koristili računalnu grafiku iz pametnog telefona. Arhimed bi uzviknuo „Noli turbare circulos meos“, kada bi mu rimski legionar, osvajač Sirakuze, pokušao iz ruke oteti pametni telefon (slika 1).

¹ umirovljenik; Elektrotehnički fakultet Osijek, današnji FERIT



Sl. 1.: Arhimed: “Noli turbare circulos meos”

Zahvaljujući moćnom sklopovlju i pristupačnoj i sveobuhvatnoj programskoj podršci moguće je čak i na pametnom telefonu napraviti numeričke metode i grafičke prikaze rješenja konstruktivnih problema kakvi su Apolonijevi problemi.

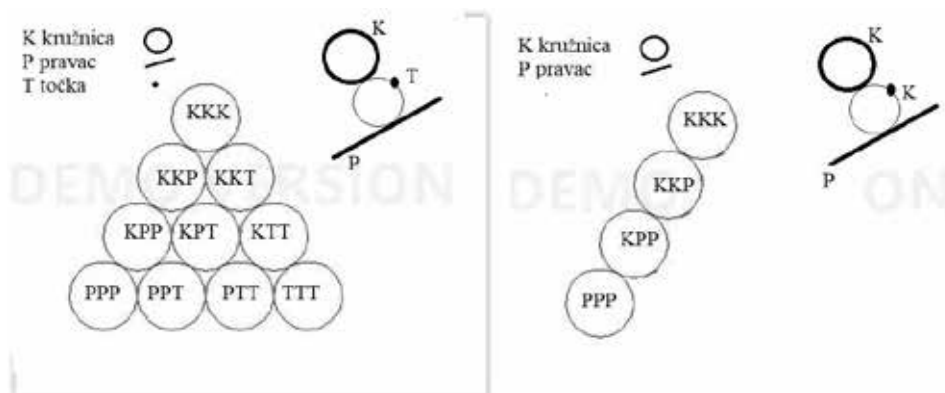


Sl. 2.: Problem s tri kružnice

Apolonije iz Perge je oko 200. godine prije nove ere definirao svoje konstruktivne probleme: treba konstruirati kružnicu koja će dodirivati tri zadana geometrijska objekta koji su točka, pravac ili kružnica i koji se, osim u slučaju dva ili tri pravca, međusobno ne dodiruju. Slika 2 prikazuje slučaj kada su sva tri objekta kružnice (crtkana kružnica je rješenje). Kako objekti mogu biti točke, pravci i kružnice, to ukupno ima deset problema što se shematski obično

prikazuje kao na slici 3a.

Kako se u numeričkim metodama točka može aproksimirati kružnicom malenog polumjera, onda se shema sa slike 3a reducira na svega četiri problema, kao što je to shematski prikazano na slici 3b.



Sl. 3.: a) Kružnice, pravci i točke

b:) Kružnice i pravci

Kroz mnoga stoljeće matematičari su rješavali i nalazili konstruktivna rješenja za svih deset Apolonijevih problema i o tome postoji brojna literatura [2] [3]. Pored toga i u novije vrijeme su ovi problemi matematičarima zanimljivi, pa se mogu naći i neki noviji radovi na ovu temu [4, 5, 6, 7]. Postoji i prikaz algebarskog rješenja tog problema [6]. Čini se da numerička rješenja matematičarima nisu zanimljiva i na takva rješenja nisam naišao pregledavajući dostupnu literaturu.

1. Numeričke metode

1.1. Osobine korištenih metoda

Numeričke metode koje sam koristio za rješavanje Apolonijevih problema u određenoj mjeri koriste i algebarske izraze. Na temelju tih izraza

poznate su koordinate točkaka koje zadovoljavaju određene uvjete, najčešće jednakost udaljenosti od dva objekta. Nakon toga se numeričkom metodom provjerava dodatni uvjet, udaljenost do trećeg objekta, i nalazi rješenje.

U većini slučajeva se algebarskim izrazom nalazi krivulja (ili pravac) koja je geometrijsko mjesto središta (GMS) kružnica koje dodiruju dva objekta [4].

1.2. Metode za slučaj tri pravca ili dva pravca i kružnice

Ako se traže rješenja za slučaj kada su zadana tri pravca (oznaka PPP na slici 3.b), od kojih samo dva mogu biti međusobno paralelna, algebarskim izrazom odredi se pravac na kojem su točke jednako udaljene od dva pravca. Ako su ta dva pravca paralelna, njihova simetrala je pravac paralelan s njima i jednako udaljen od njih. Ako se ti pravci sijeku, oni tvore trokut i točke jednakih udaljenosti od njih su na simetralama kuta tih pravcu. Na tim se simetralama tada numeričkom metodom nalazi točka T jednake udaljenosti od trećeg pravca.

Ako se traže rješenja za slučaj kada su zadana dva pravca i kružnica (PPK sa slike 3.b) postupak je vrlo sličan. Numeričkom metodom se provjeravaju točke na simetrali i nalazi ona točka T koja je jednako udaljena od zadane kružnice K . Nađena točka je središte tražene kružnice a njen polumjer jednak je udaljenosti te točke od pravaca odnosno od zadane kružnice K .

1.3. Metode za slučaj jednog pravca i dvije kružnice ili tri kružnice

Numerička metoda kada se traži GMS tj. krivulja na kojoj su središta kružnica koje dodiruju dvije zadane kružnice je vrlo slična prethodnoj samo uključuje i preračunavanje koordinata. Ako neka točka T zadovoljava uvjet da dodiruje kružnice $K1(x1,y1,r1)$ i $K2(x2,y2,r2)$ (Slika 4), tada vrijedi:

$$\overline{TS1} = r1 + d \quad (1)$$

$$\overline{TS2} = r2 + d \quad (2)$$

gdje je d udaljenost točke T od obje kružnice.

Zbog toga za točku T i udaljenosti $\overline{TS1}$ i $\overline{TS2}$ vrijedi

$$\overline{TS1} - \overline{TS2} = r_1 - r_2 \quad (3)$$

Razlika udaljenosti svih točaka T koje su središta dodirnih kružnica je konstantna i jednaka $r_1 - r_2$. To je upravo svojstvo hiperbole s parametrom

$$a = (r_1 - r_2)/2 \quad (4)$$

i udaljenošću vrhova hiperbole

$$e = \overline{S1 S2} / 2 \quad (5)$$

Kako je parametar b hiperbole jednak izrazu

$$b = \sqrt{e^2 - a^2} \quad (6)$$

tako središta i polumjeri kružnica $K1$ i $K2$ određuju hiperbolu H :

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (7).$$

Za numeričko računanje koordinata točaka hiperbole pogodniji je izraz (7) u obliku

$$x = \frac{a}{b} \sqrt{y^2 + 1} \quad (8)$$

gdje je apscisa x definirana za svaku vrijednost ordinate y .

Međutim, izraz (7) odnosno (8) vrijedi za hiperbolu čija os leži na x osi koordinatnog sustava koji nazivamo izvornim koordinatnim sustavom. Kružnice $K1$ i $K2$ mogu biti proizvoljno zadane u osnovnom koordinatnom sustavu, te će hiperbola zadana u izvornom koordinatnom sustavu po izrazu (7) biti u općem slučaju pomaknuta i zaokrenuta u odnosu na osnovni koordinatni sustav. Prema

Slici 4, os hiperbole leži na pravcu koji prolazi kroz središta kružnica K1 i K2, a ishodište izvornog koordinatnog sustava (u kojem vrijedi izraz (7)) je na polovini dužine S1 S2. Zato je izvorni koordinatni sustav u kojem je definirana hiperbola H pomaknut u odnosu na osnovni koordinatni sustav u kojem su definirane kružnice po x i y osima za vrijednosti

$$Dx=(x_1+x_2)/2 ; \quad Dy=(y_1+y_2)/2 \quad (9)$$

gdje su (x_1, y_1) i (x_2, y_2) koordinate središta zadanih kružnica. Također je koordinatni sustav u kojem je definirana hiperbola zaokrenut u odnosu na osnovni koordinatni sustav za kut φ određen izrazom

$$\varphi = \arctg((y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)) \quad (10)$$

Da bi se mogla provesti numerička metoda, potrebno je poznavati koordinate točaka na hiperboli, ali u osnovnom koordinatnom sustavu x,y u kojem su poznate jednadžbe odnosno koordinate točaka kružnica. Zbog toga, a to je i suština ove numeričke metode, potrebno je transformirati koordinate točaka hiperbole iz sustava x', y' u koordinate osnovnog koordinatnog sustava. To se obavlja po izrazima

$$x = x' \cdot \cos(\varphi) - y' \cdot \sin(\varphi) + Dx \quad (11)$$

$$y = y' \cdot \cos(\varphi) + x' \cdot \sin(\varphi) + Dy \quad (12)$$

Numeričkom metodom se odabire određeni broj točaka $T(x, y)$ na hiperboli i za sve te odabrane točke provjerava se dodatni uvjet udaljenosti od trećeg objekta.

O broju odabranih točaka ovisit će postignuta točnost numeričke metode.

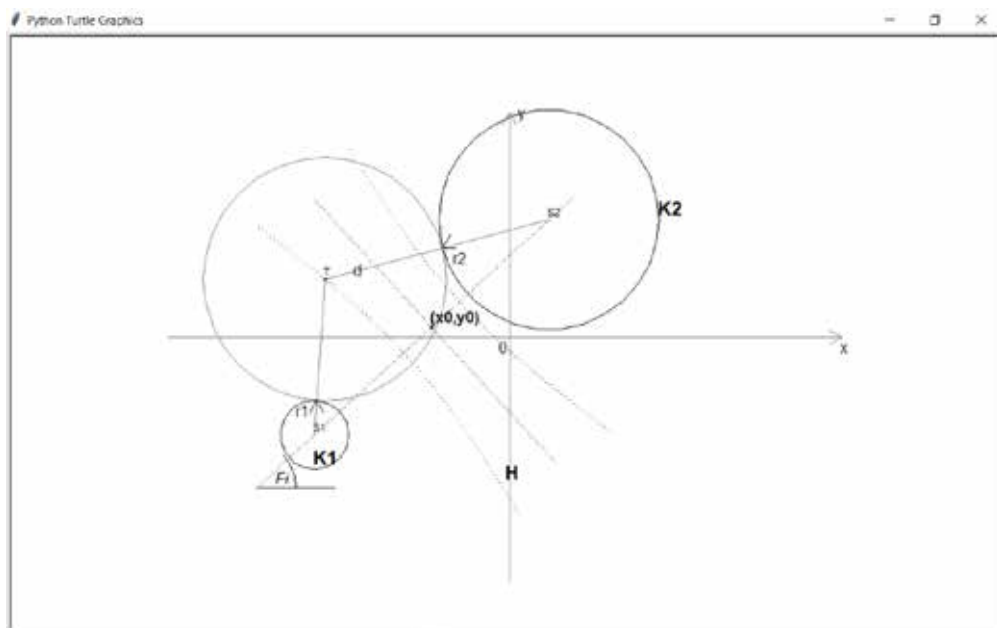
Treba napomenuti, da se numeričkom metodom ne može sasvim točno provjeravati jednakost dviju vrijednosti uvjetom „jednako“ (obično logički operator $==$ u programskom jeziku) već je točnije tražiti minimum apsolutne vrijednosti razlika dviju dužina. Tako umjesto uvjeta

$$d == d_i \quad ; \quad i = 1..n \quad (6)$$

gdje je n broj točaka koji se ispituje na GMS krivulji i koji se procjenjuje ili empirički podesi na temelju dozvoljene pogreške numeričke metode, treba naći minimum razlika tj.

$$\Delta d = \text{Min}(|d - d_i|); \quad i = 1..n \quad (7)$$

U provedenim proračunima pokazalo se da izbor broja n reda veličine 10^3 daje grešku manju od 10^{-2} .



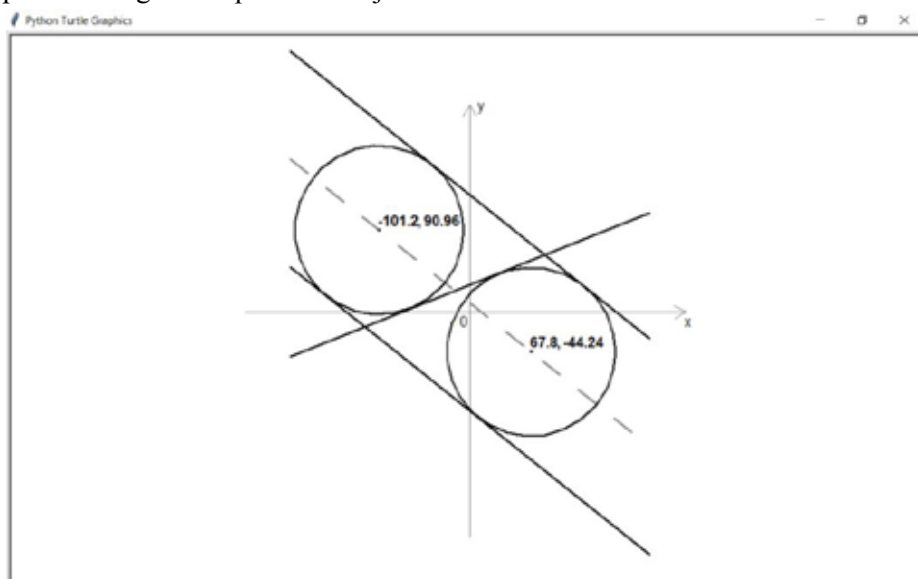
Sl. 4.: Kružnica sa središtem T na hiperboli H dira kružnice $K1$ i $K2$

2. Rješenja primjera

U naredna četiri dijela podrobnije su opisane metode dobivanja rješenja Apolonijevih problema prema shemi sa slike 3b i to počevši od jednostavnijeg slučaja tri pravca (dno na slici 3b) i završavajući s problemom tri zadane kružnice (vrh na slici 3b). Za svaki od mogućih slučajeva izabran je tipičan primjer, proveden račun na računalu i rezultati prikazani grafički.

2.1. Problem s tri pravca (slike 5 i 6)

Zadana su tri pravca p_1 , p_2 i p_3 . Traže se kružnice koje dodiruju sva tri pravca. Mogu nastupiti tri slučaja:



Sl. 5.: Tri pravca, dva su paralelna

a) *pravci su međusobno paralelni*. U tom slučaju nema rješenja jer ne

može postojati kružnica koja dodiruje sva tri paralelna pravca.

b) dva pravca (npr. p_2 i p_3) su paralelni. Tada postoje dva rješenja, postoje dvije kružnice koje dodiruju sva tri pravca. Slika 5 prikazuje takav slučaj zajedno s rješenjem koje je dobiveno ovdje opisanom numeričkom metodom.

U prikazanom primjeru paralelni pravci p_2 i p_3 zadani su izrazima:

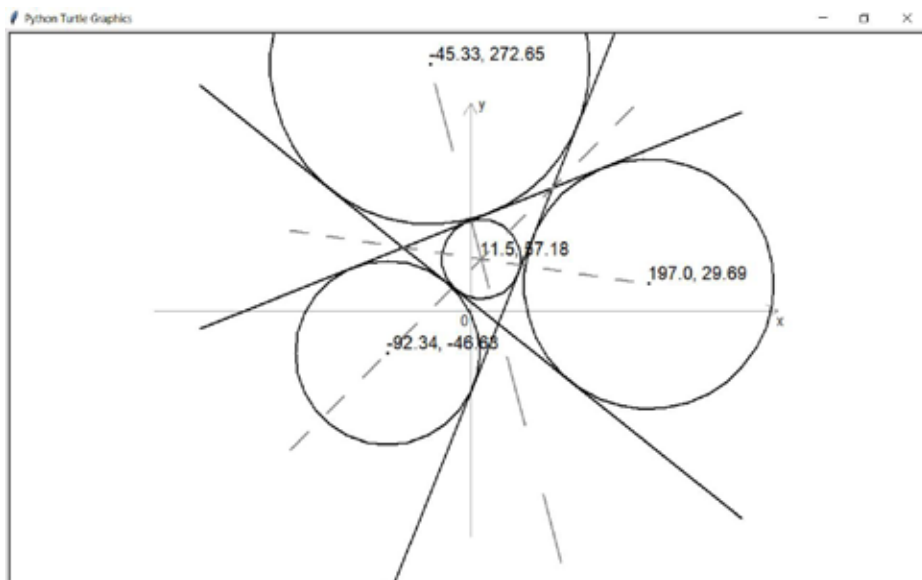
$$p_1: \quad y = -0.8 \cdot x - 110 \quad p_2: \quad y = -0.8 \cdot x + 130 \quad (8)$$

dok pravac p_3 koji ih siječe je

$$p_3: \quad y = 0.4 \cdot x + 30 \quad (9)$$

Rješenja su kružnice: $K_1(67.80, -44.24, r=93.70)$ i $K_2(-101.20, 90.96, r=93.70)$

c) pravci se sijeku (slika 6). Pravci tvore trokut, pa je jedno rješenje kružnica upisana u taj trokut. Postoje još tri rješenja, a to su kružnice na simetralama kutova ali sa središtima van trokuta.



Slika 6: Tri pravca koji se sijeku

Slika 6 prikazuje rješenja za slučaj da su zadani pravci:

$$p1: y = 0.4 \cdot x + 110 \quad p2: y = -0.8 \cdot x + 10 \quad p3: y = 2.5 \cdot x - 90 \quad (10)$$

a pripadna rješenja su:

K0(11.50, 57.18, 24, r=44.03),

K1(197.00, 29.69, r=138.44),

K2(-92.34, -46.63, r=101.85)

i K3(-45.33, 272.65, r=176.78).

2.2. Problem s dva pravca i kružnicom (slike 8a, 8b, 8c i 8d)

Treba naći kružnice koje dodiruju dva zadana pravca i zadanu kružnicu. Ovdje isto ima nekoliko slučajeva.

Ako su zadani pravci paralelni a zadana kružnica nije niti jednim svojim dijelom između ta dva pravca, tada rješenja nema. Ako je dio ili cijela kružnica između zadana dva paralelna pravca onda postoje dva rješenja. Rješenja se dobivaju na sličan način kao za slučaj tri pravca od kojih su dva paralelna. GMS kružnica koje dodiruju oba pravca je opet pravac, to je pravac paralelan sa zadanim pravcima i jednako udaljen od oba ta pravca. Na toj se simetrali numeričkom metodom traže dvije točke čija udaljenost od pravaca je jednaka udaljenosti do zadane kružnice.

Algoritam po kojem je napravljen program za ovakvo rješenje načelno je prikazan slijedećim pseudo kodom.

Definirati pravac p1 s parametrima a1 i b1

Naći $\phi1 = \text{atg}(a1)$

Definirati pravac p2 s parametrima a2 i b2

Naći $\phi2 = \text{atg}(a2)$

Definirati kružnicu K(X0, Y0, r0)

Nacrtati zadane objekte

Naći sjecište pravaca p1 i p2 numeričkom metodom: naći nultočku (xs, ys) funkcije $fp(x) = a1 \cdot x + b1 - (a2 \cdot x + b2)$; dobiveni xs i dobiveni ys =

$a1 \cdot xs + b1$ su koordinate sjecišta pravaca $p1$ i $p2$

Naći jednadžbu simetrale $y = asim \cdot x + bsim$ na kojoj će biti središte tražene kružnice na slijedeći način:

Izračunati kut nagiba pravca koji spaja sjecište pravaca sa središtem kružnice K , $\varphi_0 = \text{atg}((Y0 - ys)/(X0 - xs))$.

Ako je $\varphi_0 > \varphi_1$ i $\varphi_0 < \varphi_2$ postaviti $\varphi_s = (\varphi_1 + \varphi_2)/2$

U suprotnom postaviti $\varphi_s = (\varphi_1 + \varphi_2)/2 + \pi/2$

Postaviti $asim = \text{tg}(\varphi_s)$ i $bsim = ys - asim \cdot xs$

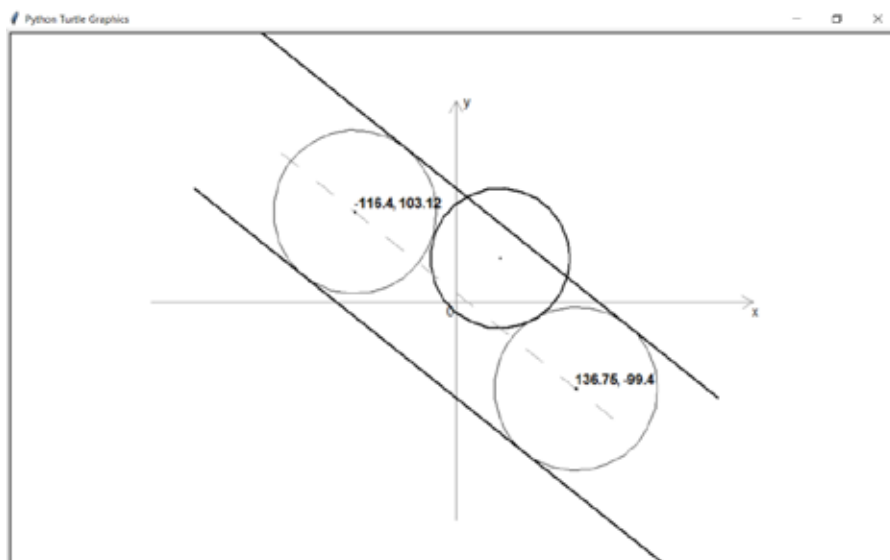
Nacrtati simetralu $y = asim \cdot x + bsim$

Odrediti područje pretraživanja $[xmin, xmax]$ točaka na simetrali i korak pretraživanja Dxx

Za svaku točku (x, y) na simetrali u području $[xmin, xmax]$ s korakom Dxx naći udaljenost te točke od kružnice. Naći točku R_x, R_y jednako udaljenu od zadanog pravca i zadane kružnice i označiti tu udaljenost kao R

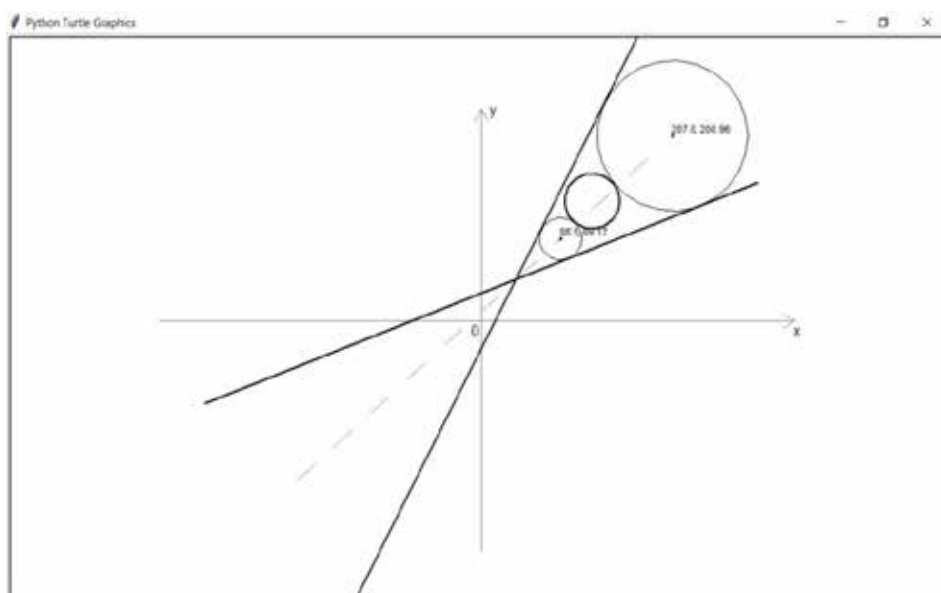
Nacrtati rješenje, kružnicu $Kr(R_x, R_y, R)$

Slika 7a prikazuje takav slučaj i rješenje tog primjera.



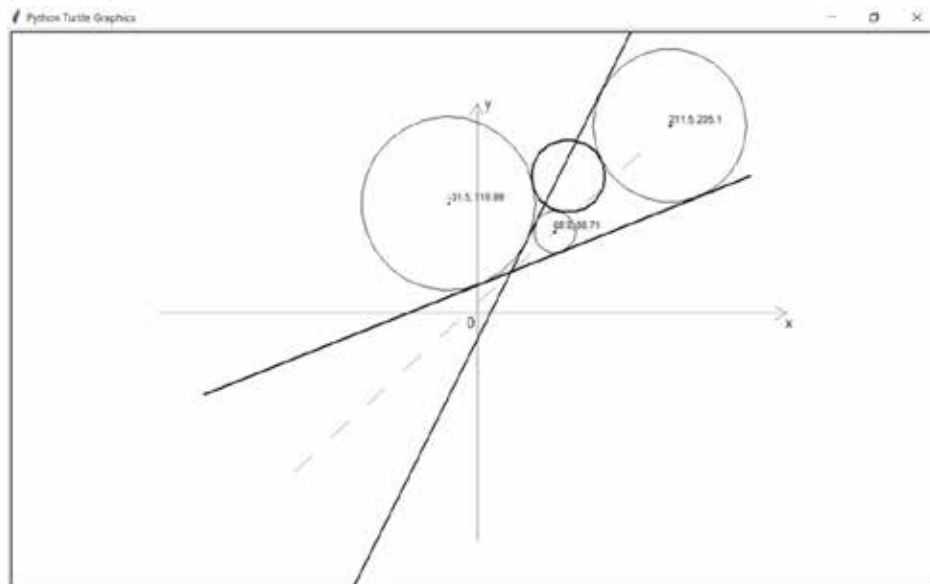
Sl. 7a.: Dva paralelna pravca i kružnica

Kada se zadani pravci sijeku, tada mogu nastupiti dodatna tri slučaja.

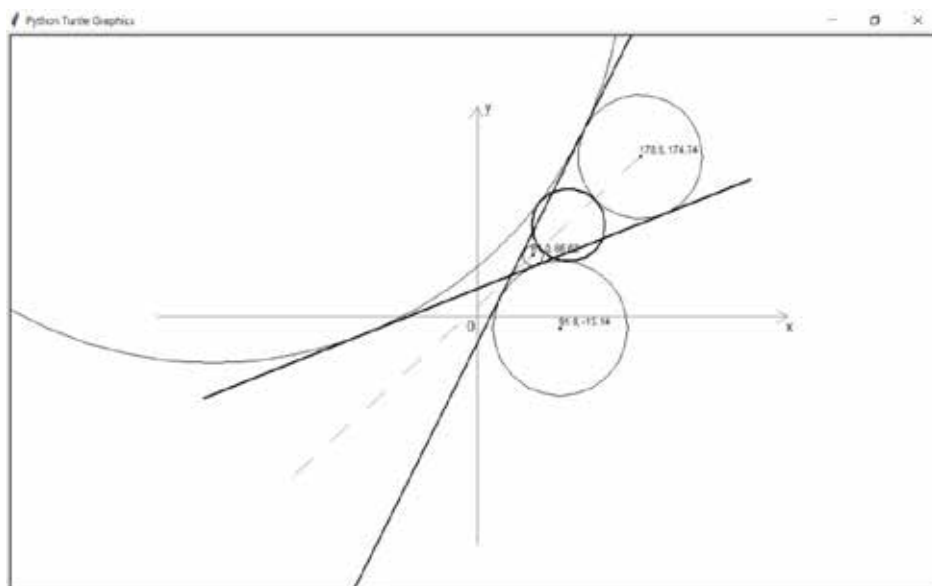


Sl. 7b.: Dva pravca koja se sijeku i kružnica koja ne siječe niti jedan pravac

Ako zadana kružnica ne siječe niti jedan od pravaca, onda postoje dva rješenja (Slika 7b). Ako kružnica siječe samo jedan od pravaca, tada postoje tri rješenja (Slika 7c), a ako kružnica siječe oba zadana pravca, tada postoje četiri rješenja (Slika 7d).



Sl. 7c.: Dva pravca koja se sijeku i kružnica koja siječe samo jedan pravac



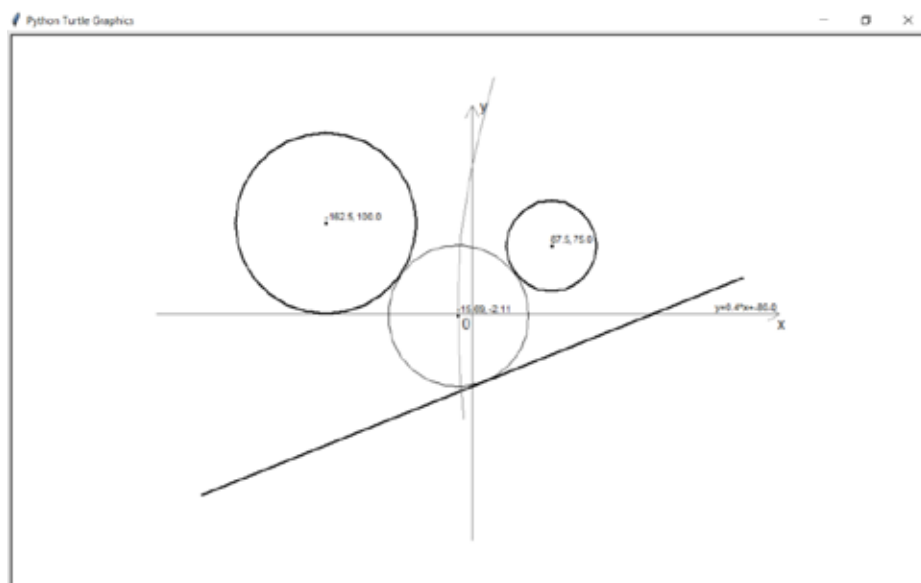
Sl. 7.d: Dva pravca koji se sijeku i kružnica koja siječe oba pravca

2.3. Problem s jednim pravcem i dvije kružnice

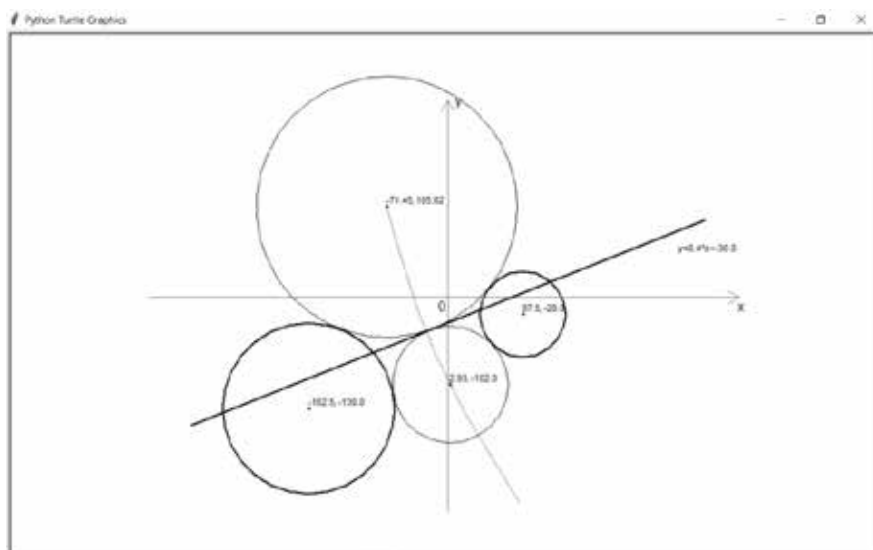
Ovisno o položaju pravca i kružnica, mogu nastupiti tri slučaja. Ako pravac ne siječe niti jednu kružnicu, ali siječe dužinu koja spaja središta kružnica, tada nema rješenja.

Drugi slučaj prikazan je na slici 8a. Pravac ne siječe niti jednu kružnicu i ne siječe dužinu koja spaja središta kružnica. Tada postoji jedno rješenje koje prikazuje slika 8a. Također postoji samo jedno rješenje kada pravac siječe samo jednu kružnicu.

Treći slučaj, kada pravac siječe obje kružnice prikazan je na slici 8b. Tada postoje dva rješenja.



Sl. 8.a: Dvije kružnice i pravac; pravac ne siječe kružnice



Sl. 8.b: Dvije kružnice i pravac, pravac siječe kružnice

2.4. Problem s tri kružnice

Rješenje ovog slučaja smatra se najzahtjevnijim pri konstruktivnom traženju rješenja šestarom i ravnalom. Zato postoje brojni radovi koji pokazuju razne načine po kojima se dolazi do rješenja ovog slučaja.

Numeričkim načinom se dolazi do rješenja u načelu na isti način kao i kod slučajeva s jednom ili dvije kružnice. Geometrijsko mjesto središta (GMS) kružnica koje dodiruju dvije kružnice, na primjer K_1 i K_2 je hiperbola, kao što je to opisano ranije u općem opisu numeričke metode. Na tako određenoj hiperboli sve točke su jednako udaljene od kružnica K_1 i K_2 . Na hiperboli treba naći točku T čija udaljenost od treće kružnice K_3 je jednaka udaljenosti od kružnica K_1 i K_2 .

Opet ima nekoliko slučajeva. Razmještaj zadanih kružnica i njihovi polumjeri mogu biti takovi, da nema rješenja. Na primjer, ako sve tri kružnice imaju isti polumjer a središta su im na zajedničkom pravcu, tada umjesto kružnica postoje dva pravca koji dodiruju zadane tri jednake kružnice.

Slika 9a prikazuje slučaj kada postoji samo jedno rješenje. Slika 9b pokazuje slučaj kada postoje dva rješenja

Kriteriji za postojanje jednog ili dva rješenja ili kriterij za nepostojanje rješenja problema triju kružnica u ovom radu nisu razmatrani.

Algoritam po kojem je napravljen program u kojem se traži kružnica koja dodiruje tri zadane kružnice načelno je sličan gore navedenom algoritmu za problem s dva pravca i kružnicom. Razlika je u tome, što se najprije moraju transformirati koordinate točaka na hiperboli da bi vrijedile u osnovnom koordinatnom sustavu a zatim se, umjesto na pravcu, na hiperboli traži točka koja je središte tražene kružnice.

Algoritam po kojem je napravljen program za rješenje problema s tri kružnice, koristeći izraze (4) do (10) u načelu izgleda na slijedeći način:

Definirat kružnice $K_1(x_1, y_1, r_1)$, $K_2(x_2, y_2, r_2)$ i $K_3(x_3, y_3, r_3)$

Naći parametre a i b hiperbole H na kojoj je središte svih kružnica koje dodiruju zadane kružnice K_1 i K_2 (izrazi (4), (5) i (6))

Naći pomak D_x i D_y izvornog koordinatnog sustava hiperbole H u

odnosu na osnovni koordinatni sustav u kojem su definirane kružnice $K1$, $K2$ i $K3$ (izraz(9))

Naći kut zakreta φ osi hiperbole H (izraz (10))

Odrediti područje pretraživanja $[xmin,xmax]$ točaka na hiperboli i korak pretraživanja Dxx

Za svaku točku (x,y) na hiperboli u području $[xmin,xmax]$ s korakom Dxx ,

Preračunati koordinate točke (x,y) na hiperboli iz izvornog u točke (x',y') u osnovnom koordinatnom sustavu (izraz(11) i (12))

Naći udaljenost svake te točke od kružnice $K3$.

Naći točku R_x , R_y jednako udaljenu od kružnice $K3$ i kružnica $K1$ i $K2$ i označiti tu udaljenost kao R

Nacrtati rješenje, kružnicu $Kr(R_x,R_y,R)$

Zaključak

Konstruktivni problemi koji se mogu riješiti „C.a.R.“ metodom, metodom šestara i ravnala, mogu se, naravno, riješiti i numeričkim metodama uz upotrebu algebarskih izraza. Pri rješavanju Apolonijevih problema triju objekata numerička se metoda može svesti na razmjerno jednostavan i uopćen algoritam. Suština toga algoritma je nalaženje geometrijskog mjesta središta (GMS) kružnica koje dodiruju dva objekta, a zatim se među tako dobivenim točkama nalazi točka ili točke, koje imaju jednaku udaljenost i do trećeg objekta. Iako je u načelu takav algoritam razmjerno jednostavan, potrebno je poznavanje i nešto složenijih numeričkih metoda da bi se došlo do traženih rješenja.

Zanimljiva i povoljna strana numeričkih metoda je u tome, da se s jednom napravljenim algoritmom mogu ispitivati razni razmještaji zadanih objekata. Tako se mogu proučavati razni slučajevi koji tom prilikom nastaju. Povoljno je koristiti programsku podršku koja omogućava neposredan grafički prikaz. Python je programski jezik koji je pogodan za ova rješenja pa se i na pametnim telefonima mogu napraviti modeli koji daju efektne grafičke prikaze.

Literatura

- [1] Z. Bobić Šonc: Optimalni solverumi Apolloniosovih problema šestarom i ravnalom, *PIFT 2020, Povijest i filozofija tehnike*, Zagreb, Hrvatska, 2020.
- [2] E. W. Weisstein,. Apollonius Circle. *MathWorld*--A Wolfram Web Resource.
<https://mathworld.wolfram.com/ApolloniusCircle.html>
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=8KDpGn0bUP8&feature=youtu.be>
- [4] A. Guberina, N. Koceić Bilan: Generalizirani Apolonijev problem; *Acta mathematica spalatensia, Series didactica*, Vol.2 ,2019, 67–91
- [5] M. Jukić: Apolonijev problem, *Osječka matematička škola*, 2, 2002, 81-90
- [6] D. Bošnjak, : *Inverzija*, Diplomski rad, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Odjel za matematiku, Osijek, Hrvatska, 2011.
- [7] <https://ff.unze.ba/nabokov/euklidska2/ljeto2013/05%20Apolonijev%20problem.pdf>

Darko Fischer

Abstract: Problems of Apollonius, supposed to be solved with compass and ruler (C.a.R. technique) can be solved and graphically presented using a computer. Python programming language is suitable for this and can be used even on smartphones. Methods for solving all ten problems defined by this Greek geometer are presented. Approximations can be made with numeric methods to represent points with circles of small radii. So, initial ten problems can be reduced to only four.

Keywords: Problems of Apollonius, Smartphone, Python programming language, digital solution, numeric methods.

Branko Kovač

Primjena teorije mreža u mehanici fluida i termodinamici

Sažetak: Članak opisuje način na koji se teorija mreža može primijeniti ne samo u elektro inženjerstvu, nego i u drugim u inženjerskim disciplinama. Prikazan je način postavljanja jednadžbi i ukazano je ne neke probleme kod rješavanja sustava nelinearnih jednadžbi koje opisuju mrežu. Nadalje pokazana je definicija i metoda popunjavanja Jacobian-ove matrice za elemente koji su tipični u mrežama koje se javljaju u mehanici fluida i termodinamici. Pokazano je kako se ovi elementi mogu koristiti da opisu dijelove postrojenja kao sto su pumpe, ventilatori, stupnjevi turbine i kompresora, ventili te kako se može tretirati volumen sa stlačivim fluidom. Na koncu su pokazani dijelovi mreža koje opisuju fizikalne procese u turbini.

Ključne riječi: mehanika fluida, termodinamika, teorija mreža, modeliranje, Jacobian

Uvod

Moj rad sa teorijom mreža se odvijao tokom dva desetljeća. Prvo desetljeće od 1977 do 1987 sam radio u Končaru u Elektrotehničkom institutu. Radio sam u Zavodu za Energetsku Elektroniku koji je vodio tada mladi magistar Benčić. Tokom tog razdoblja razvijao sam programe za analizu sklopova energetske elektronike. Nakon dolaska u Australiju našao sam posao u Techcom-u, maloj firmi koja je radila simulatore za treniranje operatora u termoelektranama. Tu firmu je kasnije kupila Yokogawa. U toj firmi sam proveo drugo desetljeće vezan uz analizu mreža od 1989 do 1999. Radeći sa kolegama iz raznih krajeva svijeta Australije, Njemačke, Kine, Indije,

Indonezije, Malezije, Bangladeša, Iraka i drugih zemalja, koji su imali dobro obrazovanje, neki su imali i doktorate, shvatio sam da im nedostaje inženjerski alat koji se zove teorija mreža. Moji kolege su uglavnom imali obrazovanje u mehaničkom ili kemijskom inženjerstvu. Oni su radili simulatore i prije moga dolaska, ali su radili matematičke modele koji su bili „hard coded“ za određeni problem. Sa iskustvom koje sam ponio iz Končara mogao sam uočiti pravila koja su se ponavljala u modelima i poopćiti modele tako da ih je bilo lakše održavati i mijenjati po potrebi. Razvio sam rutine za rješavanje mreža koje se i danas koriste. Teoriju koju sam pri tome koristio kao i neke od čudnih elemenata mreža, za jednog elektroinženjera, opisat ću u ovom članku. Ovaj članak možda pomogne nekom strojarskom ili kemijskom inženjeru vidjeti pravila i tehniku rješavanja problema iz njihove prakse primjenom teorije mreža, a elektroinženjerima dade uvid u mogućnosti primjene teorije mreža u drugim inženjerskim disciplinama.

Problemi prijenosa mase i energije u cijevima, zračnim kanalima, nepravilnim metalnim dijelovima su česti u termoelektranama, rafinerijama, vodovodnim sistemima, šećerana i sličnim postrojenjima. Analitičko rješavanje problema prijenosa mase i energije je ograničeno na jednostavne ili pojednostavljene slučajeve. Rješavanje problema korištenjem metoda računalne dinamike fluida je složeno i optimalno je za slučajeve kad gibanje fluida nije ograničeno cijevima ili zračnim kanalima i kad se razmatra ponašanje kritičnih komponenti sistema. Metode rješavanja problema iz mehanike fluida i termodinamike primjenom teorije mreža omogućavaju numeričku analizu industrijskih postrojenja sastavljenih od niza komponenti na efikasan način.

Korištenjem zakona o održanju mase za probleme prijenosa mase ili zakona o održanju energije za probleme prijenosa energije mogu se postaviti jednadžbe koje matematički opisuju probleme iz mehanike fluida i termodinamike. Tok mase koji ulazi u neki prostor jednak je toku mase koja izlazi iz tog prostora i akumulaciji mase u samom prostoru. Na osnovu zakona o održanju energije, tok energije koja ulazi u neki prostor je jednak toku energije koja izlazi iz tog prostora i akumulaciji energije u samom prostoru. Cijeli prostor u kojem se razmatra ravnoteža mase ili energije može se razdijeliti u manje prostore ili ćelije. Ćelije su međusobno povezane granama koje prenose

masu ili energiju. Za svaku ćeliju možemo postaviti jednadžbe održanja mase ili energije.

$$\sum m = 0 \quad (1a)$$

$$\sum q = 0 \quad (1b)$$

Gdje je

- m – tok mase u granama mreže
- q – tok energije u granama mreže

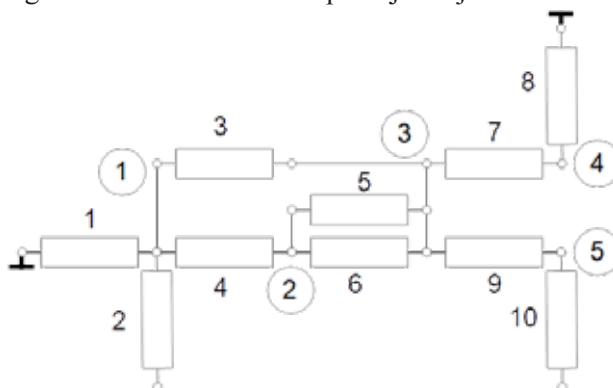
U ovom članku koristit će se malo slovo „ m “ za tok mase u grani, a veliko slovo „ M “ za količinu mase u nekom volumenu. Slično tako „ q “ će se koristiti za tok energije a „ Q “ za količinu energije. Kada koristimo teoriju mreža za rješavanje problema u mehanici fluida ili termodinamici pritisak, temperatura ili entalpija koji su varijable stanja za taj ograničeni prostor ili ćeliju možemo predstaviti pritiskom, temperaturom ili entalpijom u čvoru mreže. Elemente koji povezuju ćelije možemo nadomjestiti granama mreže. Fizikalna svojstva ograničenog prostora kao što su stlačivost, toplinski kapacitet i druga mogu se predstaviti granama mreže. Protok mase granom koja povezuje dvije ćelije određen je razlikom pritisa i parametrima cijevi, lakta, pumpe ili neke druge komponente koja je nadomještена granom. Protok energije između dvije ćelije određen je razlikom temperatura ili entalpija i parametara komponente koja povezuje dvije ćelije. Jednadžbe održanja mase i energije možemo napisati kao sustav jednadžbi gdje je pritisak, temperatura ili entalpija varijabla stanja u svakoj ćeliji. Da se pojednostavi izlaganje o načinu postavljanja jednadžbi i opisu rješavanja tih jednadžbi ograničit ćemo se na jednadžbe tokova mase. Nakon što se prikaže način rješavanja jednadžbi na primjeru jednadžbi tokova mase rezultat se može proširiti na jednadžbe tokova energije primjenom zakona o održanju energije. Ukoliko se razmatraju pojave gdje se prijenos mase i energije mora razmatrati simultano, moguće je postaviti jednadžbe sa miješanim varijablama stanja. Za n ćelija možemo napisati n jednadžbi za održanje mase u obliku

$$\begin{aligned} \sum m_1(P) &= 0 \\ \sum m_2(P) &= 0 \\ &\dots \end{aligned} \quad (2)$$

Gdje je

- Σm_n – suma tokova mase koji izlaze iz n -te ćelije ili n -tog čvora mreže
- P – vektor pritiska u čvorovima mreže

Sl. 1. prikazuje mrežu sa pet čvorova i deset grana. Čvorovi su označeni brojem u krugu a grane brojem bez kruga. Grane prenose masu između dva čvora. Nekoliko grana može završavati ili počinjati u jednom čvoru.

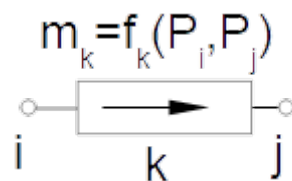


Sl. 1 Primjer mreže za prijenos mase sa pet čvorova i deset grana

Problem koji trebamo riješiti je pronaći n pritiska za n čvorova koji će rezultirati ravnotežom tokova mase u svim čvorovima.

1. Računanje ravnoteže tokova masa

Grana mreže prikazana na Sl. 2 će se koristiti da bi se pojasnilo računanje ravnoteže tokova masa.



Sl. 2. Grana mreže „ k “ koja povezuje čvorove „ i “ i „ j “

Orijentacija grane je od čvora „ i “ do čvora „ j “. Tok mase je pozitivan kada je smjer strujanja mase istovjetan sa orijentacijom grane. Po zakonu o održanju

mase tok mase koji ulazi u granu mreže na jednom čvoru mora biti jednak toku mase koji izlazi iz grane na drugom čvoru. Tok mase u grani „ k “ se može računati nekom funkcijom f koja ovisi o pritiscima u čvorovima „ i “ i „ j “.

$$m_{k,i,j} = f_k(P_i, P_j) \quad (3)$$

Ravnoteža tokova mase u bilo kojem čvoru mreže „ i “ nalazi se kao suma tokova mase u granama koje počinju u čvoru „ i “ minus suma tokova mase koje završavaju u čvoru „ i “. Grane koje nisu povezane sa čvorom „ i “ nemaju doprinos kada se računa ravnoteža masa u čvoru „ i “.

$$\sum m_i = \sum m_{k,i,x} - \sum m_{k,x,i} \quad (4)$$

Pogledajmo kako mala promjena pritiska utiče na tok mase u jednoj grani. Utjecaj promjene pritiska na tok mase za jednu granu određen je parcijalnim derivacijama jednačbe (3) po pritisku u čvorovima „ i “ i „ j “.

$$\frac{\partial m_k}{\partial P_i} = \frac{\partial f_k(P_i, P_j)}{\partial P_i} \quad (5a)$$

$$\frac{\partial m_k}{\partial P_j} = \frac{\partial f_k(P_i, P_j)}{\partial P_j} \quad (5b)$$

Koristeći (4) i (5) za čvor „ i “ i „ j “ možemo doprinos grane „ k “ neravnoteži tokova mase kod male promjene pritiska računati kao

$$\frac{\partial f_k(P_i, P_j)}{\partial P_i} \cdot \Delta P_i + \frac{\partial f_k(P_i, P_j)}{\partial P_j} \cdot \Delta P_j = \Delta m_{k,i} \quad (6a)$$

$$-\frac{\partial f_k(P_i, P_j)}{\partial P_i} \cdot \Delta P_i - \frac{\partial f_k(P_i, P_j)}{\partial P_j} \cdot \Delta P_j = \Delta m_{k,j} \quad (6b)$$

Koristeći izraze (6) za sve grane mreže možemo postaviti matricu koja povezuje promjenu pritiska sa neravnotežom masa za sve čvorove. Elementi matrice koja povezuje promjenu pritiska i neravnoteže tokova masa nalaze se kao zbroj doprinosa svih grana mreže

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial m_i}{\partial P_i} & \frac{\partial m_i}{\partial P_j} & \dots \\ \frac{\partial m_j}{\partial P_i} & \frac{\partial m_j}{\partial P_j} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta P_j \\ \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta m_i \\ \Delta m_j \\ \dots \end{bmatrix} \quad (7)$$

Ova jednadžba predstavlja procjenu neravnoteže tokova masa koju ćemo dobiti ako na ravnotežni vektor pritiska dodamo devijaciju pritiska ΔP . Ako znamo neravnotežu tokova masa iz (7) možemo naći procjenu devijacije pritiska koji uzrokuju neravnotežu tokova masa u mreži kao

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta P_j \\ \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial m_i}{\partial P_i} & \frac{\partial m_i}{\partial P_j} & \dots \\ \frac{\partial m_j}{\partial P_i} & \frac{\partial m_j}{\partial P_j} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta m_i \\ \Delta m_j \\ \dots \end{bmatrix} \quad (8)$$

U iterativnom procesu početnu procjenu pritiska popraviti ćemo ako od nje oduzmemo devijaciju pritiska koji uzrokuju neravnotežu tokova masa.

$$\begin{bmatrix} P_{1,n} \\ P_{2,n} \\ \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1,n-1} \\ P_{2,n-1} \\ \dots \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta P_{1,n-1} \\ \Delta P_{2,n-1} \\ \dots \end{bmatrix} \quad (9)$$

Jednadžba (9) je poznata kao Newton-ova iterativna metoda, a matrica parcijalnih derivacija se naziva Jacobian. Oni koji su upoznati sa teorijom mreža prepoznat će metodu postavljanja jednadžbi mreža kao metodu čvorova. Vektor pritiska u mreži se nalazi iterativnim procesom koji počnemo sa procjenom pritiska te tu procjenu poboljšavamo tako da ona smanjuje neravnotežu masa u svakom koraku iteracije. Kada se radi o simulaciji u vremenskoj domeni početna procjena vektora pritiska u n-tom koraku simulacije može biti vektor rješenja iz n-1-vog koraka simulacije. U (9) prvi broj u indeksu se odnosi na broj čvora a drugi se odnosi na korak u Newton-ovoj metodi iteracije. Značenje simbola u (9) je:

- $P_{1,n}$ – pritisak u prvom čvoru u n-tom koraku iteracije
- $P_{1,n-1}$ – pritisak u prvom čvoru u n-1-vom koraku iteracije
- $\Delta P_{1,n}$ – popravka pritiska u prvom čvoru u n-tom koraku iteracije

Newton-ova iterativna metoda je stabilna u slučajevima kada se parcijalne derivacije oko točke rješenja malo mijenjaju i početna procjena je relativno blizu rješenja. Ako je početna procjena daleko od rješenja i parcijalne derivacije se značajno mijenjaju oko točke rješenja, puni korak Newton-ove metode može dovesti do nestabilnosti. Da bi se kontroliralo stabilnost Newton-ove metode tokom rješavanja jednadžbi potrebno je kontrolirati pogrešku računa. Pogreška

se može definirati kao suma kvadrata neravnoteže tokova masa. Stabilnost iterativnog procesa se povećava ako popravak pritiska pomnožimo sa faktorom relaksacije α koji se bira tako da smanjuje pogrešku računa u svakom koraku iteracije. Modifikacija Newton-ove metode se može napisati kao

$$\begin{bmatrix} P_{1,n} \\ P_{2,n} \\ \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1,n-1} \\ P_{2,n-1} \\ \dots \end{bmatrix} - \alpha \begin{bmatrix} \Delta P_{1,n-1} \\ \Delta P_{2,n-1} \\ \dots \end{bmatrix} \quad (10)$$

Postoje razne metode za određivanje faktora relaksacije α . Neki algoritmi koriste dijeljenje sa dva punog koraka Newton-ove metode u slučaju da puni korak povećava pogrešku računa. Neki algoritmi koriste aproksimaciju pogreške računa polinomom drugog reda i minimiziraju taj polinom. Algoritmi koji koriste minimizaciju pogreške računa mogu izabrati faktor relaksacije manji od jedan u slučaju da je područje oko točke rješenja nestabilno i veći od jedan u slučajevima kada je konvergencija spora. Metode koje koriste kontrolu pogreške računa će povećati vrijeme potrebno za računanje ali nije potrebno računati Jacobian i njegovu inverznu matricu tokom minimiziranja pogreške računa.

Primjenom modificirane Newton-ove iterativne metode (10) može se naći pritisak u svakom čvoru mreže. Na sličan način se mogu rješavati mreže za prijenos topline. Potrebno je samo pritiske zamijeniti sa temperaturom ili entalpijom, a tok mase sa tokom energije.

2. Jednadžbe prijenosa mase i energije za različite elemente mreže

Da bi se dobio osjećaj za jednadžbe koje opisuju grane mreže, prikazat će se nekoliko elemenata koji su tipični za mreže koje prenose masu ili energiju. Parametri elemenata mreže mogu se računati na razne načine. Parametri elemenata mreže se mogu odrediti pomoću literature, tabela i dijagrama koji povezuju tok mase i pritiske ili tok energije i temperature ili entalpije u mreži. Često je parametre elemenata mreže jednostavnije računati iz poznatih tokova i varijabli stanja pod nazivnim uvjetima i to koristiti da bi se dobila rješenja jednadžbi stanja kod nepoznatih uvjeta. U ovom članku nećemo se fokusirati na

način kako se računaju parametri nadomjesne mreže nego na način kako se postavljaju i rješavaju jednačbe mreža.

2.1 Turbulentni tok mase u cijevi

Strujanje fluida u cijevi je najčešće turbulentno jer se nastoji smanjiti troškove izgradnje postrojenja a time i dimenzije cijevi. Tok mase u cijevi, u kojoj je strujanje fluida turbulentno, je određen Darcy-Weisbach-ovom jednačbom [1] koja povezuje pad pritiska i brzinu strujanja fluida. Jednačba koja povezuje tok mase i pritisak, kako je to specificirano u jednačbi (3), se može napisati za turbulentno strujanje u obliku

$$m = A\sqrt{P_i - P_j} \quad \text{za} \quad P_i - P_j \geq 0 \quad (11a)$$

$$m = -A\sqrt{P_j - P_i} \quad \text{za} \quad P_i - P_j < 0 \quad (11b)$$

Gdje je

- m – tok mase
- P_i – pritisak na ulazu u cijev
- P_j – pritisak na izlazu iz cijevi
- A – admitancija cijevi koja ovisi o konstruktivnim parametrima: površina presjeka cijevi, dužina cijevi, gustoća fluida, koeficijent trenja, Reynolds-ov broj i druge fizikalne konstante

Jednačbe za derivacije toka mase po pritisku, kako je to specificirano u jednačbi (5), u čvoru i su

$$\frac{\partial m}{\partial P_i} = \frac{A}{2\sqrt{P_i - P_j}} \quad \text{za} \quad P_i - P_j \geq 0 \quad (12a)$$

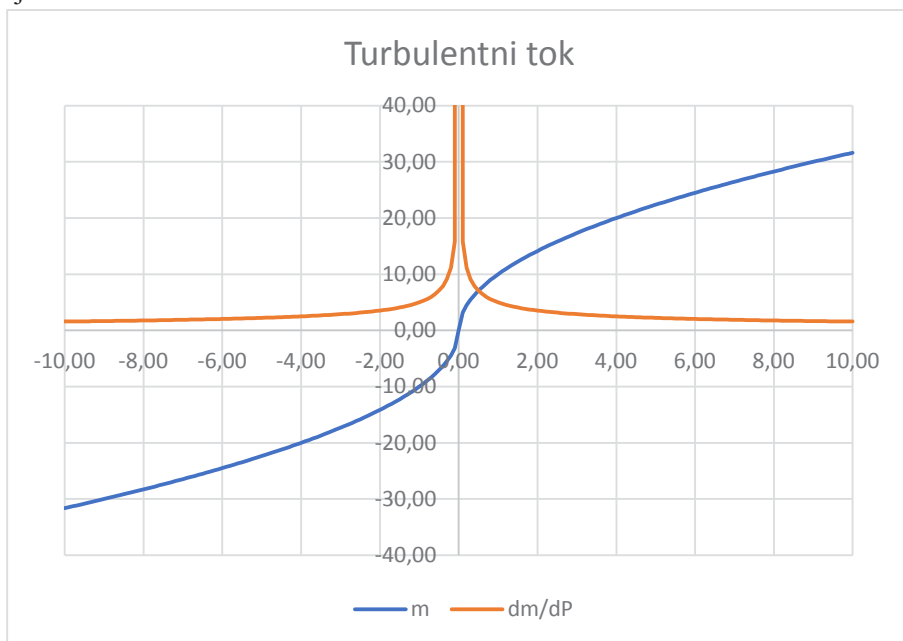
$$\frac{\partial m}{\partial P_j} = -\frac{A}{2\sqrt{P_i - P_j}} \quad \text{za} \quad P_i - P_j \geq 0 \quad (12b)$$

Parcijalna derivacija toka mase po pritisku u čvoru „j“ imat će isti iznos kao i parcijalne derivacije za čvor „i“ samo će biti sa suprotnim predznakom. Elementi Jacobian-ove matrice kako je to specificirano u jednačbi (6) za turbulentni tok u cijevi su

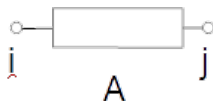
$$\frac{A}{2\sqrt{P_i - P_j}} \cdot \Delta P_i - \frac{A}{2\sqrt{P_i - P_j}} \Delta P_j = \Delta m_{k,i} \quad \text{za} \quad P_i - P_j \geq 0 \quad (13a)$$

$$-\frac{A}{2\sqrt{P_i - P_j}} \cdot \Delta P_i + \frac{A}{2\sqrt{P_i - P_j}} \Delta P_j = \Delta m_{k,j} \quad \text{za } P_i - P_j \geq 0 \quad (13b)$$

Vidimo da je derivacija toka mase singularna oko nule. Kada je pritisak na ulazu u cijev jednak pritisku na izlazu iz cijevi derivacija toka mase postaje beskonačna. Da bi se ograničila derivacija oko nule na neku konačnu vrijednost potrebno je aproksimirati tok mase oko nule polinomom trećeg reda. Uvjeti koje polinom treba zadovoljiti su da vrijednost polinoma i prve derivacije budu jednake u točki prijelaza sa polinoma na vrijednosti računate Darcy-Weisbach-ovom jednadžbom.



Sl. 3 Krivulja toka mase i derivacija toka po pritisku za turbulentni tok



Sl. 4 Grafički simbol za admitanciju

2.2 Nepovratni ventil

Nepovratni ventil je ventil koji dopušta protok mase samo u jednom smjeru. U suprotnom smjeru tok mase je nula. Jednadžbe koje opisuju nepovratni ventil su

$$m = A\sqrt{P_i - P_j} \quad \text{za} \quad P_i - P_j \geq 0 \quad (14a)$$

$$m = 0 \quad \text{za} \quad P_i - P_j < 0 \quad (14b)$$

Jednadžbe za derivacije toka mase su

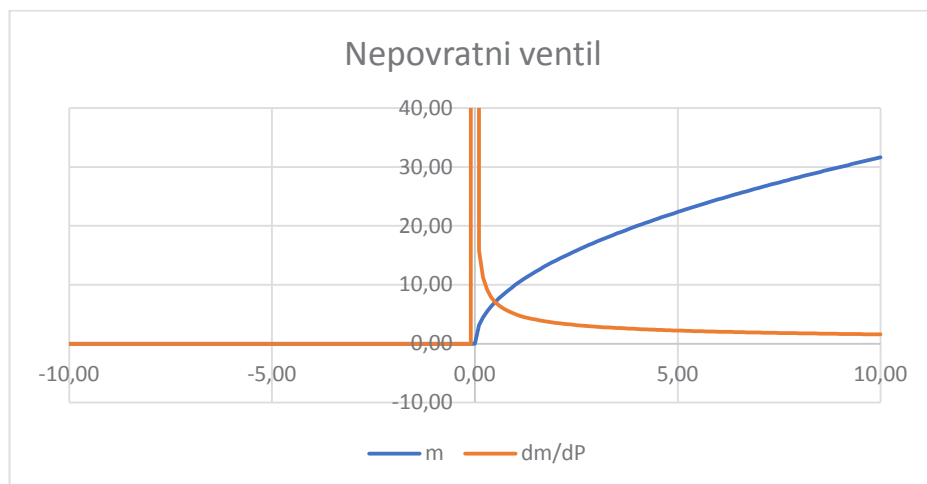
$$\frac{\partial m}{\partial P_i} = \frac{A}{2\sqrt{P_i - P_j}} \quad \text{za} \quad P_i - P_j \geq 0 \quad (15a)$$

$$\frac{\partial m}{\partial P_i} = 0 \quad \text{za} \quad P_i - P_j < 0 \quad (15b)$$

Parcijalna derivacija toka po pritisku u čvoru „j“ imat će suprotan predznak. Slično kao kod turbulentnog toka vidimo da je derivacija toka mase u nepovratnom ventilu singularna oko nule. Zbog toga se tok mase oko nule nadomješta polinomom trećeg reda. Uvjeti koje polinom treba zadovoljiti su da vrijednost polinoma i prve derivacije budu jednake u točki prijelaza sa polinoma na vrijednosti računate korištenjem (14a) i (15a), a u nuli da vrijednost polinoma i prve derivacije budu nula. Elementi Jacobian-ove matrice za nepovratni ventil kod pritiska na ulazu koji je veći od pritiska na izlazu iz grane su

$$\frac{A}{2\sqrt{P_i - P_j}} \cdot \Delta P_i - \frac{A}{2\sqrt{P_i - P_j}} \Delta P_j = \Delta m_{k,i} \quad \text{za} \quad P_i - P_j \geq 0 \quad (16a)$$

$$-\frac{A}{2\sqrt{P_i - P_j}} \cdot \Delta P_i + \frac{A}{2\sqrt{P_i - P_j}} \Delta P_j = \Delta m_{k,j} \quad \text{za} \quad P_i - P_j \geq 0 \quad (16b)$$



Sl. 5 Krivulja toka mase i derivacija toka po pritisku za nepovratni ventil



Sl. 6 Grafički simbol za nepovratni ventil

2.3 Linearni tok

Ako je cijev dovoljno velika ili tok fluida dovoljno mali, tok fluida u cijevi će biti laminaran. Kod laminarnog toka, tok fluida u cijevi je linearno proporcionalan padu pritiska prema Hagen-Poiseuille jednadžbi [2]. Jednadžba se može pisati u obliku

$$m = B(P_i - P_j) \quad (17)$$

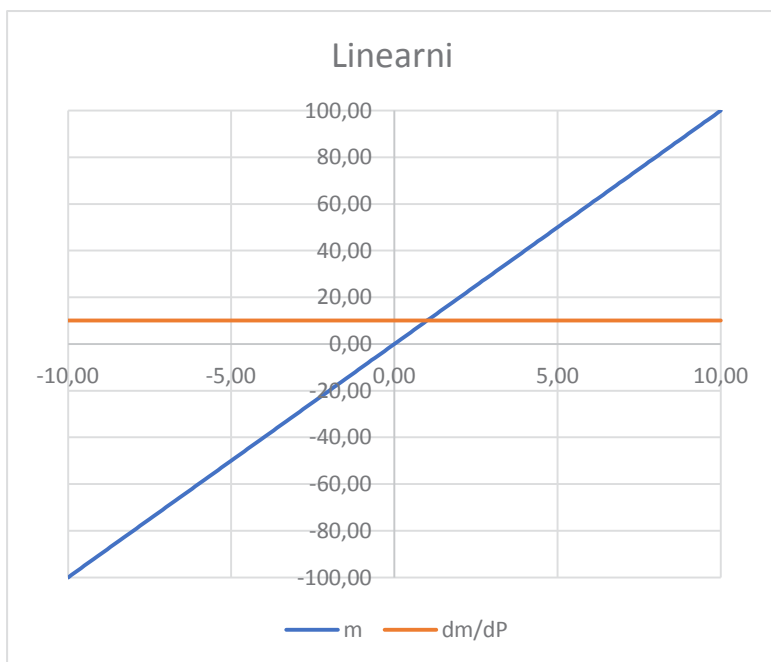
Gdje je:

- m – tok mase
- P_i – pritisak na ulazu u cijev
- P_j – pritisak na izlazu iz cijevi
- B – vodljivost cijevi koja ovisi o konstruktivnim parametrima: površina presjeka cijevi, dužina cijevi, dinamička viskoznost i druge fizikalne konstante

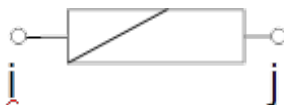
Ovisnost toka energije o temperaturi kod konvektivnog i konduktivnog prijenosa topline je isto tako linearna. Kod linearne ovisnosti toka o pritisku parcijalna derivacija mase po pritisku je jednostavno vodljivost cijevi B . Elementi Jacobian-ove matrice su

$$B \cdot \Delta P_i - B \cdot \Delta P_j = \Delta m_{k,i} \quad \text{za} \quad P_i - P_j \geq 0 \quad (18a)$$

$$-B \cdot \Delta P_i + B \cdot \Delta P_j = \Delta m_{k,j} \quad \text{za} \quad P_i - P_j \geq 0 \quad (18b)$$



Sl. 7 Krivulja toka mase i derivacija toka po pritisku za linearni tok



Sl. 8 Grafički simbol za linearni element

2.4 Kapacitet

Kada je fluid za koji računamo tokove mase stlačiv tada će akumulacija mase u volumenu ćelije uzrokovati promjenu pritiska. Mrežni element koji

predstavlja volumen ćelije sa stlačivim fluidom je kapacitet. Jednadžba koja opisuje tok mase u kapacitetu je

$$m = C \frac{dP}{dt} \quad (19)$$

Simbol koji se koristi za prikazivanje kapaciteta u mreži je pokazan na slijedećoj slici



Sl. 9 Grafički simbol za kapacitet

2.5 Nezavisni izvor toka

Idealne crpke za potiskivanje imaju konstantan tok mase bez obzira na pritisak na izlazu iz crpke. Takove crpke se predstavljaju tokom mase koji je neovisan o pritisku. Jednadžba koja opisuje crpku za potiskivanje je

$$m = K \quad (20)$$

Parcijalna derivacija nezavisnog izvora toka po pritisku je nula. Simbol koji se koristi za prikazivanje nezavisnog izvora toka u mreži je pokazan na slijedećoj slici



Sl. 10 Grafički simbol za nezavisni izvor toka

2.6 Radijacija topline

Tok energije zbog radijacije je proporcionalan četvrtoj potenciji apsolutne temperature kako je prikazano slijedećom jednadžbom

$$q_n = k \left[(T_i + T_0)^4 - (T_j + T_0)^4 \right] \quad (21)$$

Gdje je

- q_n – tok topline u n-toj grani
- k – koeficijent radijacije
- T_i – temperatura u i -tom čvoru mreže

- T_0 – ofset od apsolutne nule
- T_j – temperatura u j -tom čvoru mreže

Parcijalne derivacije toka energije po temperaturi i -tom i j -tom čvoru su

$$\frac{\partial q_n}{\partial T_i} = 4k(T_i + T_0)^3 \quad (22a)$$

$$\frac{\partial q_n}{\partial T_j} = -4k(T_j + T_0)^3 \quad (22b)$$

Parcijalne derivacije toka energije po temperaturi u i -tom i j -tom čvoru nisu jednake. To čini Jacobian nesimetričnim i dijagonalni element ne mora uvijek biti dominantan u redu ili stupcu matrice.



Sl. 11 Grafički simbol za radijacijski element

2.7 Advekcija topline - Prijenos energije transportom mase

Kada masa fluida prelazi iz i -te ćelije u j -tu ćeliju ona nosi sa sobom energiju iz i -te ćelije. Temperatura u j -toj ćeliji ne utiče na tok energije. Tok energije transportom mase iz čvora i može se prikazati jednačom

$$q_n = mcT_i \quad \text{za} \quad m \geq 0 \quad (23a)$$

$$q_n = mcT_j \quad \text{za} \quad m < 0 \quad (23b)$$

Gdje je

- q_n – tok topline u n -toj grani
- m – tok mase
- c – specifična toplota fluida
- T_i – temperatura u početnom čvoru grane
- T_j – temperatura u završnom čvoru grane

Ako je varijabla stanja za prijenos topline entalpija što je najčešće slučaj kod mreža za simulaciju pare tada je prijenos topline transportom mase određen jednačom

$$q_n = mh_i \quad \text{za} \quad m \geq 0 \quad (24a)$$

$$q_n = mh_j \quad \text{za} \quad m \geq 0 \quad (24a)$$

Gdje je

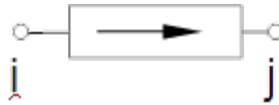
- h_i - entalpija u početnom čvoru grane,
- h_j - entalpija u završnom čvoru grane.

Parcijalne derivacije advektivnog prijenosa topline u čvorovima „i“ i „j“ kod pozitivnog strujanja mase kad je temperatura varijablu stanja su

$$\frac{\partial q_n}{\partial T_i} = mc \quad (25a)$$

$$\frac{\partial q_n}{\partial T_j} = 0 \quad (25b)$$

Vidimo da parcijalna derivacija toka topline po temperaturi ili entalpiji ima vrijednost različitu od nule samo u čvoru iz kojeg tok mase polazi. To čini Jacobian nesimetričnim. Prijenos energije transportom mase je dominantan efekt za mreže kojima se simulira prijenos energije u pari ili u plinovima na izlasku iz peći.



Sl. 12 Grafički simbol za advekciju

3. Modeliranje dijelova postrojenja elementima mreža

3.1 Modeliranje centrifugalne pumpe i ventila

Krivulja ovisnosti pritiska o toku mase kod centrifugalne pumpe dana je krivuljama A i B na Sl. 4. Vidimo da pad pritiska na izlazu iz pumpe može da se nadomjesti kvadratnom funkcijom koja ovisi o toku mase. Drugim riječima tok mase ovisi o kvadratnom korijenu pada pritiska. To je ista funkcija koji opisuje turbulentni tok mase u cijevi. Iako je turbulentni tok mase u cijevi fizikalno različit od procesa toka mase u centrifugalnoj pumpi, oba ova procesa se mogu opisati istom jednažbom.

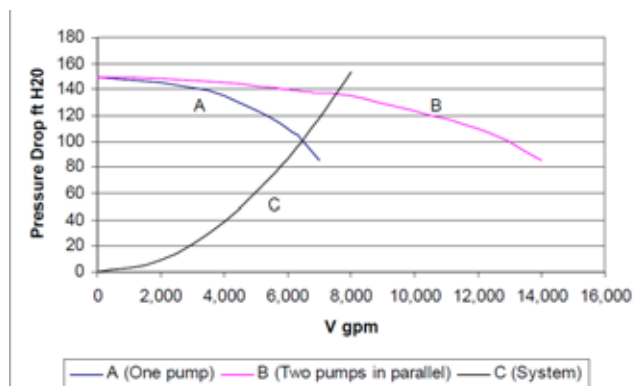
$$m = A\sqrt{P_0 + P_i - P_j} \quad (26)$$

Parametar P_0 je iznos idealnog izvora pritiska.

Parametri A i P_0 se mogu naći ako očitamo dvije vrijednosti na krivulji pumpe (m_1, P_1) i (m_2, P_2) te uvrstimo te vrijednosti u (12). Račun se pojednostavljuje ako uzmemo P_i jednak nuli i P_j jednak očitanoj pritisku. Nadomjesni parametri su

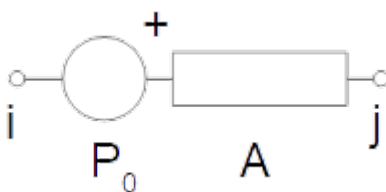
$$P_0 = \frac{m_1^2 P_2 - m_2^2 P_1}{m_1^2 - m_2^2} \quad (27a)$$

$$A = \frac{m_1}{\sqrt{P_0 - P_1}} \quad (27b)$$



Sl. 13 Ovisnost pritiska i toka centrifugalne pumpe

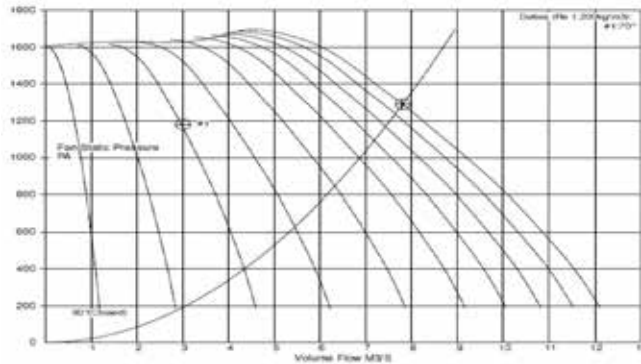
Sa krivulje B na Sl. 3 možemo očitati $m_1=6000$, $P_1=140$; $m_2=12000$, $P_2=110$. Nadomjesni pritisak za krivulju B je $P_0=150$ a admitancija je $A=1897$.



Sl. 14 Nadomjesni elementi centrifugalne pumpe

Ventilatori se mogu nadomjestiti istim nadomjesnim elementima kao i centrifugalna pumpa. U nekim postrojenjima protok zraka se regulira zakretanjem krilca ventilatora koja su pokretna ili zakretanjem krilaca na ulazu

u ventilator. U tom slučaju nadomjesni pritisak P_0 i nadomjesna admitancija A će biti funkcije kuta zakreta krilaca.

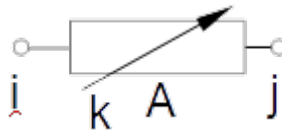


Sl. 15 Ovisnost pritiska i toka za ventilator

Kontrolni ventil se modelira promjenjivom admitancijom koja je funkcija položaja kontrolnog elementa.

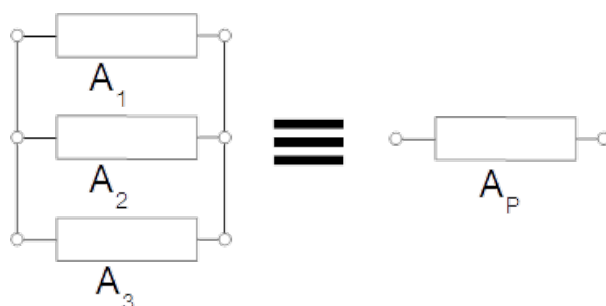
$$A_v = kA \quad (28)$$

Gdje je k funkcija položaja ventila. k ima vrijednost 0 za zatvoreni ventil i vrijednost 1 za potpuno otvoreni ventil. Simbol koji se koristi za grafički prikaz kontrolnog ventila je pokazan na slijedećoj slici



Sl. 16 Grafički prikaz kontrolnog ventila

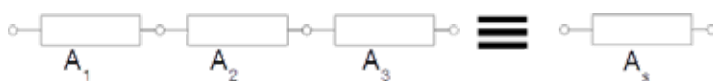
Ako imamo mreže koje su sastavljene isključivo od admitancija opisanih jednadžbom (11), u jednostavnim slučajevima možemo naći analitičko rješenje problema. Kod paralelnog spoja admitancija, nadomjesna admitancija je jednostavno suma pojedinačnih admitancija.



Sl. 17 Paralelni spoj admitancija

$$A_p = A_1 + A_2 + A_3 \dots \quad (29)$$

Kod serijskog spoja admitancija, recipročna vrijednost kvadrata nadomjesne admitancije cijele serije je jednaka sumi recipročnih vrijednosti kvadrata pojedinačnih admitancija



Sl. 18 Serijski spoj admitancija

$$\frac{1}{A_s^2} = \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} \dots \quad (30)$$

3.2 Modeliranje volumena sa stlačivim fluidom

Mreže koje prenose paru, zrak ili neki drugi stlačivi plin trebaju uzeti u obzir činjenicu da je fluid stlačiv i da se masa fluida u samom volumenu mijenja tokom vremena. To uzrokuje neravnotežu u tokovima masa koje izlaze i ulaze u volumen. Da bi zakon o održanju mase vrijedio i u takovim slučajevima mi nadomještamo volumen sa stlačivim fluidom elementima mreže koji modeliraju efekte akumuliranja mase stlačivog fluida u volumenu. Postrojenja sa stlačivim fluidom možemo podijeliti na ćelije koje imaju konstantan volumen. Masa stlačivog fluida u volumenu ćelije je određena specifičnim volumenom fluida kao

$$M_{(P,T)} = \frac{V}{v_{(P,T)}} \quad (31)$$

Gdje je

- M – masa fluida u volumenu
- V – volumen ćelije
- v – specifični volumen fluida koji ovisi o pritisku i temperaturi. Kod mreža koje prenose paru specifični volumen može ovisiti o pritisku i entalpiji

Promjena mase fluida u volumenu ćelije može biti uzrokovana promjenom pritiska i promjenom temperature fluida. Promjena mase u nekom volumenu je opisana jednačbom

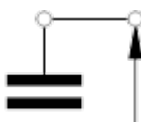
$$\frac{dM}{dt} = -\frac{V}{v^2} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \frac{dT}{dt} + \frac{\partial v}{\partial P} \frac{dP}{dt} \right) \quad (32)$$

Ova jednačba se u mreži nadomješta sa dvije grane: izvorom mase i kapacitetom. Parametri grana su:

$$m = -\frac{V}{v^2} \frac{\partial v}{\partial T} \frac{dT}{dt} \quad (33a)$$

$$C = -\frac{V}{v^2} \frac{\partial v}{\partial P} \quad (33b)$$

Nadomjesna mreža za ravnotežu masa u stlačivom volumenu je prikazana na slijedećoj slici



Sl. 19 Nadomjesna mreža za ravnotežu masa u stlačivom prostoru

Slična nadomjesna mreža može se napraviti i za akumulaciju topline u prostoru sa stlačivim fluidom. Količina toplinske energije u nekom volumenu koji je ispunjen stlačivim fluidom mase M može se napisati kao funkcija temperature ili entalpije kao

$$Q = cMT \quad (34a)$$

$$Q = Mh \quad (34b)$$

Gdje je

- M – masa fluida u volumenu
- Q – toplinska energija u volumenu

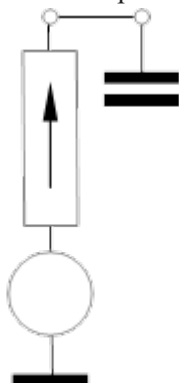
- c – specifična toplina fluida
- T – temperatura fluida
- h – entalpija fluida

Vremenska promjena energije u volumenu uz pretpostavku da je specifična toplina fluida konstantna može se napisati kao

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial M} \frac{dM}{dt} + \frac{\partial Q}{\partial T} \frac{dT}{dt} = cTm + cM \frac{dT}{dt} \quad (35a)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial M} \frac{dM}{dt} + \frac{\partial Q}{\partial h} \frac{dh}{dt} = hm + M \frac{dh}{dt} \quad (35b)$$

Nadomjesna mreža za ravnotežu energije u volumenu sa stlačivim fluidom može se predstaviti sa dvije grane. Grana koja predstavlja sumu toka mase u volumen zbog promjene temperature i pritiska te toplinski kapacitet samog fluida. Pri sumiranju toka mase u volumen treba obratiti pažnju na smjer u granama koje u mreži za ravnotežu masa predstavljaju članove jednadžbe za promjenu mase zbog promjene pritiska i temperature.

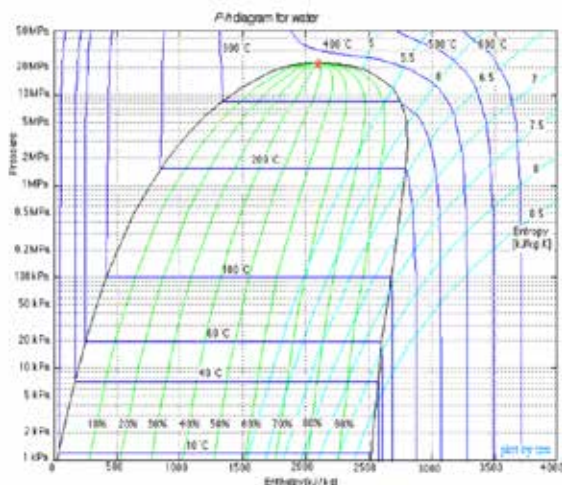


Sl. 20 Nadomjesna mreža za ravnotežu energije u stlačivom prostoru

3.3 Modeliranje turbine i kompresora

Turbina pretvara potencijalnu energiju sadržanu u pari ili plinu u mehaničku energiju dok kompresor pretvara mehaničku energiju u potencijalnu energiju plina. Kada se razmatra ravnoteža energije u plinu, turbina ili stupanj turbine koji pretvara potencijalnu energiju pare ili plina u mehaničku energiju se nadomješta nezavisnim izvorom topline koji smanjuje energiju plina. Kompresor se slično tako nadomješta nezavisnim izvorom topline koji

povećava energiju plina. Parametar nadomjesne mreže se računa pomoću idealnih procesa ekspanzije ili kompresije sa faktorom iskoristivosti tog idealnog procesa.



Sl. 21 Dijagram toplinskih svojstava vode

$$q = \eta m(h_1 - h_2) \quad (36)$$

Gdje je:

q - tok energije iz fluida na rotor

m – tok mase fluida

h_1 – entalpija na ulazu u stupanj turbine

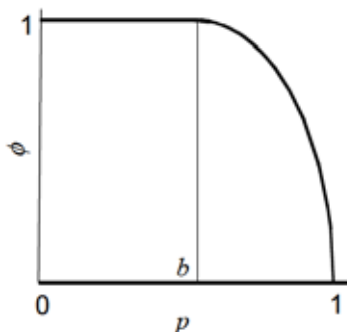
h_2 – entalpija na izlazu iz stupnja turbine za idealni proces ekspanzije

η - stupanj iskorištenja ekspanzije koji je nešto malo manji od 1

Entalpija na ulazu u stupanj turbine h_1 je poznata vrijednost a entalpija na izlasku iz stupnja turbine se računa pomoću idealnog procesa ekspanzije. Stupanj iskorištenja η je za dobru konstrukciju turbine vrlo blizu jedan.

Tok mase kroz stupnjeve turbine, koji predstavlja ekspanziju ili kompresiju idealnog plina ili pare može se računati pomoću Bendemann-ove [3] ili Stodoline [4] aproksimacije izentropne ekspanzije. Pri modeliranju mora se obratiti pažnja da se ne napravi nadomjesna mreža sistema koja nema rješenja. Prigušeni tok mase kroz stupanj turbine je ograničen ulaznim pritiskom i

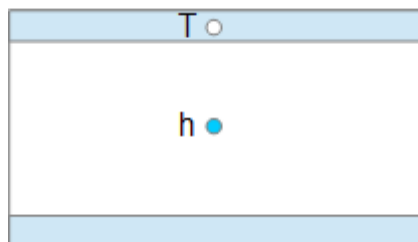
fizikalnim parametrima stupnja, kao što su presjek, svojstva fluida i drugi. Prigušeni tok ne ovisi o izlaznom pritisku. Ako pokušamo napraviti mrežu koja iz turbine nastoji izvući tok veći od maksimalnog, takova mreža neće imati rješenja.



Sl. 22 Funkcija za aproksimaciju prigušenog toka

3.4 Povezivanje sistema sa različitim varijablama stanja

Tok topline kod konvektivnog prijenosa se računa kao linearna funkcija razlike temperatura dvaju tijela i fizikalnih parametara (površine, koeficijent prijenosa topline, ...). Prijenos topline od stjenke metala na paru u cijevima grijača se tretira kao konvektivni prijenos topline. Kod razmatranja termodinamike pare u grijačima obično se bira entalpija kao varijabla stanja za paru i temperatura za metal cijevi. Da bi se računao prijenos topline sa metala na paru potrebno je povezati dva sistema sa različitim varijablama stanja. Ako se prijenos topline u metalu i pari razmatra sa dvije mreže povezane rubnim uvjetima korištenje toka topline za rubni uvjet može dovesti do nestabilnosti u rješavanju mreže. Problem stabilnosti je posebno izražen kod malih tokova mase. Zbog toga se za ćelije sa parom entalpija i temperatura povezuju linearno ovisnom funkcijom



Sl. 23 Dijagram metala i pare u grijaču

$$h = cT \quad (37)$$

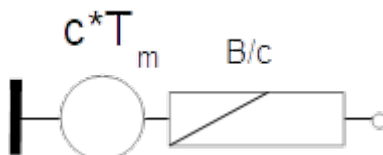
Gornja jednačba je definicija specifične topline. Tok topline sa stjenke metala na paru tada se može predstaviti jednačbom

$$q = B(T_m - T_p) = \frac{B}{c}(cT_m - h_p) \quad (38)$$

Gdje je

- q – tok topline
- T_m – temperatura metala u ćeliji koja je u kontaktu sa parom
- T_p – temperatura pare u ćeliji
- B – konstanta koja sadrži površinu prijenosa topline i koeficijent konvektivnog prijenosa
- h_p – specifična entalpija pare u ćeliji
- c – specifična toplina fluida

Produkt cT_m se može interpretirati kao “entalpija metala“ koja je rubni uvjet u mreži za računanje prijenosa topline u pari. Prijenos topline u izmjenjivaču topline između metala i pare se može rješavati sa dvije neovisne mreže koje su povezane rubnim uvjetima.



Sl. 24 Nadomjesna mreža za prijenos topline sa metala na paru

3.5 Efekti tokom startanja turbine ili grijaća pare

Dok je cijelo postrojenje termoelektrane hladno, grijaći pare i turbina su ispunjeni zrakom koji ima temperaturu okoline. Da bi se moglo realistički modelirati postrojenje u svim pogonskim stanjima potrebno je uzeti u obzir različite kemijske komponente koje ispunjavaju dani volumen. I tu za proračun parcijalnih pritisaka pare u volumenu možemo primijeniti teoriju mreža. Prijenos kemijskih komponenti iz jednog volumena u drugi predstavljamo advekcijom. Količina zraka u fluidu koji ispunjava neki volumen može se računati na sličan način kao i količina topline u fluidu

$$Q_z = M k_z \quad (39)$$

Gdje je

- Q_z – količina zraka
- M – ukupna masa fluida
- k_z – koncentracija zraka

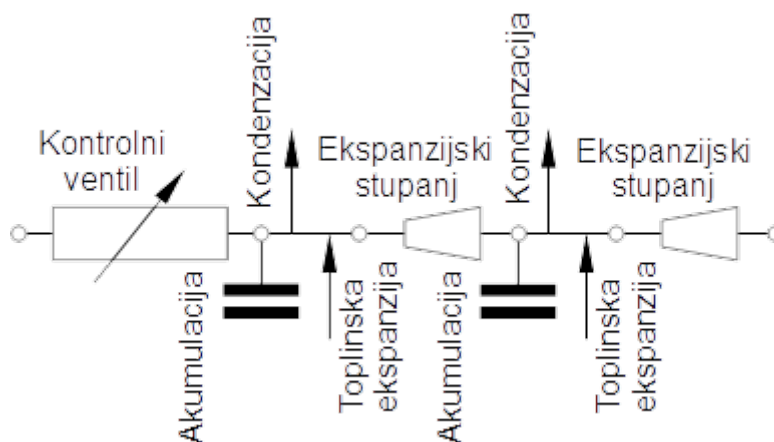
Nadomjesna mreža za vremensku promjenu koncentracije zraka u volumenu sa stlačivim fluidom ista je kao nadomjesna mreža za vremensku promjenu energije u takovom volumenu.

Tokom zagrijavanja postrojenja dolazi do kondenzacije pare na površini cijevi. Kondenzacijom pare gubi se masa iz mješavine zraka i pare a generira se masa kondenzata. Tako kad razmatramo ravnotežu mase u mješavini zraka i pare imamo nezavisni izvor mase koji ide iz mreže u okolinu a kod kondenzata imamo izvor koji donosi masu kondenzata u ćeliju. Pri evaporaciji kondenzata imamo obrnuti proces imamo nezavisni izvor mase koji smanjuje količinu kondenzata u ćeliji a povećava količinu pare.

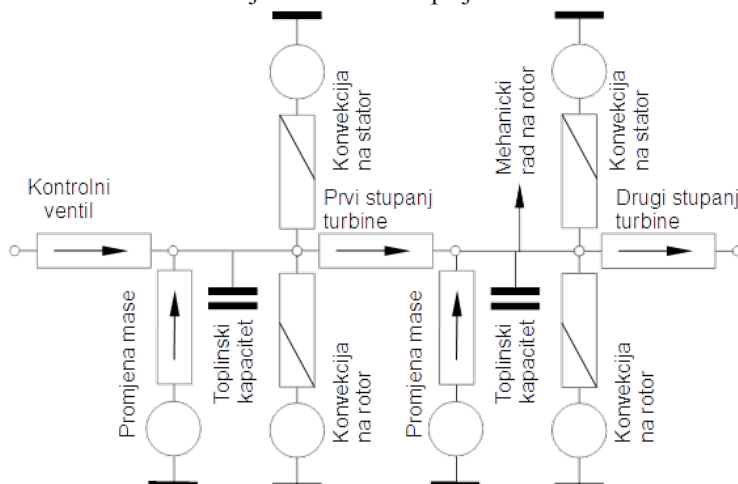
Pri startanju turbine dolazi do nejednolikog zagrijavanja unutrašnjosti i površine rotora i statora i do termičkih naprezanja u metalu. Temperature metala lako se računaju primjenom teorije mreža a kad su poznate temperature i naprezanja je moguće izračunati. Isto tako nejednoliko se zagrijavaju rotor i stator turbine te dolazi do neravnomjernog širenja rotora i statora što se naziva diferencijalnom ekspanzijom. Diferencijalna ekspanzija se može računati ako znamo profil temperature u metalu koje je moguće računati primjenom teorije mreža.

4. Nadomjesne mreže turbine za prijenos mase, energije i zraka

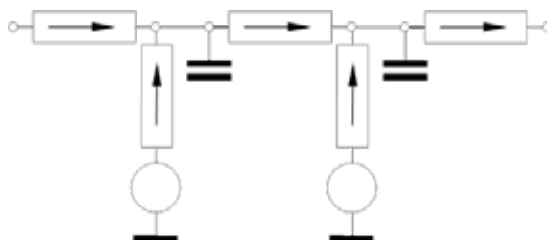
Primjena do sada izložene teorije bit će prikazana na primjeru nadomjesnih mreža za tok mase, energije i kemijskih elemenata u parnom postrojenju.



Sl. 25 Dio nadomjesne mreže za prijenos mase u turbini



Sl. 26 Dio nadomjesne mreže za prijenos energije u turbini

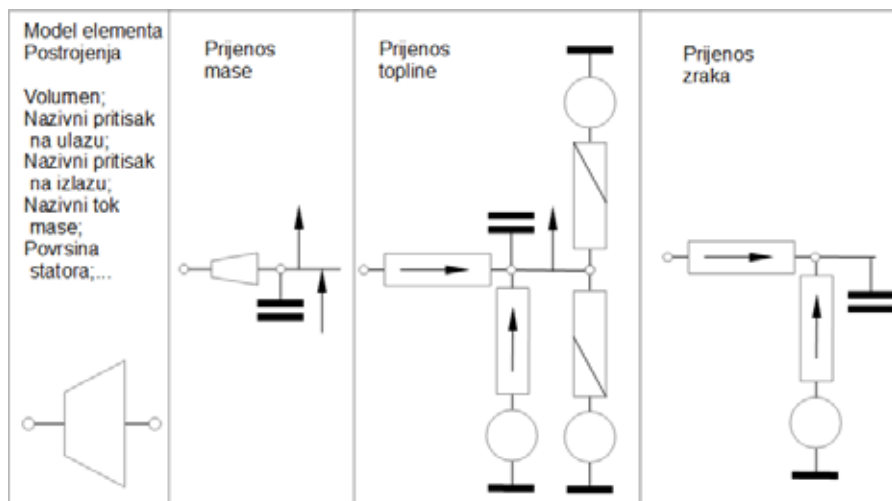


Sl. 27 Dio nadomjesne mreže za prijenos koncentracije zraka u turbine

Kod simulatora termoelektrana točnost koja se zahtjeva prilikom modeliranja postrojenja je propisana. Tipično se zahtjeva da u stacionarnom stanju simulirane vrijednosti glavnih parametara postrojenja kao što su pritisci i temperature pare u grijaćima i oko turbina budu unutar 1% od mjerenih vrijednosti, a ostali parametri kao što su temperatura namota motora uljne pumpe budu unutar 5% od mjerenih vrijednosti. Stacionarna stanja se tipično definiraju na 40%, 60%, 80% i 100% nazivne snage. Za dinamičke promjene zahtjeva se da vremenske konstante i tok varijabli budu unutar 10% od mjerenih vrijednosti. Tako da je procjena parametara za modeliranje vrlo zahtjevna.

5. Integracija elemenata mreže

Koristeći grane mreža opisane u članku mogu se napraviti modeli sa višim nivoom integracije tako da inženjer ne treba da specificira svaku granu mreže nego se specificira cijela dio postrojenja kao što je stupanj turbine, stupanj kompresora, pumpe, stupanj grijaća pare ili drugi elementi postrojenja. Računalni programi proračunavaju elemente grana mreže iz podataka o ćeliji i definiraju matematičke parametre grana mreže. Ćelija tada predstavlja fizikalni element i posjeduje svojstva fluida tako da ne možemo spajati ćelije sa svojstvima zraka sa ćelijama sa svojstvima ulja. Ovaj proces je sličan procesu definiranja modela elektroničkog sklopa koji se koristi u programima kao SPICE.



Sl. 28 Primjer ćelije za stupanj turbine

Zaključak

Primjenom teorije mreža postupak nalaženja profila pritisaka, temperatura ili koncentracija u ograničenom prostoru se bitno pojednostavnjuje. Moguće je napraviti kompjuterske rutine koje rješavaju probleme u općenitoj mreži. Time se inženjerski proces usmjerava na definiranje komponenti i određivanju parametara sistema, a inženjer se oslobađa rješavanja sustava jednačbi. Kada se jednom nacrtá nadomjesna shema sistema diskusija o tom sistemu postane jednostavnija jer se elementi koji utiču na ponašanje sistema lako identificiraju i mogu se vizualno predočiti. Ako neki efekti koji su važni u sistemu nisu obuhvaćeni modelom to je lakše za uočiti na nadomjesnoj shemi nego u kompliciranim matematičkim izrazima.

Teorija mreža je alat koji je na raspolaganju inženjerima pri rješavanju složenih problema. U ovom članku se prikazalo kako ta teorija može biti korištena u rješavanje problema vezanih uz simulaciju toplinskih postrojenja sa parom. Primjena teorije mreža nije ograničena na sisteme sa parom. Iste metode mogu se koristiti za proračune toka vode u cijevima, toka zraka i plinova u zračnim kanalima, ventilacije zgrada, tokove ulja u hidrauličkim sistemima i drugdje.

Literatura:

- [1] G. O. Brown: „The History of the Darcy-Weisbach Equation for Pipe Flow Resistance “ October 2002
- [2] C. Loudon, K. McCulloch: „Application of the Hagen--Poiseuille Equation to Fluid Feeding through Short Tubes “ January 1999
- [3] E. Urata, C. Youn, T. Kagawa: „Approximate Expressions for Characteristics of Gas-Flow Through Orifices“ Proceedings of the 9th JFPS International Symposium on Fluid Power, Matsue, 2014
- [4] C.S. Bresolin, P.S. Schneider, H.A. Vielmo and F.H.R.França; „Application of Steam Turbines Simulation Models in Power Generation Systems“ Engenharia Térmica (Thermal Engineering), Vol. 5 - Nº 01 - July 2006

Branko Kovač

Application of Network Theory in Fluid Mechanics and Thermodynamics

Abstract: The article describes the application of network theory to the solution of engineering problems found not only in electrical engineering but in other engineering disciplines as well. Formulation of network equations is presented together with methods for avoiding some pitfalls that are encountered when solving nonlinear network equations. The description of typical network elements and method of creating a Jacobian matrix for networks that are common in fluid mechanics and thermodynamics is given. Presented is the application of these elements to treat parts of physical plants like pumps, fans, turbine and compressor stages, valves, compressible volume. In the end, parts of networks to treat physical processes in the turbine are shown.

Keywords: fluid mechanics, thermodynamics, network theory, modelling, Jacobian

Zdenko Balaz, Marjan Marino Ninčević, Marijan Milinović

Metode i alati kognitivne kibernetike za edukaciju tehnike

Sažetak: U radu su prezentirana provedena istraživanja Kognitivnom kibernetikom i konceptom „Big Data“ oslonjenim na „Promethee“ metodu, (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), kroz održanu nastavu primjenom novih platformi, alata i metoda vođenog učenja, (Leading/Learning) kompatibilnog s Europskim okvirom digitalnih kompetencija za obrazovatelje. Nastava je održavana pet stručnih predmeta elektrostruke u Strojarskoj tehničkoj školi Fausta Vrančića u Zagrebu, i na kolegiju Intelligentni sustavi Elektrotehničkog odjela Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Promethee metoda služi za višekriterijsko odlučivanje u skupu ponuđenih izbora koji sa svojim značajkama nisu uvijek potpuno definirani. Primijenjena na obrazovanje i edukacije kao sustave s karakteristikama složenosti i prilagodljivosti, učinkovito pomaže u savladavanju gradiva, sjecanju znanja i samostalnim istraživačkim aktivnostima. Analizom više kriterijskog odlučivanja, (MCDA- Multi Criteria Decision Analysis), traganje za rješenjem svodi se na prikaz „ispravne“ odluke među alternativama od kojih se izabire najbolja. Brzo razumijevanje problema, vizualizacijom omogućuje alat Visual PROMETHEE s grafičkom interaktivnom provedbom analize, GAIA, (Graphical Analysis for Interactive Aid). Metode i alati s konceptom totalne integrirane automatike, umjesto teorijskog učenja, na portalima nove generacije inženjerskih platformi i programa, navođenjem od strane edukatora pružaju odlične mogućnosti i kompatibilne su sa STEM, IKT i e-Školskim programima. Stjecanje znanja uz promjene međuljudskih odnosa, pod utjecajem je tehnologija i tehnika koje se stalno razvijaju i mijenjaju. Stoga sve snažniji utjecaj i privrženost zaslonskom okruženju zahtijeva ažuriranje čimbenika stjecanja kompetencija zbog graničnih kaptoloških i disruptivnih integracijskih fenomena čovjeka i tehnologija te se razmatra i nova faza života „zbiļnost“.

Ključne riječi: Leading, Lerning, Promethee, metoda, edukacija

Uvod

Na temelju provedenog istraživanja izložene su najnovije spoznaje o čimbenicima stjecanja kompetencija kroz kognitivna rješenja inteligentnih sustava u novim edukacijskim programima. Odabirom kriterija za nove edukacijske programe te njihovom obradom s pozicije edukacije tehnike, postavljeni su okviri za budućnost. Kao kognitivno rješenje inteligentnih sustava za analizu, sintezu i prikaz rješavanja višekriterijskih problema za potrebe novih edukacijskih programa odabrana je i primijenjena PROMETHEE metoda. U procesima stjecanja znanja danas se sve više koriste tehnologije odnosno inteligentni sustavi. Njihova primjena ako nije pod nadzorom zdravog razuma, (*sensus communis*), ne pridonosi razumskim promišljanjima o životnim izazovima koji se potiču STEM programima. Stoga se kao hipoteza u ovom radu postavlja pitanje kako, u kojoj mjeri i koje interaktivne inteligentne tehnologije prihvatiti za uporabu u obrazovanju koje teži edukacijskim programima primjene ITK i e-Škola, povezanih sa stanjem na tržištu rada te uključivanjem kroz edukaciju u sam radni proces. Kako sama kognitivna kibernetika potiče navedene radnje u razvijanju novih znanja i osposobljavanja „inženjera znanja“, pokazalo se pozitivnim primijeniti je u edukacijskim programima spremnim i fleksibilnim za budućnost edukacije tehnike.

Popis kratica

CARNET – engl. *Croatian Academic Research Network* – Hrvatska akademska istraživačka mreža

GAIA – engl. *Geometrical Analysis for Interactive Aid* – Geometrijska analiza interaktivne pomoći

EKO – Europski klasifikacijski okvir

ELO – Elektrotehnički odjel

ERO – Europski referentni okvir

ES – ekspertni sustav

FONK – (*fear of not knowing*) = strah da se nešto neće znati ako se nije uz tehnologije

ICILS – engl. *International Computer and Information Literacy Study* – Međunarodno istraživanje računalne i informacijske pismenosti

ICT – *Information & communication technology*

IKT – informacijske i komunikacijske tehnologije

IS – inteligentni sustav

KAPTOLOGIJA – engl. *CAPTOLOGY (Computers As Persuasive TechnOLOGY)*

LEADING, LERNING – Metoda vođenog učenja

LKE – engl. *Lean Knowledge Engineers*

MCDA – engl. *Multiple Criteria Decision Analysis* – Metoda analize višekriterijskog odlučivanja

MKN – izraženo u milijunima kuna

MOKSA – metoda obrade, akronim od: Model Opservacije Konvolucijsko Separacijskom Analizom

ONK – Okvirni nacionalni kurikulum

PETAP – pretraživački algoritam, akronim od: Pomoćni Eminentni Tekst Aplikativne Paradigme

PISA – engl. *Programme for International Student Assessment*. - Međunarodni programi ispitivanja znanja i vještina učenika.

PLN – engl. *Personal Learning Network* – osobna mreža za učenje

PROMETHEE – engl. *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations* – Metoda organizacije rangiranja preferencija za obogaćivanje procjene

STEAM – engl. *Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics* – Znanost, tehnologija, umjetnost, inženjerstvo i matematika

STEM – engl. *Science, Technology, Engineering and Mathematics* – Znanost, tehnologija, inženjerstvo i matematika

STEMTEC - engl. *Science, Technology, Engineering and Mathematics Teacher Education Collaborative*

TIAA – engl. *Teachers Insurance and Annuity Association of America*

TVZ – Tehničko veleučilište u Zagrebu

4E-MODEL – kognicija kao spoznaja: utjelovljena –(engl. *embodied*); enaktivna - (engl. *enactive*); proširena - (engl. *extended*) i ukorijenjena - (engl. *embedded*)

I. Pripreme za istraživanje

Edukacijski inteligentni sustavi i važnosti kolaborativne interakcije s edukatorom promoviraju se svake godine kroz rezultate aktualnog svjetskog istraživanja, „Projekt HOROZON 2017-2021“, koji je usredotočen na četiri načela:

- postavljanje u središte onih koji se educiraju,
- naglašavanje interakcije između inteligentnih edukacijskih sustava i educiranih,
- timski rad i
- istraživanje i razvijanje rješenja za stvarne životne izazove.

Kolaborativno učenje, širina i otvorenost prema različitosti, omogućuje edukatorima da sudjeluju u razmjeni ideja kroz koje prate napredovanje. Iako je trend poučavanja ukorijenjen od samog početka u pedagogiji, danas se on povezuje s implementacijom tehnologija. Raspoloživost usluga temeljenih na servisima iz oblaka, aplikacijama, platformama i drugim digitalnim alatima omogućuje i promiče trajnu povezanost, a raspoložive se tehnologije koriste za savjetovanje, razmjenu podataka i izvedbu koja kontinuirano poboljšava edukacijski proces.

Aktivno učenje učvršćuje sve zajednice znatiželjnih, od učenika, srednjoškola, studenata i svih koji su u procesima cjeloživotnog obrazovanja. Kroz zajedničke projekte i prezentacije, otvaraju se zajedničke istraživačke mogućnosti u kojima timovi na čelu s edukatorima istražuju i rješavaju implikacije i tekuće svjetske izazove a sve u cilju razvoja.

Autentičnije inicijative i procjene uz mjere kvalitete i dispozicije ključ su uspješnog zajedničkog učenja koje iako povećava bogatstvo analitičkog učenja ukazuju na potrebe:

- Novih tehnološko prilagođenih zajedničkih prostora za učenje
- Novih modela zajedničkog učenja
- Integracije zajedničkih platformi i alata za efikasnije učenje
- Efikasnog rada u malim grupama
- Prepoznavanja značajki koje podržavaju interkulturalno i pluriperspektivno učenje

Brojni primjeri potvrđuju koliko se daleko otišlo. Značajni izazovi za usvajanje inteligentnih tehnologija u višem obrazovanju potvrđeni su na temelju istraživanja Delphi metodom i razvrstavanjem po prirodi u tri definirane kategorije:

- izazovi koje je moguće razumjeti i riješiti,
- izazovi koji su dobro shvaćeni ali bez rješenja i
- izazovi kompleksni za definiranje koji zahtijevaju dodatne podatke i spoznaje prije mogućih rješavanja.

-

U tu svrhu razmatra se:

A. Šest značajnih izazova koje će trebati detaljnije razvijati kroz:

1. Poboljšanje digitalne pismenosti
2. Integraciju formalnog i neformalnog učenja
3. Razlike u postignućima
4. Rastući sraz u pristupu digitalnim tehnologijama
5. Upravljanje zastarjelosti znanja
6. Adekvatno prepoznavanje uloge edukatora

B. Šest glavnih razvojnih kategorija inteligentnih tehnologija:

- prepoznavanje govora,
- sučelja osjetljiva na dodir,
- prepoznavanje geste,
- praćenje očiju,
- haptičke tehnologije i
- distribuirana pohrana preko sučelja.
-

Sve to potvrđuju činjenice i dobro poznate teorije Vygotskog i Illicha o resursima za učenje u budućnosti koji su osim nastavnog sadržaja razvijanog kroz kolaborativna ostvarenja za stjecanje kompetencija, isticali umješnost edukatora, [1-2]. Institucije diljem svijeta ponovno preispituju primarne odgovornosti nastavnika i ukazuju na rastuća očekivanja povezana s posljedicama društvenih promjena i evolucijskih modela u kojima su u sve većem postotku nastave angažirani edukatori koji nisu stalni zaposlenici sveučilišta i veleučilišta.

Visoko obrazovanje sve više uključuje aktivnosti koje kroz kolaborativno učenje promiču rješavanje problema angažmanom na aplikativnim projektima personaliziranim i kontekstualiziranim učenjem za obrazovanje utemeljeno na kompetencijama. Znanstvenici kao eksperti više nisu jedini autoritativni izvor informacija i od njih se ne može više očekivati da praktički pomognu studentima u savladavanju i stjecanju vještina. To moraju uraditi mentori operativni praktičari koji se uspješno služe novim tehnologijama. Kustosi koji su kao akademski obrazovani činovnici, čuvari nekih zbirki, u budućnosti postaju etički čuvari ali i voditelji iskustva u učenju koje potiče studente da bolje razvijaju istraživačke navike, formuliraju dublja pitanja i prepoznaju vrijednost znanja. Potvrđeno je da se tradicionalni modeli fakulteta nakon razdvajanja bolje specijaliziraju, i to odvajanjem nositelja kolegija od mentora. Poticaj da se radi na protu-intuitivan način izazov je za sve jer je na velikom broju sveučilišta pokazano kako razvoj kurikuluma zahtijeva oblikovanje procjena prije sadržaja, [3].

Dokazano je kako je gospodarski prosperitet u razvijenim i zemljama u razvoju ovisan o izgradnji sveučilišta. Kvalificirana radna snaga i njihov tradicionalni obrazovni sustav moraju se razvijati kako bi učinkovitije proizveli diplomante, kreativne i adekvatno pripremljene za rješavanje izazova iz stvarnog svijeta. Za takav učinak stručnjaci su zaključili da je na prestižnim obrazovnim institucijama sve veći broj nastavnika koji radi sa skraćenim radnim vremenom i koji misle više kao projektni menadžeri s iskustvom u tumačenju podataka, praćenju dinamike i upravljanju pitanjima o informacijskim i inteligentnim tehnologijama. Nove vještine tzv. *Enterprise* profesora (profesor iz industrije odnosno poduzetništva) generiraju se iz različitih disciplina koje osim inženjerstva, uključuju ekonomiju, umjetnost, filozofiju i drugo.

Projekt *Horizon 2017 – 2021* koji je uzet kao dobar primjer s naslova angažiranih suradnika jer se tijekom svake godine objelodanjuju ažurirani rezultati istraživanja stručnjaka za obrazovanje i tehnologiju. Njihov je zaključak, unatoč raznolikosti podrijetla i iskustva, da dijele konsenzus da će svaka od profiliranih tema imati značajan utjecaj na praksu visokog obrazovanja širom svijeta u sljedećih pet godina. Postupak odabira tema u izvješću temelji se na modificiranoj Delfi metodi koja je do sada već tijekom pripreme od prije 15 godina uključila više od 2000 međunarodno priznatih sudionika i stručnjaka. U samoj pripremi a tako i danas svake se godine trećina članova zamijeni novima kako bi se osiguravao protok novih perspektiva. U zadanom roku kada se panel za određeno izdanje konstituiraju, njihov rad započinje sustavnim pregledom literature - novinskih isječaka, izvješća, eseja i drugih materijala koji se odnose na tehnološki razvoj, trendove i izazove, trenutna istraživanja i još mnogo toga povezanog s edukacijom. Članovima je osiguran ekstenzivni skup pozadinskog materijala kada projekt započne, a zatim se od njih traži da ih komentiraju, identificiraju one koji se čine osobito vrijednima i dodaju prikupljenom materijalu. Nakon pregleda literature, stručni odbor sudjeluje u samom središtu procesa i kroz

istraživačka pitanja raspravlja o postojećim aplikacijama i manifestacijama trendova, izazova i tehnoloških napredaka dok istovremeno razmišlja o novima. Ključni uvjet za uključivanje teme u ovo izdanje je njena potencijalna važnost za učenje i kreativno istraživanje u visokom obrazovanju.

Uz Projekt *Horizon* još su dva izvora bila relevantna za pripremu istraživanja. Prvi, Studija pod naslovom *Éducation & société: les défis de l'an 2000*, Éditions *La Découverte et Journal Le Monde*, koju je objavio u Parizu 1988. godine Jacques Le-sourne, direktor *Le Mondea*. Izrađena za Francuskog ministra prosvjete koji je tražio da se pokuša uobličiti osnovna pitanja koja valja, srednjoročno i dugoročno, postavljati da bi se pripremila budućnost odgojno-obrazovnog sustava Francuske [4].

Drugi, studija u kojoj Wulf objelodanjuje fascinantne rezultate dvanaestogodišnjeg istraživanja o mimetičkim djelatnostima u socijalnom svijetu koji su povezani s ulogom obitelji, škole, vršnjačkih skupina i medija, a što su čimbenici stjecanja kompetencija. Okvir odabrane institucije bio je UNESCO-ov model škole u Berlinu i dopunsko istraživanje interesnih skupina uz proučavanje komunikacijskih utjecaja kroz masovne medije [5].

Kao zaključak pripreme za istraživanje svih izvora činjenica je kako je potrebno usuglasiti uz socijalni kontekst i pozitivan učinak inteligentnih edukacijskih tehnologija, koje moraju biti vođene zdravim razumom, i načelima kognitivne kibernetike. Takav način edukacije tehnike objedinjuje sve pozitivne učinke inteligentnih tehnologija ali i uzima u obzir i biološko stanje čovjeka, njegovo „sazrijevanje“ kroz određene faze života. Upravo u tome i leži najveći doprinos prepoznatim novim činjenicama za potrebama cjeloživotnog obrazovanja i usavršavanja, empatičnosti prema drugima i emocionalne sigurnosti. Na tim se osnovama može prepoznati nova faza života - zbiljnost koja postaje shvaćeni bitak, s tim da su prepoznate razine zbiljnosti opisane kao:

actus de se est illimitatus – (*lat.* = *zbiljnost je po sebi neograničena*), tim se izrazom potvrđuje da zbiljnost ne može istovremeno biti i mogućnost. Ograničavajući princip zbiljnosti na određeni način bivovanja jest bit (*esentia*) bića koje se biološki profilira empirijski.

actus essendi – (*lat.* = *čin bivovanja*), izraz kojim Toma Akvinski označava metafizičke osnove zbiljnosti bića, odnosno bitka shvaćenog kao zbiljnost. Prema tome biće jest snaga čina bitka i ograničenja vlastite biti koju čovjek može tek spoznati svojom samoaktualizacijom.

lat. actus et potentia realiter distinguuntur – (*zbiljnost i mogućnost se stvarno razlikuju*). To znači da je zbiljnost u prvotnom i vlastitom smislu, dok je mogućnost u ovisnosti o zbiljnosti. Za prepoznavanje te razlike potrebni su i empirija i

samoostvarenje.

lat. actus in se subsistens est simpliciter infinitus – (*subsistentna zbiljnost je po sebi neograničena*). Tom se konstatacijom želi kazati kako zbiljnost opstoji bez ikakve mogućnosti (ograničenja, nesavršenosti) i nužno je neograničena i prepoznaje se kao Apsolutno biće.

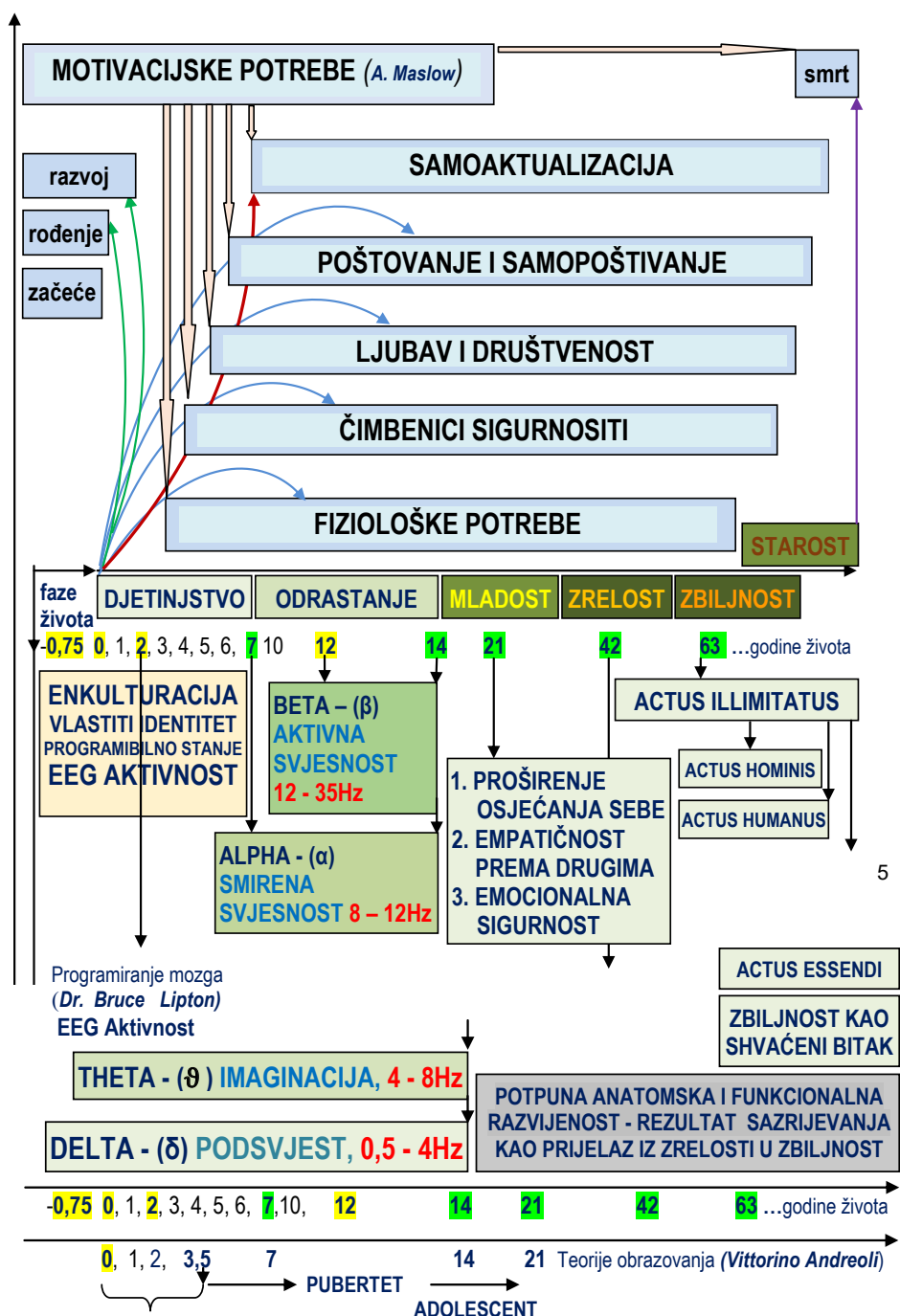
lat. actus non limitatur nisi per potentiam – (*zbiljnost nije ograničena osim po mogućnosti*). To znači da zbiljnost ne može samu sebe ograničiti, nego to čini mogućnost kao različit princip.

lat. actus hominis – (*čin čovjeka*), čovjekovo djelovanje izvršeno po zakonima ljudske naravi nije uvijek isključiva oznaka ljudskog djelovanja jer je moralno indiferentna.

lat. actus humanus – (*ljudski čin*), čovjekovo djelovanje izvršeno slobodnim samoodređenjem, uporabom slobodne volje pripada čovjeku, kao ljudskom biću, ukoliko proizlazi od razuma i slobodne volje tipično ljudskih sposobnosti, koje ga razlikuju od drugih bića. Kao slobodan čin podliježe moralnoj prosudbi i može biti moralno diferencirana.

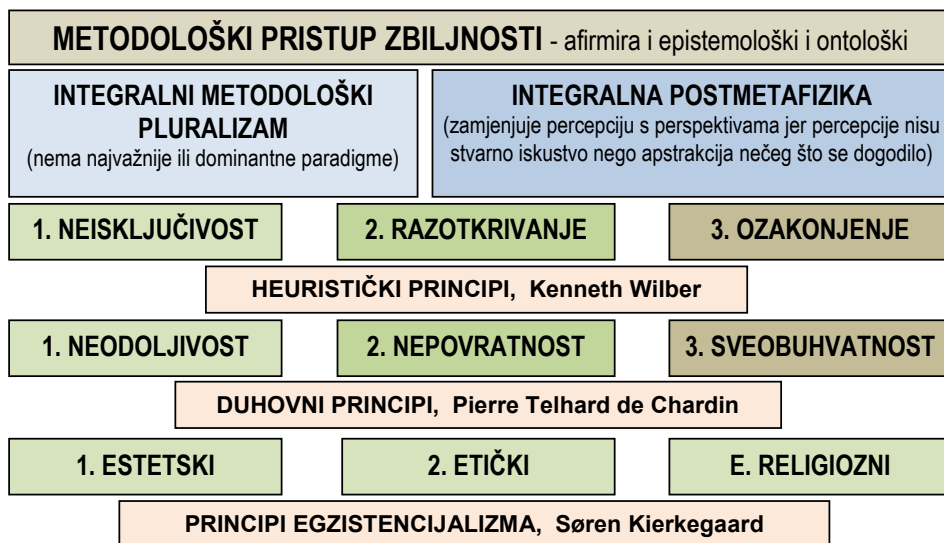
lat. actus purus – (*čisti čin*), čista zbiljnost, savršena egzistencija, bez ikakve pasivne potencijalnosti u skolastičkoj filozofiji je bitna oznaka za Apsolutno biće (*ipsum esse subsistens*) i obilježje je najviše ontološke savršenosti čiji se nauk temelji još na Aristotelovoj filozofiji.

Takva razrada kroz filozofski pristup dovodi do postavljene teorije potpune anatomske i funkcionalne razvijenosti čovjeka koja je rezultat „sazrijevanja“ i uz zrelost uvodi novu fazu života, obvezujuću kategoriju nazvanu „zbiljnost“, [6], koja se temelji na prepoznatoj samoaktualizaciji, (samoostvarenju) koje je empirijska cjeloživotna funkcija ali prepoznata u vremenskom ostvarenju, slika 1.



Sl. 1. Faze i godine života od rođenja i programiranja mozga

Kategoriju zbiljnosti koja se afirmira i epistemološki, (teorija spoznaje i nauke) i ontološki potvrđuje metodološki pristup koji uključuje Wilberove heurističke i Chardinove duhovne principe koji se u današnjem vremenu dominacije inteligentnih tehnologija mijenjaju, ali ostaju na čvrstim temeljima Kierkegaardovog egzistencijalizma, slika 2.



Sl. 2. Razrada metodološkog pristupa obrazloženja zbiljnosti

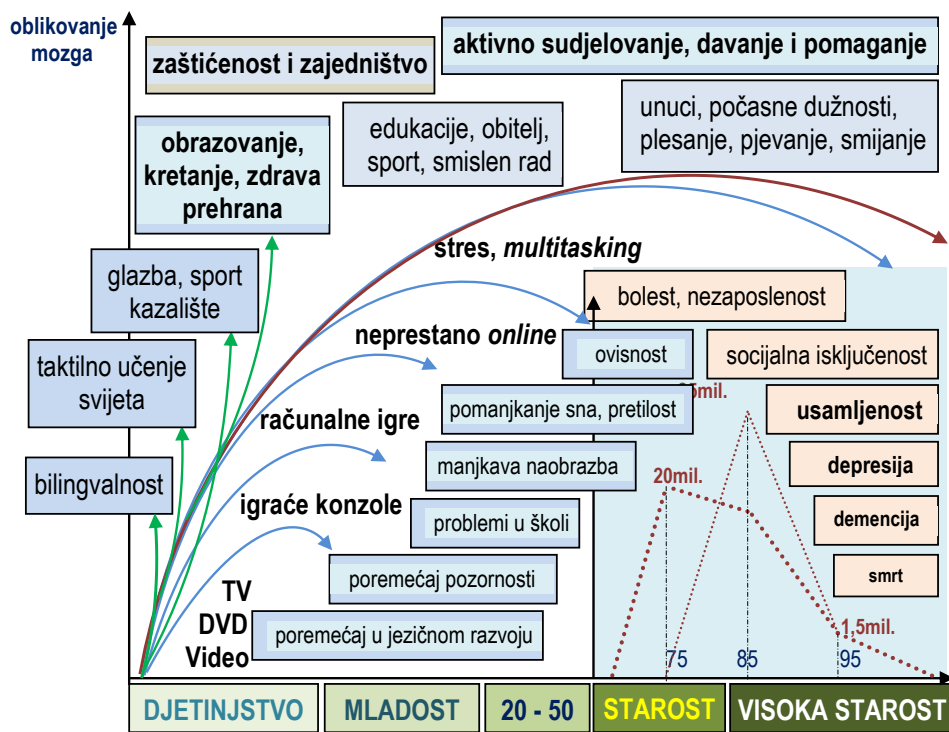
U kontekstu već današnjih a posebice budućih mogućnosti inteligentnih tehnologija stjecanje znanja će postati brže, njegova pohrana sve plića ali raspolaganje njime i njegova moć će se prepoznati tek u zrelosti. Prepoznavanjem stvarnih mogućnosti i učinka inteligentnih tehnologija, prve faze života od djetinjstva preko odrastanja do mladosti će se sve brže mijenjati i drugačije razvijati a vjerojatno i principi smisla edukacije koji su danas prepoznati i oslonjeni na:

1. Motivacijske potrebe Abrahama Maslowa, [7],
2. Enkulturu vlastitog identiteta kroz programiranje mozga, Brucea Liptona, [8] i
3. Teoriju obrazovanja Vittorina Andreolia, [9].

Kroz teorije zrelosti u biološkom i psihološkom smislu, koja se promatra kroz stupanj potpune ili relativne razvijenosti nekog procesa, sposobnosti ili funkcije, ona ima svoje aspekte, i to:

1. fizički,
2. seksualni,
3. intelektualni,
3. emocionalni,
4. moralni i
5. socijalni.

Današnji pojmovi „sazrijevanja“ i „zrele“ ličnosti nužno su pod utjecajem sociokulturnih čimbenika i vrijednosti. Ti su čimbenici u teorijskim i empirijskim razmatranjima o zrelosti naročito u psihološkom smislu dokazano potvrđeni i vezani za životnu dob, učenje i stjecanje znanja kroz sve godine života, kroz način na koji se osoba nosi s krizom te kako donosi važne odluke. Susan Peters je pokazala da se izvor psihološke zrelosti očituje kroz roditelje, a Freud je ustvrdio da puna životna zrelost nastupa s čovjekovim trajnim vezivanjem uz jednu profesiju kao i uz jednog životnog partnera. Upravo je to izravno povezano uz koncept odgovornosti te sposobnost odgađanja zadovoljstva. Naime, zrela osoba zna da se za svako istinsko dobro treba potruditi i biti strpljiv, a danas to postaje problem, jer snažni utjecaj privrženosti zaslonskom usmjerenju graniči fenomenima ovisnosti kao što su: 1. FONK – (engl. *fear of not knowing*) = strah da se nešto neće znati ako se nije uz tehnologije, 2. FOMO – (engl. *fear of missing out*) = strah da će se nešto propustiti ako se one ne koriste, 3. YOLO – (engl. *you only live once*) = uvjerenje kako se samo jednom živi, 4. OHEN – (engl./lat. *only hic et nunc*) = opsjednutost životom koji je samo sada i ovdje i sl. Sve to ukazuje na ...“integriranost s vanjskim svijetom i situaciju u kojoj je iskustvo ljudskih života zasjenjeno posredno iskustvom izvješćivanja, objavljivanja i dobivanja povratnih informacija o nama samima“ [10]. To potvrđuju teorije o oblikovanju mozga, tj. kako kroz godine života na određene dobne skupine utječu inteligentne tehnologije, [11-12], slika 3.



Sl. 3. Godine života i utjecaj inteligentnih tehnologija na mozak, (Spitzer, Demarin)

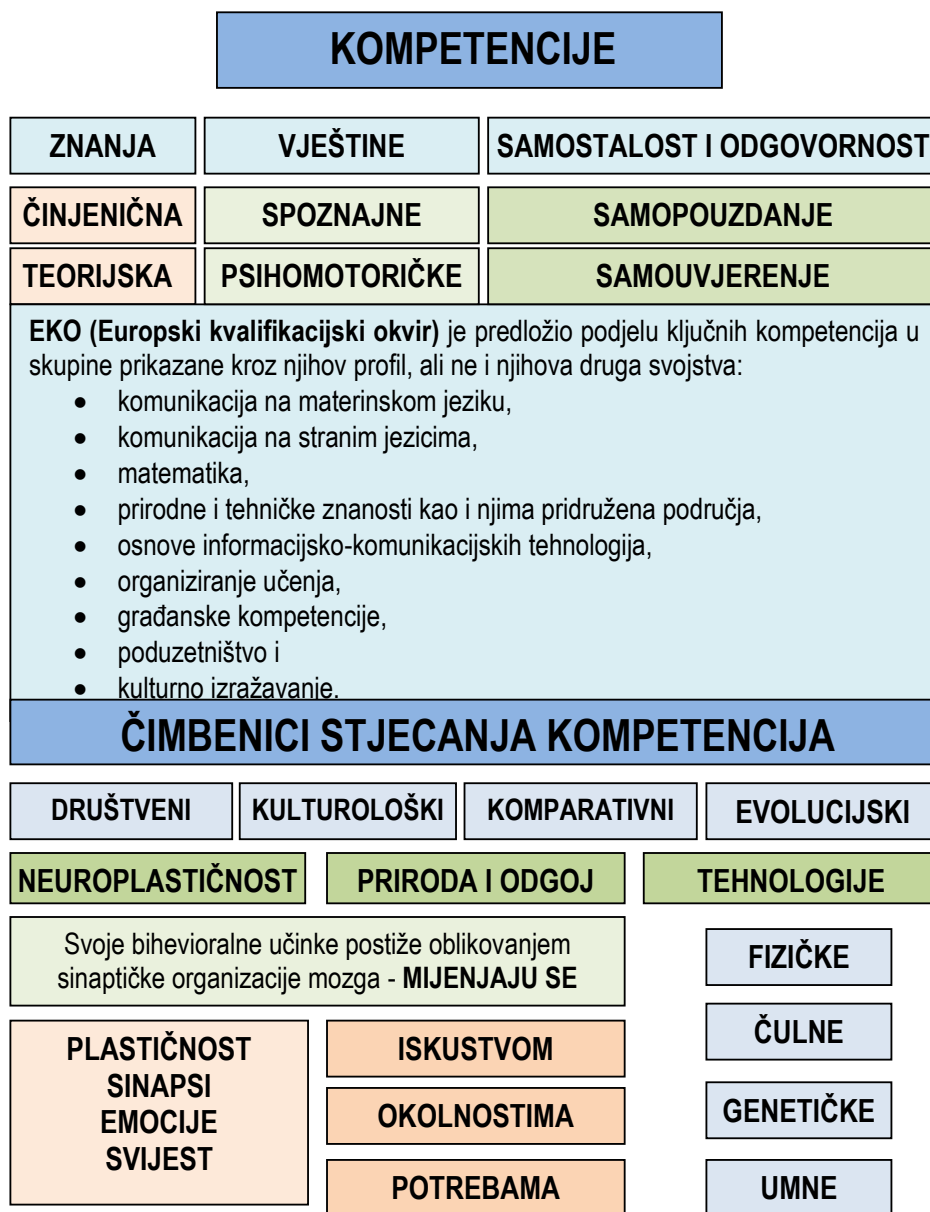
Snažni utjecaj privrženosti zaslonom usmjerenju koji osim što graniči fenomenima ovisnosti pod neposrednim je kaptološkim utjecajem koji dovodi do integrativnosti čovjeka i tehnologije koja neupitno utječe na reprogramiranje mozga koji zrcali evoluciju, [13-15], slika 4.

PARAMETRI INTEGRATIVNOSTI ČOVJEKA I TEHNOLOGIJE

Osjećaj jedinstvenog bića	Subjektivno stanje mozga	Promjena identiteta	Kompulzivno ponašanje kao osobina ovisnosti
• Subjektivnost našeg neposrednog iskustva • Objektivno neuroznanstveno objašnjenje • Potpuna funkcionalnost uma • Prethodna stajališta i iskustva za shvaćanje zbivanja u okruženju			
• Ontogeneza zrcali filogenezu – razvoj ljudskog mozga zrcali evoluciju • Prefrontalni korteks kod ljudi postaje potpuno zreo i funkcionalan tek u ranim dvadesetim • „Razmišljanje je kretanje ograničeno na mozak“ • Sve misli dijele zajednički niz uzroka i posljedica: početak, sredina i kraj, (bez obzira radi li se o nadi, sjećanju logičnom argumentu, poslovnom planu ili žaljenju) • Emocije su usredotočenost na nešto što se osjeća upravo sada i samo sada • Svjesna misao se širi dalje od neposrednosti trenutka • Obrada informacija je odgovarajuća reakcija na podražaj • Razumijevanje zahtjeva da se podražaj uključi u konceptualni okvir, (razvoj veza između moždanih stanica koje se formiraju nakon rođenja te ih cijelog života potiču, oblikuju i jačaju pojedina iskustva za stjecanje znanja, mudrosti i umnosti „DIJAGNOSTIČKO STATISTIČKI PRIRUČNIK MENTALNIH POREMEĆAJA (DSM-5), 2013. “Poremećaj korištenja interneta“			

Sl. 4. Parametri integrativnost čovjeka i inteligentnih tehnologija uz opaske iz Dijagnostičkog statističkog priručnika mentalnih poremećaja

Stoga u postupku pripreme za istraživanje koje je u osnovi prepoznavanje edukacije tehnike leži njezin učinak a to su čimbenici stjecanja kompetencija. U Hrvatskoj preuzet i preveden dio materijala iz tzv. Europskog referentnog okvira, (ERO) navodi kako kompetencije usvojene tijekom obveznog obrazovanja nisu, i ne bi trebale biti, vezane za određeni predmet već se one odnose na šire međupredmetne ciljeve i time predstavljaju poveznicu od poučavanja prema cjeloživotnom učenju za koje je izdvojeno i definirano sedam međupredmetnih tema: 1. Osobni i socijalni razvoj, 2. Učiti kako učiti, 3. Građanski odgoj i obrazovanje, 4. Zdravlje, 5. Poduzetništvo, 6. Uporaba informacijske i komunikacijske tehnologije i 7. Održivi razvoj. Prema dostupnim materijalima Europski kvalifikacijski okvir, (EKO) predlaže podjelu ključnih kompetencija prikazanih kroz njihov profil, nadopunjen čimbenicima stjecanja, slika 5.



Sl. 5. Kompetencije, prema EKO i čimbenici stjecanja kompetencija

Edukacija tehnike odabrana za razmatranje, provedbu analize i donošenje zaključaka prepoznata je u edukacijskim programima tzv. projekta škole za život i svodi se na, [16-17]:

1. Uporabu IKT-a (informacijske i komunikacijske tehnologije) u nastavi,
2. STEM edukacijski program i
3. Edukacijski program e-Škole.

IKT nisu samo sredstva u nastavi, najčešće dobivena IKT oprema, već i baze podataka i baze znanja koje se pune provedbom radionica i webinarima što utječe na podizanje kvalitete edukacijskog sustava kroz primijenjene tehnike. IKT kao uspostava centraliziranog, jedinstvenog i standardiziranog sustava za informatizaciju edukacije, poslovanja i praćenja svih procesa. Na razini web aplikacija pristupa je omogućen kroz internetske preglednike i nije potrebna instalacija aplikacije na računala. Pristup je moguć s bilo kojeg mjesta koje ima internetsku vezu (on-line). Korisnici ne moraju brinuti o tehničkim rješenjima jer im je osigurana tehnička i korisnička podrška a posebna značajka sustava je i mogućnost korištenja cijelog sustava ili samo pojedinih modula ovisno o potrebama.

STEM edukacija interdisciplinarni je način učenja četiri područja (prirodne znanosti, informatika, inženjerstvo i matematika) koji ima svoju mjerljivu i jasnu primjenu. Za razliku od školskog obrazovanja koje je podijeljeno na predmete, STEM edukacija obuhvaća rješavanje određenog problema koristeći znanje iz navedenih područja čime se potiče učenje koje obuhvaća činjenice, nego uporabljivo znanje. Stoga se iz STEM sadržaja može uporabiti samo jedan način rješavanja ako problem pripada skupini prirodnih znanosti (u akronimu S – „*Science*“), ili primjena znanja iz ostalih „slova akronima“: *Technology*, *Engineering*, *Mathematics*). U STEM obrazovanju ključni su edukatori, učitelji koji poznaju metodiku STEM-a, kako bi bili osposobljeni samostalno osmišljavati i za edukaciju prilagođavati STEM sadržaje. Za to je potreban sustavan, temeljit i dugogodišnji rad ali i jasna vizija.

e-Škole su sustavno i redovito korištenje najmodernije tehnologije u učenju i poučavanju, adekvatna infrastruktura i moderna računalna oprema kao i raspoložive brojne razvijene e-usluge za nastavne i poslovne procese te niz edukacija za razvoj digitalnih kompetencija kako edukatora tako i onih koje oni educiraju. Stupanj integracije digitalne tehnologije u život i rad škole vrednuje se konceptom *Digitalne zrelosti* koji se provodi početnim samovrednovanjem i vanjskim vrednovanjem. Program e-Škole cjelovita je informatizacija procesa poslovanja škola i nastavnih procesa u svrhu stvaranja digitalno zrelih škola za 21. stoljeće oslonjen na Europski okvir digitalnih kompetencija za obrazovatelje (DigCompEdu), znanstveno utemeljen okvir koji

je izradio i objavio Zajednički istraživački centar Europske komisije (Joint Research Centre), a opisuje što znači biti digitalno kompetentan obrazovatelj te pruža referentne smjernice za razvoj digitalnih kompetencija specifičnih za učitelje, nastavnike i druge vrste obrazovatelja u Europi. DigCompEdu namijenjen je obrazovateljima na svim razinama obrazovanja, od ranog i predškolskog odgoja i obrazovanja, do visokoškolskog obrazovanja i obrazovanja odraslih, uključujući osnovnoškolsko, srednjoškolsko i strukovno obrazovanje te obrazovanje učenika s teškoćama u razvoju, ali i neformalne oblike obrazovanja, [18].

1.1. Provedena istraživanja

Na osnovama izloženog i u namjeri primjene provedena su istraživanja, u Strojarskoj tehničkoj školi Fausta Vrančića u Zagrebu, (šk. god. 2019/2020.), [19] i na Elektrotehničkom odjelu, Tehničkog veleučilišta u Zagrebu, (ak. god. 2019/2020 i 2020/2021.), [20-21], tijekom:

- 1) nastave licem u lice, odnosno personaliziranom korespondencijom s učenicima za pet elektrotehničkih srednjoškolskih predmeta od drugog do četvrtog razreda,
- 2) nastave licem u lice za redovne i izvanredne studente kolegija Inteligentni sustavi veleučilišnog stručnog i specijalističkog diplomskog studija,
- 3) nastave nakon pojave pandemije koronavirusa, prijelazom na online za redovne i izvanredne studente kolegija Inteligentni sustavi veleučilišnog stručnog i specijalističkog diplomskog studija,
- 4) deset mentorstva diplomskih radova na veleučilišnom studiju, (ELO TVZ), i
- 4) edukacije cjeloživotnog usavršavanja licenciranih specijalista, tablica 1.

Tablica 1. Pregled istraživanja tijekom srednjoškolske i veleučilišne nastave i cjeloživotnog obrazovanja

Ustanova Institucija /Polaznici	ELO -TVZ ¹ redovni studenti kolegija IS ²	ELO -TVZ izvan- redni studenti kolegija IS	ELO -TVZ diplomanti kolegija IS	STŠ-FV ³ učenici II-IV razreda, pet el. teh. predmeta	AEROING ⁶ polaznici cjeloživotno usavršavanja
Broj polaznika	55(2020) 18(2021)	47(2020) 69(2021)	16 ⁴ , 5 ⁵	142	25
Satnica	30h predavanja i 30h vježbi	30h predavanja i 60h ⁵ vježbi	30h ⁴ /60h ⁵ konzultacija	8h predavanja i 12h vježbi tjedno	30h ^{4/5} predavanja i 30h ⁴ /60h ⁵ vježbi
Način provedbe	F2F ⁴	OnL ⁵	F2F/OnL	F2F	F2F/OnL
Način provjere	5-min test/ vježba	5-min test/ vježba	5-min konzultacije diplomskog rada	5-min test	5-min test
Ishod-Učinak %	100%	80%	100%/50%	100%	75%

¹ – Elektrotehnički odjel, Tehničko veleučilište u Zagrebu

² – IS = Kolegij Inteligentni sustavi

³ – Strojarska tehnička škola Fausta Vrančića u Zagrebu

⁴ – F2F = provedba licem u lice

⁵ – OnL = provedba Online

⁶ – AEROING d.o.o. Specijalizacija cjeloživotnog usavršavanja za ELO TVZ

Istraživanja su na veleučilištu provedena s jedne strane primjenom novih platformi, alata i metoda za stjecanje znanja vođenjem od strane edukatora, (*Leading/Learning*), [20-21], a s druge strane praćenjem njihovog samostalnog rada uporabom „*PROMETHEE*“ metodu, (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*), [22-23]. Svi su savladavali vještinu donošenja odluka sa skupa ponuđenih izbora s više kriterija programskom analizom više kriterijskog odlučivanja, (*Multi Criteria Decision Analysis - MCDA*), pronalazili su najbolja rješenja, odnosno donosili najbolje odluke iz ponude više alternativa. Odluke su vizualizirali pomoću alata *Visual PROMETHEE*, i to kreacijom grafičkog prikaza analize, (*Graphical Analysis for Interactive Aid - GALA*). Metode i alate koji su dostupni u ažuriranim besplatnim demo verzijama na Internetu studenti su samostalno pronašli, savladali korištenje i kroz vođeno učenje stjecali znanje i kompetencije i uspješno izradili svoje seminare i diplomske radove na osnovama navođenja i poticanja.

Srednjoškolci obuhvaćeni ispitivanjem, pomoću naputka nastavnika su iz pripremljenih podloga na aplikativnim IKT platformama *Logo Soft Comfort*, *Bascom* i *Arduino* kroz vježbe u praktikumu na STEM strategijama savladavali u nastavnim predmetima konkretnu problematiku razumijevanja logičkih sklopova. Upućivanjem na primjenu algoritama i alata totalne integrirane automatike, umjesto teorijskog učenja, na portalima nove generacije inženjerskih programa, kroz prilagođeno okruženje uz pomoć *Promethee* metode razvijali su, uređivali i pratili logike potrebne za upravljanje aplikacijama. Komercijalni instalirani ali i aplikativno razrađeni portali programske tehnologije u intuitivnom korisničkom sučelju omogućavaju navigaciju i brzo prepoznavanje željenih funkcija programiranja i uređivanja. Prema pripremljenim podlogama i vođenju učenja zadaci se svode na izradu i obradu baza podataka na osnovama mogućnosti inteligentnih sustava kognitivne kibernetike i to kroz razine kognitivne analize do kibernetičke sinteze. Kroz vođenje, edukator na osnovama ekspertnosti, raspoloživosti i angažiranosti poučava i upućuje na odabir uzorka. Cijeli se postupak oslanja i kroz njega se usvaja proces *Delfi metode* koja je u osnovi povezana na donošenje odluka i model je za kreaciju ekspertnog sustava. U tekstualno pretraživačkim procesima se koristi originalno razvijeni alat *PETAP* – akronim od: *Pomoćni Eminentni Tekst Aplikativne Paradigme*, [24]. U procesima uvida i primjene strategija koristi se originalno razvijeni model *MOKSA* - akronim od: *Model Opservacije Konvolucij*

sko Separacijskom Analizom, [25]. Rezultati kao Prikaz nalaza koriste se po Modelu strojnog učenja preko Ocjenjivača i Generatora opetovanja , slika 6.



Sl. 6. Kognitivna i kibernetička operabilnost za Leading/Learning model stjecanja znanja

2. Prijedlog strukture provedbe poučavanja na osnovama kognitivne kibernetike

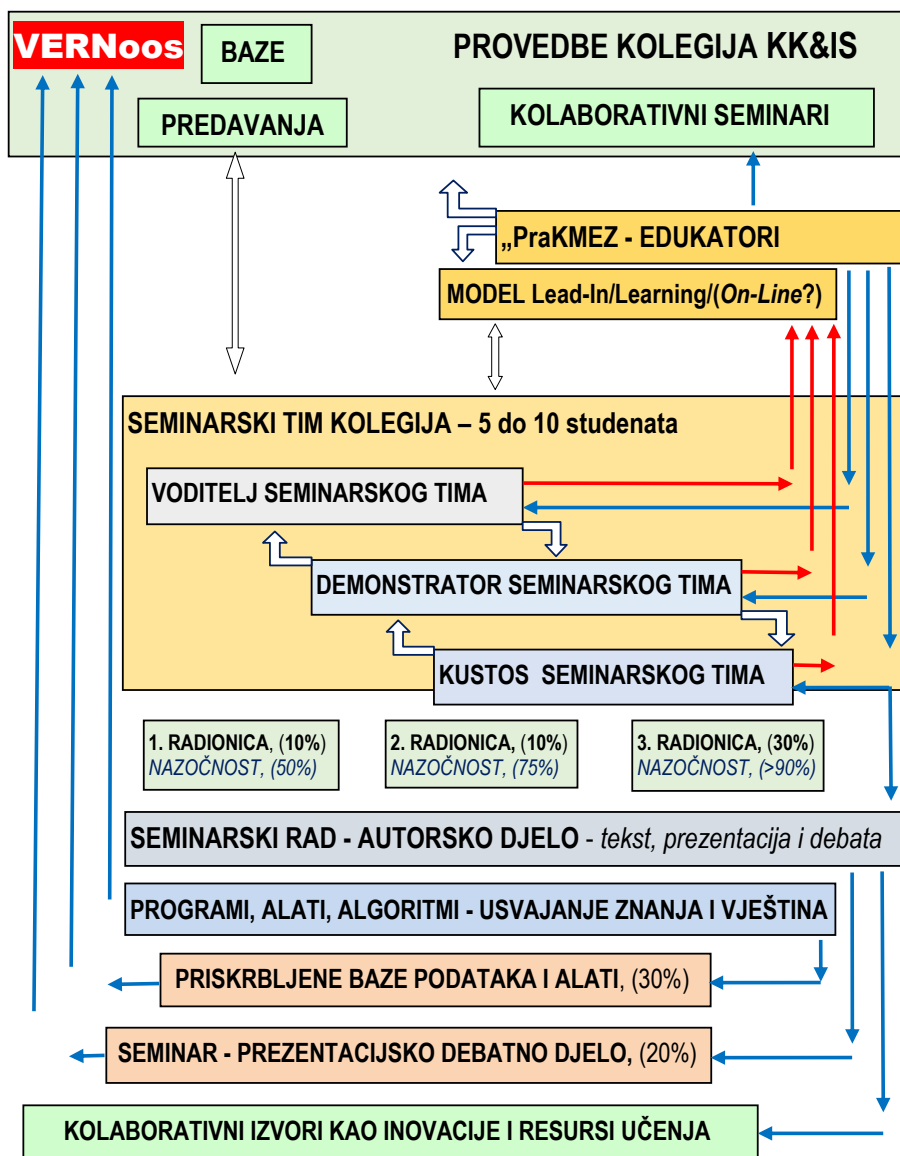
2.1. Kolaborativna provedba nastave

Na prethodno izloženom za Sveučilište VERN, za planirani početak izvođenja tri nova sveučilišna preddiplomska studija:

- 1) Cyber komunikacije i znanost o mreži,
- 2) Internet stvari i
- 3) Transmedijska dramaturgija,

načinjen je prijedlog kolaborativne provedbe nastave za transformirani kolegij Ugradbeni sustavi na Inteligentni sustavi i Kognitivna kibernetika, opširno razrađeno u [26], slika 7.

Kolaborativni je model izrade seminarskih radova studenata organiziranih u seminarske timove proširen uz voditelja s još dvije nove funkcije: 1. demonstratora i 2. kustosa seminarskog tima. Na taj je način seminarski rad finaliziran kao autorsko prezentacijsko i debatno djelo. On priskrbljuje u sveučilišne privatne, (ali komercijalno dostupne baze), programe, alate, metode i algoritme iz koji se kreiraju baze podataka i baze znanja za učenje i zaključivanje, a što je sve u funkciji stjecanja kompetencija. Za model provedbe Lead-In/Learning nastava koja može biti oči u oči ili On-Line, odgovoran je edukator profila PraKMEZ – *Praktičar, Kustos, Mentor, Ekspert i Znanstvenik*, [1 i 3].



Sl. 7. Blok prikaz pripreme kolaborativne provedbe novih studijskih programa Sveučilišta VERN

2. 2. Sudionici i uloge u poučavanju na osnovama kognitivne kibernetike

Kolaborativni način poučavanja kao inovacija producira znanje kao resurs i prepoznaje da stjecatelji znanja, koji teže stjecanju kompetencija, (učenici, studenti,...) posjeduju svoje tri dimenzije:

racionalnu – inteligentna sposobnost shvaćanja i rješavanja problema

emotivnu – sreća koja se ne ostvaruje proračunato

društvenu – sposobnost komuniciranja s drugima

Za razvoj znanja kroz poučavanje poučavatelji, (treneri, edukatori, učitelji,...), moraju posjedovati dimenzije: autoriteta, svetosti uloge, karizme, sudjelovanja kroz psihologiju situacije, užitka poučavanja, tehnika sporazumijevanja, i kompetentnosti, [27-29]. Kroz te dimenzije moguće je prenositi znanje prepoznate primjene, tzv. aplikativno znanje što podrazumijeva da je u procesu stjecanja znanja postignut kontinuitet koji je osnova za stjecanje kompetencija, [30]. Upravo zbog potrebe postizanja kontinuiteta pojavljuje se apsurd kada se u stjecanje znanja uključe inteligentne interaktivne tehnologije zbog učinka fragmentiranosti i prisile, [31]. Njihov je pak persuzivni učinak jedna strana medalje a druga strana medalje je kognitivni potencijal, mozak kao hardver i um kao softver, koji je kako je prethodno naznačeno podložan programiranju/reprogramiranju, [32-35].

Fragmentirani um, kako ističe Andreoli (2009) napreduje u djelićima, bez čvrstih veza, spojenih pukim asocijacijama po podudarnosti, čudesnim simboličkim spletoima, ali ujedno sasvim nasumičnih, a to treba izbjeći kako je potvrđeno u [9]. Kognitivna kibernetika to prepoznaje u svim računalnim simulacijama kreiranim inženjerskim modeliranjem primjenom računalnih alata. S jedne strane to je velika prednost budući se matematički modeli i simulacije učinkovito provede na računalu, ali s druge strane se postavlja pitanje kakav to učinak ima u stjecanju znanja. Ukratko u teoriji sustava, za dinamičke sustave osnova je princip kauzaliteta, odnosno uzročno-posljedične veze. Taj je dio teorijske osnove potrebno savladati kroz nastavno gradivo i povezati ga s Wienerovom teorijom sustav. Svaki sustav ili njegove komponente koji može biti bilo koja prepoznatljiva cjelina ili samo dio neke cjeline određen je u svakom trenutku vremena svojim izlaznim veličinama, ulaznim veličinama i oblikom njihovih promjena. Za matematičke metode inženjerskog modeliranja potrebno je:

1. Odabrati pretpostavke i aproksimacije koje će rezultirati što jednostavnijim, ali dovoljno točnim modelom s obzirom na svrhu modeliranja
2. Razlaganje sustava na elementarne komponente u skladu s polaznim pretpostavkama i aproksimacijama

3. Matematičko formuliranje fizikalnih zakona koji određuju uzročne posljedice veze između ulaza i izlaza definirati na osnovama:
4. determinizma, tj. da isti uzroci uvijek izazivaju iste posljedice i
5. kontinuuma, tj. da su zadržana infinitezimalna fizikalna svojstva.

Prilikom matematičkog modeliranja osim osnovnih pretpostavki, (koje se najčešće podrazumijevaju), u svakom se pojedinačnom slučaju uvodi i niz drugih pretpostavki i aproksimacija kojima se ostvaruje kompromis između točnosti i složenosti modela. Od matematičkog modela sustava očekuje se da u nekom obliku sadrži jednoznačnu i dovoljno točnu informaciju o funkcijama $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$, ..., $i_r(t)$ po kojima se izlazi mijenjaju od početnog stanja sustava pa nadalje ako se ulazi od početnog trenutka pa nadalje mijenjaju po proizvoljno zadanim funkcijama $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$, ..., $u_p(t)$. Stoga se može sažeti postupak modeliranja u koracima:

1. Definiranje svrhe modela
2. Intuitivna analiza zbivanja u sustavu
3. Razlaganje modeliranog sustava na elementarne komponente
4. Definiranje pretpostavki i aproksimacija
5. Izvođenje modela
6. Definiranje modela stacionarnog stanja sustava
7. Provjera modela

U koracima modeliranja prepoznaje se poveznica s Promethee meodama na vrlo jednostavan i slikovit, (vizualiziran) način. Definiranje konteksta, isto je što i definiranje svrhe modela, odnosno identificiranje dostupnih mogućnosti, što odgovara intuitivnoj analizi zbivanja u sustavu. Na isti se način povlači analogija učinka i primjena kognitivne kibernetike kao i pomoć računalnih simulacija i uporabe računalnih alata, metoda, modela sustava i procesa u stjecanju znanja, [6].

3. Novi edukacijski programi

3.1. Nacionalni kurikulum

Programi, neovisno o području i sadržaju koji pokrivaju u edukaciji, imaju svoje uporište u Nacionalnom kurikulumu, [36]. Nacionalni kurikulum Republike Hrvatske predstavlja sustav koji služi ujednačavanju i podizanju kvalitete odgojno-obrazovnoga procesa te ispunjavanju zajednički određenih odgojno-obrazovnih ciljeva, očekivanja i ishoda neovisno o odgojno-obrazovnoj ustanovi koju djeca i mlade osobe pohađaju.

Nacionalni kurikulum Republike Hrvatske čine tri sastavnice:

1) Sustav nacionalnih kurikulum dokumenata – kroz njega se, na nacionalnoj razini, iskazuju nastojanja povezana sa svrhom, ciljevima, očekivanjima, ishodima, iskustvima djece i mladih osoba, s organizacijom odgojno-obrazovnog procesa i s vrednovanjem

2) Primjena nacionalnih kurikulum dokumenata – u suštini, ono što je prikazano dokumentima se ostvaruje na nacionalnoj razini

3) Vrednovanje – unutar ove sastavnice vrši se evaluacija ciljeva, očekivanja, ishoda i procesa, čime se prati primjena i izvedba namjera iskazanih nacionalnim kurikulum dokumentima

Svaki od nacionalnih kurikulum dokumenata oblikovan je, i ima u fokusu središnjeg sudionika odgojno-obrazovnog procesa, djeteta i mladu osobu. Tako su kroz kurikulum dokumente, odmah od početka, jasno prikazana odgojno-obrazovna očekivanja i ishodi koja su postavljena pred njih. No, ne odnose se ta očekivanja i ishodi samo na njih, već i na roditelje, ali i na odgojno-obrazovne radnike. Svi kurikulum dokumenti imaju jasnu i konciznu strukturu, no to ne znači da nisu otvoreni prema promjenama. Baš naprotiv, ako potreba djece i mladih osoba to iziskuje, pristupa se prilagodbi sukladno potrebnim promjenama. Također, promjene spomenutih dokumenata mogu nastupiti i radi potreba ustanova kao odgovor na utjecaj novih znanstvenih i tehnoloških spoznaja u području odgojno-obrazovne prakse.

Okvir nacionalnog kurikulum (ONK) je krovni nacionalni kurikulum dokument, koji na općoj razini određuje elemente kurikulum sustava za sve razine i vrste do visokoškolskoga odgoja i obrazovanja. ONK čini osnovu po kojoj se izrađuju svi nacionalni kurikulum dokumenti za pojedine razine i vrste odgoja i obrazovanja, a njegove postavke također utječu i na izradu ostalih nacionalnih kurikulum dokumenata, kao i dokumenata izrađenih na ostalim razinama.

Nacionalni kurikulum za pojedine razine i vrste odgoja i obrazovanja određuju se svrha, vrijednosti, ciljevi i načela određenih dijelova sustava odgoja i obrazovanja i čine ga:

- Nacionalni kurikulum za rani i predškolski odgoj i obrazovanje
- Nacionalni kurikulum za osnovnoškolski odgoj i obrazovanje
- Nacionalni kurikulum za strukovno obrazovanje
- Nacionalni kurikulum za gimnazijsko obrazovanje
- Nacionalni kurikulum za umjetničko obrazovanje

Nacionalni dokumenti područja kurikulum koristimo se za određivanje svrha, ciljeva, struktura i odgojno-obrazovnih očekivanja povezanih s učenjem i poučavanjem u širim odgojno-obrazovnim područjima. Ovi dokumenti izravno utječu na izradu predmetnih i modularnih kurikuluma.

Nacionalni kurikulum međupredmetnih tema služimo se za potrebe determiniranja svrha, ciljeva, struktura, odgojno-obrazovnih očekivanja, učenja i poučavanja, ali i za vrednovanje određene međupredmetne teme.

Nacionalni kurikulum nastavnih predmeta određuju svrhu i ciljeve učenja i poučavanja nastavnoga predmeta, zatim strukture pojedinog predmeta u cijeloj odgojno-obrazovnoj vertikali, potom odgojno-obrazovne ishode, pripadajuće razrade i opise razina usvojenosti ishoda, kao i učenje i poučavanje te vrednovanje u pojedinom nastavnom predmetu.

Nacionalni sektorski/podsektorski kurikulum te kurikulum za stjecanje kvalifikacije u redovnome sustavu strukovnoga i umjetničkoga obrazovanja određuju se za pojedini sektor/podsektor, odnosno specifičnu kvalifikaciju. Njihov sadržaj determinira svrhe, ciljeve, organizaciju odgojno-obrazovnoga procesa, učenje i poučavanje te vrednovanje povezano sa strukovnim obrazovanjem u određenome sektoru/podsektoru.

Okvir za vrednovanje procesa i ishoda učenja u odgojno-obrazovnome sustavu Republike Hrvatske, Okvir za poticanje i prilagodbu iskustava učenja te vrednovanje postignuća djece i učenika s teškoćama i Okvir za poticanje iskustava učenja i vrednovanje postignuća darovite djece i učenika predstavljaju nacionalne kurikulum dokumente kojima se osiguravaju rješenja koja se sustavno ugrađuju u sve nacionalne kurikulum dokumente, a odnose se i na kurikulum dokumente izrađene na ostalim razinama.

Posebni nacionalni kurikulum određuje svrhu, ciljeve, očekivanja, ishode i organizaciju odgojno-obrazovnoga procesa i vrednovanje za pojedine posebne oblike odgoja i obrazovanja, [37]. Nacionalni kurikulum kao edukacijski program sadržan je i u međupredmetnim temama uz preporuku uporabe IKT (informacijske i komunikacijske tehnologije) u nastavi.

3.2. Međupredmetne teme - Sadržaji programa

Međupredmetne teme su teme općeljudskih vrijednosti i kompetencija za život u 21. stoljeću i kao takve su na poseban način svakodnevno prisutne u odgojno-obrazovnom radu cjelokupne obrazovne vertikale. Oblikuju se međusobnim povezivanjem odgojno-obrazovnih područja i nastavnih tema svih nastavnih predmeta. U Europskom referentnom okviru navodi se kako kompetencije usvojene tijekom obveznog obrazovanja nisu, i ne bi trebale biti, vezane za određeni predmet. Objašnjava se

kako se zapravo odnose na šire međupredmetne ciljeve i time predstavljaju poveznicu od poučavanja prema cjeloživotnom učenju. Izdvojeno je i definirano sedam međupredmetnih tema:

1. Osobni i socijalni razvoj
2. Učiti kako učiti
3. Građanski odgoj i obrazovanje
4. Zdravlje
5. Poduzetništvo
6. Uporaba informacijske i komunikacijske tehnologije
7. Održivi razvoj

3.3. Analiza, sinteza i prikaz rješavanja višekriterijskih problema u edukaciji

Kriteriji vrednovanja novih edukacijskih programa

Prema [38], odabrani edukacijski programi za analizu, kao edukacija i tehnika obuhvaćaju:

1. Uporabu IKT (informacijske i komunikacijske tehnologije) u nastavi, kao Nacionalni kurikulum i edukacijski program sadržan i u međupredmetnim temama,
2. STEM edukacijski program i
3. Edukacijski program e-Škole.

Kod analize kriterija za vrednovanje pojedinih programa prilikom procesa donošenja odluke vodi se sljedećim značajkama:

- upoznatost s trenutnom situacijom (razlozi, trenutno stanje stvari, koga obuhvaća i slično),
- poznavanjem mogućnosti i cilja,
- ispravno analizirati značaj pojedinog kriterija i odabrati najsvrsishodniji
- izračunom diferentnih vrijednosti (rezultat više odražava stav donositelja odluke nego li ispravnost kriterija)

Proučavanjem i analizom navedenih edukacijskih programa odabrani su kriteriji algoritmom PETAP, [24], sa svojim težinskim faktorima, tablica 2. i 3.

Proračun programa – predstavlja predviđen iznos potreban za uvođenje određenog edukacijskog programa izraženog u milijunima kuna (MKN)

Lokacijska mogućnost izvođenja programa – utvrđen je kao kvalitativni kriterij koji se iskazuje vrijednošću na skali od 1 do 5, s tim da broj 1 označava nedovoljno dobru mogućnost, broj 2 označava dovoljno dobru mogućnost, broj 3 označava dobru mogućnost, broj 4 vrlo dobru mogućnost, te konačno broj 5 izvrsnu mogućnost. Kako u Republici Hrvatskoj nisu u svim dijelovima države jednaki uvjeti za izvođenje nastave, opremljenost škola, mogućnost Internet konekcije u školi i izvan škole, ovim se kriterijem utvrđuje, sukladno zahtjevima programa, njegova ostvarivost na globalnoj razini države

Mogućnost iskorištavanja nepovratnih sredstava – kvalitativni financijski kriterij povezan s program koji odražava njegovu povezanost s iskorištenim nepovratnim sredstvima iz EU fondova. Kao i prethodni kriterij, izražen je skalom od 1 do 5 s istim opisima uz brojeve u danoj skali

Primjena na svim obrazovnim razinama – također kvalitativni kriterij. Povezan je s primjenjivosti programa na svim razinama obrazovanja počevši od rane dobi pa skroz do studija. Isto je iskazan skalom od 1 do 5 s ranije utvrđenim opisima uz pojedini broj na skali

Autentičnost programa – kriterij koji pokazuje preklapanje jednog programa s ostalim, postojećim programima. Izražava se u postotcima, s tim da se teži što manjem postotku koji ukazuje na originalnost navedenog programa odnosno njegovu autentičnost

Tablica 2. Kriteriji i njihove mjerne jedinice

Kriterij	Mjerna jedinica/Skala
Proračun programa	Milijuni kuna (MKN)
Lokacijska mogućnost izvođenja programa	Skala 1-5
Mogućnost iskorištavanja nepovratnih sredstava	Skala 1-5
Primjena na svim obrazovnim razinama	Skala 1-5
Autentičnost programa	Postotak (%)

Tablica 3. Kriteriji i dodijeljene težine

Kriterij	Težina kriterija
Proračun programa	25
Lokacijska mogućnost izvođenja programa	15
Mogućnost iskorištavanja nepovratnih sredstava	20
Primjena na svim obrazovnim razinama	25
Autentičnost programa	15

Obrađenim izabranim kriterijima dodjeljuju se težinske vrijednosti. Težinske vrijednosti predstavljaju stavove donositelja odluke, pri tome da je veća težina dana kriteriju koji ima izravni utjecaj na primjenu edukacijskog programa, dok je niža težina dana kriteriju koji ne utječe izravno na sam odabir edukacijskog programa, ali daje značajan doprinos procesu odabira najpovoljnijeg (po stavu donositelja odluke) od razmatranih.

Težinska vrijednost kriterija se promatra kao postotak i ne ovisi o mjernoj jedinici ili skali. Viša težinska vrijednost kriterija predstavlja ujedno i veću vrijednost samog kriterija. Za dodijeljene težinske vrijednosti moraju se odrediti i značajka maksimiziranja ili minimiziranja radi ispravnosti i točnosti podataka i analize. One značajke koje negativno utječu na proces donošenja odluke se minimiziraju i težnja je da one budu što niže, kao što je to proračun programa. Isto tako, pozitivne značajke se maksimiziraju s težnjom za što većom vrijednošću. Primjer je mogućnost iskorištavanja nepovratnih sredstava. S tim se zapravo pokazuje o kakvom je parametru riječ (preferencija ili indiferencija).

Prikaz rješavanja višekriterijskog problema

Unos kriterija i njihovih vrijednosti u programski paket Visual PROMETHEE, prati se na početnom zaslonu programske podrške, slika 8. Unesene vrijednosti su presjeci kriterija i alternativa, koji se temelje na podacima dobivenim proučavanjem navedenih edukacijskih programa.

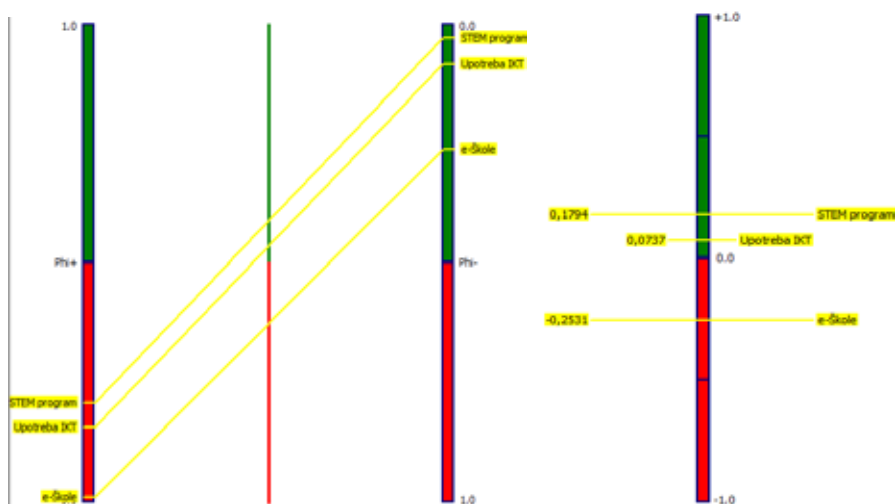
	☒	☒	☒	☒	☒
Edukacijski progra...	Proračun	Lokacija m...	Mogućnost is...	Primjena na ...	Autentičnost...
Unit	MIN	Opisna ocjena	Opisna ocjena	Opisna ocjena	%
Cluster/Group					
Preferences					
Min/Max	min	max	max	max	min
Weight	25,00	15,00	20,00	25,00	15,00
Preference Fm.	V-shape	Level	Level	Level	V-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	percentage
- Q: Indifference	n/a	1,00	1,00	1,00	n/a
- P: Preference	50,00 kN	2,00	2,00	2,00	2
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics					
Minimum	157,00 kN	3,00	4,00	3,00	10,00
Maximum	307,00 kN	4,00	5,00	4,00	20,00
Average	224,67 kN	3,33	4,33	3,67	15,00
Standard Dev.	59,76 kN	0,47	0,47	0,47	4,08
Evaluations					
☒ Upotreba ICT		200,00 kN	Vrlo dobro	Vrlo dobra	Vrlo dobra
☒ STEM program		157,00 kN	Dobro	Izvrsna	Vrlo dobra
☒ e-Skole		307,00 kN	Dobro	Vrlo dobra	Dobra

Sl. 8. Visual PROMETHEE, početni zaslon

Odabirom potpunog ili parcijalnog rangiranja, (engl. *PROMETHEE Rankings*), dobivaju se dvije vrste grafičkih prikaza, PROMETHEE I i PROMETHEE II, metode koje prezentiraju realne i relevantne informacije, a temelje se na:

- ukupnom toku Φ i
- usporedbi pozitivnog (Φ^+) i negativnog (Φ^-) toka.

Usporedbom tokova, kod PROMETHEE I, kod zahtjevnih slučajeva su naglašene alternative koje su teške za usporediti pa je to odmah uočljivo, slika 9.

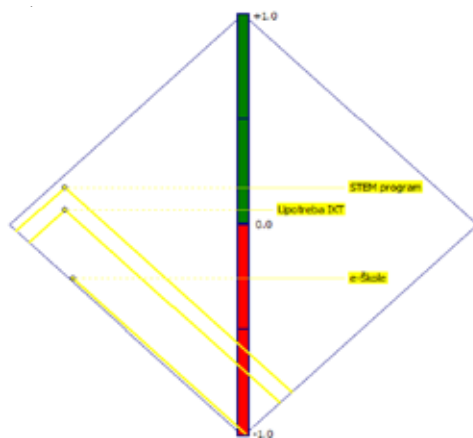


Sl. 9. Visual PROMETHEE, prikaz rangiranja

Sl. 9. Visual PROMETHEE, prikaz rangiranja

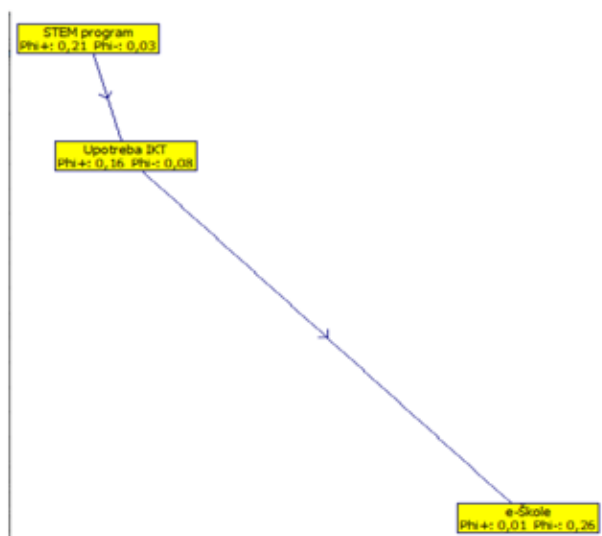
Pregledom grafova vidljivo je kako najveću težinu ima STEM edukacijski program, dok edukacijski program e-Škole ima najmanju, te je samim time na začelju rangiranja. Iz navedenog i prikazanoga može se zaključiti kako bi edukacijski program STEM bio najprihvatljiviji budući da po zadanim kriterijima iskazuje najbolje rezultate.

Uvidom u alternativni dvodimenzionalni prikaz dobivenih rezultata, (tzv. dijamantni prikaz), sve su alternative prikazane točkama u ravnini pozitivnog i negativnog toka, a ukupni tok je prikazan „visinom“ alternative (sjecištem vertikalne), Slika 10.



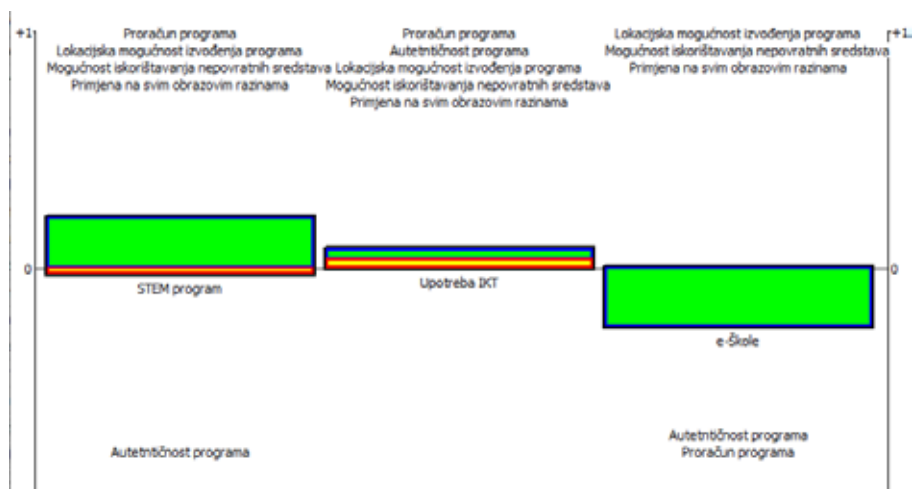
Sl. 10. Visual PROMETHEE, „dijamantni prikaz“

Kao što je to bio slučaj rangiranja i „dijamantni prikaz“ potvrđuje edukacijski program STEM kao najbolju alternativu, budući da ne postoje preklapanja alternativa sva tri edukacijska programa su usporediva. Ako se alternative brojčano prikažu, pomoću vrijednosti ulaznog i izlaznog toka, dobiva se tzv. mrežni graf, pregled koji se sastoji od strelica i čvorova, slika 11.



Sl. 11. Visual PROMETHEE, mrežni graf

Vizualni uvid u rezultate potpunog rangiranja kroz slojevite i zasebno prikazane doprinose odabranih kriterija moguć je tzv. duginim grafom koji koristi vizualni prikaz parametara ukupnog toka s prezentacijom pozitivne i negativne strane svake alternative, slika 12.



Sl. 12. Visual PROMETHEE, dugini graf

Slika 12. kroz dvije boje prikazuje pozitivne i negativne komponente promatranih edukacijskih programa (gornji dio grafa obuhvaća pozitivne dok donji dio negativne karakteristike alternativa). Komponente označene zelenom bojom odnose se na kriterije koji su vezani za financijski aspekt edukacijskih programa, a žutom bojom su označeni oni kriteriji koji su povezani s edukacijskim aspektom programa. Nastavno na to, uvidom u grafikon, može se vidjeti kako je STEM edukacijski program onaj koji ima najviše pozitivnih karakteristika, dok je edukacijski program e-Škole ocijenjen kao program s najviše negativnih karakteristika. Isto tako, iz grafikona se može uvidjeti kako je s edukacijske strane gledano program Upotreba IKT onaj s najviše pozitivnih karakteristika, no kako se u razmatranje mora uzeti aspekt financija, to čini STEM program najbolje ocijenjenim.

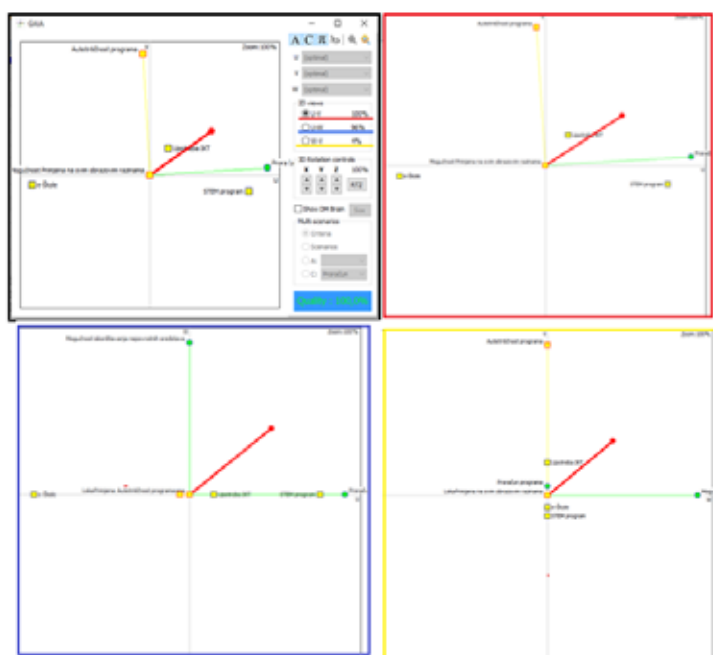
Tablični prikaz rezultata s pozitivnim, negativnim i ukupnim toka, najjednostavnija je usporedba koja daje samo poredak ali ne i prikaz kriterija i alternativa, slika 13.

 PROMETHEE Flow Table — □ ×

Rank	Edukacijski program		Phi	Phi+	Phi-
1	STEM program		0,1794	0,2075	0,0281
2	Upotreba IKT		0,0737	0,1563	0,0825
3	e-Škole		-0,2531	0,0094	0,2625

Sl. 13. Visual PROMETHEE, tablični prikaz

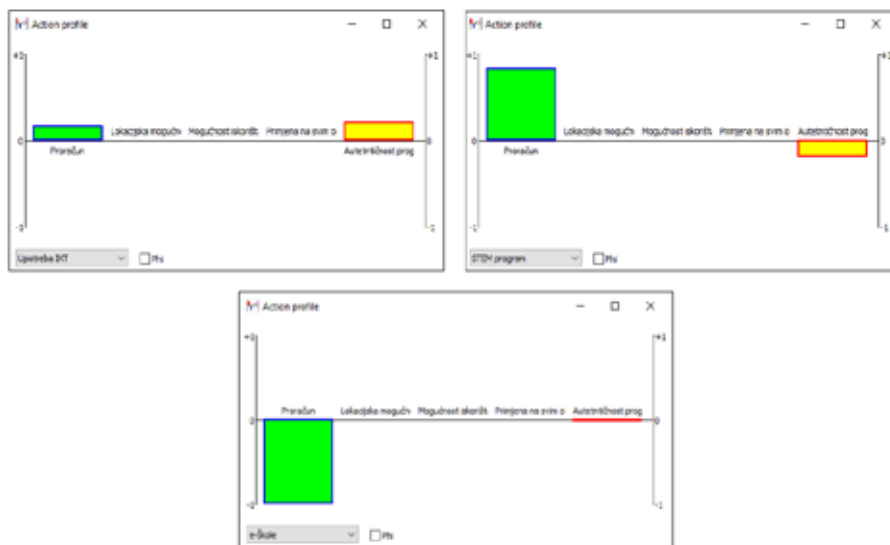
Prikaz rezultat preko koordinatnog sustava u tri perspektive, (tzv. „GAIA“ prikaz, engl. *Graphical Analysis for Interactive Aid*) ima za svrhu donositelju odluka ukazati na sličnosti (razlike) alternativa, međusobne konflikte (podudarnosti) kriterija te njihov utjecaj na rangiranje. Shodno tome, alternative su prikazane kao žuti kvadratići, kriteriji su prikazani osima (zelene osi su kriteriji povezani s financijskim aspektom programa, a žute osi su kriteriji povezani s edukacijskim aspektom programa), a težina kriterija je prikazana (crveno) tzv. osi odluke (engl. *Decision Axis*), slika 14.



Sl. 14. Visual PROMETHEE, GAIA graf, tri perspektive

Što je manja udaljenost između određenih alternativa, to je njihova sličnost veća. Dalje, smjer osi kriterija ukazuje na njihove sličnosti i razlike. Kriteriji istog usmjerenja (i iste boje) se međusobno podupiru, dok različiti smjer označava konflikt, odnosno karakteristiku po kojoj financijski ili edukacijski aspekt nije od glavnog interesa. Također, duljina samih osi kriterija nije značajna već je značajnija lokacija alternative u odnosu na sam smjer kriterijske osi. Tako npr. za donositelja odluke edukacijski program „Uporaba IKT“ imao bi najveću težinu ako bi se smatralo kako je Autentičnost programa najznačajniji kriterij.

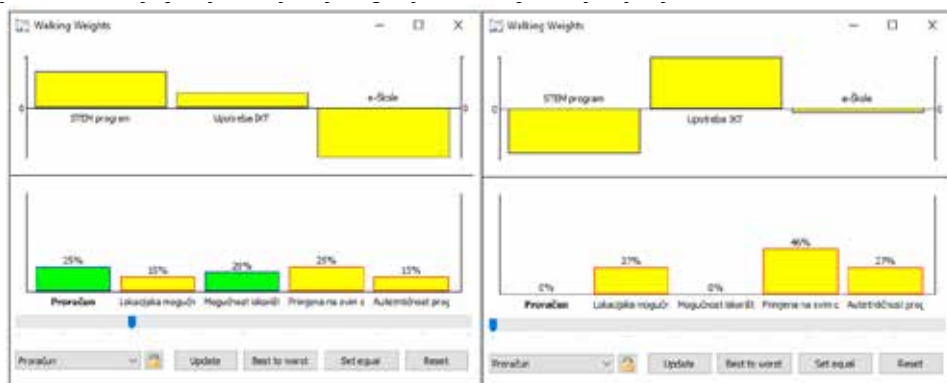
Multikriterijski kategorizirani prikaz snaga i slabosti alternativa, (tzv. graf profila alternativa) omogućava uvid u snage alternativa, (gornji dio grafa) i slabosti, (donji dio), slika 15. Pregledom alternativa može se vidjeti kako je edukacijski program e-škole onaj s najviše slabosti, pa bi se iz toga dalo zaključiti kako bi se donositelj odluka morao odlučiti za uklanjanje slabosti da bi se bazirao na taj edukacijski program, odnosno morao pristupiti njegovom unapređivanju.



Sl. 15. Visual PROMETHEE, profili alternativa

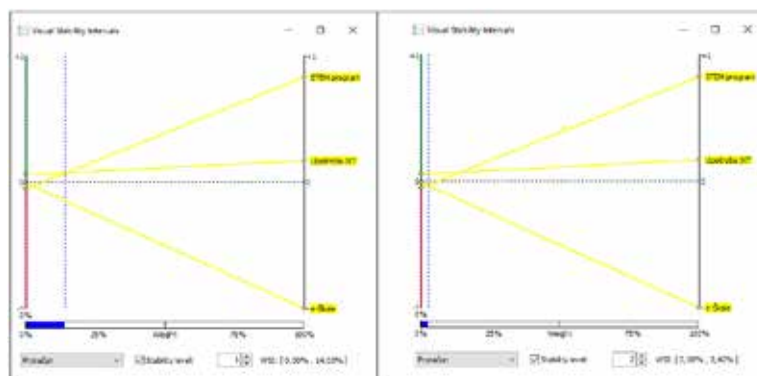
Interaktivni uvid u raspodjelu težinskih kriterija i rezultat njihovog utjecaja na alternative, (engl. *walking weights*), omogućuje prikaz pojedinih fiksiranih kriterija uz promijene drugih tako da se može promatrati trenutni utjecaj na alternative, slika 18. Prilikom određivanja/promjene težinskih kriterija može se provjeravati njihov utjecaj. Npr. ako se težinski kriteriji koji nisu povezani s edukacijskim aspektom programa

smanje, (prema nuli) za posljedicu se trenutno prikazuje povećanje preostalih težinskih kriterija, kao i promjena odnosa pozitivnih i negativnih komponenti alternativa. Na slici 16. je lijevo prikazano stanje prije, a desno stanje poslije smanjivanja, a gornji dio slike prikazuje utjecaj na rezultat.



Sl. 16. Visual PROMETHEE, uz promjene težinskih kriterija

Detaljan prikaz utjecaja promjene težine pojedinačnog kriterija na alternative dobiva se pomoću grafa intervala stabilnosti, (engl. *visual stability intervals*), slika 17. Može se uočiti kako edukacijski program e-Škole prednjači u odnosu na STEM program samo ako kriterij Proračun, ne igra veliku ulogu, odnosno ako je u biti zanemariv. Također, ista stvar se odnosi i na program Uporaba IKT ukoliko je težina kriterija proračuna manja od 14%. U ostalim slučajevima, kako se težina kriterija (proračun) povećava, edukacijski program STEM postaje sve značajniji, [39-42].



Sl. 17. Visual PROMETHEE, intervali stabilnosti

3.4. Kompleksnost problematike edukacije tehnike

Savladavanje i primjena Promethee metoda u višekriterijskim odlučivanjima posebice s razradom uz pomoć aplikacije “Decision Lab”, način je učenja i poučavanja kao edukacija tehnike na osnovama umjetne inteligencije, [43-45]. Brojni su primjeri, koliko je edukacija tehnike za stjecanje kompetencija, naročito došla u centar pozornosti kada se potvrdila nužnost primijene metoda online života u trenutnim pandemijskim okovima, [46-45]. Također se otvorilo pitanje budućnosti uz cyberpsihologiju, [47] i persuzivne tehnologije.

Paradigma COVID-19, pokazala je kako je umjetna inteligencija već danas a posebice će doći do izražaja u bliskoj budućnosti, nezamjenjiva komponenta u svim sferama života, učenja, stjecanja i primjene znanja. Provedena istraživanja, priprema i razrada nužno su nametnula potrebu za filozofskim pristupom kako bi se dosadašnje teorije potpune anatomske i funkcionalne razvijenosti čovjekova „sazrijevanja“ odnosno zrelosti kao faze života, proširile na obvezujuću kategoriju nazvanu „zbiljnost“ koja postaje shvaćeni bitak koji je nužan za kompetencije.

Postizanjem brzine informiranja, maksimalne prezentacije djelotvornosti i učinka znanosti u borbi kao i integriranosti paradigme COVID-19 u egzistencijalnu ovisnost, nove su informacijske tehnologije, postale vladavina za koju sve više do izražaja dolazi potreba ukazivanja na disruptivnu komponentu. U svim sferama života predominantna obuzetost koronavirusom blokirala je sposobnost promišljanja, raspolaganja znanjem i intelektualnim kognitivnim resursima. Razlog tomu je što se iz ponude Big Data kroz recikliranje, informacija prihvaća kao relevantna teorija „rekla kazala“ koja zasjenjuje znanost pa se zbog brzine sve uzima „zdravo za gotovo“. Istraživanje povezano s pobjedom nad virusima i donedavne životne vrijednosti u žarište interesa ne postavljaju više apokaliptičnost civilizacijskog smisla egzistencije i strah već lažni osjećaj sebstva kroz pitanje koje postavlja Torre u [48]: “Ima li života prije smrti? - iskustva prvog lica”. Sve je to poveznica na edukaciju i tehniku koje su osim učenja i stjecanja znanja važne za stjecanje kompetencija.

Kao što Huizinga, podsjeća na podrijetlo kulture iz igre, [49], a Paić, kroz svoje tri studje o Kierkegaardu ukazuje na sfere egzistencije, politiku identiteta i kultura kao novu ideologiju, [50- 51], Glasser upućuje na svoju “Teoriju izbora kao novu psihologiju osobne slobode”, [52]. U nadolazećim novim generacijama inteligentnih tehnologija bit će sve teže iz ponude Big Data prepoznati ‘Razumijevanje medija’ kao čovjekovih produžetaka, [53], jer će oni u ponudi „Teorije svega kao integralne vizije za biznis, politiku, znanost i duhovnost “, [54-55] zasjeniti kognitivnu kibernetiku u nadolazećem globalitarizmu, [56-58]. A sve su to komponente čimbenika stjecanja kompetencija.

Zaključak

U radu su prezentirani rezultati konkretnih primjera savladavanja određenog novog nastavnog gradiva i stjecanja znanja uz pomoć Promethee metode, (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*). Primjenom platformi i alata totalne integrirane automatike, umjesto teorijskog učenja na interaktivnim portalima nove generacije inženjerskih programa, navođenjem od strane edukatora postizani su odlični rezultati u učenju koje je kompatibilno sa STEM, IKT i e-Školskim programima. To se potvrdilo na konkretnom primjeru nastave u Strojarskoj tehničkoj školi Fausta Vrančića u Zagrebu. Alati kognitivne kibernetike, a to znači postupci vođeni zdravim razumom i pojednostavljenom vizualizacijom pomažu postizanju visoke učinkovitosti i univerzalne primjenjivosti ali i otvaraju smjerove daljnjih istraživanja povezanih s višekriterijskim odlučivanjem, a što su potvrdili studenti Tehničkog veleučilišta u Zagrebu.

Konceptom velikih podataka, (*Big Data*), njihovom obradom, pohranom i razmjenom poboljšava se sve više procesa u kojima čovjek i inteligentne tehnologije „suraduju“. Kognitivna kibernetika, nova znanstvena disciplina pokazuje tu suradnju kroz kibernetičko djelovanje razlikujući interakciju od integracije. Rezultati provedenih istraživanja o primjeni novih alata i metoda za novo, vođeno učenje za stjecanje znanja, (*Leading/Learning*) kao što je uporabljena *PROMETHEE* metoda, potvrđuju učinkovitost dobivenih vizualiziranih rezultata. Konkretno u obradi skupova ponuđenih izbora provedeno višekriterijsko odlučivanje analizom MCDA, (*Multi Criteria Decision Analysis*), pronalazi i prikazuje najbolje rješenje pomoću alata Visual PROMETHEE, tzv. GAIA, (*Graphical Analysis for Interactive Aid*). Metode i alati dostupni u ažuriranim demo verzijama potvrđuju se kao odlično sredstvo za učenje kako licem u lice, tako i na daljinu ali uz nužnu personaliziranu korespondenciju nastavnika i studenta.

Na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu studenti su u osam kolaborativnih seminarskih timova savladali bez prethodnog znanja primjenu Promethee metode za obradu aktualnih tema navođeni i poticani od strane nastavnika na timski angažman. Oni su kroz angažman svako u svojem timu odabrali voditelja koji je kao koordinator i animator organizirao rad kroz debate. Taj je primjer poslužio za razradu nastavnih sadržaja i za nove sveučilišne studentske programe VERN-a. Kolaborativni je model izrade seminarskih radova studenata organiziranih u seminarske timove oplemenjen uz voditelja s još dvije nove funkcije: 1. demonstratora i 2. kustosa seminarskog tima. Na taj je način seminarski rad finaliziran kao autorsko djelo, (tekst, prezentacija i debata). On priskrbljuje u sveučilišne privatne, ali komercijalno dostupne baze, programe, alate, metode i algoritme koji se koriste za usvajanje znanja i vještina, a što je sve u funkciji stjecanja kompetencija.

Literatura

- [1] Z. Balaž, & M. M. Ninčević, *Kognitivna kibernetika – Računska racionalnost misaonih sustava*, GK, Zagreb, 2019.
- [2] S. Vrcelj, M. Mušanović: *Suvremenost teorije obrazovanja Ivana Illicha*, Pregledni rad, UDK 37:316.3(05), Vol. 4, No. 8, pp: 681 – 694, 2013.
- [3] Z. Balaž, M. M. Ninčević, Z. Groznica, *Filozofija kognitivne kibernetike za edukacije budućnosti*, HRO CIGRE, 9. simpozij, Povijest i filozofija tehnike / Z. Benčić, Zagreb, 2020.
- [4] Z. Balaž, M. M. Ninčević, *Kognitivna kibernetika za novu povijest i filozofiju tehnike*, 8. Simpozij PiFT, Urednik Zvonko Benčić, Zagreb, 2019.
- [5] W. Christoph, *Antropologija u globaliziranom svijetu*, Matica hrvatska, Zagreb, 2019. Z. Balaž: Integration of Cognitive Cybernetics into Intelligent Human Systems?, 1st International Conference on Intelligent Human System Integration, Dubai, January 2018.
- [6] Z. Balaž, *Inteligentni sustavi, modeli, metode, alati i algoritmi kognitivne kibernetike*, Predavanja kolegija Inteligentni sustavi ELO TVZ, Zagreb, akademska godina 2021/2021.
- [7] A. H. Maslow, *A Theory of human motivation*, *Psychological Review*, 50(4), 370–396, 1943.
- [8] B. H. Lipton, *Biologija vjerovanja – Znanstveni dokazi o nadmoći uma nad materijom*, Zagreb, Tisak Denona, 2007.
- [9] V. Andreoli, *Pismo učitelju*, Zagreb, Školska knjiga, 2009.
- [10] S. Greenfield, *Promjene uma, Kako digitalne tehnologije utječu na naš mozak*, Školska knjiga, Zagreb, 2018.
- [11] M. Spitzer, *Digitalna demencija – Kako mi i naša djeca silazimo s uma*, Nakladnik Ljevak d.o.o., Zagreb, listopad 2018.
- [12] V. Demarin, *Zdrav mozak danas za sutra*, Medicinska naklada, Zagreb, 2017.
- [13] Z. Balaž, B.-I. Balaž, *Human Computer Interaction, Cognitive Cybernetic & Captological Education*, on-line edition, Progress in Human Computer Interaction, Whioce Publishing Pte. Ltd., Singapore, 2018.
- [14] Z. Balaž, *Cognitive Cybernetics vs. Captology*, istraživačka studija ELO TVZ, Zagreb, HS Offenburg, 2017. – 2019.
- [15] Z. Balaž, *Kapitološka integracija čovjeka i inteligentnih tehnologija*, Uvodno predavanje za 41. Međunarodno savjetovanje PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE u okviru Europskog zelenog plana, Elektrotehničko društvo Zagreb, EDZ P&P 2020, Zagreb, 5.-6. studenog 2020.
- [16] Hrvatska akademska istraživačka mreža, e-Škole: Uspostava sustava razvoja digitalno zrelih škola (pilot-projekt); “Priručnik – Strateško planiranje i upravljanje školom”, Zagreb, 2018.
- [17] Hrvatska akademska istraživačka mreža: e-Škole: razvoj sustava digitalno zrelih škola (II. faza), Zagreb, 2019.
- [18] Hrvatska akademska istraživačka mreža: Europski okvir digitalnih kompetencija za obrazovatelje: DigCompEdu, Zagreb, 2017.
- [19] Z. Balaž, *Razrada i prilagodba Operativnog plana i programa rada 2019*, Strojarska tehnička škola Fausta Vrančića u Zagrebu za nastavne predmete: PLC-ovi i mikroupravljači, Mikro i nano mehatronika, Industrijska automatizacija, Električne instalacije i Mikroupravljači, rujan – listopad 2019.

- [20] Z. Balaž: *Inteligentni sustavi u praksi, ONLINE vježbe*, Rukopis udžbenika za ELO TVZ, Zagreb, predan na recenziju travanj 2020.
- [21] Z. Balaž: *Inteligentni sustavi u praksi, Kognitivna kibernetika za online učenje*, Rukopis udžbenika za ELO TVZ, Zagreb, predan na recenziju lipanj 2020.
- [22] J. P. Brans, et al, *Multiple criteria decision analysis*, State of the Art Surveys: PROMETHEE methods, chapter V, Springer Science + Business Media, New York, 2005.
- [23] I. Majdandžić: *PROMETHEE metoda u obradi inteligentnih sustava od pametnog do kognitivnog grada*, Diplomski rad, ELO TVZ, Zagreb, 2020.
- [24] Z. Balaž, K. Meštrović, *Inteligentni i ekspertni sustavi u elektroenergetici*, TVZ, Zagreb 2015.
- [25] Z. Balaž, K. Meštrović: *Politehnička kognitivna kibernetika*, TVZ, Zagreb, 2018.
- [26] Z. Balaž, A. Jelić: *Promethee metode i alati kognitivne kibernetike za edukacije budućnosti*, Rad predan za časopis Suvremene teme, Sveučilište VERN, 25. lipnja 2021.
- [27] D. v. Uslar, *Psychologie und Welt*, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, 1972.
- [28] D. Kahneman, *Misliti, brzo i sporo*, Zagreb, Mozaik knjiga, 2013.
- [29] R. Lachmann, *Phantasia Memoria Rhetorica*, Zagreb, Matica Hrvatska, 2002.
- [30] Z. Balaž, *Integration of Cognitive Cybernetics into Intelligent Human Systems?*, working materijal for scientific article prepared for the 1st International Conference on Intelligent Human System Integration, , Dubai, 7th – 9th of January 2018.
- [31] Z. Balaž, *The Captology of Intelligent Systems*, istraživačka studija ELO TVZ, Zagreb, HS Offenburger, 2013. – 2017.
- [32] Z. Balaž, *Dizajn i multimedija između kaptologije i simulakruma*, Međunarodni znanstveni skup – Tiskarstvo u dizajn, Zagreb, 2017.
- [33] Z. Balaž, *The Brain lost in the space of persuasive no-placelessness*, Public lecture, 16th Brain week in Croatia, 15th of March 2017.
- [34] Z. Balaž, *Cognitive Cybernetics – a Future Society 5.0*, International Symposium P&P, Zagreb, 2017.
- [35] Z. Balaž, M. Haun, *Cognitive Cybernetics – A Future that is Started*, 34th International Symposium on New Technologies, Šibenik, 2017.
- [36] Ministarstvo znanosti i obrazovanja, *Odluka o donošenju kurikuluma za međupredmetnu temu Uporaba informacijske i komunikacijske tehnologije za osnovne i srednje škole u Republici Hrvatskoj*, Narodne novine 07/19, 2019.
- [37] Hrvatski sabor, *Strategija obrazovanja, znanosti i tehnologije*, Narodne novine 124/14, 2014.
- [38] M. Milinović, *Kognitivna rješenja inteligentnih sustava i PROMETHEE metoda za nove edukacijske programe*, Diplomski rad, ELO TVZ, Zagreb, 2021.
- [39] E. J. Hom, *What is STEM education?* <https://www.livescience.com/43296-what-is-stem-education.html> [09.06.2021.]
- [40] I. Leder, *Što je STEM i zašto je to uopće bitno?* <https://www.stemlittleexplorers.com/hr/sto-je-stem-zasto-je-uopce-bitno> [09.06.2021.]
- [41] Wikipedia, Science, technology, engineering, and mathematics, https://en.wikipedia.org/wiki/Science,_technology,_engineering,_and_mathematics [09.06.2021.]

- [42] Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova EU, Jačanje STEM vještina u osnovnim školama i razvoj regionalnih znanstvenih centara za osnovnoškolski odgoj i obrazovanje u STEM području, Zagreb, 2021. <https://eeagrants.hr/jacanje-stem-vjestina-u-osnovnim-skolama-i-razvoj-regionalnih-znanstvenih-centara-za-osnovnoskolski-odgoj-i-obrazovanje-u-stem-podrucju/>, [10.06.2021.]
- [43] H. Herceg, *Opis "PROMETHEE" metode, njezina primjena u višekriterijalnom odlučivanju uz pomoć aplikacije "Decision Lab"*, Završni rad, FSB, Zagreb, 2011.
- [44] VPSolutions, *Visual PROMETHEE 1.4*, Manual, 2013. <http://www.promethee-gaia.net/assets/vpmanual.pdf>, [11.06.2021.]
- [45] Z. Balaž, K. Meštrović, *Učenje i poučavanje iz umjetne inteligencije*, TVZ – Tehničko veleučilište u Zagrebu, Polytechnic & Design, Vol. 2, No 1, pp 9-14, Zagreb, 2014.
- [46] M. Sokele, et al., The Importance of Synchronous Online Learning for Student Success in Exams, 44. međunarodni simpozij - MIPRO, Opatija, 27.09.- 01.10. 2021
- [47] Z. Balaž, Cyberpsihologija – Umjetna inteligencija danas i u budućnosti, Pozvano predavanje na Skupu SPiRi, FF Rijeka, travnja. 2019.
- [48] R. Torre: *Ima li života prije smrti? - iskustva prvog lica*, Znanje, Zagreb, 2018
- [49] J. Huizinga, *O podrijetlu kulture i igri*, Zagreb, Naprijed, 1992.
- [50] Ž. Paić, *Sfere egzistencije: Tri studije o Kierkegaardu*, Matica Hrvatska, Zagreb, 2017.
- [51] Ž. Paić, *Politika identiteta, Kultura kao nova ideologija*, Antibarbarus, Zagreb, 2005.
- [52] W. Glasser, *Teorija izbora – Nova psihologija osobne slobode*, Alinea, Zagreb, 2000.
- [53] K. Wilber, *Teorija svega: integralna vizija za biznis, politiku, znanost i duhovnost*, Gorin, Rijeka 2004.
- [54] K. Wilber, *Kratka povijest svega*, Gorin, Rijeka, 2005.
- [55] H. M. McLuhan, *Razumijevanje medija – Mediji kao čovjekovi proizvođači*, Golden Marketing, Zagreb, 2008.
- [56] Z. Balaž, S. Desin, *Kognitivna kibernetika i globalitarizam*, EIS 2019 - 38. Međunarodni elektro-inženjerski simpozij - Dani Josipa Lončara, Crikvenica, 2019.
- [57] Z. Balaž, *Cognitive Cybernetics vs. Captology*, ASTESJ, Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, vol. 2, No. 1. pp. 107-118, November 2017.
- [58] Z. Balaž, K. Wawrzynek, *Cognitive Cybernetics in the Foresight of Globalitarianism*, Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, vol. 5, No. 6, pp. 718–723, November 2020.

Znanost i proizvodnja

Gordan Topić

“Opruga” - Od zanatske radionice do tvornice (1962. – 1992.)

Sažetak: Članak prati razvoj i opis poslovanja tvornice “Opruga” iz Varaždinskih Toplica od njezinog osnutka kao zanatske radionice 1962. do njezine privatizacije 1992. godine. Stvaranje tvornice bilo je politički motivirano radi velikog broja nezaposlenih u tada nerazvijenom kraju Varaždinskih Toplica te je tvornica sa svojih 700 zaposlenika bila vrlo značajna u razvoju grada. Većina dokumentarnog materijala iz tvorničke arhive i egzaktnih podataka o uspješnosti poslovanja tvornice kroz 30-godišnji period uništeno je u razdoblju pretvorbe vlasništva početkom 90-tih. Stoga je rad temeljem na podacima iz monografije posljednjeg živućeg osnivača i direktora gospodina Vladimira Rissija te sačuvanim dokumentima Vjesnika tvornice opruga koji je početkom 70-tih izlazio jednom mjesečno.

Ključne riječi: tvornica “Opruga”, Varaždinske Toplice, Vjesnik tvornice “Opruga”, proizvodnja opruga i okova

Uvod

Ideja o tvornici “Opruga” rađa se krajem pedesetih godina prošloga stoljeća u Varaždinskim Toplicama. Stvaranje tvornice bilo je politički motivirano radi zapošljavanja velikog broja nezaposlenih, posebno u manje razvijenim krajevima kao što su bile Varaždinske Toplice. Tadašnje političko rukovodstvo pokrenulo je inicijativu ublažavanja glavnog problema u tadašnjoj općini, velike nezaposlenosti, gdje se nije previše vodilo računa o ekonomičnosti i isplativosti radnog pogona. Krenulo se s pretpostavkom o proizvodnji nečeg iz asortimana potrebnog tekstilnoj industriji, koja je bila veoma razvijena u Varaždinu. Izgradnju proizvodne hale u početku je financirala općina Varaždinske Toplice, projektna dokumentacija posuđena je od Ljevaonice Varaždin, a općina je obvezala svako domaćinstvo da odrađuje određeni broj radnih sati na izgradnji ili dovoza materijala.

Ovaj rad temeljen je na godišnjaku kojeg je napisao Vladimir Rissi 2013. godine, tada jedini od petorice preživjelih osnivača koji su 1962. godine osnovali Zanat-sku radionicu "Opruga" iz koje je nastala tvornica, a kasnije je bio i njen višegodišnji generalni direktor. Godišnjak je pisan temeljem vlastitog sjećanja gospodina Rissija i pričanja zaposlenika iz tog vremena, jer je u razdoblju pretvorbe vlasništva početkom 90-tih većina dokumentarnog materijala iz tvorničke arhive uništena te nije moguće iznijeti dovoljno relevantnih podataka. Također, korišteni su podaci iz tvorničkih novina koje su od 70-tih godina izlazile jednom mjesečno pod nazivom: "Vjesnik tvornice Opruga".

Tvornica "Opruga" kroz svoj 30-godišnji razvoj i djelovanje imala je vrlo značajnu ulogu u razvoju Varaždinskih Toplica, stoga je i namjera ovog rada da bar dio podataka ostane sačuvan kao svjedočanstvo jednog vremena budući da svi njezini osnivači i velik broj zaposlenika iz tog vremena više nije živo.

I. Osnivanje i rast tvornice "Opruga" iz Varaždinskih Toplica

I.1. Zanatska radionica "Opruga"

U izgradnji tvorničke hale 1961. godine, još uvijek nije bilo odlučeno što će nova tvornica u Varaždinskim Toplicama proizvoditi. Na zborovima građana tražio se i predlagao pogodan program koji bi bio izvediv s obzirom na uvjete i struku [1]. Slogan "*Gradit ćemo industrijski pogon, iako još nije definitivno jasno za koju djelatnost!*" opisivao je jaku volju, želju i entuzijazam da se nešto postigne u Varaždinskim Toplicama [2]. Budući da tada još u čitavoj Jugoslaviji nije bilo industrijske proizvodnje opruga koje su se uvozile, bilo je izgledno da bi proizvodnja opruga imala nekakvu perspektivu. Stoga je općinsko rukovodstvo Varaždinskih Toplica putem direktora u izgradnji Dragutina Šooša stupilo u kontakt s Vjekoslavom Kovačevićem iz Zagreba koji se još od prije drugog svjetskog rata bavio proizvodnjom ortopedskih pomagala i kirurških instrumenata te ostalih proizvoda za potrebe medicine i veterinarstva. Obzirom da je već tada osnovana tvornica „Instrumentarija“ koja počinje na industrijski način proizvoditi medicinske instrumente, Kovačević se nije mogao nositi s konkurencijom pa se manufakturno počinje baviti proizvodnjom raznih vrsta opruga i tekstilnih utenzilija. Sklapa se ugovor o prodaji i preseljenju Kovačevićeve radionice u Varaždinske Toplice, a g. Kovačević je postaje poslovođa novoosnovane Zanatske radionice „Opruga“. Prije preseljenja radionice, Kovačević uvjetuje izobrazbu kvalificiranih metalaca kod njega u Zagrebu te u jesen 1961. tamo dolaze KV automehaničar Ivan Magdić i KV bravari Stanko Dušak i Marijan Janušić. S obzirom da je i Vladimir Rissi od 1952.-1955. godine, kod Kovačevića izučio zanat za zvanje kirurškog mehaničara, Kovačević angažira Rissija te ga dovodi u Varaždinske Toplice [1].

Kao preteča nove tvornice u siječnju 1962. godine pod nazivom “Opruga” osniva se zanatska radionica odlukom Općine Varaždinske Toplice, koja će svoj konačni status tvornice dobiti tek u veljači 1967. godine. Zanatska radionica imala je skromne uvjete i alate za rad: omanji tokarski stroj, stolna bušilica, veliki reduktor za namatanje velikih opruga, dva mala reduktora, dva radna stola te nešto sitnog ručnog alata. U nekoliko dana Rissi, Magdić i Dušak pripremili su proizvodnju, a poslovođa Kovačević preusmjeruje svoje kupce na zanatsku radionicu „Opruga“, kao prvo «Tekstilstroj» iz Zagreba, što je u početku osiguralo dovoljno posla. Obzirom da se posao povećavao, te iste godine radionica zapošljava još trojicu radnika: KV kovača Slavka Zdravca, Franju Sopića i Dragu Pokosa, tako da radna postava radionice 1962. broji sedmero ljudi [1].

1.2. Pripajanje zanatske radionice Metalnoj industriji Varaždin (MIV)

U to vrijeme, tri varaždinske tvornice Tvornica sivog lijeva (“Ljevaonica”), Tvornica tekstilnih utenzilija (“Drvozateks”) i Tvornica tekstilnih strojeva, integriraju se u združeno poduzeće Metalna industrija Varaždin (MIV). Krajem 1963. godine u sastav MIV-a ulazi i Zanatska radionica “Opruga” kao radna jedinica Tvornice strojeva. Nabavljena je nova oprema za proizvodnju opruga, tj. dva automata za namatanje opruga češke proizvodnje, kompletni pogon za kaljenje opruga i tokarski stroj TS2. Iako je u organizacijskom i proizvodnom smislu napravljen svojevrstan napredak, radni uvjeti nisu bili zadovoljavajući: proizvodna hala zimi nije bila grijana te je naknadno i taj problem riješen instalacijom kotlovnice na mazut i instalacijama toplovodnih termogena¹. Dio kadrova preselio se iz MIV-a u “Oprugu”, međutim tehnička priprema i radni nalozi dobivali su se još uvijek iz Varaždina [1].

Dogovorom rukovodstva MIV-a i Drvno industrijskog kombinata “Florijan Bobić” (DIK), putem investicijskog programa financijskog direktora DIK-a Rudolfa Bobića, investira se u proizvodnju žičanih jezgri namijenjenih tapeciranju madraca, kauča i ostalih tapetarskih proizvoda po uzoru na tada najkvalitetnije jogi madrace slovenske tvornice “Meblo”. DIK se sastojao od šest pogona u regiji, čiji su se predstavnici dogovorili da se oprema za proizvodnju kupi i instalira u pogonu “Opruga”. Ugovorom o kupnji strojeva 1964. godine osigurano je da Rissi i Kovačević prođu obuku u Švicarskoj kako bi stekli potrebno znanje o održavanju i podešavanju strojeva te je nakon instalacije strojeva otpočela probna proizvodnja. Tijekom proizvodnje otklanjali su se problemi u pomanjkanju skladišnog prostora, loše kvalitete domaćeg repromaterijala i slabog plasmana madraca na tržište [1].

¹ grijač zraka

1.3. Integracija u DIK “Florijan Bobić”

Početkom 1966. godine pogon iz Varaždinskih Toplica koji je proizvodio samo žičanu jezgru za člana udruženja “Hrast” iz Čakovca, integrira se u DIK “Florijan Bobić”. Odlukom MIV-a prodaje se dio opreme pogona za tehničke opruge, kalionice i tokarski stroj, međutim daljnja prodaja je obustavljena zbog pobune radnika. Zbog manjka opreme privremeno se smanjuje proizvodnja opruga, a glavni proizvod pogona bivaju žičane jezgre za madrace. Tek akumulacijom vlastitih sredstava 1971. investira se u proširenje proizvodnje opruga, a 1967. godine svi dotadašnji DIK-ovi pogoni dobivaju status samostalnih tvornica u okviru Združenog poduzeća. Samostalnost za sve novonastale tvornice predstavljala je značajan preokret, jer više nisu podlijevali centralnim direktivama, već su morale formirati uprave i stručne službe. Tako nastaje “Tvornica opruga Varaždinske Toplice” s 26 radnika koja kreće proširivati tržište za svoje proizvode [1].

1.4. Tvornica “Opruga” kao samostalno poduzeće

Novi status samostalne tvornice “Opruga” zahtijevao je biranje vršitelja dužnosti direktora tvornice i radnički savjet tzv. Zbor radnika, organ koji je prema zakonu ovlašten donositi sve samoupravne odluke te birati direktora s mandatom od 4 godine. Prvi direktor tvornice postaje Vladimir Rissi pred kojim se nalazila teška zadaća rješavanja problema opstanka tvornice, prvenstveno gomilanja proizvoda na zalihama zbog neadekvatnog upravljanja i planiranja unutar Združenog poduzeća [1].

Prioritet daljnjeg razvoja tvornice bio je uspostaviti knjigovodstvenu službu, a nakon toga i službe za ostale administrativne poslove. Potpuni nedostatak srednjoškolski obrazovanog stručnog kadra u prometno loše povezanim Varaždinskim Toplicama rješavao se dovođenjem kadrova iz drugih mjesta, kao prvo uz pomoć savjetnika Rudolfa Molnara koji je u to vrijeme predaje na Višoj ekonomskoj školi kao predavač knjigovodstva i financija [1].

1.5. Početak preporoda tvornice

Nakon početnih pismenih i telefonskih kontakata poduzimaju se i brojna poslovna putovanja uglavnom po jugoistočnim krajevima Jugoslavije u svrhu sklapanja novih poslova. Stoga 1967. godine tvornica počinje odlično poslovati akumulirajući dobit kojom kupuje drugu proizvodnu liniju za žičanu jezgru. Također, kupuje se i kamion za prijevoz gotovih proizvoda do željezničke stanice, jer se prvotno tržište proširilo dodatno i na Drvno-industrijski kombinat iz Kruševca, tvornicu „20. oktobar“ iz Beograda i mnoge druge tvornice u Srbiji. Sljedeće godine tržište se proširuje pojavom drugih kupaca iz ostalih jugoslavenskih republika, jer tvornica izaziva veliku potražnju za svojim proizvodima, tako da se potrebe svih kupaca jedva zadovoljavaju. Proširenjem proizvodnje i tržišta zapošljavaju se i novi radnici te osposobljava kadar

ekonomskog smjera. Početkom siječnja 1968. godine iz varaždinske mljekare “Vindija” na funkciju komercijalnog direktora dolazi Željko Horvat, gdje se veliki napredak postiže osnutkom Komercijalnog sektora koji obuhvaća: prodaju, nabavu, skladište i transport. Također, uspostavlja se poslovna dokumentacija koja se povezuje s vođenjem knjigovodstvene dokumentacije [1].

Daljnijim investiranjem osigurava se skladišni prostor za gotove proizvode i za reproduksijski materijal: izgrađuje se hala veličine 1000 kvadratnih metara u koju se ukomponirao i dvokatni kancelarijski prostor površine od 200 kvadratnih metara. Na taj način osiguravaju se normalniji uvjeti za proizvodnju i razvoj pratećih stručnih službi temeljem čega se izrađuje makro organizacijska shema tvornice i definiraju dugoročni ciljevi nastavljanja kadrovske popunjavanja i osposobljavanja tvornice. Tvornica se organizira radom u tri smjene, stoga se zapošljavaju smjenovođe i dodatni tehničari te oformljuje tehnička priprema rada nužna za propisivanje tehnologije, postupaka rada, materijala i sredstva rada za postizanje optimizacije proizvodnje [1].

Tablica 1. prikazuje porast broja zaposlenika i prihod u milijunima dinara po određenim godinama [1]. Za vrijeme integracije postoji samo podatak o broju radnika po godinama, a tek nakon osamostaljenja 1967. godine tvornica ima podatke o ukupnom prihodu i broju zaposlenih, Tablica 1.

Tablica 1.: Broj zaposlenika i prihodi tvornice “Opruga” do 1972. godine

Godina	Zaposlenih	Prihod [din]
1962.	7	-
1967.	27	3 200 000
1970.	127	16 800 000
1972.	350	46 000 000

Budući da je broj radnika premašio brojku 30 izabire se Radnički savjet koji će donositi samoupravne odluke iz svoje, zakonom propisane domene, gdje Zbor radnika više ne donosi samoupravne odluke, već samo daje preporuke Radničkom savjetu i rukovodstvu tvornice pri donošenju odluka [1].

1.6. Razvoj ostalih proizvoda

Uvođenjem proizvodnje žičanih jezgri proizvodnja tehničkih opruga bila je zapostavljena, ali krajem 1969. i 1970. godine, nastavlja se razvoj te proizvodnje. Zapošljavaju se dodatni kadrovi potrebni za proizvodnju opruga te se proizvodnja una-

prjeđuje i kompletira suvremenim strojevima i alatima za doradu opruga nabavljenim iz tvornice „Wafios“ (Reutlingen, SR Njemačka) dio iz Italije i ostalih zemalja. Time je tvornica mogla nastupati na tržištu s potpunim asortimanom radi zadovoljenja potreba kupaca. Program proizvodnje sastojao se od tri osnovne vrste: tlačne, vlačne i torzijske opruge, proizvedene od specijalnih opružnih materijala debljine 0,2 – 10 milimetara. S obzirom da se za većinu opruga tražio atest, posebno za vojnu industriju, organizirana je zasebna tehnička priprema rada kao i tehnička kontrola proizvoda, za što je bilo potrebno dodatno kadrovsko popuniti radna mjesta, posebno vodeća na koju se zapošljavaju stariji radnici tvornice s iskustvom [1].

Paralelno s proizvodnjom tehničkih opruga započinje razvoj i proizvodnja okova za namještaj: razni tipovi škara za sklapanje i rasklapanje kauča te škaru za podizanje i spuštanje bračnih kreveta. Nešto kasnije asortiman se proširuje izradom rasklopivih mehanizama za ugradnju u sjedeće i spavaće garniture, u koji spada i *LO-TOS* program metalnih rasklopivih mehanizama za ugradnju u ormare ili pomoćne krevete i za razne druge namjene. Škaru se kupcima isporučuju u paru (lijeve i desne) zajedno s garniturom žičane jezgre za kauč i bračni krevet. Taj dio proizvodnje odvija se u dislociranom pogonu u zgradi sagrađenoj 1961. godine, međutim nakon 1971. ta se proizvodnja seli u Zadržni dom u obližnji Tuhovec, gdje se radi i galvanska zaštita te bojenje škara za razne ležajeve.

Brzi razvoj pojedinog proizvoda kao i povećana potražnja tržišta za proizvodima tvornice, zahtijevali su česta seljenja proizvodnje iziskujući sve veći prostor, kojega se nije moglo tako brzo osigurati. Izgradnjom nove hale od 1300 kvadrata ta se proizvodnja ponovno seli u novi prostor koji je za nju i namijenjen. U hali je instalirana linija za elektrostatsko bojenje i sušenje proizvoda, a dio kadrova upućen je na specijalizaciju u SR Njemačku. Također, zbog želje da svaka proizvodnja ima obračun efekata svoga rada, proizvodnje se organiziraju kao *Jedinice udruženog rada* (JUR) [1].

Standardizacijom žičanih jezgri što dodatno se povećava produktivnost u proizvodnji, a dodatnom nabavom kamiona ubrzava se dostava proizvoda u republike tadašnje države. Tvornica tada troši otprilike 3500 tona godišnje na žice samo za jezgru, međutim ima veliki problem s kvalitetom materijala nabavljanog iz Sarajeva, Jesenica, Zenice i Goražda. Loša kvaliteta repromaterijala² uzrokuje smanjenu produktivnost, povećanje materijalnog troška u proizvodnji, povećanu potrošnju rezervnih dijelova, kao i značajan otpad materijala. Stoga je razvoj proizvodnje tehničkih opruga temeljen na uvozu specijalnog repromaterijala, a zbog planiranog izvoza radi ostvarivanja devi-

² Potrebnu žicu ta tadašnju proizvodnju, u SFRJ proizvodilo je svega nekoliko željezara: Željezara Jesenice u Sloveniji i Željezara Zenica - pogon Sarajevo. Obje su bile početnici u toj proizvodnji, pa je tvornica „Opruga“ zbog loše kvalitete žice imala česte zastoje u proizvodnji. Prema njima tvornica je imala i reklamacija, koje bi uglavnom rješavala povratkom robe [1].

znih prava, zapošljavaju se dodatni stručnjaci sa znanjem stranih jezika, naročito njemačkog govornog područja. Specijalne žice za proizvodnju tehničkih opruga za jezgre i trake za okvire nabavljaju se uvozom iz Italije, Austrije, Njemačke i Švedske [1].

1.7. Razvoj ostalih službi, izdvajanja i doprinosi

Paralelno s razvojem proizvodnje 1968. godine proširuje se Radna zajednica zajedničkih službi u čijem se okviru organiziraju stručni sektori: Opći i kadrovski sektor, Komercijalni sektor i Privredno računski sektor. Opća i kadrovska služba, nije vodila samo evidenciju prisustva radnika, već je i obavljala pravne i opće administrativne poslove te pratila zakonske propise iz domene radnih odnosa [1].

Godine 1969. otvaraju se nova radna mjesta za blagajničke poslove, materijalno knjigovodstvo, robno knjigovodstvo, financijsko knjigovodstvo, plan i analizu, statistiku i drugo. Zbog unaprjeđenja poslova koji su se do tada radili ručno automatiziraju se knjigovodstveni poslovi kupnjom mehaničko-elektroničkog stroja *ASKOTA*, kojim se je značajno ubrzao proces rada u knjigovodstvu. Dvije godine kasnije kupuje se napredniji *BURROUGHS-6400* s kapacitetom memorije od 640 kilobajta, koji je težio 100 kilograma i bio veliki hit u poslovnom svijetu.

Također, u okviru općeg sektora organizira se i društvena prehrana, zaštita na radu te civilna zaštita i ostali administrativni poslovi. Neprekidno proširenje poslovanja i širenje tržišta od kraja 60-tih godina iziskuje i povećanje službe nabave i prodaje koje se dovodi s tržišta rada ili iz drugih radnih organizacija, sl. 1. Reorganizacije i kadrovske preraspodjele tada postaju redovita praksa također, u adaptiranom dijelu prvo izgrađene proizvodne hale, proširuje se kuhinjski i blagovaonički prostor koji iznosi 500 kvadratnih metara, a jelovnik se proširuje s više vrsta jela koja se poslužuju u tri smjene [1].



Sl. 1.: Organizacijska shema tvornice 1971. godine [1].

Općina Novi Marof, kojoj su Varaždinske Toplice bile pripojene 1963. godine bila je slabo razvijena te je primala pomoć od Republičkog fonda za nedovoljno razvijena područja Socijalističke Republike Hrvatske. Budući da je vrlo mali dio te pomoći dolazio do Varaždinskih Toplica koje nisu imale gotovo nikakvu komunalnu i telekomunikacijsku infrastrukturu, tek se 1970. godine pušta se u pogon telefonska centrala prijeko potrebna za poslovanje tvornice, a ubrzanim tempom razvoja tvornice stvaraju se materijalni uvjeti i za razvoj samoga mjesta. Brojnim samodoprinosima građana, tvornice "Opruga" i ostalih privrednih subjekata u nadolazećim desetljećima financirano je asfaltiranje ceste prema Varaždinu, izgradila se vodovodna mreža, transformatorske stanice, kanalizacija, plinska i telefonska mreža, čak je financirana i izgradnja nove kirurgije u Varaždinu [1].

2. Zlatne godine (1970 – 1980.)

2.1. Duh vremena i tendencije razvoja

Razdoblje 70-tih godina prošlog stoljeća bilo je "zlatno" ne samo za tvornicu "Opruga" već i za cjelokupnu tadašnju privredu. Obzirom da su nicale razne tvornice i posebno tapetarije diljem Jugoslavije, tvornici "Opruga" to omogućuje sigurni plasman proizvoda. Iako se povremeno pojavljuju recesije, koje su trajale nekoliko mjeseci, te uz sve negativne pojave nametnute od birokracije i zamrzavanje cijene proizvodima, čitavo to desetljeće tvornica pozitivno posluje [1].

Početkom 70-tih počinju politička previranja u SR Hrvatskoj. Hrvatsko političko vodstvo zahtjeva decentralizaciju i veću samostalnost tadašnjih republika i autonomnih pokrajina. Posebno se inzistira na decentralizaciji bankarskog sistema, jer se velika financijska sredstva slijevaju u tadašnju Jugobanku. Također, hrvatska poduzeća za vanjsko-trgovinsko poslovanje moraju obavljati uvoz i izvoz preko velikih reeksportnih poduzeća kao što su Inex i Genex iz Beograda. SR Hrvatska putem izvoza roba, a posebno preko turizma, ostvaruje značajan priliv deviza koje odlaze u državni ili savezni budžet i manjim dijelom se vraćaju u Hrvatsku. Hrvatska se tada smatra najrazvijenijom republikom te godinama najviše izdvaja u Savezni fond za nerazvijene republike, npr. Socijalističku autonomnu pokrajinu (SAP) Kosovo i Metohiju. Međutim, i ostale republike bile su nerazvijene te tada gotovo dostižu razvijenost SR Hrvatske, stoga ne samo Hrvatska, već i Slovenija i Srbija zahtijevaju drukčiju raspodjelu društvenog bruto proizvoda (BDP), pogotovo jer i same imaju dovoljno nerazvijenih krajeva, npr. u Hrvatskoj: Lika, Banija, Dalmatinska zagora te dio Zagorja i Podravine. Općina Novi Marof u kojoj je djelovala "Opruga" te susjedne općine Ludbreg i Ivanec, također se smatraju nedovoljno razvijenima [1].

Zbog takve savezne politike tvornica "Opruga" ima probleme, jer nije mogla

osigurati dovoljno kreditnih sredstava u domaćoj valuti, niti deviza nužnih za uvoz proizvodne opreme. Ne može se računati niti na uvoz kvalitetnog repromaterijala u potrebnim količinama, jer su prema toj politici domaće željezare imale apsolutni monopol. Devize su se morale kupovati od onih koji su imali izvoz, a za kreditiranje se snalazilo, tj. za investicije su se sredstva pretežno osiguravala iz vlastite akumulacije ili amortizacije. Ipak, u tvornici vlada izuzetan optimizam s pogledom u budućnost, prebrođuju se sve prepreke i stvara se solidna osnova za daljnji razvoj tvornice. U to vrijeme radnici uz sigurno zaposlenje i plaću u poduzeću, stežu i dodatne prihode na svojim poljoprivrednim domaćinstvima gdje paralelno rade i privređuju. Tvornica im po tom pitanju izlazi u susret: izrađuje se godišnji kalendar tvornice kojim se uvode slobodni dani. Slobodni dani mogli su se koristiti spojeno u doba obavljanja poljoprivrednih poslova, a kasnije bi se nadoknadili radnim subotama [1].

Osnovna organizacija saveza komunista, Sindikalna organizacija te Omladinska organizacija bile su tri političke organizacije koje djeluju u tvornici s ciljem da uz vodstvo tvornice sudjeluju u svim aktivnostima oko organiziranja proizvodnog i ostalih procesa. Najaktivnija, Sindikalna organizacija, brinula je o društvenom standardu radnika, organizirala ljetovanja i izlete, kulturno-umjetničke i sportske susrete. Također, to je razdoblje transparentnog informiranja radnika tvornice putem glasila “Vjesnik” tvornice “Opruga” [1].

2.2. Ubrzani razvoj i modernizacija tvornice

Pored osnovne proizvodnje žičanih jezgri, usporedno su se razvijale i ostale proizvodnje: proizvodnja raznih vrsta okova, rasklopivih mehanizama za krevete te svih vrsta tehničkih opruga za razne namjene. Radne i tehnološke cjeline organizirane su u “Jedinice udruženog rada” (JUR) kako bi se pratilo ostvarenje rezultata rada tih jedinica. Primjer prikaza ostvarenja proizvodnje i produktivnosti rada iz “Vjesnika tvornice Opruga”, svibnja 1982., Sl. 2., [1], [3].

OSTVARENJE PROIZVODNJE I PRODUKTIVNOSTI RADA							
Red. br.	POKAZATELJ	JUR 200	JUR 400	JUR 500	JUR 600	JUR 700	TVORNIKA
1.	OSTV. PROIZV. U NORMA SATIMA I-II/81. g.	28.855	9.298	54.071	43.848	38.518	166.291
2.	PLAN PROIZV. U NORMA SATIMA I-II/82. g.	33.743	12.171	63.719	55.479	35.125	200.237
3.	OSTV. PROIZV. U NORMA SATIMA I-II/82. g.	28.925*	6.219	44.297	49.163	31.965	160.479
4.	INDEKS OSTV. PROIZV. I-II 82/81. g.	101	67	82	112	105	86
5.	INDEKS OSTV. PROIZV. I-II 82/82. g.	86	51	89	89	91	80
6.	ULOŽENI SATI RADA I-II 81. g.	24.802	11.812	51.073	48.276	28.607	164.370
7.	ULOŽENI SATI RADA I-II 82. g.	28.116*	11.604	49.532	56.447	27.781	173.460
8.	INDEKS PRODUKTIVNOSTI I-II 81. g.	115,1	80,1	105,8	90,8	106,7	101,2
9.	INDEKS PRODUKTIVNOSTI I-II 82. g.	102,9	53,6	89,2	87,1	115,1	92,5
10.	INDEKS RASTA — PADA PROIZV. I-II 82/81. g.	88,4	66,9	84,3	95,9	107,7	91,4

Sl. 2.: Prikaz ostvarenja proizvodnje i produktivnosti po JUR [3]

Nakon postizanja značajnih rezultata u poslovanju nakon osamostaljenja tvor-

nice, 1972. godine slijedi ubrzani razvoj tvornice. Od 1972 - 1977. godine tvornica je značajno napreduje u svojem razvoju. Investiralo se u nabavku nove opreme za proizvodnju, energetske objekte i u proizvodni prostor. Prostor permanentno predstavlja „usko grlo“ pa se gradi hala veličine 1300 četvornih metara, čime se proizvodnja okova i ostalih proizvoda smješta u krug tvornice te se time rješavaju nepotrebni interni transportni troškovi, Sl. 3. [1].

Proširuje se i kompresorska stanica radi povećane potrošnje komprimiranog zraka te se kotlovnica oprema novim vrelouljnim kotlom i cjevovodom od kotlovnice do nove hale, čime se preko specijalnih grijača zagrijavao proizvodni prostor kao i sušara za proizvode nakon lakiranja. Već 1972. knjigovodstvo se reorganizira i dobiva naziv *Privredno računski sektor* (PRS) [1].



Sl. 3.: Tvornica 1972. godine: desna hala izgrađena je 1960. godine, lijeva hala izgrađena je 1970. godine vlastitim sredstvima, pročelje zgrade uređeno je kao kancelarijski prostor veličine oko 200 četvornih metara, a iza je proizvodnja. Srednja hala izgrađena je 1971. godine kao skladište repromaterijala i gotovih proizvoda [1].

Još u postupku dovršavanja prve tvorničke hale, napravljen je prvi investicijski program proizvodnje žičanih jezgri za tapcirani namještaj koji je u to vrijeme bio novitet na tržištu. U počecima planiranjem i analizom bavi se samo nekoliko rukovoditelja i ekonomista da bi ozbiljniji početak bavljenja planiranjem, analitikom i statistikom krenuo tek 1976. godine. Planovi se izrađuju i donose usvajanjem na samoupravnim organima tekuće godine za narednu godinu, a analize ostvarenja planova nakon završetka poslovne godine. Plan prodaje – realizacija, plan cjelokupne proizvodnje (po proizvodima i radnim jedinicama), plan nabave i utroška potrebnih repromaterijala za

proizvodnju, plan radne snage u proizvodnji i pratećim službama, plan potrebnih energenata i ostalih troškova, plan ukupnih troškova i po mjestima troška, plan financijskih sredstava potrebnih za poslovanje i zaključni financijski plan ukupnog prihoda kojim se utvrđuje poslovanje poduzeća pripadali su među najvažnije planove. Dodatno se prema potrebi izrađuju, mjesečne, kvartalne, polugodišnje i godišnja analize izvršenja nekoga od planova. U Tvornici opruga analize su se radile kvartalno, polugodišnje i godišnje ili već prema potrebi, kao i periodične analize izvršenja zadanih planskih ciljeva u usporedbi s proteklom razdobljem, analize kontinuiranih istraživanja procesa u poslovanja, analize povećanja škarta gotovih proizvoda i repromaterijala [1].

S početkom proizvodnje raznih vrsta okova i rasklopivih mehanizama za ležajeve, osnovana je služba tehničke pripreme rada s konstrukcijskim i tehnološkim odjelom kako bi se detaljnije propisala tehnologija izrade i isplanirala organizaciju rada za svaku pojedinu fazu do gotovog proizvoda. Zbog kontinuiteta dominacije na tržištu bilo je potrebno osnovati *Razvojni sektor*, jer se postojeća priprema rada bavila tekućom proizvodnjom i nije imala vremena baviti se iznalaženjem te razvojem novih proizvoda. Organizacijski, razvojni sektor bio je podijeljen na dva dijela: na tehnički i ekonomski dio. Ekonomski dio bavio se istraživanjem tržišta (marketingom), vanjskom trgovinom, planiranjem i analizama. Tehnički bavio se projektiranjem novih proizvodima i poboljšanjima postojećih. Budući da do 1978. godine nije bilo takve proizvodnje u Jugoslaviji, tvornica projektira i započinje proizvodnju pneumatskih alata (pištolja) koji se koriste u proizvodnji tapeciranog namještaja i za razne druge potrebe u drvenoj industriji. Proizvode se pištolji PPK-I, sl. 4., namijenjeni najmasovnijem korištenju u tapetarijama i napredniji program pištolja i klamerica nazvan JAGUAR, a koji je rađen prema inovaciji koja je dobila srebrnu medalju na izložbi u Belgiji.



Sl. 4.: Proizvedeni pištolji PPK-I spremni za prodaju [1]

Novi proizvodi izlažu se uz jaki marketing na sajmovima u Zagrebu i Beogradu, sl. 5., a organizirana je i servisna služba sa zadatkom da na poziv kupca otklanjanja eventualne kvarove.

DESETI NASTUP TVORNICE OPRUGA na Zagrebačkom velesajmu



DESETI, JUBILARNI NAS-
TUP TVORNICE OPRUGA
VARAZDINSKE TOPLICE
NA ZAGREBAČKOM VELE-
SAJMU OVE GODINE BIO
JE VRLO USPJESAN. UZ
5.000 STRANIH I 1.531 DO-
MAĆEG IZLAGAČA NAŠA
JE TVORNICA PONUDILA
TRŽIŠTU SVOJE NAJNOVI-
JE PROIZVODE IZMEĐU
KOJIH SU NAJZNACAJNIJI
LOTOS PROGRAM, PRO-
GRAM PNEUMATSKIH PI-
STOLJA I SPOJNICA TE
PROGRAM OKOVA ZA LE-
ZAJEVE.

Sl. 5.: Slika s tvornice "Opruga" na Zagrebačkom velesajmu [4]

Međutim, loša kvaliteta proizvodnje uzrokovana nebrigom nekvalificiranih i nezadovoljnih radnika, a kroz političko tijelo i radnički savjet, u želji za boljim plaćama, bojkotiraju progresivna nastojanja razvoja tvornice, čime Vladimir Rissi naprasno daje ostavku na mjesto direktora *Razvojnog sektora* i odlazi iz tvornice u lipnju 1979. godine [1].

2.3. Osposobljavanje kadrova i stambena politika

Osiguravši već prilično dobru kadrovsku bazu, a paralelno i dalje školujući potrebni kadar, tvornica osigurava svoju budućnost. Kadrovska problematika permanentnog pomanjkanja stručnog vodećeg kadra s godinama je ublažena ostvarivanjem solidne kadrovske osnove, međutim kontinuirani ubrzani razvoj i fluktuacija kadrova zahtijevaju i kontinuirano obnavljanje i jačanje kadrovske osnove. Stoga se za starije nekvalificirane radnike organizira stručna obuka za stjecanje osnovnih znanja temeljem stečene interne polukvalifikacije (PKV). Kvalificirani radnici metalske struke kroz jednogodišnje ili dvogodišnje doškolovanje stječu visoku kvalifikaciju (VKV), a srednji stručni kadar uz rad se doškoluje za višu ili visoku stručnu spremu (VŠS ili VSS), ekonomskog, strojarskog, kemijskog ili organizacijskog smjera. Za izučavanje zanata metalskog smjera primaju se učenici i organiziraju praktični rad u radionicama uz stručni nadzor majstora. Pripravnike se prima na jednogodišnje stažiranje bez obveze da moraju ostati u radnom odnosu. Također, godine 1977. uvodi se savjet *Sistema primjene i nagrađivanja inventivnog rada* (SPINIR) preko *Tehnološko-ekonomskog biroa* (TEB) iz Zagreba, koji je imao za cilj inovacijama unaprijediti organizaciju rada i proizvodnje. Svaki zaposlenik mogao je uputiti svoj prijedlog komisiji koja je ocjenjivala valjanost prijedloga i određivala nagradu u skladu s pravilnikom [1].

Tvornica Opruga aktivno sudjeluje u stambenom zbrinjavanju svojih radnika radi zadržavanja kadra. U fond zajedničke potrošnje (FZP) iz dohotka se izdvaja tri posto sredstava za stambene potrebe čime se u prvo vrijeme izdaju stambeni krediti, a kasnije se kreće i s izgradnjom društvenih stanova. Već 1969. godine dodjeljuju se prvi krediti za stambenu izgradnju, s vrlo povoljnim uvjetima na rok otplate od 30 godina uz 3% kamata. Na taj način izgrađeno je, dograđeno i adaptirano na stotine stambenih objekata u širem području Varaždinskih Toplica. Kasnije počinje i izgradnja društvenih stanova, koji su se radi povoljnijih uvjeta, gradili u suradnji s bolnicom u Varaždinskim Toplicama [1].

3. Desetljeće birokratizacije, stagnacije i privatizacije

3.1. Početak perioda teškoća

Krajem “zlatnih 70-tih” jača birokratizacija države kroz donošenje bezbroj zakona i uredbi, čime započinje izvjesna dekadencija i degradacija *Zakona o udruženom radu i samoupravljanju*. Pojavljuju se recesije radi manje potražnje robe, ali najveći problem predstavlja nelikvidnost kupaca koji na vrijeme ne isplaćuju isporučenu robu, a što je u konačnici rezultira kompenzacijama i troškovima. Dodatno, još se veća kriza pojavljuje 1979. godine, kad je recesija zavládala u čitavoj Europi. U Jugoslaviji raste inflacija, a time i rast cijene roba na tržištu. Cijene proizvoda tvornice “Opruga” padaju pod udar zakona prema kojem se nisu mogle povećavati, dok su istovremeno cijene repromaterijala rasle, pogotovo od jugoslavenskih željezara koje je štitila država. Također, smrću predsjednika Tita slabi međunacionalna kohezija i suradnja među republikama što utječe i na poslovanje mnogih radnih organizacija. Dakle, pretjerana zakonska regulativa predstavlja kočnicu gospodarskog razvoja, a pomoć izostaje od političara općine [1].

Iako tvornica niti jedne godine po završnom računu ne bilježi gubitak u to vrijeme, ona ipak u to vrijeme lošije posluje. Usprkos saveznih propisanih kazni za poduzeća i odgovorne osobe, pod rizikom oduzimanja takozvane protupravne dobiti (cjelokupne razlike od postojećih do novoformiranih cijena), tvornica “Opruga” povećava cijene svojih proizvoda. Vrlo ažurne inspekcije, temeljem poslovne dokumentacije, pronalaze protupravnu dobit od oko 680 milijuna dinara. Tvornica plaća kaznu, ali ne vraća protupravnu dobit državi, što ju ujedno spašava od neminovnog stečaja. Općenito, tvornica “Opruga” cijelo vrijeme se razvijala bez pomoći općine te joj nikad nije posvećivana nikakva pažnja, pogotovo u kad se općina Varaždinske Toplice priključuje općini Novi Marof. Naime tvornica “Opruga” je po broju zaposlenih i po rezultatima rada najjača u općini Novi Marof. Godine 1986. zapošljavala 629 radnika i sudjeluje s 22% u ukupnom općinskom prihodu. Pored toga, u Varaždinskim Toplicama početkom 70-tih razvija se i *Bolnica* koja sredinom osamdesetih, nakon izgradnje hotela *Terme* i *Minerve*, zapošljava više od 800 ljudi. Na taj način su Varaždinske Toplice u svemu prestižu dio općine Novi Marof, a topličanski općinari veću pažnju pridaju poduzećima na novomarofskom području i sudjeluju u promašenim investicijama općine [1].

S obzirom da Vladimir Rissi odlazi iz tvornice u lipnju 1979. godine, daljnje tri godine tvornica “Opruga” stagnira te putem izaslanstva (predsjednik radničkog savjeta i predsjednik sindikata) nagovaraju Rissija da se vrati u tvornicu na mjesto generalnog direktora.

PREGLED POSLOVNIH REZULTATA TVORNIČE PO ZAPOSLENOM RADNIKU ZA RAZDOBLJE
OD I — VI 1980.

RED. BR.	OPIS	OSTVARENO I — VI 79.	PLANIRANO I — VI 80.	OSTVARENO I — VI 80.	INDEKSI 80/80.	80/79.
1.	DOHODAK PO RADNIKU	61770	106176	111837	105,3	181,1
2.	DOHODAK U ODNOSU NA PROSJ. KOR. SREDSTVA	29%	36,8%	31,9%	86,7	110,0
3.	ČISTI DOHODAK PO RAD.	52113	89095	96485	108,3	185,1
4.	AKUMULACIJA U ODNOSU NA DOHODAK	0,6%	21,0%	22%	104,8	—
5.	AKUMULACIJA U ODNOSU NA PROSJ. KOR. SREDSTVA	0,2%	7,7%	7,0%	91,0	—
6.	AKUMULACIJA U ODNOSU NA ČISTI DOHODAK	0,7%	25,0%	25,5%	102,0	—
7.	OD FZP PO RADNIKU	51727	62197	66938	107,6	129,5
8.	ČISTI OD PO RADNIKU	4903	6224	6047	97,2	123,3
9.	OBAV. IZ DOH. PO RAD.	9657	17082	15353	89,9	159,0
10.	AKUMULACIJA S AMORT. PREMA PROSJ. KOR. SRED.	4%	10,6%	9,7%	91,5	—
11.	PROSJ. KORIST. POSL. SREDSTVA PO RADNIKU	211933	288390	350901	121,7	165,6
12.	UKUPAN PRIHOD PREMA UTROŠENIM SREDSTVIMA	1,44	1,51	1,64	108,6	113,9
13.	UKUPAN PRIHOD PREMA PROSJ. KOR. OBRT. SRED.	1,74	1,31	1,42	108,4	81,7
14.	DOHODAK PREMA PLAN. DOH.	81%	—	95,7%	—	118,1
15.	DIO ČISTOG DOHOTKA ZA OD U ODN. NA PLAN	90%	—	98,4%	—	109,3

Sl. 6.: Pregled poslovnih rezultata tvornice od siječnja do lipnja 1980. godine

Budući da tvornica ne napreduje te da se program JAGUAR nije nastavio razvijati, tadašnji generalni direktor Željko Horvat inzistira na povratku gospodina Rissija [1]. Na slikama Sl. 6. i Sl. 7. prikazani su rezultati objavljeni u “Vjesniku” TO u srpnju 1980. godine [5].

STRUKTURA KORISTENJA RADNOG VREMENA

TABELA br. 3

Redni broj	OPIS	Struktura u %
1.	Rad po učinku	36,4
2.	Rad po vremenu	16,9
3.	UKUPNO PROIZVODNI RAD	53,3
4.	Produženi rad	0,9
5.	UKUPNO EFEKTIVNI RAD	84,4
6.	Godišnji odmori	2,6
7.	Plaćeni dopust	0,2
8.	Državni praznici	2,7
9.	Bolovanja do 30 dana	5,1
10.	Ostalo	1,2
11.	UKUPNO PLAĆENI IZOSTANCI	11,8
12.	Bolovanja preko 30 dana	3,4
13.	Izostanci neopravdani	0,4
14.	UKUPNO NEPLAĆENI IZOSTANCI	3,8
15.	UKUPNI IZOSTANCI	15,6
16.	SVEUKUPNO	100,0

TABELA br. 4

PRIKAZ IZOSTANAKA

Redni broj	OPIS	Sati	Struktura u %
1.	Bolovanje do 30 dana	28.286	56,8
2.	Bolovanje preko 30 dana	19.072	38,3
3.	Izostanci	2.469	4,9
4.	UKUPNO	49.827	100,0
5.	Pretvoreno u radne dane	6.228	
6.	Prosječan broj zaposlenih	505	
7.	Ne radi u %	9,1%	
8.	Pretvoreno u radnike	48	

Sl. 7.: Struktura korištenja radnog vremena i izostanci od siječnja do lipnja 1980. godine

Prvenstveno iz empatije prema radnicima i tvornici, Rissi ipak ponovo preuzima dužnost u lipnju 1982, ali uz uvjet obavezne reorganizacije tvornice i sastavljanja

novog programa za tvornicu. Novim programom vrši se spajanje dotadašnjih jedinica udruženog rada u dvije cjeline, tj. u osnovne organizacije udruženog rada, prema vrsti proizvoda i vrsti materijala od kojega su proizvodi načinjeni. Na taj način su žičane jezgre, tehničke opruge, klamerice, tlačne opruge, mreže za krevete i ostali proizvodi od žice sastavljeni u cjelinu i predstavljali OOUR-a „Žičani proizvodi“, a razne vrste škara za kaučeve i francuske ležajeve, sklopivi kreveti i drugi proizvodi od limova, cijevi i raznih čeličnih profila, kao i strojna obrada, galvanizacija i lakirnica svrstavaju se u OOUR-a „Okovi“, kojem se pridružuje i pogon za ravnanje i konfekcioniranje limova u naselju Vinično. Nova organizacija rada počinje funkcionirati nakon opsežnih priprema 1. siječnja 1984. godine. Dodatno je stvorena i treća radna zajednica „Zajedničke službe“, kojoj pripadaju svi zajednički poslovi: *Opći i kadrovski sektor, Komercijalni sektor, Privredno-računski sektor i Razvojni sektor* sa svojim službama [1].

Osnivanjem OOUR-a smatralo se da će se kroz manje obračunski samostalne cjeline, zbog lakšeg praćenja procesa proizvodnje i općih kretanja u privredi, postići bolji efekti poslovanja. Jačanjem državne birokracije brojčano se povećavao administrativni kadar u proizvodnim organizacijama, što je dovodilo do povećanja troškova i izostancima s posla [1]. Birokratizacija koja je bila iznad svih i sama sebe kao pošast umnožavala, kočila je i doslovce proždimala, poslovanje i društvo u cjelini, očito na putu raspada s kojeg nije bilo povratka. Kako je generalni direktor Vladimir Rissi tada rekao u „Vjesniku“ tvornice „Opruga“ pred kraj 1987. godine [6]:

“Čitavo društvo nije bilo dovoljno budno. Svi smo se uspavali na lovorikama slave i kratkotrajnog blagostanja karakterističnog za razdoblje između 1970. i 1980. godine. Vjerojatno nema čovjeka koji se nije susreo sa svemoćnom birokracijom, tom čeličnom rukom koja stvara zakone da bi tim istim zakonima ubila u čovjeku svaku inicijativu i razmišljanje.”

Što se tiče daljnjeg razvoja računskog centra tvornice, sredinom 1985. godine nabavljen je kompjutor BURROUGHS B-25, te se pokreće nova organizacija obrade podataka unutar koje se, u suradnji sa Zavodom za ekonomiku iz Varaždina, izrađuju programi za poslovanje. U to vrijeme tvornica «Opruga» biva predvodnik u kompjuterizaciji i informacijski uzor u varaždinskoj regiji. Instaliranjem novog sustava automatske obrade podataka dobivaju se vrijedne informacije o stanju kupaca i potraživanja, skladišta gotove robe, sirovina na skladištu, obaveza prema dobavljačima te informacije potrebne za analizu, planiranje i statistiku. Kako bi se osigurala bolja ažurnost, a unatoč manjku stručnjaka, ubrzo se kupuju nova oprema i dodatni terminali i sektori se povezuju informacijskim kablovima. Tijekom godina nabavlja se sve modernija oprema za automatsku obradu podataka, a do 1990. godine rađene su projekcije razvoja integralnog informacijskog sustava tvornice. Formiranjem OOUR-a 1984. godine do 1986. godine, obnavlja se sustav AOP-a nabavom osnovne

konfiguracije B-27 koji se sastoji od glavne radne stanice M-27, diska 20 MB, disketne jedinice, radne stanice 512 K, i printera 200 z/s M 1354. Također, nabavlja se i sistemski software te pripadajući kablovi s potrebnim priborom. Nedugo potom, izrađuju se i puštaju u pogon poslovne aplikacije za formiranje raznih datoteka, koje su imale za cilj dobivanje ažurnijih i detaljnijih podataka [1].

Radnički standard u tvornici povećava se dodatno 1983. godine izgradnjom novog restorana, kojim se osigurava potpuni komfor društvene prehrane organiziran u više grupa po smjenama s obučanim kuharskim i ugostiteljskim kadrom. Nova kuhinja oprema se suvremenom opremom za mogućnost kuhanja više vrsta jela koja su se dobivala za simboličnu cijenu budući se većim dijelom financira iz sindikalne blagajne, npr. i kava i čajeви bili su posluživani radnicima tijekom rada [1].

3.2. Privatizacija i podjela imovine

Kasnih osamdesetih, mnogima je jasno da se socijalistički sustav urušava i da neminovno dolaze promjene. Ante Marković dolazi na mjesto predsjednika Saveznog izvršnog vijeća i donosi Zakon o poduzećima, prema kojem se svaki OOUR može organizirati i registrirati kod Privrednog suda kao samostalno poduzeće. Jednako tako, poduzeća su se trebala na neki način privatizirati, a radnici postati dioničari u svojem poduzeću sa 49%, dok bi državi ostalo većinski dio od 51% suvlasništva. OOUR-i tvornice temeljem spomenutoga zakona obavljaju transformaciju 1989. godine i registriraju se kao dva samostalna poduzeća: OOUR „Žičani proizvodi“ kao Društveno poduzeće OPRUGA s potpunom ovlasti, a OOUR „Okovi“ kao Društveno poduzeće UNIT-V s potpunom ovlasti. Oba poduzeća imaju svoje radničke savjete kao samoupravne organe te takva organizacija traje sve do donošenja novog *Zakona o trgovačkim društvima* 1991. godine, tj. od promjene iz socijalističkog u kapitalistički sustav.

Već prilikom organiziranja OOUR-a, djelomično se vrši podjela imovine, međutim još se tretira kao zajednička, a tek transformacijom OOUR-a u samostalna poduzeća dolazi do potpune podjele. Zajedničke službe dijele se imovinski i kadrovski na dva dijela koja su pripadaju novim poduzećima, tako da svako od njih ima zaokruženu kadrovsku i imovinsku cjelinu [1].

U to vrijeme događaju se značajne promjene u čitavoj Europi, gdje socijalističke države uvode kapitalistički sustav. I u Republici Hrvatskoj dolaskom na vlast, Franjo Tuđman hrvatskim građanima najavljuje promjenu dotadašnjeg društvenog sistema u kapitalistički, u kojemu će vladati tržišni uvjeti. Godine 1991. počinje ratno stanje i mnogi zakoni se mijenjaju. Mijenja se Markovićev Zakon o poduzećima u Zakon o trgovačkim društvima. Kako se kasnije pokazalo, zakonom je omogućeno bogaćenje podobnih pojedinaca, koji su bez potrebnog kapitala uzurpirali i prisvojili mnoga poduzeća. Većina poduzeća u Hrvatskoj je uništena i opljačkana, a mnoga su likvidirana [1].

Novi vlasnici slanjem u prijevremenu mirovinu ili dijeljenjem otkaza, rješavaju se viška radnika. Prisutna je velika pomama pojedinaca za kupnjom dionica zbog ostvarivanja većinskog vlasništva od radnika po minimalnim cijenama, kako u čitavoj državi tako i u tvornici “Opruga”. Zbog novonastale situacije generalni direktor tvornice “Opruga” odlazi u prijevremenu mirovinu, nakon čega tvornica sve više propada bez ikakvog daljnjeg razvoja. U svibnju 1992. godine na mjesto direktora D.P. „Opruga“ dolazi ing. Anđelko Potrelica, a Miroslav Matkun i ostaje na čelu D.P. „Unit-V“. Nekoliko godina kasnije „Unit-V“ d.d. dolazi u poteškoće i preuzima ga poduzeće „Opruga“ d.d., tako da ponovno od dva poduzeća nastaje jedno, koje i dalje biva u stagnaciji. Privatizacijom 1992. godine nova vlasnica također zatvara kuhinju i restoran [1].

Dvadeset godina kasnije, broj radnika tvornice pada sa 600 na 50-60, građevinski objekti su zapušteni, strojevi neiskorišteni, a plaće manje od očekivanih [1]. Također, tokom godina tvornica bilježi pad u poslovnim prihodima Sl. 8.



Sl. 8.: Poslovni prihodi za firmu “Opruga” d.d. [7]

4. Stvaranje i razvoj novih poduzeća

Da je tvornica “Opruga” bila uspješna i progresivna nema sumnje, za što su bili zaslužni entuzijazam, zalaganje i znanje stručnih osoba koje su razvijale proizvodnju i održavale radni duh pod geslom: “Radimo tako da će sutra i mladi naraštaji ovdje imati posla!” Novi vlasnici očito nisu imali znanja niti interesa nastaviti uspješan razvoj proizvodnje pa tvornica “Opruga” lagano odlazi u povijest. Međutim, kako je u tim posljednjim vremenima privatizacije i otpuštanja, tvornica postala rasadnik kadrova, oni inovativniji i uspješniji pojedinci koji su stasali u tvornici “Opruga” osnovali su svoje tvrtke podižući ih iz temelja, kao što je to nekad bio slučaj s tvornicom “Opruga”. Ovo su neki od danas najuspješnijih, kasnije osnovanih poduzeća [1].

4.1. Bernarda d.o.o. i Bernarda - Nova d.o.o.

Kao najbolji primjer nastavka velikog entuzijazma, progresivnosti i uspjeha su projekti i tvrtke vlasnice gospođe Bernarde Cecelje. Prije osnutka svoje prve tvrtke, gospođa Cecelja radila je u tvornici “Opruga” od 1984 - 1990. godine na vanjsko-trgovinskim poslovima i u svojim životopisima rado ističe tvornicu kao mjesto s kojeg je startala, dobila “pogled u svijet” te je zahvalna svima što su joj pomogli da danas bude to što jest. Dakle, danas je gospođa Cecelja u posjedu dvije proizvodne tvornice „Bernarda“ d.o.o. iz Pušćina za proizvodnju madraca, kreveta i opreme za spavanje i „Bernarda“- Nova d.o.o. iz Nedeljanca, tvornice za konfekciju spužve i materijala potrebnih u proizvodnji kreveta, madraca i jastuka [1], [8]. Također, vlasnica je i četiri trgovačka poduzeća u Moskvi, Beogradu, Skoplju i Švicarskoj [1] i u svojim firmama zapošljava 250 zaposlenika. Osim što iznajmljuje i apartmane u Novalji na otoku Pagu te dvije vile na Krku, investirala je u zdravstveni turizam prepoznavši turistički potencijal Varaždinskih Toplica. Riječ je o pansionu, restoranu i pizzeriji «Bernarda» te zdravstveno – turističkom projektu: kompleksu hotela s četiri zvjezdice od 27 soba u koji je investirano više od 50 milijuna kuna. Hotel će s vanjskim i unutarnjim bazenom omogućavati kvalitetnu fizikalnu terapiju topličkom termalnom vodom temperature 58 stupnjeva [9], [10].

Na Sl. 9. prikazani su poslovni prihodi i njihov rast za firmu „Bernarda“ d.o.o. i za „Bernarda – Nova” d.o.o. na Sl. 10.



Sl. 9.: Poslovni prihodi za firmu “Bernarda” d.o.o. [11]



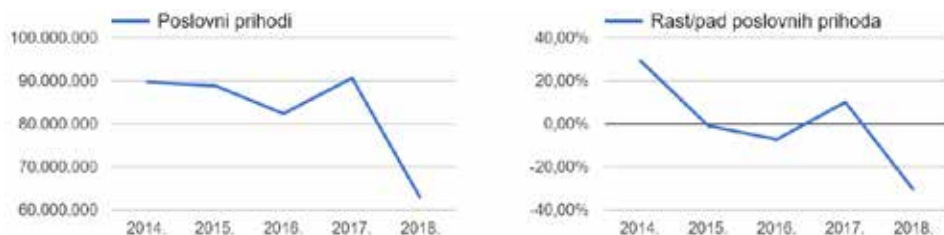
Sl. 10.: Poslovni prihodi za firmu “Bernarda – Nova” d.o.o. [12]

4.2. Tvornica Hespo

Drugi primjer, tvornica „Hespo“ iz obližnjeg Preloga započela je 30 godina kasnije s istom proizvodnjom, čak na zastarjelim strojevima, i uspjela. Vlasnik tvornice zaposlio je iskusnog majstora Branka Đurasa, koji je s mjesta direktora OOUR-a Žičani proizvodi, a kasnije D.P. Opruga, 1991. godine prešao raditi u „Hespo“, povećši za sobom dio kadra za održavanje strojeva. Tvornica „Hespo“ je za kratko vrijeme unaprijedila proizvodnju žičanih jezgri i otvorila pogon za finalizaciju madraca, a kasnije i proizvodnju namještaja. Firma „Hespo“ se značajno proširila u proizvodnji namještaja, a proizvodnju žičanih jezgri prodala je američkoj firmi, koja i danas u Prelogu, proizvodi žičanu jezgru za čitavu Europu i šire [1].

4.3. Omega d.o.o.

Treći primjer je tvrtka „Omega“ d.o.o. s pogonima u Varaždinskim Toplicama, Breznici i Viničnom. Tvrtka je u vlasništvu Borislava Antolkovića i Bože Krofaka, bivših zaposlenika tvornice «Opruga». Borislav Antolković radio je kao referent nabave, a Božo Krofak u tvornici je od 1984 - 1990. Poduzeće se od svojega osnutka do danas bavi metalo-prerađivačkom djelatnošću i 2012. godine zapošljava 142 radnika. Širokom paletom proizvoda snabdijeva građevinsku, elektro i ostale industrije diljem Europe. Bruto promet 2012. god. iznosi 72.600.000 kuna, pretežito na izvozu (oko 70%), a dobit 5.057.000 kuna. Tvrtka iz godine u godinu bilježi značajan rast posebno u tehnološkom pogledu, sl. 11. Tvrtka je opremljena modernim numerički upravljanim strojevima kao i robotima kojima precizno zavaruju razne sklopove. Godišnje u svoje proizvode tvrtka ugradi preko 5.000 tona raznih čeličnih profila i limova, a sve proizvode dodatno pocinčava zbog korozivne zaštite [1].



Sl. 11.: Poslovni prihodi za firmu "Bernarda – Nova" d.o.o. [13]

4.4. Kircek d.o.o.

Četvrti primjer je tvrtka KIRCEK d.o.o. iz Ljubešćice, osnovana 1990. godine, koja se bavi drvoprerađivačkom djelatnošću i godine zapošljava 65 djelatnika [14]. Orijentirana je na izvoz i ostvaruje godišnji prihod u iznosu 35.000.000 kuna s ten-

dencijom daljnjeg razvoja, sl. 12. Proizvodnju tvrtka realizira na modernim strojevima i permanentno prati trendove tehnološkog razvoja. Vlasnici tvrtke su Dragutin i Jadranka Gotić, također bivši zaposlenici tvornice «Opruga». Gostpodin Gotić posebno ističe tvornicu „Opruga“ kao okruženje stručnih ljudi s puno razumijevanja za mlade kadrove, a što je posebno bilo važno za njihovo doškolovanje te razumijevanje nužnosti razvoja poduzeća [1].



Sl. 12.: Poslovni prihodi za firmu “Kircek” d.o.o. [15]

4.5. TTI d.o.o.

Peti primjer poslovne uspješnosti je tvrtka „TTI“ koja je u suradnji s njemačkom firmom „Logwin“ osnovana početkom 1992. godine. Tvrtka je u vlasništvu Dragutina Kranjčeca koji je kraće vrijeme zaposlen u tvornici “Opruga” i temeljena je na tri osnovne djelatnosti: međunarodnom transportu, otpremništvu te prodaji i servisiranju DAF kamiona. Međunarodni transport i logistiku za prijevoz tekstila tvrtka obavlja s 30 vlastitih vozila, a ujedno je i logistička kompanija za prijevoz tekstilnih proizvoda u Republici Hrvatskoj. Prijevoznike usluge obavlja po čitavoj Evropi te zastupa auto-industriju „DAF“, obavlja prodaju i servisiranje vozila za Republiku Hrvatsku i Federaciju Bosne i Hercegovine.

Danas tvrtka „TTI“ zapošljava 60 djelatnika (2012.) [16], prihoda 142.800.000 kuna (2018.), Sl. 13. s tendencijom daljnjeg razvoja [1].



Sl. 13.: Poslovni prihodi za firmu “TTI” d.o.o. [17]

Zaključak

Iako je njen nastanak bio politički motiviran, kako bi se smanjila nezaposlenost u tadašnjoj nerazvijenoj općini Varaždinske Toplice, nema sumnje da je tvornica “Opruga” svojim inventivnim kadrom postigla zavidan uspjeh u svojem najjačem periodu djelovanja od osnutka 1962. do privatizacije 1992. Ovaj članak opisuje razvoj, postignuća, ali i probleme tvornice u tom razdoblju, koji je temeljen na privatno izdanom godišnjaku jednog od osnivača, najizrazitijem i najprogresivnijem direktoru Vladimiru Rissiju. Tvornica danas više nema onu snagu i moć koju je nekad imala, ali bez obzira na njenu kontinuiranu stagnaciju od doba privatizacije do danas, duh nekadašnjeg tvorničkog uspjeha i progresa pretočio se u nekoliko izrazito uspješnih firmi koje su osnovali njeni nekadašnji briljantni kadrovi. S obzirom da je tvornica “Opruga” kroz svoj 30-godišnji razvoj i djelovanje imala značajnu ulogu u razvoju Varaždinskih Toplica, ovaj rad pisan je u svrhu očuvanja podataka o tvornici koji su većinom uništeni ili izgubljeni u vremenu privatizacije.

Zahvala

Zahvaljujem se svim bivšim zaposlenicima tvornice “Opruga” iz Varaždinskih Toplica koji su pripomogli u pisanju godišnjaka tvornice, pogotovo Vladimiru Rissiju koji ga je napisao i koji je uspio sačuvati dio podataka o djelovanju tvornice u 30 godina postojanja tvornice te na taj način opisati jedan svijetli primjer poslovanja iz bivšeg društvenog sustava.

Literatura

- [1] V. Rissi, *Od zanatske radionice do Tvornice Opruga 1962-1992*, Xm studio, Varaždinske Toplice, Hrvatska, 2013, str 1-132.
- [2] A. Prstec, V. Mikulec, *Tvornica Opruga - od prve zamisli do Krova* *Vjesnik tvornice “Opruga”*, Tvornica Opruga, Varaždinske Toplice, Hrvatska, 31. prosinac, 1987.
- [3] *Vjesnik tvornice “Opruga”*, Tvornica Opruga, Varaždinske Toplice, Hrvatska, svibanj 1982.
- [4] *Vjesnik tvornice “Opruga”*, godina II, broj 9, Tvornica Opruga, Varaždinske Toplice, Hrvatska, 10. listopada 1978.
- [5] *Vjesnik tvornice “Opruga”*, Tvornica Opruga, Varaždinske Toplice, Hrvatska, srpanj 1980.
- [6] V. Rissi, *Ima li nade za samoupravljanje*, *Vjesnik tvornice “Opruga”*, godina IX, broj 11 i 12, Tvornica Opruga, Varaždinske Toplice, Hrvatska, 31. prosinac 1987.
- [7] <https://www.fininfo.hr/Poduzece/Pregled/opruga/Detaljno/53671>, preuzeto 15. 09. 2021.
- [8] <https://regionalni.com/foto-u-v-toplicama-privodi-se-kraju-izgradnja-modernog-hotelskog-kompleksa-hotela-bernarda/>, preuzeto 15. 09. 2021.
- [9] <https://novac.jutarnji.hr/novac/aktualno/nakon-puno-bitke-s-birokracijom-bernarda-cecelja-u-lje-to-otvara-hotel-15032379>, preuzeto 15. 09. 2021.
- [10] <https://regionalni.com/bernarda-nova-gradi-hotel-u-varazdinskim-toplicama-vrijedan-40-milijuna-kuna-19581/>, preuzeto 15. 09. 2021.
- [11] <https://www.fininfo.hr/Poduzece/Pregled/bernarda/Detaljno/30454>, preuzeto 15. 09. 2021.
- [12] <https://www.fininfo.hr/Poduzece/Pregled/bernarda-nova/Detaljno/105631>, preuzeto 15. 09. 2021.
- [13] <https://www.fininfo.hr/Poduzece/Pregled/omega/Detaljno/54944>, preuzeto 15. 09. 2021.
- [14] <http://www.kircek.hr/hr/o-nama/povijest-i-tradicija/>, preuzeto 15. 09. 2021.
- [15] <https://www.fininfo.hr/Poduzece/Pregled/kircek/Detaljno/58979>, preuzeto 15. 09. 2021.
- [16] <https://evarazdin.hr/magazin/sredistu/top-toplice-365052/>, preuzeto 15. 09. 2021.
- [17] <https://www.fininfo.hr/Poduzece/Pregled/tti/Detaljno/54257>, preuzeto 15. 09. 2021.

Gordan Topić

“Opruga” - From Craft Manufacture to Factory (1962 - 1992)

Abstract: The article follows the development and description of the business of the factory “Opruga” from Varaždinske Toplice from its founding as a craft manufacture in 1962 to its privatization in 1992. The founding of the factory was politically motivated due to the large number of unemployed in the underdeveloped area of Varaždinske Toplice in that time, and the factory with its 700 employees was very important in the development of the city. Most of the documentary material from the factory archives and exact data on the success of the factory’s operations over a 30-year period was destroyed during the period of ownership conversion (privatization) in the early 1990s. Therefore, the article is based on data from the monograph of the last living founder and director, Mr. Vladimir Rissi, and preserved documents of the Vjesnik springs factory, which was published once a month in the early 70’s.

Keywords: “Opruga” factory, Varaždinske Toplice, Vjesnik tvornice “Opruga” factory newspaper, production of springs and fittings.

Igor Čatić¹

Postaje li struka grobarom hrvatskoga jezika?

Sažetak: Poticaj za temu bio je poziv organizatora foruma *Blockchain tehnologija za cirkularnu ekonomiju*. Naslov, prevedenica s engleskog jezika. Znanstvena politika sve snažnije podupire takva kretanja, kriterijima izbora za napredovanje članova znanstvene i akademske zajednice u viša zvanja. To rezultira stavom da stručnjaci smatraju, prilagodba nakaradnih izraza hrvatskome jeziku zadatak je jezikoslovaca. Strukovno nazivlje moraju stvarati stručnjaci, a jezikoslovci odobravati je li rješenje jezično ispravno. Bit će navedeni brojni primjeri nepotrebnog uvođenja u hrvatski jezik, pretežno engleskih riječi.

Ključne riječi: Utjecaji na jezik, sustavna analiza hrvatskog jezika, pomodnice

Uvod

Osnivanjem samostalne hrvatske države početkom devedesetih godina prošlog stoljeća, smatralo se da će se uporaba hrvatskog jezika, kao pitanje nacionalnog identiteta, konačno riješiti. U proteklih trideset godina nažalost sve je gore. Dva su osnovna razloga tome. Utjecaj nekritičkog prihvaćanja stranih, osobito engleskih riječi. Što je još utjecajniji čimbenik, znanstvena politika ne priznaje hrvatske radove za napredovanja u viša znanstvena zvanja, znanstvenika i pripadnika akademske zajednice. Postoje i politički utjecaji, kako iz inozemstva, tako i iz vlastite sredine.

Za obljetnički broj zbornika skupa *Povijest i filozofija tehnike* odlučeno je pripremiti tekst koji ukazuje na primjerima što se zbiva. Pritom se služi s dva temeljna rada [1-2]. Bit će analiziran jedan poziv na skup i tzv. pomodnice, popularne riječi krivo prevedene ili netočnog značenja.

¹ Stavovi izneseni u referatu su osobna mišljenja autora, nisu obvezujući za navedenu instituciju u adresi.

1. Kružno gospodarstvo, ulančani blokovi

Jedan portal primio je poziv organizatora MIPRO, na digitalni forum *Blockchain tehnologija za cirkularnu ekonomiju*. Profesionalni novinari rijetko detaljnije poznaju tehničko područje. Stoga je autor zamoljen za pomoć u tumačenju javnosti [3]. Analizirat će se dopis.

»Poštovani predstavnici medija, živimo u vremenu velikih izazova i promjena. Digitalizacija postaje imperativ napretka i progres. Strategija Europske unije je uvođenje gospodarskih iskoraka na temelju novih tehnologija *blockchaina* i cirkularne ekonomije. Učinkoviti i sigurni servisi ostvarit će iskorak u Industriju 4.0 i predstavljat će osnovu za novu industrijsku revoluciju 5.0. MIPRO pokušava usmjeriti stremljenja i postupke da se nove ICT tehnologije brže i učinkovitije uvedu u gospodarske tokove u Hrvatskoj. Zato se održava Forum na temu Blockchaina i cirkularne ekonomije.«

1.1 Cirkularna ekonomija« je kružno gospodarstvo

Analiza poziva. Cirkularna ekonomija pravopisno je i izgovorno hrvatskomu jeziku prilagođen engleski naziv. No, u hrvatskom jeziku cirkularna se zamjenjuje s kružna. *Economy*, ako se prevede s ekonomija znači znanost. *Economy* ima još neka značenja, a jedno je od njih privreda. Privreda je devedesetih pretvorena u gospodarstvo (V. Brodnjak). Ispravnij prijevod je dakle kružno gospodarstvo.

Danas je najspornija strukovna riječ, tehnologija. Sve je postalo tehnologijom. Prva, nešto dopunjena definicija potječe od agronoma i kameralista, Johanna Beckmanna iz 1777. i glasi: »Tehnologija je sveobuhvatna znanost o isprepletenosti tehnike, društva i humanizma«. Upotrebljava se i u smislu hrvatskog naziva tehnika, npr. tehnički fakulteti.

Nažalost, većina stručnjaka koja se bavi područjem Industrija 4.0 ne zna da to nije četvrta industrijska revolucija. To ne će biti ni Industrija 5.0. Industrija 4.0 je iznimno uspješan proizvod njemačkih marketinških stručnjaka, koji je njemačku vladu koštao 480 milijuna eura. Riječ je o konceptu u kojem se rad robota odvija u ogradenom prostoru. S G. Nikolićem definiran je koncept Industrija 5.0, gdje se pojavljuju suradnički roboti, koboti. Taj koncept ima neovisno i jedna danska tvrtka koja proizvodi kobote. Primjer, projekt »Ronna«, razvoj neurokirurga, potaknuo je uvođenje naziva Medicina 5.0 [4].

1.2 Nemaju vremena baviti se »jezičnim finesama«

Da se razumije značenje sintagme »blockchain tehnologija«, bila je potrebna pomoć interneta i jezikoslovaca. Na temelju dijela dostupnih internetskih definicija sastavljen je prijedlog hrvatskih naziva i tekst definicije. Za englesku riječ *blockchain*

postoje tri mogućnosti. Lanac blokova (najčešće), ulančani blokovi ili lančani blokovi. Na temelju mišljenja jezikoslovaca najbolje je rješenje **ulančani blokovi**, blokovi koji su povezani. U tom slučaju definicija ulančanih blokova glasi. Ulančani blokovi su sustav pohrane informacija kojim se otežava ili onemogućuje promjenu, hakiranje ili varanje blokova. Ulančani blokovi su u osnovi digitalna knjiga novčanih transakcija koja se umnožava i raspodjeljuje duž mreže računalnih sustava. Pritom se imalo na umu da po Leidenskom manifestu, osim izvornika, mora se stvarati nazive i na materinskom, u ovom slučaju, hrvatskom jeziku.

Upoznalo se stručnjake, sazivače Foruma s tim nedostacima. Odgovoreno je da stručnjaci nemaju vremena baviti se s tim finesama. Da će se već nekako te naka-radne izraze prilagoditi hrvatskom jeziku i da je to zadatak jezikoslovaca. Potpuno pogriješan pristup. Strukovno nazivlje moraju stvarati stručnjaci, jezikoslovci samo odobravati je li rješenje jezično ispravno.

1.3 A da hrvatski fakulteti prijeđu na engleski jezik?

Kada jednom neki strani naziv uđe u svakodnevni jezik, nema povratka. Tako se rabe nazivi najlonske ili PVC vrećice. Koje nikada nisu postojale. Zato je ispravan opći naziv plastične vrećice. Ili sve je postalo »set«, npr. mjera. Učilo se o teoriji skupova, a ne setova. Zato se donosi se skup mjera itd. Treći su primjer naočale. Gotovo svi govore da se naočale sastoje od okvira i stakala. Umjesto leća, koje mogu biti od stakla ili plastike.

Treba navesti jednog suvremenog borca za gledišta da je potrebno nazivlje na materinskom jeziku. To je glasoviti tvorac riječi uporaba, prof. Bulcsú László. Za njega je akademik Stjepan Babić rekao, »hrvatski Šulek naših dana«. Taj hrvatski jezikoslovac, prevoditelj i informatolog koji je govorio 40 jezika, započeo je studirati elektrotehniku. Bio je poznat kao veliki borac protiv tuđica (posebice anglizama i balkanskih riječi) u hrvatskome jeziku. To je put koji slijedi autor ovog teksta pri ovoj analizi.

Nedavno, žalba jednog polaznika doktorskog studija. Hrvatski znanstvenik koji je u skupini od 2 % znanstvenika, tijekom predavanja rabi gotovo pola engleskih riječi. Ako je tako, predlaže se da najveći dio fakulteta prijeđe isključivo na engleski jezik. A što ih šira javnost ne razumije, stručnjake se to ne tiče. Oni pišu radove samo na engleskome, jer se tekstovi na hrvatskome ne priznaju. Čine se da hrvatski znanstvenici, uz pomoć struktura postaju grobari najvažnije sastavnice identiteta osobnosti, materinskog jezika.

2. Sustavnosna analiza hrvatskog jezika [2]

Rad [2], temeljen je na predavanju *Je li moguća analiza hrvatskoga jezika teorijom sustava?* [5]. Godinama se raspravljalo kako prevesti engleski naziv „system theory“. U raspravi po održanom predavanju akademik Božidar Finka, predložio je hrvatski naziv **sustavnosna teorija**. Naziv je prihvaćen i od članka [2], autor dosljedno upotrebljava taj naziv. Ovdje se navode najvažnije pojedinosti iz navedenog članka. Uvodno treba naglasiti da je tekst [2] objavljen 1994. i da se mnogo toga dogodilo u međuvremenu na području jezika.

»Razmatran je odnos postavki Ropohlove sustavnosne teorije tehnike [6] s općepoznatim postavkama tradicionalne teorije o jeziku kao sustavu na različitim razinama. Svaki je jezik organiziran sustav znakova koji ljudi rabe u jezičnoj djelatnosti, i on je apstraktan. Konkretizacija jezika jest govor, organizirano, konkretno ostvarenje jezika u materiji (govorni organi). Pritom termin materija treba shvatiti u najopćenitijem smislu. Stoga nije nimalo nov zaključak da je, kao i svaki drugi jezik, hrvatski jezik pravi sustav. On zadovoljava temeljnu definiciju sustavnosne teorije; pritom se misli na sustavnosnu teoriju tehnike. Ideja se o preispitivanju pojma sustavnosnosti u hrvatskome jeziku u svjetlu sustavnosne teorije u tehničkim znanostima, pojavila tijekom rada na knjizi *Analiza injekcijskog prešanja polimera teorijom sustava* [7]. Poseban Ropohlov doprinos sustavnosnoj teoriji tehnike jest u tome što je opisao sustave djelovanja s pomoću četrdeset definicija temeljenih na teoriji skupova. Primjena i plodonosnost teorije skupova u analizi nije ni nova ni neobična metoda u lingvističkim istraživanjima. Srodna je strukturalističkome pristupu jezičnim problemima i omogućuje precizne opise razlika, preplitanja i suodnosa na različitim jezičnim razinama, kao što je to istraživanje mjesnih govora u dijalektologiji. Primijenjena je npr. pri analizi porabe vezničkoga sklopa “i/ili”.

Prvi poznati primjer primjene Ropohlove sustavnosne teorije tehnike bila je sustavnosna analiza proširenoga i najusavršenijega cikličkog postupka preradbe polimernih tvari postupkom injekcijskoga prešanja. Svojom je metodologijom omogućila da se s pomoću jednoga jedinog modela opiše više od 270 (o. a. podatak iz 2021.) različitih postupaka proizvodnje dijelova od plastike, gume, keramike, metala i njihovih kombinacija. Time je dokazana vrijednost sustavnosne analize koja omogućuje da se na temelju proučavanja pojedinačnih slučajeva uoči sustavnost pojave [7].

Cilj je ovih razmatranja pokušaj da se s takvom teorijom sustava, sustavnosnom teorijom tehnike, usporede neke postavke o hrvatskome jeziku. Pritom će posebna pozornost biti posvećena razmatranju triju sustavnosnih koncepata: hijerarhijskoga, funkcionalnoga i strukturnoga. Za potpunije razumijevanje izlaganja navest će se temeljne postavke sustavnosne teorije tehnike te definirati neki pojmovi potrebni pri analizi.

2.1 Temeljne postavke sustavnosne teorije tehnike

Ideja sustava i sustavnosnosti postala je nuždom i sastavnim je dijelom suvremene znanstveno-tehničke revolucije upravo zato što izražava cjelovitost (integralnost) promatranog objekta ili pojave i njihovu razdjeljivost (kompliciranost, raznovrsnost). Zbog svoje općenitosti, opća je sustavnosna teorija postala novom znanstvenom disciplinom i u rangu je najopćenitijih znanosti, filozofije i matematike. Pritom je posebna vrijednost sustavnosnog pristupa u tome što postavlja pitanja koja se inače ne bi pojavila. U okviru sustavnosnog pristupa stvoren je i stvara se niz vrlo sadržajnih zamisli i teorija u veoma različitim znanstvenim disciplinama. Primjeri su kibernetika, informatika, ekologija i strukturno-funkcijska analiza. Prapočeci sustavnosnog razmišljanja mogu se naći u Aristotela. U suvremenom smislu naziru se barem četiri korijena modernoga sustavnosnog razmišljanja.

(1) Opća sustavnosna teorija L. von Bertalanffya prema kojoj je cjelina zbroj (skup) njezinih dijelova i zbroj (skup) odnosa među tim dijelovima

(2) Kibernetika N. Wienera sa svim prethodnicima i nasljednicima na području teorije upravljanja, reguliranja i prenošenja informacija stvarima (npr. strojevima) i živim bićima. Pritom se o sustavnosnom opisu ne može ni raspravljati ako se procesi prenošenja i obradbe informacija ne shvate kao sustavi.

(3) Više sustavnosnih područja usmjerenih praksi, kao npr. operacijska istraživanja, sustavnosna analiza i sustavnosna tehnika.

(4) Suvremena matematika.

Opću sustavnosnu teoriju L. von Bertalanffya koja je postavljena tako da se pojedinačnim pojmovima traže zajednička obilježja, što omogućuje poopćenje, Ropohl je prilagodio zahtjevima tehnike i ponudio formalni i terminološki kostur.

Opću sustavnosnu teoriju tehnike temelji na konceptima modela i 14 osnovnih definicija, odnosno karakteristika sustava kojima se općenito mogu prikazati svi poznati oblici ovoga svijeta.

Sukladno jednomu postulatu kibernetike, moguće je sve pojave svijeta opisati ili kao materiju, ili kao energiju ili kao informaciju. To načelo opširno je opisano u radu [8].

U općoj sustavnosnoj teoriji postoji pojam apstraktnoga sustava djelovanja koji se u daljnjoj interpretaciji iskustveno konkretizira kao sustav djelovanja čovjeka i (umjetni) sustav stvari. Stvarne tvorevine koje je čovjek načinio u svrhu njihove planске porabe obilježene su kao sustavi stvari. Za razliku od predmeta (njemački Dinge) koji su ponuđeni neposredno u prirodi, kao stvari (nj. Sache) označuju se svi objekti koji su proizvod čovjekove namjere i rada.

Proučavanomu je sustavu za injekcijsko prešanje, kao tehničkomu sustavu djelovanja, bitno obilježje da je u njemu moguće pratiti tokove tvari i energije te informacija. Pritom je proces skupno ime za tokove tvari i energije.

2.2 Hrvatski jezik kao pravi sustav

Valja postaviti prvo i temeljno pitanje: kakav je sustav bilo koji jezik? Jezik je izlazni rezultat, dakle izlaz iz najkompliciranijega i najkompleksnijeg (o. a. potrebna je ta razlikovnost) pojedinačnoga sustava koji čovječanstvo poznaje. To je ljudski mozak. Nesumnjivo je postojanje tijesne veze između jezika i mišljenja; izmjene unutar jednog elementa nužno djeluju na drugi. Uglavnom je najveći dio čovjekovih misli oblikovan na nekome konkretnom jeziku iako je moguće pretpostaviti i "predjezične" mogućnosti mišljenja.

Ako je jezik izlaz iz mozga, on je umotvorina koja se iskazuje govorom ili pismom. To nameće oprez pri definiranju vrste sustava. Obilježje opisanoga materijalnog sustava za injekcijsko prešanje tvari jest da se uz pomoć energije i informacije tvar pretvara u materijalnu tvorevinu. Kod umotvorina je slučaj drugačiji. *Proizvod* je informacija koja nastaje uz pomoć materije i energije. Takav sustav moguće je nazvati informacijskim sustavom, što može biti prvi zaključak.

Kao oblik komunikacijske djelatnosti jezična je djelatnost komplicirana i kompleksna društvena pojava. Tijekom te djelatnosti subjekti komunikacijskoga procesa istodobno utječu na svijet oko sebe i na sebe. Teorija informacije govori o sustavima i načinima čuvanja, prenošenja, pretvorbe i raspodjele informacija. Osnovni dio teorije informacije jest informacija. Informaciju je moguće definirati kao neočekivanu, statistički rjeđu organizaciju materije koja se prepoznaje na temelju prethodna dogovora o obliku organizacije, kodu. Iz takva je poimanja informacije isključen plan sadržaja, nazočan u svakome intuitivnom poimanju pojma informacije.

2.3 Jezik kao informacijski sustav

Moguće je razmatranja o jeziku kao informacijskome sustavu provesti na različite načine. Pritom je moguć prikaz s pomoću slika ili opisom. Odlučuje se za opis. Iz blok sheme sustava djelovanja proizlazi određena terminologija: okolina, okolni sustavi, prostor, vrijeme, atributi stanja, ciljevi. U jeziku je težište na informacijama. Posebnu pažnju pri analizi valja posvetiti ciljevima, jer su to informacijski ulazi.

Cilj se definira kao moguće predočivo stanje čijem se ostvarenju teži. Jedan sustav djelovanja može slijediti više ciljeva. Općenito se u teoriji sustava promatraju apstraktni modeli sustava djelovanja. Oni se konkretiziraju na dva načina:

- sustav djelovanja čovjeka,
- umjetni sustav stvari.

Jezik bježi od te konkretizacije. Očitim se čini da je jezik rezultat djelovanja čovjeka, ali je i umjetni sustav stvari. Vjerojatno je ovdje važno razlikovanje tzv. prirodnih od posredničkih, odnosno umjetnih jezika. Jezik je jedan među mnogim sustavima znakova kojima je cilj sporazumijevanje; on je društvena institucija, višedimenzionalna totalnost u kretanju. No, organizacija jezičnih jedinica nije prirodan fenomen, rezultat je kodifikacije, dogovora, uzusa.

Proizlazi da se prirodni jezici konkretiziraju kao sustav djelovanja čovjeka, ali neke njihove razine nastaju isključivo kao rezultat intervencije, normiranja. "Ostvarenje" jezičnoga sustava kao govornoga čina podrazumijeva ostvarivanje u nekom procesu. Radi se o fiziološkim procesima koji prate nastanak glasova. Kontaktni jezici vjerojatno počinju prirodno nastajati, no kao završene konstrukcije približavaju se kategoriji stvari. Umjetni jezici bili bi čisti sustavi stvari. Pritom valja shvatiti riječ stvar (njemački *Sache*) kao nešto od čovjeka stvoreno, što nije neposredno ponuđeno u prirodi. U tom je slučaju moguće razlikovati misaonu tvorevinu, umotvorinu, i materijalnu tvorevinu, stvar.

2.4 Definicije sustavnosne teorije

Ropohl je na temelju teorije skupova načinio četrdeset definicija s pomoću kojih je moguće opisati pojedini sustav. Bit će navedena samo temeljna.

Df 1) Neka je skup atributa A_i , skup funkcija F_j , skup podsustava S'_k a skup relacija P_m (odnosno struktura). Tada se uređena četvorka tih skupova zove sustav S:

$$S = (\alpha, \varphi, \sigma, \pi)$$

U definiciji su uvedeni termini: atributi, funkcije, podsustavi i relacije, odnosno struktura.

Atribut je svojstvo koje pripada sustavu. Pritom atribut može biti, sasvim općenito, materijalni, energijski, informacijski, prostorni i vremenski. Ovdje su zanimljivi samo atributi: informacijski, prostorni i vremenski. Atributi se mogu prikazati kao ulazi, stanja i izlazi. S atributima je povezan funkcionalni koncept sustava.

Sastavni su elementi sustava podsustavi. Pravi sustavi su oni koji imaju kao podsustave elemente koji su i sami pravi sustavi. Postoje posebni kriteriji provjere zahtjeva o pravom sustavu. Također je moguće definirati pojam okoline. Uvođenjem pojma podsustava uvodi se hijerarhijski koncept sustava. Tako je moguće razlikovati podsustave, sustave i nadsustave. S pomoću određena broja relacija moguće je uvesti strukturni koncept. Postoje sustav i lanac cilja te relacije: indiferencije, instrumentacije i preferencije.

Postoji u teoriji sustava i struktura, u ovom slučaju umotvorine. Što to znači? Kao strukturu može se općenito pojmiti jezični sustav u cjelini, odnosno svaki njegov

dio u nekom vremenskom odsjeku. I konačno, što je to element stvari u jeziku? Vjerojatno morfem. Pritom je moguća sljedeća analogija. Element stvari je elementarna sastavna jedinica, najmanja jedinica u makrofizičkom području. To je tijelo. Njezin podsustav može se zamisliti ako se prijeđe u mikrofizičko područje, područje molekula, atoma. Znači li to prijelaz od morfema kao potencijalno značenjske jezične jedinice u foneme kao najmanje jedinice bez plana sadržaja? Lingvistika izučava jezične znakove i u cjelini i na svakome od njihovih planova, a mogu se dijeliti i analizirati na razinama kada više same nisu znakovi, nemaju ili plana izraza ili plana sadržaja.

2.5 Sustavnosni koncepti

2.5.1 Hijerarhijski koncept

U hijerarhijskome se konceptu može promatrati jezik u cjelini i mnoge njegove razine. Jezik kao sustav znakova bio bi u hijerarhijskome konceptu dio drugih sustava znakova. U tom je konceptu lingvistika dio opće teorije o znakovima. Pojam znaka ne mora biti ograničen samo na komunikacijske procese. Znakom se može nazvati i svaka pojava koja štogod čovjeku označuje. Prirodni se jezici klasifikacijski mogu svrstati u cjelinu čovjekovih semioloških sustava koji sudjeluju u komunikacijskim procesima.

Prirodna je pretpostavka da među elementima skupa jezičnih sustava koje je čovječanstvo rabilo postoje razlike i kriteriji s pomoću kojih se te razlike utvrđuju, pa se taj skup dijeli na neke podskupove.

Najmanja jedinica kojom se može baviti u jeziku kao skupu pojavnosti bio bi idiolekt, jezični sustav svakoga pojedinog govornika. Ako se idiolekt pojmi kao skup, za njegovu su analizu bitni oni elementi koji ga razlikuju od drugih sustava iste razine. Idiolekt je podskup višega skupa: mjesnoga jezičnog sustava, mjesnoga govora. Taj jezični sustav zajednički je govornicima neke, geografski i sociološki, manje i prilično jasno omeđene cjeline i može se opisati kao individualan na više razina: fonološkoj, morfološkoj, sintaktičkoj. Govornici, odnosno pripadnici takva podskupa poznaju i drugi skup, književni jezik, koji im omogućuje komunikaciju izvan granica mjesnoga jezičnog sustava.

Ako se pođe od tvrdnje da je hrvatski jezik sustav, onda je moguće više kriterija podjele na podsustave. Označi li se sintagmom hrvatski jezik njegova ukupnost, njegova dijalektna raznolikost, jedan je prema narječjima: podjela na štokavski, čakavski i kajkavski podsustav. Dodatak. Podjela po narječjima postala je u međuvremenu zaslugom prvenstveno Drage Štambuka, hrvatskom nematerijalnom baštinom po konceptu „ča-kaj-što“.

No, moguća je i jedna druga podjela, podjela prema drugom kriteriju, na opći jezik i na strukovne jezike. Posebni (strukovni) jezici bili bi npr. medicinski, tehnički ili pravnički jezici. To su sigurno pravi sustavi. Tako je primjerice tehnički jezik mo-

guće podijeliti na strojarski, polimerijski, elektrotehnički, itd. Podjela na podskupove mogla bi sići na još niže razine, dok se ne bi došlo do elementa sustava koji nije moguće dalje dijeliti. Međutim, što je to *ono prema gore*? Hrvatski je jezik prema svojoj genezi dio nadsustava zapadnih južnoslavenskih jezika, taj je pak sustav dio sustava slavenskih jezika. Tako bi se došlo na kraju do indoeuropskih prapočetaka.

Pogleda li se sada jedan drugi skup, hrvatski književni jezik, sociolekt s eksplicitnom normom, on se kao zaseban skup odvaja od svih drugih, geografski njemu bliskih jezika, ma koliko mu oni bili slični. Proces je njegove standardizacije obilježen nazočnošću prestandardne pismene baštine, njezinih stavova i osobitosti, te posebnim stilističkim i kulturnim identitetom.

Dodatak, na općoj razini, bosanski, crnogorski, hrvatski i srpski pretežno su razumljivi široj populaciji. No, strukovni jezici se bitno razlikuju. Primjer. Kemijski element N je u hrvatskom dušik, a u srpskom azot.

2.5.2 Funkcijski koncept

Funkcijski se koncept najčešće prikazuje kao *crna kutija* (engleski *black-box*) s ulazima (e. *input*) i izlazima (e. *output*). Na temelju dosadašnjih istraživanja nije jasno kako opisati funkcijski koncept hrvatskoga jezika. Možda bi trebalo spomenuti određenje gramatike američkoga lingvisti N. Chomskoga kao kibernetičkoga ustroja u koji ulaze određeni temeljni jezični podaci - izolirane jedinice. Izlaz su iz takva sustava sve rečenice nekog jezika. Dakle, postoje temeljni podaci (osnovne rječničke jedinice), jedinice koje se prema unaprijed danim pravilima diobe jednostavnih rečenica na osnovne dijelove oblikuju u nove strukture. Preradba osnovnih podataka različitih razina (ovjerenih riječi, sintagmi) zbiva se u misaonom procesu. U cijelom procesu važna je sposobnost da se na temelju ograničena broja jezičnih jedinica proizvede beskonačan niz rečenica. Kreativnost je sposobnost takve proizvodnje. Ako se prihvati ta postavka, morala bi postojati pravila koja omogućuju automatski opis svakoga teksta.

5.2.5 Strukturni koncept

Konačno, najpoznatiji je strukturni koncept. Obilježje strukturnoga koncepta sustava jest da se sustav promatra kao cjelina međusobno povezanih elemenata. Cjelina je više od zbora njezinih elemenata zbog relacija (veza) među elementima. Bit predmeta koji se ispituje u njegovoj je stalnoj i nepromjenjivoj strukturi, koja je cilj i krajnja granica ljudske spoznaje. Švicarski lingvist F. de Saussure devedesetih je godina 19. stoljeća temeljito razradio postojanje sustava u jeziku. Utvrdio je da je jezik sustav znakova, zapazio je hijerarhijske odnose među znakovima u okviru opće teorije o njima. Strukturno promatrajući, sustav je skup odnosa među elementima, podsustavima, a pozornost je usmjerena prema odnosima koje elementi međusobno ostvaruju.

Tako se jezični znak poima kao cjelina koja u sebi sadrži plan izraza i plan sadržaja. Odnosno, jezični je znak struktura koja konkretnim ostvarenjem u nekome procesu označuje nešto iz objektivne stvarnosti. Svaki element jezika kao skupa raspoznaje se i definira s obzirom na sličnost ili različitost u odnosu na druge elemente istoga skupa. Sustav ne može biti definiran na negativno određenim veličinama. Ako je jezik sustav odnosa među jedinicama, unos svake nove jedinice u sustav mijenja strukturu.

Stalnost i nepromjenjivost sustava nužna je za postizanje točnih rezultata istraživanja. Kako jezik nije nepomičan i nepromjenjiv sustav, sinkronijski presjek sustava nužan je za njegovo spoznavanje. Taj je trenutni presjek statičan rezultat prethodne dinamike koja se tijekom vremena odvijala i izazivala promjene jezičnih struktura. Razbije li se kretanje na niz sitnih datosti, može se doći do spoznaje o njegovu nepostojanju. Ali, kretanje i promjene čine sustav dinamičnim. Pojam skupa nameće se i promatranjem svakoga pojedinačnog izričaja. Ako je jezik skup znakova, u svakome komunikativnom činu ostvaruje se jedan podskup jezika - poruka, njoj kao podskupu pripadaju sintagmatski odnosi koji se u govoru samo konkretiziraju. Taj podskup jedinstvena je i neponovljiva kombinacija elemenata glavnoga skupa kojemu pripada.

Strukturalizam je naglasio pojam skupa i mogućnosti primjene teorije skupova u lingvistici. Strukturalističko shvaćanje prema kojemu je jezik skup, aksiomatski određen kao sjedinjenje različitih objekata, elemenata u relevantnim odnosima (svaki je od elemenata također skup s pripadajućim relacijama) bilo je osobito pogodno za njezinu primjenu. U tom se kontekstu jezik definira kao skup, pojedini njegovi dijelovi kao podskupovi, a prepoznatljive jedinice u njima kao njihovi podskupovi. Takvo shvaćanje dopušta opisivanje odnosa među skupovima i preuzimanje pojmova kao unija, presjek, razlika. Upravo se niz definicija u Ropohlovoj sustavnosnoj teoriji tehnike bavi s navedenim pojmovima unije, presjeka itd.

Iz navedenoga je vidljivo da se mnoga tradicionalna jezična istraživanja i metodologije dodiruju u više točaka s Ropohlovom sustavnosnom teorijom tehnike.

2.6 Morfološka sistematika hrvatskog jezika

Ropohl je predložio morfološku sistematiku s određenim brojem karakteristika. Za svako je područje morfološka sistematika različita, pa je svoju sistematiku Ropohl nazvao izvodom iz morfološke sistematike. Morfološku sistematiku hrvatskoga jezika prikazuje tablica 1.

Tablica 1. Morfološka sistematika hrvatskoga jezika

KARAKTERISTIKA	POJAVNI OBLICI KARAKTERISTIKE			HRVATSKI JEZIK
POSTOJI KAO	KONKRETAN	APSTRAKTAN		APSTRAKTAN
PO NASTANKU	PRIRODAN	UMJETAN		UMJETAN
ODNOS PREMA OKOLINI	ZATVOREN	IZOLIRAN	OTVOREN	OTVOREN
HIJERARHIJSKA RAZINA SUSTAVA	NADSUSTAV	SUSTAV	PODSUSTAV	SUSTAV
VRSTA SUSTAVA	PROIZVODNI...		INFORMACIJSKI	INFORMACIJSKI
OVISNOST FUNKCIJE O VREMENU	STATIČAN		DINAMIČAN	DINAMIČAN
VRIJEDNOST ATRIBUTA U VREMENSKOM INTERVALU	KONTINUIRAN		DISKRETAN	KONTINUIRAN
STUPANJ ODREĐENOSTI	DETERMINISTIČKI		STOHAISTIČKI	STOHAISTIČKI
OVISNOST STRUKTURE O VREMENU	KRUT		FLEKSIBILAN	FLEKSIBILAN
BROJ PODSUSTAVA	JEDNOSTAVAN		KOMPLICIRAN*	KOMPLICIRAN
BROJ RELACIJA	JEDNOSTAVAN	KOMPLEKSAN*	IZRAZITO KOMPLEKSAN	IZRAZITO KOMPLEKSAN
PONAŠANJE	NESTABILAN		STABILAN	STABILAN

Jezik, pa i hrvatski ubraja se u apstraktne sustave. Svaki jezik je umjetni sustav, o čemu svjedoči Ropohlov iskaz. Umjetni sustavi oni su sustavi koji proizlaze na temelju zahvata čovjeka u vanjski svijet ili kao teorijske konstrukcije. Hrvatski jezik pravi je sustav koji čini niz podsustava, ali je i on podsustav u nizu sustava višega ranga. On je informacijski, stohastički i dinamičan sustav, a njegova je funkcija vjerojatno kontinuirana.

Hrvatski je djelomično fleksibilan, sastoji od brojnih podsustava, pa je kompliciran. Veze među tim podsustavima izrazito su brojne, pa je to veoma kompleksan sustav. * Označuje dodatak, strane riječi kompliciran i kompleksan su nužne i ne mogu se zamijeniti sa složen.

2.7 Zaključak o sustavnosnoj analizi

Norma u hrvatskome književnom jeziku nije potpuno stabilna. Pravopisna se norma mijenjala, a opet se raspravlja o nekim promjenama. Jezične su norme redovito uobličene u normirani jezik. Jezična norma dio je kulturne norme. Društva se odnose prema jezičnim normama kao prema normama, i kršeći ih, što i nije teško ako je norma nesređena, kaotična, opterećena izvan jezičnim trenucima. Jasno da time nisu iscrpljene sve mogućnosti opisa ovoga informacijskoga sustava.

Ono što zabrinjava da ove zakonitosti nisu upotrijebljene tijekom nedavno negiranja hrvatskog jezika. Pri tome postoji više tri uzroka izbjegavanju ovakve obrane samosvojnosti hrvatskog jezika. Globalni, zašto četiri prevoditeljska tima za nadsustav hrvatskog jezika. Regionalni napadi, a najopasniji su oni unutar granica hrvatske države.

3. Pomodnice

Pomodnice (buzzwords) su riječi koje su u trenutno u središtu pozornosti, popularne i često slengovske, pa i navedene u izvornom obliku poput *blockchain* ili *set mjera*, bili su sadržajem predavanja [9]. Neke su već objašnjene. U nastavku bit će objašnjene pomodnice: industrija, digitalizacija, zelena transformacija, sve iz polja je prirodno, vrednovanje djelatnosti i je li engleska riječ *manufacturing* pokrivena sve postupke pravljenja materijalnih tvorevina, Razmatrano u ovom dijelu teksta vrijedi za sve proizvođače hrane i pića, te za proizvođače neživih materijalnih tvorevina, poput izrade drvenih stolaca, plastično-metalnih kabela, digitalne opreme ili proizvodnje stakloplastičnih čamaca. Posebno, bit će navedeno ispravno prevođenje sve popularnije pomodnice, jednog slogana u jednoj predsjedničkoj kandidaturi. U međuvremenu umjesto zastarjelice STEM, uveden je STEAL.

3.1 Industrija

U posljednje vrijeme sve je postalo industrijom. I postoji sve više industrija. Postoje: Industrija W. Shakespearea, ali i Industrije E. Hemingweya, W. A. Mozarta i Mire Gavrana. Neke natuknice povezuju arheologiju i sociologiju s industrijom.

Nekoliko definicija industrije. Industrija, izvorno lat. *industria*; poslenost, radnost, prometnost, marljivost (M. Divković); marljivost, umješnost, djelatnost, radinost (S. Kukoleča); industry: industrija, privredna grana, marljivost, radinost, revnost (Ž. Bujas); grana proizvodnje ili trgovine, (*show business* –industrija zabave: kazalište, TV, film, koncerti, cirkus) – (V. Anić). Sintetizirana definicija glasi: Ukupnost radnog procesa kiber-fizičkog sustava kojem je cilj pretvaranje sirovina ili poluproizvoda u gotovi proizvod (I. Čatić, 10. svibnja 2017.).

Industrija se dijeli na: fizičku (keramička šalica, drveni stol, plastična vrećica), informatičku: *analognu* i *digitalnu*. Primjeri analogne informacijske industrije su: knjige, slike, putni nalozi. Digitalnu informacijsku industrije primjerice čine: bankovni nalog, računalni program, digitalna igra. Možda je najkompliciranija i najkompleksnija uslužna industrija, npr. turistička. Koja je mješovita digitalno-robotsko-fizička, dakle kiber-(netičko)-fizička industrija).

3.2 Digitalizacija

Digitalizacija nije samo pomodnica, ona je nužna već sada, a još više u budućnosti, postaje nužnost suvremene civilizacije. Omogućuje sve brže odvijanje procesa a time i optimiranje radnog procesa. Može time pridonijeti i smanjenju traga CO₂. Digitalizacija se temelji na uporabi umjetnog, informacijsko-energijskog tehničkog sustava (slika 1). Međutim u doba razmatranja raznih antropogenih utjecaja na klimatske promjene, treba navesti neke od najvažnijih činjenica. Na digitalizaciju će uskoro otpadati oko 20 posto ukupno potrošnje energije. Stvaraju se velike količine EE otpada (oprema prebrzo zastarijeva). Troši se vrijeme korisnika na *nužno* i *igrice* (jedna od najpropulzivnijih i po prihodu najisplativijih suvremenih djelatnosti). U Hrvatskoj 97 posto mladih (12–25 g.) – *gejma* (VL, 24.II.21.). Jedna od posljedica je digitalna demencija [10] i često debljina.

3.3 Vrednovanje djelatnosti

Sve važnijim postaje pitanje vrednovanja razvijenog proizvoda, proizvodnje ili održavanja i uporabe (slika 2). Na temelju koncepta vrednovanja tehnike (začeci 1985. i 1991.) i vrednovanja medicine (2001. i 2021.) poopćeno je vrednovanje na razinu djelatnosti. Za sada su autoru poznati samo Vrednovanje (umjetne) tehnike i Vrednovanje medicine.



Sl. 1. Blok shema umjetnog, informacijsko-energijskog tehničkog sustava

VREDNOVANJE DJELATNOSTI		
(Assesment of technology, Bewertung de Aktivität)		
OD IDEJE DO OPORABE		
KULTUROLOGIJSKO VREDNOVANJE		
Vrednovanje djelatnosti	Društveno – humanističko vrednovanje	
VREDNOVANJE (UMJETNE) TEHNIKE 2.0 (2020.)		
Tehnika (neživoga) Proizvodi i proizvodnja	Održavanje neživoga	Oporaba (raznolika)
VREDNOVANJE MEDICINE 2.0 (2021.)		
Tehnika Postupci i proizvodi	Održavanje stanja Zdravlje	Oporaba (spaljivanje, sahrana)

Sl. 2. Vrednovanje djelatnosti

3.4 Zelena transformacija - sve iz polja je prirodno

Mantrom su postali izrazi, sve iz polja je bio-, prirodno, itd. Vrijedi i za stoku. Nisu više potrebne npr. krave zbog njihovog visokog ekološkog traga, metana. Obrazloženo je u [11] neprihvatljivost takvo proglašavanje uzgojenih biljaka i životinja prirodnim proizvodima. Moguće je prihvatiti nazive s oznakom eko-proizvod. No, to znači da je minimirana proizvodnja sa štetnim sastojcima ili drugim utjecajima na klimatske promjene. Napad na uzgojenu stoku povezan je i s činjenicom da se proizvodi umjetno meso. Koje se praktički ne razlikuje od životinjskog mesa. Navedeni stavovi temelje se na činjenici da se opća tehnika dijeli se na prirodnu i umjetnu. Rezultat prirodne tehnike su šumsko voće i prirodne (divlje) životinje. Rezultat umjetne tehnike je uzgoj biljaka i životinja te artefakti. To je materijalna kultura. Postoji i informacijska - duhovna, danas sve učestalije nematerijalna kultura. S tim u vezi zanimljiva je misao iz Indije. »Umjetna tehnika je aproksimacija duhovnosti« (Technology as an Approximation of Spirituality, 16.11. 2021.).

3.5 Zastarjelicu, akronim STEM, treba zamijeniti STEAL [12].

Akronim ili složena kratica STEM znači u engleskom: *science, technology, engineering and mathematics*. Naši „stručnjaci” prevode to s 3 lažna prijatelja. STEM je za njih *znanost, tehnologija, inženjerstvo i matematika*. Pogriješno. Ispravno je: *prirodna znanost, informatika, tehnika i matematika*. Taj prijevod je prema njemačkom

MINT: *Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik*. Dakle: *prirodna znanost, informatika, tehnika i matematika*.

Međutim pokazalo se da se obrazovanje ne može temeljiti samo na kolegijima STEM-a. Već u prosincu 2016. tijekom jednog predavanja predstavljen je akronim STEAL. *Prirodna znanost, informatika, tehnika, art (umjetničko djelovanje) i jezici*. Jezici L – mogu biti formalni: matematika, logika, računalstvo te vizualni i auditivni. Tekst o tom akronimu objavljen je 2021. u SAD [13].

3.6 Optimirati umjesto optimizirati

U posljednje vrijeme sve učestalije, pa i lektori dopuštaju da se za postizavanje optimuma upotrebljava doslovni prijevod engleske riječi optimization, optimizacija. Umjesto optimirati, optimiranje i slične izvedenice.

Literatura

- [1] Čatić, I.: *U povodu 30. obljetnice objave napisa Tehnička terminologija*, *Strojarstvo* 45(2003)4-6, 173-177.
- [2] Čatić, I., Šarić, Lj.: *Prilog sustavnoj analizi hrvatskog jezika*, *Rasprave Zavoda za hrvatski jezik*, 20(1994), 19-30.
- [3] Čatić, I.: *Hoće li struka biti grobar hrvatskog jezika?* *Hrvatski fokus*, 26. svibnja 2021. <http://www.hrvatski-fokus.hr/2021/05/31951/>.
- [4] <https://crta.fsb.hr/prezentacija-ronna-g5-sustava-na-sajmu-medica/>, pristupljeno 21.12.2021.
- [5] Čatić, I.: *Je li moguća analiza hrvatskoga jezika teorijom sustava?*, *Zavod za hrvatski jezik*, Zagreb, 8. travnja 1992.
- [6] Ropohl, G.: *Eine Systemtheorie der Technik*, zur Grundlegung der allgemeinen Technologie, *Carl Hanser Verlag*, München, Wien 1979.
- [7] Čatić, I. i sur., *Analiza injekcijskog prešanja polimera teorijom sustava*, *Društvo plastičara i gumaraca*, Zagreb 1991.
- [8] Čatić, I., Knežević, A.: *Trojedinstvo informacije, energije i materije*, *Filozofska istraživanja*, 38(3)555-571(2018).
- [9] Čatić, I.: *Materijali i industrija 4.0*, *CEUP 2030 Central Europe Upstreaming for Policy Excellence in Advanced Manufacturing & Industry 4.0 towards 2030*, Zagreb. 30.11.2021.
- [10] Spitzer, M.: *Digitalna demencija*, *Ljevak*, 2018.
- [11] Čatić, I.: *Stop greenwashing with agricultural products*, *Academia Journal of Agricultural Research*, January 2013. <http://www.academiapublishing.org/ajar>.
- [12] Čatić, I.: *STEM ili STEAL*, *Kem. Ind.* 69 (5-6) (2020).
- [13] Čatić, I.: *From STEM to STEAL*, *Plasticstoday.com* Jun 7, 2021, <https://www.plasticstoday.com › industry-trends › stem-steal>.

Igor Čatić

Is the Profession Becoming a Graveyard of the Croatian Language?

Summary: The impetus for the topic was the invitation of the organizers of the forum *Blockchain technology for circular economy*. Title, English translation. Scientific policy increasingly supports such developments, the choice criteria for the advancement of members of the scientific and academic community into higher vocations. This results in the attitude that experts consider, adapting freakish terms to the Croatian language is the task of linguists. Vocational terminology must be created by experts, and linguists approve whether the solution is linguistically correct. Several examples of unnecessary introduction to the Croatian language, mostly English words, will be given.

Keywords: Influences on language, systemic analysis of the Croatian language, buzzwords

Boris Jagačić¹

Uloga pojedinca u razvoju industrije: Filip Jagačić i *Tekstilstroj*

Sažetak: Tvornica „Tekstilstroj“ osnovana je 1947. u Zagrebu. Od 1953. proizvodila je automate za bojenje tkanina, pletiva i vune u tri izvedbe. Nekoliko godina kasnije specijalizirala se za izradu strojeva za tkanje pamučnih i vunenih tkanina te je po belgijskoj licenci od 1961. proizvodila čunkovni tkalački stroj tipa *Prezident*, a tvornica je razvijala i vlastiti stroj s utkivnim šipkama. U razvoju Tekstilstroja, pa i domaće tekstilne industrije općenito, doprinos je dao i Filip Jagačić. On je osmislio uređaj što ga je Tekstilstroj patentirao pod nazivom *Prigradni automat za mijenjanje čunaka*. Ovom su se napravom stari, obični glatki razboji s gornjim udarom čunka dali automatizirati, čime je bitno povećana produktivnost tekstilnih tvornica. F. Jagačić je sudjelovao i u razvoju novih tekstilnih strojeva domaće proizvodnje. Ukupnom proizvodnjom od približno 1600 strojeva na godinu, Tekstilstroj sredinom 1960-ih postao glavni opskrbljivač jugoslavenskih tekstilnih tvornica tkalačkim strojevima. Nakon težih razdoblja koja su uslijedila, ali i novih uspona, Tekstilstroj je 1990-ih otišao na »put bez povratka«. Prestaju se proizvoditi tekstilni strojevi. Tvrtka koja je svojedobno zapošljavala 1000 radnika spala je na njih dvadesetak. Zgrada nekadašnje tvornice «Braća Ševčik», na uglu Grahorove i Ulice grada Mainza u kojoj se razvio Tekstilstroj, većim je dijelom srušena u siječnju 2014. Od tada se tamo nalazi stambeno-poslovna zgrada u čijem je kompleksu i trgovina «Spar».

Ključne riječi: Domaća tekstilna industrija, „Tekstilstroj“ Zagreb, Filip Jagačić, proizvodnja tekstila, tekstilni strojevi, „Tvorpam“, Tekstilni kombinat Zagreb, Tvornica strojeva i lijevaonica metala „Braća Ševčik“, Mariborska tekstilna tovarna

¹ autor iznosi svoja osobna mišljenja

Uvod

Tehnički muzej ‘Nikola Tesla’ je u veljači 2021. godine dobio novi eksponat - stroj zagrebačke tekstilne industrije ‘Tekstilstroj’.

„Zahvaljujući ustrajnosti prof. dr. sc. Željka Knezića i kolegama s Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, u našem fundusu je odnedavno vrijedan artefakt ‘Tekstilstroj-a’, Tvornice tekstilnih strojeva Zagreb. Radi se o listovnom tekstilnom stroju s čunkom proizvedenom 1960. godine. Zanimljivo je i da mehaničke dijelove pokreće elektromotor tvrtke ‘Rade Končar’, a stroj je donedavno još bio i u funkciji“, pisalo je u objavi od 4. veljače 2021. na službenom Facebook profilu Muzeja [1].



Sl. 1. Listovni tekstilni stroj s čunkom (1960.), Tehnički muzej Nikola Tesla, Zagreb

Vijest je izuzetno obradovala ovog autora. Njegov djed **Filip Jagačić** (Trnovec, 27. 4. 1906. - Zagreb, 30. 3. 1980.), sl. 2., sin Bolta i Agate Jagačić, bio je osoba koja je svojim znanjem i radom bitno doprinijela uzletu 'Tekstilstroja', time izravno i modernizaciji tekstilne industrije nekadašnje Jugoslavije.



Sl. 2. Filip Jagačić

Dok je još radio u Mariborskoj tekstilnoj tovarni (MTT) izumio je automat za tekstilni stroj radnog naziva *JAGFIL*. Rješenje je nosilo naziv i *Prigradni automat za ubacivanje potke*, a patentirano je kao *Prigradni automat za mijenjanje čunjaka*.

Njime su bitno povećani proizvodni kapaciteti i smanjena produkcija tkanina s greškom. Patent je 11. prosinca 1953. godine otkupio «Tekstilstroj» koji mu je ponudio i radno mjesto te se iz Maribora preselio u Zagreb. Za patent je dobio nagradu od tadašnjih milijun dinara. To je bilo dovoljno za kupnju pola kuće s tri stana te pripadajućim vrtom u elitnoj zagrebačkoj četvrti.



Sl. 3. Filip Jagačić (desno) 1954. godine

I. Putevima tekstilca

Filip Jagačić je u Varaždinu izučio metalski zanat i zaposlio se. Među ostalim radio je u *Tvornici vagona Kruševac* te u poduzeću 'Sjedinjeni paromlini' d. d. Bje-
lovar - podružnica u Pitomači. Već zarana, još kao mladić, zbog potrage za poslom,
bio je prisiljen mijenjati mjesta boravišta, pa i prebivališta. Zbog posla će nastaviti s
putovanjima do kraja radnoga vijeka, pa čak i nakon što je 1966. stupio u službeni
mirovinu kao zaposlenik tekstilne industrije 'Emin Duraku' iz Đakovice (Kosovo).

Zaposlenje koje je dobio 9. rujna 1927. u Tkaonici mariborske tekstilne tvornice
Varaždin (osnovana 1925.) [2], trajno je utjecalo na njegov radni put, jer je nakon toga
nastavio raditi isključivo u tekstilnoj branši. Uslijedio je angažman u «Brunner» - tek-
stilnoj industriji d.d. Čakovec te zagrebačkom «Tvorpamu», preteći Tekstilnog kombi-
nata Zagreb (TKZ) [3].

«Svjedodžba» koju je izdala „Brunner“ - tekstilna industrija iz Čakovca od 28.
veljače 1934. svjedoči o Filipu Jagačiću kao zaposleniku: »Imenovani je kod nas bio
zaposlen kao t. zv. Webmeister te je izvršavao svoje poslove na naše potpuno zado-
voljstvo, pa ga stoga možemo preporučiti svakome kao jednoga marljivoga i dobroga
stručnjaka. Imenovani napušta ovdašnje radno mjesto radi prestanka rada poduzeća«.



Sl. 4. Preporuka 'Brunner' - tekstilne industrije d.d. iz 1934. g

Ostale su sačuvane preporuke iz još nekoliko poduzeća, a u svakoj se, bez iznimke, navodi stručnost i predanost zaposlenika. Stoga i ne čudi da poslovne ponude nisu izostajale.

Više je godina, sve do veljače 1939. godine, bio zaposlen kao tkalački majstor u Prvoj međimurskoj tkaonici d.d. u Čakovcu, gdje je također dobio preporuku za zaposlenje. Nakon toga s obitelji seli u Maribor. Filip i supruga mu Marija te njihovi sinovi Ivan i Branko nastanit će se u mariborskom naselju Melje, tik uz gradsku industrijsku zonu u sklopu koje je bila i Mariborska tekstilna tovarna (MTT). Tvornica će nakon Drugoga svjetskog rata izrasti u najveću tvornicu tekstila u Jugoslaviji.

Postala je to i prva tvornica tekstila u Mariboru i Sloveniji koja je izvozila tkanine. Kombinat MTT se redovito pojavljivao na sajmovima u Jugoslaviji, zatim Čehoslovačkoj i Njemačkoj. Izvezio je u Italiju, Njemačku, Norvešku i Švedsku, Tanzaniju, Sudan, Saudijsku Arabiju, Jordan, Irak i Libanon [4].

2. Poduzeće koje zapošljava više od deset posto građana

Koliko je u bivšoj državi bila propulzivna tekstilna branša govori podatak da je MTT je nakon Drugoga svjetskog rata zapošljavao 3800 radnika, a njihov je broj 1960-ih godina porastao na 6500, što je iznosilo između 10 i 15 % tadašnje ukupne gradske populacije Maribora! [5].

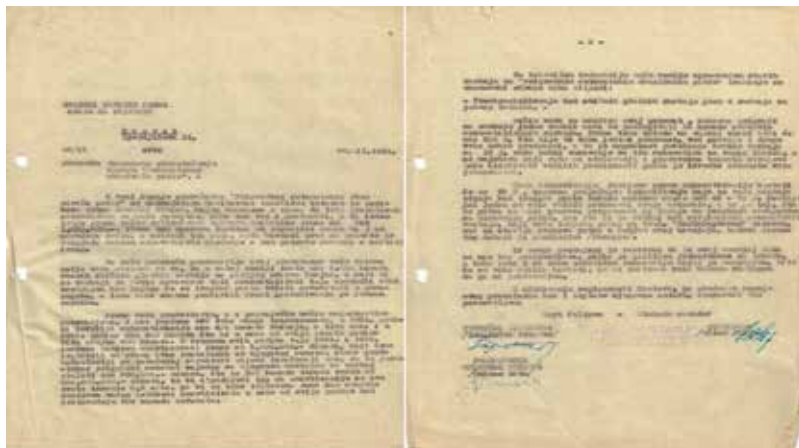
Filip Jagačić je u MTT-u obavljao vrlo odgovorne poslove. Bio je tamo vrlo cijenjen te je postao *viši industrijski obratovodja* (viši industrijski poslovođa). Tijekom boravka u Mariboru osmislio je navedeni patent *JAGFIL*. Bilo je to njegovo veliko postignuće. Izum je naposljetku prodao zagrebačkom 'Tekstilstroju', a nisu prekinute spona ni s MTT-om budući da će i mariborski tekstilni div koristiti njegov patent na svojim strojevima.

A koliko je taj izum bio važan za 'Tekstilstroj' svjedoči više dokumenata. Među njima je Ekonomsko obrazloženje kupnje »Automatskog ubacivača potke« kojega su 28. prosinca 1953. Gradskom narodnom odboru - Odjelu za privredu u ime 'Tekstilstroja' uputili direktor Julius Ešler, tehnički direktor Ing. Zdravko Pulko te predsjednik Upravnom odboru Mato Štimac:

»U vezi kupnje pronalaska *Prigradnog automatskog ubacivača potke* od nadmajstora Mariborske tekstilne tovarne iz Maribora druga JAGAČIĆ FILIPA, kojeg kupujemo, s time da isti pronalazak patentiramo na naše poduzeće kako smo već i postupili, a da istom drugu prema našem zaključenom ugovoru isplatimo iznos od Din. 1.000.000.-. Prema tom ugovoru imademo mu isplatiti odmah 50 % navedene svote, a ostatak tek onda kada Savezni ured za patente iz Beograda donese odgovarajuće

rješenje o tom patentu, odnosno o zaštiti istog.

Za naše poduzeće predstavlja ovoj pronalazak vrlo obimno polje rada obzirom na to da našoj zemlji imade oko 9.000 komada starih običnih glatkih razboja sa gornjim udarom čunjka, a koji bi se razboji sa nekim opravkama dali automatizirati t. j. opremiti ovim uređajem kod kojeg će se izmjena potke vršiti automatski u punom pogonu».



Sl. 5. Ekonomsko obrazloženje kupnje 'Automatskog ubacivača potke'

3. Velik interes za izum

U Obrazloženju se nadalje navodi kako za to već ima vrlo mnogo zainteresiranih te je u planu da se u iduće dvije godine napravi automatizacija na 800 strojeva te bi se iznos isplaćen za patent već time amortizirao.

Ističe se da je »front posluživanja« kod starih glatkih razboja četiri razboja na jednog radnika, dočim kada se montira ovaj automat jedan će radnik moći posluživati 12 takvih automatiziranih razboja. Drugim riječima, kako naglašava i Julius Ešler, riječ je o 300-postotnoj uštedi na radnoj snazi. Osim toga navedene su i druge »vrlo dobre prednosti«. Jedna od tih je mogućnost povećanja brzine razboja za 15 %, lako rukovanje automatom za samoga tkalca i jednostavni popravci.

Napominje se i da će se nakon automatizacije povećati i samo iskorištenje strojeva koje će se kretati oko 90 %, umjesto dosadašnjih 65 - 70 % radi zastoja stroja kod izmjene potke ručnim načinom.

»Postoji još jedna od vrlo važnih prednosti tog automata, a to je taj, što se potka ne mora posebno pripremati za tkanje na posebnom strojevima za nametanje potke, kao što je to slučaj kod originalnih automatskih razboja, koji vrše izmjenu potke po tzv. "Northropovom" sistemu, već se stavlja takva potka u čunjke ovog uređaja, kako-va direktno dolazi iz predionica (*Pincops*).

Iz svega prednjega je razvidno da će ovaj uređaj, kako za nas kao proizvođača, pošto je prilično jednostavan za izradu, a tako isto tako i za samu tekstilnu industriju kojoj namijenjen, biti od vrlo velike koristi, te mi smatramo vrlo važnim razlogom da ga mi proizvodimo«, dio je iz Obrazloženja.

U Dopuni ekonomskom obrazloženju od 15. veljače 1954. kojeg je također potpisao direktor 'Tekstilstroja' Julius Ešler navodi se da je već zaključen ugovor s Industrijom pamučnih tkanina 'Senta' za isporuku 200 komada prigradnih automata, ali i generalni remont njihovih strojeva te da su radovi već u toku.

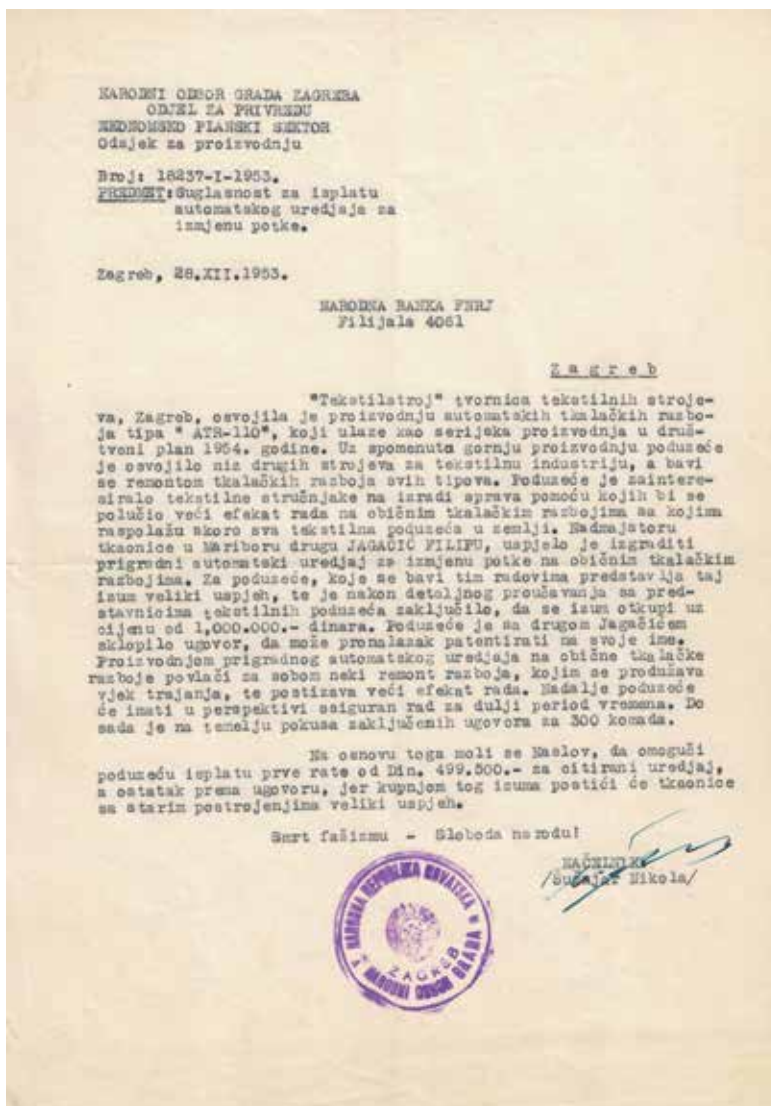
Kao ozbiljni interesenti navode se Tekstilna industrija 'Ratko Pavlović' iz Niša s kojom se treba zaključiti ugovor za radove na 110 razboja, a nakon te isporuke za još 300 strojeva.

Tu su i Tekstilna tovarna 'Šempeter' iz Savinjske doline kao ozbiljan interesent za generalni remont i automatizaciju 74 razboja. Interes za takve preinake na svojih 150 razboja iskazala je i Tekstilna industrija 'Ukrina' iz Dervente, dok mariborski MTT želi da se za njih što prije izradi 188 prigradnih automata s time da će remont na strojevima napraviti sami.



Sl. 6. Savjetnik za izgradnju tekstilnog stroja Filip Jagačić (stoji u sredini) između tekstilnih strojeva zagrebačkog poduzeća. Izvor: Privatni arhiv B. Jagačića

Narodni odbor Grada Zagreba - Odjel za privredu, Ekonomsko - planski sektor odmah je reagirao još na izvorni dopis iz 'Tekstilstroja'. Njegov načelnik Nikola Šušnjar još je istog dana na koji je datirano izvorno Ekonomsko obrazloženje, 28. prosinca 1953. dao suglasnost Narodnoj banci FNRJ da se Filipu Jagačiću isplati prva rata od 499.500.- dinara za »citirani uređaj, a ostatak prema ugovoru, jer kupnjom tog izuma postići će tkaonice sa starim strojevima veliki uspjeh«. To je samo još jedan dokaz u prilog važnosti izuma Filipa Jagačića.

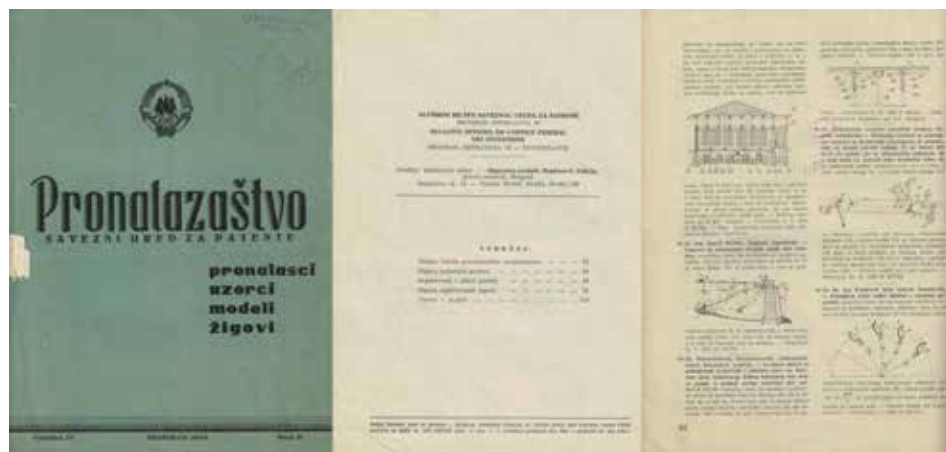


Sl. 7. Suglasnost za isplatu automatskog uređaja za izmjenu potke

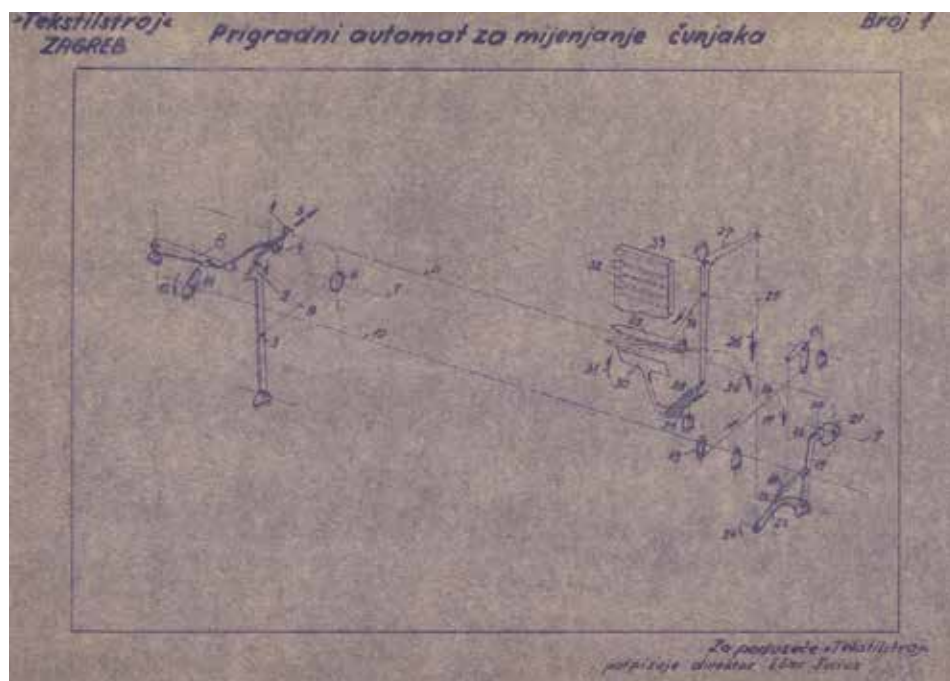


Sl. 8. Patentna isprava

Uprava za patente FNRJ je Patentnu ispravu izdala 31. srpnja 1954. Patentna prijava objavljena je na 92. stranici publikacije *Pronalazaštvo* br. II/1954. u kojem je priložen tehnički nacrt s popisom najvažnijih pripadajućih dijelova. Treba napomenuti da je patent prijavljen na tvrtku 'Tekstilstroj' jer je u Kupoprodajnom ugovoru od 11. prosinca 1953. u čl. II. prodavatelj (F. Jagačić) već ovlastio kupca ('Tekstilstroj') da prijavi u svoju korist i na svoje ime patent na taj pronalazak koji se vodio pod imenom *JAGFIL*



Sl. 9. Publikacija *Pronalazaštvo* iz 1954. u kojoj je na 92. str. dan djelomični prikaz Prigradnog automata za mijenjanje čunjaka



Sl. 10. Nacrt Prigradnog automata za mijenjanje čunaka

4. Opis rada prigradnog automata

Detaljan tehnički opis naprave dan je u spomenutom Kupoprodajnom ugovoru koji sadrži pet stranica.

Opisuje se da se primjenom *Prigradnog automata za ubacivanje potke* sam princip izmjene vrši pomoću vilice koje opipava potku tako da kada ta vilica ne do-dirne nit potke vrši se izmjena t. j. ubacivanje sljedećeg napunjenog čunka s potkom. Prethodno sam uređaj izbaci ispražnjen čunak u kutiju koja se nalazi na onoj strani stroja na kojoj je prigraden glavni automatski uređaj. Automatski uređaj služi za prigradnju na običnim tipovima starih razboja s gornjim udarom čunka, bez obzira na širinu istih, za tkanje tkanina s jednim čunkom sa sirovom ili jednobožnom potkom.

Prigradni automatski uređaj imao je zadatak da ne dopusti obustavu stroja radi ručnog postavljanja potke, nego da umjesto toga automatski izbaci ispražnjen čunak ili čunak s prekinutom potkom i ubaci iz magazina novi, čime se uklanja svaki neželjeni zastoj stroja.

»Prema tome, ta se izmjena vrši u punoj brzini i stroj nesmetano automatski radi dalje što predstavlja ogromnu privrednu korist, s obzirom na uštedu na vremenu i što utječe na znatno povećanje u proizvodnji. Taj prigradni automat za svoje djelovanje koristi se nastalim zaokretanjem osovine povezane sa automatom, koje je bilo uvjetovano radnom vilice prilikom nestajanja potke«, piše u tehničkom opisu patenta.

Pojašnjava se da vremenski redoslijed izbacivanja praznog ili načetog čunka zavisi od naročito oblikovanja kulise i da cijela naprava u svojoj pravilnoj vremenskoj funkciji biva dirigirana odgovarajućim kutnim smještajem ekscentra na donjoj pogonskoj osovini, koje je zapravo glavni faktori izmjene t. j. izbacivanje praznog i ubacivanje punog čunka.

Cijeli mehanizam se uglavnom sastoji od međusobno mehanički povezanih dijelova. Kako je navedeno, izmjene čunka vrše se u punom pogonu stroja koji zbog toga ništa ne gubi na svojoj brzini i produkciji. Opruga koja je povezana sa samim ekscentrom na donjoj osovini nije tako kruta da bi mogla oštetiti čunak, već ima svrhu da više ublaži pritisak kulise prilikom njenog zatvaranja te time mehanizam dobiva prednost što ne može uništavati čunke, a s njima i potku.

5. Uzlet mladog poduzeća

Zahvaljujući automatu Filipa Jagačića tada još mlada tvrtka 'Tekstilstroj' imala je već osiguran obiman posao modernizacije tekstilnih strojeva s područja cijele bivše države. Stoga se investicija od milijun dinara tvrtki itekako isplatila.

Tvornica tekstilnih strojeva osnovana je 1947. u Zagrebu. Nastala je iz više malih metalnih radionica sa zadatkom da usavrši proizvodnju domaćih strojeva za tekstilnu industriju. Pogon je bio smješten u bivšim prostorima Prvomajske, u Ulici Ive Lole Ribara (danas Prilaz baruna Filipovića). Ondje je pak prije 'Prvomajske' poslovala tvornica 'Braća Ševčik' osnovana 1922. koja je uoči II. svjetskog rata proizvodila strojeve za opremu tekstilne i kemijske industrije. Nacionalizirana je 1946. godine i nazvana 'Prvomajska'.

Godine 1953. 'Tekstilstroj' je počeo proizvoditi automate za bojenje tkanina, pletiva i vune u tri izvedbe, a početkom 1960-ih specijalizirao se za proizvodnju strojeva za tkanje pamučnih i vunениh tkanina. Godine 1961. počeo se po licenci belgijskoga poduzeća 'Picanol' proizvoditi razboj za tkanje pamučnih, sintetičnih i vunениh tkanina tipa *Prezident*. [6] Tada je Filip Jagačić u 'Tekstilstroju' radio kao savjetnik za izgradnju tekstilnih strojeva, slika 11.



Sl. 11. Filip Jagačić uz stroj *Prezident*.

‘Tekstilstroj’ se prostorima nekadašnje tvornice ‘Prvomajska’ koristio do kraja sedamdesetih godina, kad su svoje proizvodne pogone preselili na adresu Žitnjak b.b., čime prestaju proizvodne aktivnosti u nekadašnjoj tvornici ‘Braća Ševčik» [7].



Sl. 12. Ploča na ulazu u sjedište ‘Tekstilstroja’. Snimljeno 28. 7. 2008.

Tehnička enciklopedija međutim navodi da je njegovo preseljenje na Žitnjak, između pogona ‘Munje’ i ‘Prvomajske’ započelo 1964. godine, ali je lokacija u Ulici grada Mainza još puno dulje ostala kao upravno sjedište [6]. No, Filip Jagačić je u to doba, od 1963. godine, već radio za tvornicu tekstila ‘Emin Duraku’ iz Đakovice, odakle je umirovljen. Prema navodima članova obitelji, svoje usluge u mirovini pružao je i tvornici ‘Oroteks’ iz Oroslavlja.

Imao je prirodan dar i osjećaj za mehaniku te je bio kadar već i po zvuku stroja prepoznati da nešto ne radi kako treba. Volio je eksperimentirati. Posjedovao je sposobnost uočavanja nedostataka na postojećim konstrukcijama i slabih strana pojedinih tehničkih rješenja te je razmišljao o preinakama i poboljšanjima.



Sl. 13. Čunak - pepeljara koju je izradio F. Jagačić

U potvrdi o radnim mjestima koja je Filipu Jagačiću izdana radi utvrđivanja mirovine, koji potpisuje direktor kadrovskog sektora Željko Konjarek, navodi se sistematizacija radnih mjesta na kojima je radio u razdoblju od 1959. do 1963. godine. Zadnje mjesto na koje je ondje bio raspoređen, od 1. 7. 1963. do prestanka radnog odnosa u 'Tekstilstroju', 12. 12. 1963. bila je pozicija tekstilnog savjetnika u Razvojnom sektoru, radnom mjestu za koje se tražila visoka stručna sprema, kao i za ostala radna mjesta inženjera konstruktora u toj radnoj jedinici. Iako nije imao visoku stručnu spremu, zahvaljujući svom znanju i stručnosti većinu je svog radnoga vijeka proveo na radnim mjestima na kojima se ona tražila.

Prema usmenoj predaji članova obitelji, za otkup patenta za tekstilni stroj iz Njemačke mu je ponuđen još bitno veći iznos. Nuđeno mu je i zaposlenje u inozemstvu, ali se na to nije odlučio. Bio je očigledno zadovoljan aranžmanom s tvrtkom 'Tekstilstroj', a bilo mu je jako stalo i do razvoja domaće tekstilne industrije. Nije ga zanimala ni ponuđena visoka politička funkcija. Samo je htio raditi svoj posao u čemu je bio vrlo predan.

Bio je čovjek koji se razumio u svoj posao i čije se mišljenje slušalo. Tako je

išao u nadzor rada novog tekstilnog postrojenja na Kosovu, tada najmodernijeg takvog postrojenja na području Jugoslavije. To je postrojenje proizvodilo neočekivano mnogo škarta. Uspostavilo se da je poteškoće uzrokovao ljudski faktor te je problem brzo uklonjen.

Putovao je po Europi - Velika Britanija, Njemačka, Francuska, Italija, Mađarska, Češka, Poljska, Skandinavija... te po izvaneuropskim zemljama, Egiptu i Indoneziji. Pratio je trendove iz tekstilne industrije, a povremeno je s vodstvom poduzeća išao na službena putovanja te bi predlagao kakvu mehanizaciju i strojeve nabaviti, koje sirovine, odnosno materijale kupiti. Njegova se riječ, iako nije bio direktor, itekako uvažavala. Štoviše, bila je često presudna. Tadašnje vodstvo, točnije barem njegov dio, imao je toliko mudrosti da se ne miješa u posao ljudi koji znaju.



Sl. 14. Filip Jagačić (prvi slijeva) sa suradnicima. Izvor: Privatni arhiv Borisa Jagačića

U vrijeme preseljenja na Žitnjak u 'Tekstilstroju' je radilo približno 800 radnika. Sveukupno se proizvodilo oko 1600 strojeva na godinu, većinom razboja za pamuk i vunu čime je 'Tekstilstroj' postao glavni opskrbljivač jugoslavenskih tekstilnih

tvornica tkalačkim strojevima [8].

Asortiman je proširen 1970-ih, kada je započela proizvodnja mjernih uređaja koji su uz dijelove za tekstilne strojeve postali dio osnovne proizvodnje. Zbog toga se i naziv poduzeća promijenio u *Tvornica tekstilnih strojeva i mjernih uređaja*. Poslovanje se odvijalo na tri lokacije u Ulici Ive Lole Ribara, Koturaškoj ulici i na Žitnjaku.

6. Zastoj i nestanak tekstilne industrije

Do 1990-ih proizvedeno je oko 30 000 raznih tekstilnih strojeva.

Sredinom 1980-ih broj radnika iznosio je oko 1000, a početkom 1990-ih smanjio se na tek dvadesetak. Tijekom Domovinskoga rata poduzeće je radilo višecijevne bacače raketa za HV [6]. Poduzeće je još 2009. godine zapošljavalo nove radnike o čemu svjedoči oglas za radno mjesto kovinoglođača [9].

Potpuna transformacija prvobitne lokacije, na kojem je kasnije ostalo upravnog sjedište 'Tekstilstroja', dogodila se u siječnju 2014. kada je na uglu Grahorove ulice i Ulice grada Mainza (bivša Ive Lole Ribara) srušen ostatak tvornice 'Braća Ševčik', a time i 'Tekstilstroja'. Ovaj je čin uzburio zagrebačku javnost [10].



Sl. 15. Rušenje zgrade bivšeg 'Tekstilstroja', odnosno tvornice „Braća Ševčik“ 11. siječnja 2014. godine. Izvor: Zagrebačka industrijska baština / Facebook: <https://www.facebook.com/ZagrebačkaIndustrijskaBaština/photos/pcb.618911314842778/618905128176730>). Snimila: Ana Đorđević



Sl. 16. Tvornica 'Braća Ševčik' - radionica i ljevaonica, pogled s jugozapada, fotografija.
Izvor: MGZ, Zbirka fotografija, fotografskog pribora i razglednica

Srušeni objekt je bio reprezentativno djelo Srećka Florschütza (1882. – 1960.), graditelja kina Europa i Prolaza sestara Baković (Miškecova prolaza) u Zagrebu. Budući da taj zanimljivi primjer industrijskoga graditeljstva iz tridesetih godina prošlog stoljeća nije bio pod zaštitom, nakon protesta javnosti ipak je sačuvan i restauriran dio kompleksa u kojemu je bila peć ljevaonice metala, koja je i dominirala cijelim prostorom.



Sl. 17. Današnji izgled sačuvanog dijela objekta nekadašnje ljevaonice tvornice 'Braća Ševčik' koju je koristio i 'Tekstilstop'. Snimio: B. Jagačić, lipanj 2021.



Sl. 18. Stambeno-poslovni objekt na križanju Grahorove i Ulice grada Mainza. Snimio: B. Jagačić, lipanj 2021.

Nije bolje prošao još jedan kompleks u kojem je F. Jagačić radio. Smješten je nedaleko od sjedišta 'Teksitlstroja'. Riječ je o poduzeću za preradu pamučnih roba koju je pod nazivom Tvorница za pamučnu industriju d. d. („Tvorpam“) 1924. g. osnovao Bećanin Fellix Pollack von Parnegg [11].



Sl. 19. Na ruševinama Tekstilnog kombinata Zagreb izniknule su stambene zgrade. Snimio: B. Jagačić, lipanj 2021.

7. Uspomene: jedna ulica - tri tekstilna poduzeća

Zanimljivo je spomenuti da je samo jedna prometnica - bivša ulica Ive Lole Ribara bila jedna svojevrsna linija koja je povezivala čak tri poduzeća iz tekstilne branše. Riječ je uz TKZ i 'Tekstilstroj' i o tvornici 'Kamensko'. Svega jedan blok dalje, u Krajiškoj ulici, djelovala je i Domaća tvornica rublja (DTR). Nažalost, poznata je sudbina i te tekstilne tvornice.

DTR, industrija s tradicijom od 1914. godine u svojim je zlatnim vremenima, krajem 1970-ih zapošljavala čak 1600 radnika [12]. Bilo je pokušaja da ju se spasi, ali očito bezuspješno te marka sa znakom dimnjačara nije uspjela preživjeti kao brend. Još 2013. izrađen je Plan restrukturiranja u kojem je ukazano na veliki pad u malo-prodaji što je pak rezultiralo i dugogodišnjim nedostatkom ulaganja u prodavaonice i marketing [13].

Nažalost, tvrtka nije spašena. Godine 2016. u tvornici je bilo tek 19 zaposlenih, a 2017. prestala je s radom.

'Kamensko' je pak 1978. zapošljavalo je oko 2600 radnika, a s gotovo istim brojem zaposlenih nastavilo je uspješno poslovati i 1980-ih. Više od 60 % proizvoda izvozilo je na tržište Europe, Sjeverne Amerike, Afrike i Azije, od čega najveći dio u zapadnoeuropske zemlje.

U novim društveno-ekonomskim okolnostima 1990. stvoreno je jedinstveno društveno poduzeće Kamensko. Provedena je rekonstrukcija pogona rublja, a uz vlastite modne marke *Kaza* i *Prince* te *jeans* brend *Major* poduzeće je postalo vlasnik licence *Pierre Cardin* za proizvodnju i trgovinu ženskih i muških odjevnih proizvoda. Od 2005. godine pada prihod od prodaje u inozemstvu te slijedi kontinuirani pad proizvodnje, prihoda i broja zaposlenih. Stečaj je otvoren 2010., a 'Kamensko' je 2018. godine prestalo formalno djelovati [14].

Kad se sve zbroji, četiri navedena tekstila poduzeća na svom su vrhuncu zapošljavala čak oko 7000 ljudi! Znači da je u nekom trenutku 7000 pojedinaca i/li njihovih obitelji dobivao u ono vrijeme redovite prihode što nije zanemarivo.

- 'Tvorpam' (TKZ) gotovo 2000 zaposlenih (1960. - 1964.)
- 'Kamensko' 2600 zaposlenih (1978.)
- DTR 1600 zaposlenih (krajem 1970-ih)
- 'Tekstilstroj' 1000 zaposlenih (sredinom 1980-ih).

Zaključak

Kako bi na propast tekstilne industrije Zagrebu, ali i u Hrvatskoj, gledao veliki borac za razvoj domaće tekstilne industrije i proizvodnje, Filip Jagačić, nije teško zaključiti. Bio je aktivan u vrijeme najveće ekspanzije te industrije. Vjerovao je u kvalitetu domaćih tekstilnih proizvoda i smatrao da postoji veći izvozni potencijal. Pogotovo da bi se moralo poraditi na izvozu gotove konfekcije. Hrvatske tkanine prodavale su se primjerice i u Engleskoj, gdje su od njih krojili skupocjene kapute i na koje su šivali logotipove svojih poznatih marki. Nije podnosio produkciju škarta ni bacanje materijala.

Bio je vrlo okupiran poslom, nastojao je osigurati dobar život svojoj obitelji. Tako je svojim sinovima omogućio studiranje. Njih obojica su kasnije ostvarila uspješne karijere; Ivan je diplomirao strojarstvo, a Branko ekonomiju. Međutim, kad je Filipu Jagačiću prestao radni odnos, intenzivno je počeo razmišljati o nanesejoj mu nepravdi. Naime, planirao da će s tri kupljena stana stambeno zbrinuti sebe, svoje sinove i njihove obitelji. No dva od tri stana su nacionalizirana, a samo je jedan vraćen nakon dugogodišnje, iscrpljujuće sudske borbe. Ponekad bi zamišljeno sjedeći u blagovaonici prizemnog stana gledao prema stropu. Nažalost, useljavanje svoje obitelji u gornji stan na prvom katu nije doživio.

Otužan je i završetak mnogih tekstilnih tvornica sa zagrebačkog područja. Nameće se pitanje, zar neki objekti nisu mogli biti sačuvani. Npr. barem jedan od njih je mogao biti pretvoren u tekstilni muzej u kojem bi, bez sumnje, imali što za pokazati.

Zagreb je, naime, tijekom 20. stoljeća imao brojne tekstilne tvornice i poduzeća, kako iz područja primarne proizvodnje tekstilnih pređa, tkanina, pletiva tako i izrade odjeće, a neke od njih objedinjavale su i više tih tekstilnih djelatnosti. Bilo ih je toliko da ih je teško sve pobrojiti [15].

Nažalost, u stečajevima, čiji se uzroci vežu uz pretvorbu i privatizaciju uz 'Kamensko' su nestali primjerice i NIK, 'Vesna', 'Endi international' (bivša tvornica 'Nada Dimić'), Tvornica svile, Modna konfekcija, Predionica, 'Megatex' i dr.

Početkom 1990-tih tekstilna i odjevna industrija zajedno zapošljavale oko 120 000 radnika na području Republike Hrvatske. U Zagrebu je u to vrijeme u ovim djelatnostima radilo oko 28 500 radnika... [16].



Sl. 20. Filip Jagačić u centru Zagreba

Zahvala

Zahvaljujem Dr.-Ing. Viktoru Simončiću na inicijalnom poticaju na pisanje o ovoj temi, mr. sc. Marijanu Ožaniću na dodatnom poticaju da se prošireni tekst o Filipu Jagačiću i 'Tekstilstroju' priredi za 10. Simpozij PIFT, prof. emer. Igoru Čatiću na vrijednim sugestijama glede pripreme teksta te Katarini Jagačić na popunjavanju rupa u sjećanju i korisnim informacijama koje su u njemu iskorištene.

Hvala i prof. dr. Zvonku Benčiću koji je pokazao interes za ovu temu te spremnosti da joj se posveti prostor dok je traženje popratne dokumentacije još bilo u postupku i s neizvjesnim ishodom.

Literatura:

- [1] https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=4949400285134824&id=335802459827986, pristupljeno 4. veljače 2021.
- [2] <https://tehnika.lzmk.hr/cateks-cakovec>, pristupljeno 3. kolovoza 2021.
- [3] <https://ttt.hr/povijest/>, pristupljeno 8. srpnja 2021.
- [4] <http://industrijskapespot.si/mariborska-tekstilna-tovarna---opis.html/>, pristupljeno, 2. kolovoza 2021.
- [5] <https://nonument.org/nonuments/mtt-maribor-textile-factory/>, pristupljeno, 16. lipnja 2021.
- [6] <https://tehnika.lzmk.hr/tekstilstroj-zagreb/>, pristupljeno 4. veljače 2021.
- [7] Mirna Ratkajec: Zaštita industrijske baštine na primjeru Tvornice strojeva i ljevaonice metala „Braća Ševčik“, dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/133059>.
- [8] <https://tehnika.lzmk.hr/tekstilni-strojevi/>, pristupljeno, 2. veljače 2021.
- [9] <https://www.posao.hr/oglas/kovinoglodac-kovinoglodacica/225570/>, pristupljeno 15. lipnja 2021.
- [10] <https://www.index.hr/vijesti/clanak/Jedan-od-najljepjih-primjera-industrijske-arhitekture-u-Zagrebu-Rusi-se-tvornica-brace-Sevcik/721422.aspx>, pristupljeno, 2. kolovoza 2021.
- [11] Branko Nadilo i Krešimir Regan, Mjesto početka i procvata industrijskog razvoja, *Građevinar* 1/2016, str. 73.-75.
- [12] <https://zg-magazin.com.hr/odlazi-jos-jedan-podsjetnik-na-zagrebacku-industriju/>, pristupljeno 2. kolovoza 2021.
- [13] <https://zg-magazin.com.hr/slijede-otkazi-i-u-dtr-u/>, pristupljeno 2. kolovoza 2021.
- [14] <https://tehnika.lzmk.hr/kamensko/>, pristupljeno, 2. kolovoza 2021.
- [15] <https://zg-magazin.com.hr/srusena-nekadasnja-prodavaonica-u-sklopu-kamenskog/>, pristupljeno 2. kolovoza 2021.
- [16] Prof. dr. sc. Ružica Čunko, Doc. dr. sc. Željko Knezić, Prof. dr. sc. Tanja Pušić i Prof. emer. dr. sc. Ivo Soljačić, Godišnjak 2019. Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, str. 98.
- [17] <https://zg-magazin.com.hr/samo-u-tekstilnoj-industriji-do-danas-izgubljeno-vise-od-100-000-radnih-mjesta/>, pristupljeno, 3. kolovoza 2021.

Mirko Gojić

Metalurška proizvodnja u nekadašnjoj Željezari Sisak

Sažetak: U radu je prikazano djelovanje i značenje Metalurškog kombinata (MK) Željezare Sisak kao najveće i najvažnije metalurške tvornice u Republici Hrvatskoj (RH). Željezara Sisak je izrasla iz Talionice Caprag u Sisku (1938.). Opisana je izgradnja (od 1948.) Željezare Sisak, njene rekonstrukcije i modernizacije (1960.-1987.), proizvodnja metalurških poluproizvoda (sirovo željezo, čelik itd.) i gotovih proizvoda (šavne i bešavne cijevi, odljevci itd.), njena društvena uloga i odgovornost za lokalnu zajednicu, plasman njenih proizvoda, te učinci privatizacije u vrijeme tranzicije u razdoblju 1991.-2019. Željezara Sisak je imala karakteristike integralne željezare uključujući masovnu proizvodnju koksa, sirovog željeza i čelika, kao i valjanih poluproizvoda i gotovih proizvoda uz znatnu vlastitu metaloprerađivačku industriju. Primarni, i u svijetu prepoznatljivi, proizvodi Željezare Sisak su bile šavne i bešavne cijevi. Željezara Sisak je bila treća željezara po opsegu metalurške proizvodnje, ali i jedini proizvođač bešavnih cijevi u Jugoslaviji. Imala je veliki značaj za današnju Sisačko-moslavačku županiju, a krajem 1989. godine ukupno je zapošljavala 13.992 radnika i proizvodila oko 2,07 milijuna tona metalurških poluproizvoda i proizvoda. Sisačka *željezara* je imala bitnu društvenu ulogu i odgovornost za lokalnu zajednicu, njegujući solidarni način života. Nakon II. svjetskog rata do 1990. godine ona je za svoje zaposlenike izgradila ili kupila 3530 tzv. društvenih stanova i podijelila preko 4000 kredita za individualnu izgradnju kuća, sudjelovala u sufinanciranju brojnih infrastrukturnih i komunalnih projekata, obrazovnih, kulturnih, sportsko-rekreativnih i inih djelatnosti za lokalnu i širu zajednicu. Nažalost, Željezara Sisak je odavno nestala iz više razloga: ratna stradanja, neuspješne tri privatizacije (ruski konzorcij Trubo impex i Mechel Steel grupa, te američka tvrtka CMC), neodgovarajuća briga nadležnih državnih institucija itd. Danas je nekadašnja Željezara Sisak svedena na proizvodnju elektročelika (doduše u moderniziranim i dijelom na novim postrojenjima) i u privatnom je vlasništvu (talijanska tvrtka Danieli) koja od 2012. godi-

ne posluje pod nazivom ABS Sisak d.o.o. U prerađivačkom smislu jedino još posluje njemačka tvrtka Rohrwerk Max Hütte Sisak d.o.o., a prerađuje čelične cijevi i pribor iz uvoznih čeličnih cijevi, zapošljavajući svega nekoliko desetak djelatnika. Ostale brojne druge tvrtke nastale privatizacijom proizvodnih i uslužnih cjelina bivše Željezare Sisak su nestale. Stoga je metalurška proizvodnja ostataka izvorne Željezare Sisak u 2019. godini svedena, po proizvodnji čelika (oko 69.000 t) na razinu između 1955. (46.900 t) i 1956. (82.500 t) godine, uz oko 200 zaposlenih, što je za oko dva puta manje od broja zaposlenika u Talionici Caprag (preteča Željezare Sisak) u prvoj godini (1939.) njenog rada (oko 400 zaposlenika).

Ključne riječi: metalurgija, Talionica Caprag, Željezara Sisak, sirovo željezo, čelik, šavne i bešavne cijevi

Uvod

Grad Sisak ima višetisućljetnu povijest i oduvijek je imao vrlo važnu političku, gospodarsku i društvenu ulogu u središnjem prostoru Republike Hrvatske (RH), a posebno ga karakterizira izrazita prometna povezanost koja je vrlo bitna za industrijski razvoj [1]. Područje današnje Sisačko-moslavačke županije (SMŽ) ima dugu rudarsku i metaluršku tradiciju. Rudno bogatstvo Zrinske, Trgovske i Petrove gore pružalo je solidnu osnovu za razvoj metalurgije. Grad Sisak nije slučajno odabran kao centar metalurgije u RH. Sisak, osim duge metalurške tradicije imao je i niz ostalih prednosti (blizina od oko 100 km rudnika limonitne rude željeza iz Ljubije u Bosni i Hercegovini, odlična povezanost vodenim, cestovnim i željezničkim putem, dostupnosti radne snage iz Banije, Korduna i Bosanske krajina, blizina luke Rijeka i metaloprerađivačke industrije i velikih potrošačkih centara u Zagrebu, Karlovcu, Rijeci itd.). U radu je prikazano djelovanje i značenje Metalurškog kombinata (MK) Željezare Sisak kao najveće i najvažnije metalurške tvornice u Republici Hrvatskoj (RH) koji je izrastao iz Talionice Caprag u Sisku (1938.). Opisana je izgradnja (od 1948.) Željezare Sisak, njene rekonstrukcije (1960.-1987.) kao i proizvodnju i plasman metalurških poluproizvoda (sirovo željezo, čelik itd.) i gotovih proizvoda (cijevi, cijevni lukovi, odljevci itd.) uključujući i tranziciju i djelovanje sve do 2020. godine. Također je istaknuta i društvena uloga i odgovornost Željezare Sisak za razvoj lokalne i šire društvene zajednice.

¹ Stavovi izneseni u referatu su osobna mišljenja autora, nisu obvezujući za poduzeće / instituciju u kojoj je autor zaposlen te se ne moraju nužno podudarati sa službenim stavovima poduzeća / institucije.

I. Talionica Caprag, preteča Željezare Sisak (1938.-1948.)

Na ideju ing. Miroslava Tomca (1897.-1941.) osnovana je Talionica Caprag (1938.), a osnivač i financijer je Rudarsko udruženje Talionica Caprag. Utemeljitelji i početni vlasnici Rudarskog udruženja Talionice Caprag su bili: trgovac (zakupnik soli) i gospodarstvenik Vladimir Radan (1893.-1988.), zagrebački urar i pučki književnik Janko Matko (1898.-1979.) i Miroslav Tomac, ing. metalurgije [1]. Izgradnja talionice Caprag započela je 19. srpnja 1938. godine (slika 1). Visoka peć (VP) 1 je izrađena po nacrtima ing. M. Tomca (sa zavarenim plaštom kao originalnom izvedbom). VP je agregat za proizvodnju sirovog željeza redukcijom rude željeza [2]. Prema boji prijelomne površine sirovo željezo može biti bijelo i sivo. Bijelo sirovo željezo namijenjeno je za proizvodnju čelika (željezna legura s do 2 mas. % ugljika), a sivo za proizvodnju lijevanih željeza u ljevaonicama.



Sl. 1. Izgradnja Talionice Caprag tijekom 1938. godine, (ing. M. Tomac u sredini fotografije)

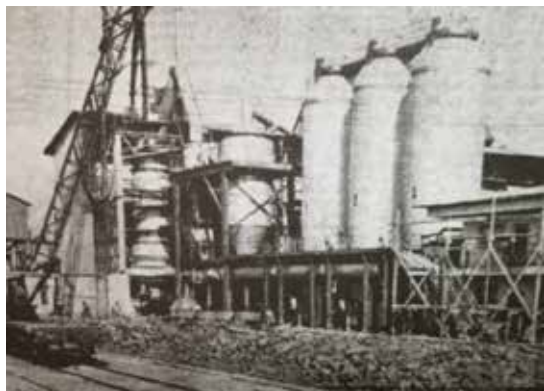
Talionica Caprag je upaljena 20. kolovoza 1939. godine, a svečano je puštena u rad 27. kolovoza 1939. godine (potekla prva talina sirovog željeza), a zapošljavala je oko 400 radnika [1]. Planirani dnevni kapacitet je bio 40 t sirovog željeza. Do kraja 1939. godine proizvedeno je 330 t bijelog sirovog željeza [3]. Iako je planirani dnevni kapacitet VP bio 40 t proizvodnje, prema dnevnim izvještajima [1] se, u razdoblju 26.9.-19.10.1939. proizvodilo od 27,3 do 36,5 t, primarno zbog preniske temperature predgrijanog zraka, slabog čišćenja visokopećnog plina itd. Talionica Caprag je, u industrijskom

smislu, prvi pogon crne metalurgije na području današnje RH. U to vrijeme Talionica Caprag je bila četvrta po veličini, a treća po godišnjem kapacitetu (25000 t sirovog željeza) u Kraljevini Jugoslaviji, ali je bila najveća talionica u Banovini Hrvatskoj. U početku rada talionice bili su brojni tehnički problemi (nezadovoljavajuće čišćenje visokopećnog plina, puhaljke za zrak nisu davale dovoljnu količinu zraka itd.). Početkom 1940. godine počelo se ulagati sve više kapitala u rekonstrukciju i usavršavanje čišćenja plina postavljanjem mokrog prečištača, a za fino čišćenje plina je postavljen dezintegrator domaće izrade. Sve je to doprinijelo povećanju dnevnog kapaciteta na 60 t proizvodnje sirovog željeza. Korištene sirovine za proizvodnju sirovog željeza su rude željeza iz Banije (hematit iz Bukovice i limonit iz Bešlina), limonit i siderit iz Ljubije, hematit iz Vareša, Ruda kraj Samobora itd., a koks se uvezio (Češka, Poljska,

Njemačka) i dopremao lađama riječnim prometom, a potom uskotračnim željezničkim kolosijekom do Capraga, predgrađa grada Siska.

U Talionici Caprag se prvo proizvodilo bijelo, a kasnije i sivo sirovo željezo. Bijelo sirovo željezo iz talionice Caprag se izvozilo u druge željezare za proizvodnju čelika (Jesenice, Ravne i Štore u današnjoj Sloveniji, a nešto u tvrtke Sartid-Smederevo u današnjoj Srbiji i Mannesmannröhren Werke Düsseldorf u Njemačku itd.). U 1940. godini je proizvedeno 19561 t godine bijelog sirovog željeza, koje se primarno otpremilo za potrebe slovenskih željezara. Talionica Caprag je u to vrijeme zapošljavala prosječno oko 470 radnika. Kasnije su nastavljena dodatna ulaganja u opremu VP, tako da je kapacitet VP I povećan na 68 t dnevne proizvodnje.

Rad Talionice Caprag za vrijeme II. svjetskog rata (1941.-1945.) odvijao se u otežanim uvjetima uz česte prekide zbog nedostatka rude željeza iz Ljubije, koksa, ugljena, otežanih i prekinutih prometnih pravaca, nedostatka radne snage itd. Za vrijeme dok je radila tijekom II. svjetskog rata Talionica Caprag je proizvodila dnevno oko 70 t sirovog željeza, npr. u mjesecu srpnju 1943. godine proizvodnja je iznosila 2174 t sirovog željeza, odnosno prosječno 73 t tijekom 24-satne proizvodnje [1]. Procjenjuje se da je za vrijeme povremenog rada za vrijeme II. svjetskog rata Talionica Caprag proizvela oko 40.000 t, uglavnom bijelog sirovog željeza. Rad VP I je prekinut 3.



Sl. 2. Talionica Caprag nakon obnove kao posljedice II. svjetskog rata

lipnja 1944. godine, a potpuno je obustavljen 5. studenog 1944. godine. Talionica je „životarila“ do kraja II. svjetskog rata prodajom zaliha sirovog željeza i preostalih sirovina. Zbog povećanih potreba za sirovim željezom i čelikom nakon II. svjetskog rata pristupilo se obnovi Talionice Caprag (slika 2).

VP I je obnovljena te je 1. svibnja 1946. godine poteklo prvo sirovo željezo. Njenom obnovom povećan je dnevni kapacitet na početku na 76 t bijelog sirovog željeza, a kasnije i na 82 t proizvodnje. Najveći problem je bila

nabava koksa, jer se u predratnoj državi nije ni proizvodio, a bilo je velikih problema s uvozom. No unatoč toga, do kraja 1946. godine proizvedeno je 18.887 t bijelog sirovog željeza, što je samo za 0,674 t manje od predratne proizvodnje (1940.). Vremenom je rastao nivo proizvodnje tako da je već 1947. godine proizvedeno 27.577 t sirovog

željeza (10,6% više od planiranog). Povećavao se i broj zaposlenika tako da je krajem 1947. iznosio oko 500. Na saveznoj razini donesena je odluka o izgradnji nove željezare u Sisku. Stara VP 1 je nastavila proizvoditi bijelo sirovo željezo sve do 1955. godine, kada je u njoj te godine proizvedeno 16.367 t bijelog sirovog željeza. VP 1 je bila u funkciji do 25. studenog 1955. godine kada je ugašena zbog dotrajalosti i preskupog održavanja. Nakon rekonstrukcije ponovno je VP 1 aktivirana 25. travnja 1959. godine za preradu crvenog mulja i preradu/reciklažu piritnih izgozetina [4]. Stara VP 1 je, paralelno s VP 2 i VP 3, proizvodila bijelo i sivo sirovo željezo sve dok nije definitivno zatvorena 1969. godine.

2. Željezara Sisak (1948.-1991.)

Nakon II. svjetskog rata donesena je odluka da se tijekom obnove postojeće Talionice Caprag izgradi kompletno nova željezara. Željezara Sisak (ŽS), kao državno privredno poduzeće, osnovana je 31. listopada 1946. godine. Obnova i upravljanje crnom metalurgijom u to vrijeme se odvijalo u okviru tzv. petogodišnjih planova, a upravljanje radom željezara preuzela je Generalna direkcija crne metalurgije Jugoslavije (GDCMJ). Grad Sisak je bio optimalno rješenje kao centar metalurgije u Republici Hrvatskoj (RH) i definitivno je najbolja odabrana lokacija od svih jugoslavenskih željezara [5]. Sisak je, osim duge metalurške tradicije i prednosti navedenih u u poglavlju 1 imao i niz dodatnih prednosti: dobave prirodnog plina iz moslavačkog područja (1953.-1954.), blizine auto ceste: Zagreb-Beograd (1963.), osnivanje Metalurškog odjela u Sisku Tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (1960.), dostupnosti električne energije iz Termoelektrane Sisak (1970.) itd.

Prvi radovi na izgradnji nove ŽS su započeli 22. veljače 1948. godine izgradnjom prometnica i temelja za nove VP. U ŽS se proizvodilo bijelo (za proizvodnju čelika) i sivo sirovo željezo (do 1973.) za proizvodnju odljevaka u ljevaonici. Izgradnja ŽS je započela u nepovoljnim ekonomskim (nedostatak financijskih sredstava, investicijske opreme, tehničke dokumentacije itd.) i političkim okolnostima (sukob sa SSSR-om, Rezolucija Inforbira od 28. lipnja 1948.). Izgrađene su prvo dvije VP volumena 123 m³ (poprečnog presjeka gnijezda 3 m²). Domaćim znanjem izgrađena su sva pomoćna postrojenja i prostori (predgrijači



Sl. 3. Visoka peć Željezare Sisak

zraka, rudni dvor za skladištenje sirovina i koksa, energana itd.), osim postrojenja aglomeracije (izgrađena 1955. godine). VP 2 je puštena u rad u 12.31 sati 29. studenog 1949., a VP 3 „potpaljena“ je 29. studenog 1950. godine (slika 3). U gradnji postrojenja nove željezare su sudjelovale brojne domaće tvrtke: „Đuro Đaković“, Tehnika, Viodukt itd. U 1951. godini je proizvedeno 90710 t bijelog i 7800 t sivog sirovog željeza, uz 1747 zaposlenika. ŽS je primarno za proizvodnju sirovog željeza koristila rudu željeza (limonit) iz Ljubije, kao i rudu željeza iz Bešlinca (do 1967. godine).

Izgradnja valjaonice bešavnih cijevi (VBC) u ŽS je započela 1948. godine s tri valjaoničke linije-pruge za cijevi vanjskog promjera 21,3-355,6 mm. Montažu opreme i postrojenja su provodili talijanski montažeri, ali i domaći. Laka pruga (LP) je svečano puštena u rad 29. studenog 1952. godine, a proizvodila je cijevi vanjskog promjera 21,3-101,6 mm. Univerzalna pruga koja se sastojala od srednje (SP) i teške pruge (TP) puštena je svečano u rad 29. studenog 1953. godine. SP i TP VBC-a su radile naizmjenično jer su koristile istu zagrijevnu peć (kružna peć kapaciteta 16 t/h), zajedničku prešu za bušenje i egalizir-stan te isti pogonski elektromotor za pilger valjke [6]. Oprema je kupljena iz uvoza (Italija, Švicarska itd.), a financiranje je bilo budžetskim federalnim i republičkim sredstvima, a manji dio iz reparacije ratne štete do kraja 1953. godine. Za sve tri pruge VBC-a ŽS odabrana je pilger-tehnologija. Tehnološki proces proizvodnje bešavnih cijevi pilger-postupkom započinje zagrijavanjem uložka na temperaturu plastične prerade u kružnim pećima s rotacijskom podnicom. Osnovna karakteristika pilger-postupka je da se iz zagrijanog uložka toplom preradom na preši za bušenje, zatim na uređaju za tzv. koso valjanje (egalizir-stan) i valjanjem na pilger stanju, tj. kombinacijom toplog kovanja i valjanja parom valjaka promjenljivog presjeka

dobiva toplovaljana bešavna cijev. Valjanje prve bešavne cijevi u ŽS je provedeno 26. studenog 1952. godine na LP u 23.35 sati (slika 4).



Sl. 4. Prvo valjanje bešavnih cijevi u Željezari Sisak

Tim pokusnim valjanjem su dobivene 132 bešavne cijevi vanjskog promjera 69 mm, od kojih su samo dvije bile odbačene kao neprihvatljive. Zaslugu za to ima i Željezara Jesenice koja je isporučila prvoklasni čelični uložak (gredice). Time je ŽS počela proizvoditi bešavne cijevi kao svoj glavni, i u svijetu godinama prepoznatljivi, proizvod kojeg je diljem svijeta isporučivala sve do prestanka svoje proizvodnje bešavnih cijevi (2011.). Osnovne karakteristike postrojenja, izvedba, tijekom tehnološkog procesa slični su za sve tri pruge VBC-a. Na LP VBC-a su se, za razliku od SP i TP, kao uložak koristile gredice (predvaljani

čelični poluproizvod). Na SP su se kao uložak koristili ranije klasično lijevani ingoti (kvadratnog i osmerokutnog presjeka), a kasnije (od 1973.) najčešće kontinuirano lijevani blumovi osmerokutnog presjeka (232-294 mm). Kalibracijom nakon kalibrir peći (slika 5) na kalibrir stanu dobivale su se gotove cijevi vanjskog promjera 101,6-182 mm. Na TP su se koristili klasično lijevani ingoti (ranije), a od 1973. godine kontinuirano lijevani poluproizvodi različitih formata (kvadratni i poligonalni) za dobivanje cijevi vanjskog promjera 182-355,6 mm. Proces završne obrade bešavnih cijevi na sve tri pruge je bio sličan, a sastojao se od hlađenja cijevi, ravnjanja, obrade krajeva cijevi, hidro-ispitivanja, kontrole cijevi (kvaliteta površine i dimenzije). S obzirom da je VBC vremenski prije izgrađen od čeličane (iako je stručno metalurški gledano trebalo biti obrnuto) pojavio se problem neusklađenosti proizvodnje jer se za valjanje čelika u bešavne cijevi moralo nabavljati čelične poluproizvode.



Sl.5. Kalibrir peč valjaonice bešavnih cijevi u Željezari Sisak

Izgradnja čeličane s dvije Siemens-Martinove (SM) peći tipa Maerz-Boelens kapaciteta po 70 t (korisna površina kupke od 41 m²) započela je 1949. godine. U to je vrijeme SM postupak bio primaran postupak proizvodnje čelika u svijetu taljenjem metala u tzv. otvorenom ognjištu, primjenom predgrijanog zraka i goriva [2]. Prva SM peč u ŽS puštena je u pogon 29. studenog 1954., a druga 29. studenog 1955. godine. Proizvodnja sirovog čelika u 1955. godini je bila 46,9 kt, a već 1956. godine iznosila je 82,5 kt. Sirovine za proizvodnju SM čelika su bijelo sirovo željezo (tekuće ili kruto), pripremljeno staro željezo (čelični otpad), ruda željeza, vapno, gorivo (mazut), kisik itd. Tehnološki proces se sastojao od ulaganja sirovina, taljenja, rafinacije itd. Čelik se ispuštao u lonac (slika 6), a onda ulijevao u kokile različitih formata (isključivo do uvođenja kontinuiranog lijevanja 1973. godine), a kasnije primarno postupkom kontinuiranog lijevanja. Proizvodili su se obični ugljični i kvalitetni ugljični čelici, niskolegirani čelici itd. Uz SM peći za proizvodnju čelika izgrađeni su i ostali prateći pogoni: kisikana (1952.), energana (1956.) itd. Ljevaonica sivog lijeva je puštena u pogon 1954., a čeličnog lijeva 1955. godine. Proizvodnja ljevaonice u sastavu ŽS je do 1960. godine primarno bila za podmirivanje potreba za priborom za lijevanje (kokile i livne ploče od sivog lijeva) za SM čeličanu ŽS (5100-5800 t/godinu).



Sl. 6. Lijevanje čelika u lonac iz Siemens-Martinove peći u Željezari Sisak

Nova ŽS zauzimala je površinu oko 1,8 mil. m², tj. 10 puta veću površinu nego Talionica Caprag. Za vrijeme izgradnje ŽS to je bilo jedno od najvećih gradilišta u Jugoslaviji u razdoblju između 1. i 2. petogodišnjeg plana. Kontinuirana ulaganja i izgradnja postrojenja rezultirali su da je 1958. godine ŽS proizvela **117,5 kt** sirovog željeza, **102 kt** sirovog SM čelika i **56,3 kt** bešavnih cijevi. Kao što i proizvodni [3] ukazuju počeo se pojavljivati problem neusklađenosti kapaciteta (prodavalo se sirovo željezo i čelik drugim željezarama jer se nije imalo dovoljno vlastitog valjaoničkog kapaciteta). S druge strane ŽS nije mogla proizvoditi čelične grede kao uložak za LP VBC-a, nego ih je kupovala od drugih željezara. Prva

pocinkovnica u ŽS je izgrađena 1958. godine. Postrojenje je isporučila i montirala austrijska firma Ruhtner, godišnjeg kapaciteta 12 kt. U 1959. godini je počela izgradnja i proizvodnja troskonit-bloketa (iz troske kao nusproizvoda) s 84,5% uloženi vlastitih sredstava. Proizvodnja tih bloketa je trajala u razdoblju od 1959. do 1976., a najveća je bila 1966. godine kada je proizvedeno 3 milijuna komada. Nakon izgradnje osnovnih pogona izgrađeni su prerađivački pogoni (1958.-1959.) kojim se širi proizvodni asortiman s ciljem dorade i finalizacije cijevi. Na odjelu TP VBC-a instalirana je 40 tonska vučna klupa za vučenje cijevi maksimalne duljine 14,5 m. Posebno je važan dio prerađivačkog pogona vezan na proizvodnju bešavnih cijevi za naftnu industriju. ŽS je osigurala API (American Petroleum Institute) žig (nomogram) čime je imala ovlaštenje od API-a za upotrebu API žiga za sve cijevi za naftnu industriju (za eksploataciju i transport nafte i prirodnog plina). Instalirano je postrojenje za izradu navoja na cijevima i spojnica, postrojenje za podebljavanje krajeva cijevi i pomoćna postrojenja, što je omogućilo izradu crpnih cijevi s podebljanim i nepodebljanim krajevima, zaštitnih i provodnih cijevi s navojem i skošenim krajevima. Temeljem toga je 1959. godine proizvedeno 21 kt naftnih cijevi prema API standardima. Krajem 1950.-ih godina dolazi do izražaja nerentabilnost metalurške proizvodnje, posebno zbog malog kapaciteta VP i SM peći i visoke specifične potrošnje koksa (1040-1048 kg/t sirovog željeza), energije itd., nego što je to u ostalim europskim državama. Stoga se shvatilo da se mora pristupiti intenzifikaciji proizvodnih procesa, uklanjanju neusklađenosti u proizvodnji i proširenju kapaciteta. Počinju pripreme planova (1959. i 1960.) za rekonstrukciju i proširenje kapaciteta u cilju povećanja produktivnosti kako bi se moglo

konkurirati na domaćem i međunarodnom tržištu. Rekonstrukcija, modernizacija i razvoj ŽS se odvijao kroz tri faze ili razdoblja [7].

2.1 Prva faza rekonstrukcije Željezare Sisak (1960.-1967.)

Rekonstrukcijom dviju VP, koja je započela 1960. godine, povećan je njihov pojedinačni volumen s 123 m³ na po 135 m³ (poprečni presjek gnijezda 3,33 m²) i povišena je temperatura predgrijanog zraka itd. Rekonstrukcija obje VP je financirana vlastitim sredstvima ŽS u iznosu od 84,5%. Radovi na rekonstrukciji ostalih postojećih i izgradnji novih kapaciteta u ŽS započeli su 1961. godine na osnovi projekata vlastitog *Konstrukcionog biroa* koji je osnovan iste godine u Zagrebu. Rekonstruirane su obje SM peći (1966.), a kapacitet je povećan s 70 na 150 t sirovog čelika za svaku peć. Počelo se s uvođenjem mazuta, povećane su količine uvedenog prirodnog plina i kisika. U VBC-u osposobljena su dva nova pogona u prerađivačkom pogonu: proizvodnja čeličnih boca za plinove (1962.) i proizvodnja čeličnih cijevih lukova (1963.). ŽS je proizvodila čelične boce (18-50 l) od 1962. do 1970. godine, s najvećom proizvodnjom u 1966. godini od 19.800 komada. Kasnije je ta proizvodnja preseljena u tvornicu „Đuro Đaković“ u Slavanskom Brodu. Proizvodili su se i cijevni lukovi (promjera 25-219 mm) od 1963. godine, a njihova proizvodnja preseljena je u Novsku 1979. godine. Do 1967. godine ljevaonica je primarno proizvodila pribor za lijevanje čelika i program čeličnog lijeva namijenjen službi održavanja za ŽS, a od 1968. godine ljevaonica prelazi i na specijaliziranu proizvodnju s orijentacijom na tržište. Ljevaonica je imala dvije kupolne peći i jednu elektrolučnu peć za proizvodnju odljevaka.

ŽS se uključila u proces modernizacije izgradnjom nove valjaonice traka i gredica (VTG) i valjaonice šavnih cijevi (VŠC), izgradnjom (1966.) nove elektrolučne peći (ELP) za proizvodnju kvalitetnijeg čelika. Osim toga proširena je i/ili izgrađena nova pomoćna oprema (energana, transformatorska stranica, novi parni kotao kapaciteta 60 t/h, kompresorska stanica zraka, itd.). U početku su osnovno postrojenje VTG-a činili potisna peć za zagrijavanje uloška (klasično lijevani ingoti kvadratnog i pavokutnog oblika, a kasnije konti-slabovi i konti-blumovi), duoreverzivni stan (blooming-postrojenje), kontinuirana pruga (do listopada 1976. godine s pet valjačkih duostanova za proizvodnju toplovaljane trake minimalne debljine 2 mm i maksimalne širine 400 mm). Na blooming-postrojenju su se proizvodile kvadratne gredice (110x110-150x150 mm) i predtrake koje su se kasnije valjale u trake (slika 7).



Sl. 7. Toplovaljana traka u valjaonici traka i gredica u Željezari Sisak



Sl. 8. Selas peći u valjaonici traka i gredica u Željezari Sisak

Posebna karakteristika blooming-postrojenja je automatsko programiranje reverziranja i manipulacije pri valjanju. Dobivene gredice su se transportirale na LP VBC-a za proizvodnju bešavnih cijevi, a toplovaljane trake su se namatale na kolute i služile su kao uložak za VŠC. Prvi ingot na blooming-postrojenju izvaljan je 23. studenog 1963. godine, da bi se 1964. godine provodio probni rad i uhadavanje VTG-a. Dana 23. studenog 1963. godine zavarena je prva šavna cijev u VŠC-u ŽS. Tehnološki proces u VŠC-u započinjao je odmatanjem trake s koluta, ravnanjem i obrezivanjem početaka, poprečnog zavarivanja (spajanje krajeva da se osigura kontinuirani proces proizvodnje šavnih cijevi). Sustavom parova valjaka postupno se oblikovala cijev koja se uzdužno zavarivala (do sredine 1971. godine elektrootpornim postupkom zavarivanja, a nakon toga pomoću visokofrekventnog postupka zavarivanja na osnovi induciranih struja). Vanjski višak zavara skidao se strojno reznim alatom. Nakon toga šavne cijevi prolaze kroz kalibraciju i zagrijavaju se (slika 8) za pripremu za toplo izvlačno reduciranje, tj. za konačnu fazu tople prerade i obrade.

Prva šavna cijev je 'propuštena' kroz izvlačno-reducirni stan 31. siječnja 1964. godine. Pri tome se istovremeno reducira promjer i debljina stijenke uz istodobno provođenje postupka normalizacije kao toplinske obrade što je bio jedinstveni postupak proizvodnje šavnih cijevi u Jugoslaviji. Oprema (blooming-postrojenje, reducir peći itd.) nabavljena je iz uvoza. Pogoni VTG (kapacitet oko 240 kt) i VŠC (kapacitet oko 75 kt šavnih cijevi) pušteni su svečano u pogon 27. studenog 1964. godine. Godine 1967. montirane su i puštene u rad škare francuske tvrtke „Somenor“ za rezanje toplovaljane trake širine 135-475 mm, debljine 1,5-6,35 mm i čvrstoće 392-588 MPa.

Nova ELP kapaciteta 25/30 t po talini (do 45 kt čelika godišnje) tipa Tagliaferri puštena je u pokusni rad 21. veljače 1966. godine (slika 9). ELP je primarno postupak proizvodnje čelika pretaljivanjem pripremljenog starog željeza ili čeličnog otpada, iako je u to vrijeme radila s uloškom koji se sastojao iz bijelog sirovog željeza i čeličnog otpada.⁸ ELP se napaja električnom energijom preko transformatora velike snage, a ulaganje bijelog sirovog željeza je pomoću livnog lonca, a ulaganje pripremljenog starog željeza pomoću tzv. uložnih košara. U ELP su se proizvodili kvalitetniji čelici (plemeniti ugljični čelici, čelici za izradu cijevi za naftnu industriju itd.). Izgrađena je i automatizirana kisikana (1966.) kapaciteta 1000 Nm³/h, sa čistoćom kisika od 99,7%, kao i ostala postrojenja potrebe za takvom proizvodnjom. Navedenim zahvatima po-

većan je godišnji kapaciteti za proizvodnju sirovog čelika u čeličani ŽS na 300 kt (255 kt SM čelika i 45 kt kvalitetnijeg elektročelika za cijevi).

Navedenom modernizacijom riješena je dotadašnja neusklađenost u proizvodnji čelika i valjaoničkih kapaciteta kao i nedostatak gredica za LP VBC-a. Tijekom 1965. godine proizvedeno je 54,7 kt toplovaljanih gredica (uložak za LP VBC-a) i platine (poluproizvodi debljine 13-40 mm i širine 250-410 mm) te **62 kt** toplovaljane trake (uložak za VŠC). U prvu fazu rekonstrukcije ŽS uloženo je oko 16 % vlastitih sredstava, a ostatak su bila kreditna sredstva. Dovođenjem I. faze rekonstrukcije povećani su kapaciteti i proizvodnja ŽS te sniženi specifični proizvodni troškovi. Povećan je izvoz poluproizvoda (trake, gredice) i proizvoda (šavne i bešavne cijevi, cijevni lukovi itd.). Prema proizvodnim podacima za 1967. godinu, tj. nakon završetka prve faze rekonstrukcije proizvodnja cijevi povećana je za 1,9 puta u odnosu na proizvodnju u 1960. godini.

2.2 II. faza rekonstrukcije Željezare Sisak (1968.-1973.)

U ŽS se shvaćalo da se bez investiranja i proširenja kapaciteta te podizanja kvalitete proizvoda ne mogu zadovoljiti potrebe na domaćem, a posebno ne na međunarodnom tržištu. Rekonstrukcijom obje VP (2 i 3) povećan je volumen na 202 m³ po svakoj peći, što je povećalo proizvodnju sirovog željeza za 20-25 %. Rekonstruirana su postrojenja za pripremu rude željeza, poboljšani su režimi rada aglomeracije (nove Greenewalt tave za prženje uloška na aglomeraciji) itd. Rekonstrukcijom SM peći 2 i intenziviranjem procesa proizvodnje pomoću veće količine kisika, promjenom u formatima ingota, te uvođenjem postrojenja za kontinuirano lijevanje čelika (25. svibnja 1973.) znatno je povećan tehnički kapacitet proizvodnje čelika u čeličani na 360 kt sirovog čelika. Kontinuirano lijevanje se provodilo na dva uređaja s po tri „žile“ čiji je radijus zakrivljenosti bio 11 m (slika 10).



Sl. 9. Elektrolučna peć Željezare Sisak iz 1966. godine



Sl. 10. Postrojenje za kontinuirano lijevanje čelika u Željezari Sisak

Dobiveni čelični kontinuirano lijevani poluproizvodi su bili različitog oblika (blumovi, slabovi itd.) s kvadratnim, pravokutnim i osmerokutnim presjecima. Kontinuirano lijevani poluproizvodi su se transportirali u valjaonice, a klasično lijevani ingoti su se prije valjanja trebali čistiti (plameno, brušenjem) radi uklanjanja podpovršinskih i površinskih grešaka. Navedenim rekonstrukcijama proizvodnja sirovog čelika je povećana s 263,6 kt u 1968. godini na 331 kt u 1974. godini. Uvođenjem kontinuiranog lijevanja u čeličani potrebe za livnim priborom i pločama te kokilama znatno su smanjeni pa se ljevaonica sve više preorijetira na čelične odljevke, kao i na odljevke iz obojenih metala. Tako npr. 1975. godine proizvodnja čeličnog lijeva je bila oko 6,8 kt u usporedbi s proizvodnjom do 1970.-ih godina kada je proizvedeno 2-2,5 kt čeličnog lijeva. Proizvodni program ljevaonice je proširen i na maloserijsku i pojedinačnu proizvodnju masivnijih odljevaka od čeličnog lijeva (ugljični, visokolegirani itd.), odljevke obojenih metala (kositrena, aluminijska i olovna bronca itd.). Tehnološki proces ljevaonice započinjao je izradom tzv. sintetičke kalupne mješavine na novom automatiziranom postrojenju, te izradom kalupa na liniji s kalupilicama na principu treskanja s dopritiskom. Za taljenje su se koristile dvije elektrolučne peći kapaciteta 2,5/3,0 t/talini i 5,5/6,0 t/talini (za čelične odljevke) i peć za taljenje obojenih metala.

Instalirana je nova potisna peć u VTG-u i uređaj za visokofrekventno (VF) zavaranje u VŠC-u itd. Izgrađena je i nova (godišnji kapacitet 60 kt) cinčaonica (prva cijev je pocinčana 22. sječnja 1970. godine) neposredno uz VŠC (uloženo je 26,8% vlastitih sredstava), što je dodatno unaprijedilo i povećalo proizvodnju. Kemijsko-tehnološki postupak vrućeg pocinčavanja (tzv. 'suhi postupak') je osiguravao pocinčavanje cijevi duljine 5-7 m. Proizvodnja kolčaka (cijevnih spojnica) je uvedena 1970. godine. Pocinčavanje cijevi i cijevnih spojnica je postupak površinske obrade koji se sastoji od kemijske pripreme, uranjanja u kadu rastaljenog cinka, opreme za izvlačenje iz Zn-taline, ispuhivanja, ravnjanja i tehničke kontrole. Stara pocinkovaonica je radila do 1970. godine. Godine 1973. u okviru VŠC-a montiraju se nove škare koje mogu rezati toplovaljanu traku širine do 1,5 m, a stare škare su se prebacile u Prerađivački pogon (1973. i 1974.) za njegove potrebe. Proizvodnja šavnih cijevi (crne i pocinčane) u 1973. godini povećana je više od dva puta od proizvodnje u 1966. godini, tj. povećana je na 120 kt.

Proizvodnja bešavnih cijevi u 1972. godini je bila 78,9 kt, što je bilo blizu optimalnog kapaciteta u to vrijeme. Razdvajanjem univerzalne pruge (sredinom 1973.) odvojene su SP i TP u VBC-u. Za TP izgrađena je nova kružna peć kapaciteta 27 t/h, nova preša za bušenje i egalizir-stan, a zadržan je stari elektromotor, a za SP instaliran je novi elektromotor. Povećan je proizvodni kapacitet VBC-a s 81,5 na 154 kt bešavnih cijevi. Veliki dio bešavnih cijevi je prolazio različite faze finalizacije. Jedna od najznačajnijih je obrada cijevi za naftnu industriju na API-odjelu za crpne (tubing), zaštitne (casing) i provodne (line) cijevi. Finalizacija se sastojala od pripreme krajeva za narezi-

vanje (podebljavanje crpnih cijevi novim indukcijskim uređajem za zagrijavanje krajeva), narezivanje navoja na cijevima (crpne, zaštitne i navojne provodne cijevi), odnosno iskošavanje krajeva na provodnim cijevima. Jedna od finalizacija bešavnih cijevi je bila i proizvodnja cijevnih lukova vanjskog promjera 25-219,1 mm na hidrauličkim prešama. U tzv. starom prerađivačkom pogonu se provodila hladna prerada bešavnih i šavnih cijevi na vučnim klupama. Na dva postrojenja (tzv. profilirke) su se proizvedile i precizne šavne cijevi pomoću hladnog oblikovanja čeličnih traka za dobivanje okruglih, kvadratnih, pravokutnih cijevnih profila (profilirka 1: cijevi promjera 10-20 mm, a profilirka 2: cijevi promjera 16-63,5 mm). Preradbeni kapaciteti su povećani izgradnjom nove profilirke (40 kt) i peći (Humbert peć) za tzv. bijelo žarenje (primjena zaštitne atmosfere) cijevi (1971.) u Prerađivačkom pogonu. Navedenom II. rekonstrukcijom bitno je povećana proizvodnja, tako da je u 1974. godini ukupna metalurška proizvodnja bila za 1,5 puta veća, a proizvodnja cijevi za 1,8 puta veća u odnosu na 1966. godinu. Nakon ove rekonstrukcije ŽS pojavile su se i nove neusklađenosti od kojih je najveća da proizvedena količina čelika nije bila dovoljna za povećanje prerađivačkih kapaciteta (nedostatak čelika u 1974. godini je oko 95 kt čelika). Krajem 1973. godine počela se planirati tzv. III. faza rekonstrukcije, s težnjom osiguravanja vlastitog koksa (jer su se počeli pojavljivati problemi s neredovitom isporukom koksa za ŽS iz koksa-re u Lukavcu iz BiH) kako bi se zaokružila potpuna integralnost tehnološkog procesa.

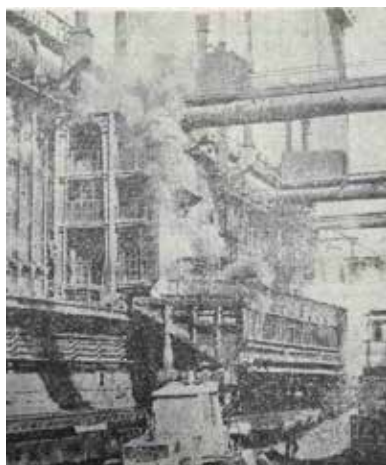
U želji da se poboljša poslovanje unutarnja organizacija ŽS često se mijenjala u skladu s razvojem tehnološkog procesa i društveno-ekonomskih odnosa i okolnosti. Od 1. siječnja 1973. godine pristupilo se novoj reorganizaciji, umjesto prijašnjih radnih jedinica osnovano je 40 osnovnih organizacija udruženog rad (OOUR) u okviru ŽS. Sva sredstva su prenesena na OOUR-e koji su postali i pravni subjekti, s napomenom da ŽS zajednički nastupa na domaćem i međunarodnom tržištu.

2.3 Treća faza rekonstrukcije Željezare Sisak (1974.-1991.)

U razdoblju 1973.-1976. ŽS je investirala vlastita sredstva iz tzv. poslovnog fonda te su izgrađeni: dekapirnica traka (uklanjanje površinskog odgora nastalog u proizvodnji trake pomoću otopina kiselina), nova profilirka III (proizvodnja preciznih šavnih cijevi promjera 32-88,9 mm hladnim oblikovanjem čeličnih traka) i kisikana (3500 Nm³/h), rekonstruirana je konti-pruga u VTG-u, intenziviran je tehnološki proces u čeličani itd. Rekonstrukcija pruge VTG-a je uključivala povećanje s pet na sedam valjačkih stanova na konti-pruzi čime se povećala kvaliteta i proširio dimenzionalni asortiman trake (debljina trake 1,5-6,35 mm, a širina trake je 210-440 mm) [3]. Osnovni ciljevi prvotne ambiciozne III. faze rekonstrukcije i modernizacije su bili izgradnja: koksare, nove VP, konvertorske čeličane, nove VBC manjih i srednjih dimenzija, rekonstrukcija TP VBC-a, postrojenja za proizvodnju preciznih cijevi hladnom preradom, te instaliranje niza drugih preradbenih, energetske, transportnih

kapaciteta itd. Plan je bio da se 1980. godine proizvede 2,32 milijuna tona, a 1985. da se proizvede 4,37 milijuna tona metalurških poluproizvoda i proizvoda.

III faza modernizacije ŽS je planirana i uvrštena u srednjeročnom planu razvoja crne metalurgije u razdoblju 1975.-1980. na republičkoj i saveznoj razini. Realizacija projekta modernizacije ŽS se prolongirala i na naredna razdoblja (1981.-1985.) i (1986.-1990.). Uvidjevši da nema stvarne podrške za realizaciju projekta u ŽS se pristupilo redukciji prvotno planiranih investicija koje su svedene na dvije neophodne u tada novom srednjoročnom planu razvoja SR Hrvatske (1986.-1990.): izgradnja novog VBC-a godišnjeg kapaciteta 200 kt bešavnih cijevi i elektrolučne peći godišnjeg kapaciteta od 300 kt sirovog čelika. Nažalost, tzv. III. faza je samo djelomično realizirana: koksara u Bakru (1978.), Valjaonica preciznih čeličnih cijevi (1982.), aglomeracija (1987.), dekapirnica traka, profilirka, nova kisikana, te metaloprerađivački pogoni u Glini, Dvoru, Novskoj, Hrvatskoj Dubici itd. Izgradnja Koksare u Bakru je ostvarena prema naj-suvremenijoj tehnologiji u pogledu tehnološkog procesa i zaštite okoliša u to vrijeme (slika 11).



Sl. 11. Koksara Bakar iz 1978. godine

Uključivala je proizvodnju koksa postupkom suhe destilacije ugljena, što je bio vrlo složen (posebno s ekološkog stajališta) investicijski zahvat (koksna baterija sa 65 peći) s dimnjakom visine 252 m te s podzemski cjevovodom (podvodni tunel) za dopremu ugljena s jedne na drugu stranu bakarskog zaljeva u duljini 360 m (prvi te vrste u svijetu i u Jugoslaviji). Dana 19. siječnja 1978. godine 'potpaljene' su peći koksne baterije. Tehnološki proces zahtijevao je zagrijavanje vatrostalnog bloka u trajanju 75 dana do probnog puštanja koksare u rad. Za to vrijeme su se dovršavala ostala postrojenja u okviru koksare. Koksara je puštena u probni rad u proljeće 1978. godine s kapacitetom od 850 kt metalurškog koksa. Osim inozemnih kredita (oko 40 %),

domaćih bankovnih kredita (35 %), ŽS je sudjelovala s oko 20 % vlastitih sredstava u investiciji Koksare Bakar. U pogonu Hladna prerada pušteno je u rad (27. siječnja 1978.) postrojenje za proizvodnju hladno vučenih cijevi.

Složeni sustav u ŽS koji se vremenom razvijao i širio zahtijevao je i organizacijske promjene. Tako je od 1. siječnja 1978. godine ŽS reorganizirana u složenu organizaciju udruženog rada (SOUR) s 10 radnih organizacija (RO) s ukupno zaposlenih 11074 djelatnika. Najvažnija je RO Metalurška i valjaonička proizvodnja s 4022

zaposlenika, koja je predstavljala zaokruženu integralnu tehnologiju cjelinu od proizvodnje koksa, sirovog željeza i čelika do proizvodnje i prerade čeličnih cijevi.

Valjaonica preciznih cijevi (slika 12), poznata kao „Nova hladna prerada“, puštena je u pogon 22. lipnja 1982. godine a sastojala se od četiri hale (29.000 m² sa skladištem uloška i gotove robe, kemijskom pripremom cijevi, postrojenja za hladno vučenje



Sl. 12. Valjaonica preciznih cijevi u Željezari Sisak iz 1982. godine

i dva postrojenja za hladno kovanje (pilgerovanje) cijevi s nizom pomoćnih uređaja i postrojenja za toplinsku obradu, kontrolu kvalitete, izradu pribora itd. Oprema je nabavljena iz Njemačke, a oko 2/3 opreme je bilo iz domaće proizvodnje. Navedenom investicijom, sa starim prerađivačkim progonom koji je bio kapaciteta 17 kt, povećan je ukupni kapacitet na 42 kt hladno prerađenih cijevi. Instalirane su i dvije 'prolazne peći' sa zaštitnom atmosferom za tzv. bijelo žarenje (sa zaštitnom atmosferom od oksidacije i odugličjenja). Hladno su se prerađivale cijevi promjera 8-130 mm. Godine 1983. instalirano je novo postrojenje za doradu naftnih cijevi-API odjel za izradu navoja na podebljanim i nepodebljanim krajevima cijevi i navijanje spojnica. Za plinotijesne spojeve od njemačke tvrtke Mannesmann kupljena je licenca BDS i TDS spojeve (cijevi za INA Naftaplin Zagreb i Naftagas Novi Sad). Nakon rekonstrukcije 1985. godine TP (zamjena pilgera-1984., rekonstrukcija izlaznog kanala pilgera i rekonstrukcija kalibrirne peći itd.) povećana je godišnja proizvodnja na TP VBC-a u 1988. godini (68,3 kt cijevi I. klase uz 74% izvatka), a ukupno je u VBC-u 1989. proizvedeno 136,3 kt bešavnih cijevi I. klase uz izvadak od 76% [6].

Tzv. nova aglomeracija [8] puštena je u probni rad 10. rujna 1987. godine (slika 13) od strane čehoslovačke tvrtke Vitkovice-export uz maksimalnu zaštitu okoliša primjenom elektrofiltara. Sirovine za proizvodnju aglomerata (mješavina domaće i uvozne rude željeza, visokopećna prašina, kovarina bez ulja, vapnenac, koks i dolomit) dozirane su pomoću devet dozirnih bunkera sa skladišta (rudnog dvora) ili transportnim trakama. Time se zamijenila dotadašnja proizvodnja aglomerata u četiri Greenewaldt tave ukupne površine 32 m². Godišnji kapacitet aglomerata je bio 550 kt, s radnom površinom aglomeriranja od 110 m². Procesom aglomeriranja se upravljalo s jednog mjesta pomoću PLC automata.



Sl. 13. Nova aglomeracija
Željezare Sisak iz 1987. godine

U stručnom metalurškom smislu može se reći da je s obzirom na tzv. III. fazu modernizacije ŽS realiziran nažalost samo početak metalurškog ciklusa izgradnjom koksare u Bakru (za proizvodnju koksa za potrebe proizvodnje sirovog željeza u VP) i postrojenja za aglomeraciju (priprema rude željeza za VP) i kraj metalurškog ciklusa izgradnjom tzv. Nove hladne prerade (hladno vučenje i hladno kovanje-pilgerovanje čeličnih cijevi). Onaj primarni dio iz tzv. III. faze koji je uključivao izradu čelika suvremenim postupcima i nove valjaonice bešavnih cijevi s postrojenjima za njihovu toplinsku obradu (kaljenje i popuštanje), posebice za naftnu industriju, nažalost nikada nije ostvaren. Time je zapravo počela stagnacija, a kasnije i “propadanje” ŽS, izgubljen je razvojni korak kojeg su nastavile željezare u okruženju (Italija, Mađarska, Austrija).

3. Razvoj metaloprerađivačke proizvodnje u Željezari Sisak

Željezara Sisak je svoj razvoj usmjeravala na proces integracije klasične metalurške proizvodnje s prerađivačkim industrijskim sektorom kao tehničko-ekonomskom nužnošću suvremenog razvoja otvarajući pogone u regiji i/ili kupnjom ili njihovim uključivanjem u svoj sustav. To je dovodilo i do bržeg razvoja nerazvijenih općina u današnjoj SMŽ. Od 1969. godine počinju ulaganja u razvoj metalurške proizvodnje na području grada Siska, u okviru KMR (Konstrukcijsko-montažna radionica). KMR u Sisku se razvio iz investicijskog održavanja, a uključivala je izradu konstrukcija, rasvjetnih stupova, građevinskih pocinčanih skela itd. Osnivanjem Biroa za razvoj i projektiranje (1972.) počinje proizvodnja vlastitih razvijenih sustava objekata. Postupno se uvodi cijev kao osnovni element za proizvodnju čeličnih konstrukcija. U suradnji s tvrtkom „Mero“ iz SR Njemačke usvojen je program izgradnje rešetkastih cijevnih konstrukcija. KMR je bio značajan proizvođač konstrukcija za industrijske hale, sportske i druge objekte itd. U ŽS su se integrirali manje metaloprerađivačke tvrtke koje su prerađivale poluproizvode ŽS. Npr. tvornica istegnutih metala (TIM) Topusko (osnovan 1965.) za izradu istegnutih metala (istezanje pomoću specijalno oblikovanih noževa), žičanih mreža, ograda, vrata itd. TIM se integrirao u ŽS 1968. godine, a osnovni proizvodi su čelične ograde, zaštitne mreže i „elastični“ odbojnici za ceste itd. U 1977. godini TIM Topusko preradio je 10970 t trake, plosnatog željeza i profila, te 138.300 komada ograde. Tvornica za izradu metalne ambalaže u Novs-

koj je osnovana 1952. godine. Djelatnost proizvodnje metalne ambalaže za kemijsku industriju integrirana je u ŽS 1970. godine. Djelatnost izrade metalne ambalaže, lakih cijevnih (1971.) konstrukcija (za staklenike) i lijevanih proizvoda je poslovala pod nazivom „Kozara“ Novska. Kasnije je proizvodnja cijevnih lukova preseljenja iz Siska u Novsku (3. listopada 1979.). Tvornica metalnih proizvoda „Kozara“ Novska postala je najveći jugoslavenski proizvođač metalne ambalaže za kemijsku industriju. U 1977. godini tvornica je zapošljavala prosječno 328 radnika, a proizvodila je 4770 t proizvoda.

Pogoni na području SMŽ su rađeni iz vlastitih i kreditnih sredstava te uz učešće sredstava iz fondova za manje razvijene krajeve (30 %). Izgrađeni su novi pogoni u Dvoru na Uni, Dubici, Glini, Topuskom i Novskoj. Pogoni su izgrađeni za daljnju finalizaciju proizvoda ŽS, povećanja proizvodnje rezervnih dijelova i opreme, kako za vlastite potrebe tako i za vanjske kupce.

Metaloprerađivački pogon u Dvoru na Uni je nastao integracijom tadašnje građevinske bravarije građevinskog poduzeća „Rad“ sa ŽS. Primarna djelatnost je proizvodnja ovjesa i oslonaca (od 1974.) za montažu cjevovoda, a 1977. godine je zaposleno 88 radnika, a proizvedeno je 518 t proizvoda. Metaloprerađivački pogoni u Dvoru na Uni (ovjesi i oslonci za cjevovode, bravarija) i Glini (spojnice: radijatorske, standardne, cijevne itd.) osnovani su sredinom 1970.-ih godine s ciljem unapređenja razvoja nedovoljno razvijenih područja Banije. Metaloprerađivački pogon u Glini je 1977. godine proizveo 11 milijuna spojnica, a u pogonu je radilo 84 zaposlenika.

Osim metaloprerađivačkog programa ŽS se uključila i u preradu plastičnih masa u mjestu Galdovo pored Siska. Tvornica za preradu plastičnih masa Galdovo integrirala se u ŽS 1972. godine, a nastala je od bivše tvornice šešira (1919.). Realizirana je i nova investicija u proizvodnju poliamida (29. studenog 1970.) koji se koriste u strojogradnji (npr. za ležajeve), a uloženo je oko 71% vlastitih sredstava. Proizvodni program u Galdovu se sastojao od tzv. sipas-proizvoda (za strojogradnju, procesnu industriju i građevinarstvo) i tzv. sigal-ambalaža (ambalaža i puhana ambalaža od 2 dl do 50 l i plastične vrećice). Proizvodnja sipas-proizvoda za zupčanike, elemente spojki, brtvene prstenove itd. bila je jedina u Jugoslaviji za tu vrstu plastičnih proizvoda. Krajem 1970.-ih godina, pored njemačke tvrtke Mannesmann, ŽS je jedina u Europi proizvodila poliamidne materijale visoke kvalitete za strojarску i metaluršku industriju. Proizvodi sigal-ambalaže su bili znatno zastupljeni u Jugoslaviji, posebno za petrokemijsku i kemijsku industriju, kao i za konzumnu robu.

4. Obrazovanje kadrova za Željezaru Sisak

Tijekom intenzivne izgradnje ŽS 1950. godine bilo je zaposleno svega 7 inženjera, 10 tehničara i 2 ekonomista. Zato je već u jesen 1951. godine donesena odluka o stipendiranju studenata na fakultetima, čime je započela skrb za osiguranje vlastitih kadrova. Od 1954. godine ŽS je počela stipendirati učenike srednjih tehničkih škola, a već 1956. godine je stipendirala oko 100 stipendista, a do tada je zaposlila 20-ak VSS kadrova koje je i sama školovala. Do 1959. godine oko 1000 zaposlenika steklo višu kvalifikaciju u ŽS. Nezadovoljavajuće stanje s VSS kadrom i velika fluktuacija su doveli do prelaska na stvaranje vlastitih kadrova, obrazovanjem i usavršavanjem već zaposlenih i školovanjem njihove djece, vežući ih tješnje za kompaniju. Analitička procjena radnih mjesta je pokazala da je kvalifikacijska struktura u ŽS bila nezadovoljavajuća i sa stajališta visokostručnih kadrova. Od 5587 zaposlenika ŽS u 1958. godini samo je 1,6% imalo visokoškolsko obrazovanje. Od 49 studenata metalurgije upisanih na prvu godinu studija metalurgije na Metalurškom odjelu u Sisku Tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini 1960./61. ŽS je stipendirala 28 studenata [9]. U razdoblju 1960.-1966. ŽS je stipendirala oko 300 studenata i učenika. Godine 1966. napušta se sustav stipendiranja i prelazi na sustav kreditiranja (osim osnovnog obrazovanja), a nakon odrađenog pripravničkog staža zaposlenici su oslobođeni vraćanja kredita. Donošenjem Zakona o usmjerenom obrazovanju (sredinom 1970.-ih) ŽS među prvim koristi mogućnost da se iz stope obaveznog izdvajanja sredstava za usmjereno obrazovanje dvije trećine tih sredstava udružuje neposredno u školske centre koji obrazuju učenike za potrebe ŽS. Kroz pripravnički staž, uz mentora, pripravnici s VSS obrazovanjem iz tehničkog područja su u okviru 1-2 mjeseca proboravili u glavnim metalurškim pogonima radi upoznavanja sa svojom strukom te su izradili i komisijski branili tematski završni pripravnički rad. U ŽS je bio i Odjel za rekreaciju i kulturu u vezi organizacije odmora i rekreacije i kulturnih aktivnosti. Veliki dio studenata koji su diplomirali metalurgiju na II. (diplomirani inženjer metalurgije) i I. stupnju (inženjer metalurgije) na Metalurškom odjelu (1964.-1974.) i Metalurškom inženjerstvu (1974.-1978.) u Sisku Tehnološkog fakulteta te na Metalurškom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (1979.-) su svoje zaposlenje našli upravo u ŽS.

5. Društvena uloga i odgovornost Željezare Sisak prema lokalnoj zajednici

Željezara Sisak je imala presudnu društvenu ulogu u lokalnoj zajednici u nizu aktivnosti, kao npr. izgradnja lokalne infrastrukture, podizanja društvenog standarda zaposlenih, sportsko-rekreativnih, izdavačkih i kulturnih aktivnosti itd. [10,11]. ŽS je od osnivanja promicala i potpomagala solidarni način života svojih zaposlenika (prvo

organizirano dobrovoljno davanje krvi u RH, djelovanje tzv. kase uzajamne pomoći kao oblik kolektivne štednje i beskamatne pozajmice za najnužnije potrebe zaposlenika, pomoć stradalim u potresu u Skopju 1963. godine i Banja Luci 1969. godine itd.) i pomagala otvaranjem metaloprerađivačkih pogona u Novskoj, Dvoru, Topuskom, Glini, Hrvatskoj Dubici itd., te time povećavala zaposlenost na području današnje SMŽ. Također je pomagala i gradu Sisku: zapošljavajući dio radnika iz propalih malih tvrtki („Šeširka“ u Galdovu), osnivanje Odjela u Sisku Tehnološkog fakulteta (1960.), izgradnja mosta preko Kupe (15. studenog 1973.) kao kapitalnog komunalnog objekta itd. Najviše je ŽS pomogla naselju Caprag u Sisku, u kojem je bila i locirana, kroz izgradnju toplane, plinifikacije južne industrijske zone (1980.), vodovodne i kanalizacijske mreže, u izgradnji robne kuće, restorana društvene prehrane, dječjeg vrtića (1960.), servisnih radionica (1962.), pošte, osnovne škole, izgradnji objekata za plansku rekreaciju: olimpijski bazen (1968.), sportske dvorane, igrališta (teniska, odbojkaška, malonogometna, kuglana, pomoćne prostorije itd.).

Organizirana sportska aktivnost počinje 1946. godine kada je osnovano fiskalturno društvo „Radnik“. Kasnije se (1949.) osniva sportsko društvo (SD) Metalac. Organizirane radničko sportske igre (RSI) počinju 1955. godine. Godine 1957. osniva se društvo za tjelesni odgoj „Partizan“. Osnovano je i kulturno-umjetničko društvo (KUD) 1951. godine. Godine 1962. osnovan je Savjet za rekreaciju koji je uključivao: rekreaciju, fizičku kulturu, kulturu, narodnu tehniku i organizaciju godišnjih odmora. Od 1965. godine uvedena je posebna stručna profesionalna služba: Centar za rekreaciju. U razdoblju 1965.-1970. rekreacija se ustrojava u okviru kadrovske službe, gdje je doživjela procvat. Od 1979. do 1985. godine provode se preventivni oporavci, ostvaruje se i suradnja s Fakultetom za fizičku kulturu u Zagrebu (od 1973.) itd. Organizirani su redoviti oblici tjelesnog vježbanja uz stručni nadzor animatora rekreacije, zimovanje i ljetovanje djece sa slabijim materijalnim statusom (godišnje oko 500 djece), obuka neplivača u željezarinom bazenu, RSI (1980-ih) u 12 sportskih grana i disciplina, s oko 2500 učesnika godišnje, servis za iznajmljivanje sportske opreme i rekvizita (posebno za zimske sportove za 350-400 radnika), na današnjem Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu educirani su tzv. animatori za sportsko rekreativne aktivnosti (jedinstven model u Jugoslaviji). U okviru kulturno-prosvjetne i zabavne djelatnosti osim KUD-a, bitnu ulogu ima Dom kulture u organizaciji kino-predstave. U Malinskoj je 1972. godine otvoren vlastiti rekreacijski centar za masovno i organizirano iskorištenje godišnjeg odbora i oporavka zaposlenika tijekom cijele godine. ŽS je zaposlenike slala na godišnje odmore u vlastita odmaralište Gajac (1989.) na Pagu i Rogaškoj Slatini (1986.). ŽS je svojim zaposlenicima osiguravala vrlo visok standard zdravstvene zaštite uključujući i sustavnu preventivu, otvaranje stacionara (od 1969.), zaštitu radnika (od 1972.), uspostavlja se sustav premještanja na lakša radna mjesta, zaštita invalida rada, socijalna politika u zaštiti porodica poginulih, umrlih i umirov-

ljenih radnika, itd.

Intenzivnom se podizao i društveni standard izgradnjom tzv. društvenih stanova (izgrađeno ili kupljeno 3530 stanova u razdoblju 1945.-1990.), dodjeli stanova prioritetnom kadru, rješavanjem smještaja za samce i sl. Od 1958. godine izrađen je dugoročni program stambene izgradnje. Bio je uveden (1962.-1966.) i tzv. interni zamjam zaposlenika koji su sudjelovali u izdvajanju za stambeni fond. Od tada počinje i dodjeljivanje kredita za individualnu stambenu izgradnju. U razdoblju 1962.-1966. dodijeljeno je 360 zajmova. Osnovana je 1965. posebna Stambena jedinica koja je preuzela brigu oko objekata društvenog standarda.

ŽS je izgradila veliki dio grada Siska s kompletnom gradskom infrastrukturom itd. Godine 1985. osnovana je Osnovna samoupravna interesna zajednica (OSIZ) stanovanja ŽS. OSIZ je prihvatila uložena sredstva pogona za stambene potrebe radnika izdvojena za te potrebe (80% za izgradnja stanova, a preostalih 20% za kreditiranje individualne stambene izgradnje). Analiza stambene izgradnje u Sisku za razdoblje 1955.-1990. pokazuje da je 22,4 % stanova izgradila ŽS u odnosu na ukupan broj stanova [12].

U okviru ŽS izlazio je mjesečni *Bilten Željezare Sisak* (28. studenog 1952.-svibanj 1953.), *Metallurg* (lipanj 1952.-prosinac 1953.), a od 1954. do 1995. godine je izlazio dvotjedni list *Vjesnik* Željezare koji je pružao opće i stručne informacije iz metalurške proizvodnje, društvenog standarda, zdravstva, kulture, rekreacije, rekonstrukcije i modernizacije pogona, inovativnog rada itd. Krajem 1980.-ih naklada *Vjesnika* Željezare je bila 13.500 primjeraka. Kao nadopuna *Vjesnika* Željezare od 1983. godine je izlazio mjesečno list *Željezarac*, kojeg je izdavač bi *Metaval* kao najveća metalurška radna organizacija ŽS. Prigodom obilježavanja 30., 35. i 45. godina postojanja, Željezara Sisak (prvo je postojala od 1938. godine kao Talionica Caprag) je izdala i tri prigodne monografije (1968., 1973. i 1978. godine) koje je kasnije dijelila svojim zaposlenicima. Godine 1962. osnovan je Centar za informiranje. Novinari Centra uređivali su i polusatni radijski program (od 1965.) koji je putem razglasa pokrивao sve pogone u Sisku i dio naselja Caprag. ŽS je izdavala promidžbene materijale u obliku kataloga za sudjelovanje na domaćim i međunarodnim predstavljanjima svojeg proizvodnog asortimana [13].

Društvo inženjera i tehničara (DIT) ŽS, koje je djelovalo u više sekcija (metalurška, strojarska itd.), ne samo da je 1962. godine pokrenulo časopis *Metallurgija* nego je organiziralo učestalo stručne posjete i stručna predavanja, tečajeve, seminare i savjetovanja te tzv. okrugle stolove pružajući stručnu potporu i lokalnim privrednim subjektima. U ŽS je također aktivnu ulogu imalo i Društvo zavarivača u organizaciji tematskih predavanja, seminara, organiziranju škole zavarivanja, pripomoć u atestiranju zavarivača, organizaciji stručnih posjeta domaćim i međunarodnim sajmovima

iz područja zavarivanja i srodnih tehnologija, stručnih posjeta brodogradilištima u RH i metaloprerađivačkim tvrtkama sa znatnim udjelom zavarivanja kao tehnologije u proizvodnom procesu (npr. Đuro Đaković u Slavonskom Brodu) itd.

Bila je dobra suradnja u kulturnom stvaralaštvu. Npr. u razdoblju 1976.-1990. dodjeljivana je svake godine Književna nagrada ŽS za prozu, poeziju i esejistiku i književnu kritiku autorima iz Jugoslavije. Održavale su se književne večeri, promocije knjiga, godišnja manifestacija „Mjesec knjige“ (od 1969.), izložbe umjetničkih fotografija na temama: Čelik i nafta itd. U razdoblju 1971.-1990. održavala se Kolonija likovnih umjetnika ŽS (slikari, kipari, grafičari, umjetnički fotografi). ŽS je bila jedinstvena u Jugoslaviji jer je imala Centar za društvena istraživanja, kojeg su činili interdisciplinarni stručnjaci (politolozi, psiholozi, sociolozi, ekonomisti) s ciljem istraživanja funkcioniranja svih aspekata ovog velikog sustava. ŽS je osigurala provođenje za svoje zaposlenike tečajeva stranih jezika (engleski i njemački od 1969. godine), organizirala turističke izlete u europske metropole itd. Također je ŽS, unatoč oštećenja koje je pretrpjela tijekom Domovinskog rata, dala i nemjerljiv doprinos u ratnim okolnostima (1991.-1995.) [14]. Pored angažiranosti u postrojbama hrvatske vojske i policije, mnogo se radilo i za tzv. namjensku proizvodnju.

6. Znanstvenoistraživački, stručni i inovativni rad Željezare Sisak

Prva ispitivanja za potrebe ŽS su započela u kemijskom pogonskom laboratoriju pored VP u kojem se provodila analiza sirovina i kontinuirana analiza visokopećnih proizvoda. Potrebe su dovele do osnivanja novih pogonskih laboratorija, Odjela tehničke kontrole, a 1957. godine je osnovan Sektor za istraživanje ŽS. Tada je započeo istraživački rad na pripremi i preradi ruda željeza, sinterovanja u poluindustrijskim tavama (Greenawalt) itd. Rezultate istraživanje je prihvatilo i UJŽ i ta su se rješenja počela koristiti i u drugim željezarama.

Osnivanjem Instituta za metalurgiju (1961.) u okviru ŽS sustavno je organiziran znanstveno-istraživački rad. Ta su se istraživanja odvijala i u suradnji s tek osnovanim (1960.) Metalurškom odjelom Tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Pored ostalih domaćih časopisa (*Ljevarstvo*, *Strojarstvo*, *Zavarivanje* itd.) tek pokretanjem (1962.) časopisa *Metalurgija* od strane Društva inženjera i tehničara (DIT) ŽS stvaraju se bolje pretpostavke za objavljivanje znanstveno-stručnih radova iz polja metalurgije. Završetkom nove zgrade Instituta (1968.) dolazi do opremanja odjela i laboratorija s najnovijom opremom: kvantometar (slika 14), optički i pretražni elektronski mikroskop s valno disperzijskim spektrometrom za mikroanalizu (1976., prvi takve vrste u SR Hrvatskoj), oprema za ispitivanje mehaničkih, fizikalno-kemijskih i drugih



Sl. 14. Kvantometar za kemijsku analizu u Institutu za metalurgiju Željezare Sisak

svojstava itd. Početkom 1970.-ih pretežno se radi na istraživanjima za potrebe ŽS, ali se u istraživanja uključuju i ekonomski segmenti, posebno sa stajališta rekonstrukcije postojećih i uvođenja novih postrojenja. U podrumskom dijelu zgrade Instituta je od 1969. godine funkcionirao tzv. centralni laboratorij za glavne metalurške pogone (VP, čeličana i ljevaonica) uvođenjem "cijevne pošte" za brzu dostavu uzoraka talina radi provođenja kemijske analize. Na uređaju za brze analize-kvantometar analizirani su sirovo željezo, čelik, odljevci itd. Ukupno

vrijeme od slanja uzoraka do dobivanja rezultata u proizvodni pogon iznosilo je 5-7 minuta.

Zapaženi su rezultati postignuti pri pripremi rude željeza i proizvodnji sirovog željeza, proizvodnji čelika (veća čistoća, modifikacija uključaka itd.), proizvodnji toplovaljanih traka, šavnih i bešavnih cijevi, te tehnologiji hladnog pilgerovanja čeličnih cijevi i optimizaciji programa hladnog vučenja cijevi, proizvodnji konstrukcijskih čelika, proizvodnji čeličnog lijeva itd. Radilo se na rješavanju površinske pripreme cijevi kod hladne prerade, antikorozijskoj zaštiti konstrukcija itd. Pojedine teme i/ili zadatke su financirali Savezni i Republički fondovi za znanost, Samoupravna interesna zajednica (SIZ) za znanost, Fond za znanstveno-istraživački rad ŽS itd. ŽS je imala praksu organiziranja tematskih savjetovanja iz metalurških tema (1954., 1970., 1971., 1972. itd.). ŽS je podržavala reforme obrazovanja što je dovelo do integracije (1979.) OOUR-a Metalurško inženjerstvo Tehnološkog fakulteta (1974.-1978.) i OOUR-a Institut za metalurgiju. U razdoblju djelovanja Instituta za metalurgiju kao radne organizacije ŽS (1979.-1991.), osnovna organizacija udruženog rada (OOUR) Metalurški fakultet preuzima vodeću ulogu kao nositelj znanstveno-istraživačkog i stručnog rada za ŽS ali i šire. U Laboratoriju za zaštitu okoline i koroziju Metalurškog fakulteta su redovito provodili kontrolu i praćenje zagađenosti okoline, izrade ekološki studija itd. U to vrijeme bio je to jedinstveni laboratorij na razini današnje SMŽ i jedan od rijetkih u SR Hrvatskoj. Mnogo se radilo na uštedi energije, obradi otpadnih muljeva iz dekapirnice, pročišćavanju otpadnih voda, zaštite zrake i tla. Izrađen je i tzv. Program dugoročnog nadzora i zaštite okoline u gradu Sisku. Prema bibliografskim podacima [15] kao rezultat ukupnih aktivnosti Instituta za razdoblje 1961.-1985. izrađen je i objavljen značajan broj radova: 227 radova objavljenih u časopisima, 233 rada objavljenih u zbornicima domaćih i međunarodnih konferencija, registrirano je 6 patenata i izrađen je 661 istraživački elaborat.

ŽS je sustavno promicala i potpomagala stručni i inovativni rad (od 1961.) svojih zaposlenika, na kojima su i osvajane nagrade i priznanja od 1975. godine na RAST-YU u Rijeci, na izložbi INOVA u Zagrebu itd. Izrađene su rekonstrukcije kranskih staza (1957.), livni vagoni vlastite konstrukcije za lijevanje čelika (1985.) itd. U časopisu *Metalurgija* povremeno je objavljivao popis inovacija [16]. Npr. korištenjem domaćih sirovina i vlastite tehnologije odliveno je kućište pilger-stana (mase 54 t) za TP VBC-a (dotad najmasivniji odliveni čelični odljevak u Jugoslaviji) u livnoj jami čeličane ŽS [17].

Projektno konstrukcioni biro i RO Metalna industrija i montaža dobili su 1989. godine od Europskog udruženja za prostorne konstrukcije priznanje za izvedbu krova sportsko-polivalentnog centra Cibona u Zagrebu. Zaposlenici ŽS su nove spoznaje stjecali i pomoću stručne literature iz Stručne knjižnice koja je djelovala od 1950.-ih do 2007. godine i bila je locirana u zgradi Instituta za metalurgiju [18]. Prema posljednjem popisu 2002. godine, knjižni fond Stručne knjižnice sastojao se od 20.490 svezaka knjiga i brošura, velike zbirke normi (EU, ASME, ASTM i ISO), brojnih domaćih (*Ljevarstvo, Metalurgija, Strojarsvo, Zavarivanje* itd.) i međunarodnih metalurških časopisa: *La Metallurgia Italiana, Revue de Metallurgie, Stal', Metallurg, Giesserei, Stahl und Eisen, Blast Furnace and Steel Plant, Iron and Steel Engineer* itd.

7. Informatizacija Željezare Sisak

Godine 1961. na VP 2 i 3 počinje uvođenje automatizacije tako da se u mjernoj stanici prate i podešavaju procesni parametri: temperatura, tlak, količine i omjeri sirovina itd. Godine 1963., izgradnjom VTG u okviru blooming-postrojenja (za valjanje ingota u gredice i toplovaljane predtrake) instalirano je procesno računalo (BULL General Electric) za vođenje mehaniziranog i automatiziranog procesa toplog valjanja. Informatizacija u ŽS nastavljena je 1965. godine instalacijom elektroničkog računala UNIVAC 1004 s pomoćnim jedinicama za automatizaciju obrade podataka s ciljem uvođenja aplikacija iz područja poslovnog informiranja (osnovna sredstva, sirovine, rezervni dijelovi i pribor, obračun osobnih dohodaka itd.) [19]. To je bio tzv. kartični sustav memorije s vanjskim programiranjem, ali u to vrijeme vrlo suvremen alat za obradu podataka. Navedeno računalo je upravljalo procesom valjanja na blooming-postrojenju po unaprijed utvrđenom programu. Značajan pomak u razvoju informatizacije učinjen je 1972. godine instaliranjem više razine elektroničke obrade podataka (kibernetika automatizacija) velikog računala III. generacije UNIVAC-1106 kojim je ŽS među prvim u Jugoslaviji razvila komunikacijsku mrežu terminala u svim pogonima (obrada narudžbi i fakturiranje, praćenje zaliha, izrada proizvodnih planova itd.). Kasnije je uveden integralni informacijski sustav (1972.-1986.) s podsustavima

proizvodnje, nabave, prodaje, kadrova, financija, planiranja i analize poslovanja, prometa, održavanja itd.

Zbog snažne telekomunikacijske mreže ažuriranje podataka su obavljali korisnici (od 1973. godine) sa svojih radnih mjesta, te nije bilo potrebe za donošenjem podataka na ažuriranje na središnje računalo. To je razdoblje „zlatno doba“ informatike, ne samo u ŽS, nego i u cijeloj regiji. Stvoren je u ŽS od 1. siječnja 1973. godine snažan elektronski računski centar (ERC) s oko 120 informatičkih stručnjaka različitih profila. Projektiranje informacijskog sustava (IS) se temeljilo primarno na vlastitim projektnim rješenjima. Koncept IS-a iz ERC-a je prihvaćen 1987. godine na razini SR Hrvatske. Stručnjaci ŽS su izradili projekte razvoja IS-a za niz tvrtki (Podravka, Chromos itd.). U razdoblju 1973.-1976. u ŽS su se obrazovali djelatnici INE, RTV-a iz Zagreba i dr. Daljnji razvoj (1986.-1993.) uslijedio je izgradnjom sustava poslovnog informiranja (SPI) postavljanjem informatičke opreme koja se sastojala od centralnog sustava (Sperry), periferne i ostale opreme. Razvojno gledano, uvođenje kompjuterizacije odvijalo se sljedećim redoslijedom: informatizacija poslovnih funkcija (kadrovska, nabavna, prodajna, računovodstvo), informatizacija tehnoloških funkcija (proizvodnja, održavanje, energetika, a naročito: planiranje proizvodnje, radni nalozi, izvršenje proizvodnje-usluge, tehnička kontrola, analiza i statistika), upravljanje tehnološkim procesima (vođenja procesa uz kontrolu moderne mjerno regulacijske i informatičke opreme), izgradnja SPI-a itd. Bitni podaci se za vrijeme i s mjesta nastajanja (u poslovnim funkcijama nabave, proizvodnje, prodaje itd.) istodobno ažuriraju u operativnu bazu podataka, ali i u bazu poslovnih informacija dostupnih i upravi za donošenje odluka. Izgradnja SPI-a je bio složen i dugotrajan posao te je zahtijevao teorijsko znanje i iskustvo projektiranja informacijskih sustava. Zbog tehnološkog razvoja od 1993. godine se uvodi Unix platforma, prihvaćena je relacijska baza ZIM-a s izgrađenim aplikacijama financijskog poslovanja, kadrova i plaća, dio komercijalnog poslovanja itd.

8. Plasman proizvoda Željezare Sisak

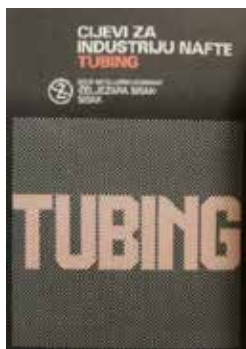
ŽS je nastupala prvi put na međunarodnim sajmovima 1953. u Izmiru u Turskoj i u Solunu u Grčkoj. Prilikom prvog izlaganja na sajmu dogovoren je i prvi izvoz bešavnih cijevi u Tursku od 2 kt. Kasnije je ŽS izlagala i na međunarodnim sajmovima (Njemačka, Bugarska, Češka, Kina itd.) i domaćim (međunarodni sajam u Zagrebu, Sajam tehnike Beograd, sajam građevinarstva u Gornjoj Radgoni itd.) s prepoznatljivim logom u svijetu (slika 15.). Godine 1954. prvi izvoz bešavnih cijevi u količini od 859 t realiziran je u Brazilu. Vremenom je izvoz rastao, tako da je npr. 1958. izvezeno 40 % godišnje proizvodnje. Osnovni finalni proizvodi prvih deceni-

ja rada ŽS su bešavne i šavne cijevi i cijevni lukovi. Najveće količine izvezenih čeličnih cijevi su korištene za konstrukcije, u industriji nafte, brodogradnji, građevinarstvu, kotlogradnji, elektro-industriji, hidroelektranama, u strojogradnji za hidrauliku itd. Kao veliki izvoznik ŽS je imala znatno povjerenje u svijetu i u domaćoj industriji (gotovo svi veliki cjevovodi u Jugoslaviji, opskrba brodograđevne industrije cijevima, izgradnja skladišta luke Kopar-1972., krovne konstrukcije sportskih objekata Cibona Zagreb-1986., Jazine Zadar-1967., Poljud Split-1979. itd.). ŽS je imala veliki ugled u međunarodnom prometu cijevi, posebno za europska tržišta: Njemačka, Italija, Francuska, Švicarska, Švedska, Austrija itd., kao i na druga tržišta: Kanada, Kina, SAD, Alžir itd., a dio se izvezio i na klirinško tržište, najviše u DR Njemačku.



Sl. 15. Logo proizvoda Željezare Sisak

Primarni proizvod ŽS su cijevni program (šavne i bešavne cijevi) za eksploataciju (crpne i zaštitne cijevi, slika 16) i transport nafte i prirodnog plina (provodne cijevi). Velika je primjena cijevi i u građevinarstvu kao konstrukcijske bešavne cijevi (bolnice, sakralni objekti, tvorničke hale, sportski objekti), kotlovske bešavne cijevi, šavne crne i pocinčane cijevi (plinske i vodovodne, konstrukcijske šavne cijevi), precizne bešavne i šavne cijevi (različiti profili: okrugli, kvadratni, pravokutni itd.), cijevi za strojogradnju, cijevi za proizvodnju kugličnih ležajeva, cijevi za industriju namještaja itd. Posebno mjesto je imao tzv. API program (crpne, zaštitne i provodne cijevi) za naftnu industriju. ŽS je izvozila i metalurški koks. Npr. u 1984. godini kada je premašila proizvodnju iznad tehničkog kapaciteta (850 kt) u iznosu od 7.147 kt (oko 0,84% iznad tehničkog kapaciteta) izveženo je 336 kt koksa, a koksni plin su kontinuirano trošili Termoelektrana Rijeka i Rafinerija nafte Rijeka. ŽS je u 1990. godini imala najveći izvoz u povijesti, između 80-85 mil. USA dolara. Kvaliteta proizvodnje i proizvodi ŽS su bili u skladu sa nizom standarda (DIN, ASTM, GOST, JUS, američki API Q1 standard itd.) i certifikata (Bureau Veritas, Det Norske Veritas Certificate, Jugoslavenski registar brodova, Hrvatski registar brodova itd.). ŽS je imala interni sustav osiguravanja kvalitete, a povremeno su dolazili i ovlašteni auditori od strane API-a u provjeru i reakreditaciju certifikata za naftnu industriju. ŽS je imala niz certifikata kao npr.: API 5CT, za proizvodnju bešavnih cijevi za naftnu industriju (provodne cijevi: API 5L i 5LX kvalitete Grade A, B, X-42, X-46 i X-52., zaštitne cijevi: API 5AL i 5AC kvalitete H-40, J-55 i N-80 crpne cijevi: API 5AL i 5AC kvalitete J-55 i N-80), ISO 9001:2000 (od TÜV-a Njemačka) za kvalitetu proizvodnje šavnih i bešavnih cijevi itd. Što se tiče kvalitetnog asortimana ŽS je proizvodila niz ugljičnih i niskolegiranih čelika [20]. Najveća kvaliteta je bila API stupnja N-80 iz niskolegiranog Mn-V čelika za proizvodnju cijevi za naftnu industriju. Cijevi su, što se



Sl. 16. Prospektni materijal Željezare Sisak za crpne cijevi za naftnu industriju

tiče toplinske obrade, bile u normaliziranom ili popuštenom stanju. ŽS je prerađivala i cijevi drugih kvaliteta, kao npr. niskolegirani Cr-Mo čelike, čelike za kuglične ležajeve (100Cr6 prema DIN-u), čelike za geološke cijevi za bušenje, čelike za namjensku industriju itd. ŽS je pružala tzv. industrijske usluge na vanjskim izvoznim radovima, obogaćujući znanja o novim tehnologijama uz zavidan financijski učinak. U Berlinu u firmi Stahlform provodilo se zavarivanje brodskih sekcija, poslovi vatrostalnog održavanja u željezari Heninnsdorf u Demokratskoj Republici Njemačkoj (DDR), te u proizvodnji hladno vučenih i pilgerovanih cijevi u Reisi u DDR-u. U suradnji s njemačkom tvrtkom Mannesmann preuzeto je održavanje proizvodnih linija niz godina.

Sredinom 1980.-ih ŽS je imala proizvodnju metalurških proizvoda od 1.885 mil. t. Godine 1988. proizvedeno je 224.139 kt šavnih cijevi (plinske, vodovodne, konstrukcijske, precizne), 157.934 kt bešavnih cijevi (konstrukcijske, kotlovske, precizne) i 22.638 kt bešavnih cijevi za naftnu industriju (crpne, zaštitne, sprovodne). Ostali metalurški proizvodi koks, sirovo željezo, čelik, gredice i trake su služili kao materijali ili sirovine za proizvodnju čeličnih cijevi. Proizvodnja preciznih šavnih cijevi hladnim oblikovanjem su stalno rasle, a proizvodnja naftnih cijevi je ovisila o tržištu. ŽS je vrlo dobro proizvodno surađivala s nizom svjetski poznatih proizvođača cijevi. U 1988. godini ŽS je 1/3 proizvoda izvezla na međunarodno tržište, a domaća potrošnja je iznosila 2/3 proizvoda, najviše na tržištu Republike Hrvatske (41,5%), Srbije (36%) i Slovenije (17,3%).

9. Tranzicija i privatizacija Željezare Sisak

Prije Domovinskog rata i tranzicije ŽS je proizvodila oko 2,07 mil. t metalurških proizvoda, od čega je oko 340 kt čeličnih cijevi, uz broj zaposlenih oko 14.000 (s više od 1200 zaposlenih s VSS i VŠ spremom). Tijekom 1988. godine je oko 60 % ukupno zaposlenih na području današnje SMŽ je bilo u proizvodnim pogonima ŽS, a doprinos društvenom bruto proizvodu SMŽ je bio oko 38 %. Nažalost početkom 1990-ih godina uslijed ratnih razaranja mijenja se, odnosno uveliko je poremećen rad ŽS (nestanak dijela tržišta, smanjena potrošnja u RH, obustavljen rad VP i SM peći, ŽS postaje od integralne mini željezara itd.) [21]. Proizvodnja čelika iz 1990. godine smanjena je više od šest puta (s 305,6 kt smanjuje se na 47,4 kt) u 1992. godini. U istom razdoblju je proizvodnja bešavnih cijevi smanjena s 109,8 kt na 44,8 kt, a šavnih

cijevi s 143,2 kt na 46 kt. Proizvodnja čelika se nadalje odvijala isključivo u elektrolučnoj peći, pretaljivanjem pripremljenog starog željeza. Pojavljuju se problemi s opskrbom odlivenih i valjanih poluproizvoda za proizvodnju bešavnih i šavnih cijevi. Jedna od najnerazumnijih i ekonomski potpuno neopravdanih odluka koja je donesena na državnoj razini (1994.) je zatvaranje koksare u Bakru (pod pritiskom ekologa iako se znalo da je koksara u Bakru manji zagađivač od Rafinerije nafte u Rijeci i Termoelektrane Rijeka), koja je mogla nastaviti proizvodnju, a za koju je u to vrijeme bila zainteresirana Italija. Tijekom 1995. godine proizvedeno je ukupno samo 95,4 kt metalurških proizvoda (21,95 kt elektročelika, 15 kt bešavnih cijevi, 56 kt šavnih cijevi i 2,45 kt hladno prerađenih cijevi) uz oko 4900 zaposlenih [21]. U ŽS dijelom na značaju dobivaju dobro plaćeni tzv. menadžeri koje ne prate rezultati poslovanja. U okviru izrađenog programa rekonstruiranja zatvorena je LP VBC-a 1997. godine. Realno, ŽS nije mogla preživjeti tržišnu „utakmicu“ s proizvodnjom bešavnih cijevi pilger-postupkom s drugim u to vrijeme visokoproduktivnijim svjetskim postupcima: PPM (engl. *press piercing mil l*- tlačno valjački stan za uzdužno bušenje uloška), MPM (engl. *Multi stand pipe mill*) -konti pruga sa uređajem za zadržavanje trna itd. Željezari Sisak je izostala stvarna podrška republičkih i saveznih nadležnih institucija Jugoslavije. Nažalost, tijekom Domovinskog rata neka industrijska postrojenja su i oštećena. Ali ni nadležne institucije i u RH nisu se jasno odredile općenito prema industriji, posebno ne prema metalurgiji. Odabrano vrijeme za privatizaciju (Zakon o pretvorbi društvenih poduzeća od 18. travnja 1991.) i model privatizacije su bili nerazvojni i neefikasni. Previše je tu bilo „lutanja“, pogrešnih odluka (npr. zatvaranje Koksare Bakar 1994.), vođenje loše kadrovske politike itd. Npr. podaci da se u ŽS u 40 godina postojanja (1954.-1994.) promijenilo samo četiri glavna direktora, a u sedam godina tranzicije (1994.-2001.) se izmijenjalo šest direktora dovoljno sami za sebe govore. Dana 18. rujna 2001. godine ŽS „otišla“ je u stečaj. Stalni trend u tranziciji i privatizaciji ŽS je smanjivanje razine proizvodnje i broja zaposlenika. Npr. u 2003. godini razina proizvodnje je bila svega: 27,1 kt elektročelika; 25,3 kt bešavnih cijevi i 37,5 kt šavnih cijevi. ŽS je u razdoblju 2001.-2004. prošla kroz dvije neuspješne privatizacije: austrijsko-ruski konzorcij Trubo impex (2001.-2002.), koji u prvom kvartalu 2002. godine napuštaju ŽS i ruska Mechel Steel grupa pod nazivom Mechel Sisak d.o.o. (2003.-2004.), koja posluje do 24. kolovoza 2004. godine. Nakon toga Hrvatski fond za privatizaciju (HFP) osniva novu tvrtku Valjaonica cijevi Sisak (VCS) d.o.o. koja posluje u razdoblju 2005.-2008., a čine je tri poslovna centra (PC): PC Čeličana (uključivao čeličanu i VBC), PC Šavne cijevi i PC Hladna prerada. VCS d.o.o. je poslovala u razdoblju 2005.-2008., bez bitnih pomaka u smislu veće proizvodnje, investiranja u modernizaciju itd. Stoga se HFP ponovno odlučuje za prodaju ŽS, ovaj puta američkoj tvrtki Commercial Metals Company (CMC) koja posluje pod nazivom CMC d.o.o. (2008.-2012.). Činjenica je da je CMC d.o.o. 2010. godine investirao u ELP (kapaciteta 60 t) i rekonstrukciju kontilijeva za okrugle presjeke, ali je kvaliteta

konti okruglica bila nezadovoljavajuća. Američka tvrtka CMC d.o.o. je povlačenjem iz bivše ŽS sve valjaoničke pogone (osim Nove hladne prerade) „oslobodila opreme“, odvezli su VBC, VTG, VŠC i profilirku, a ostalo je uništeno.

Od 2012. vlasnik ostatka dijela bivše ŽS je talijanska grupacija Danieli, koja poslije pod nazivom ACCIAIERIE BERTOLI SAFAU-ABS Sisak d.o.o. ABS Sisak d.o.o. je do danas uložio znatna sredstva u modernizaciju proizvodnje elektročelika, posebno u sekundarnu metalurgiju i postrojenja za kontinuirano lijevanje čelika. Od nekad velike tvrtke ŽS preostali su (od 1997.) Kisikana d.o.o. Sisak koja proizvodi tekuće i komprimirane plinove za industriju, bivša ljevaonica pod nazivom (od 2002. godine) Felis produkti d.o.o. za proizvodnju odljevaka (primarno čeličnih), bivša Nova hladna prerada u 100 % vlasništvu (od 2012.) njemačke tvrtke Rohrwert Max Hütte Sisak d.o.o. za proizvodnju čeličnih cijevi i pribora (zapošljava svega nekoliko desetaka djelatnika) i suštinski u proizvodnom smislu bivša čeličana pod nazivom ABS Sisak d.o.o. Prema dostupnim podacima [22] u ABS Sisak d.o.o. u 2019. godini proizvedeno je oko 69 kt čelika, koji se u Sisku više i nema gdje prerađivati. Brojne druge privatizirane tvrtke iz ŽS poput Metaling inženjering d.o.o., Remont Caprag d.o.o., IRI Sisak d.o.o. za istraživanje, razvoj i ispitivanje itd. su “životarile” do konačnog nestanka kao privrednih subjekata.

Zaključak

Željezara Sisak je bila jedno od najznačajnijih metalurških poduzeća metalurgije u Jugoslaviji i najznačajnije poduzeće iz metalurgije u RH. Bila je najveći proizvođač čeličnih cijevi i jedini proizvođač bešavnih cijevi u Jugoslaviji. Tzv. III. faza modernizacije ŽS se planirala od 1974. do 1978. godine u okviru plana razvoja crne metalurgije. Navedeno se poklopilo i s preranom smrti Norberta Vebera (1974.), koji je bio vizionar i lider razvoja MK Željezare Sisak i njen dugogodišnji direktor (1958.-1974.). Da je tome tako potvrđuju i činjenice da je za vrijeme njegovog 16-godišnjeg vođenja ŽS znatno povećana proizvodnja sirovog željeza i čelika, a za više od tri puta povećana je proizvodnja čeličnih cijevi kao glavnog proizvoda ŽS (s 68,7 kt u 1959. godini na 247,1 kt u 1974. godini). Nažalost, III. faza modernizacije ŽS realizirana je djelomično, uz stalno prolongiranje rokova na naredna razdoblja (1978.-1982., 1982.-1986., 1986.-1990.). U stručnom metalurškom smislu realiziran je tzv. gotovo sami početak metalurškog ciklusa izgradnjom koksare u Bakru (1978.), postrojenja za aglomeraciju rude željeza (1987.), te kraj metalurškog ciklusa izgradnjom tzv. Nove hladne prerade (1982.). Onaj primarni dio iz III. faze modernizacije i u reduciranom obliku predložen od ŽS za razdoblje 1986.-1990. izgradnjom VBC-a godišnjeg kapaciteta 200 kt bešavnih cijevi i moderne ELP godišnjeg kapaciteta 300 kt, kao i novih postrojenja za toplinsku obradu bešavnih cijevi (posebice za naftnu industriju), nažalost nikada nije ostvaren. Time je zapravo počela stagnacija i “propadanje” ŽS jer je izgubljen razvojni korak kojeg su nastavile željezare u zemljama okruženja (Italija, Mađarska, Austrija itd.).

Početkom 1980.-ih u Jugoslaviji dolazi do ekonomske krize koja se najjasnije manifestirala velikom inflacijom i devalvacijom pri čemu je bio otežano poslovanje. U razdoblju 1980.-1990. ukupna crna metalurgija na razini Jugoslavije bila je u krizi i “zrela” za modernizaciju i prestrukturiranje. Čak je od strane Saveznog izvršnog vijeća (SIV) krajem 1980.-ih naručena studija o prestrukturiranju crne metalurgije Jugoslavije do 2000. godine koju je izradila konzultantska tvrtka British Steel Consultants (BSCOS). Studija BSCOS-a je ukazala na nužne mjere koje se trebaju poduzeti: osnivanje nacionalne kompanije za industriju čelika, zatvaranje neprofitabilnih djelatnosti itd. Na krizu crne metalurgije u Jugoslaviju, a time i na ŽS u razdoblju 1980.-1990. primarno su utjecale gospodarska i sve izraženija politička kriza u to vrijeme. Gospodarski segment se odnosio na promjene i oscilacije u proizvodnji čelika, nedostatak deviznih sredstava za uvoz sirovina, velika inflacija, primjena tzv. politike ekonomske stabilizacije s razine SIV-a itd. Politička kriza se odnosila na sve veće slabljenje saveznih organa vlasti tako da su se teže mogli dogovoriti zajednički prioriteti i stručno-tehnički interesi između jugoslavenskih željezara, tako da se gotovo sve odlagalo. Uprave ŽS pokušavale i pripremale realne podloge za realizaciju III.

faze modernizacije ŽS, nažalost na saveznoj i republičkoj razini bila je prisutna samo verbalna podrška, banke su bile oprezne i zatezale sa stvarnom podrškom. Oduvijek se zna, iz svjetskih iskustava, da se crna metalurgija kao strateška grana svake države, kojoj je stalo do industrijskog napretka, ne može sanirati i/ili reorganizirati na nivou tvrtke ili regije nego se to mora provesti isključivo na višekratno provjerenoj i dokazanoj državnoj potpori (primjeri iz V. Britanije, J. Koreje itd.) uz jasno postavljene strateške prioritetne ciljeve, uključujući razrađeni sustav državnih subvencija ili preuzimanje nastalih dugova, državne garancije, potpore, davanje povlaštenih kredita s nižim kamatnim stopama s duljim rokom otplate, razrađene socijalne programe za zbrinjavanje viška zaposlenika, prekvalifikacije itd. Jasno je da su ratna događanja u RH uvelike poremetila rad ŽS. No, također je činjenica da se nadležne institucije RH općenito nisu primjereno postavile prema industrijskoj djelatnosti (nedonošenje industrijske strategije), posebno u metalurškoj industriji u vremenu tranzicije, kojih se posljedice osjećaju već godinama. Činjenica je da se nijedna industrijski razvijena država nije "odrekla" svoje crne metalurgije, prihvaćajući da ju netko drugi snabdijeva čelikom i čeličnim proizvodima, a potrebe RH za čeličnim proizvodima su veće od 800 kt. Nažalost, ulagala su se znatna sredstva, ali ne u investicije i/ili modernizaciju ŽS, nego se primarno kupovao tzv. "socijalni mir". Neučinkovita tranzicija vlasništva u RH utemeljena na osnovi Zakona o pretvorbi društvenih poduzeća od 18. travnja 1991. godine ne samo da nije bila razvojna nego upravo obrnuto i nije generirala „zdrava“ privatna poduzeća. Prve tri privatizacije ŽS napravile su više štete nego koristi, pri čemu su devastirani i uništeni prerađivački kapaciteti (osim Nove hladne prerade koja je u vlasništvu njemačke tvrtke Rohrwert Max Hütte) itd. Iz bivše ŽS mnoge proizvodne cjeline su rasprodane i devastirane (posebno se u tome istakao treći strani partner u privatizaciji CMC d.o.o.) tako da je danas nekadašnja ŽS svedena na proizvodnju elektročelika (doduše u moderniziranim i dijelom na novim postrojenjima) i u privatnom je vlasništvu (talijanska tvrtka Danieli) koja od 2012. godine posluje pod nazivom ABS Sisak d.o.o. Jedino još Rohrwert Max Hütte Sisak d.o.o. proizvodi čelične cijevi i pribor iz uvoznog čelika, zapošljavajući svega nekoliko desetaka djelatnika. Od nekad velikog energetskog sektora ŽS se 1997. godine izdvojila tvrtka Kisikana d.o.o. Sisak koja danas proizvodi tekuće i komprimirane plinove za industriju. Ostale brojne druge tvrtke nastale privatizacijom nekih cjelina bivše ŽS su nestale.

Činjenica je da se Institut za metalurgiju ugasio 1989. godine i da je Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu od 1991. godine jedina institucija za nastavni, znanstveno-istraživački i stručni rad u tehničkom području u polju metalurgije u RH. No, Metalurški fakultet nije nikada na institucionalnoj razini zvanično konzultiran pri donošenju bilo koje odluke za ŽS (zatvaranje pojedinih pogona, tri neuspješne privatizacije itd.). Bilo je pojedinačnih pokušaja profesora s Metalurškog fakulteta koji su medijskim javnim istupima ukazivali i pokušavali davati smjernice u pokušaju

spašavanja ŽS. Međutim ti “glasovi” očito se nisu čuli ili željeli čuti. Nedonošenje na vrijeme industrijske strategije RH i isforsirani model privatizacije doprinijeli su deindustrijalizaciji većeg dijela industrijskog sektora, uključujući i metalurški sektor. Odnos i/ili nesnalaženje mjerodavnih državnih institucija prema gradu Sisku, kao nekad jednom od najvažnijih industrijskih gradova RH, institucionalno neuključivanje metalurške struke pri donošenju odluka za ŽS, predugo odsustvovanje s tržišta i ratna stradanja su jedni od ključnih razloga za njeno “propadanje”. Da je tome tako, najbolje svjedoči primjer Republike Slovenije, koja je “izašla” iz istog društveno-političkog sustava, ali je svoje željezare uz svesrdnu institucionalnu pomoć i metalurške struke ne samo “spasila”, nego i uspješno privatizirala (kao i cijeli metalurški sektor) tako da su one već odavno profitabilne tvrtke. Grad Sisak nije isti sa Željezarem Sisak i bez nje, o čemu i danas svjedočimo. S obzirom da se ugasila i Željezara Split (2018.), proizvodnja čelika u RH je svedena samo na proizvodnju u tvrtci ABS Sisak d.o.o. koja je u 2019. godini iznosila oko 69 kt, što je na razini proizvodnje čelika nekadašnje Željezare Sisak u razdoblju između 1955. (46,9 kt čelika) i 1956. godine (82,5 kt čelika). No treba napomenuti da je nekadašnja Željezara Sisak u tom razdoblju (1955.-1956.), osim proizvodnje čelika, proizvela oko 100 kt sirovog željeza i oko 27 kt bešavnih cijevi. No, proizvodnje sirovog željeza u Željezari Sisak nema od 1992. godine, a proizvodnje cijevi nema od 2011. godine. Danas je broj zaposlenih u ostacima nekadašnje ŽS oko 200, što je za oko dva puta manje od broja zaposlenika u Talionici Caprag (preteča Željezare Sisak) 1939. godine u prvoj godini njenog rada (oko 400 zaposlenika).

Literatura

1. M. Gojić, Talionica Caprag-ishodište Metalurškog kombinata Željezara Sisak, *Kemija u industriji*, 70 (2021) 7-8, str. 401-408.
2. M. Gojić, Metalurgija čelika, Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, II. nepromijenjeno izdanje, Sisak, 2006., str. 129-138.
3. Z. Čepo, Željezara Sisak 1938-1978, treće prerađeno i dopunjeno izdanje, SOUR Metalurški kombinat „Željezara Sisak“, Sisak, 1978. str. 73-269.
4. V. Logomerac, *Primjena pirometalurškog i hidrometalurškog postupka, te solvent ekstrakcije u razradi kompleksnog postupka za prerađu crvenog mulja, a u cilju dobivanja svih u njemu sadržanih korisnih sastojaka*, disertacija, OUR Metalurško inženjerstvo Tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Sisak, 1976., str. 89-169.
5. N. Veber, Kombinat Željezare Sisak, Čelik, 3 (1967) 6, str. 19-24.
6. N. Devčić, I. Mamuzić, 50 godina proizvodnje bešavnih cijevi u Hrvatskoj-Željezari Sisak, *Metalurgija*, 42 (2003) 1, str. 47-55.
7. M. Gojić, Metalurški kombinat Željezara Sisak, *Kemija u industriji*, 70 (2021) 9-10, str. 563-580.
8. S. Paulin, D. Vranešević, Konceptija nove aglomeracije u Sisku, Čelik, 24 (1988) 132, str. 17-20.
9. M. Gojić, *50 godina studija metalurgije (monografija 1960.-2010.)*, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak, 2010. str. 37-139.
10. Grupa autora, *Talionica Caprag-Željezara Sisak 1938.-2018.* (urednik Đ. Tadić), Kultura vrijednosti, Sisak, 2019., str. 122-139.
11. Đ. Tadić, Željezara Sisak-tvornica čelika i života, Kultura vrijednosti, Sisak, 2017., str. 6-16.
12. Z. Baričić, Razvoj metalurgije i njezin utjecaj na urbanu preobrazbu i stambenu izgradnju Siska, *Geoardia* 10 (2005) 2, str. 211-228.
13. V. Čakširan, Željezara Sisak-nedovršeni gigant, Gradski muzej Sisak, Sisak, 2018.
14. D. Bauman, Željezara Sisak u Domovinskom ratu i poraću, HŽD, Zagreb, 2018.
15. *Bibliografija 1961.-1985.*, 2. dopunjeno i prošireno izdanje, RO Institut za metalurgiju Sisak, Sisak, 1985. str. 5-6.
16. Inovacije u SOUR MK „Željezara Sisak“, *Metalurgija*, 22 (1983) 3/4, str. 66-68.
23. Obradene inovacije za 1985. godinu u MK Željezara Sisak“-Sisak, *Metalurgija*, 25 (1986) 4, str. 174-178.
17. J. Kovač, D. Župan, Lijevanje kućišta Pilger-stana za valjaonicu bešavnih cijevi, *Ljevarstvo*, 31 (1984) 2, str. 51-55.
18. Lj. Vuković, Stručna knjižnica Željezare u Sisku, *Kemija u industriji*, 53 (2004) 9, str. 12-414.
19. M. Frković, Konceptija razvoja informatike u složenom poduzeću, Čelik, 27 (1990) 139, str. 16-18.
20. M. Gojić, Stanje i trend proizvodnje čelika u svijetu i Republici Hrvatskoj, *Knjiga zbornika radova s multidisciplinarnog savjetovanja: „Materijali i tehnološki razvoj“*, Zagreb, 15. 5.2002., Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Zagreb, Hrvatska, str. 53-67.
21. M. Malina, Tranzicija u Željezari Sisak, *Metalurgija*, 42 (2003) 1, str. 69-73.
22. www.worldsteel.org, preuzeto 31. 12. 2020.

Mirko Gojić

Metallurgical Production in the Former Sisak Ironworks

Abstract: The impact of metallurgical combine of Sisak Ironworks as the largest and most significant metallurgical factory in the Republic of Croatia is shown in the paper. The Sisak Ironworks has arisen from former Caprag Smelter in Sisak in 1938. The building of Sisak Ironworks (from 1948), their reconstruction and modernization (1967-1987), production of metallurgical semiproducts (pig iron, steel etc.), final products (seam and seamless pipes, castings etc.), their social roles and responsibility, for local association, market of products as well as effects of privatization during transition in the period from 1991 to 2019 are described. Sisak Ironworks possesses the characteristics of integral ironworks including mass production of coke, pig iron and crude steel as well as semiproducts and final products with significance for their own metalworking production. Seam and seamless pipes were primarily and in the world recognizable products of the Sisak Ironworks. The Sisak Ironworks was the third ranked ironwork according to the production volume, although the only producer of seamless pipes in Yugoslavia. Sisak Ironworks imposed a strong significance for today's Country of Sisak-Moslavina employing altogether 13,992 workers and producing about 2,07 million tons of metallurgical products (coke, pig iron, crude steel, pipes etc.) at the end of 1989. Sisak Ironworks was always cultivated the solidarity style of life. After the World War II 3530 flats were built for workers, about 4000 individual credits distributed for building of houses. Sisak Ironworks participated in co-financing of numerous infrastructural and communal projects, education, cultural, sports-recreational and other activities. Unfortunately, the Sisak Ironworks vanished long ago because of several reasons: war sufferings, three unsuccessful privatizations (Russian Trubo Impex and Mechel Steel groups as well as American company CMC), negligence of the competent state institutions, etc. Today, former Sisak Ironworks is reduced to the production of electrosteel (in modernization and partly new machines) in the private property (Italian company Danieli) which works from 2012 year with the name of ABS Sisak Ltd. From metalworking point of view only German company Rohrwerk Max Hütte Sisak Ltd. exists that produces steel pipes and accessories from

imported steel pipes and employs only a few dozen of workers. As a result of privatization other numerous companies of the former Sisak Ironworks are closed. Therefore, metallurgical production residues of the original Sisak Ironworks exist. The production of crude steel (about 69.000 t) reduced to the level between 1955 (46.900 kt) and 1956 year (82.500 kt) in the 2019. The number of 200 employed workers today is half of the employment in Smelting Caprag (starting point of the Ironworks Sisak) in the first (1939) acting year (about 400 workers).

Keywords: metallurgy, Smelting Caprag, Ironworks Sisak, pig iron, steel, seam and seamless pipes

Tehnički sustavi

Želimir Volf

Podatkovne mreže hrvatskih telekomunikacija od 1970. do 2000.

Sažetak: U vremenu od 1970. do 2000. godine, Hrvatske telekomunikacije su izgradile i stavile u uporabu pet javnih podatkovnih mreža, poimence: GRADPAK mreža, JUPAK / CROAPAK mreža, CROLINE mreža, ATM mreža i Internet. Zajedničko svim tim mrežama je to da su sve one bile paketske podatkovne mreže. Početkom '70-tih godina postojale su nedoumice glede tipa komutacije, koje su konačno razriješene odabirom paketske komutacije. Članak opisuje planiranje i izgradnju tih javnih podatkovnih mreža u Hrvatskoj. GRADPAK mreža je predstavljala podatkovnu okosnicu Univerziteta održane u Zagrebu i puštena je u promet 1987. Slijedile su izgradnja / integracija GRADPAK mreže u JUPAK, kasnije prozvanom CROAPAK mrežom. Digitalizacija telefonske mreže početkom 90-tih, omogućila je uvođenje Frame Relay-a i posljedično tome izgradnju CROLINE mreže. Slijedeći svjetske trendove uvedene su: Internet mreža 1994. godine u probni rad, a godinu iza toga i komercijalni rad. Paralelno s time, započeto je planiranje i potom izgradnja ATM mreže u Hrvatskoj.

Ključne riječi: prijenos podataka, podatkovne mreže, GRADPAK mreža, JUPAK mreža, CROAPAK mreža, CROLINE mreža, ATM mreža, Internet, X.25, ARPANET, PTT, HPT, LM Ericsson, ERIPAX, AXB 30

Uvod

Prijenos podataka, kao zasebna telekomunikacijska usluga, koji su pružali PTT-i u Hrvatskoj pojavio tek pojavom digitalnih elektroničkih računala. Precizni podaci o tome kada se zakupljeni telekomunikacijski vodovi počeli koristiti u svrhu povezivanja računala i terminala nisu poznati, ali to je moralo biti početkom 1970-tih godina.

Zakup telekomunikacijskih vodova je kao telekomunikacijska u sluga postojao prije pojave digitalnih računala, primjerice za potrebe posebnih službi: vojska, policija, hitne službe, telegrafiju, za potrebe radio i TV difuzije i slično. Službena statistika (godišnji Poslovni izvještaji PTT-a [14]) nisu lučili razlike u namjeni korištenja zakupljenih telekomunikacijskih vodova, iskazivale su se samo zbirna stanja po godinama.

Prijenos podataka u javnoj telekomunikacijskoj mreži u PTT poduzeća u RH / HPT, ostvarivao se zakupom analognih telefonskih vodova. Od 1987. pa nadalje, prijenos podataka (odnosno povezivanje računala) bio je moguće i posredstvom posebnih podatkovnih mreža, kako to pokazuje tablica 1:

Tablica 1, javne podatkovne mreže Hrvatskih telekomunikacija

Stavljeno u funkciju (godine)	Naziv podatkovne mreže
1987.	GRADPAK mreža
1989.	JUPAK / CROAPAK mreža
1996.	CROLINE mreža
2000.	ATM mreža
1995.	Internet mreža

Autor ovog napisa aktivno je radio na planiranju i izgradnji prvih 4 podatkovnih mreža, što je predmet ovog referata. Sadržaj ovog referata pokriva vremensko razdoblje od 1970. do otprilike 2000. godine.

Institucije triju djelatnosti: *obrazovanja* (Elektrotehnički fakultet u Zagrebu), *eksploatacije* (PTT Zagreb i dr.), te *proizvodnje* (Tvornica telekomunikacijskih uređaja „Nikola Tesla“ iz Zagreba), udružili su svoja istraživanja na projektima pod pokroviteljstvom Ministarstva znanosti bivše države:

1. Kompleksna istraživanja na području integriranih digitalnih sistema veza (1971. do 1975.);
2. Etapna realizacija integrirane komunikacijske mreže (1976. do 1980.);
3. Razvoj telekomunikacija (Projekt 53, od 1981. do 1985.);
4. Istraživanja na području telekomunikacija i informatike (Projekt 1.07.04. od 1986. do 1990.)

U jednom dijelu tih projekata, istraživanja su se odnosila na prijenos podataka i na izgradnju posebnih javnih podatkovnih mreža.

Prijenos podataka u svijetu (miljokazi)

Premda pregled razvoja podatkovnih mreža u svijetu, nije predmet ovog napisa, potrebno je spomenuti neke prekretnice – miljokaze – na svjetskoj razini, da bi čitatelj dobio uvid i paralelu razvoja mreža u Hrvatskoj.

ARPANET (pokrata od Advanced Research Projects Agency Network) [2], je prva rasprostranjena (eng. wide-area) mreža sa distribuiranim upravljanjem i jedna od prvih mreža, koje su koristile TCP/IP lepezu protokola u USA. Temeljne ideje za izgradnju ARPANET su dali J. C. R. Licklider, Bob Taylor., te Lawrence Roberts kao programski manager. Roberts donio ključne odluke o dizajnu mreže, a matematičku podlogu za analizu tehnologije paketskih mreža, na poziv Roberts-a je dao Leonard Kleinrock at (iz University of California, Los Angeles) [17]. Prva računala su priključena na ARPANET još 1969. godine.

Brojne podatkovne mreže javile su se krajem 70-tih i početkom 80-tih godina prošlog stoljeća u svijetu primjerice (navode se samo njihova komercijalna imena): IBERPAC, TRANSPAC, COMPUSERVE, TYMNET, TELNET, EURONET, PSS [13], DATAPAC, DATANET i AUSTPAC) kako to stoji u lit. [20]. X.25 je bio temeljni protokol tih podatkovnih mreža, te su iste dobile po tome ime: „X.25 mreže“.

Tvrtka LM Ericsson je u Ericsson Review, No 1/1977 [7], najavila i opisala nove elektroničke komutacijske sustave tipa AXE 10 za telefoniju, AXB 20 za teleks i asinkroni prijenos podataka, te najavila AXB 30 za sinkroni prijenos podataka. U uvodniku istog članka [7], najavljeno stvaranje ‘Nordic data network’ za potrebe četiri Nordijske zemlje, te njihov zajednički odabir sustava AXB 30, koji je trebao biti opisan u idućem broju Ericsson Review-a (ali je izostao!). Suštinska razlika između AXB 30 i ARPANET [1], te Packet Switch Stream-a [13], je ta, da je AXB 30 koristio ‘komutaciju kanala’ nasuprot ovih potonjih mreža (i svih ostalih koje su u svijetu slijedile), koje su koristile ‘komutaciju paketa’.

U godišnjem izvještaju projekta „Razvoj telekomunikacija“ za 1981. godinu, autor je dao prilog na Zadatku 53.1.4. „Izgradnja javne mreže za prijenos podataka SRH“. Dio tog izvještaja, prema sjećanju autora, odnosio se na pregled mreža za prijenos podataka u svijetu. U kontekstu toga stidljivo sam spomenuo da osim mreža za prijenos podataka, koje rade na principu komutacije kanala, ima i onih podatkovnih mreža, koje koriste komutaciju paketa. Ta je rečenica bila ‘magnum crimen’ u očima našeg recenzenta, mr. sc. Marijana Crnjaka, dipl. ing. iz „Nikole Tesle“ u Zagrebu. Bio sam stoga pozvan na ‘razgovor’ (ma koji razgovor – ‘pranje mozga’) kod Ing. Zvonka Vukovića, koji je u „Nikoli Tesli“ obnašao funkciju šefa odjela, koji se u „Teslinom“ Institutu bavio telegrafijom i prijenosom podataka. Bilo je to u jesen 1981. godine, kako se to vidi iz priloga I [16]. Nakon prve rečenice našeg razgovora, shvatio sam

suštinu problema: „Nikola Tesla“ je imala licenčni ugovor za tvrtkom LM Ericsson, koja je u mrežama za prijenos podataka, u to doba, ‘vidjela’ svoj sustav AXB 30, a ne paketsku komutaciju. Ponudio sam izmjenu sadržaja mogeg izvješća riječima: „Ing. Vuković, recite što biste htjeli da ja napišem ... ja ću to i učiniti“. No to Ing. Vukoviću nije bilo dovoljno. On je u razgovoru ‘utvrđivao’ svoju tezu o jedino ispravnom putu i odluci, tj. izboru komutacije kanala kao jedinog ispravnog rješenja.

Na zadovoljštinu nisam trebao dugo čekati. Tvrtka LM Ericsson je početkom 1982. godine uspostavila nagradu (po uzoru na Nobelovu nagradu, pretpostavljam), ‘za poseban doprinos u razvoju telekomunikacija’. U prvom broju informacije News & Notes No 1/1982 [12], obznanjeno je, da tu nagradu Ericsson za 1982. godinu dodjeljuje dvojici Amerikanaca, Lawrence Roberts-u i Leonard Kleinrock-u, dvojici ključnih osoba, koji su radili na izgradnji ARPANET mreže [5]. U toj informaciji stoji: „... očekuje se da će Paketska komutacija biti dominantan način u budućim mrežama za prijenos podataka ...“ vidi slika 1.

Americans Share the 1982 Ericsson Prize

Two American scientists who shared the 1982 LM Ericsson Prize for significant contributions with telecommunications received gold medals and cash awards from His Majesty King Carl XVI Gustaf of Sweden during special ceremonies in Stockholm on May 5.

The winning scientists are Prof. Leonard Kleinrock, a computer science specialist at the University of California, Los Angeles (UCLA), and Dr. Lawrence Roberts, chairman of the board of Telenet Telecommunications Co., Vienna, Virginia, also in the U.S.

Professor Kleinrock and Dr. Roberts received equal shares of the cash award totaling about \$34,000, together with medals, for their important work on new techniques for data transmission, notably the new packet switching technique. The release accompanying announcement of awards noted that “Professor Kleinrock has, with his scientific work, founded a school for the theoretical treatment



Leonard Kleinrock



Lawrence Roberts

of data traffic problems. Dr. Roberts has by the design of new networks for data packet switching shown practical applications of the technique.”

In packet switching, data to be transmitted in the same direction, is assembled in “packets.” A packet contains a certain amount of data that may be part of a long message, or may consist of a number of

shorter messages. The packet switching technique provides better utilization of transmission channels, especially for data traffic that very often consists of short bursts of data with minimum-delay requirements. The technique can easily be adapted to different types of computers and terminal equipment. Packet switching is expected to be the dominant method used in future data transmission networks.

The LM Ericsson Prize, which is awarded every third year, was instituted in 1976 in connection with the 100th anniversary of Ericsson’s founding. The first recipient was Dr. Harold Rosen of Los Angeles, for his work on geostationary satellites. Three years later the Prize was shared by Dr. Kuen Charles Kao, of the International Telephone and Telegraph Company in Roanoke, Virginia, in the U.S., and Dr. Robert Distler Maurer, of the Corning Glass Works, Corning, N.Y., for their work on long-distance transmission of information via optical fibers.

Sl. 1. Izvadak iz LM Ericsson-ove publikacije News & Notes No 1/1982

Samo godinu dana kasnije 1983., Ericsson je uveo na telekomunikacijsko tržište ERIPAX (ERICSSON Packet Switching Exchange) [8].

Pojam ‘mreža za prijenos podataka’, odnosno ‘podatkovnih mreža’, u daljem se tekstu ovog članka, odnosi se na ‘Wide Area Netwrks’ tj. na mreže, koje u topološkom smislu pokrivanju zemljopisno udaljene lokacije, za razliku od ‘lokalnih mreža’

(Local Area Networks, pokrata: LAN), koje tipično povezuju informatičku opremu jedne zgrade ili jednog poslovnog kompleksa.

Podatkovne mreže, koje su predmet opisa ovog referata, temelje se na PAKET-SKOJ komutaciji. Više informacija nalazi se u Prilogu 2, „KOMUTACIJA PAKETA“.

Prijenos podataka u Hrvatskoj

Neki miljojazi/prekretnice (engl. milestones) u području i informatike slijede u nastavku, bez pretenzije na cjelovitost prikaza, kako bi čitatelj imao uvid u nastajanje nove djelatnosti – informatike u Hrvatskoj, posebice Zagrebu. Neka od prvih digitalnih računala, koja su u Zagrebu, stavljenih u uporabu naznačena su u tablici 2:

Tablica 2. Instaliranje digitalnih elektroničkih računala u Zagrebu

Godina	Opis računala
1964	Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske je 1964. nabavio računalno UNIVAC 1004 koje je imalo za one prilike veliki kapacitet, velike mogućnosti. Zatim je u Francuskoj nabavljena oprema za obradu podataka francuske firme BUL. Krajem 1971. godine Sabor SR Hrvatske donio je odluku o nabavi prvog elektroničkog računala u Republičkom zavodu za statistiku. Na temelju te odluke Zavod je tada nabavio elektroničko računalno 370/135 tvrtke IBM [1]
1967.	Kreditna banka Zagreb (sada Zagrebačka banka), je prema ing. Sergije Turmišov-u, ERC (Elektronički Računski Centar) započeo s radom 1967., kada je instalirano prvo računalno tipa IBM 360.
1969.	PTT Zagreb, je ugovorio najam IBM 360 računala (Host) u jesen 1968., godine, a vjeruje se da je isti bio u funkciji već početkom 1969. godine, pod nazivom PTT-ERC (ERC je pokrata od Elektronički Računski Centar) kao zasebnoj organizacijskom jedinicom. Smještaj PTT ERC-a je bio u prizemlju telekomunikacijske zgrade u ulici (nekada) Ive-Lole Ribara u Črnomercu. Autor ovog napisa započeo je koristiti usluge PTT ERC-a tijekom 1975. godine.
1972.	SRCE je postavio privremenu izobrazbena konfiguracija na privremenoj lokaciji u Savskoj cesti, što se smatra datumom osnivanja SRCA. U ljeto 1973. godine instalirana je prva konačna konfiguracija (UNIVAC 1110) u novoj zgradi SRCA (današnja lokacija) te postavljena mrežna infrastruktura, preteča današnje mreže. Bile su to terminalne veze prema značajnijim korisnicima u Zagrebu i ostalim sveučilišnim centrima u Hrvatskoj [10]. Autor ovog napisa, bio je na tečaju programskog jezika Fortran V, koji je držao prof. Stefani- ni u ljeto 1975. godine u SRCE-u.

1973.	GZAOP (Gradski zavod za automatsku obradu podataka, koji je 2005. promijenio naziv u Agencija za podršku informacijskim sustavima i informacijskim tehnologijama - APIS IT d.o.o.) Preduvjet za realizaciju KIS-a (Korisničkog Informacijskog Sustava) bila je nabava nove opreme pa je naručen novi sustav IBM 370/155., koji je instaliran i pušten u rad 15. ožujka 1973., čime je započela nova era u razvoju ERC-a (Elektronički Računski Centar). [4]
1978	Privredna banka Zagreb, imali su Kienzle računala, a 1978 nabavljeno je IBM 360 računalo (info od: mr. sc. Ante Dulčić-a)
1987.	GZAOP gradi novu zgradu za smještaj opreme i osoblja u Prečkom. Radovi su počeli 1985. i završeni 1987., uoči Univerzijade u Zagrebu [4]

Početkom 70-tih godina 20. stoljeća, informatiku je počelo koristiti rastući broj poslovnih subjekata u Hrvatskoj i počela se razvijati svijest i potreba za povezivanjem zemljopisno dislociranih informacijskih entiteta. Najprije se ukazala potreba za povezivanjem udaljenih terminala na računala ('hostove'), a potom i za povezivanjem računala međusobno. Ako poslovni subjekti nisu imali vlastitu telekomunikacijsku mrežu (kao primjerice HEP ili HŽP), bilo je prirodno koristiti zakup telekomunikacijskih vodova od PTT poduzeća u Hrvatskoj.

Kada se govori o javnoj telekomunikacijskoj mreži onog doba, onda treba naznačiti da se radi o analognoj telefonskoj mreži / infrastrukturi, koja je bila hijerarhijski strukturirana po razinama: krajnjih, čvornih, glavnih, tranzitnih i međunarodnih telefonskih centrala u skladu s tadašnjim Generalnim planom PTT Jugoslavije. Jednostavnim jezikom rečeno, u kontekstu zakupa telefonskih vodova isti se dijele na: a) pristupne telefonske vodove i b) na spojne telefonske vodove. Pristupnim telefonskim vodom smatra se vod (telefonska parica) od korisničke lokacije do prvog telefonskog komutacijskog čvorišta (centrale, koncentratora, izdvojenog stupnja ...). Spojnim telefonskim vodovima smatraju se oni telefonski vodovi, koji povezuju telefonska komutacijska čvorišta (telefonske centrale, koncentratore, ili izdvojene komutacijske stupnjeve međusobno). To mogu biti fizički vodovi (u slučajevima povezivanja telefonskih centrala u urbanim sredinama), ili telefonski kanali u frekvencijskom opsegu od 300 Hz do 3,6 kHz, ili primarne telefonske grupe tj. 12 telefonskih kanala, za međusobno povezivanje zemljopisno udaljenih telefonskih centrala.

Najčešći slučajevi zahtjeva za zakupom vodova, su uključivali kombinaciju pristupnih i spojnih telefonskih vodova.

Rastućim potrebama za prijenosom podataka u svrhu povezivanja računala, nastojalo se riješiti tehnologijama, koje su tada bile u nastajanju – stvaranjem posebnih mreža za prijenos podataka. Pitanje je zašto?

- Kakvoća prijenosa podataka telefonskom mrežom, premda dovoljno dobra za komuniciranje među ljudima, pokazala se nedovoljnom za prijenos podataka;

- Nedostatak spojnih vodova;
- Rukovanje (uspostava i raskid) zakupljenih vodova iziskivao je mnogo ljudskog rada i administracije. Tehnologija rada sa lemilom i prespajanjima na nekoliko razdjelnika širom tražene 'trase' se u rastućim potrebama jednostavno pokazala neefikasnom i složenom.
- Davatelj usluga zakupa vodova (PTT-i u Hrvatskoj), želio je davati u najam, ne fizički 'komad žice', između dviju točaka telekomunikacijske mreže, već USLUGU, tj. komunikacijski (virtualni) kanal određenih svojstava.
- Udovoljavanje zahtjevima za 'dinamički zakup vodova' (omogućavanje zakupa vodova samo u određenim vremenskim razdobljima, promjena tarife zakupa u funkciji vremena npr. zakup noću ...)

I. GRADPAK mreža

Ljetna Univerzijada 1987., također poznata kao XIV Ljetna Univerzijada održala se u Zagrebu, od 8. do 19. srpnja 1987. U njoj su sudjelovali sudionici iz 111 zemalja i preko 6.000 pojedinačnih sportaša i članova timova [2].

Univerzijada u Zagrebu, bila je dislocirana u svojim sadržajima na niz objekata, odnosno sportskih borilišta. Natjecanja u 12 sportova održavala su se na 26 sportskih objekata u Zagrebu i 14 u gradova suorganizatorima (Bjelovar, Čakovec, Jastrebarsko, Karlovac, Kumrovec, Petrinja, Sisak, Varaždin i Sveti Ivan Zelina) [3].

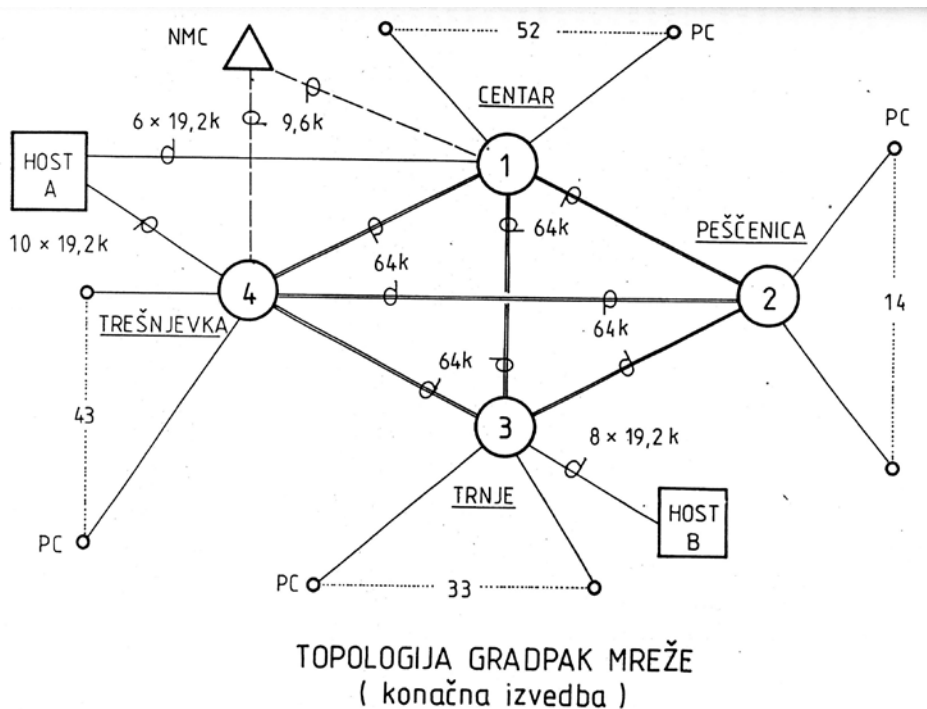
Ažurno praćenje rezultata svih sportskih manifestacija i organizacijska podrška igrama (funkcije akreditacije, opće informacije, upravljanje transportom), ostvareno je informatičkom računalnom podrškom Univerzijade '87. Obrada podataka se jednim dijelom obavljala na osobnim računalima (PC) vezanim u lokalne mreže (LAN), a drugim dijelom na centralnom računalima (HOST-ovima).

Dogovorom između RO PTT prometa Zagreb i Organizacijskog komiteta UNIVERZIJADE '87 odlučeno je da se za potrebe prijenosa podataka izgradi posebna funkcionalna mreža, koja je dobila svoje ime GRADPAK mreža.



Struktura GRADPAK mreže

U topološkom smislu, GRADPAK mreža izgleda kako je to prikazano na slici 2.



Sl. 2. Topologija GRADPAK mreže

Oprema komutacijskih čvorišta je izvedena sistemom ERIPAX, koji je tvornica telekomunikacijskih uređaja «Nikola Tesla» iz Zagreba proizvodila prema licenci švedske tvrtke Ericsson Information Systems AB.

Osim komutacijskih čvorišta, sistem ERIPAX se koristi i u centru za nadzor i upravljanje GRADPAK mrežom (Network Management Centre - NMC). Radi pouzdanosti i kapaciteta obrade, komutacijska čvorišta GRADPAK mreže su izvedene u udvojenoj konfiguraciji. Kapacitet komutacijskih čvorišta iskazan brojem priključnih točaka iznosio je ukupno 155. Komutacijska čvorišta GRADPAK mreže su povezana isprepletenom mrežom spojenih vodova. Prijenos podataka na spojnim vodovima odvija se brzinom od 64 kbit/s. Sve modeme za potrebu u GRAOPAK mreži isporučila je također tvornica «Nikola Tesla».

Treću komponentu GRADPAK mreže čini terminalska oprema.

HOST A se nalazi u zgradi CAOP-a u Prečkom, a sačinjavali su ga dva IBM-ova računala tipa 3083 s odgovarajućom perifernom opremom. Od te periferne opreme, za priključenje na GRADPAK mrežu naznačuje se samo komunikacijsko računalo (Front-End-Processors-a, pokrata «FEP») tipa 3725. Dva komunikacijska FEP-a bila su s osam linija (8 četvorki) vezani na komutacijsko čvorište u ATC (pokrata od Automatska Telefonska Centrala) Trešnjevka. Prijenos podataka od HOST-a ostvarivao se brzinom prijenosa podataka od 19,2 kbit/s. Osim HOSTA u Prečkom, kao rezervno centralno računalo bilo je predviđeno IBM-ovo računalo (HOST B) koje se nalazi u Zagrebačkoj banci i bilo je s 4 linije od 19,2 kbit/s povezano na komutacijsko čvorište u ATC Trnje. Način signalizacije centralnih računala (HOST-a) prema GRADPAK mreži je bila prema CCITT preporuci X.25.

Ostala terminalska oprema sastojala se od 2 tipa osobnih računala (pokrata PC):

- CONVERGENT TECHNOLOGY INC., NG s sistemskim softwareom HERO OS, kojeg dobavljala (proizvodila) SOUR "Rade Končar" i
- OLIVETTI M24 i M28 PC, potpuno kompatibilnih s IBM-ovim PC standardom.

Uz te PC-e nalazili su se i TRS-ovi štampači tipa 821. PC-i su bili priključeni na GRADPAK mrežu bilo izravno, bilo povezani u LAN-ove. Prijenos podataka od PC-a prema GRADPAK mreži je radio brzinom prijenosa podataka od 4,8 kbit/s, a koristila se signalizacija tipa SNA/SDLC.

GRADPAK mreža je osiguravala povezivanje PC-a na HOST-ove stalnom virtualnom vezom (Permanent Virtuel Circuit - PVC). U slučaju prekida, npr. jedne spojne veze, GRADPAK mreža automatski generira PVC vezu po uspostavljanju prekinute spojne veze.

Nadzor i upravljanje GRADPAK mrežom se ostvaruje posredstvom Centra za nadzor i upravljanje mrežom (NMC), koji je imao tako reći "sve konce u rukama". U slučaju izuzetnih situacija u mreži, NMC-om se moglo vršiti preusmjeravanje prometnih tokova (za one slučajeve koji nisu predviđeni planom alternativnog usmjeravanja) npr. prebacivanje obrade iz HOST-a A na HOST B.

Postoji mnogo osoba, koje su svaka u svojoj nadležnosti, kako unutar RO PTT Prometa Zagreb, tvornice „Nikola Tesla“, te Organizacijskog komiteta UNIVtRZIJA-DE «87, učestvovali na planiranju, izgradnji i održavanju GRADPAK mreže, međutim ja smatram da je nemjerljiv doprinos umrežavanju i osiguranju funkcionalnosti te mreže osobno dao, moj prijatelj gospodin Rudolf Jovanović, dipl. ing. Za detaljnije informacije vidi [11], [15].

JUPAK / CROPAK mreža

Usvajanje „Društvenog dogovora o zajedničkim osnovama razvoja, izgradnje i povezivanja informacijskih sistema, te razvitka informatičke djelatnost u SR Hrvatskoj“, ‘80-tih godina, je bio poticaj da se u RO PTT prometa Zagreb, pristupi sustavnom planiranju javne podatkovne mreže. Stoga je tijekom 1982. godine provedena je prva anketa među potencijalnim korisnicima buduće JUPAK mreže u RH čiji su rezultati obavijeni u [22]. Rezultati te ankete su dali projekciju potreba korisnika za prijenosom podataka na području Hrvatske.

Na razni Zajednice Jugoslovenskih Pošta, Telegrafa i Telefona donesena je odluka o tipu komutacije, tj. usvojena je komutacija paketa kao tehnologija buduće javne podatkovne mreže u Jugoslaviji.

U onodobnim uvjetima izgradnje telekomunikacijskih kapaciteta bilo je uobičajeno da u investicijama sudjeluju i budući korisnici. Postupak dogovaranja i usklađenje heterogenih interesa između davatelja usluga (PTT-a) i korisnika je bio izuzetno spor i dugotrajan. Bolje organizirana SR Slovenija, koja nije slijedila hrvatski primjer u izgradnji JUPAK mreže, ‘pretekla’ je Hrvatsku, te je neovisno o ostalim Republikama u bivšoj Jugoslaviji, prva samostalno raspisala javnu licitaciju za mrežu za prijenos podataka s komutacijom paketa. Rezultati te licitacije su pokazali, da je najpovoljniji ponuđač bila firma Ericsson Information Systems AB, koja je nastupala zajedno s tvornicom telekomunikacijskih uređaja “Nikola Tesla” iz Zagreba. Potaknuti tim događajem, u Hrvatskoj je:

- 29. siječnja 1985. sklopljen SAS (pokrata od SAMoupravni Sporazum) između 6 korisnika (Zagrebačka banka Zagreb, Privredna banka Zagreb, Služba društvenog knjigovodstva u SR Hrvatskoj, ZOIO "CROATIA" Zagreb, SIZ MIORH Zagreb i "RADE KONČAR Zagreb) i RO PTT Prometa SRH da se gradnja javne mreže za prijenos podataka SR Hrvatske ostvari udruživanjem sredstava budućih korisnika;
- 30. siječnja 1985. potpisan je ugovor između RO PTT prometa SR Hrvatske i tvornice telekomunikacijskih uređaja "Nikola Tesla" iz Zagreba za nabavu opreme za izgradnju JUPAK mreže u Hrvatskoj, pod istim ulovima, koji su važili na licitaciji u Sloveniji.

EMPAK mreža

U momentu kad je već bilo izvjesnog da će sistem ERIPAX naći svoje mjesto u jugoslavenskim telekomunikacijama, ukazala se potreba za izgradnjom jedne probne

mreže na bazi sistema ERIPAX, koja je nazvana EMPAK mreža. Potrebu za jednom takvom mrežom imali su: tvornica “Nikola Tesla” iz Zagreba, RO PTT prometa Zagreb i Elektrotehnički fakultet u Zagrebu. “Nikoli Tesli” je takva mreža trebala omogućiti razvoj i ispitivanje novih funkcija i proizvodnju softvera za njih. Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu bi dostup do resursa EMPAK mreže unaprijedilo praktičan segment procesa nastave u redovnom studiju i (u teoriji) omogućilo školovanje kadrova za potrebe industrije i eksploatacije. Želja RO PTT prometa RH je bila da posredstvom EMPAK mreže omogući korisnicima provjeru komunikacijskih mogućnosti opreme za EOP bez utjecaja na rad JUPAK mreže RH prije njihovog stvarnog uključanja u JUPAK mrežu RH, te da kroz rad s tom mrežom omogući praktično iskustvo u održavanju opreme JUPAK mreže. Sama EMPAK mreža se sastojala od tri ERIPAX čvora, fizički smještenih na lokacijama naznačenih triju zainteresiranih subjekata. Samoupravni sporazum o izgradnji EMPAK mreže, potpisan 29. lipnja 1984. godine, a Svečano otvorenje te mreže je uslijedilo, 28. travnja 1986.

Izgradnja JUPAK / CROPAK mreže

Zbog održavanja Univerzijade radovi na izgradnji JUPAK mreže RH su prekinuti, a nastavljeni su tek u siječnju 1988. godine. Oprema GRADPAK mreže je integrirana u JUPAK mrežu u Hrvatskoj.

Montaža je bila završena i JUPAK mreža SRH je bila spremna za probni rad 1. travnja 1988. godine, a formalno je puštena u komercijalni rad 1. svibnja 1989. godine [21]. Ta se mreža sastojala od:

- 7 Komutacijskih čvorišta u: Zagrebu (4 kom), te po jednim čvorom u Osijeku, Rijeci i Splitu, koji su međusobno bili povezani spojnim vodovima brzine 64 kbi/s;
- Centrom za nadzor i upravljanje mrežom (NMC) u Zagrebu,
- 9 koncentratora, smještenih u: Bjelovaru, Dubrovniku, Karlovcu, Koprivnici, Puli, Slavenskom Brodu, Šibeniku, Varaždinu i Zadru, koji su bili povezani spojnim vodovima brzine 9,6 kbit/s na pripadajuća nadređena čvorišta,
- Modema, koji su omogućavali prijenos podataka analognim telekomunikacijskim vodovima (između čvorišta međusobno i koncentratora i čvorišta)
- JUPAK mreža Hrvatske, bila je unutar Jugoslavije, povezana sa Beogradom, Ljubljanom i Sarajevom spojnim vodovima brzine prijenosa 64 kbit/s, a uspostavljene su i međunarodne veze brzine prijenosa 9,6 kbit/s.

- Svi spojni vodovi su koristili X.75 sustav signalizacije.

Hardverska struktura čvorišta i koncentratora ostvarena je ERIPAX-om, s time da su vitalni dijelovi ERIPAX opreme u čvorištima bili udvojeni radi povećanja pouzdanosti.

Kapacitet JUPAK mreže SRH iznosio je u trenutku puštanja u promet iznosio 228 priključnih točaka, od čega je njih 157 namijenjeno izravnim korisničkim priključcima. Cijena opreme i usluga iznosila je otprilike 3.600.000 US\$, ne računajući postojeću infrastrukturu (smještaj, napajanje, telefonske prijenosne sustave ...)

Od samog početka, JUPAK mrežu su koristile znanstvene i obrazovne institucije. Na JUPAK mrežu RH su priključene i sve republičke i pokrajinske sveučilišne biblioteke u Jugoslaviji (iz: Zagreba, Novog Sada, Skoplja, Prištine, Beograda i Tl ograda - posredstvom NSB u Zagrebu, te direktno sveučilišne biblioteke u Ljubljani i Sarajevu). Sve su te biblioteke vezane i na računski centar Univerziteta u Mariboru, koji je nosilac zajedničkog jugoslavenskog znanstvenog projekta "Razvoj sistema uzajamne katalogizacije kao zajedničke osnove jedinstvenog bibliotečno-informacijskog sistema i sistema naučno-tehničkih informacija SFRJ".

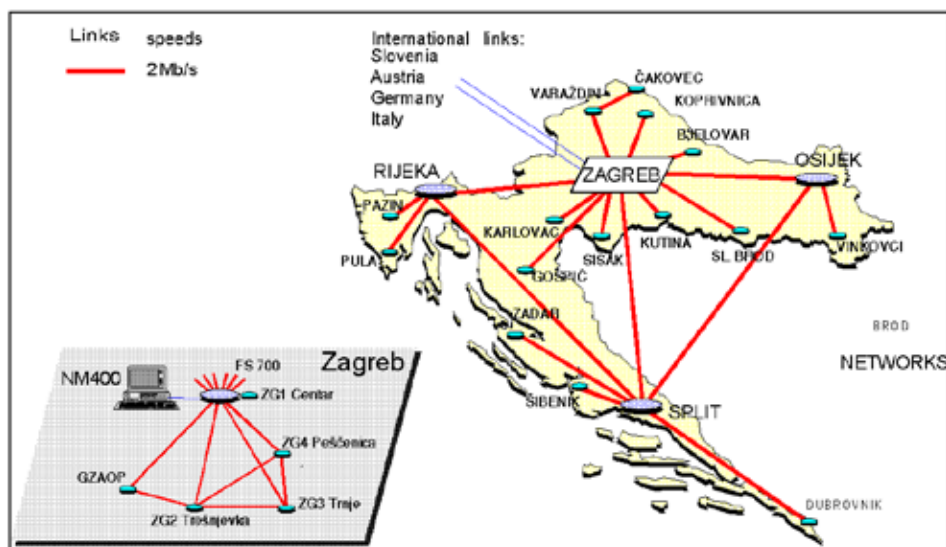
JUPAK mrežu u SRH su kao korisnici počele koristiti i Radne PTT organizacije, za sada za povezivanju službi 988 (Služba informacija – podaci o brojevima telefona, ...).

Nakon početka Domovinskog rata u Hrvatskoj, naziv JUPAK mreže je promijenjen u CROAPAK mrežu.

CROAPAK mreža je proširivana tri puta u: siječnju i rujnu 1994., te u ožujku 1995. Tim proširenjima je ostvareno:

- zamjena postojećih procesora CP2 u CP5,
- povećanje brzine prijenosa na svim spojnim vezama (2 Mbit/s),
- udvostručen je kapacitet (broj korisničkih priključaka),
- nova oprema centra za nadzor i upravljanje (NMC-a) sustava NM400,
- novi sistemski softver (od ER: 4.2 na ER 73), te Licenca za software (ER 8.1),
- nabava 12 novih koncentratora,
- 1 čvor CROAPAK mreže, modemi i kabeli za GZAOP,
- čvor FS700D sa 2 CM-a (Frame Relay Switch) za čvor ZGB1
- Tehnička pomoć, rezervni dijelovi, BB modemi i školovanje

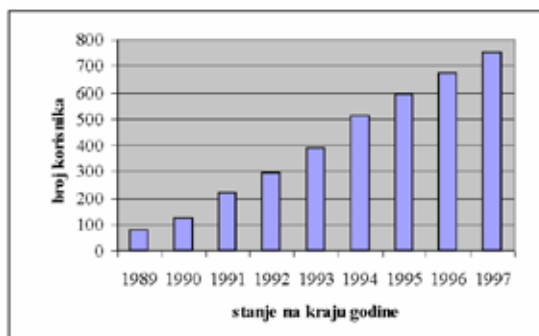
Tim proširenjima, topologija CROAPAK mreže je poprimila oblik, prema slici 3 [22].



Sl. 3. CROPAK mreža RH, topologija 1997. godine

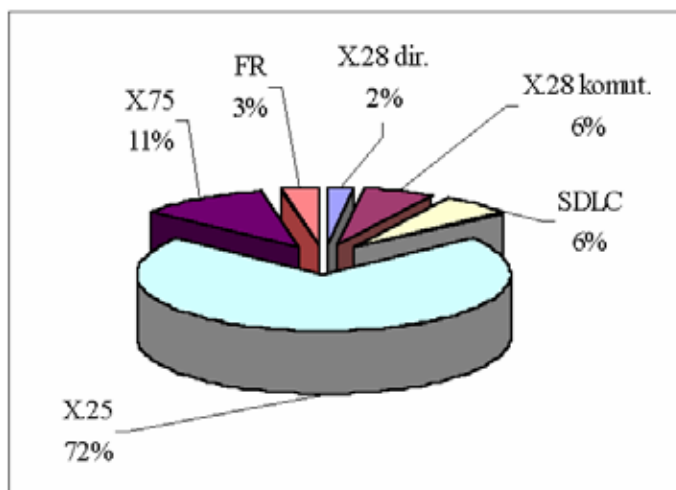
Ukupna vrijednost tog proširenja (nabave hardvera, najma softvera i usluga) iznosila je nešto manje od 4.450.000 US\$ (prema današnjem tečajevima Švedskih kruna prema US\$). Od tog proširenja Ericsson je uveo i godišnji najam softvera za sustav ERIPAX i Usluge 'Frame Relay-a', po uzoru na (pretpostavljam) velike IT tvrtke kao što to primjerice radio IBM.

Kapacitet CROPAK mreže je kontinuirano rastao, što se vidi iz slike 4, koja naznačuje porast broja korisničkih priključaka. Na kraju 1997. godine, broj korisničkih priključaka je iznosio 755.



Sl. 4. porast broja korisničkih priključaka JUPAK / CROPAK mreže

Slika 5. prikazuje distribuciju (zastupljenost) protokola, koji su se koristili u CROAPAK mreži krajem 1997. godine.



Sl. 5. distribucija protokola CROAPAK mreže 1997. godine

Kao što se iz slike 5. vidi, korisnici su koristili pretežno X.25 sustav signalizacije sa učešćem od 72%. Usluga Frame Relay-a (FR) je bila u svom začetku, te je skroman udio od 3% bio očekivani iznos. Međutim ja sam očekivao će znatno veći broj korisnika koristiti pristup CROAPAK mreži posredstvom komutiranog X.28 sustava signalizacije. Treba pojasniti što to u stvari znači: X.28 (u kombinaciji sa X.29 i X.3 sustavom signalizacije) omogućavali su pristup CROAPAK mreži iz komutirane telefonske mreže. Osobe, koje su od samog početka koristile Internet sjećaju se, da su pristup Internetu (koji je u vrijeme bio u nastajanju) također mogli ostvariti pristup Internetu posredstvom komutirane telefonske mreže. Paralelno telefonskoj liniji, bio je priključen modem, koji je omogućavao pristup osobnim računalima Internetu, koristeći postojeći (analogni) telefonski vod.

Razlog izostanka masovnijeg pristupa i korištenja CROAPAK mreže pripisuje se nedostatku sadržaja, koji bi korisnike privukao na to korištenje, te nedostatka vizije budućeg razvoja prijenosa podataka od strane uprave HT-a. CROAPAK mreža je bila i ostala mreža, koja je pokrivala profesionalne potrebe «poznatih» korisnika.

CROLINE mreža

Već nakon proširenja CROPAK mreže 1994. godine, razmišljalo se o novim i jeftinijim rješenjima prijenosa podataka u domeni zakupa digitalnih vodova. Pitanje je: Zašto?

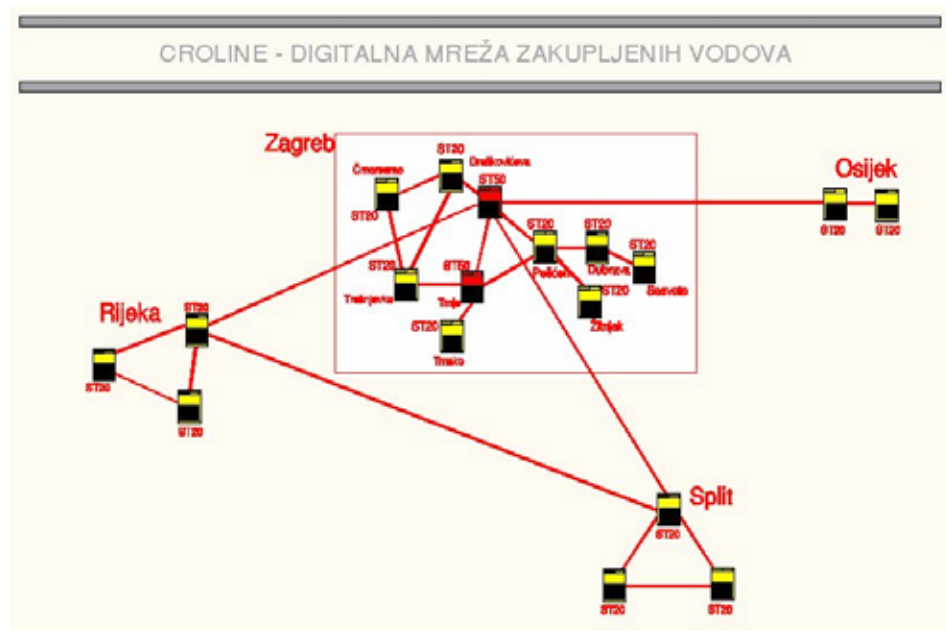
1. Paketske podatkovne mreže tipa X.25 nastale su krajem 70-tih godina, u vrijeme kada je postojeća telefonska mreža bila analogna. Kakvoća prijenosa u takvim mrežama je bila skromna (vidi Prilog 2), te su zaštitni mehanizmi X.25 signalizacije, koji su osiguravali točnost prijenosa informacije bili neophodni (mehanizam ponavljanja paketa u slučaju pogreške u prijenosu);
2. Sredinom 90-tih godina, opće stanje telekomunikacijske mreže, ne samo u svijetu, već i u Hrvatskoj se znatno popravilo digitalizacijom telefonske mreže i uvođenjem optičkih sustava prijenosa, što je omogućavalo daleko veću točnost prijenosa informacije;
3. Praćenje interesa korisnika i razvoja novih tehnologija (Frame Relay-a) ukazivao je na nove trendove u podatkovnim mrežama.

Temeljem navedenog, sredinom mjeseca svibnja 1995. godine HPT je raspisao javni natječaj za, kako je u natječajnoj dokumentaciji naznačeno, nabavu „Mreže digitalnih zakupljenih vodova“ (pokrata MDZV). Na natječaj se javilo 10 ponuditelja, od koji je njih polovina nudilo samo MODEMe (vidi prilog 3 - Modemi). U užu izbor za komutacijsku opremu ušli su InfoNET Projekt d.o.o i Siemens d.o.o.. Ponuditelji su dobili određene zadatke za doradu svojih ponuda. Kako Siemens d.o.o., u traženom roku nije dostavio revidiranu ponudu, cijeli ‘posao’ je dobila tvrtka InfoNET Projekt d.o.o. sa Ascom Timeplex-ovom opremom. Ugovor za nabavu opreme za CROLINE mrežu je potpisan 17. kolovoza 1995. godine. Tim je ugovorom HPT kupio :

- 18 komutacijskih čvorova (prespojnika) ST50 odnosno ST20 tipa Synchrony,
- 220 pristupnih naprava tipa AD,
- 196 modema raznih brzina od tvrtke Nokia, te
- 1 centar za nadzor i upravljanje s odgovarajućim softverom.
- Instaliran kapacitet CROLINE mreže je 608 ekvivalentnih 64 kbit/s priključaka. Od naznačenog kapaciteta, 168 priključaka moguće je ostvariti izravnim priključenjem na prespojnik, a 440 priključaka priključenjem posredstvom pristupnih AD naprava.

- Raspon brzina kojima se korisnička oprema može priključiti na CROLINE mrežu kreće od 1200 bit/s do 2 Mbit/s.
- Određenu količinu specificiranih modema.
- Vrijednost nabavljene opreme je neznatno manja od 2 miliona US\$.

Ugovorom je predviđeno da opremu montiraju stručnjaci HPT-a pod stručnim nadzorom djelatnika hrvatskog zastupnika tvrtke Ascom Timeplex, tvrtke InfoNET projekt d.o.o.



Sl. 6. CROLINE – Digitalna mreža zakupljenih vodova

Raspored opreme je vidljiv sa priložene slike 6. Na toj slici, radi preglednosti, ucrtani su samo komutacijski čvorovi (prespojnice) i spojni vodovi (svi brzine 2 Mbit/s). Kao što se može razabrati, oprema je instalirana na području gradova: Zagreb, Osijek, Rijeka i Split. Naime, prema analizama o stanju zakupljenih vodova na području RH, pokazano je da se oko 80% svih zakupljenih vodova nalazi na području pristupnih telefonskih mreža.

Ostali ključni datumi u izgradnji CROLINE mreže su:

- 31. svibnja 1996. završetak izgradnje i početak probnog rada i
- 06. studenog 1996. početak komercijalnog rada.

Fizičko priključenje korisnika na CROLINE mrežu, ostvaruje se na jedan od dva moguća načina: a) izravnim priključenjem na prespojn timer tipa Synchrony ili b) posredstvom pristupnih naprava tipa AD. Sastavni dio CROLINE mreže je centar za nadzor i upravljanje mrežom, iz kojega je moguće nadzirati svaku točku CROLINE mreže i upravljati uspostavom i raskidanjem stalnih virtualnih veza (PVC). Za više potankosti, vidi Prilog 2, „Komutacija paketa“.

CROLINE mreža je povezana s ostalim srodnim mrežama: CROPAK mrežom i Internet-om.

Pouzdanosti rada CROLINE mreže temelji se na, digitaliziranoj telekomunikacijskoj infrastrukturi, kakvoći komutacijske opreme (Synchrony i modema), stručnosti HPT-ovih djelatnika, koji su po potrebi potpomognuti, stručnjacima InfoNET Projekta d.o.o.

ATM mreža

U težnji za univerzalnosti prijenosa u paketskim mrežama, tj. prijenosa osim podataka i prijenos govora, videa tehnološki razvoj je ukazivao na potrebu uporabe većih brzina prijenosa i smanjenje kašnjenje paketa tijekom prolaza kroz mrežu. Tehnološko rješenje za to nađeno je u Asynchronous Transfer Mode-u [6] (pokrata ATM, tj. ‘asinkroni način prijenosa’ u doslovnom prijevodu). ATM je u suštini ostao paketski prijenos, ali sa znatno većom brzinom prijenosa, više ne ‘paketa’, nego – ‘čelija’ (Cells) kako se osnovni informacijski entitet naziva. Dinamika izgradnje ATM mreže je prikazana u tablici 3.

Datumi	Događaji
09.10.1996.	Vjesnik i Večernji list je objavio: Poziv na pred-kvalifikaciju radi prikupljanja ponuda za isporuku i montažu ... ATM opreme
Listopad 1996. do prosinca 1996.	Prezentacije ATM sustava (navodi se redoslijedom održavanja): Ericsson Nikola Tesla, Siemens, Computech, ECITelecom, Cascade, Fore, i Alcatel.
08.07.1997.	Zaključenje ATM pred-kvalifikacijskog natječaja
Veljača 1997.	Stručna komisija HPT-a (Parun, Perhoč i Volf) posjet instalacijama ATM mreže u Švedska (Stockholm, Telia) i Njemačka (Ulm, Deutsche Telekom)
Ožujak 1997.	Stručna komisija HPT-a (Parun, Perhoč i Volf) posjet instalacijama ATM mreže u Njemačkoj (München) i Švicarska (Bern)

Svibanj 1997.	Stručna komisija HPT-a (Parun, Perhoč i Volf) posjet instalacijama ATM mreže u Francuska (Pais i Nantes), Irska (Dublin)
06.08.1998.	Raspis javnog natječaja za ATM mrežu
04.07.1998.	Otvaranje ponuda za ATM mrežu
01.02.1999.	Potpis ugovora sa tvrtkom Computech za Izgradnja javne ATM mreže i proširenje IP mreže HT-a.

Tablica 3. Ključni datumi u izgradnji ATM mreže

Ako se promotri tablica 3, vidi se da je ideja / potreba za nabavom opreme ATM mrežu startala već 1996. godine, i da je ugovor za nabavu opreme potpisan tek početkom 1999. godine.

Sažetak nabavljene opreme za izgradnju javne ATM mreže i proširenje IP mreže HT-a je dana u nastavku:

A odjeljak

1. ATM okosnica (čvorovi: Zagreb x2, Osijek, Rijeka i Split):

5 kom ATM prospojnika, prospojnog kapaciteta >9,6 Gbps; **opremljenih s ukupno:**

- 1) 10 sučelja brzine prijenosa STM-4;
- 2) 90 sučelja brzine prijenosa STM-1 i
- 3) 50 sučelja brzine prijenosa E-3;
- 4) iskorištenje kapaciteta < 60% (50%)

2. Pristupni ATM uređaji:

30 kom pristupnih ATM uređaja, **svaki** opremljen s:

- 1) 1 sučelje brzine prijenosa STM-1 za pristup ATM prospojnik i
- 2) 40 sučelja za brzine prijenosa E-1 raznih specifikacija;

3. IMUX uređaji (n x 2 Mbps)

Nabava 5 parova IMUX uređaja za korisničke potrebe.

4. Sustav nadzora i upravljanja

... koji uključuje podršku za sustav naplate prema ostvarenoj vezi.

5. Ostalo

Rezervni dijelovi; Mjerna oprema; Montaža i montažni materijal; Školovanje.

B odjeljak

1. HDSL modemi za brzinu rada od 2 Mbps

- 1) 100 kom modemske pod-stalake i 45 stalaka;
- 2) 400 RM modema s 400 sučelja G.703;
- 3) 800 SA modema.

2. BB modemi za brzinu rada od 64 do 512 kbps

- 1) 120 kom modemske pod-stalake i 55 stalaka;
- 2) 450 kom modemske portova (na min. 180 modema (smještaj u stalku) + 180 primarnih multipleksora);
- 3) 720 kom modema (samostojećih, od čega 540 za 128 kbps i 120 kom za 256 kbps i 60 kom za 512 kbps);
- 4) Sučelja za modeme tipa V.36, X.21, V.35, ukupno: 720 kom.

3. Sustav nadzora i upravljanja

... koji je zajednički za HDSL i BB modeme.

4. Ostala oprema

Premda je ugovor potpisan sa tvrtkom Computech, većina isporučene oprema je iz proizvodnog programa tvrtke Cisco Systems, Inc, čiji je Computech zastupnik u Hrvatskoj. Vrijednost sklopljenog ugovora iznosi nešto više od 8,5 milijuna US\$.

Zbog postupka privatizacije HT-a (prodaja 30% dionica HT, Deutsche Telekomu) 1999. godine, izgradnja javne ATM mreže u Hrvatskoj, je nešto kasnila, te je u komercijalni rad puštena u 2000. godini.

Internet

U 90-tim godinama prošlog stoljeća, smatralo se da će ATM postati okosnica svih ostalih podatkovnih mreža. Međutim razvoj Interneta i njegova popularnost nadmašila je sva očekivanja i preuzela primat ATM mreži. Izgradnju Interneta (Internet mreže u Hrvatskoj) je vodio mr. sc. Žarko Sutlar, dipl. ing. Prema njegovim riječima,

eksperimentalni rad javnog Interneta u Hrvatskoj je započeo 1994., a komercijalni rad 1995. godine. Inicijalna oprema za izgradnju Internet mreže Hrvatske, nabavljena je u ‘paketu’ s opremom za ATM mrežu.

U to vrijeme, zadaci kojima sam se u HPT-u bavio (izgradnja ATM mreže), i druge aktivnosti, udaljile su me od izgradnje i nastajanja Interneta. U mojoj arhivi nemam podataka kojima bih mogao upotpuniti povijesna događanja vezana za nastajanje Interneta u Hrvatskoj, stoga zaključujem moja povijesna sjećanja na ovu danas najpopularniju podatkovnu mrežu Hrvatske. Inače, ja sam, kao i svi drugi korisnici, Internet u Hrvatskoj koristio od njegovih prvih dana.

Zaključak

Sjećam se jednog neformalnog razgovora kojeg sam vodio sa predstavnikom tvrtke Ericssona iz Švedske, krajem 80-tih godina prošlog stoljeća. Tema razgovora se odnosila na budući razvoj podatkovnih mreža. Naime, u to sam doba bio još opterećen metodama dugoročnog planiranja telekomunikacijske mreže i pitao sam mog sugovornika kako raditi buduće planove razvoja podatkovnih mreža. Sugestija mog sugovornika je bila: „Činjenica je da se tehnologija u ICT sferi vrlo brzo mijenja. Ako prepoznajete potrebu za pružanjem neke usluge nekoj skupini, kupite opremu za zadovoljenje prepoznatih korisnika i krećete dalje ...“ Drugim riječima, dugoročna planiranja telekomunikacijskih potreba, u smislu osiguranja buduće infrastrukture (prostora, napajanja, prijenosnih medija i dr.) su stvar prošlosti.

Kada se promatra dinamika nastajanja javnih podatkovnih mreža u Hrvatskoj, vidi se da je od nastanka (prepoznavanja) prvih potreba, do ostvarenja proteklo mnogo vremena, u usporedbi sa izgradnjom podatkovnih mreža u Zapadnom svijetu. Primjerice od prvih razgovora izgradnje JUPAK mreže pa do komercijalnog rada, proteklo je 7 godina. Izgradnja CROLINE mreže trajala je 2 godine, a izgradnja ATM mreže 4 godine.

Ukupna vrijednost neposrednih investicije u javne podatkovne mreže, koje su izgradile Hrvatske telekomunikacije, iznosile su otprilike: 18,6 milijuna US\$.

Na kraju, ne mogu završiti ove povijesne uspomene, a ne nabrojiti osobe, koje su prema mojem sjećanjima, svaka u svojoj domeni odgovornosti, u PTT-u / HPT-u u Zagrebu, bile neposredno uključene u izgradnju i dale ključan doprinos izgradnji tih mreža u Hrvatskoj. Imena tih osoba navedena su abecednim redom: Zdravka Bralić, Rudolf Jovanović, Vladimir Juriša, Zvonko Mesec, Neno Paić-Antunović, Darko Perhoč, Igor Periša, Žarko Sutlar, Mladen Šutalo, Zoran Urh, Josip Zavalić, Miljenko Zuber i Davorin Žvab. Dio zasluga za uspješnu uspostavu i rad javnih podatkovnih mreža pripada i stručnim suradnicima iz poduzeća „Ericsson Nikola Tesla“ iz Zagreba, te stručnjacima InfoNET projekta iz Zagreba.

Literatura

1. 130 GODINA HRVATSKE STATISTIKE 1875. – 2005., a Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, Zagreb, Ilica 3, Zagreb, 2005.
2. 1987 Summer Universiade, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/1987_Summer_Universiade (preuzeto: 15.04.2021.)
3. 20 zanimljivih podataka o Univerzijadi '87, Wikipedia, <https://www.zagrebonline.hr/20-zanimljivih-podataka-o-univerzijadi-87-koje-mozda-niste-znali/> (preuzeto: 15.04.2021.)
4. APIS IT 50 GODINA, http://www.apis-it.hr/micro_50/index.html (preuzeto: 05.04.2021.)
5. ARPANET, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/ARPANET> (preuzeto: 26.03.2021.)
6. Asynchronous Transfer Mode, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Asynchronous_Transfer_Mode (preuzeto: 12.06.2021.)
7. AXB 20-All Electronic, Stored Program-Controlled System for Telex and Asynchronous Data Traffic, Ericsson Review, No 1/1977, https://www.ericsson.com/4ab126/assets/local/about-ericsson/ericsson-history/lme-review/documents/da2011-35569-ericsson_review_vol_54_1977_1.pdf (preuzeto: 16.03.2021.)
8. ERIPAX, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/ERIPAX> (preuzeto: 11.03.2021.)
9. Frame Relay, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Frame_Relay (preuzeto: 12.06.2021.)
10. GlasiloSrca-br-1.pdf, GlasiloSrca-br-1.pdf (srce.hr) (preuzeto: 30.03.2021.)
11. Jovanović, Rudolf: „Analiza izgradnje i rada mreže za prijenos podataka GRADPAK“, Istraživanja na području telekomunikacija i informatike, Projekt 1.07.04.; Zadatak 1.07.04.01.03.: Istraživanja na području javne mreže za prijenos podataka, Izvještaj za 1987. godinu.
12. News & Notes No 1/1982, Informacija / letak, LM Ericsson, Stockholm (sastavni dio Priloga 1)
13. Packet Switch Stream, Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Packet_Switch_Stream (preuzeto: 18.03.2021.)
14. Poslovni izvještaji RO PTT prometa Zagreb, godine XXXX
15. R. Jovanović i Ž. Volf: „Izgradnja i eksploatacija GRADPAK mreže“, Elektrokomunikacije – Informacije TTU „Nikola Tesla“, 17 (1998)
16. Recenzija Vuković NT.pdf (Prilog 1),
17. Roberts, G. Lawrence: Evolution of Packet Switching [http://www.ece.ucf.edu/Lawrence G./~yuksem/teaching/nae/reading/1978-roberts.pdf](http://www.ece.ucf.edu/Lawrence/G./~yuksem/teaching/nae/reading/1978-roberts.pdf) (preuzeto: 08.04.2021.)
18. Roberts, G. Lawrence: Evolution of Packet Switching.pdf, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 66, NO. 11, NOVEMBER 1978
19. Synchronous optical networking, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous_optical_networking (preuzeto: 29.07.2021.)
20. X.25, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/X.25> (preuzeto: 18.03.2021.)
21. Z. Bralić, Ž. Volf “POČETNA I SKUSTUA U EKSPLOATACIJI JUPAK MREŽE U SR HRU-ATSKOJ”, Projekt 1.07.04 Istraživanja na području telekomunikacija i informatike, Zadatak 1.07.04.01.03 Istraživanja na području javne mreže za prijenos podataka, Izvještaj za 1989. godinu.
22. Z. Bralić, Ž. Volf i M. Zuber „Priprema za izgradnju javne mreže za prijenos podataka u SR Hrvatskoj“, INFORMATIKA 21. prosinca 1982., Zagreb.
23. Želimir Volf: „CROPAK MREŽA“, MIPRO, Opatija 1998

Želimir Volf

Data Networks in Croatian Telecom From 1970 till 2000

Summary: In period from 1970 till 2000, Croatian Telecommunication have built and opened to traffic four data networks, by names: GRADPAK network, JUPAK / CROAPAK network, CROLINE network, ATM network and Internet. The common feature for all of them were PACKET Switching principle that they employed. In the beginning of 70-ties, there were doubts in respect to the type of switching to be used. Doubts were resolved by adopting PACKET switching principles. The article describes planning, preparation and building of these public data networks in Croatia. GRADPAK net was the data transmission basis for the Summer Universiade 1987 in Zagreb. Followed building and integration of GRADPAK net into the JUPAK, later known as CROAPAK net. Telephone network digitalization in the beginning of 90's enabled introduction of Frame Relay Switching and consequently building up the CROLINE net in 1996. Following the world trend, Internet was implemented in 1994 as a trial phase and one year later as it was open to commercial operation. In parallel with this, the planning and building of the ATM net in Croatia commenced.

Keywords: data transmission, data networks, GRADPAK network, JUPAK network, CROAPAK network, CROLINE network, ATM network, Internet, X.25, ARPANET, PTT, HPT, LM Ericsson, ERIPAX, AXB 30.

Životopisne bilješke o znanstvenicima

Darko Fischer

Branimir Makanec, istaknuti računalni stručnjak

Sažetak: Računalni stručnjak Branimir Makanec konstruktor je prvog robota u Hrvatsko, istakao se u pedagoškom radu s mladima uvodeći izravan rad programera na računalu s podijeljenim vremenom. Osnivač je Multimedijskog centra, tvorac računalne učionice i konstruktor osobnog računala Ivel Ultra. Bavi se virtualnim svjetovima. Nosilac je dvaju patenata i dobitnik je mnogih nagrada i priznanja.

Ključne riječi: Robot, osobno računalo, računalna učionica, mikroprocesori, programiranje, operacijski sustav, Basic programski jezik, računalno sklopovlje, virtualna stvarnost

Uvod

U drugoj polovici 20. stoljeća kada smo svjedočili brzom razvoju primjene računala u komercijalnim obradama, u znanosti, tehnologiji i nastavi, Branimir Makanec bio je jedan od vrlo značajnih stručnjaka s toga područja. Istakao se kao konstruktor jednog od prvih robota, bio je tvorac računalnih učionica koje su znatno doprinijele obrazovanju iz područja programiranja u školama i bio je konstruktor osobnog računala Ivel Ultra koje je ušlo u masovnu serijsku proizvodnju. U podmakloj dobi i dalje je aktivan i bavi se 3D programiranjem u području koje se naziva „virtualna stvarnost“.

Biografija

Branimir Makanec, slikar, rođen je u Koprivnici 17. svibnja 1932. godine. Sredinom prošloga stoljeća upisao studij elektrotehnike na Tehničkom fakultetu u Zagre-



Slika 1: Branimir Makanec

bu. Tijekom studiranja osnovao je sekciju naziva „Grupa kibernetičara“ unutar koje je 1959. godine projektirao i izradio prvog čovjekolikog robota [6], [7]. U svome diplomskom radu bavio se projektiranjem i izvedbom prvog računala na području bivše Jugoslavije. Elektrotehnički fakultet završio je u Zagrebu 1961. godine. Nakon diplomiranja osnovao je prvu elektroničku učionicu za frontalnu programiranu nastavu kao glavni inženjer pri Zavodu za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju u Vinogradskoj bolnici u Zagrebu. Osnovao je “Kibernetisku autorsku grupu” s kojom je 1964. godine projektirao i instalirao dvadesetak feed-back učionica za frontalnu programiranu nastavu diljem Jugoslavije. Zapošljava se kao nastavnik na Pedagoškoj akademiji u Zagrebu gdje je instalirao isti tip učionice. U njoj se izvodila nastava za nekoliko generacija pedagoških djelatnika, a danas se

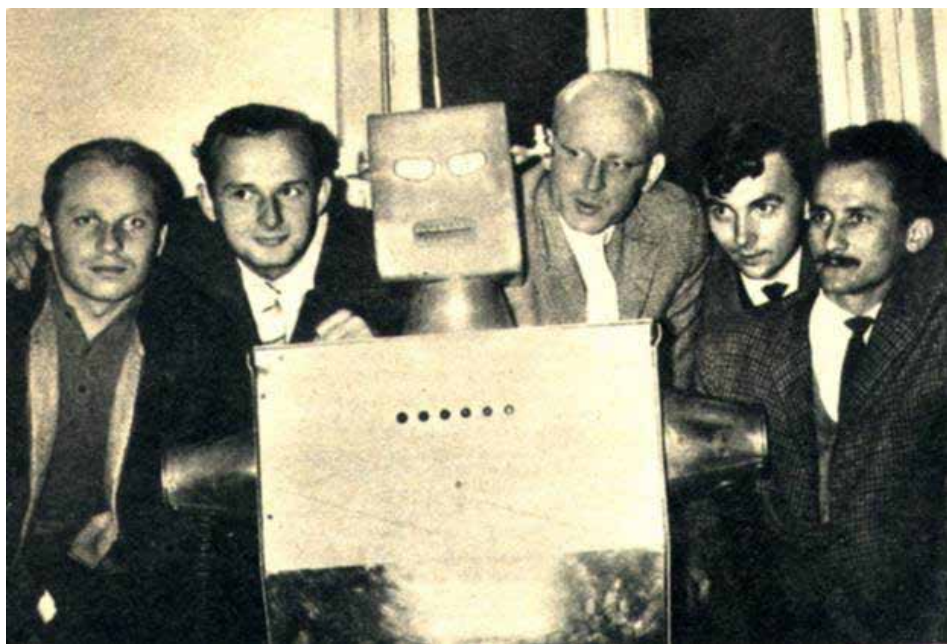
ova učionica, prva takve vrste u Europi, kao izložak nalazi u zagrebačkom Školskom muzeju. Značajno razdoblje njegova života započinje odlaskom na specijalizaciju u Sjedinjene Američke Države. Tamo ga je oduševio njihov rad s djecom, kao i činjenica da mladi imaju slobodan pristup računalima i programiranju. Na specijalizaciji upoznaje i mladog Billa Gatesa, kasnijeg osnivača Microsofta. Nakon povratka sa specijalizacije u Sjedinjenim Američkim Državama osnovao je 1968. godine zagrebački Multimedijски centar (MMC) u okviru Referalnog Centra Sveučilišta u Zagrebu u kojemu je instalirao prvi računalni sustav (Hewlett Packard 2000) s podijeljenim vremenom usluga (engl. *timesharing*)

Kasnije radi kao republički prosvjetni savjetnik za suvremenu nastavnu tehnologiju te organizira veliki broj savjetovanja, seminara i predavanja o primjeni računala u obrazovanju. Nakon rada u Referalnom centru prelazi u poduzeće “Ivasim” kao voditelj razvoja te konstruira i uvodi u serijsku proizvodnju osobno računalo „Ivel ultra“. Nakon toga u tadašnjem Narodnom sveučilištu „Moša Pijade“ (danas Otvoreno pučko učilište Zagreb) osniva Informatičku školu i održava tečajeva za sustavno obrazovanje nastavnika u primjeni računala u obrazovanju. U mirovinu odlazi 1993. godine. Od 1992. do 1996. godine vodi stalnu rubriku “Računala u obrazovanju” časopisa “Byte”. Posljednjih dvadesetak godina bavi se virtualnim svjetovima.

Stručni i znanstveni rad

Branimir Makanec pokazao je zanimanje za računalstvo i robotiku još u svojoj mladosti a živio je i radio u vremenu kada je to područje većini ljudi bilo nepoznanica.

Posebno se rano zanimao za robote te je izradio prvi robot u bivšoj državi. Bilo je to u vrijeme njegovog studiranja na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu. Dijelove tog elektroničkog i električnog stroja Makanec je smjestio u čovjekoliko kućište visoko oko 2 m te je taj uređaj najprije nazvan TIOSS, (teledirigirani izvršni organ samoupravljačkog sustava) ali je kasnije dobio i nadimak *Robi*. Težio je oko 150 kg. U nogama je imao motore koji su naizmjenično pokretali jednu i drugu nogu. U uređaju su uz akumulatore bili i punjači za njih. Daljinsko upravljanje bilo je napravljeno preko radio veze. Potrebni logički sklopovi sastojali su se od mehaničkih releja jer u to vrijeme još nije bilo lako dostupnih elektroničkih elemenata koja se ugrađuju u računala. Preko zvučnika robot je mogao davati zvučne signale i reproducirati glasove koje je dobivao radio vezom. Preko dva optička senzora robot je reagirao na promjene svjetline. Imao je ugrađene metalne kapke na očima pa se kod jake svjetlosti činilo da robot trepće. Glava se mogla okretati lijevo i desno, a zbog senzora se uvijek okretala



Slika 2: Makanec i studenti elektrotehnike s robotom (Makanec treći s desna)



Slika 3: Robot Robi

prema najjačem svjetlu. Robot je imao i autonomnu desnu ruku da može dijeliti reklamne letke, pa je Makanec osmislio program koji je upravljao robotskom rukom tako da je imao hvat i mogao držati papir. Kad bi netko uzeo papir, ruka se automatski vraćala po novi letak i podizala ga do prsa.

Njegov diplomski rad na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu bilo je prvo digitalno računalo izrađeno u Hrvatskoj. Cijeli se život bavio obrazovanjem pa je i računala koristio u tu svrhu. Na izradu strojeva koji će podučavati druge usmjerio ga je njegov mentor, profesor dr. Jozo Budak. U tom radu stekao je dva patenta, jedan za individualno, a drugi za grupno učenje. Postao je poznat po ovom drugom, koji je nazvan “elektronička učionica”. To je bio napredan izum, imajući u vidu da je napravljen prije 60 godina. Ta učionica imala je mogućnost da sama ispituje, čeka odgovore i šalje učenicima informaciju koji je odgovor točan. Prvu elektroničku učionicu napravio je nakon diplome, u Zavodu za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju u Vinogradskoj bolnici, gdje je radio kao glavni inženjer. Učionica je imala i komercijalni uspjeh te su ju naručivali veliki

broj pedagoških akademija u bivšoj Jugoslaviji. Polaznici nastave takvih učionica bili su oduševljeni takvim interaktivnim učenjem i to im je mnogo pomoglo u stjecanju novih znanja.

Sustav komunikatora za frontalnu programiranu nastavu bio je uređaj koji je nastao također iz jednog Makančevog patenta i masovno se serijski proizvodio u slovenskoj tvornici “Rog” za potrebe škola.

Boraveći na specijalizaciju u Los Angelesu 1968. godine dobio je predodžbu kako treba izgledati efikasno obrazovanje. U Americi je vidio da učenici sjede ispred računarskih terminala i u interakciji s računalom sami programiraju. Povratkom u Hrvatsku odlučio je i kod nas uvesti interaktivno učenje. Posrećilo mu se nabaviti oko 150.000 dolara koliko je bilo potrebno za kupnju sustava za rad u podijeljenom vremenu (engl. *time-sharing*) te je nabavio računalo Hewlett-Packard 2000E. Bio je to prvi takav sustav u tadašnjoj državi, koji je istovremeno mogao raditi s više konver-

zacijskih terminala. Prvotna namjera mu je bila to njegovo računalo smjestiti u Tehnički školski centar u Zagrebu u Klaićevoj ulici gdje se već nalazila jedna elektronička učionica. Na nagovor profesora dr. Bože Težaka, s kojim je Makanec kasnije neprestano surađivao, računalo je smješteno u Referalnom Centru, tako da je pristup do njega imao znatno veći broj korisnika. Tako je pokrenut Multimedijski centar (MMC)

u tadašnjem Referalnom centru u Zagrebu. Suradnja Makanca i profesora Težaka bila je uspješna. Profesor Težak bio je pionir informacijske znanosti u Hrvatskoj i shvaćao je Makančeve ideje. Zahvaljujući teoretskim radovima profesora Težaka i praktičnim radovima Branimira Makanca, Multimedijski centar postao je javna ustanova kroz koju su idućih godina prošle na tisuće djece koje su dobile priliku vidjeti računalo i koristiti ga. Tamo se 70-ih godina okupila spontano skupina 14-godišnjaka, mladih zaljubljenika u programiranje. Makanec je kao republički prosvjetni savjetnik uveo predmet „informatika” u sve naše srednje škole, te se tih godina posvetio radu s djecom koja su imala golem interes za računala, jer su ti su mladi entuzijasti mogli direk-

tno komunicirati s računalom, što je u to vrijeme bio veliki napredak. To je rezultiralo formiranjem mnogih budućih uspješnih računalnih stručnjaka (na primjer Zorislav Šojat, Nikola Dujmović, Zoran Lerh, Jan Hruška).

Računalo “Ivel Ultra” bilo je prvo serijski proizvedeno mikroračunalo u Hrvatskoj, a Makanec ga je projektirao radeći u poduzeću „Ivasim” na zagrebačkom Kaptolu. Posredstvom Zajednice za financiranje srednjeg obrazovanja oko 1000 tih računala instalirano je u hrvatskim srednjim školama.

To računalo bilo je kompatibilno s *Apple II* modelom. Imalo je dvije disk jedinice od 5 1/2 inča, te karticu sa *Zilog Z80* mikroprocesorom



Slika 4: Računalna učionica, Školski muzej Zagreb



Slika 5: Osobno računalo Ivel Ultra

što je omogućavalo korištenje CP/Moperacijskog sustava. Imao je i *IDOS* operacijski sustav koji je bio kompatibilan s *Apple II DOS 3.3*, ali je bio poboljšán u odnosu na originalnu inačicu. Isto tako, *BASIC* prevodilac je bio kompatibilan s *Apple BASIC*-om no konstruktori su unijeli mnoga poboljšanja [8] .

Na temelju ugovora s Ministarstvom kulture i prosvjete Makanec je organizirao i održavao veći broj jednotjednih tečajeva za nastavnike u raznim hrvatskim gradovima u svim školama koje su bile opremljene računalnim učionicama.

Odlaskom u mirovinu 1993. godine ne prestaje Makančevo zanimanje za tehnologiju budućnosti. U žarištu njegovog zanimanja su sada virtualni svjetovi i umjetna inteligencija. Makanec je mišljenja da se umjetna inteligencija ne razvija očekivanom brzinom, no da je napredak vidljiv i da će u nekoj budućnosti strojevi po inteligenciji nadmašiti ljude. To opravdava činjenicom, da strojevi mogu imati znatno veći kapacitet memorije od ljudi i da im je moć procesiranja sve brža.

Priznanja, nagrade i patentí

Branimir Makanec dobitnik je mnogih priznanja. dobitnik je priznanja za suradnju s organizacijama tehničke kulture, a 1984. godine uručena mu je plaketa "Informatika" za zasluge na području promicanja informatičke kulture na području tadašnje Jugoslavije. Godišnju nagradu Hrvatske zajednice tehničke kulture dobio je 1996. godine [13]. Dobitnik je državne nagrade za životno djelo "Faust Vrančić" za 1997. godinu, nagrade za životno djelo Zagrebačke zajednice tehničke kulture "Dr. Oton Kučera" za 2001. godinu i nagrade za životno djelo "Dr. Albert Bazala" za 2002. godinu. Hrvatsko društvo za promicanje informatičkog obrazovanja 2012. godine mu je u Šibeniku svečano uručilo "Povelju za životno djelo". Prihvaćen mu je patent „Sistem komunikatora za frontalnu programiranu nastavu“ i patent za stroj „Ines“ za individualnu programiranu nastavu.

Umjesto zaključka

U svom radnom vijeku kao informatičar, nastavnik i profesor računarstva na Sveučilištu u Osijeku [2][3] imao sam nekoliko puta priliku prisustvovati prezentacijama Branimira Makanca i predavati u računalnoj učionici koju je on osmislio.

Branimir Makanec je na nas, koji smo pokušavali pratiti brzi razvoj računarstva, ostavljao dojam čovjeka s vizijom. Imao je instinkt i talent da vidi u kojem smjeru će se kretati moderna i napredna tehnologija pa je svoje djelovanje usmjeravao u podučavanju budućih stručnjaka za te nove tehnologije. Također je posjedovao talent i tehničke sposobnosti da realizira nove uređaje i strojeve koji su za većinu bila avantgardna novina. Tu se posebno uspješan pokazao kao rani promotor osobnih računala, kao pionir u daljinskom korištenju računala koja su radila u podijeljenom vremenu i u izradi i korištenju računalnih učionica.

Branimir Makanec predvidio je sva ova dostignuća koja danas čine našu svakodnevnicu mnogo prije nego što je to većina nas slutila. Zato mu pripada posebno mjesto među računalnim stručnjacima koji su djelovali u drugoj polovici 20. stoljeća.

Literatura:

- [1] Halasz, Boris: Proizvodnja računskih pomagala u Hrvatskoj, *PIFT 2019*, Zagreb, 2019.
- [2] Fischer, Darko: Razvoj primjene računala u istočnoj Hrvatskoj, *PIFT 2019*, Zagreb, 2019.
- [3] Fischer, Darko; Ivan Matejašić: Računalna tranzicija, *PIFT 2020*, Zagreb, 2020.
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Branimir_Makanec
- [5] https://hr.wikipedia.org/wiki/Branimir_Makanec
- [6] <https://www.vecernji.hr/vijesti/moj-robot-robi-je-68-bio-prava-senzacija-setao-se-zagrebackim-ulicama-i-dobacivao-curama-1447912>
- [7] <https://www.tportal.hr/tehnolo/clanak/prvog-robot-izradio-je-1959-a-elektronickim-ucionicama-osvojio-je-jugoslaviju-bio-je-to-dobar-posao-svi-iz-tima-kupili-su-vikendice-foto-20180610>
- [8] https://hr.wikipedia.org/wiki/Ivel_Ultra
- [9] <https://eyecro.wordpress.com/2019/09/16/hrvatski-inzenjeri-branimir-makanec/>
- [10] <https://www.facebook.com/www.telegram.hr/posts/927332097380561/>
- [11] Boras, Damir; Makanec, Branimir: Priručnik za nastavu pomoću kompjutera u multimedijском centru škole, Zagreb: *Referalni centar Sveučilišta u Zagrebu*, 1976
- [12] <https://zkm.de/en/person/branimir-makanec>
- [13] <https://www.hztk.hr/branimir-makanec.aspx>

Darko Fischer

Branimir Makanec, Distinguished Computer expert

Summary: Computer expert Branimir Makanec is the constructor of the first robot in Croatia. He is known for his pedagogical work with young people introducing direct programmer- computer interaction in time-sharing systems. He is the founder of the Multimedia Center, the creator of the computer classroom and the designer of the personal computer Ivel Ultra. He is also engaged with virtual worlds. He is holder of two patents, many awards, and recognitions.

Keywords: Robot, personal computers, computerized lecture room, microprocessors, programming, operating system Basic programming language, hardware, virtual reality.

Marijan Kalea

Akademik Božo Udovičić, kakvoga manje poznajemo

Sažetak: Akademik Božo Udovičić, rođen je 1933. godine u Rašeljama/Hercegovina. Prije Drugog svjetskog rata, obitelj je preselila u požeški kraj u Hrvatskoj. Osnovnu školu završio je u Jakšiću, pored Požege, a gimnaziju u Požegi. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu, gdje je i doktorirao (1974). Tijekom radnog vijeka znanstveno i stručno bavio se elektroenergetikom, energetikom i okolišem. Predavao je na tri hrvatska elektrotehnička fakulteta (u Zagrebu, Splitu i Osijeku), a 1977. godine izabran je za redovitog člana HAZU. Bio je ministar energetike i industrije u Vladi Republike Hrvatske 1990/91. godine. Do kraja 2010-tih godina napisao je 14 knjiga iz osnovnog područja svoga životnog bavljenja, a od kraja tisućljeća okreće se pisanju 6 knjiga s društvenom tematikom, razmatrajući moralna pitanja o tome odakle dolazimo, gdje smo i kamo idemo mi u Hrvatskoj. O tom dijelu njegova opusa govori ovaj kratki rad, zapravo esej. Kako bi energetičari upoznali i taj bogati dio njegova ljudskog profila.



Ključne riječi: Božo Udovičić, društveni razvitak, moral

S Božom Udovičićem znam se točno 55 godina, u međuvremenu izgradili smo trajno i prisno prijateljstvo. Bio sam recenzent nekih njegovih knjiga, primjerice: *Elektroenergetski sustav* (Kigen, Zagreb, 2005), kojom je zaključio svojih ukupno 14 knjiga iz područja kojim se čitav život okupirano bavio: elektroenergetike, energetike

i okoliša¹. U to vrijeme okrenuo se pisanju sloga od ukupno 6 knjiga² u kojima iznosi svoja gledanja na hrvatske prilike, znajući odakle dolazimo, uviđajući gdje smo, a strepeći nad time kamo idemo, temeljito varirajući sva zamisliva motrišta oko argumentacije svojih gledišta. Za nekoliko knjiga iz tog posljednjeg sloga (1999-2013) bio sam počašćen, izgovarajući svoje doživljaje izazvane njima, na njihovu predstavljanju.

Osvrt na jednu od tih knjiga – kao prikaz Udovičićeva gledanja primjerom – iznosim odlomcima svog predstavljanja, održanog u Zagrebu pred punom dvoranom uglavnom sijedih glava, 5. prosinca 2006. To je bila knjiga *Pad umjesto uspona* (Kigen, Zagreb, 2006) čiji naslov rječito govori o autorovim preokupacijama na 950 (!) stranica te knjige: umjesto da se Hrvatska uklopi u okvir onih zemalja koje su joj nekad *gledale u leđa* – Hrvatska doživljava uporni i gotovo svekoliki pad. Ponajprije i ponajviše moralni!

Za prilike kroz koje smo u proteklom razdoblju – do tada – prošli i za stanje u kojem smo se našli, bez sagledavanja svjetla na kraju tunela, autor moralno najviše krivi intelektualce, za koje kaže da su se radije pretvarali u poslušne statiste nego li u kreatore novog i boljega. Statisti u demokraciji šute, pristaju na adaptaciju, umjesto na izlaganje u borbi. Sve ih je više (u odnosu na autorovu dijagnozu iznesenu 1999, u svojoj prvoj knjizi o *statistima u demokraciji*).

Bez intelektualnog promišljanja nema obećane Hrvatske, društva u kojem će dobro pojedinca biti najvažnije moralno obilježje i najvažniji cilj. Nasuprot tome, obavljena je bezkonceptijska privatizacija i pretvorba društvenog vlasništva, bez ikakva dubljeg pogleda u to kamo idemo. Nesmotreno smo se uljuljali u zamisao da ćemo samo uživati i blagovati, nakon rušenja *onog* sustava koji nije baš išta valjao i iz kojega smo sva iskustva – baš sva – u zanosu prekrizili. Ništa dobrog nismo ostavili iz prethodnoga sustava. Srušili smo sve mostove prema bližoj prošlosti, a iz davnina povlačimo povijesne poruke, iskrivljene, onakve kakve odgovaraju trenutnim potrebama pojedinaca koji ih protežiraju. Novokomponirani bogataši, ratni profiteri i kriminalci, oteli su nam i uništili ono što smo mi cijeloga radnoga vijeka stvarali, ulažući svoj rad, znanje i zdravlje.

¹ Elektroenergetika (1983), Energetski resursi i razvoj energetike u Hrvatskoj (dio u knjizi: Razvoj elektrifikacije Hrvatske, II. dio, 1985), Energija i izvori energije (1988), Energetske pretvorbe i bilance (1988), Energija i društvo (1988), Energija i okolina (1989), Energetika (1993), Razvitak i energetika (1998), Energetika i okoliš u globalizaciji (2002), Development and energy (2000), Neodrživost održivog razvoja (2004), Elektroenergetski sustav (2005), Kriza se produbljuje (2008), Čovjek i okoliš (2009).

² Statisti u demokraciji: Čitanka za buduću povijest (1999), Moralna praznina u Hrvatskoj (2001), Pad umjesto uspona – statisti u demokraciji (II dio, 2006), Nastojao sam biti ... (2007), Četiri jahača hrvatske apokalipse (2011), Teško do uspona – statisti u demokraciji (III dio, 2013).

Upadamo sve više u nezaposlenost, besperspektivnost mladih i školovanih ljudi, u neimaštinu, iz afere u aferu, u diobe, međusobne svađe kojima nije cilj promjena stanja nego blaćenje. Svatko piše i govori o svačemu, nema digniteta struke, poštovanja znanja. Nismo stvorili novi sustav vrijednosti: solidarnost, briga za bližnjega, bdi-jenje nad javnim dobrom, ..., nasuprot tome iskazujemo: naprasitost prema slabima, samoživost, nasilje, pripadnost krdu – namjesto života u svijetu bez granica.

Akademik Udovičić drži da hrvatski političari, znanstvenici, kulturni i duhovni djelatnici, intelektualci i umjetnici, moraju svojim jasnim stavovima i dosljednim djelovanjem čvrsto i odlučno stati, gdje god mogu, iza svake pravedne stvari, ticala se ona bilo koga. Neovisno od nacionalnosti, klase, spola i kakva druga obilježja koja smo primili rođenjem a ne zalaganjem, znanjem i radom. Umjesto toga, danas nemamo poštovanje dostojanstva ljudske osobe, umjesto dijaloga imamo monolog, umjesto argumenta istine imamo argument sile, umjesto duhovnih dobara sanjamo materijalna dobra, koja samo malobrojni zgrću.

Za vrijeme totalitarnog sustava svi smo morali misliti isto. Nakon rušenja tog sustava, želi se kroz hrvatsvo i pripadnost njemu činiti to isto, zaboravivši da ako svi jednako misle – nitko ne misli. U prijašnjem društvenom sustavu materijalno blagostanje zajednice bilo je postavljeno kao javni društveni cilj. Sada je obrnuto – bogati pojedinci kao da postaju uvjetom opstanka države i idealom svakog pojedinca. Međutim, kako se obogatiti materijalno, a ne osiromašiti duh? Nismo li iz nesreće komunističkog kolektivismu prešli u isprazni individualizam? Dok su se tajkuni bogatili i stjecali bogatstva ne radom nego makinacijama, a drugi branili domovinu, hrvatsko je gospodarstvo propadalo, što je vodilo sve većoj socijalnoj asimetriji – izbacivanju radnika s posla ili rad bez plaće.

Propadanjem industrijske proizvodnje i sve većom orijentacijom na uvoz svega i svačega, postepeno blijede godinama prikupljana proizvodno-tehnološka znanja i umijeća jer se prirodno ne prenose na mlađe kadrove. To je, uz veliku nezaposlenost te veliku zaduženost, najgore što nas je – uz Domovinski rat – uopće moglo snaći. S druge strane, kupovna moć velikog dijela stanovništva strmoglavljuje se samo na ono što je neophodno za život odnosno preživljavanje.

Izlaz iz socijalne i ekonomske krize Udovičić vidi u moralnom preporodu kao imperativu, beziznimno iskonskom, najvažnijem pitanju; *pitanju-svih-pitanja*. Društvo, u kojem će moralno biti najviši imperativ, nasuprot materijalnom-egoističnom-kalkulantskom... Kreativno znanje, strpljivi i predani rad, odgovornost i poštivanje zakona, kao mjere za svako društveno vrednovanje.

Knjiga predstavlja zamjenu za toliko prisutnu hrvatsku šutnju, premještanje znanja i iskustva iz autorova uma i srca, na papir. Pruža mogućnost osvješćivanja naroda radi opstanka života na ovom prostoru.

Za moralnu čistoću, skromnost i poštenje Udovičićevo te veliku radišnost njegovu – godinama je predavao na tri elektrotehnička fakulteta u Hrvatskoj; u Zagrebu, Splitu i Osijeku, da samo time ilustriramo njegovu silnu energiju i bespoštednost prema sebi – što su osvjedočeno obilježile sav njegov život, zaslužna je i dugogodišnja suradnja s pokojnim profesorom Hrvojem Požarom (1916-1991). Sve to resilo je, naime, i tog iznimna čovjeka.

Udovičić je najviše pamćen po svom neprestanom kritičkom gledanju na pojave oko sebe, u energetsom, gospodarskom i društvenom sustavu, a osobito u elektroprivredi. Najčešće je bio nezadovoljan beskrajnim odugovlačenjem ili čak nedonošenjem nužnih odluka na svim razinama (ili – suprotno od toga – brzopletim donošenjem nepromišljenih odluka). Rijedak je bio bilo kakav skup kojem je nazočio, a da se nije kritički osvrnuo o temama koje su tamo bile razmatrane. Jednako tako u brojnim intervjuima koje je davao tisku, radiju ili televiziji, kao uvaženi autoritet novinarskoj publici. Ili na svojim javnim predavanjima. Publika koja bi mu trebala biti bliska (elektroprivrednici i energetičari) vrlo često bila bi nezadovoljna njegovim ustrajno kritičkim stavovima – ali najčešće izazvanih obrazloženim razlogom – osjećajući se pogođenom njegovim izravnim nastupom. Često su to nezadovoljstvo zamotavali u celofan, govoreći zaobilazno kako je dosta te Udovičićeve gnjavaže, izbjegavajući bit te 'gnjavaže' i vlastitu odgovornost za Udovičićev motiv. Nekako ga doživljavaju kao *'kamenčić u cipeli'*, jer će on u svakoj novoj prilici pogledati na pitanje o kojem je riječ s više strana, uvijek će sagledati ukupni kontekst, nikad mu neće biti dovoljno samo po sebi podrazumijevajuće zadovoljstvo, ma koliko se ono činilo privlačnim.

Marijan Kalea

A Less Known Academician Božo Udovičić

Summary: Academician Božo Udovičić was born in Rašeljke/Hercegovina in 1933. The family moved to the Požega region in Croatia before the World War II. He finished elementary school in Jakšić, near Požega, and high school in Požega. He graduated from the Faculty of Electrical Engineering in Zagreb, where he received his Doctorate in 1974. During his working life, he was scientifically and professionally engaged in electro-energetics, energy, and the environment. He taught at three Croatian electrotechnical faculties (in Zagreb, Split, and Osijek), and in 1977 he was elected as a full member of the Croatian Academy of Sciences and Arts. He was Minister of Energy and Industry in the Government of the Republic of Croatia in 1990/91. By the end of the 2010s, he had written 14 books in the basic field of his life, and since the end of the millennium he has been turning to writing six books with a social theme, considering moral questions about where we come from, where we are, and where we are going in Croatia. This short paper, actually the essay, speaks of this part of his oeuvre. Thus energy experts can get to know that rich part of his human profile.

Keywords: Božo Udovičić, social development, morality

Marijana Borić

O Hermanu Dalmatinu i njegovu pristupu istraživanju prirode

Sažetak: Herman Dalmatin (12. stoljeće) najstariji je hrvatski filozof, astronom, astrolog, matematičar i prevoditelj s arapskog na latinski jezik. Utjecaj njegovih prijevoda na razvoj znanosti i filozofije u srednjovjekovnoj Europi vrlo je velik. Njegov izvorni doprinos filozofiji i znanosti je djelo *De essentiis* (lat. *O esencijama*). Herman se nije toliko bavio matematičkim problemima koliko se zanimao za astronomiju i astrologiju. Ipak, matematički pristup problemu nije ostao izvan područja njegova interesa. Hermanova matematička znanja, stavovi i metodologija mogu se upoznati iz njegova djela *De essentiis*. U djelu on više puta upotrebljava matematičke izvode pri donošenju astronomskih zaključaka, po uzoru na Euklidove *Elemente*, što je novo u tadašnjoj srednjovjekovnoj znanstvenoj tradiciji. Takvim pristupom Herman već u 12. stoljeću daje rani primjer metodologije koja će se razviti i afirmirati tek nekoliko stoljeća kasnije, potaknuta renesansnim problemom metode i zaživjeti kao novovjekovni pristup istraživanju prirode.

Ključne riječi: Herman Dalmatin, prirodna filozofija, matematika, Euklidova metodika, astronomija, matematički izvodi, dokazni postupak

Uvod

Herman Dalmatin ili Herman Dalmatinac (lat. Hermannus Dalmata, Hermannus Sclavus, Hermannus Secundus, Hermannus de Carinthia) najstariji je hrvatski učenjak svjetskoga glasa i ujedno jedan od najvećih hrvatskih mislilaca, filozof i prevoditelj znanstvenih djela s arapskoga na latinski jezik. Svojim je djelima, bogatim i raznovrsnim opusom i prijevodima s arapskog na latinski jezik doprinio razvitku zapadnoeuropske znanosti i filozofije. S petnaestak djela, kompilacija i prijevoda dao

je znatan prinos razvoju prirodne filozofije i egzaktnih znanosti u razdoblju koje je prethodilo pojavi prvih sveučilišta u Europi. Školovanje koje je započeo u benediktinskoj samostanskoj školi u rodnoj Istri, nastavio je kao dvadesetogodišnjak u glasovitim katedralnim školama u Chartresu i Parizu. Privučen arapskom znanošću i filozofijom koje upravo u tom razdoblju doseže svoj vrhunac, i vođen intelektualnom radoznalošću i živim duhom odlazi s prijateljem Robertom iz Kettona (Chestera) na višegodišnje studijsko-znanstveno putovanje zemljama i znanstveno-kulturnim centrima Bliskog istoka, što će se presudno odraziti na njegov daljnji rad. Nakon povratka s Istoka putujući zemljama Mediterana, uz sjeverno Sredozemlje do obala Španjolske nastanjuje se na Iberskom poluotoku. Tamo putuje i djeluje u različitim kulturnim i prevoditeljskim središtima arapske Španjolske, gdje se posvećuje intenzivnom i plodnom prevoditeljskom i spisateljskom radu. Nakon što su Herman i Robert uz rijeku Ebro, susreli opata samostana u Clunyju Petra Časnog (Petrus Venerabilis), začetnika prvih istraživanja islama u zapadnoj Europi, pridružuju se uskom krugu njegovih suradnika i putuju u pratnji opata Španjolskom. Herman istražuje bogate maurske biblioteke, kako bi odabrao najbolje predloške za prevođenje. Odlazi na sjeverozapad u grad Léon, centar tadašnje kraljevine Castille, gdje uz bavljenje prevođenjem i znanstveni rad zasniva i vlastitu školu. Zatim putuje na jugu Francuske, prvo u Thulouse, a zatim u Béziers, gdje 1143. godine dovršava svoja najznačajnija djela.

Herman je živio i djelovao na razmeđu različitih civilizacija, u kulturnim središtima različitih tradicija, mišljenja i utjecaja. To ga je vjerojatno potaknulo da se na nagovor Petra Časnog pridruži Robertu iz Kettona i sudjeluje u prvom prijevodu *Kur'ana* na latinski jezik. Herman je pored toga preveo i još dva utjecajna islamska vjerska djela *De generatione Mahumet (O Muhamedovu rođenju)* i *Doctrina Mahumet (Muhamedov nauk)*, te je tako imao i važan udio u ranom upoznavanju zapadne Europe s islamom.

Bogatim i raznovrsnim opusom, Herman se ubraja među najvažnije posrednike između zapadnoeuropske i arapske znanstvene tradicije u 12. stoljeću, jer je upravo zahvaljujući njegovim prijevodima Europa upoznala neka temeljna arapska i starogrčka djela, koja su bila zagubljena i nepoznata čitav niz stoljeća ranoga srednjovjekovlja. Među brojnim Hermanovim djelima osobito se ističu njegov prijevod s arapskog na latinski jezik Abu Ma'sharova djela *Introductorum in astronomiam (Uvod u astronomiju)*, preko kojeg se srednjovjekovna Europa posredno upoznala s Aristotelovom prirodnom filozofijom i Hermanov prijevod djela *Planisphera*, velikoga aleksandrijskoga astronoma i matematičara Ptolemeja. Hermanov prijevod tada jedinog poznatog primjerka *Planisfere*, sačuvanog u prijevodu na arapski imao je posebno značenje na latinskom Zapadu jer je omogućio da se upravo preko njega Europa upozna s tim važnim djelom. Ono sadrži stereografske projekcije nebeske sfere na ravninu, pa je u srednjem vijeku poslužilo kao teorijska podloga za konstrukciju astrolaba, glavne

astronomske i nautičke sprave tog razdoblja, važne za stjecanje mnogih praktičnih i teorijskih znanja sve do 18. stoljeća.

U svom jedinom izvornom djelu *De essentiis* (*O esencijama*) Herman je ostvario plodonosnu sintezu islamske i zapadnoeuropske znanstvene i filozofske tradicije. Djelo je spoj platonizma, aristotelizma, kršćanstva i islamske filozofije. Smatra se najvažnijim Hermanovim djelom. U njemu Herman izlaže vlastiti prirodnofilozofski sustav, spajajući platonizam filozofske škole u Chartresu u duhu kojega se obrazovao, s aristotelizmom, koji je upoznao preko Abu Ma'sharova djela *Introductionum in astronomiam*. Djelom *De essentiis*, kao i prevodilačkim radom Herman utire put novim koncepcijama te se svrstava u red najistaknutijih mislilaca i prevoditelja 12. stoljeća. Sudjelovao je u preobrazbi zapadnoeuropske znanosti i filozofije i stvaranju temelja koji će nekoliko stoljeća poslije u renesansi dovesti do velike prekretnice razvoja i zasnivanja novovjekovne znanosti i filozofije.

1. Herman Dalmatin u kontekstu svoga vremena

1.1. Hermanovo ime i etničko porijeklo

Hermanovi su biografski podaci znatno oskudniji u odnosu na saznanja koja imamo o njegovom opsežnom opus. Njegov prevoditeljski, znanstveni i filozofski opus imao je velikog odjeka ne samo među njegovim suvremenicima, već i stoljećima kasnije i bio je predmetom istraživanja brojnih stručnjaka iz različitih područja. Zahvaljujući velikom broju sačuvanih prijepisa Hermanovih tekstova i njihovim objavljenim izdanjima nastalim nakon izuma tiskarskog stroja, uspjelo se usprkos složenim poteškoćama u radu s tako starom građom u velikoj mjeri istražiti i rekonstruirati njegov opus, doprinose, izvornost, kao i glavna područja interesa i stavove koje je zastupao. Međutim, u odnosu na bibliografiju znatno je manje raspoložive građe i podataka iz njegova života s pomoću kojih bi se mogla zaokružiti cjelovitija i konzistentna slika Hermanova bogatoga i nesvakidašnjega životnoga puta. Stoga je za njegovo potpunije razumijevanje potrebno raspoložive podatke staviti u širi kontekst toga vremena, kako bi iz ove vremenske distance izgradili jasniju sliku o ovom velikom učenjaku, posredniku između civilizacija Istoka i Zapada.

Herman je rođen početkom 12. stoljeća u središnjoj Istri. Nepoznata je točna godina njegova rođenja. O Hermanovom imenu i porijeklu u literaturi postoji više različitih tumačenja.¹ Vrijedan je podatak ostavio sam Herman u svom prijevodu Abu

¹ Franjo Šanjek, »Herman Dalmatin (oko 1110 - posl. 26.II.1154), Bio-bibliografski prilozi«, u: Herman Dalmatin, *Rasprava o bitima*, knjiga 1, Čakavski sabor, Pula, 1990., str. 7–100, posebno str. 9–15.

Ma'sharova djela *Introductiorum in astronomiam*, gdje navodi kako je rodom iz Istre. Premda arapski predložak nije dostupan jasno je da Herman kao i u nekim drugim svojim prijevodima uzima slobodu da u prijevod Abu Ma'sharova teksta umetnuti odlomak ili ponešto preinačiti tekst. U tom prijevodu Herman dijeli Europu na deset područja od kojih na šesto mjesto, odmah nakon Panonije i neposredno prije Italije, stavlja Istru koju dijeli na tri dijela: primorsku, planinsku i središnji dio za koji kaže da je njegova domovina Koruška.² Primorski dio može se poistovjetiti s feudom akvilejskog patrijarhe na istarskom poluotoku i zauzimao je područje zapadne i južne Istre. Planinski je dio vjerojatno obuhvaćao gorje na sjeveru Istre, Ćićariju i Učku, dok je središnji dio bio nizinski kraj u sredini istarskog poluotoka.

U Hermanovo doba nisu postojala prezimena u današnjem smislu, pa se uz njegovo ime najčešće dodavao pridjevak koji ga je povezivao s rodnim zavičajem. Ponekad se pridjevkom označavala etnička pripadnost ili neka druga osobitost po kojoj bi se pojedinac razlikovao od osoba istog imena. U Hermanovo vrijeme još se nekoliko učenjaka istoga imena također bavilo prijevodima i sličnim znanstvenim i prirodnofilozofskim problemima, te ga je od njih dodanim pridjevkom trebalo razlikovati. U historijskim vremenima i literaturi Herman se javlja kao: *Hermannus Dalmata*, *Hermannus Slavus*, *Hermannus Secundus*, *Hermannus de Carinthia*. Ova četiri pridjevka iz različitog aspekta označavaju Hermana. Među sobom nisu u proturječju i upućuju na važne zaključke u vezi s pitanjem Hermanova rodnog zavičaja i njegova etničkog porijekla. Pridjevak *Dalmata* uz Hermanovo ime više se puta koristio u njegovo doba. Uporabio ga je Petrus Venerabilis u poslanici Bernardu iz Clairvauxa iz 1144. i u svojoj raspravi *Adversus Saracenos* (1155./1156.), i nepoznati engleski kroničar u zapisu o putovanju Roberta od Kettona i »njegova nerazdruživog pratioca Hermana Dalmatina« na Istok, a nalazimo ga i u tekstovima tzv. Toledske škole.³ Korištenje tog pridjevka upućivalo je na Hermanovo dalmatinsko podrijetlo, ali u teritorijalnom smislu rimske provincije Dalmacije. Hermanov učenik Rudolph iz Brugesa naziva ga *Hermannus Secundus*, a tako se i sam Herman potpisuje u svom djelu *De essentiis* želeći se razlikovati od Hermannusa Contracrusa (Hromi) koji je djelovao u 11. stoljeću i bavio se sličnim prirodnofilozofskim i znanstvenim temama. U 13. i 14. stoljeću, u nekim kodeksima o islamu iz *Toledske zbirke* uz Hermanovo ime navodi se pridjevak *Slavus*,⁴ s kojim ga se razlikuje od Hermana Alemannusa, prevoditelja Aristotelovih i Averroesovih djela iz 13. stoljeća označenog prema njegovoj njemačkoj etničkoj pripadnosti. Korištenje pridjevka *Slavus* osobito je važno za određivanje Hermanove etničke pripadnosti. U etničkom smislu Istru su već od 7. stoljeća naseljavali

² Albumasaris Albalachi *Liber introductorius in astronomiam*, Augsburg 1489., fol. 47v: »Europe partes generalis maritima X: [...] Histriae tres partes: maritima et montana, in medio patria nostra Charintia.«

³ Franjo Šanjek, isto, str. 13–14.

⁴ Franjo Šanjek, isto, str. 13; Žarko Dadić, *Herman Dalmatin*, Školska knjiga, Zagreb, 1996., str. 80.

Slaveni, odnosno Hrvati, koji su se širili upravo od središnjeg dijela poluotoka prema primorskom dijelu, odnosno primorskim gradovima. Cijela Istra južno od rijeke Dragonje bila je stoljećima prije Hermanova života potpuno kroatizirana, a to je osobito vrijedilo za doba u kojem je on rođen. Budući da Hermana nazivaju *Sclavus* a potječe iz središnjeg dijela poluotoka Istre, nesumnjivo pripada hrvatskoj etničkoj skupini koja je u središnjoj Istri tada bila najbrojnija.⁵ Govoreći o Hermanovim pridjevcima potrebno je detaljnije osvrnuti se i rastumačiti još dvije oznake *Dalmata* i *De Carinthia*, koje se javljaju uz Hermanovo ime. Dio središnje Istre, bio je priključen godine 976. franačkoj vojvodini Koruškoj (Carinthia), kojoj je pripadao i u Hermanovo doba. Carinthia je u to vrijeme bila marka Svetog Rimskog Carstva te je obuhvaćala teritorij središnje Istre, dobar dio Slovenije i Austrije.⁶ Pojam rimske provincije Dalmacije također se koristio se i u Hermanovo doba. Obuhvaćao je i dio Istre istočno od rijeke Raše, koja od 1089. razgraničuje Istru i Dalmaciju. Može se pretpostaviti kako usprkos administrativnim i povjesnim podjelama, u to vrijeme pojmovi Dalmacije i Koruške u govoru se ipak nisu mogli potpuno jasno razgraničiti. U prilog tome svjedoči činjenica kako Hermanovi suvremenici u Španjolskoj i Francuskoj s kojima je surađivao ili su se koristili njegovim djelima kao Petrus Venerabilis, navodeći Hermana koriste pridjevka *Dalmata*. Nitko od njih u to vrijeme ne koristi naziv *Hermannus de Carinthia*, vjerojatno smatrajući kako se zbog blizine Hermanova zavičaj s Dalmacijom, on mogao smatrati dijelom Dalmacije i da je stoga upravo pridjevka *Dalmata* onaj po kojem bi se Herman trebao razlikovati od ostalih suvremenika.⁷

Pridjevka *de Carinthia* uz Hermanovo ime nije zaživio ili bio korišten tijekom Hermanova života, već je kasnija izvedenica. Taj njegovim suvremenikima potpuno nepoznati Hermanov nadimak, pojavljuje se samo jednom, stotinjak godina nakon Hermanove smrti, u bilješki nepoznatog autora iz 13. stoljeća,⁸ a izvodi se iz Hermanova opisa Istre. Nakon toga naziv *de Carinthia*, punih osam stoljeća nije korišten. Tek u 20. stoljeću Ch. H. Haskins u svojoj studiji iz 1924. upotrijebio je upravo taj naziv koji je postupno prevladao u stranoj literaturi o Hermanu, premda je očito da je središnja Istra koju Herman navodi kao rodni kraj samo politički i administrativno pripadala Koruškoj marki Rimsko-njemačkog Carstva. Korištenjem naziva *Hermann de Carinthia* koji se izvodi iz političko-administrativne pripadnost Hermanova rodno-ga zavičaja bez razmatranja šireg povijesnog i društvenog konteksta, prenosi se kriva poruka u vezi s Hermanovom etničkom pripadnošću, te otvara prostor nejasnim i pogrešnim interpretacijama.

⁵ Žarko Dadić, isto, str. 80–84

⁶ Franjo Zenko, *Starija hrvatska filozofija*, Školska knjiga, Zagreb, 1997., str. 21.

⁷ Žarko Dadić, isto, str. 82–84.

⁸ Franjo Šanjek, isto, str. 14–15.

1.2. Hermanovo školovanje u Istri i stasanje u duhovnom ozračju benediktinskoga reda

Od oskudnih podataka za različita razdoblja Hermanova uzbudljivoga i bogatoga životnoga puta, osobito je slabo poznato najranije razdoblje njegova odrastanja i početci školovanja. Ipak, gledano iz šire perspektive, kada sagledamo znanja koja su posjedovali ućeni ljudi toga doba i razmotrimo programe ondašnjih škola, ponešto se može pretpostaviti i zaključiti u vezi s počecima Hermanova školovanja, kao i prilika-ma koje su ga u ranoj mladosti formirale te znanjima koja je mogao posjedovati kada se iz rodne Istre uputio na daljnje školovanje. Razmatrajući Hermanov život i opus u širem povijesnom i kulturnom kontekstu 12. stoljeća, u kojem dolazi do goleme pre-obrazbe društva na svim razinama, možemo jasnije rasvijetliti i bolje razumjeti ne samo Hermanovu mladost i formativne godine, već i njegov životni put u cjelini, kao i dosege koje je ostvario.

Pretpostavlja se kako je početno obrazovanje stekao najvjerojatnije u benediktinskom samostanu sv. Petra i Pavla u Šumi ili u nekom drugom benediktinskom samostanu smještenom na zapadnoj obali Istre u kojoj je živio i školovao se do oko dvadesete godine života. U to doba na Istarskom poluotoku djelovalo je nekoliko benediktinskih samostana od kojih su najpoznatiji: sv. Kasijana u Poreču (1030.), sv. Mihovila u Limskoj Drazi (oko 1040.), sv. Marije u Puli (prije 1001.), sv. Ivana u Medulinu (1015.) i sv. Petra i Pavla u Šumi (početkom 12. st).⁹ Nastava u benediktinskoj samostanskoj školi koju je pohađao Herman u rodnoj Istri morala je kao i u drugim benediktinskim školama u zapadnoj Europi biti ustrojena po pravilu *septem artes liberales* (*sedam slobodnih umijeća*), podijeljenih na *trivij* (gramatika, retorika, dijalektika) i *kvodrivij* (aritmetika, geometrija, astronomija i glazba). Premda ustrojene prema istom programu, škole su se među sobom razlikovale razinom izvođene nastave. U programu samostanske škole učila se latinska gramatika, kao osnovni preduvjet za razumijevanje klasične literature i patrističkih tekstova, temelja ondašnje humanističke izobrazbe. Zatim se izučavala logika, koja oblikuje i usmjerava ljudski duh, zatim retorika, pjesništvo, glazba, pjevanje, te aritmetika, geometrija i astronomija koje služe tumačenju slike svijeta i zakonitosti koje vladaju u njemu.¹⁰

Budući da je Herman živio u razdoblju kada su postojale samo samostanske škole i koje je prethodilo razvoju visokoškolskih institucija i pojavi prvih sveučilišta u Europi, tek su se malobrojni pojedinci bavili izučavanjem filozofije i znanosti. Stoga, njegova odluka da napusti rodni zavičaj i nastavi daljnje usavršavanje svojih znanja također je i pokazatelj kako je već školovanjem u benediktinskoj samostanskoj školi u

⁹ Franjo Šanjek, isto, str. 16.

¹⁰ Franjo Šanjek, isto, str.16.

Istri dobio snažne poticaje i želju da produbi svoja znanja, kao i solidne temelje na kojima je dalje razvijao svoje intelektualne interese. U nedostatku detaljnijih podataka iz razdoblja Hermanove mladosti, može se općenito pretpostaviti da je u benediktinskoj samostanskoj školi koju je pohađao u rodnoj Istri morao dobro savladati latinski jezik i usvojiti solidna temeljna znanja iz područja gramatike, retorike, dijalektike, aritmetike, geometrije, astronomije i glazbe, kako bi mogao nastaviti školovanje i pohađati nastavu na čuvenoj katedralnoj školi u Chartresu, jednoj od najprestižnijih katedralnih škola u zapadnoj Europi toga vremena.

Premda je svoje školovanje započeo u nekoj od benediktinskih škola, koje su do 13. stoljeća bile glavna žarišta intelektualnog rada i obrazovanja na ovim područjima,¹¹ među sačuvanim Hermanovim spisima nema pisanoga traga koji bi potvrdio njegovu pripadnost benediktinskom redu. Benediktinci su odigrali značajnu ulogu na području Istre u procesu opismenjavanja i obrazovanja. Benediktinci su imali značajnu ulogu u razvijanju i širenju pismenosti u Europi, ali su također pridonijeli razvoju poljoprivrede i obrtništva. Najveći procvat doživjeli su u karolinškom vremenu, dakle u 8. stoljeću, kad su bili nosioci crkvene i kulturne reformacije. Opatija Cluny koju je u Burgundiji u Francuskoj u 10. stoljeću utemeljio akvitanski vojvoda Vilim, bila je mjesto duhovne obnove benediktinaca. Naime, opat Berno sastavio je prema *Pravilu* sv. Benedikta tzv. *Clunyjevsku regulu* čiji je smisao bilo obnoviti prvotne, asketske osobine redovništva.¹² Na Hermanov će život i rad u njegovoj zrelijoj dobi značajno utjecati susret i suradnja s Petrom Venerabilisom,¹³ devetim opatom reformiranih benediktinaca s matičnom opatijom u Clunyju. Ne zna se pouzdano kada su benediktinci došli u Hrvatsku, no smatra se da su najstariji samostani nastali isto kad i suverena hrvatska država.¹⁴ Sa sigurnošću se zna da je na dvoru kneza Trpimira boravio poznati benediktinski teolog Gottschalk: »Trpimir je Gottschalku i njegovim učenicima koji su bili u njegovoj pratnji dao na raspolaganje jednu 'vilu' nedaleko od kneževskog dvora [...]«. ¹⁵

¹¹ U doba kralja Tomislava, papa Ivan X. potiče Hrvate da svoju djecu od malenih nogu predaju samostanima i ondje ih školuju. Također i splitski sabor u 10. stoljeću poziva podanike da upute na nauk djecu i sluge. Vidi: Ivan Ostojić, *Benediktinci u Hrvatskoj*, sv. I., Benediktinski priorat – ITKON, Split, 1963., str. 150.

¹² Ženski ogranak reda osnovala je Benediktova sestra sv. Skolastika. Sveta Skolastika rođena je oko 480. godine u Nursiji, a umrla je 543. godine. Bila je sestra blizanka sv. Benedikta.

¹³ Francuski teolog i pisac Petrus Venerabilis (Petar Časni) rođen je između 1092. i 1094. godine u mjestu Auvergne, a umro je 1156. godine u Clunyju. Autor je djela *De miraculis (O čudima)*.

¹⁴ Franjo Šanjek, *Crkva i kršćanstvo u Hrvata*, Kršćanska sadašnjost, Zagreb, 1993., str. 68.

¹⁵ Franjo Zenko, »Herman Dalmatin«, u: Franjo Zenko (ur.), *Starija hrvatska filozofija*, Školska knjiga, Zagreb, 1997., str. 18. Trpimir je 852. godine dao sagraditi prvi benediktinski samostan smješten u Rižinicama, a opat Teudebert koji je živio za vrijeme vladavine kneza Trpimira postavio je spomen-ploču u crkvi sv. Mihaela u Ninu. Krajem 9. i početkom 10. stoljeća benediktinci osnivaju

Uz samostane postojali su i skriptoriji u kojima su se prepisivale i ukrašavale knjige, a najpoznatiji je bio skriptorij sv. Krševana u Zadru. Osnivanje spomenutih skriptorija pridonosilo je razvoju pismenosti u našim krajevima. Benediktinci su u svojim školama osim hrvatskog i latinskog jezika podučavali astrologiju, astronomiju, aritmetiku, geometriju, metodu izrade liturgijskoga kalendara, teologiju, dijalektiku i crkveno pjevanje. Benediktinski samostani također su bili mjesta u kojima je nastala glagoljaška književnost.¹⁶

0.3 Hermanove studije na katedralnoj školi u Chartresu

Nakon prva dva desetljeća života, vezanog uz Istru i benediktinsku opatiju u kojoj se školovao, Herman od 1130. godine školovanje nastavlja u Chartresu, u jednoj od u to vrijeme najpoznatijih katedralnih škola Francuske, gdje pohađa viši studij *artium*. Školu u Chartresu je koncem 10. stoljeća utemeljio biskup Chartresa Fulbert razvijajući profane discipline *trivium* i *quadrivium*. Vrsnim poučavanjem i razvojem različitih disciplina škola u Chartresu u prvoj polovici 12. stoljeća doživljava procvat i svoje zlatno doba u razdoblju od 1100. do 1160. godine. U njoj su tada predavali mnogi glasoviti filozofi, teolozi i znanstvenici zbog kojih je škola uživala izniman ugled. Zbog usmjerenja i visoke razine studija imala je važnu ulogu u 11. i 12. stoljeću, upravo u razdoblju kada dolazi do velikih promjena u znanstvenim i filozofskim shvaćanjima u zapadnoj Europi.¹⁷

Nisu poznate okolnosti koje su Hermana usmjerile na daljnje školovanje u katedralnoj školi u Chartresu. Mogao ga je privući glas o čuvenim profesorima i ugled koji je škola uživala. Za vrijeme Hermanova školovanja u katedralnoj školi predavao mu je glasoviti Thierry iz Chartresa.¹⁸ Škola u Chartresu bila je platonički usmjerena

svoje opatije i u Istri. Poznata je opatija sv. Krševana u Zadru koja je bila osobito cijenjena od strane vladara Trpimirovića. Oko 1059. godine sagrađen je samostan sv. Ivana u Biogradu, a nešto ranije, oko 1020. godine, podignuta je opatija sv. Stjepana u Splitu. Tako su u 11. stoljeću na našim prostorima benediktinci imali preko četrdeset samostana. U 12. i 13. stoljeću sagrađeno je više samostana uz Jadransku obalu, ali i u Slavoniji i Srijemu. Naime, u to vrijeme započela je obnova redovništva koja je svoje ishodište imala u opatijama Cluny i Camaldoli.

¹⁶ Na naše prostore benediktinke su prvo došle u Istru. Godine 1060. izgrađen je samostan sv. Tome u Biogradu, a uslijedili su samostani u Splitu, Trogiru, Zadru, Dubrovniku i drugdje. U svojim opatijama benediktinke su organizirale škole za djevojke. Posebno mjesto u povijesti hrvatskih benediktinki zauzimaju dvije redovnice Cika (Čika) (prva polovica 11. stoljeća–poslije 1095.) i Vekenega (Večenega) (polovica 11. stoljeća–1111.), pripadnice zadarske plemićke obitelji Madijevaca. Čika je zajedno s kćerkom, koja se po njezinoj majci zvala Večenega, osnovala samostan u Zadru i dala je obnoviti crkvu sv. Marije također u Zadru. Oko 1060. godine napisan je *Čikin časoslov* koji predstavlja najstariji osobni molitvenik u Europi. Večenega je pak dala izraditi evanđelistar koji je napisan beneventanom.

¹⁷ Žarko Dadić, *Povijest znanosti i prirodne filozofije u Hrvata (s osobitim obzirom na egzaktne znanosti)*, knjiga I. *Srednji vijek*, Izvori, Zagreb, 2015., str. 129–131.

¹⁸ Francuski teolog i učitelj Thierry iz Chartresa (Theodoricus Carnotensis) rođen je oko 1085., a pre-

i ustrojena po pravilu *septem artes liberales* (sedam slobodnih umijeća) koja su podijeljena na dva dijela *trivij* (gramatika, retorika, dijalektika) i *kvadrivij* (aritmetika, geometrija, astronomija i glazba). Tako je bila ustrojena i nastava koju je pohađao u benediktinskoj školi u Istri, ali su predavanja u Chartresu bila na znatno višoj razini i višestruko opsežnija, a najvažnije od svega sadržavala su nova znanja koja su iz arapske znanstvene i prirodno-filozofske tradicije postupno prodirala u zapadnoeuropsku znanost. U Chartresu su bila poznata djela iz nove znanosti astrologije, koja je postupno dopirala s Istoka, a

»[n]eka arapska znanja koja su u zapadnu Europu prodirala tijekom 10. i 11. stoljeća podržavala su se i u katedralnoj školi u Chartresu. To su ponajprije znanja o pozicijskome brojnom sustavu, te konstrukcija i uporaba astrolaba. Adelardova djela dala su znatan poticaj novim strujanjima u katedralnoj školi u Chartresu. Ova škola je imala vrlo veliku ulogu u pripremanju temelja za prevođenje filozofskih i znanstvenih djela s arapskog na latinski jezik«.¹⁹

Kada razmatramo Hermanovo školovanje, razvoj i dosege njegova filozofskog i znanstvenoga rada, važno je detaljnije razlučiti znanja koja je usvojio u katedralnoj školi u Chartresu jer se je studirajući formirao i profilirao svoje intelektualne interese koji su ga usmjerili na izučavanje u područjima prirodne filozofije, astronomije, astrologije i matematike. Njegov studij se najvećim dijelom temeljio na zapadnoeuropskim ranosrednjovjekovnim djelima iz filozofije, prirodne filozofije i matematike, uz koja se na katedralnoj školi u Chartresu od 11. i 12. stoljeća pod utjecajem Gerbert iz Reimsa (kasnije papa Silvestar II.)²⁰ i njegovih učenika postupno uvodilo i znanja iz arapske tradicije. Gerbert je bio prvi koji je susrevši se na prijelazu iz 10. u 11. stoljeće s arapskim izvorima usvojio nova znanja i reorganizirao nastavu na katedralnoj školi

minuo oko 1156. godine u Chartresu. Najveći je dio života posvetio poučavanju slobodnih mjeća. Prvo je predavao u Chartresu do 1134., a zatim u katedralnoj školi u Parizu do 1142. godine kada se ponovo vraća u Chartres i postaje kancelar katedralne škole. Chartresovsku će misao podignuti na doktrinalnu razinu. Poštovali su ga mnogi istaknuti mislioci kao Bernard Silvestr, Clarembaud iz Arrasa, Ivan iz Salisburyja, Herman Dalmatin i Nikola Kuzanski. Njegov stariji brat Bernard bio je također kancelar katedralne škole u Chartresu u ranijem razdoblju od 1119. do 1124. godine. Vidi u: Nikolaus M. Häring, »Tierry of Chartres«, *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 13, Charles scribner's sons, New York 1981., str. 339–340.

¹⁹ Žarko Dadić, isto, str. 133.

²⁰ Gerbert d' Aurillac (oko 945. – 1003.) imao je važnu ulogu u prenošenju arapskih znanja u zapadnoeuropsku znanstvenu tradiciju. Rodio se u Francuskoj, a matematiku je izučavao na radovima Boetia, Cassiodorusa i Martianusa Capelle. Školujući se Kataloniji vjerojatno je došao u dodir s arapskom znanostu. Kasnije kao profesor u Katedralnoj školi u Riemsu, bio je uzor mnogima a njegova predavanja i pisana djela u kojima je u zapadnoeuropsku znanstvenu tradiciju uvodio znanja iz arapske tradicije imala su važnu ulogu u iduća dva stoljeća za daljnji razvitak znanosti u Europi. Opširnije vidi: Žarko Dadić, isto, str. 123–124.

u Riemsu, te je doveo do visoke razine kozmopolitske škole što je utjecalo i na nastavu Chartresu, pa su u te škole dolazili učenici iz raznih krajeva.

U 12. stoljeću na katedralnoj školi u Chartresu predavali su Bernard iz Chartresa, Bernard Silvestris iz Toursa, Thierry iz Chartresa, Vili iz Conchesa, Gilbert Poretanski, Rodolphe iz Liègea, Ragimbald iz Kölna i Fulbert, učenik Gerberta u Riemsu.²¹ Rodolphe i Ragimbald predavali su matematiku i astronomiju, a njihove rasprave o aritmetičkim i geometrijskim problemima koji su se razmatrali u Chartresu svjedočanstvo su tema, sadržaja i razine nastave matematike koju je Herman u Chartresu mogao usvojiti. Premda se njihov pristup matematici uglavnom temeljio na radovima najutjecajnijeg matematičara ranog srednjovjekovlja Severina Boetia, Rodolphe i Ragimbald su rabili arapske brojke da bi predočili jedinice i razlomke umjesto dotadašnjih rimskih brojeva, a četiri računske operacije su obavljali postupkom koji se nazivao abak i dolazio iz arapske tradicije.

Fulbert je na školi predavao teme iz područja astronomije, *computus* – postupak računanja kalendara i pomičnih blagdana i o nebeskoj sferi. Kao Gerbertov učenik, upoznao je i neka arapska astronomska znanja, zatim uporabu instrumenta astrolaba čije je uvođenje bilo značajno za daljnji razvoj teorijske i praktične astronomije u zapadnoj Europi i arapsko nazivlje koje je dalje prenosio učenicima u Chartresu. Tako je u četiri stiha umetnuo arapske nazive za dvanaest znakova zodijaka i to na način kako bi se oni mogli lakše upamtiti.²² Za astrolab su se zanimali i drugi profesori katedralne škole u Chartresu, kao Rodolphe iz Liègea, koji ga je i konstruirao,²³ pa je Herman tijekom školovanja bio u prilici izučavati teoriju, konstrukciju i uporabu astrolaba. Astronomsku napravu astrolab konstruirali su Arapski znanstvenici na temelju Ptolomejeva djela *Planisfera*, a služila je prvenstveno kao astronomsko računalo, pomoću kojeg se moglo odrediti trajanje dana i noći, astronomsko vrijeme, ekvatorijalne koordinate zvijezda, položaj Sunca na ekliptici i drugo. Astrolab se također koristio i u pomorskoj navigaciji.²⁴

O znanjima i područjima koja je Herman mogao usvojiti tijekom školovanja u Chartresu svjedoči i djelo njegova učitelja Thierryja naslova *Heptateuchon (Knjiga u sedam svezaka)*, koje se tamo izučavalo. To je zbornik ustrojen prema shemi se-

²¹ Žarko Dadić, isto, str. 129–133.

²² Žarko Dadić, isto, str. 131.

²³ Žarko Dadić, isto, str. 131.

²⁴ Na području Hrvatske najstariji sačuvani spis o astrolabu potječe iz 15. stoljeća i nalazi se u Državnom arhivu u Dubrovniku. Vjerojatno je nabavljen za potrebe pomorske navigacije u Dubrovniku. Sastoji se od dvije rasprave o astrolabu (jedna o uporabi i druga konstrukciji astrolaba) i treće naslova *Theorica planetarum (Teorija planeta)*, vjerni je prijepis djela Gerarda iz Cremone (13.st), temeljenog na Ptolomejevim djelima i arapskim komentarima. Vidi: Žarko Dadić, isto, str. 353–357.

dam slobodnih umjeća, u kojem je sustavno i metodički prikupio mnoge tada poznate antičke i ranosrednjovjekovne tekstove. *Quadrivium* rasvjetljava duh, a *trivium* opskrbljuje elegantnim, racionalnim i kićenim izričajem, pa je Thierryev *Heptateuchon* program koji združuje znanost o riječima i stvarima, osmišljen kao jedinstveno i zasebno sredstvo za izučavanje. Praktičnu aritmetiku Thierry je temeljio na radovima ranosrednjovjekovnih učenjaka i filozofa Severina Boetia i Martianusa Cappelle i još jednog anonimnog autora²⁵. U djelu se obrađuju problemi premjeravanja Zemlje i mjerenja površina preuzeti od tekstova iz I. stoljeća. Također, zbornik donosi fragmente tekstova koje su načinili Izidor iz Seville, Gerbert iz Reimsa i Gerland u kojima se govori o prirodnoj filozofiji, astronomiji, astrologiji i matematici. U djelo je uvršten jedan abak (sustav za jednostavno izvođenje matematičkih operacija zbrajanja, oduzimanja, množenja i dijeljenja kojeg je u Europu prvi uveo Gerbert), dvije knjige geometrije, dva teksta o brojkama i njihovoj primjeni u računu. Od novih znanja s Istoka, u ovim se tekstovima primjenjuje pozicijski sustav s rimskim brojevima upravo onako kako ga je rabio Gerbert usvojivši ga iz arapske matematičke tradicije koja ga je preuzela iz indijske matematike.²⁶

Za potpunije razmatranje znanja koja je Herman izučavao u Chartresu, a mogu se dovesti u vezu s njegovim daljnjim radom i znanstvenim afinitetima, potrebno je navesti i relevantne dostupne mu izvore kao i djela koja je katedralna škola posjedovala. Tu svakako treba izdvojiti tekstove dviju knjiga Euklidovih *Elementata* i djelo *Matheseos libri VIII* (*Osam knjiga matematike*), koje je u 5. stoljeću napisao Julius Firmicus Maternus, a koje smatraju najvažnijim djelom iz astrologije napisanom u ranome srednjem vijeku u zapadnoj Europi.²⁷ Također, značajno je istaknuti kako je škola u Chartresu posjedovala i neka djela Adelarda iz Batha, prvog velikog prevoditelja djela s arapskog na latinski jezik, za kojeg se smatra da je utjecao na Hermanov razvoj, profesionalne interese i prevoditeljski rad budući se Hermanov životni put i interesi u mnogočemu podudaraju s radom i životom njegova dvadesetak godina starijeg suvremenika Adelarda.²⁸ Pojedini Hermanovi biografi zastupaju mišljenje kako ih je

²⁵ Žarko Dadić, isto, str. 131.

²⁶ Žarko Dadić, isto, str. 123–124.

²⁷ Žarko Dadić, isto, str. 133.

²⁸ Adelard iz Batha (1075. – 1160.) bio je engleski prirodni filozof i prevoditelj. Školovao se u Francuskoj u katedralnim školama u Toursu i Laonu. Poznat je po izvornim radovima i po prevođenju mnogih kapitalnih arapskih djela i zagubljenih grčkih djela iz područja astrologije, astronomije, filozofije, alkemije i matematike na latinski iz sačuvanih arapskih prijevoda izvornika. Načinio je prve prijevode Euklidovih *Elementata*, Abu Ma'sharova djela *Introductorum in astronomiam* (Uvod u astronomiju), i još nekolicine značajnih djela. Slično kao i Herman, nakon školovanja u zapadnoeuropskoj tradiciji, proveo je sedam godina na studijsko-znanstvenom putovanju zemljama Istoka (putovao je u Salerno, na Siciliju i dalje u Siriju, a možda i Palestinu). Na povratku u Europu posvetio se prevoditeljskom i znanstvenom radu. Bio je kanonik Notre-Damea. Zalagao se za slobodu i autonomiju istraživanja i

indirektno povezivao i sam Thierry. Smatraju vjerojatnom mogućnost da je Adelard nakon povratka u Europu oko 1120. godine boravio u Chartresu, te da je baš kao i kasnije Herman izučavao matematiku upravo kod Thierryja.²⁹

1.4. Završetak studija na katedralnoj školi u Parizu

Herman je četiri godine pohađao viši studij *artium* na katedralnoj školi u Chartresu, zaključno do 1134. godine. Tijekom studija osobito je bio pod utjecajem Thierryja, poznatog po izučavanjima Platona, a osobito njegova djela *Timej*. U njemu Herman vidi drugog Platona i naziva ga *latini studii patrem* (ocem latinskih studija), te prvim i nenadmašnim sidrom druge filozofije, odnosno znanstvenih disciplina zastupljenih u *quadriviumu*, te brižnog učitelja u kojemu živi Platonova duša koja je sa neba sišla zbog sreće (nas) smrtnika.³⁰

Znanjima koja je poučavao, učitelj je bio predmetom nadahnuća mnogima. Tako jedan drugi nepoznati učenik u Thierryju vidi glavnog filozofa čitave Europe (*utpote totius Europae philosophorum precipuus*).³¹ Herman se tijekom školovanja u Chartresu zbližio i s Englezom Robertom iz Kettona,³² ponekada navođenim kao Robert iz Chestera. Dijelili su zajedničke interese i obojica su bili pod velikim utjecajem Thierryja iz Chartresa od kojeg su dobili ključna znanja iz područja filozofije, prirodne filozofije, astronomije, astrologije i matematike, koje će ih ne samo profilirati kao filozofe i znanstvenike, već i potaknuti na samostalni znanstveni, filozofski i prevoditeljski rad. Kada je Thierry 1135. godine postao kancelarom katedralne škole u Parizu, njegovi učenici Herman i Robert također su slijedili svog učitelja u Pariz da bi tamo slušali njegova predavanja kod Malog mosta na obali Seine i u Parizu dovršili studij.³³ Već u vrijeme kada je Thierry prešao na katedralnu školu u Parizu, ona je uživala znatan ugled koji će s vremenom još rasti i 1200. godine postati će jednim od prvih sveučilišta u Europi. Prvih godina nakon Hermanova i Robertova završetka studija u Parizu, o njima nema sačuvanih podataka. Može se pretpostaviti kako su pod utjecajem Thierryja još za vrijeme školovanja razvili sklonost izučavanju arapske znanosti

poučavanja i težio laicizaciji škola, te je prvi ljude u školi nazivao filozofima, pokazujući time da ih smatra skupinom koja se razlikuje od klera. Nakon 1130. vraća se u Englesku. Jedan je od prvih koji je Europu upoznao s arapskim (indijskim) brojevima. Vidi u: Marshall Clagett, »Adelard of Bath«, Dictionary of Scientific Biography, vol. 1, Charles Scribner's Sons, New York 1981., str. 61–64.

²⁹ Alojz Ćubelić, »Herman Dalmatin i intelektualni preporod Zapada u 12. stoljeću«, *Croatica christiana periodica – Časopis instituta za crkvenu povijest Katoličkog bogoslovnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu*, god. XXX, 57 (2006), str. 16.

³⁰ Franjo Šanjek, isto, str. 16.

³¹ Alojz Ćubelić, isto, str. 16.

³² Godine rođenja i smrti engleskog prevoditelja, redovnika i astronoma Roberta iz Kettona nepoznate su.

³³ Franjo Šanjek, isto, str. 16.

i filozofije. Arapski su utjecaji bili prisutni u katedralnoj školi, a prvi Adelardovi prijevodi s arapskog na latinski izvornih arapskih znanstvenih i filozofskih djela i zagnatbljenih grčkih djela već su bili poznati i širili se prijepisima još u vrijeme Hermanova i Robertova studija. Ta je duhovna klima i dostupnost prvih izvora islamske i arapske znanstvene tradicije neosporno potaknula Hermana i Roberta da nakon što su u Parizu apsolvirali *artes liberales* napuste Europu i odluče se krenuti na dugo putovanje tragovima arapske filozofije i znanosti. Zadržan mudroču magistra Thierryja, Herman iskrenošću učenika priznaje kako je svog učitelja pokušao nasljedovati u znanju zajedno sa svojim prijateljem Robertom od Kettona, s kojim će proplovati Mediteran i Bliski istok.³⁴

1.5 Studijsko-znanstveno putovanje na Istok

Sa svojih studija u Chartresu i Parizu Herman Dalmatin će kao vodilju ponijeti intelektualistički optimizam koji će ga voditi i oblikovati njegov životni put i znanstveno-prevoditeljsko djelovanje. Kratko svjedočanstvo o aktivnostima, putovanjima i ciljevima Hermana i Roberta prvih godina po završetku studija u razdoblju od 1135. do 1138. godine ostavio nam je nepoznati engleski ljetopisac, suvremenik druge križarske vojne (1147. – 1149.) u bilješci koja sadrži itinerarij njihova studijsko – znanstvenog putovanja na Istok:

»Robert iz Kettona, Englez po imenu i narodnosti, nakon što se s osnovama ljudskog umijeća i literature upoznao u engleskoj školi, odmah je u duši stvorio odluku posjetiti prekomorske zemlje. Proplovavši dakle Galiju, Italiju, Dalmaciju i Grčku, napokon je stigao u Aziju gdje je, uz nemali napor i životnu opasnost, među Saracenima, najokrutnijoj vrsti ljudi, izvršno ovladao arapskim jezikom. Poslije toga je morskim putem doplovao u Španjolsku, te se uz rijeku Ebro dao na studij astrološkog umijeća zajedno s Hermanom Dalmatincem, nerazdruživim pratiocem na svom velikom putovanju.«³⁵

Nošeni živim, mladenačkim temperamentom i snažnim intelektom Herman i Robert odvažili su se krenuti na dugo i opasno studijsko putovanje, prateći puteve

³⁴ Franjo Šanjek, isto, str. 16–17.

³⁵ Prijevod i izvornik navedeno prema: Franjo Šanjek, »Herman Dalmatin (oko 1110 – posl. 26.II.1154). Bio-bibliografski prilozi«, str. 7–100, posebno str. 17–18. Richard Hakluyt, *The Principal Navigations Voyages Traffiques and Discoveries of the English Nation*, sv. IV. (London 1598.), Glasgow 1904., str. 308: »Robertus Ketenensis natione et cognomine Anglus, degustatis primum per Anglorum gymnasia humanarum artium elementis literariis, ultramarinas statim visitare provincias in animo constituit: Peragratis ergo Galliis, Italia, Dalmatia, et Graecia, tum demum pervenit in Asiam, ubi non parvo labore, ac vitae suae periculo inter Saracenos truculentissimam postes navigio traductus, circa fluvium Hiberum Astrologicae artis studio, cum Hermanno quodam Dalmata, magni sui itineris comite se totum dedit.«

koje je prokrčio Prvi križarski rat označavajući početak kršćanske rekonkviste. Bili su privučeni glasom o razvijenoj i bogatoj tradiciji islamske filozofije i znanosti koja se razvijala u arapskim zemljama Istoka. Radoznale, mlade intelektualce s latinsko-kršćanskog Zapada, privlačila su kulturna središta bogata spisima iz raznorodnih tradicija (starogrčke, helenističke, ranokršćanske i islamsko-arapske), pa su krenuli put Sirije, jedne od najranije islamiziranih i arabiziranih istočnih zemalja. Bilo je vrlo opasno u to vrijeme uputiti se nesigurnim putevima u islamske zemlje Male Azije, a prilike su dodatno otežavali neprestani sukobi lokalnih moćnika. Premda su Arapi još od 9. stoljeća dozvoljavali kršćanima i Židovima nesmetan pristup na područjima kojima su vladali, prilike se mijenjaju polovicom 11. stoljeća, kada su Turci Seldžuci preuzeli vlast u Bagdaskom kalifatu i počeli ugrožavati teritorije Bizantskog Carstva. Nakon pobjede nad bizantskom vojskom, Seldžuci su osvojili Malu Aziju, Siriju i Palestinu te su s tih područja potiskivali kršćanstvo i grčki jezik, a širili islam i arapski jezik, što je dovelo do Prvog križarskog rata (1096. – 1099.). Kršćanske snage u ratnom pohodu su oslobodile Palestinu, Jeruzalem i sveta mjesta, nakon čega je uspostavljeno Jeruzalemsko Kraljevstvo s vazalnim državama: Antiohijskim Kneževstvom i vojvodstvima Tripoli i Edesa. Križarski su ratovi snažno utjecali na razvoj europske trgovine s Istokom, u čemu su prednjačili gradovi Genova i Venecija, koji su se osim trgovine bavili i prijevozom križara do Svete zemlje. Vjerojatno su se tim uspostavljenim kanalima služili Herman i Robert na svom putu za Istok. Ratovi su doveli i do povećanog priliva znanja iz arapske i grčke kulture koja su se razvijala na području zemalja Male Azije i Bizanta, te do porasta obrtništva i razvoja gradova i što se uvelike odrazilo na način života u Europi toga vremena, donoseći nove slobode i različite oblike udruživanja građana, kojih su proizlazili iz novog načina življenja, privređivanja, pojave bankarstva i mogućnosti školovanja pri samostanskim školama. U tom povijesnom i kulturnom kontekstu treba razmatrati i Hermanov život, kako bi se potpunije razumjela jedinstvenost njegova životnog puta i vrijednost nasljeđa kojega je ostavio.

Hermanovo i Robertovo putovanje odvijalo se u razoblju između Prvog križarskog rata i Drugog križarskog rata (1147. – 1149.), koji je bio potaknut činjenicom da su kršćanske teritorijalne stečevine na tim prostorima ubrzo ponovo ugrožavali seldžučki vojskovođe. Već nakon jednog desetljeća od mira uspostavljenog završetkom prvog križarskog rata, zapale su u razdoblje nemira i sukoba koje će potrajati puna dva stoljeća. Osvojena područja Antiohije omogućavala su kršćanskim snagama siguran pomorski put i opskrbu Sredozemljem, kao i otvoren put prema Jeruzalemu te dalje na istok u pravcu gradova Edesa, Bagdad, Damask i Alep. Tim su putem koji su koristile kršćanske snage i održavala se njihova opskrba vjerojatno krenuli Herman i Robert na Istok. Prema zapisu engleskog kroničara zaputivši se iz Francuske, preko sjevera Italije došli do obale Jadrana i nastavili putovanje obalom Dalmacije odakle su najvjerojatnije preko luke Drač usmjerili prema Carigradu. Putovali su vođeni že-

ljom da savladaju arapski jezik i na izvorima upoznaju tada visoko razvijenu arapsku znanost i filozofiju, kao i zagubljena antička djela i znanja koja su ostala sačuvana u prijevodu na arapski jezik. Stoga su cilj njihova putovanja bili veliki gradovi s knjižnicama i medresama, islamskim školama u kojima su mogli steći nova znanja. Na temelju raspoloživih biografskih podataka i uz poznavanje znanstvenih prilika i razvoja kulturnih centara na području Europe i Male Azije, Franjo Šanjek načinio je i objavio studijsko – znanstveni itinerarij Hermana Dalmatina uključujući u njega sva relevantna mjesta i gradove kroz koje je Herman mogao putovati, usvajati i prenositi znanja radeći na svojim prijevodima, kompilacijama i izvornom djelu.³⁶ Na kartu Hermanonovog itinerarija upisao je nekoliko značajnih centara Istoka kao Carigrad, Edesa, Bagdad, Damask i Alep, smatrajući ih mjestima na kojima su Herman i Robert crpili znanja iz arapskih, starogrčkih i istočnjačkih izvora.

Ta su znanja Herman i Robert nastavili usavršavati vrativši se na Iberski poluotok, koji je kao i još neki dijelovi južne Europe u to vrijeme bio već puna dva stoljeća pod islamskom vlašću. Arapi su nakon osvajanja istočnih zemalja u Aziji i zapadnog Bliskog istoka, sjeverne Afrike i nekih područja Sredozemlja, prešli na europsko tlo osvojivši Siciliju i dio Španjolske. Širili su utjecaj islamske civilizacije, koja se razvijala primajući znanja naroda s kojima su došli u kontakt, a koja su islamski filozofi i znanstvenici ugradili u svoja učenja, dodavajući svoja izvorna istraživanja na primljena znanja.³⁷

U Hermanovo doba, islamska znanost i filozofije doživljavaju već nekoliko stoljeća kontinuiranog razvoja i predstavljaju bogato vrelo novih spoznaja u odnosu na zapadnoeuropsku tradiciju u okviru koje se po završetku antike, tijekom niza stoljeća ranoga srednjeg vijeka, u znanosti i filozofiji ostvaruje transfer znanja iz prethodnih razdoblja, uz znatno slabiji prinos i razvoj u usporedbi s onim koji je ostvaren u razdoblju antike. Vjerojatno se stoga, Herman nakon što je dovršetkom školovanja dosegnuo vrhunce znanja u sklopu zapadnoeuropske tradicije, okreće novim izvorima tada visoko razvijene islamske znanosti i filozofije. Razvoj islamske znanosti i filozofije prema Fuatu Sezginu može se podijeliti na tri kronološka uzastopna razdoblja³⁸ U prvom razdoblju dolazi do recepcije i asimilacije znanja naroda s kojima su došli u kontakt (u prvom redu antičke, perzijske, indijske i kineske tradicije). U drugom, stvaralačkom razdoblju koje započinje drugom polovinom 9. stoljeća i završava sredinom 12. stoljeća islamska filozofija i znanost unaprijeđuju rezultate svojih prethodnika i stvaraju nova izvorna znanja i djela. Treće razdoblje započinje završetkom procvata islamske filozofije i znanosti u drugoj polovici 12. stoljeća, nakon čega jačanjem utjecaja religije dolazi do utrnuća istraživačkog rada i u potpunosti se mijenja pristup i uloga znanosti i

³⁶ Franjo Šanjek, isto, str. 24

³⁷ Žarko Dadić, isto, str. 96.

³⁸ Žarko Dadić, isto, str. 97.

filozofije u islamskom društvu.³⁹ Iz navedenog zaključujemo kako se Herman uključio u izučavanje islamske znanosti i filozofije upravo u razdoblju kada se ona razvija u svome zenitu, pa su stoga prijevodi djela koje je načinio imali veliku važnost i bili dio snaga koja su pokrenula korjenite promjene u zapadnoeuropskoj znanosti i filozofiji.

Herman i Robert nisu ostavili zabilješke sa studijskog putovanja Malom Azijom, pa o mjestima njihova boravka kao i filozofskim i znanstvenim izvorima s kojima su se susretali u tom dijelu svijeta bogatom kulturnim središtima možemo samo pretpostavljati sudeći prema njihovom prevoditeljskom i znanstvenom radu u kojem su jasno uočljivi specifični interesi za područja prirodne filozofije, astrologije i astronomije. Područjima kojima su Herman i Robert prolazili u Maloj Aziji, razvijao se čitav niz gradova koji su još od početka islamske civilizacije bili među najvažnijim kulturnim i intelektualnim središtima kao Damask, Alep, Bagdad, Edesa. Najznačajniji mislioci, škole i knjižnice djelovali su u tim centrima, te su vjerojatno Herman i Robert u navedenim gradovima upoznali arapski jezik i započeli dublje izučavanje islamske znanstvene i filozofske tradicije kako bi je posredovali u zapadnoj Europi. Upravo u 12. stoljeću kada je islamska znanost i filozofija već dosegla svoj vrhunac, latinski Zapad je intelektualno spreman za prihvaćanje novih znanja, u najvećoj mjeri zahvaljujući širenju školskih institucija i djelovanju teologa – prirodnih filozofa koji su uvodili i isticali racionalni pristup istraživanjima, zatim ulogu logike i kritički stav u komentiranju dotadašnjih tekstova i autoriteta. To se smatra vrhunskim dometima ranog srednjeg vijeka u zapadnoj Europi, jer je omogućilo u 11. i 12. stoljeću plodonosan prijam islamske znanosti i filozofije u tom dijelu Europe.⁴⁰ Za daljnji razvoj znanosti i filozofije u zapadnoj Europi bilo je još potrebno raspolagati novim znanjima, te se posegnulo za nepoznatom starogrčkom ostavštinom i arapskom tradicijom, a istovremeno se nastavlja širiti i usavršavati sustav visokoškolskih institucija i stvaraju prva sveučilišta koja će osigurati prijenos znanja i kontinuitet njegova daljnjega razvoja.

1.6. Povratak u Europu i rad u prevoditeljskim centrima

Morskim putem vrativši se s Istoka, Herman od godine 1138. do proljeća 1142. zajedno s Robertom boravi u Španjolskoj u nekom od središta uz rijeku Ebro. Vjerojatno je riječ o regiji Rioja, nedaleko poznate benediktinske opatije Santa Maria de Najaera, gdje se bavi izučavanjem *nove znanosti* astrologije na temelju arapskih izvora i prevodenjem tekstova s arapskog na latinski jezik⁴¹. Nova astrološka znanost dopirala je s Istoka i bila praćena pojačanim interesom za astronomska i matematička teorijska i praktična djela. Arapska djela koja su Herman i Robert izučavali bila su

³⁹ Opširnije vidi: Žarko Dadić, isto, str. 9–122. Žarko Dadić, *Na razmeđu civilizacija*, Izvori, Zagreb, 2013., str. 47–102.

⁴⁰ Žarko Dadić, *Na razmeđu civilizacija*, str. 48.

⁴¹ To opat Petar Venerabilis iz Clunyja navodi u pismu Bernardu iz Clairvauxa spominjući kako ih je susreo uz rijeku Ebro (Bibliander, *Machumetis*, str.1), navedeno prema Franjo Šanjek, isto, str.18.

načinjena kao sinteze starogrčkih znanja i znanstvene tradicije Indijaca, Perzijanaca, Kineza, Kaldejaca, Egipćana, i drugih drevnih istočnjačkih civilizacija. Prevođenju i izučavanju astrologije, astronomije, matematike i filozofije Herman će se intenzivno posvetiti narednih pet godina, tijekom kojih će načiniti čak oko petnaestak prijevoda, kompilacija i jedno izvorno prirodnofilozofsko djelo.

»Herman Dalmatin pripada generaciji vrsnih prevoditelja, podjednako vještih arapskom i latinskom jeziku, koji su Zapad obogatili brojnim znanstvenim djelima arapskih i grčkih autora i na taj način pripremili neophodne preduvjete za kulturni i znanstveni preporod Evrope u 12/13. stoljeću«. ⁴²

Radeći u prevoditeljskim i kulturnim centrima onodobne Španjolske, Herman je i nakon povratka s Istoka i dalje bio u neposrednom kontaktu s arapskim izvorima jer su Arapi u to vrijeme bili vladari velikog dijela Iberskog poluotoka. Od 8. stoljeća, osvojivši južne dijelove Europe: velik dio Pirinejskoga poluotoka, Iberskoga poluotoka i Siciliju, tamo zasnivaju visoku kulturu koja se na tim prostorima razvijala do konca srednjega vijeka. Stoga se može kazati kako kultura klasičnog islama velikim i bitnim dijelom pripada sklopu duhovnosti koja se od 8. do 15., stoljeća, dakle punih osam stoljeća razvijala na prostoru Sredozemlja. Širili su je na prostorima Sredozemlja Mauri, narod koji je nastao miješanjem antičkih Maura s Kartazanima, Rimljanima, Vandalima i Arapima. Nakon što krajem 7. stoljeća prelaze na islam i postupno se uklope u arapsku naciju, početkom 8. stoljeća osvajaju južne dijelove Europe i sa sobom na te prostore donose islamsku civilizaciju, kulturu, znanost i filozofiju.

U razdoblju Hermanova djelovanja na Iberskom poluotoku, koegzistiraju tri vjere i kulture: kršćanska, islamska (maurska) i židovska, koje će usprkos rekonkvisti, neprestanim sukobima i ratovima na tim prostorima do konca srednjovjekovlja razvijati u međusobnoj interakciji. Njihov način života, poimanje svijeta, kao i razina kulturnog razvitka bili su različiti. Arapski eruditi su odlično poznavali starogrčku, rimsku i istočnjačku tradiciju. Kršćanski učenjaci težili su što bolje upoznati znanstvenu i filozofsku tradiciju islama, kao i židovski mislioci koji su bili dobri poznavatelji arapskog jezika i kulture. Izuzetno bogate biblioteke maurskih vladara i velikaša, naročito u Toledu i Córdoba, obilovale su štivom iz raznih područja filozofije i znanosti. Također, i mnogi su samostani u Kataloniji posjedovali rukopise prevedenih arapskih djela, a dospjeli su onamo posredstvom putnika i trgovaca koji su putovali između Córdoba i Barcelone, te su tim putem u 10. i 11. stoljeću ostvareni prvi dodiri zapade Europe s islamskom filozofijom i znanošću. ⁴³ Čitava intelektualna zapadna Europa toga vremena zanimala se za islamsku znanost i filozofiju, pa se može kazati

⁴² Franjo Šanjek, isto, str. 33.

⁴³ Hrvati su već u 10. stoljeću, za vladavine kralja Tomislava uspostavili političke veze s maurskom Španjolskom, ali nije poznato je li to imalo izravnog utjecaja na hrvatsku kulturu u zemlji. Žarko Dadić, isto, str. 95–96.

da je Španjolska s prevoditeljskim centrima koji u 12. stoljeću započinju rad na sustavnom prevođenju, u tom razdoblju imala ulogu mosta između Istoka i Zapada.⁴⁴

Centar maurske Španjolske bila je Córdoba, koja se razvijala kao sjedište Córdobaškog kalifata (756. – 1035.) i postala uz Bagdad jednim od najvažnijih i najbogatijih središta islamske kulture i umjetnosti toga doba.⁴⁵ O snazi i razvoju islamske civilizacije u južnoj Europi svjedoči činjenica da je oko 1000. godine Córdoba bila jedan od najvećih gradova na svijetu s oko pola milijuna stanovnika. U gradu su, pored većinskog muslimanskog stanovništva, živjeli kršćani i Židovi, kao i u Seville i Toledu. Rekonkvista u Španjolskoj nije spriječila učene kršćane, Maure i Židove, da združenim snagama proučavaju dragocjene rukopise maurskih biblioteka, prevode i stvaraju nova, izvorna djela. Njihovi naponi rezultirali su nastajanjem kulturološkog fenomena poznatog pod nazivom *Toledska prevoditeljska škola* (*Escuela de traductores de Toledo*), u kojoj su se okupljali učenjaci kako bi se bavili prevođenjem.⁴⁶ Herman je tijekom boravka na Iberskom poluotoku održavao vezu s *Toledskom prevoditeljskom školom*, koju je utemeljio nadbiskup Raimundo.⁴⁷ U toj školi koja je djelovala kao pre-

⁴⁴ Osim na području Španjolske čiji su prevoditeljski centri dali najveći broj prijevoda, u tom razdoblju djelovali su i u nekim dijelovima sjeverne Italije značajni prevoditeljski centri u kojima je dio prevoditelja radio izravno na grčkim tekstovima (Jakob iz Venecije, Burgundio iz Pize), što je bila rijetkost jer je od vremena Rimskog Carstva poznavanje grčkog u zapadnoj Europi gotovo iščezlo. Pored toga, važni prevoditeljski centri djelovali su i na Siciliji koja je u 12. stoljeću doživjela znatan razvoj i izvornu civilizaciju utemeljenu na trojezičnosti (latinski, grčki, arapski). Nakon stoljetne bizantske vlasti, od 9. stoljeća Sicilija je bila pod arapskom vlašću, a zatim je u drugoj polovici 11. stoljeća osvajaju Normani, kršćanski potomci Vikinga i njome upravljaju normanski kraljevi koji uzdižu status otoka u kraljevstvo 1130. godine, zajedno s pridruženom Maltom i južnom Italijom. U tom razdoblju Kraljevina Sicilija bila je jedna od najbogatijih država u Europi s velikim brojem doseljenika sa sjevera Italije, čime je stanovništvo otoka postalo latinizirano. Također je i Rimokatolička Crkva u potpunosti zamijenila dotadašnju bizantinsku istočnu kršćansku crkvu. Među sicilijanskim prevoditeljima znanstvenih djela osobito su se isticali Aristip iz Palerma i Eugen Emir. Vidi opširnije: Alojz Čubelić, isto, str. 8.

⁴⁵ U 12. stoljeću Córdoba je dala jednog od najvećeg i najutjecajnijeg islamskog mislioca i sljedbenika Aristotela. Ibn Rushd (lat. Averroes) (1126. – 1198.) Njegov djed bio je istaknuti malikijski teolog, kadija i imam velike džamije u Córdoba. Prema obiteljskoj tradiciji izučavao je pravo i medicinu, i tada se zainteresirao za prirodne znanosti i filozofiju kojima je dao velik doprinos. Jačanjem radikalnih vjerskih struja, protjeran je iz Córdoba a, njegova djela se proglašavaju protivnima vjeri i spaljuju. Nakon toga, djelovao je u Marrakechu, prijestolnici Almohadskog kalifata u Maroku, gdje je sudjelovao u osnivanju nekih kulturnih institucija i astronomskog opservatorija kojim je upravljao. Vidi u: Albert Z. Iskandar, »Ibn Rushd«, *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 12, Charles scribner's sons, New York, 1981., str. 1–9.

⁴⁶ Toledska prevoditeljska škola tijekom svoga postojanja razvijala se kroz dvije faze. U prvoj fazi, tijekom 12. stoljeća prevodilo se s arapskog na latinski jezik, dok se u druga fazi u 13. stoljeću bave prevođenjem s arapskog na španjolski jezik.

⁴⁷ Charles Homer Haskins, *Studies in the History of Mediaeval Science*, Harvard University Press, Cambridge, 1924., str. 67.

voditeljski centar okupljali su se mnogi eruditi i prevoditelji toga doba. Pretpostavlja se da je Herman u kontaktima s *Toledskom školom* stekao nova znanja i upoznao neka njemu do tada nepoznata djela. Još uvijek nije poznat krug učenjaka s kojima je Herman surađivao tijekom boravka u Španjolskoj, ali veza s Toledskom školom davala je Hermanu priliku ostvariti kontakte s znamenitijim prevoditeljima te škole kao što su Ivan iz Seville,⁴⁸ Domingo Gundislavi⁴⁹ i Gerard iz Cremona,⁵⁰ s kojima ga je pove-

⁴⁸ Ivan iz Seville (Juan iz Seville, John of Seville; lat. Johannes Hispalensis ili Johannes Hispaniensis), Židov koji je prešao na katoličanstvo (nepoznatog židovskog imena), rođen u Toledu oko 1090., umro oko 1150. godine. Bio je filozof i prevoditelj astroloških, astronomskih, filozofskih i medicinskih rasprava. Isticao se preciznim, doslovnim prijevodima, uz istovremeno zadržavanje sintakse i gramatičke strukture izvornog jezika. Suradivao je s Dominicom Gundislavijem i židovskim filozofom Abrahamom Ibn Daudom na prijevodu Avicennina djela *De anima*, filozofskog komentara Aristotelovih djela. Preveo je više medicinskih i filozofskih djela, a osobito se zanimao za astronomsko-astroloških djela kojih je preveo više od desetak. Među njima se izdvajaju: Al-Farghanijeva djela *Kitab Usul 'ilm al-nujum* (*Knjiga o elementima znanosti o astronomiji*) prevedeno na latinski jezik 1135., pod naslovom *Korijeni astronomije* i djelo *Kitāb fī Jawāmi* (*Elementi astronomije o nebeskim kretanjima*) Ilm al-Nujūmija. Također je preveo veliko Abu Ma'sharovo djelo *Kitab ta'wīl Sini al-ālam*, (prevedeno kao *Introductorium in astronomiam*, *Uvod u astronomiju*) i Mash'allahuovo djelo *De compositione et utilitate astrolabii* (*O konstrukciji i uporabi astrolaba*). Značajnija djela Ivana iz Seville uključuju prijevode rukopisa Tabita iz Harrana (poznat pod imenima Tabit ibn Kora, arap. Thābit ibn Qurra, lat. Thebit), arapskog astronoma, matematičara i prevoditelja s grčkoga na arapski djela Apolonija iz Perge, Arhimeda, Euklida i Ptolemeja, sačuvavši ih tako u arapskom prijevodu, budući su grčki izvornici s vremenom zagubljeni, zatim djela Sahl ibn Bišra (poznat pod imenima Rabban al-Tabari i Haya al-Yahudi) i Albohalijevo djelo *Kitāb al-Mawālid* (*Knjiga rođenja*), prevedeno pod latinskim naslovom *De Nativitatibus*. *Kitāb al-Mawālid* astrološka je rasprava koja se odnosi na »tumačenje rođenja ili horoskopa rođenja«, ima tri zasebne knjige s citatima drugih autora poput Ptolomeja, Messahallaha i Hermesa. Kako je Ivan iz Seville tijekom života koristio nekoliko imena neki povjesničari smatraju da su zapravo u isto vrijeme postojale dvije različite osobe sa sličnim imenom. Richard Lemay, »Gerard of Cremona«, *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 15, Charles scribner's sons, New York, 1981., str. 175–176.

⁴⁹ Domingo Gundisalvi (lat. Dominicus Gundissalinus, poznat i kao Gundisalvo, oko 1115. – nakon 1190.), bio je filozof i prevoditelj s arapskog na latinski. Rođen je najvjerojatnije na Pirinejskom poluotoku i školovao se u Chartresu. U Toledskoj školi surađivao je s filozofima i prevoditeljima židovskog porijekla Ivanom iz Seville i Abrahamom Ibn Daudom (poznat i kao Abraham ben David Halevi). Među njegovim prijevodima ističu se djela: Avicenne *Kitab al-Shifā'*, *Liber de filosofia prima*, i *De anima*; zatim Ibn Gabirola *Fons vitae* i al-Gazalijeva djela *Summa theoricarum philosophiarum*. Kao filozof pisao je izvornu sintezu temeljenu na arapskim izvorima i značajno doprinio latinskoj asimilaciji arapske filozofije. Vidi u: Claudia Kren, »Gundissalinus, Dominicus«, *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 5, Charles scribner's sons, New York 1981., str. 591–593.

⁵⁰ Gerard od Cremona (latinski: Gerardus Cremonensis; talijanski: *Gerardo di Cremona*; oko 1114. – 1187.) bio je talijanski erudit i prevoditelj s arapskog na latinski. Mnogi od njegovih prijevoda bili su izvorno napisani na grčkom i nedostupni u Europi njegovog vremena. Gerard se smatra jednim od najvažnijih prevoditelja Toledske škole u sklopu koje je djelovao oko dvadesetak godina. Jedan od njegovih najpoznatijih radova je prijevod Ptolemejevog *Almagesta* s arapskog teksta pronađenog u Toledu. Vidi u: Richard Lemay, »Gerard of Cremona«, *Dictionary of Scientific Biography*, str. 173–192.

živao zajednički interes za prevođenje djela iz područja filozofije, prirodne filozofije, astronomije, astrologije i matematike, a izučavali su i prevodili ista djela. Tako su se Herman i Ivan iz Seville zanimali za astronomski i astrološki rad Sahl ibn Bišra. Prvih pet njegovih knjiga preveo je Ivan iz Seville, a šestu knjigu Herman Dalmatin. U Toledu su poznavali Hermanov rad i djela o čemu svjedoči podatak da su se upravo u *Toledskoj zbirci* nalazila i neka njegova djela o islamu, koja je napisao neposredno prije nego je napustio Španjolsku 1142. godine.⁵¹ Zbog značajne uloge koju je *Toledska prevoditeljska škola* imala u posredovanju arapskih i starogrčkih znanja u zapadnu Europu, vrijedilo bi nastaviti istraživanja o Hermanovim vezama i suradnji sa školom i prevoditeljima koji su u sklopu nje djelovali.

2. Hermanov prevoditeljski rad i njegovi odrazi

Tijekom petogodišnjeg razdoblja od 1138. do 1142. godine, koje je proveo uz rijeku Ebro, Herman se zajedničkim izučavanjima i prevoditeljskim radom intenzivno povezo s Robertom iz Kettona. O suradnji i predanom radu svjedoči odlomak iz Hermanova djela *De essentiis* u kojem se sa zahvalnošću obraća Robertu i podsjeća ga na duga i naporna zajednička izučavanja, koja su im otvarala riznice arapskog znanja.⁵²

»Promišljeno odlučuješ, predobri Roberte, o tome kako valja postupati i uvijek ćutim kod tebe tu ljubav prema meni, bilo zato što razboritim duhom sve oko sebe gledaš i predviđaš, bilo zato što nam je nedjeljiv život, misao ista i uopće jedna duša. Ja ću dakle, ako se pravo sjećam stvar izložiti po redu. Sjećaš se, mislim: dok nam se, kad smo izlazili iz naših svetišta u javni Minervin op-hod, divila uokolo sakupljena svjetina zinuvi od čuda – ne toliko prosuđujući osobe koliko motreći ruho i opremu što su nam ih pribavila duga bdijenja i vrlo težak posao iz naskrovitijih arapskih riznica.«

Ono što su Herman i njegovi suvremenici u 12. stoljeću prevodili, prenosilo se i širilo u školama zapadne Europe, te je utjecalo na razvoj i usmjerenje nastave i intelektualne djelatnosti na sveučilištima zapadne Europe sve do konca srednjeg vijeka. Također, to je bio početak stvaranja nečeg kvalitativno novog, kao i dio priprema koje su vodile velikim konceptualnim promjenama u znanosti i filozofiji tijekom renesanse, kada se zasnivaju i oblikuju temelji novovjekovne znanosti i filozofije.⁵³ Međutim,

⁵¹ Žarko Dadić, isto, 140.

⁵² Herman Dalmatin, *De essentiis*, (2)-(3), navedeno prema prijevodu A. S. Kalenića i njegovoj transkripciji: »Optime Roberte [...] ex intimis Arabum thesarius diutinae nobis vigiliae laborque gravissimus acquisierat.« Objavljeno u: Herman Dalmatin, *Rasprava o bitima*, knjiga 2, str. 66

⁵³ Juan Vernet, *Ce que la culture doit aux Arabes d'Espagne*, Sindbad, Paris 1985., str. 116–170.

proces prijenosa, transformacije i prihvaćanja znanja i filozofskih pogleda mnogo je složeniji nego se to na prvi pogled čini. U tom procesu, pored utjecaja arapske i starogrčkih filozofija i znanosti prisutni su vidljivi utjecaji i različitih istočnjačkih znanja kao perzijskih, indijskih i kineskih, što se odražava i u djelima koja je Herman prevodio i pisao, te ih tako posredovao latinsko-kršćanskom Zapadu.

»Odjek muslimansko-španjolske civilizacije 10. i 11. stoljeća ilustriraju brojni znanstvenici i helenizirajući filozofi. Kulturne su veze postojale unatoč ratovima muslimana i kršćana, a postojale su važne dvojezične ili trojezične manjine (Židovi, Mozarapi), koje su bile posrednice između dviju kultura. 'Škola prevoditelja' iz Toleda, bijaše najpoznatija, ali ne i jedino prevoditeljsko središte.⁵⁴ Među prevoditeljima postojali su ne samo obraćeni Židovi (Ivan iz Seville) i španjolski kršćani (Dominik Gunisalvi i Hugo Santalla) već i brojni drugi, Herman Dalmatin, Adelard iz Batha, Robert iz Chestera, Gerard iz Cremona. Ti su prevoditelji zajedno s klinijevskim monasima i hodočasnici Svetoga Jakova omogućili brzu razmjenu prijevoda načinjenih u Španjolskoj u čitavoj Europi.«⁵⁵

Hermanov je prevoditeljski rad bio vođen njegovim intelektualnim interesima, kao i potrebama njegova vremena. Prevodio je raznolika djela od arapskih sakralnih tekstova, astrološko-astronomskih i matematičkih djela, kao i starogrčka matematička i astronomska djela, koja su se sačuvala u prijevodima na arapski jezik. Njegov interes u prvom redu je bio usmjeren na astrologiju, astronomiju, filozofiju, prirodnu filozofiju i matematiku što se tematski uglavnom podudara s radom većine prevoditelja 12. stoljeća, koji su kao i Herman sudjelovali u počecima sustavnog prevođenja arapskih tekstova na latinski jezik.

Među suvremenici Herman se isticao specifičnim stilom prevođenja i bio na glasu kao vrstan poznavatelj arapskog i latinskog jezika. Nije se u prevođenju služio dvjema tada uobičajenim metodama kod koje jedna osoba prevodi arapski izvornik na živi jezik (najčešće španjolski), iz koje drugi prevoditelj stvara latinsku verziju, koju zatim u konačnici vrstan latinist stilski doraduje i korigira. Svjedočanstvo o tome

⁵⁴ U Barceloni je također tijekom 12. stoljeća djelovalo krug prevoditelja s arapskog na latinski jezik. Među kojima se isticao Platon iz Tivolija (lat. Plato Tiburtinus) talijanski matematičar, astronom i prevoditelj, koji je živio u Barceloni od 1116. do 1138. godine. Poznat je po prevođenju prvih tekstova o astrolabu, astronomskih djela al-Battani, Theodosiuseve *Sferne geometrije* i *Liber Embadorum* Abrahama bar Chiia te *Knjige rođenja* astrologa Albohali 1136. i Ptolomejeva djela *Tetrabiblos* 1138. godine. Radio je zajedno sa židovskim matematičarom Savasordom (Abraham Bar iyya Ha-Nasi). Njegovi su prijevodi imali velikog odjeka, a koristili su ih Albertus Magnus i Fibonacci. Vidi u: Lorenzo Minio-Paluello, »Plato of Tivoli«, *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 11, Charles Scribner's Sons, New York, 1981., str. 31–32.

⁵⁵ Alojz Čubelić, isto, str. 8.

ostavio je Petar Venerabilis, koji 1144. piše svom prijatelju Bernardu iz Clairvauxa da je posao na prevođenju *Kur'ana* najprije povjerio obraćenom Židovu Petru iz Toleda, kojemu je pridružio svog osobnog tajnika Petra iz Poitiersa, ali rezultat njihovog zajedničkog rada nije bio zadovoljavajući, pa se odlučuje novcem skupo platiti stručnost Hermana Dalmatina i Roberta iz Kettona.⁵⁶ Hermanova prevodilačka tehnika pretpostavlja izravan prijevod jedne te iste osobe. Kvalitetu njegova prijevoda na latinski jezik Abu Ma'sharova djela *Introductorium maius in astronomiam*, načinjenog s glosama potvrđuje jedanaest danas poznatih srednjovjekovnih kodeksa i uz to tiskana izdanja iz 1489. 1495. i 1506. godine.

»Unatoč manjem udaljavanju od literarnog smisla, Hermanov prijevod

Introductoriuma, kao što to pokazuju istraživanja Richarda Lemaya, ispravlja mnoge očite pogreške svog prethodnika Ivana iz Seville i vrlo često pojašnjava nejasne i teško razumljive rečenice. Naš se učenjak redovito oslanja na literarno i znanstveno najdotjeranije arapske predloške, koje po mogućnosti uspoređuje s najboljim postojećim latinskim prijevodom.«⁵⁷

Kada govorimo o Hermanovim uzorima koji su se odrazili na njegov prevoditeljski rad, najčešće se spominje njegov stariji suvremenik i prvi veliki prevoditelj znanstvenih i filozofskih djela s arapskog na latinski jezik Adelard iz Batha. Njegovi su prijevodi označili početak sustavnog prevođenja znanstvenih i filozofskih djela s arapskog na latinski jezik, a svojim opusom utire put mlađim prevoditeljima. Stariji od Hermana, Adelard se dvadesetak godina ranije započeo baviti pojedinim znanstvenim i filozofskim problemima i odabranim arapskim tekstovima koji se mogu neposredno dovesti u vezu s kasnijim Hermanovim radom. Primjerice, obojica su izučavali i prevodili Euklidove *Elemente* i *Astronomske tablice* Al-Kwārizmīja,⁵⁸ što se smatra jednim od značajnijih prevodilačkih pothvata, zatim obojica su radila na Abu Ma'sharovom djelu *Uvod u astronomiju* kojeg je Herman preveo u cjelini, dok je Adelard preveo tekst *Kratki uvod u astronomiju matematičara Ma'shara*, kojeg je Abu Ma'shar priredio kao poseban sažetak svog opsežnog djela. Adelard je kao i Herman dva desetljeća kasnije, putovao islamskim zemljama zanimajući se osobito za astrologiju, koju je izučavao u tekstovima arapske znanstvene i filozofske tradicije, što je imalo veliko značenje za njegov daljnji prevoditeljski kao i znanstveni rad u kojem su obojica nastojala ostvariti sintezu zapadnoeuropske i arapske tradicije.

Herman je neposredno po povratku s Istoka 1138. godine započeo rad na

⁵⁶ Franjo Šanjek, isto, 34–35.

⁵⁷ Franjo Šanjek, isto, str. 35.

⁵⁸ Perzijski matematičar, astronom i geograf Muhamad ibn Musa Al-Kwārizmīj rođen je oko 780. godine, a umro je oko 850. godine. Smatra se da je u matematiku uveo arapske brojeve.

prijevodu šeste knjige astronomije znanstvenika Sahl ibn Bišra.⁵⁹ Djelo je bilo već poznato u zapadnoj Europi, a prvih pet knjiga preveo je Ivan iz Seville. Herman je preveo šestu knjigu, astrološku raspravu naslova *Sextus astronomiae liber*, koja se kada je riječ o Hermanovu prijevodu navodi kao *Fatidica* (*Proročica*). Upravo je Sahl ibn Bišr, koji je bio pod značajnim utjecajem grčkog astronoma Dorotheosa i grčke astrologije, pridonio ranim Hermanovim shvaćanjima astrologije. Sahl ibn Bišr bavio se prognostikom u smislu predviđanja općih događaja, a tako je prognostiku definirao i sam Herman.⁶⁰ U njegovom šestom djelu Herman pronalazi odgovore astrologije o mjestu i ulozi čovjeka u makrokozmosu i odrazu svemirskih događanja na zemaljska zbivanja. Na početku prijevoda, sam je Herman napisao uvodne rečenice, koje su karakteristične za njegova tadašnja gledišta.⁶¹ Djelo se dijeli na sedam rasprava, koje sadržajno obuhvaćaju tri tematske cjeline. Prva je najvažnija i u njoj se raspravlja o različitim promjenama u svijetu, druga govori o promjenama u zraku, a treća o nejednakostima među ljudima koje nastaju zbog neizbježnosti različitih utjecaja.⁶² Djelo sadrži tumačenja o utjecaju nebeskih tijela na čovjeka i njegov okoliš te opisuje način predviđanja vremena prema gibanju planeta i položaju Mjeseca u odnosu na Zemlju, što se smatralo osobito važnim zbog načina života i privređivanja koje je bilo u velikoj mjeri vezano uz poljodjelstvo. Završni dio djela *Fatidica* govori o predviđanjima općih životnih prilika, kao što su oskudica, obilje ili napredak. Tumači se utjecaj pomrčina Sunca i Mjeseca, koje u ovisnosti o zodijačkom znaku u kojem se pojavljuju najavljuju štete ili opasnosti. Smatra se da predviđanja izložena u djelu ne bi se mogla interpretirati kao magična ili okultna jer se temelje na brojnim razmatranjima.⁶³ *Fatidicu*, svoj prvi latinski prijevod Herman je dovršio 29. rujna 1138. godine. Prijevod se sačuvao u šest rukopisa i jednom tiskanom izdanju objavljenom u Pragu 1592.⁶⁴ Cjelokupni Hermanov prijevod djela *Fatidica* u latinskom izvorniku kritički je objavila u

⁵⁹ Matematičar, astronom i astrolog Sahl ibn Bišr (također poznat pod imenom Rabban al-Tabari i Haya al-Yahudi), rođen je oko 786. godine, a umro 845. godine. Bio je sirijski kršćanin, astrolog, astronom i matematičar iz Tabaristana. Služio je kao astrolog guverneru Khuristana, a zatim veziru Bagdada. Smatra se da je Sahl ibn Bišr prvi s grčkog na arapski jezik preveo Ptolemejev *Almagest*. Sačuvana su neka njegova astronomsko-astrološka djela na arapskom jeziku *Ahkam fi al-Nujum* (*Zakoni astrologije*); *Kitab al-ikhtiyarat 'ala al-buyut al-ithnai' ashar* (*Knjiga izbora prema dvanaest kuća*) i *al-Masa'il al-Nujumiyah* (*Astrološki problemi*). Otac je Ali ibn Sahla, znanstvenika i liječnika, koji se preobratio u islam.

⁶⁰ Žarko Dadić, isto, str. 142.

⁶¹ Charles Burnett, »Arabic into Latin in Twelfth Century Spain; the Works of Hermann of Carinthia«, *Mittelaltinisches Jahrbuch*, 13, 1978., str. 117.

⁶² Žarko Dadić, isto, str. 143.

⁶³ Sheila M. Low-Beer, *Hermann of Carinthia: the »Liber Liber imbrium«, the »Fatidica« and the »De indagatione cordis«*, New York, 1979., str. 138–253; Žarko Dadić, isto, str. 145

⁶⁴ Charles Homer Haskins, *Studies in the History of Medieval Science*, 1924., str. 44; Charles Burnett, *Arabic into Latin*, str. 115–118.

svojoj doktorskoj disertaciji o Hermanu Sheila M. Low-Beer.⁶⁵

Ubrzo nakon prevođenja Sahl ibn Bišrova djela, Herman nalazi savršeniji uzor u razvijenijoj astrološko-astronomskoj teoriji arapskog znanstvenika i filozofa iz 9. stoljeća Abu Ma'shara, koja je izgrađena na temeljima Aristotelove prirodne filozofije, u to vrijeme nepoznate i u zapadnoj Europi. Kada se Abu Ma'sharova astrološka koncepcija pojavila, ona je u arapskoj znanstvenoj i filozofskoj tradiciji značila prekretnicu jer su tada po prvi puta u arapsku astrologiju uneseni svi relevantni elementi Aristotelove prirodne filozofije koji su joj dali filozofsko tumačenje i metafizičko-kozmolosko utemeljenje.

Abu Ma'shar je svoje učenje izložio u djelu *Kitāb al-madkhal al-kabir 'alā 'ilm ahkām an-nujum*, (*Velika knjiga u kojoj se uvodi znanost predviđanja iz zvijezda*). Herman će to djelo prevesti dvije godine po dovršenju *Fatidice*, i tako načiniti drugu latinsku verziju ovog Abu Ma'sharova djela. Djelo je imalo veliku važnost u formiranju Hermanovih stavova, osobito prirodoznanstvenih. Prvi ga je preveo Ivan iz Seville, a Herman je uočavajući mnoge pogreške i nejasnoće odlučio ga je sam sedam godina kasnije prevesti sam pod naslovom *Introductorium in astronomiam* (*Uvod u astronomiju*). Herman je kao vrstan prevoditelj u svom radu birao i oslanjao se na znanstveno i literarno najdotjeranije arapske predloške i prijevode, te je postizao visoku razinu prevoditeljskog rada. Prevođeci, preuzeo je ne samo Abu Ma'sharovu interpretaciju astrološkog utjecaja, već i njegove filozofske stavove izgrađene na temeljima Aristotelove prirodne filozofije, u to doba nepoznate latinskom Zapadu. Tako je Herman posredno usvojio Aristotelovu prirodnu filozofiju, bez neposrednog kontakta s Aristotelovim djelima, koja nije poznavao.

»Tako je Herman upravo tim svojim prijevodom Abu Ma'sharova djela, kasnije još dodatno i svojom traktatom *De essentiis*, pobuđujući interes za novu astrologijsku znanost, posredovao Aristotelovu prirodnu filozofiju latinsko-krišćanskom Zapadu koji u to vrijeme, tj. početkom i polovinom 12. stoljeća, o njoj ništa nije znao. Aristotel je naime slovio do tada samo kao veliki učitelj logike, dijalektike, retorike, topike i tumačenja, ali ne još i kao metafizičar i filozof prirode.«⁶⁶

Hermanov prijevod Abu Ma'sharova *Uvoda u astronomiju* poznavali su znameniti mislioci kao Roger Bacon, Albert Veliki, Toma Akvinski i drugi. Imao je znatnog odjeka u zapadnoj Europi i zapaženu ulogu u širenju i konstituiranju latinskog

⁶⁵ Sheila Low-Beer, isto, str. 138–253.

⁶⁶ Franjo Zenko, »Herman Dalmatin: putokaz u tamno porijeklo evropske znanosti«, u: Herman Dalmatin, *Rasprava o bitima*, knjiga 2, Čakavski sabor, Pula, 1990., str. 43–61, posebno str. 51.

aristotelizma u kasnom srednjem vijeku. U vezi s time, Hermanov biograf Richard Lemay zaključujući analizu njegova djela *De essentiis* kaže:

»U ni jednoj točki tijekom našeg istraživanja porijekla Hermanova aristotelizma nije bilo moguće naći nikakve obvezujuće očitosti izravnog poznavanja nekih Aristotelovih 'prirodnih' djela u Hermana. Ali, zahvaljujući njegovu dodiru s Abu Mašarovim *Introductorium* čije je značenje za prirodnu znanost i metafiziku imao prilike shvatiti tijekom prevođenja, Hermanu se pružila prilika da usvoji supstancijalni dio Aristotelove metafizike i prirodne filozofije. Njegovo djelo je pionirsko djelo aristotelizma 12. stoljeća koje je rezultiralo iz tog dodira; osim toga Gundisalvusovo plagiranje tog djela u *De procesione mundi* povećalo je njegovu važnost tijekom 12. i dugo iza toga.«⁶⁷

Među Hermanovim djelima po svojoj važnosti za razvitak prirodnih znanosti i matematike ističu se njegovi prijevod Ptolomejeva djela *Planisfera* i Euklidovog djela *Elementi*. Da su bili iznimno važni, široko rasprostranjeni i korišteni, svjedoči i podatak da je samo Hermanov prijevod *Planisfere* prepisivan puno puta idućih nekoliko stoljeća, sve do izuma tiskarskog stroja. Radi se o velikom broju prijepisa jer se usprkos tom dugom vremenskom razdoblju od njihova nastanka u kojem su mnogi tekstovi uništeni ili zagubljeni, Hermanov se prijevod *Planisfere* uspio sačuvati u čak jedanaest prijepisa iz kasnog srednjega vijeka, a zatim je tiskan još četiri puta u 16. stoljeću. Hermanov prijevod djela *Planisphaera* velikog aleksandrijskog astronoma i matematičara Ptolomeja (Klaúdios Ptolemaíos, lat. Claudius Ptolemaeus), imao je posebno značenje jer je omogućio da se upravo preko njega zapadna Europa upozna s tim važnim djelom. Ono sadrži stereografske projekcije nebeske sfere na ravninu, pa je u srednjem vijeku poslužilo kao teorijska podloga za konstrukciju astrolaba na latinskom Zapadu. Dugo se vjerovalo da je Hermanov prijevod jedini način na koji je sačuvano to Ptolomejevo djelo. Poslije je pronađen još jedan drugi primjerak prijevoda na arapski jezik.⁶⁸ Hermanovi prijevodi Ptolomejeve *Planisfere* i Euklidovih *Elementa* zbog njihova značaja u povijesti znanosti, kao i važnosti tih djela za potpunije razumijevanja Hermanovih interesa i doseg u tim područjima detaljnije se razmatraju u zasebnim poglavljima ove knjige o Hermanovom doprinosu matematici i astronomiji.

Uz već navedena djela, u literaturi spominju se još neki sačuvani prijevodi ali i zagubljena djela koja se pripisuju Hermanu Dalmatinu. Na kraju ove knjige u poglavlju naslova *Popis djela, prijevoda i atribucija Hermana Dalmatina* dan je cjeloviti popis svih tekstova koji se dovode u vezu s Hermanom i njihova klasifikacija. Uz već spomenuta Hermanova djela tu se navodi Hermanov prijevod Al-Kwārizmījevih

⁶⁷ Navedeno prema prijevodu citata objavljenom u Franjo Zenko, isto, str.55–56.

⁶⁸ Aja Sofija, Istanbul, MS 2671.

Astronomskih tablica (1140./1143.), zatim sačuvani tekstovi koje spominju njegovi biografi ali za koje nije u potpunosti potvrđeno da su Hermanovi kao *De compositione et de usu astrolabi* (*O sastavljanju i uporabi astrolaba*)⁶⁹ i prijevodi dvaju Ptolemejevih djela *Quadripartitum* (*Četiri djela*) i *Mathēmatikē syntaxis* (*Matematički sustav*), poznat pod imenom *Almagest*. Na kraju popisa dodana su neotkrivena djela Hermana Dalmatina koja se spominju kao njegova. To su ukupno četiri djela od kojih su dva prijevoda. Prvo je prijevod Abu Ma'sarova djela *De revolutionibus nativitatum* (*O revolucijama horoskopa*), a drugo prijevod Teodozijevo djelo *De spheris* (*O sferama*). Preostala dva djela s popisa, koja se u literaturi pripisuju Hermanu nose naslov *Liber de inveniēda radice* (*Knjiga o pronalaženju korijena*) i *Liber de opere numeri et operis materia* (*Knjiga o djelovanju brojeva i o razlogu djelovanja*).

Istraživanje i atribuiranje prijevoda i izvornih djela koja se mogu pripisati Hermanu vrlo je složen posao, budući na tekstovima toga doba ili na njihovim kasnijim prijepisima nije uvijek ispravno naznačen autor (ili takve naznake uopće nema). Zbog toga je teško razlučiti i utvrditi autorstvo njega i mnogih njegovih suvremenika, pa je u povijesti dolazilo do pogrešnih pripisivanja pojedinih djela, što se zatim dalje prenosilo i krivo interpretiralo u literaturi o Hermanu. Bilo je potrebno proučiti opsežnu građu i načiniti detaljne filološke analize prijepornih djela kako bi se što točnije odredio Hermanov cjelokupni opus i njegovi kasniji prijepisi. Premda je za poneko djelo još uvijek ostalo otvoreno pitanje Hermanova autorstva, ipak zahvaljujući desetljećima rada vrsnih filologa i povjesničara znanosti, danas se Hermanov impresivan opus može jasno sagledati u cjelini.⁷⁰

⁶⁹ Richard de Fournival, utemeljitelj prve javne knjižnice u Europi, u svojem je katalogu *Biblionomia* (1246.) uz još dva Hermanova djela (reviziju Adelardova prijevoda Euklidovih *Elemenata* i prijevod *De opere numeri et operas materia*) spomenuo i Hermanovo djelo o astrolabu.

⁷⁰ Detaljan popis stranih i domaćih filologa, filozofa, povjesničara znanosti i Hermanovih istraživača, stručnjaka iz različitih područja koji su puna dva stoljeća, još od početka 19. stoljeća do konca 20. stoljeća u europskim bibliotekama istraživali i svojim radovima doprinjeli stvaranju slike koju danas imamo o Hermanu Dalmatinu vidi objavljeno u: Franjo Šanjek, isto, str. 55–100. U vezi s određivanjem Hermanova autorstva u pitanju mnogih djela, posebno se ističe rad Charlesa Burnetta i Sheille Low-Beer.

3. Hermanov rad na kompilacijama znanstvenih i filozofskih djela

Oko 1140. nastaje Hermanovo djelo *Liber imbrium* (*Knjiga o kišama*), koje nije ni njegovo izvorno djelo, a ni prijevod, već kompilacija raznih dijelova iz latinskih i arapskih rasprava. Herman će poslije 1140. godine napisao i svoju drugu kompilaciju *De indagatione cordis* (*O istraživanju srca*) poznatu i pod imenom *De occultis* (*O skrivitim stvarima*).

Na početku djela *Liber imbrium* (*Knjiga o kišama*) Herman daje kratak uvod ističući da u Indijaca postoje mnoga pravila za predviđanje oborina, koja je nastojao oblikovati kao priručnik.⁷¹ Herman ne spominje izvore, ali se nesumnjivo koristio jednim djelom o oborinama indijskog podrijetla, koje je u to doba već bilo poznato u Europi.⁷² Pravila koja se navode u ovom djelu sakupljena su iz različitih predložaka i izvora u praktični priručnik i navedena su bez dodatnih komentara. Evo primjer jednoga od pravila koje Herman donosi:

»Ako se Sunce nalazi u Vodenjaku, a Mjesec mu se približava ili je smješten u protivnom stupnju i ako se Venera nalazi na istome mjestu, doći će u tom satu do kiše.«⁷³

Herman je u *Liber imbrium* sjedinio astrološka shvaćanja iz različitih izvora. Tako je na primjer, indijskim pravilima dodao i dio teksta o »otvaranju vrata« (*apertio portarum*), što je poseban pojam u astrologiji.

»Taj pojam ne pripada spomenutom indijskom tekstu već zapadnoeuropskoj latinskoj tradiciji. U svezi s tim pojmom Herman se u šestom odsječku toga djela poziva na antičke autoritete premda ne poimence. Najvjerojatnije su ta shvaćanja do njega dospjela preko ranih zapadnoeuropskih srednjovjekovnih izvora. Tako bi se ovo Hermanovo djelo trebalo temeljiti na dvostrukoj tradiciji: istočnjačkoj i zapadnoeuropskoj. Premda su te dvije tradicije samo mehanički povezane, ipak je taj spoj vrlo važan jer nagoviješta Hermanovu sintezu tih dviju tradicija, što će je kasnije načiniti.«⁷⁴

⁷¹ Latinski izvornik djela *Liber imbrium* kritički je objavila Sheila Low-Beer u svojoj doktorskoj disertaciji, isto, str. 114–124.

⁷² Charles Burnett, isto, str. 123–126. Navodi kako su postojala dva latinska prijevoda tog djela. Jedan je načinio Hugo Santalla, najvjerojatnije bliski Hermanov suradnik.

⁷³ Žarko Dadić, isto, str. 144.

⁷⁴ Žarko Dadić, isto, str. 144.

Potaknut interesom za astrologiju i pripremajući se za rad na svojem izvornom djelu *De essentiss*, Herman je napisao još jednu astrološku raspravu *De indagatione cordis* (*O istraživanju srca*), poznatu i pod naslovom *De occultis* (*O skrovitim stvarima*), također kompilaciju različitih tekstova, koje je Herman preradio i objedinio. Prikupljeni sažeci različitih prijevoda iz arapskih djela daju nam uvid u astrološke probleme kojima se bavio na temu *iudicia* (*prosuđivanje*) o judicijskoj ili divinatorskoj astrologiji, odnosno o astrologiji koja prosuđuje buduće događaje. Tekst sadrži tri tematske cjeline.⁷⁵ Prva, u kojoj Herman raspravlja o sudbinama, potpuno se oslanja na osmu knjigu Abū Ma'sharova *Uvoda u astronomiju*. U drugomu dijelu, koji je glavnina knjige, raspravlja se o prirodi planeta i znakova, a pisan je na temelju djela brojnih arapskih znanstvenika na koje se Herman poziva. Navode se Abū Ma'shar i Sahl ibn Bishr, zatim Umar ibn al-Farrukhān al-Tabarī (Aomar Tiberias), čije je djelo *Libri novem iudiciorum* (*Devet knjiga o prosuđivanju*) rabio u prijevodu, koji je načinio Hugo de Santalla. Također, navodi i ime al-Kindija, čije je djelo *Iudicia* (*Prosuđivanje*) koristio u latinskom prijevodu Roberta iz Kettona, te ime arapskog pisca židovskog podrijetla Māshāllāha (Mesahala). Herman navodi i imena poznata u antičkoj tradiciji poput Hermesa i Dorotheusa iz Sidona koja je vjerojatno poznavao posredstvom arapskih izvora. Treći dio Hermanova djela zasebna je rasprava u kojoj se osvrće na još neke astrološke probleme, navodeći astrologe Māshāllāha i Dorotheosa.⁷⁶

»Sva četiri astrološka djela na kojima je Herman vjerojatno radio tijekom dvije godine, od 1138. do 1140., temelj su njegovih kasnijih razmišljanja o astrologiji, i jedno su od uporišta na kojima je Herman gradio svoj prirodnofilozofski sustav. Zaokruživši svoj prirodnofilozofski i prirodnoznanstveni sustav, Herman je uveo u njega i astrološke koncepcije kao sastavni dio.«⁷⁷

⁷⁵ Žarko Dadić, isto, str. 146.

⁷⁶ Žarko Dadić, isto, str. 146.

⁷⁷ Žarko Dadić, isto, str. 146.

4. Hermanov prinos poznavanju islama na Zapadu

U epohi kada Europa i sav kršćanski svijet strahuju od borbenog islama, javlja se sredinom 12. stoljeća, obilježenog ratovima kršćanskih i islamskih snaga, nekoliko učenih Europljana humanističkog opredjeljenja, koji vjerojatno potaknuti činjenicom da u tom razdoblju u nekim područjima Sredozemlja ipak koegzistiraju zajednice kršćana i muslimana, nastoje uspostaviti otvoren i miroljubiv dijalog.

»Srednjovjekovno kršćanstvo pokazuje, naime dvojaki interes za proučavanje islama i njegovog utemeljitelja Muhameda (570–632). Jedni ovaj svjetonazor proučavaju iz apologetsko-teoloških pobuda, dok su drugi motivirani više filozofski tj. promatraju ga s polazišta harmonije razuma i vjere. Apologetski pristup proizlazi iz činjenice da u mnogim predjelima Sredozemlja zajedno žive kršćani i muslimani.«⁷⁸

Promicatelj prvih izučavanja islama u Europi bio je Petar Venerabilis. Glavne odrednice ovoga pothvata potaknutoga željom za boljim razumijevanjem, i utemeljenog na poznavanju islamskog učenja te snazi razuma i ljubavi, glavni je pokretač i pokrovitelj Petar Venerabilis opisao riječima:

»Čini mi se stranim, što ustvari možda i jest, da čovjek koji je od vas (tj. od muslimana) prostorno vrlo daleko i koji govori drugim jezikom, od vas odivljen vjerom i stran vam je po svojim običajima i načinom života, obraća vam se iz najskrovitijeg Zapada, vama ljudima istočnih i južnih strana, i da riječima napadam one koje nikada nisam vidio niti ću ih vjerojatno ikada vidjeti. S vama se borim riječju, rekoh, a ne s oružjem, kako to često čine naši (tj. križari); ne fizičkom silom nego snagom razuma, ne mržnjom nego ljubavlju.«⁷⁹

U želji da što prije i uspješnije uspostavi korpus tekstova o islamu prevedenih s arapskog na latinski jezik, kako bi zapadna Europa umjesto dotadašnje neupućenosti u muslimansku religiju temeljitije upoznala islamsko učenje izravno iz islamskih vjerskih tekstova, Petar Venerabilis putuje Iberskim poluotokom i okuplja grupu vrsnih suradnika s kojima će istražiti maurske knjižnice u Španjolskoj u potrazi za najprikladnijim djelima. Tako godine 1142. Petrus Venerabilis susreće uz rijeku Ebro Hermana Dalmatina i Roberta iz Kettona. Ocijenivši visoko njihovu svestranu naobrazbu, prevoditeljske sposobnosti i bogato znanje Petar Venerabilis povjerava im posao prevođenja temeljnog teksta muslimanske religije *Kur'ana* i islamskih vjerskih tekstova *De generatione Mahumet* (*O Muhamedovu rađanju*) i *Doctrina Mahumet* (*Muhamedov nauk*), te suradnju

⁷⁸ J. Vernet, *Ce que la culture*, str. 185. Navedeno prema Franjo Šanjek, isto, 25.

⁷⁹ Franjo Šanjek, isto, 25.

na sastavljanju teksta *Chronica Saracenorum* (*Saracenska kronika*).⁸⁰ Preuzevši posao, Herman i Robert odlaze s njime na put po Španjolskoj. Prijevod *Kur'an* Petar Venerabilis povjerio je četvorici prevoditelja pod vodstvom Roberta iz Kettona, o kojima se govori u predgovoru rasprave *Contra Saracenorum*. Prateći opata putuju najvjerojatnije prvo do Salamanke, gdje se Petar Venerabilis susreće s kraljem Alfonsom VII. Pobjedonosnim.⁸¹ Među Robertovim suradnicima na prijevodu *Kur'ana*, koje je organizator osobno odabrao, na prvom mjestu je bio Herman Dalmatin, zatim vrsni poznavatelj latinskog jezika i osobni opatov tajnik Petar iz Poitiersa, potom španjolski svećenik Petar iz Toleda, prevoditelj al-Kindijeve *Risale*, i predstavnik islama, poznat pod muslimanskim imenom Muhamed, koji je trebao skrbiti da religiozna poruka prevedenoga *Kur'ana* bude vjerna izvorniku.⁸² O Hermanovom udjelu u prijevodu *Kur'ana* postoje različita mišljenja. Stariji historičari smatraju Roberta i Hermana jedinim autorima prvog prijevoda *Kur'ana* na latinski jezik. Tijekom rada na *Kur'ana* nakon dugog niza godina zajedništva, razilazi se životni put Hermana i Roberta. Usprkos brojnim istraživačima, Hermanov udio u prijevodu nije u potpunosti rasvijetljen. Vjerojatno je njegova uloga ipak u najvećoj mjeri bila savjetodavne prirode jer po dovršetku prevođenja 1143. godine, samo je Robert iz Kettona potpisao prijevod i kao svoje djelo poslao ga naručitelju iz Clunija.⁸³ Godinu prije dovršetka prijevoda *Kur'ana*, 1142. Herman je preveo i glosama dopunio tekstove *De generatione Mahumet* (*O Muhamedovu rađanju*) i *Doctrina Mahumet* (*Muhamedov nauk*), koji su bili rasprostranjeni i imali ugled i kod samih muslimana. Prijeводе je načinio na temelju tekstova koje je sam odabrao u knjižnicama na Iberskom poluotoku, smatrajući ih prikladnima i vjerodostojnima za upoznavanje utemeljitelja islama i njegova religioznog sustava. Djelo *De generatione Mahumet* sadrži islamske legende o nastanku svijeta, povijest Išmaila i priče iz Muhamedova života. Prijevod sadrži i otkriva neke podatke o Hermanu: njegov zavičaj (*Dalmata*), stručnu izobrazbu (*scholasticus subtilis et ingenios* – pronicav i oštrouman skolastik) i mjesto dovršenja prijevoda u španjolskom gradu Leónu, koji je u to vrijeme važno središte, budući je među prvima, još od konca 8. stoljeća oslobođen maurske vlasti, što mu je omogućilo da se razvijao kao sjedište asturijskih kraljeva, vladara ujedinjenih kraljevina León i Castilla.⁸⁴

⁸⁰ O suradnicima Petar Venerabilis zapisao je: »Imamo među nama izobraženih ljudi, vrsnih poznavalaca oba jezika, arapskog i latinskog, koji ne samo da su na temelju vaših svetih knjiga napravili opis vaše vjere i obreda, nego su također temeljito istražili vaše knjižnice i iz njih izvadili djela koja raspravljaju o književnosti i znanostima.« Vidi opširnije u: Franjo Šanjek, isto, str. 26–29.

⁸¹ Franjo Šanjek, isto, str. 19.

⁸² Franjo Šanjek, isto, str. 27.

⁸³ Sam Robert u predgovoru sastavljenom između 16. lipnja i 15. srpnja 1143. godine, podsjeća da je zbog posla na prevođenju *Kur'ana* prekinuo s Hermanom započeti studij astronomije: »Po nalogu glasovitog i slavnog muža Petra, clunijevskog opata, ovu je knjigu godine Gospodnje 1143. preveo njegov engleski (suradnik) Robert od Kettona.« Navod preuzet iz: Franjo Šanjek, isto, str. 28.

⁸⁴ Franjo Šanjek, isto, 29.

Drugi Hermanov tekst o islamu *Doctrina Mahumet*, poznat je i po naslovom *Mahometis Abdallae filii Theologia dialogo explicata*, ubraja se u djela judeoislamske kontroverzistike.⁸⁵ Iznosi kuranska i talmudska učenja i legende, a napisan je u formi zamišljenog dijaloga proroka Muhameda i židovskih mudraca, u kojem Muhamed odgovara na pitanja iz područja filozofije, povijesti i vjersko-moralne problematike. Herman u prijevodima svojih rasprava o islamu zadržava određen broj arapskih riječi. Neki njegovi biografi to pripisuju nesnalaženju u arapskom jeziku, premda Herman nepoznate izraze tumači u međucrtovnim glosama, koje odgovaraju današnjim bilješkama i kritičkom aparatu, te kod Hermana sadrže niz dragocjenih povjesnih, zemljopisnih i drugih podataka o islamu.⁸⁶ Premda pojedini istraživači i sastavljanje kratkog teksta iz povijesti islama *Chronica Saracenorum* (*Saracenska kronika*) također pripisuju suradnji Hermana i Roberta, o tome postoje različita mišljenja, a analiza sadržaja i stila ukazuje da se vjerojatnije radi o djelu Roberta iz Kettona.

Iz navedenog može se zaključiti kako je Herman značajan sudionik u konstituiranju latinskog korpusa tekstova o islamu nazivanim *Corpus chuniacensis*, koji je nosio temeljne informacije o povijesti islama, Muhamedu i njegovom religiozno-socijalnom sustavu, što je bilo od velike koristi generacijama misionara koji od 13. stoljeća putuju na Istok do granica današnje Kine.⁸⁷ Bio je jedan od malobrojnih humanista koji su u 12. stoljeću, prvi vjerodostojno upoznao Europu s islamom kroz prijevode odabranih islamskih religioznih tekstova. Nekoliko stoljeća kasnije, u Europi ugroženoj od Turaka ponovno se javlja interes za islamsku apologetsku literaturu, što je dovelo do umnožavanja tekstova iz zbirke na čijem je stvaranju sudjelovao i Herman Dalmatin.

⁸⁵ Franjo Šanjek, isto, 30.

⁸⁶ Franjo Šanjek, isto, 33.

⁸⁷ Franjo Šanjek, isto, 31.

5. Hermanovo djelovanje posljednjih godina

Posljednje godine Hermanova života osobito su obavijene nedoumicama i različitim interpretacijama. Nakon iznimno plodonosnog i dinamičnog razdoblja u Hermanovu životu, podaci odjednom potpuno iščezavaju. Posljednjih je godina za koje posjedujemo pouzdane podatke, Herman iz Leóna u kojem je zasnovao vlastitu školu preselio u Francusku, prvo u Toulouse, a zatim u Béziers, gdje je 1143. godine dovršio izvorno djelo naslova *De essentiis* (*O esencijama*). To djelo je spoj platonizma, aristotelizma, kršćanstva i islamske filozofije. Smatra se najvažnijim Hermanovim djelom, nastalim na temelju sinteze dviju tradicija, zapadnoeuropske i arapske. U njemu Herman izlaže svoju izvornu prirodnu filozofiju, spajajući platonizam filozofske škole u Chartresu u duhu kojega se obrazovao, s aristotelizmom, koji je upoznao preko Abu Ma'sharova djela *Introductiorum in astronomiam* (Abū Ma'sar). Tim djelom Herman utire put novim koncepcijama znanosti i svrstava se u red najistaknutijih mislilaca 12. stoljeća. Nakon što je Herman dovršio 1134. godine djelo *De essentiis*, završava plodonosni period njegova života, tijekom kojeg je u svega pet godina načinio bogat i raznolik opus od petnaestak prijevoda, kompilacija, redakcija i napisao izvorno djelo. U dobi kada je imao svega tridesetak i nešto godina, podatci o njemu u potpunosti iščezavaju.

Na temelju raspoloživih dokumenata moguće je djelomično rekonstruirati Hermanove aktivnosti tijekom posljednjih godina za koje su podatci dostupni. Herman nakon više godina provedenih u izučavanjima i prevodilačkom radu zajedno s Robertom iz Ketona, potaknut susretom s opatom Petrom Venerabilusom napušta područje uz rijeku Ebro. U dogovoru s opatom priključuje se grupi suradnika na pothvatu odabira, prevođenja i konstituiranja prve skupine tekstova o islamu na latinski jezik. Za potrebe toga rada Herman se zajedno s Robertom priključuje opatu Venerabilusu na put po Španjolskoj. Taj će ga posao i potreba istraživanja maurskih knjižnica kako bi načinio prikladan izbor islamskih religioznih tekstova za prevođenje, odvesti u grad León, sjedište kraljeva ujedinjenih pokrajina León i Castilla. Rad na konstituiranju latinske zbirke tekstova o islamu koji su prihvatili Herman i Robert iziskivao je brojne konzultacije organizatora i suradnika ovog pothvata. Boravak u novome gradu, tada značajnom političkom i kulturnom centru onodobne kršćanske Španjolske, u kom će se nedugo zatim zasnovati prvi europski parlament, Hermanu je dao priliku da upravo u takvom značajnom središtu kao što je bio León, otvori i svoju školu 1142. godine.⁸⁸ U tom razdoblju je još je surađivao s Robertom, pomažući u prijevodu *Kur'ana* i dovršava pisanje dvaju tekstova o islamu *De generatione Mahumet* i *Doctrina Mahu-*

⁸⁸ Pierre Duhem, *Système du monde*, vol. III., Librairie scientifique A. Hermann et fils, Paris, 1915., str. 173.

met. Činjenica kako je Herman u tom razdoblju otvorio školu u Léonu, navodi nas na zaključak da je vjerojatno planirao u gradu ostati i neko duže vrijeme. Međutim, već iduće godine 1143. nakon što je dovršen prijevod *Kur'ana*, kojeg je samo Robert iz Kettona potpisao kao svoj prijevod i nedugo potom je imenovan arhiđakonom stolne crkve u Pamploni, njihovi se životni putevi razilaze. Herman je tada iz Léon preselio u Toulouse, u južnoj Francuskoj, gdje je prevodio Ptolemejevu *Planispheru*. Kako bi osigurao sredstva za život, djeluje *in publicis gymnasiis*, što potvrđuje i naziv *scolasticus* kojeg mu ga je pridjenio Petrus Venerabilis. Zatim se iz Toulousea, vjerojatno za potrebe novog zaposlenja preselio u Béziers, jedan od najstarijih francuskih gradova, kojeg su u 8. stoljeću osvojili Mauri, a potom ga oslobodili francuski plemići kako bi nastavili vladati većinom obalne ravnice oko Béziersa, kontrolirajući tako strateški važan glavni put istok-zapad kroz Languedoc, koji je slijedio staru rimsku cestu *Via Domitia*, s dva ključna mosta preko rijeke Orba u Béziersu i preko Héraulta u Saint-Thibéryju. U Béziersu je godine 1143. Herman dovršio svoje glavno i izvorno djelo *De essentiis*. Upravo te godine prekida se slijed sigurnih podataka o Hermanovu životu i radu. Nakon tog perioda, Hermanovi biografi daju različita tumačenja u vezi s njegovim životom, koja se u većoj mjeri temelje na pretpostavkama. Neki istraživači smatraju da je vjerojatno iznenada preminuo ili se zbog nekog nepoznatog razloga prestao baviti pisanjem i prevoditeljskim radom. Drugi pak pokušavaju dokazati kako je nakon dužeg perioda prekida u radu, dvadesetak godina kasnije na Siciliji prevodio Ptolemejev *Almagest* s grčkoga na latinski jezik te time impliciraju njegovu znanstvenu aktivnost sve do 1160. godine. Tumačenja temelje na nekoliko pretpostavki i uporišta. Naime, Herman je u djelu *De essentiis* četiri puta spomenuo Ptolemejev *Almagest*, što ukazuje kako ga je izučavao. Također, Robert iz Kettona u djelu *De iudiciis* (*O prosuđivanju*) istaknuo je svoje i Hermanovo zanimanje za *Almagest*. Pored toga u bilješki na početku rukopisa o astrolabu *De compositione et de usu astrolabii* (*O konstrukciji i uporabi astrolaba*) u Sveučilišnoj knjižnici u Louvanu, koji se pripisuje Hermanu, zapisana je bilješka u kojoj nepoznati prepisivač tvrdi da je Herman Dalmatin preveo Ptolemejev *Almagest*, odnosno Ptolemejevo djelo *Mathēmatikē syntaxis* (*Matematički sustav*).⁸⁹ Usprkos neospornom Hermanovom interesu za *Almagest*, budući da dosada nije pronađeno nijedno djelo iz razdoblja od 1143. do 1160., koje bi se sa sigurnošću moglo pripisati Hermanu, ipak ostaje otvoreno pitanje koliko je opravdana pretpostavka o njegovom prijevodu Ptolemejeva *Almagesta* i kolika je uopće vjerojatnost da netko tko je u razdoblju od pet godina intenzivnog znanstvenog rada napisao tako puno djela, načini pauzu veću od petnaestak godina, a zatim prevede još jedno od kapitalnih djela antičke znanosti.

⁸⁹ Žarko Dadić, isto, 149–150.

6. Hermanova astronomska i prirodoznanstvena gledišta i prinosi istraživanju prirode

Hermanova astronomska i prirodoznanstvena gledišta usko su povezana s njegovim astrološkim studijama i radovima. Međusobno ih povezuje u izgradnji svog prirodnofilozofskog sustava izloženog u djelu *De essentiis*, u sklopu kojega tumači viziju cjelokupnog ustroja svemira. Gradeći svoju kozmologiju Herman je razmatrao širok opseg astronomskih i prirodoznanstvenih tema, kao postanak i razvoj svemira, međusobne položaje planeta, probleme njihova gibanja, veličine i udaljenosti planeta, istraživao pitanja svijetle li planete vlastitom svjetlošću, analizirao pomrčine Sunca i Mjeseca, uzroke različitih astronomskih i prirodnih pojava i procesa, strukturu supstancija i drugo.

Sliku svijeta Herman je gradio oslanjajući se na dvije znanstvene i filozofske tradicije, zapadnoeuropsku i arapsku, na temelju kojih je originalnim pristupom, kao prvi latinski znanstvenik ostvario sintezu obogaćenu izvornim zamislima i tumačenjima različitih astronomskih i prirodoznanstvenih problema. Školujući se u Chartresu usvojio je posredno gledišta Platona i njegovih sljedbenika, dok je izučavajući arapska djela preuzeo mnoge stavove iz arapske tradicije, osobito učenje Abu Ma'shara, preko kojeg posredno preuzima i neke Ptolomejeve i Aristotelove astronomske i prirodno-znanstvene koncepcije. Osobito je značajno da usvojivši Abu Ma'sharovu interpretaciju astrološkoga utjecaja, Herman posredno usvojio i u njoj izloženu Aristotelovu fiziku i filozofiju, dotada nepoznatu u zapadnoj Europi. Taj spoj astrologije s Aristotelovom prirodnom filozofijom bio je važan za novo shvaćanje prirodne filozofije ne samo u Hermanovo vrijeme, već i u kasnijim stoljećima.

Herman u djelu *De essentiis* tumači postanak i sliku strukture svijeta razdijeljenog na niz sfera različitih obilježja. Bog je prapočetni uzrok (*causa primordialis*), koji iz ničega stvara načela (*principia*). Iz stvorenih načela odjednom se pojavljuje cijeli svemir, već oblikovan, jer se tvar i oblik pojavljuju istodobno. Nastanak svemira Herman naziva prvotnim rađanjem (*primaria generatio*), a nepromjenjivi svemir nastao je iz prvih načela, prvim porodom (*genitura*).⁹⁰ Tako dobiveni, nepromjenjivi dio svemira naziva tijelom svijeta (*mundum corpus*). Prvi porod, koji je Božji instrument, zapravo je sama priroda koja potiče na stvaranja, i postaje prema Hermanu uzrok drugotnom porodu koji je stalni proces što se neprekinuto odvija tijekom vremena:

»U prvome porodu se može pojaviti samo esencija, a u drugome se u donjem svijetu pojavljuje supstancija, na kojoj će se za razliku od esencije, moći zbiti promjene. Elementi su u donjem svijetu, u supstanciji, raspoređeni na oso-

⁹⁰ Žarko Dadić, isto, 190.

bit način. Naime, nakon što se muška i ženska sjemena spoje i stvore elemente, Bog dodjeljuje svakome od spojenih dvojki sferni oblik, te ih postavlja tako da zemlja u sfernom obliku zauzima središnji dio, voda okružuje zemlju, a zrak i vatra jedno za drugima omataju ta prva elementa. Ta četiri elementa u donjem svijetu supstanciji, tvore četiri dijela supstancije, i to sfernog oblika. Tako se može reći da je donji svijet ili supstancija ustrojen od četiri sfere.«⁹¹

Kao i supstancija u donjem svijetu, tako je i esencija u nebeskom svijetu podijeljena na sfere. Prema Hermanu sedam sfera pripada planetima (Mjesec, Merkur, Venera, Sunce, Mars, Jupiter i Saturn), a najudaljenija osma sfera sastoji se od tri dijela: ekvatorske ljuske, ljuske ekliptike i ljuske koja sadrži zvijezde. Budući je nebesko područje načinjeno od elementarnih sjemena kao i cijeli svijet, prema Hermanu sferama planeta pridružuju se sljedeći elementi:

»Tako Mjesečeva sfera odgovara vodi, Merkurova sfera zemlji, Venerina sfera zraku, Sunčeva sfera vatri, Marsova sfera vatri, Jupiterova sfera zraku, Saturnova zemlji a osma vodi. Međutim, ustroj nebeskih sfera u odnosu prema elementima malo je složeniji. Osmoj sferi kao cjelini pripada element voda, a jedna od ljuski te osme sfere u kojoj su smještene sve vidljive zvijezde i koja se naziva Zodijakom, podijeljena je na dvanaest dijelova. Svakome se od njih pripisuje po jedan element. Kako postoji ukupno četiri elementa, u tih se dvanaest dijelova oni ponavljaju tri puta.«⁹²

Herman razmatra dva ekstrema svijeta. Jedan od njih je osma, vanjska i nepromjenjiva sfera koja omeđuje cijeli svijet. Ona je aktivna, giba se jednoliko i ima svojstvo lakoće. Drugi ekstrem je supstancija donjeg područja, za koji Herman kaže da je miran, pasivan i ima svojstvo težine. Između ta dva ekstrema postoji sedam sfera i njima pripadajućih planeta, koje tvore središnji dio svijeta. Herman zastupa mišljenje kako se nepomična Zemlja nalazi u središtu svijeta. Nema nikakva gibanja, čak ni rotacijskog. Kako bi dokazao nepomičnost Zemlje u središtu svijeta Herman na nebeskoj sferi određuje ekvator i polove i kroz polove postavlja meridijan okomit na ravninu ekvatora, kako bi služeći se geometrijskim i astronomskim pojmovima i postupcima, proveo postupak zaključivanja. Herman također želi dokazati i da je Zemlja u središtu. Dokaze temelji na fragmentima iz Ptolomejeva *Almagesta*. O Hermanovim izvorima i predlošcima za upoznavanje *Almagesta* postoje različita tumačenja.⁹³ Navode se Boetijevi izvodi toga djela, ali je vjerojatnije kako je dokaze o nepomičnosti Zemlje upoznao iz al-Kindijevih komentara *Almagesta*.

⁹¹ Žarko Dadić, isto, 190–191.

⁹² Žarko Dadić, isto, 191.

⁹³ Žarko Dadić, isto, str. 196.

U sklopu astronomskih problema Hermana je zanimalo pitanje svijetle li pojedini planeti vlastitom svjetlošću. Tvrdi da Mjesec ne svijetli svojom svjetlošću, što tumači zapažanjem da svijetli samo u onom dijelu koji je okrenut prema Suncu, a sa Zemlje se može vidjeti samo kao pun onda kada pravac iz središta Sunca prolazi središtem Mjeseca i u blizini Zemlje. Kada taj pravac prolazi središtem Zemlje, njena sjena u potpunosti zastire Mjesec. Herman u *De essentiis* također pokušava dokazati svijetle li Venera i Merkur vlastitom svjetlošću.

U sklopu istraživanja tih problema, Herman postavljene astronomske teze pokušava dokazati na matematički način po uzoru na Euklidove *Elemente*. Taj Hermanov metodički postupak uvođenja matematičkog dokazivanja hipoteza i provjera razmatrane građe bila je u odnosu na njegove srednjovjekovne prethodnike i suvremenike nešto novo, što će u znanosti zaživjeti tek koncem renesanse i u novom vijeku, kada se potpuno afirmira gledište o matematici kao idealu dokazne znanosti. Tijekom školovanja Herman nije mogao usvojiti metodologiju primjene matematike u istraživanju prirode, kao ni sam postupak matematičkog dokazivanja, koje se u to doba nije ni koristilo u istraživanju prirode. Stoga, njegova istraživanja astronomskih problema provedena u djelu *O esencijama* pokazuje kako je u zrelijoj fazi rada, načinio bitan iskorak suprotan dotadašnjoj znanstvenoj tradiciji. Potaknut radom na Euklidovim *Elementima*, upoznao je metodološki postupak matematičkog dokaza i shvatio njegovu ulogu i važnost u verificiranju teza potrebnih za izgradnju prirodoznanstvenog sustava.

Premda se u Hermanovim dokazima astronomskih tvrdnji u djelu *O esencijama* javljaju određene pogreške,⁹⁴ koje upućuju na zaključak kako u kratkom vremenu njegova bavljenja Euklidom ipak nije uspio u potpunosti ovladati strogo logičkim matematičkim postupkom, iz epistemološkog aspekta znatno je vrijednija činjenica da je prvi među učenjacima srednjovjekovlja uvidio vrijednost i snagu postupka matematičkoga dokazivanja i njegove primjene u istraživanju svijeta.

Herman uvodi matematičke pojmove i logičko zaključivanje u postupak istraživanja problema pomrčina, zatim određivanja udaljenosti i istraživanja vlastite svjetlosti planeta, te drugih astronomskih zakonitosti. Nastojao se koristiti matematikom, dokazom i geometrijskim crtežom po uzoru na antičku tradiciju. Nasuprot takvom Hermanovu pristupu, srednjovjekovni učenjaci, u svojim djelima su iznosili tvrdnje bez matematičkoga dokazivanja, a primjena matematike odvijala se uglavnom u okvirima jednostavnih problema vezanih uz mjerenje. Premda Herman nije dovoljno temeljito savladao strogo matematičko - logičko izvođenje dokaza, dao je rani primjer novog pristupa istraživanju prirode, koji će se u potpunosti afirmirati nekoliko stoljeća

⁹⁴ Detaljniji prikaz Hermanovih dokaza astronomskih tvrdnji vidi u: Žarko Dadić, isto, str. 196–202.

kasnije. Tek na prijelazu iz 16. u 17. stoljeće dolazi do potpunog napuštanja tradicionalnog srednjovjekovnog skolastičkog pristupa i nastupa razdoblje sustavne primjene Euklidove metodike, što će uz daljnji razvoj matematičkih metoda i njihove primjene biti ključna karika utemeljenja i razvoja novovjekovne znanosti.

Herman u djelu *De essentiis* razmatra i pojam vremena. Smatra kako je vrijeme povezano s kružnim gibanjem i ono ga izdvaja iz vječnosti. Svoje shvaćanje vremena temelji na Platonovu *Timeju* i smatra kako ne može biti vremena bez gibanja, odnosno da vrijeme počinje stvaranjem gibanja, odnosno stvaranjem svijeta. Ističe tri različita perioda gibanja planeta i zvijezda:

»Prvi periodi, koji su vrlo uočljivi, povezani su s periodima rotacije Sunca (godina), Mjeseca (mjesec) i neba (dan). Drugi periodi, koji se mnogo teže uočavaju, u svezi su s periodima pet ostalih planeta. Treći su periodi pak povezani sa savršenom ili velikom godinom, koja označuje ophod proljetne točke.«⁹⁵

Prema Hermanu, Bog je nebeskim sferama pridijelio gibanje. Osma se sfera kao vanjski ekstrem giba jednoliko, dok sedam sfera planeta posjeduje dva vlastita, stalna i jednolika gibanja, ekscentrično i epicikličko.⁹⁶ Upravo taj središnji dio svijeta sa sedam sfera, koji je posrednik između vanjskog ekstrema i supstancije, svojim gibanjima i djelovanjem planeta uzrokuju sva gibanja i promjene u donjem svijetu.

Podjelu neba na vanjsku sferu i sedam planetnih sfera, nalazimo još u starogrčkoj tradiciji, kod Platona, Aristotela i drugih antičkih mislilaca. Međutim, Herman izlaže drugačiji model gibanja sfera planeta od onog kojega su podržavali Platon i Aristotel. Koristi model antičkog astronoma i filozofa Heraklida iz Ponta,⁹⁷ kojega je posredno usvojio iz srednjovjekovne zapadnoeuropske tradicije izučavane u Chartresu. Prema njemu se planeti Merkur i Venera gibaju oko Sunca, a onda zajedno s njim oko Zemlje. Premda su mnogi starogrčki izvornici bili zagubljeni, u prvoj polovici 12. stoljeća u Chartresu i drugim školama zapadne Europe dio antičkih astronomskih znanja se izučavao zahvaljujući utjecajnim i proširenim djelima Calcidusa⁹⁸, Martia-

⁹⁵ Žarko Dadić, isto, 193.

⁹⁶ Žarko Dadić, isto, 191.

⁹⁷ Heraklid iz Ponta (grčki *Ἡρακλείδης Ποντικός*, *Hērakleídēs ho Pontikós*) (oko 390. pr. Kr. – nakon 322. pr. Kr.). Bio je Platonov učenik i pripadnik tzv. Starije Akademije. Odstupa od filozofije Platona. Tvrdio je da se svijet sastoji od malih djelića mase što su međusobno odijeljeni praznim prostorom. Suprotno atomistima, smatrao je da svijet nastaje kao Božje djelo, a ne po nužnim prirodnim zakonima. Zastupao je pod utjecajem pitagorovaca tezu da se Zemlja okreće oko svoje osi. Prvi daje model neba u kojem se Merkur i Venera okreću oko Sunca. Pored prirodnoznanstvenih postavki, njegova su djela sadržavala različita religiozno-mistička shvaćanja. Pisao o Zenonu, Heraklitu, Demokritu i Pitagori.

⁹⁸ Calcidius je djelovao u prvoj polovini četvrtog stoljeća. Preveo je s grčkog jezika na latinski dvije trećine Platonova *Timeja* i tome dodao vlastite komentare koji su približno šest puta dulji od Platonova teksta. Astronomska znanja usvajao je i izvodio iz djela koja je napisao Adrastos iz Afrodizije u prvoj

nusa Capelle⁹⁹ i Ambrosiusa Theodosiusa Macrobiusa,¹⁰⁰ istaknutih neoplatonista iz četvrtog i petog stoljeća, koji su podržavali i prenosili astronomski sustav Heraklida iz Ponta, te učenje Platonova *Timeja*.¹⁰¹ Nadahnut neoplatoničarima, u prvome redu Calcidiusom čiji je potpun prijevod *Timeja* poznao i smatrao ga glavnim izvorom astronomskih znanja, Herman radi iskorak i uvodi preinaku u Heraklidov sustav.¹⁰² Prihvaća tezu o gibanju Merkura i Venere oko Sunca, ali ne i onu o rotaciji Zemlje oko svoje osi, koja se nije uklapala u njegovu teoriju nepomične Zemlje.¹⁰³ Taj je koncept Herman preuzeo od Abu Ma'shara koji je aristotelovska shvaćanja o utjecaju nebeskih sfera na zemaljsko područje, uklopio u svoju astrološku interpretaciju, što se snažno odrazila na Hermanov prirodno-filozofski sustav. Za Hermanovo tumačenje ustrojstva svijeta, ostvareno sintezom antičke, arapske i kršćanske tradicije, teza o nepomičnosti Zemlje bila je prihvatljivija od rotacije koja se podržavala u Heraklidovom sustavu.

U djelu *De essentiis* Herman razlikuje astrologiju od astronomije na način kako ih je razlikovao Abu Ma'shar u djelu *Uvod u astronomiju*. Herman ističe da se astronomija bavi istraživanjem gibanja nebeskih tijela, njihovim redom, položajem i odnosima, i to neovisno o bilo kakvom njihovom utjecaju na zemaljski svijet. Ali zašto je na nebu takav red i kakav je cilj toga reda, to rješava astrologija. »Misterij reda zvijezda

polovini drugog stoljeća i iz drugih predplotinovskih izvora. Njegov rad je od velike važnosti jer je do kraja 12. stoljeća Platon bio poznat u zapadnoj Europi gotovo isključivo preko Calcidiusova rada.

⁹⁹ Martianus Capella također je u svom radu zastupao sustav Heraklida iz Ponta, koji je dominirao ne samo u prvim stoljećima nego i sve do dvanaestog stoljeća. Taj sustav još je više proširio Johannes Scotus u devetom stoljeću koji je pretpostavio da se oko Sunca ne okreću samo Merkur i Venera nego također Mars, Jupiter i Saturn, a Sunce zajedno s njima oko Zemlje. Ovaj sustav je utjecao u 16. st. na Tycha Brahea i Nikolu Kopernika, koji je polazeći upravo od teksta Martianusa Capelle u desetom poglavlju svog djela *De revolutionibus orbium coelestium* (*O gibanjima nebeskih tijela*) izveo heliocentrični sustav.

¹⁰⁰ Ambrosius Theodosius Macrobius vjerojatno je djelovao od godine 395. do 423. Bio je autor dvaju djela i to *Saturnalia* i komentara na Ciceronov *Somnium Scipionis* (*San Scipia*) što je zapravo šesta knjiga Ciceronove *De re publica*. Macrobiusov komentar, koji je šesnaest puta duži od izvornog Ciceronova teksta, vrlo je važan jer je Macrobius gotovo pola svog komentara posvetio kozmologiji i astronomiji. Držao je da je Zemlja sferna i smještena u središtu svijeta i da je okružena sa sedam planeta koji se svaki nalazi u svojoj sferi. On vjerojatno nije čitao Platona i Aristotela, ali je usprkos tome bio odlučni branitelj Platona i oštar kritičar Aristotela. Taj Macrobiusov komentar je uz već spomenuti Calcidiusov tekst bio u zapadnoj Europi najvažniji izvor poznavanja platonizma. Svoje znanje o Platonovoj filozofiji crpio je iz Porfirijeva komentara na Platonov *Timej*. George Sarton, isto, *Marcobius*, str. 385.

¹⁰¹ Svi su navedeni filozofi, koji su svojim djelima i opredjeljenjem označili rani srednji vijek bili neoplatonisti, pa je njihovim utjecajem Platon smatran glavnim učiteljem, ali ne zahvaljujući poznavanju izvornih Platonovih djela, već posredstvom rane recepcije novoplatonizma.

¹⁰² Herman od Calcidiusovih komentara preuzima mnoga znanja, opis i crteže pomrčine Mjeseca. To je prvi detaljnije istražio i objavio Žarko Dadić, isto, str. 194.

¹⁰³ Žarko Dadić, isto, str. 194.

[planeta] astronomija prepušta astrologiji» piše Herman,¹⁰⁴ koji podjednaku pozornost usmjeruje jednom i drugom aspektu istraživanja neba.

Značajan prinos razvoju astronomije u srednjovjekovnoj zapadnoj Europi Herman je dao prevođenjem, preradama i kompilacijom značajnih arapskih i starogrčkih astronomskih djela. Neka djela koja je prevodio s arapskoga bila su izvorno arapska, druga su bila prijevodi starogrčkih autora, a katkada i u arapskoj preradbi.¹⁰⁵ Među Hermanovim prijevodima iz područja astronomije posebno je važan njegov prijevod Ptolemejeve *Planisfere*. Koristio je verziju prijevoda s grčkoga na arapski Maslama ibn Ahmad al-Majrītija, koja sadrži i komentare prevoditelja. Herman je prijevod *Planisfere* dovršio 1143. godine i posvetio ga svome učitelju Thierryju iz Chartresa. Hermanov prijevod djela *Planisfera*, imao je posebno značenje jer je omogućio da se upravo preko njega Zapadna Europa upozna s tim važnim djelom. Dugo se vjerovalo da je Hermanov prijevod jedini način na koji je sačuvano to Ptolemejevo djelo, dok nije pronađen još jedan drugi primjerak prijevoda na arapski jezik koji se čuva u Istanbulu. O utjecaju i širokoj uporabi Hermanovog prijevoda svjedoči činjenica da se njegov prijevod *Planisfere* uspio sačuvati u čak jedanaest prijevoda iz kasnog srednjega vijeka, a zatim je tiskan još četiri puta u 16. stoljeću. Djelo sadrži stereografske projekcije nebeske sfere na ravninu, pa je u srednjem vijeku poslužilo kao teorijska podloga za konstrukciju astrolaba na latinskom Zapadu.

Astrolab je tijekom srednjovjekovlja bio instrument od velike važnosti u astronomiji i u nautici. Još u 2. stoljeću, na temelju izložene teorije Ptolemej u 14. poglavlju *Planisfere* govori o mogućnostima njegove konstrukcije. Uočavajući korisnost takve sprave, na tim su teorijskim postavkama arapski učenjaci u 8. stoljeću razvili astrolab.¹⁰⁶ Zahvaljujući Hermanovu prijevodu, djelo *Planisfera* postalo je dijelom temeljnih znanja o astrolabu i njegovoj konstrukciji u zapadnoj Europi tijekom kasnoga srednjeg vijeka i kasnije, kada je učestalo korišteno u teorijske i praktične svrhe.¹⁰⁷

¹⁰⁴ Žarko Dadić, isto, str. 147.

¹⁰⁵ Među izvorima Hermanovih prijevoda starogrčkih autora treba osobito istaknuti prerađena djela arapskog matematičara i astronoma Maslama ibn al-Majrītija, koji je u drugoj polovici 10. stoljeća djelovao u Córdoba, u Španjolskoj, a djela su mu bila poznata u Toledu.

¹⁰⁶ Među prvim konstrukcijom astrolaba istaknuo se Ibrāhīm al-Fāzārī. Napisao je i djelo o konstrukciji i uporabi astrolaba koje će poslužiti kao predložak drugim autorima, a preveo ga je u 12. stoljeću Ivan iz Seville. . Vidi: George Sarton, *Introduction to the History of Science*, vol. I., Carnegie Institution of Washington, Baltimore, 1953., str. 530.

¹⁰⁷ Teorijom astrolaba razvijala se i širila zapadnom Europom tijekom kasnog srednjega vijeka. Pisala su djela istaknuti učenjaci kao Jordanus de Nemora *De plana sphaera (O ravnoj sferi)* u 13. stoljeću. O širenju Ptolemejeve *Planisfere* i djela o astrolabu u zapadnoj Europi u srednjem vijeku pisali su: Ron B. Thomson, *Jordanus de Nemore and the Mathematics of Astrolabes, De plana spera*, Pontifical Institute of Mediaeval Studies, Toronto 1978.; Emmanuel Poulle, *L'astrolabe medieval d'après les manuscrits de la bibliothèque nationale*, Bibliothèque de l'Ecole des Chartres, sv. CXII., 1954., str.

Među rukopisima koji se povezuju s Hermanom, ističe se tekst naslova *De usu astrolabii* (*O uporabi astrolaba*), očuvan u više primjeraka, koji neki istraživači pripisuju Hermanu. U vezi s time u literaturi postoje različita mišljenja.¹⁰⁸ Herman je vjerojatno upoznao astrolab još u Chartresu, gdje je taj instrument bio poznat i izučavan još od II. stoljeća.¹⁰⁹ Važnost tog instrumenta u astronomiji i njegove mogućnosti, možda su doista potaknule Hermana da dodatno izučava arapsku literaturu o astrolabu i o njemu napiše djelo. Usprkos osporavanjima te pretpostavke, više činjenica govori u prilog tvrdnji da je Herman Dalmatin ipak napisao djelo o astrolabu. Prvi ga je zabilježio sredinom 13. stoljeća kancelar katedrale u Amiensu Richard de Fournival, utemeljitelj prve javne knjižnice u Europi. U svojem je katalogu *Biblionomia* (1246.) uz još dva Hermanova djela (reviziju Adelardova prijevoda Euklidovih *Elemenata* i prijevod *De opere numeri et operas materia*), naveo i Hermanovo djelo o astrolabu *Hermani Secundi de compositione astrolabii* (*O konstrukciji astrolaba Hermana Drugog*).¹¹⁰ Žarko Dadić smatra kako to jasno potvrđuje da je Fournival čitao tekst Hermana Dalmatina takvoga sadržaja.¹¹¹ Osim toga, navodi kako na rukopisu *De compositione et de usu astrolabii* (*O konstrukciji i uporabi astrolaba*) u Sveučilišnoj knjižnici u Louvainu¹¹² stoji bilješka nepoznatog prepisivača iz 13. stoljeća, »Hermannus iste astrologus fuit, natus de Karinthia, non Contractus de Suevia, et transulit almag<estum>«, u kojoj se izričito tvrdi da je Herman Dalmatin autor toga teksta o astrolabu. Također, u prilog toj tvrdnji navodi se još jedno djelo nastalo u vrijeme kada i Fournivalov katalog *Biblionomia*. Naime, u prvoj polovini 13. stoljeća, Matthew iz Pariza u djelu *Chronica maiora* (*Veća kronika*) donosi sliku na kojoj je prikazan Herman Dalmatin s astrolabom u desnoj ruci, a uz njega je na slici Euklid.¹¹³ Ilustracija također navodi na zaključak da je Herman Dalmatin među suvremenicima i kasnije bio na glasu kao vrstan poznavatelj astrolaba jer ga inače Matthew iz Pariza ne bi prikazao s astrolabom u ruci.

Postoje još neke značajne nedoumice u vezi s Hermanovim prijevodom Pto-

81–103. Žarko Dadić, isto, str. 149.

¹⁰⁸ A. Clerval, *Hermann le Dalmate et les premieres traductions latines des traites arabes d'astronomie en moyen-age*, Compte rendu de Congres scientifique international des catholiques, Paris, 1891., str. 5–11. Nasuprot tome, Ch. Burnett i C. H. Haskins zastupaju mišljenje da Herman Dalmatin nije autor djela o astrolabu. Vidi: Charles Burnett, »Arabic into Latin in Twelfth Century Spain: the Works of Hermann of Carinthia«, *Mittelaltersches Jahrbuch*, 13., 1978., str. 114; C. H. Haskins, *Studies in the History of Mediaeval Science*, Harvard University Press, Cambridge, 1924., str. 51–53.

¹⁰⁹ Žarko Dadić, isto, str. 131.

¹¹⁰ Aleksander Birkenmajer, *Biblioteka Ryszarda de Fournival*, *Rozprawy*, Academia LX., br. 4., Krakov 1922.

¹¹¹ Žarko Dadić, isto, str. 131.

¹¹² Louvain, Bibliotheque universitaire, Ms. 51.

¹¹³ Franjo Šanjek, isto, str. 49.

lemejeva djela *Mathēmatikē syntaxis* (*Matematički sustav*), poznatog i pod nazivom *Almagest*, koje je vrijedno spomenuti Tako u bilješci na početku već spomenutog luvenskog rukopisa o astrolabu, nepoznati prepisivač tvrdi da je Herman Dalmatin preveo Ptolemejev *Almagest*. U vezi s time zastupaju se različita gledišta. Neki autori pretpostavljaju da je riječ o *Almagestu* što ga je s grčkoga na latinski jezik oko 1160. u Palermu preveo izvjesni Herman, te da se radi upravo o Hermanu Dalmatinu.¹¹⁴ Drugi pak autori pobijaju mogućnost da je u tom razdoblju Herman Dalmatin mogao prevesti *Almagest* u Palermu upirući se na više biografskih podataka i okolnosti iz njegova života i rada, kao i na činjenicu da Herman nije poznavao grčki jezik.¹¹⁵

Međutim, Hermana se ipak može s velikom sigurnošću dovesti u vezu s prijevodom pojedinih fragmenata Ptolemejeva *Almagesta* s arapskog jezika, koji su se sačuvani u više prijepisa.¹¹⁶ Ti su fragmenti *Almagesta* sačuvani zajedno s prijevodom Ptolemejeva djela *Quadripartitum* na kojemu je radio Hermanov pratitelj Robert iz Kettona. Charles Burnett smatra kako se ti prijevodi mogu rastumačiti i povezati u kontekstu suradnje Roberta i Hermana. Budući da je Herman u djelu *De essentiis*, četiri puta naveo *Almagest*, to nedvojbeno implicira da ga je izučavao i poznavao, ako ne u cjelini, onda barem u fragmentima.

»Dovođenje Hermana Dalmatina u svezu s tim prijevodom fragmenata Ptolemejeva *Almagesta* prije godine 1143. potpuno bi riješilo Hermanov odnos prema *Almagestu*. Ipak, sva pitanja o tome je li Herman Dalmatin prevodio Ptolemejev *Almagest*, ostaju zasad donekle otvorena.«¹¹⁷

Uz već navedena astronomska djela, pretpostavlja se da je Herman još preveo i

¹¹⁴ Manuel Alonso, *Hermann de Carinthia, De essentiis*, Universidad Pontificia, Comillas (Santander), 1946. Primjerak toga prijevoda čuva se u Vatikanskoj knjižnici, pod signaturom Ms. Vat. Pal., 1371. Navedeno prema Žarko Dadić, isto, str. 151.

¹¹⁵ C. H. Haskins, isto, str. 53–54. Smatra se da se ne radi o prijevodu Hermana Dalmatina budući, prevodilac Ptolemejeva *Almagesta* na Siciliji za sebe piše kako se se bavio studijem medicine u Salernu i nije bio poznavatelj Euklidova rada, kad je čuo da je Aristippus, poslanik sicilijanskoga kralja, donio iz Carigrada na Siciliju primjerak *Almagesta*. Dobivši ga, za potrebe rada na prijevodu, morao je izučavati Euklidova djela, kako bi mogao prevesti *Almagest* na latinski jezik. Haskins ističe kako je nemoguće da bi Herman Dalmatin tada o sebi tako govorio kad je još godine 1143. prevodio Ptolemejevu *Planisferu*, napisao djelo *O esencijama* i ostavio bogat opus. Haskins tvrdi da prijevod *Almagesta* na Siciliji nije mogao nastati oko godine 1143. jer tada nije bilo sicilijanske ambasade u Carigradu koja se spominje u predgovoru prijevoda. Ispravi li se godina nastanka prijevoda i pretpostavi li se da je napravljen prije 26. veljače 1154. kada je umro sicilijanski kralj Roger II., za čijeg je vladanja prijevod nastao, kako je u tekstu navedeno, pripisivanje prijevoda Hermanu Dalmatinu još nije pouzdano jer se podaci iz rukopisa ne mogu dovesti u sklad s poznatim nam biografskim podacima o Hermanu Dalmatinu. Opširnije vidi u: Žarko Dadić, isto, str. 150–151.

¹¹⁶ Charles Burnett, isto, str. 132., Žarko Dadić, isto, str. 151.

¹¹⁷ Žarko Dadić, isto, str. 152.

glasovite al-Kwārizmījeve astronomske tablice.¹¹⁸ Naime, u predgovoru prijevoda Ptolemejeve *Planisfere* Herman navodi Robertove i vlastite prijevode, među kojima i svoj prijevod djela al-Kwārizmīja. Tu tvrdnju navodi i u prijevodu Abū Ma'sharova djela *Uvod u astronomiju*, pa se može zaključiti kako je doista radio na al-Kwārizmījevu djelu, najvjerojatnije u preinačenoj verziji Maslama ibn Ahmad al-Majrītīja iz Córdoba.¹¹⁹ Spomenute al-Kwārizmījeve astronomske tablice revidirao je u drugoj polovici 10. stoljeća matematičar i astronom al-Majrītī iz Córdoba, tako da je perzijsko računanje vremena zamijenio arapskim te odredio srednja mjesta planeta za početak Hidre, i tablice prilagodio meridijanu Córdoba.¹²⁰ Tu preradbu al-Khwārizmījevih tablica na latinski preveo je prvi Adelard iz Batha 1126. godine.¹²¹ Smatra se da je Herman načinio još jedan prijevod tih astronomskih tablica ili revidirao Adelardov prijevod pomoću arapskog izvorika, te se njime služio za potrebe rada u školama i svoga znanstvenoga rada.¹²²

7. Hermanovo poimanje matematike i primjena matematičke metodologije

Promjene koje nastupaju u razvoju zapadnoeuropske matematike u 12. stoljeću nastaju uglavnom potaknute prijevodima arapskih matematičkih djela i u Europi srednjega vijeka zagubljenih i nepoznatih antičkih djela, sačuvanih u prijevodu na arapski jezik. Da bi se bolje sagledao utjecaj arapske matematike na zapadnoeuropsku, potrebno je barem u osnovnim značajkama razmotriti njena glavna obilježja. U Hermanovo doba arapska je matematika u svojem razvoju već dosegla zenit. Razvoj islamske

¹¹⁸ Die Astronomischen Tafeln des Muhammed ibn al-Khwārizmī in der Bearbeitung des Maslama ibn Ahmed al-Majrītī und der latein. Uebersetzung des Athelhard von Bath auf Grund der Vorarbeiten von A. Björnbo und R. Besthorn in Kopenhagen herausgegeben und kommentiert von H. Suter in Zurich, Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter Syvende Raekke Historisk og filosofisk Afdeling, Tredje Bind, Kobenhavn 1914., str. XIII. Žarko Dadić, isto, str. 152.

¹¹⁹ Muhamad ibn Mūsā al-Khwārizmī, podrijetlom Perzijanac, pripadao je u prvoj polovici 9. stoljeća astronomima koji su bili u službi kalifa al-Ma'mūna. Osim drugih djela, izradio je i astronomske tablice utemeljene na indijskim izvorima i perzijskom ciklusu, kojemu se srednja mjesta planeta određuju u odnosu prema meridijanu Arina.

¹²⁰ Vidi opširnije u Žarko Dadić, isto, str. 153.

¹²¹ Dva su primjerka toga prijevoda očuvana u Chartresu i Oxfordu. Na temelju tih predložaka Suter je u Kopenhagenu 1914. objavio njihov tekst, smatrajući da se iz varijanata tih dvaju primjeraka može zaključiti kako postoji još jedan prijevod tih tablica, koji bi se mogao pripisati Hermanu Dalmatinu. Žarko Dadić, isto, str. 153

¹²² Charles Burnett, isto str. 106–107., Žarko Dadić, isto, str. 153. Utvrđivanje pravog Hermanova udjela u tom pitanju otežava činjenica da je primjerak istoga teksta u Chartresu u drugome svjetskom ratu uništen.

znanosti pa tako i matematike odvijao se kroz tri faze. U prvoj fazi nastaje recepcija i asimilacija perzijskih, indijskih i kineskih znanja (7. – 9. st.). U drugoj fazi, odnosno u stvaralačkom razdoblju, arapski znanstvenici unaprijeđuju stečena znanja (9. – 12. st.). U trećoj fazi, nakon 12. stoljeća, završava uspon i procvat arapske znanosti. Matematika i prirodne znanosti interpretiraju se u suprotnostima s načelima striktnih islamskih doktrina. Zadržava se samo matematički aspekt praktične primjene prema *Kur'anu* i islamskom pravu, a u znanstvenim tekstovima nestaju racionalni pristup, uz uporabu logike i matematičkog dokaza. Budući da sustavno prevođenje arapskih djela u zapadnoj Europi započinje u 12. stoljeću, do toga vremena arapska matematika koja se prevođenjem prenosila, u svojem je doprinosu već bila zaokružena. Arapski matematičari spajali su izvornu istočnjačku matematiku, osobito onu njegovanu u Indiji, sa strogim starogrčkim matematičkim metodama i aksiomatskim deduktivnim sustavom. Indijsko shvaćanje matematike bilo je čvrsto vezano uz iskustvo. Stoga se isticao broježani značaj matematike, te se razvio pozicijski sustav i različite praktične i zadovoljavajuće matematičke procedure. Nasuprot tome starogrčka matematika bila je usredotočena na geometrijske i racionalne aspekte, za razliku od indijske, u kojoj su dominirali aritmetički i računski aspekti. Arapi su prihvatili najpozitivnije iz obje matematike, te razvili novu matematiku, koja je mogla dati poticaje daljnjem razviku. Spajanjem starogrčke strogosti i indijske aritmetizacije matematike, postignuti su mnogi novi rezultati i postupci, koji su omogućili daljnji razvoj matematike i novih područja.

Usprkos Hermanovoj usredotočenost na astrološko-astronomske i prirodnofilozofske teme, ipak ni matematički problemi nisu ostali izvan njegova interesa i djelokruga. Jedino njegovo matematičko djelo koje se spominje, naveo je Richard iz Fournivala u katalogu *Biblionomia* pod naslovom *Liber de invenienda radice Hermanni Secundi* (*Knjiga Hermana drugog o pronalaženju korijena*), što upućuje na aritmetički sadržaj tog djela.¹²³ Na žalost do danas nije sačuvan i poznat nijedan primjerak navedenog djela takvog sadržaja, koji bi se mogao pripisati Hermanu Dalmatinu i potvrditi taj navod. Ipak, ništa ne govori ni protiv toga da bi Herman Dalmatin napisao takvo djelo. Prema naslovu djela sadržaj takva teksta mogao bi se lako povezati s onim što se iz aritmetike izučavalo u katedralnoj školi u Chartresu tijekom Hermanova školovanja te je Herman posjedovao znanja na temelju kojih bi mogao napisati djelo takva sadržaja.¹²⁴

¹²³ Fournival je ovo Hermanovo djelo naveo kao peto djelo među matematičkim tekstovima različitih autora skupno navedenih pod brojem 45.

¹²⁴ U Chartresu problem drugog korijena iz broja 2 bio je predmetom rasprave između učitelja matematike Ragimbald iz Kölna i Rodolphe iz Liègea još u 11. stoljeću. Određivanjem drugoga i trećega korijena bavio se još ranije u 11. stoljeću i Gerbert, čija su djela tijekom 12. stoljeća bila poznata u Chartresu. Može se, dakle, pretpostaviti da je za Hermanova studija u Chartresu o tome bilo govora, jer je i tada to bio vrlo aktualan problem u matematici. Vidi opširnije: Žarko Dadić, isto, str. 207.

»U skladu sa shvaćanjima svog doba Herman je drugi korijen mogao određivati samo aproksimativno, naime pronalaziti razlomak ili racionalni broj približan iracionalnom broju. Možda je broju $\sqrt{2}$ pripisivao vrijednost $17/12$, kao i Gerbert. Znamo da je u djelu *De essentiis* za broj π rabio aproksimativnu vrijednost $22/7$, koja je bila uobičajena u njegovo doba, a rabio ju je i Gerbert. Eventualni Hermanov napredak u tom problemu mogao bi se sastojati samo od određivanja približne vrijednosti za druge i treće korijene nekih brojeva za koje ta vrijednost još nije bila poznata. Ako je to i radio, ograničio se samo na neke brojeve i korijene. Međutim, o nekoj općoj metodi određivanja drugih i trećih korijena ne može biti ni govora.«¹²⁵

Herman je u Chartresu školovan na zapadnoeuropskoj platonističkoj tradiciji. Platonovo djelo *Timej* bilo je temeljem prirodno-filozofskih tumačenja, te su iz njega se crpila gledišta na kojima se temeljio srednjovjekovni razvoj matematike i fizike. Glavni znanstveni stavovi zastupani u Zapadnoj Europi sve do kraja 11. stoljeća uglavnom su bili potaknuti neoplatonizmom. U tim okvirima matematika se poučavala prema Severinu Boetiju (lat. Anicius Manlius Severinus Boet(h)ius, 480. – 524.), za kojega se smatra da je bio najutjecajniji matematičar ranoga srednjega vijeka i uzor za matematičke istraživače sve do sredine 12. stoljeća. U svojem radu oslanjao se na djela starogrčkih autora (Euklid, Nikomah, Ptolemej), ali nije dosegao razinu djela kojima se koristio. Tako je primjerice za Euklidovu geometriju donosio samo formulacije poučaka bez dokaza. Izvorna se Euklidova djela do 12. stoljeća nisu koristila. Općenito gledajući matematičko znanje ranoga srednjega vijeka bilo je na razini znatno nižoj od starogrčke matematike, ali je održalo kontinuitet znanja i tako uvelike pridonijelo prihvaćanju arapskih utjecaja u 11. i 12. stoljeću, što je vodilo promjenama u poimanju matematike, razvoju novih metoda i postupaka, te izgradnji novog matematičkog pristupa istraživanju.

Premda se Herman nije bavio matematikom u onoj mjeri koliko je bio zaokupljen astronomijom i prirodnom filozofijom, matematika je ipak prisutna u njegovu radu. Opisujući strukturu i ustroj svemira Herman nastoji pojedine astronomske tvrdnje dokazati matematičkim putem. Potrebu za matematičkim dokazivanjem usvojio je proučavajući i revidirajući prijevod Euklidovih *Elementa* s arapskog na latinski. Korištenjem matematičkog dokaza nadilazi dotadašnju srednjovjekovnu znanstvenu i matematičku tradiciju na kojoj je Herman školovan. Srednjovjekovni učenjaci po uzoru na najistaknutijeg matematičara Severina Boetia davali su tvrdnje bez matematičkoga dokazivanja. U tom smislu Hermanov opus označava kraj razdoblja u kojem se nije koristilo matematičkim dokazom i početak novog razdoblja koje će karakterizirati primjena Euklidove metodike, što će koncem renesanse dovesti do velikih promjena ne samo u matematici i njejoj primjeni, već će aktualizirati renesansni problem metode, koji će voditi do utemeljenja novovjekovne znanosti i filozofije.

Hermanova rasprava *De essentiis* odražava razinu njegova matematičkoga znanja, korištenu matematičku metodologiju i njenu primjenu. U djelu se Herman koristi matematičkim izvodima u postupku dokazivanja astronomskih zaključaka. Primjerice, upotrebljava matematički pristup u svezi s istraživanjem pomrčina Sunca i Mjeseca, razmatra omjer opsega kružnice i njezinog promjera u dokazima da brzine različitih planeta nisu jednake i u još čitavom nizu problema i hipoteza koje istražuje.¹²⁵ Tijekom provođenja matematičkog postupka, Herman se više puta poziva na Euklida i navodi neke njegove poučke. Znakovito je da se u izvodima ipak ne referira direktno i poziva na određeni broj pod kojim su pojedini poučci koje koristi označeni u Euklidovoj knjizi. U Hermanovo doba neki su Euklidovi poučci bili poznati samo posredno, uglavnom preko pseudo-Boetijeva djela, koje je u Hermanovo doba smatrano Boetijevim.¹²⁶ Međutim, pseudo-Boetije je iz Euklidova djela preuzeo samo tvrdnje iz prve četiri knjige *Elementa*, bez uporabe matematičkog dokaza. Tijekom školovanja Herman je iz tog djela mogao dakle upoznati samo neke Euklidove tvrdnje, ali nipošto i savladati Euklidov deduktivni sustav, koji predstavlja metodološku bit tog djela utemeljenog na deduktivnom izlaganju i dokaznom postupku. Matematika koju je usvojio u Chartresu je u odnosu na euklidsku matematičku metodologiju, prednost davala terminološkim razmatranjima matematičkih pojmova i problema. Stoga premda su se u Chartresu javljali i neki pokušaji dokazivanja pojedinih jednostavnih tvrdnji o trokutima, oni su ipak bili sporadični i nedostatni da bi Herman tamo mogao usvojiti metodologiju strogog sustavnog matematičkog izvođenja i dokazivanja u smislu Euklidove metodologije. Pomak u tom smislu ostvario je tek kada se posebno posvetio detaljnijem izučavanju Euklidovih *Elementa* za potrebe rada na prijevodu toga djela.

Prvi cjeloviti prijevod Euklidova djela *Elementi* (Eukleídēs; grč. *Stoikheia*, lat. *Elementa*) načinio je iz arapskoga predloška na latinski jezik Adelard iz Batha, 1130. godine. Za izradu latinskog prijevoda Adelard je koristio predložak arapskog prijevoda grčkoga izvornika, koji je načinio utjecajni znanstvenik, asirski kršćanin Hunain ibn-Ishak (latin. Iohannitius; 809. – 873.), a usavršio arapski matematičar i astronom Thabit Ibn Qurra (latin. T(h)ebit(h); 826. – 901.). Hermanu, koji se zanimao za astronomiju, bili su potrebni Euklidovi *Elementi* za provođenje matematičkih dokaza u vezi s pojedinim astronomskim tvrdnjama. To mu je bio poticaj za detaljnije izučavanje i usporedbu Adelardova latinskog prijevoda i arapskog prijevoda Euklidova djela. Vjerojatno uočivši stanovite nepravilnosti i nejasnoće, Herman je 1140. godine načinio još jednu latinsku verziju prijevoda Euklidovih *Elementa*, koju neki smatraju novim prijevodom, a drugi revizijom prvoga Adelardova prijevoda *Elementa* s arapskoga

¹²⁵ Žarko Dadić, isto, str. 207–208.

¹²⁶ Žarko Dadić, isto, str. 208.

na latinski. Taj je Hermanov rukopis zabilježio kancelar katedrale u Amiersu Richard de Forunival u katalogu Biblionomia (1246.) pod naslovom *Euclidis geometria, aritmetica et stereometria ex commentario Hermanni Secundi* (Euklidova geometrija, aritmetika i stereometrija po komentaru Hermana Drugoga). Hermanov se rukopis danas čuva u Bibliothèque Nationale u Parizu pod signaturom MS Latin 16 646 (f 2r-108r). Herman koji je u svom prevoditeljskom radu osobito držao do vjerodostojnosti prijevoda u odnosu na izvornik, vjerojatno je upravo ciljano odabrao kao predložak za reviziju onu verziju arapskog prijevoda¹²⁷ Euklidovih *Elementa* koju je načinio Tabit ibn Kora,¹²⁸ budući je isključivo geometrijska verzija, slična metodološki izvornom Euklidovom djelu, u kojoj dokazi nisu ilustrirani numeričkim primjerima kao u nekim drugim arapskim prijevodima.

¹²⁷ Žarko Dadić, isto, str. 208.

¹²⁸ Euklidovi *Elementi* nakon pada Rimskog Carstva sačuvali su se u Bizantu. Tamo su ih upoznali arapski znanstvenici, a prvi prijevod s grčkoga na arapski jezik načinio je Al-Hajjāj Ibn Jūsuf Ibn Matar. Izradio je dva prijevoda, prvi u doba vladavine Hārūna Al-Rashīda (786. – 809.), i taj se naziva al-Hārūnī prijevod. Drugi je napisao za vladavine kalifa al-Ma'mūna (813. – 833.) i naziva se al-Ma'mūnī prijevod. *Elemente* je s grčkoga na arapski jezik preveo i Ishāq Ibn Hunain (umro 910.), a taj je prijevod usavršio Thābit Ibn Qurra (826. – 901.). Treći je prijevod nastao nekoliko stoljeća kasnije, a prevoditelj je bio Naṣīr Ad-Dīn At-Tūsī (1201. – 1274.).

Zaključak

Hermanov pristup matematici potrebno je razmatrati u obzoru matematike onoga vremena, kao i u širem kontekstu srednjovjekovnog pristupa istraživanjima prirode. Premda Herman nigdje nije eksplicitno izražavao što misli o samoj matematici, sudeći prema njegovu pristupu istraživanjima, on je neosporno uočavao da je matematika povezana sa zakonitostima prirode. Njegova matematička znanja, stavove i metodiku moguće je rekonstruirati na temelju tragova u sačuvanim radovima. U prvom redu to se odnosi na ulomke iz djela *De essentiis*, u kojemu Herman postavljene astronomske teze pokušava dokazati na matematički način po uzoru na Euklidove *Elemente*. Upravo ta potreba za matematičkim dokazivanjem razmatrane građe bila je u odnosu na njegove prethodnike iz ranoga srednjega vijeka nešto novo, što će u znanosti zaživjeti tek koncem renesanse i u novom vijeku, kada se potpuno afirmira gledište o matematici kao idealu dokazne znanosti. Premda za svojega školovanja Herman nije usvojio potrebu za matematičkim dokazivanjem, djelo *O esencijama* pokazuje nam da je u zrelijoj fazi rada, suprotno dotadašnjoj matematičkoj tradiciji, potaknut radom na Euklidovim *Elementima*, uvidio vrijednost i snagu postupka matematičkoga dokazivanja. Istražujući prirodu i astronomske zakonitosti Herman je nastojao koristiti se matematikom, dokazom i geometrijskim crtežom po uzoru na antičke matematičare. Nasuprot takvu Hermanovu pristupu srednjovjekovni matematičari, slijedeći Boetija, davali su tvrdnje bez matematičkoga dokazivanja. Matematiku se razmatralo kroz njenu interakciju s filozofijom, a primjena matematike odvijala se uglavnom u okvirima jednostavnih zadataka vezanih uz mjerenje. Logičkoj strukturi matematike nije se pridavao značenje. Stoga je u metodičkom smislu važno istaknuti Hermanovo korištenje matematičkim dokaznim postupkom.

Detaljnija analiza Hermanovih dokaza, pokazuje stanovite propuste.¹²⁹ Pogreške koje se javljaju u Hermanovu tekstu navode na zaključak da on ipak nije u potpunosti ovladao svim antičkim znanjima i poučcima koje donosi Euklid u *Elementima*. Međutim usvojio je iz Euklida potrebu za matematičkim dokazivanjem, što predstavlja

¹²⁹ Tabit ibn Kora (arap. Thābit ibn Qurra, latinizirano Thebit), arapski astronom, matematičar i prevoditelj (826. – 901.). Školovao se u Bagdadu, gdje je proučavao grčke autore, pa je, među ostalim, preveo s grčkoga na arapski djela Apolonija iz Perge, Arhimeda, Euklida i Klaudija Ptolemeja, u arapskom prijevodu sačuvao je djela koja nisu sačuvana u izvorniku. Sačuvano je malo njegovih izvornih djela. Zna se da je razvio teoriju pomicanja ekvinoksijskih točaka, odredio trajanje sideričke godine na 365 d 6 h 9 min 12 s (s pogreškom manjom od 2 s). Objavio je Arhimedovu konstrukciju pravilnoga sedmerokuta, koja nije sačuvana, nego je u 20. st. ponovno izvedena. Izveo je jednadžbu za određivanje parova prijateljskih brojeva, objavio podatke opažanja Sunca te proučavao krivulje potrebne za izradbu sunčanih satova. Imao je niz učenika, među ostalima svojega sina Sinana te dvojicu unuka i praunuka koji su nastavili njegovo djelo i bili poznati kao znanstvenici i prevoditelji grčkih autora. Bavio se i medicinom i filozofijom. Po njem je nazvan krater na Mjeseцу (Thebit).

metodičku bit djela *Elementi*, budući da je u njemu prvi put izložen strog aksiomatski sustav, utemeljen na deduktivnoj metodi izlaganja. Dokaz je primaran u Euklidovu djelu i to je važan stav, koji je Herman usvojio i nastojao prenijeti ga u svoje izvorno djelo. Premda Herman nije dovoljno temeljito savladao strogo logičko izvođenje dokaza, on se uvođenjem matematičke metodologije nalazi na prekretnici dvaju razdoblja. Označio je kraj srednjovjekovnog razdoblja što ga je isključivo obilježio Boetijev pristup matematici i početak razdoblja karakteriziranog primjenom Euklidove metodike, koje će koncem renesanse dovesti do velikih promjena u matematici i njenoj sustavnoj primjeni u istraživanju prirodnih znanosti, što će nakon stoljeća propitivanja problema metode, dovesti do utemeljenja novovjekovne znanosti i filozofije.

Izbor iz literature

- Ahbel-Rappe, Sara (2006). »Plato's Influence on Jewish, Christian, and Islamic Philosophy«, u: Hugh H. Benson (ur.), *A Companion to Plato*, Blackwell Publishing Ltd., Oxford.
- Brummelen Van, Glen (2009). *The Mathematics of the Heavens and the Earth: the Early History of Trigonometry*, Princeton University Press, Princeton.
- Burnett, Charles (2001). »The Establishment of Medieval Hermeticism«, u: Peter Linehan, Janet Laughland Nelson (ur.), *The Medieval World*, Routledge, Oxford, New York.
- Burnett, Charles (2005). »Hermann of Carinthia«, u Thomas F. Glick, Steven John Livesey, Faith Wallis(ur.), *Medieval Science, Technology, and Medicine: an Encyclopedia*, Routledge, Oxford, New York.
- Dadić, Žarko (1996). *Herman Dalmatin / Hermann of Dalmatia*, Školska knjiga, Zagreb.
- Žarko Dadić (2015). *Povijest znanosti i prirodne filozofije u Hrvata (s osobitim obzirom na egzaktne znanosti)*, knjiga I. *Srednji vijek*, Izvori, Zagreb.
- Erlar, Michael (2008). *Platon*, prevela Suzana Derk, Naklada Jurčić, Zagreb.
- Hackett, Jeremiah (2002). »Adelard of Bath«, u: Jorge J. E. Gracia, Timothy B. Noone (ur.), *A Companion to Philosophy in the Middle Ages*, Blackwell Publishing, Oxford.
- Herman Dalmatin (1990). *Rasprava o bitima*, preveo Antun Slavko Kalenić, Čakavski sabor, Pula.
- Kalenić, Antun Slavko (1990). »Napomene uz tekst«, u: Herman Dalmatin, *Rasprava o bitima*, preveo Antun Slavko Kalenić, Čakavski sabor, Pula, 167–219.
- Kutleša, Stipe (2013). *Iz povijesti hrvatske filozofije i znanosti*, Matica hrvatska, Zagreb.
- Lemay, Richard (1962). *Abu Ma'shar and Latin Aristotelianism in the Twelfth Century*, American University of Beirut, Publications of the Faculty of Arts and Sciences, Beirut.
- Lettinck, Paul (1999). *Aristotle's Meteorology and its Reception in the Arab World*, Koninklijke, Brill, Amsterdam.
- Low-Beer, Sheila (1979). *Hermann of Carinthia: The Liber imbrium, the Fatidica and the De indagati-one cordis*, doktorska disertacija, neobjavljeno, New York.
- Ptolemy (2001). *Tetrabiblos*, translated by F. E. Robbins, Harvard University Press, Cambridge, London.
- Turner, Howard R. (2006). *Science in Medieval Islam*, University of Texas Press, Austen.
- Zenko, Franjo (1997). »Herman Dalmatin«, u: Franjo Zenko (ur.), *Starija hrvatska filozofija*, Školska knjiga, Zagreb.

Marijana Borić

Abstract: Hermann of Dalmatia (12.th. century) was the first Croatian philosopher, astronomer, astrologer, mathematician and translator of Arabic works. The influence of his translations on the development of European science and philosophy was especially large. His original contribution to philosophy and science was *De essentiis* (*On essences*). Hermann was not involved so much in mathematical problems as he was in astronomy and astrology. Nevertheless, mathematical problems did not remain outside the sphere of his interest. Hermann's mathematical knowledge, ideas and methodology can be discerned from his *De essentiis*. In the work he uses on a number of occasions mathematical derivations in arriving at astronomical conclusions, which were constructed according to Euclid's Elements. This was a new approach in medieval European scientific tradition.

Key words: Hermann of Dalmatia, translations, philosophy, mathematics, astronomy, astrology, mathematical derivations

Lahorija Bistričić

Profesor Petar Kulišić – život i djelo

Sažetak: Prof. dr. sc. Petar Kulišić diplomirao je fiziku na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu 1962. godine. Doktorirao je 1965. godine disertacijom u području eksperimentalne nuklearne fizike te je u dobi od 25 godina postao najmlađi doktor znanosti u bivšoj državi. Prelaskom na Zavod za primijenjenu fiziku Elektrotehničkog Fakulteta u Zagrebu (1972. godine) započinje istraživanja u području Sunčeve energije, te ubrzo postaje jedan od vodećih znanstvenika u tom području. Svojim dolaskom na Zavod za primijenjenu fiziku dao je izuzetan doprinos razvoju nastave kroz objavljivanje niza sveučilišnih i srednjoškolskih udžbenika iz fizike.

Ključne riječi: Petar Kulišić, Zavod za primijenjenu fiziku, nastava fizike

Uvod

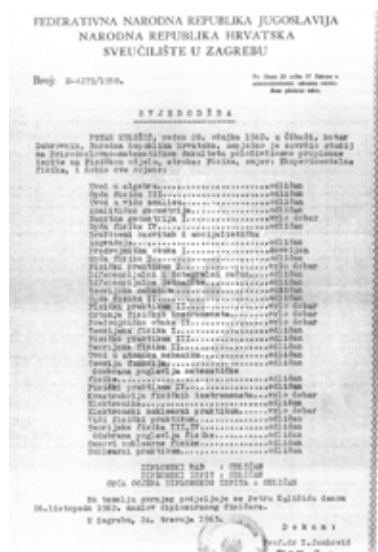
Prof. dr. sc. Petar Kulišić rođen je 28. ožujka 1940. godine u Čibači naselju u Dubrovačko-neretvanskoj županiji u općini Župa dubrovačka., slike 1. i 2. Osnovnu školu pohađao je u Čibači, a gimnaziju u Dubrovniku. Kao gimnazijalac pokazivao je sklonost prema prirodnim znanostima, te je nakon što je u dubrovačkoj gimnaziji maturirao s odličnim uspjehom dobio stipendiju grada Dubrovnika za studij fizike. Studij fizike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu započeo je 1958. godine. Istaknuo se kao jedan od najboljih studenata u svojoj generaciji te je već nakon prvog semestra dobio stipendiju Instituta Ruđer Bošković. Diplomirao je s odličnim uspjehom 1962. godine na smjeru Eksperimentalne fizike (slika 3, svjedodžba o završenom studiju).



Sl. 1.: Roditelji: Ruža i Mato Kulišić



Sl. 2.: Prva sveta pričest (1948. godine)



Sl. 3.: Svjedodžba o završenom studiju fizike

I. Znanstveni rad na Institutu Ruđer Bošković

Nakon završenog studija izabran je za asistenta postdiplomanda na Institutu Ruđer Bošković (IRB) u Odjelu nuklearne fizike II (pročelnik dr. Ksenofont Ilakovac) [1]. Od 1963. godine radi u Odjelu za nuklearna i atomska istraživanja (pročelnik: dr. Mladen Paić) u Laboratoriju za nuklearne reakcije (voditelj: dr. Petar Tomaš) [2]. Znanstveni interes bio mu je usmjeren na istraživanje nuklearnih reakcija. Poslijediplomski studij je završio magistarskim radom u području eksperimentalne nuklearne fizike. Magistarski rad pod nazivom $^2(n,\alpha)$ reakcije na Pr^{141} i Nb^{932} obranio je na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu 25. studenog 1964. godine. Iste godine izabran je za višeg asistenta [3]. Izuzetna sposobnost koju je pokazao već na studiju posebno je došla do izražaja kada je sedam mjeseci nakon obrane magistarskog rada obranio doktorsku disertaciju naslova $^2(n,\alpha)$ reakcije na teškim jezgrama² (PMF, 8. srpnja 1965. godine) [4]. Tako je u dobi od 25 godina postao najmlađi doktor znanosti u bivšoj državi, slika 4. O tom izuzetnom uspjehu izvijestili su mediji npr. novine Večernji list i Borba, slike

5, 6 i 7.



Sl. 4.: Petar Kulišić na promociji doktora znanosti



Sl. 5.: Članak u Večernjem listu od 18. prosinca 1965. godine

Nakon obranjenе doktorske disertacije izabran je u zvanje višeg asistenta. U ožujku 1966. godine odlazi na jednogodišnje odsluženje vojnog roka u JNA [5]. Od 1968. godine boravio je na dvogodišnjem usavršavanju na University of Manitoba u Winnipegu u Kanadi, a nakon toga nastavlja rad na IRB-u u Laboratoriju za nuklearnu spektroskopiju (voditelj: dr. Nikola Cindro) [6]. U zvanje znanstvenog suradnika izabran je 1970. godine [7]. Njegova istraživanja u području nuklearne energije doprinijela su razumijevanju mehanizama nuklearnih reakcija na niskim energijama. Rezultati istraživanja objavljeni su u vodećim svjetskim časopisima iz fizike (Physics Letters, Nuclear Physics, Lettere al nuovo cimento), te zbornicima radova međunarodnih skupova.



Sl. 6.: Popularna rubrika Embargo u Večernjem listu o uspjehu najmlađeg doktora znanosti

DOKTOR NAUKA SA 25 GODINA

Prije dva tjedna u Zagrebu je doktorirao Petar Kulšić, koji je pred stručnom komisijom naučnih suradnika instituta »Ruder Bošković« i profesora Prirodno-matematičkog fakulteta u Zagrebu obranio doktorsku disertaciju iz područja atomske fizike.

Doktor Kulšić je rođen u Dubrovniku 1940. godine, gdje je i završio gimnaziju. U Zagrebu je diplomirao na Prirodno-matematičkom fakultetu u dvadeset drugoj godini, a poslije toga je na istom fakultetu završio postdiplomске studije i obranio magistarski rad. Kao stipendist »Rudera Boškovića« nastavio je ispitivanja u Institutu i došao do značajnih naučnih otkrića u oblasti proučavanja nuklearne jezgre. Njegova disertacija bila je podneta na međunarodnom naučnom skupu atomskih fizičara u Parizu i Antwerpenu, a bit će objavljena u časopisu »Nuclear Physics«.

U disertaciji, koja se zove »H. alfa — reakcije na teškim jezgrama« Kulšić je iznio mjerenja energetskih i ugao-nih raspodjela alfa-čestica dobivenih bombardiranjem jezgre nekih teških elemenata (antana, bizmuta i drugih) neutronima proizvedenim u nuklearnom generatoru instituta »Ruder Bošković«.

Dobiveni rezultati su dali neke informacije o strukturi nuklearne površine. Poznato je, naime, da se jezgra sastoji od neutrona i protona, ali se tačno ne zna kako su raspoređeni u samoj jezgri, a posebno na njenoj površini. Ova mjerenja su pokazala da postoji vjerojatnost da su neki nukleoni (protoni i neutroni) raspoređeni u takozvane alfa-podstrukture, to jest u skupine sastavljene od dva protona i dva neutrona. Reakcija se sastoji u tome da upadni neutroni izbijaju iz jezgre i alfa-podstrukture. Na taj je način određen mehanizam (alfa) reakcija u teškim jezgrama.

I. K.



Doktor Petar Kulšić

Sl. 7.: Članak u novinama Borba od 18. studenog 1965. godine

2. Znanstveni i nastavni rad na Fakultetu elektrotehnike i računarstva

Karijeru nastavnika fizike započeo je kao honorarni docent na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu (FESB). U akademskoj godini 1969./70. i 1970./71. predavao je kolegij Fizika 3. Na Kemijsko tehnološkom fakultetu u Splitu u akademskoj godini 1970./71. [8]. predavao je kolegije Fizika I i Fizika II [8]. Krajem 1972. godine zaposlen je kao docent na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu, ETF-u (danas Fakultet elektrotehnike i računarstva) na Zavodu za fiziku. Za izvanrednog profesora izabran je 1976. godine, a u zvanje redovitog profesora 1981. godine [9]. Predavao je kolegije Fizika I i Fizika 2 studentima prve godine. Studenti su bili podjeljeni u dvije grupe. Jednoj grupi je predavao profesor Kulišić, a drugoj profesorica Višnja Henč-Bartolić. Predavanja u obje grupe su morala biti usklađena zbog pokusa na predavanjima koje je dizajnirao čuveni profesor Vatroslav Lopašić. Pokuse je izvanredno izvodio dipl. ing. Tomislav Gjurić. Na taj način studenti su bolje shvaćali i pamtili gradivo, a sama predavanja su bila zabavnija. Dodatno su tome doprinijeli prigodni duhovit komentari prof. Kulišića, koji su izazivali smijeh slušatelja. Studenti su hvalili njegova predavanja, kojima su s veseljem prisustvovali. Profesorica Henč-Bartolić sjeća se vrlo dobre suradnje u nastavi s profesorom Kulišićem koja je rezultirala objavljivanjem zajedničkog udžbenika iz Fizike 2.

Dolaskom na ETF prof. Kulišić je proširio područje svog znanstvenog rada. Naime, uz opću i nuklearnu fiziku započeo je istraživanja u području energetike, počeo se baviti obnovljivim izvorima energije, posebno Sunčeve energije i energije vjetera. U tom području vrlo brzo je postao jedan od vodećih istraživača te dao značajan doprinos u primjeni obnovljivih izvora energije u rješavanju klimatskih promjena. Uz radove u časopisima i zbornicima znanstvenih skupova objavio je zajedno s profesorom Vladimirom Knappom prvi udžbenik u tom području na hrvatskom jeziku (Novi izvori energije: nuklearna energija, fisije i fuzije i sunčana energija). Nekoliko godina kasnije objavio je samostalno udžbenik: Novi izvori energije. Sunčana energija i energija vjetera. U području Sunčeve energije surađivao je s prof. Jadrankom Vuletin i prof. Ivanom Zulimom s FESB-a. U koautorstvu s njima objavio je udžbenik: Sunčane ćelije. Udžbenici su se temeljili na višegodišnjem znanstvenom i stručnom radu autora, konzultacijama s istaknutim svjetskim znanstvenicima i predstavljala temeljit i objektivan prikaz fizikalnih, tehno-ekonomskih i sigurnosnih aspekata fisijske i fuzijske nuklearne energije početkom 80-tih godina i mogućnosti korištenja Sunčeve energije. Literaturu koja je na takovoj znanstvenoj i stručnoj razini obrađivala fisiju, fuziju i solarnu energiju bilo je teško naći i u svjetskoj literaturi. Ona je osim studentima poslužila i mnogim stručnjacima u području energetike.

Bio je voditelj više projekata. Posljednji projekt koji je vodio bio je u razdoblju

od 1991. -1994.: "Materijali i sustavi za pretvorbu sunčane energije" na kojem su uz ETF suradnje institucije bile FESB i Međunarodni centar za teorijsku fiziku u Trstu. Prof. Kulišić je intenzivno surađivao s Međunarodnim centrom za teorijsku fiziku u Trstu, gdje je svake godine boravio više tjedana.

U području nuklearne energetike surađivao je s kolegama sa ZPF-a (prof. Vladimir Knapp, prof. Mile Baće, prof. Tomislav Petković i prof. Dubravko Pevec) na problemima proračuna štitova za odlaganje radioaktivnog otpada u nuklearnim elektranama.

Znanstvena istraživanja u području energetike primjenjivao je i u dodiplomskoj i poslijediplomskoj nastavi u predmetima: Novi izvori energije, Konverzija energije i Nuklearna instrumentacija. Bio je mentor studentima diplomskog i poslijediplomskog studija.

Prof. Mile Baće prisjetio se situacije vezane uz područje obnovljivih izvora energije u kojem je došlo do kontakta između njega i studenata prof. Kulišića. O tome mu je bilo vrlo teško govoriti, jer se radilo o ekstremno teškoj i žalosnoj situaciji povezanoj s bolesti prof. Kulišića. Naime, njegovi su studenti dobili zadatke u obliku tema za pisane radove koji bi poslužili umjesto ispita. Studenti su ga pomalo u panici posjetili u bolnici s pitanjem što da rade, a on ih je, kao da se šali, uputio: „javite se Miši“. Studenti su tako postupili. Donijeli su mu zadane teme i svoje tekstove, te su to riješili. Prof. Baće uvijek s ponosom ističe kako je prof. Kulišić svoje studente uputio baš njemu.

Uz nastavu na ETF-u sudjelovao je u nastavi Mornaričke visoke škole u Splitu gdje je predavao kolegij Diferencijalne jednadžbe matematičke fizike. Na Kemijsko-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (danas Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, FKIT) predavao je Fiziku I i II. U suradnji s nastavnicima sa FKIT-a napisao je dva sveučilišna udžbenika (Elektromagnetske pojave i struktura tvari, Riješeni zadaci iz elektromagnetskih pojava i strukture tvari).

Više od dvadeset godina surađivao je s izdavačkom kućom "Školska knjiga". Udžbenike je pisao vrlo lako i brzo. Svi udžbenici doživjeli su više izdanja, a koriste se i danas. Mnogi studenti tehničkih fakulteta učili su fiziku iz njegovih udžbenika i skripta. Uz sveučilišne udžbenike sudjelovao je također u pisanju niza srednjoškolskih udžbenika.

Sveučilišni udžbenici

1. P. Kulišić, *Mehanika i toplina*, Zagreb: Školska knjiga, 1985.
2. V. Knapp, P. Kulišić, *Novi izvori energije: nuklearna energija, fisije i fuzije i sunčana energija*, Zagreb: Školska knjiga, 1985.
3. P. Kulišić, J. Vuletin, I. Zulim, *Sunčane ćelije*, Zagreb, Školska knjiga, 1994.
4. P. Kulišić, V. Lopac, *Elektromagnetske pojave i struktura tvari*, 2. izdanje, Zagreb, Školska knjiga, 2003.
5. V. Henč-Bartolić, P. Kulišić, *Valovi i optika*, Zagreb, Školska knjiga, 2004.
6. P. Kulišić, L. Bistričić, D. Horvat, Z. Narančić, T. Petković, D. Pevec, *Riješeni zadaci iz mehanike i topline*, VIII promijenjeno izdanje, Zagreb, Školska knjiga, 2007.
7. V. Henč-Bartolić, M. Baće, L. Bistričić, D. Horvat, P. Kulišić, Z. Narančić, T. Petković, D. Pevec, *Riješeni zadaci iz valova i optike*, Zagreb, Školska knjiga, 2002.
8. P. Kulišić, *Novi izvori energije. Sunčana energija i energija vjetra*, Zagreb, Školska knjiga, 1991.
9. V. Lopac, P. Kulišić, V. Volovšek, V. Dananić, *Riješeni zadaci iz elektromagnetskih pojava i strukture tvari*, Zagreb, Školska knjiga, 1992.

Udžbenici za srednje škole

1. P. Kulišić, V. Knapp, *Zbirka zadataka s klasifikacijskih ispita: za VI. i VII. stupanj škola elektrometalske struke: zadaci iz fizike, upute i rješenja* (3. izdanje), Zagreb: Školska knjiga, 1990.
2. P. Kulišić, M. Eterović, *Zadaci iz fizike za srednje škole*, Zagreb, Školska knjiga, 1980.
3. P. Kulišić, M. Pavlović, *FIZIKA 2: udžbenik fizike za 2. i 3. razred strukovnih škola (udžbenik za DVOGODIŠNJI i TROGODIŠNJI program fizike)* Zagreb, Školska knjiga, 2007.
4. P. Kulišić, *FIZIKA 3: udžbenik fizike za 3. razred četverogodišnjih strukovnih škola*, Zagreb, Školska knjiga
5. V. Lopac, P. Kulišić, *Fizika 4 udžbenik za srednje strukovne škole*, Zagreb: Školska knjiga, 1999.
6. Ž. Jakopović, P. Kulišić, *FIZIKA 1 udžbenik za dvogodišnji i trogodišnji program fizike*, Zagreb, Školska knjiga, 2006.
7. Ž. Jakopović, P. Kulišić, *FIZIKA 2 udžbenik za dvogodišnji i trogodišnji program fizike*, Zagreb, Školska knjiga, 2006.
8. D. Pevec, P. Kulišić, V. Knapp, *Zbirka zadataka s klasifikacijskih ispita za tehničke fakultete*, 1970-1995: zadaci iz fizike, upute i rješenja, Zagreb, Školska knjiga, 1996.
9. P. Kulišić, *Mehanika i termodinamika*, Školska knjiga, 1995.



Sl. 8.: Prof. Petar Kulišić
kao predstojnik ZPF-a

Osim u direktnoj znanstveno-nastavnoj aktivnosti sudjelovao je i u mnogim upravnim i savjetodavnim tijelima. Bio je predsjednik Savjeta ETF-a, predsjednik Vijeća pripremnog dijela studija, Povjerenstva za upis novih studenata itd. Posebno treba istaknuti njegov dugogodišnji rad na pripremi klasifikacijskih ispita za tehničke fakultete. Za pomoć učenicima za upis na fakultet zajedno s prof. V. Knappom i prof. D. Pevecom priredio je više izdanja zbirki zadataka s klasifikacijskih ispita.

U više navrata obnašao je dužnost predstojnika Zavoda za fiziku (1982.–1984.; 1986.–1988. i 1992.–1994.), slika 8. Prof. Kulišić je radio predano i intenzivno, sjećam se da je na Zavod znao dolaziti u ranim jutarnjim satima. Odlikovala ga je velika skromnost koja je prelazila u samozatajnost. Osim za znanost i nastavu živio je i za prirodu, volio je raditi u svom vrtu. Krasila ga je izuzetna energija, volio je planinariti, vrlo često je s prof. Knappom odlazio na Sljeme. Sudjelovao je i na mnogim maratonima. Živio je vrlo intenzivno kao da je slutio prerani odlazak. Nakon teške bolesti preminuo je 1995. godine u 55. godini života.

Zaključak

Prof. Petar Kulišić bio je izuzetan znanstvenik i sveučilišni nastavnik. Svojim znanjem i sposobnošću dao je veliki doprinos znanosti, no posebno treba istaknuti njegov doprinos u objavljivanju stručno-znanstvene literature. Duboko štovanje uspomeni na prof. Kulišića odaje i njegova rodna Župa dubrovačka na čijim stranicama se u popisu znamenitih osoba nalazi njegovo ime [10]. Također, Općinsko vijeće Općine Župa dubrovačka predložilo je pokretanje postupka za davanje naziva Osnovnoj školi: Škola Prof. dr. sc. Petra Kulišića [11].

Zahvala

Zahvaljujem obitelji profesora Kulišića, supruzi Agnezi i sinu Denisu na obiteljskim fotografijama i novinskim člancima.

Literatura

- [1] *Izveštaj o radu Instituta «Ruđer Bošković» 1962.*, Zagreb, Hrvatska, 1963., str. 11.
- [2] *Izveštaj o radu Instituta “Ruđer Bošković” 1963.*, Zagreb, Hrvatska, 1964., str. 22.
- [3] L. Cucančić, S. Borčić, K. Jakopčić, Z. Konrad, M. Orhanović, D. Petrović, B. Prodić, N. Šestan, V. Šips, P. Tomaš, eds. (1965), *Izveštaj o radu Instituta “Ruđer Bošković” 1964.*, Zagreb, Hrvatska, 1964., str. 117.
- [4] L. Cucančić, S. Borčić, I. Hrvoić, V. Miran, I. Pečevsky, B. Prodić, D. Stefanović, V. Šips, P. Tomaš, eds. (1966), *Izveštaj o radu Instituta “Ruđer Bošković” 1965.*, Zagreb, Hrvatska, 1966., str. 123.
- [5] L. Cucančić, B. Prodić, I. Basar, I. Hrvoić, Z. Majerski, V. Miran, I. Pečevsky, D. Stefanović, V. Šips, eds. (1967), *Izveštaj o radu Instituta “Ruđer Bošković” 1968.*, Zagreb, Hrvatska, 1968., str. 140.
- [6] F. Zado, I. Andrić, M. Eckert-Maksić, F. Jović, N. Brničević, I. Kućan, A. Ljubičić, V. Miran, eds. (1969), *Izveštaj o radu Instituta “Ruđer Bošković” 1968.*, Zagreb, Hrvatska, 1969., str. 192.
- [7] N. Bogunović, A. Brumnić, A. Dulčić, L.J. Jeftić, L. Milas, V. Miran, A. Prelec, D. Ražem, M. Tomaš, J. Tomašić, eds. (1971), *Izveštaj o radu Instituta “Ruđer Bošković” 1970.*, Zagreb, Hrvatska, 1971., str. 240.
- [8] M. Deletis, S. Hiršl, D. Kirin, V. Lopac, L. Milas, V. Miran, D. Ražem, D. Rendić, V. Topolčić, R. Trojko, M. Vuković, eds. (1972), *Izveštaj o radu Instituta “Ruđer Bošković” 1971.*, Zagreb, Hrvatska, 1972., str.222.
- [9] T. Petković (glavni urednik) FER - *Spomenica 40. obljetnica fakulteta 1956. -1996.*, FER i Element, Zagreb, Hrvatska, 1996., str. 82.-84. i str. 283.
- [10] <https://zupa-dubrovacka.hr/povijest/>, preuzeto 1. 10. 2021.
- [11] *Službeni glasnik Općine Župa dubrovačka*, broj 16., Općina Župa dubrovačka, Srebreno, Hrvatska, 24. rujna 2012., str. 6.

Lahorija Bistričić

Professor Petar Kulišić – Life and Work

Abstract: Prof. dr. sc. Petar Kulišić graduated in physics at the Faculty of Science in Zagreb in 1962. He received a Ph.D. in 1965 with a doctoral thesis in the field of experimental nuclear physics, and at the age of 25 he became the youngest scientist with PhD degree in the former state. After employment at the Department of Applied Physics of the Faculty of Electrical Engineering in Zagreb (1972), he began research in the field of solar energy, and soon became one of the leading scientists in this field. By coming to the department, he made remarkable contribution to the development of physics education through the publication of a series of university and high school physics textbooks.

Keywords: Petar Kulišić, Department of applied physics, physics education

Radoslav Galić, Miroslav Matasović, Marijan Kalea

O radu akademika Bože Udovičića 4E – energetika-ekonomija-ekologija-edukacija

Godinama smo odgajani da budemo NEŠTO
umjesto da budemo NETKO
Onaj tko smjera u Europu mora odbaciti LAKO ĆEMO

Sažetak: Akademik prof.dr.sc. Božo Udovičić posvetio je svoje djelovanje na području energetike, ekologije, ekonomije i edukacije. Suosnivač je Zagrebačke energetske škole, autor 25 znanstvenih radova, 25 knjiga i 171 stručnih radova. Osim znanstvenih djelovanja bio je prvi ministar gospodarstva u Republici Hrvatskoj i direktor u Hrvatskoj gospodarskoj komori.

Ključne riječi: Energetika, ekologija, ekonomije i edukacije, razvoj energetike i društva, edukacija

Uvod

Nije lako pisati o čovjeku i njegovom djelu ako postoji spoznaja o velikoj širini njegovog stručnog i misaonog djelovanja, jer uvijek postoji opasnost da se izostavi nešto važno i bitno.

Citiranje misli i razmišljanja iz njegovog bogatog opusa će oslikati misaoni i djelatni put Bože Udovičića - elektro inženjera, doktora znanosti, sveučilišnog profesora, znanstvenika, akademika, ekologa i humanista.

Počevši od jednostavnih inženjerskih opažanja, misli doseži rastu kroz djelovanje i prelaze granice tehnike da bi dosegli odnose čovjeka i okoline u kojoj se živi i stvara, ne ostavljajući pitanja otvorenim nego ih usmjerava u preporuke za boljitak;



Sl.1 Akademik
Božo Udovičić

- električna energija je nezamjenjiva,
- izvori energije su oskudni i prilično neravnomjerno raspoređeni,
- električna energija nema identitet svog proizvođača,
- izuzetno je i vitalno značenje elektroenergetskog sustava za razvoj i funkcioniranje nacionalne ekonomije,
- tržište električne energije i njenog regulacijskog dometa je posebno važno u osiguravanju rješavanja svih problema gospodarstva,
- tržište ne jamči da će se potražnja za električnom energijom nastaviti s kretanjem u pravom smjeru,
- proizvodni i prijenosni kapaciteti u elektroenergetskom sustavu su kapitalno intenzivni,
- kod energije je važno da ona teče po određenim zakonima (Kirchhoffovim zakonima), koji kažu da struja teče linijom manjeg otpora, pa se zbog toga električna energija ne može tretirati kao obična roba,
- rješavanje energetske probleme mora se planirati na rok od trideset godina,
- utjecaj i važnost energije se mora promatrati kao utjecajni čimbenik razvoja društva i pojedinca, kao i čimbenik koji problematizira razvoj gospodarstva i koji utječe na njega (održivi ili socijalni razvoj, struktura vlasništva, politička organiziranost, znanje, vjerovanje, umijeće, moral, etika, vladavina prava i običaji), što se preslikava na okolinu,
- čovjeka treba analizirati kao savršeno biološko, sociološko i kulturno biće u prirodi, ali se mora i analizirati kako ta složenost od čovjeka traži veliku odgovornost, kontrolu ponašanja i međusobnog razumijevanja: a iz takove analize treba stvoriti osnovu za ocjenu:
 - povezanosti liberalnog kapitalizma s mitom, korupcijom, kriminalom i terorizmom,
 - ovisnosti razvoja o tehnologiji u kontekstu stanja pojedinog društva, o konceptu „održivog razvoja”, te važnosti zaštite okoliša,
 - povezanosti politike vladanja i ideologije, načine vladanja, što se treba podrazumijevati pod demokracijom.

Iz takovog, naoko, jednostavnog pristupa generirao se opus od 25 originalnih znanstvenih radova, 21 knjige i 171 stručnog rada uz veliki broj i drugih objava, a sve to odražava kod Bože Udovičića smjer djelovanja - od šturih tehničkih postulata do prelaza okvira pukog rješavanja tehničkih problema i dolazaka na probleme povezane

s problemima gospodarstva, ekonomije, implikacija na ekologiju i društvo da bi u konačnici sagledavao društvo, čovjeka sa svim svojim dobrim i lošim osobinama, dodajući kritiku vremena u kojem živimo ali ne prazne kritike nego kritike usmjerene cilju sagledavanja problema i usmjerenju ispravljanja grešaka radi poboljšavanja *Čovjeka* kao jedinog nositelja života kojeg živimo i kojeg ostavljamo generacijama koje nas nasljeđuju.

2. Životopis

Za životni put B Udovičića može se reći da je krenuo iz velike skromnosti ali je s velikim vlastitim osobnostima i marljivošću dosegnuo „zvijezde“.

Dovoljno je pogledati njegov životopis¹ i pregled objava² da se sagleda sveobuhvatnost njegova života i djelovanja. Ostaje jedno retoričko pitanje otvoreno – kada je sve to stigao! Stoga će pažnja biti usmjerena na pregledni prikaz njegovog znanstvenog i stručnog djelovanja s osvrtom na djelovanje izvan struke.

3. Znanstveni i stručni rad akademika Bože Udovičića

Prikaz znanstvenog i stručnog rada i djelovanja na tehničkom području akademika B. Udovičića opširno je obrađen u radu „Razvitak elektroenergetike u Hrvatskoj – rad i postignuća akademika Bože Udovičića“³, povodom obilježavanja 150 godina djelovanja HAZU-a (1861. – 2011.), dijelovi kojega su prenešeni u tekst ovog članka.

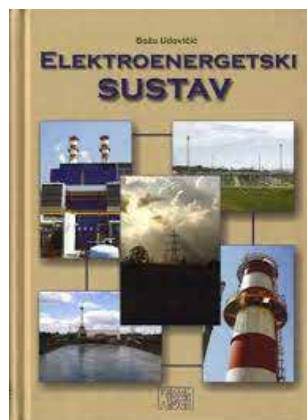
3.1 Temeljna područja rada akademika Bože Udovičića - elektroenergetika i energetika

Temeljna su područja rada akademika Bože Udovičića elektroenergetika i energetika. Osobito su značajni njegovi znanstveni rezultati na razradi i razvoju vlastitih modela za planiranje razvitka energetske sustava, uvođenju ekonomskih zakonitosti u energetske analize i cjelokupnom sagledavanju utjecaja energetike na okoliš. Svojim je radovima akademik Udovičić postigao visoki znanstvenostručni ugled u nas na područjima kompleksne energetike i elektroenergetskih sustava te, kao prvi

¹ Životopis – prilog 1.

² Pregled objavljenih radova – prilog 2

³ Radoslav Galić, Marijan Kalea, „Razvitak elektroenergetike u Hrvatskoj – rad i postignuća akademika Bože Udovičića“



Sl. 2. Naslovnica knjige
Elektroenergetski sustav

suradnik i nasljednik profesora i akademika Hrvoja Požara, suosnivač je u svijetu poznate Zagrebačke energetske škole. Udovičić je također prvi u nas znanstveno sagledao ukupnost ekoloških problema vezanih za energetiku uz sustavnu analizu energetske uzrokovanih posljedica zagađenja i mogućnosti očuvanja okoliša; pritom zastupa tezu da budući tehnološki razvitak mora ujedno biti i ekološki razvitak.

Kronološki sažetak znanstveno-stručnih tema akademika Udovičića bio bi –

razvitak i primjena metoda koje se odnose na analizu prilika u elektroenergetskom i energetsom sustavu, s naglaskom na sustav s visokim sadržajem hidro-proizvodnje, dakle: aproksimacija dnevnog dijagrama trajanja opterećenja elektroenergetskog sustava pomoću jednog, dva ili tri pravca - radi omogućavanja jednostavnije matematske obrade tih dijagrama;

- uvođenje tjedna kao temeljne vremenske jedinice umjesto dotadašnjeg mjeseca za točnije elektroenergetske analize u okviru metode konstantne i varijabilne energije profesora Požara;
- određivanje gubitaka energije ovisno o protoku električne energije umjesto dotadašnjeg sagledavanja samo gubitaka snage ovisno o protoku snage u nekim izabranim trenucima;
- uvođenje kompleksnijih metoda za predviđanja potrošnje električne energije - scenarijski umjesto dotadašnjeg eksponencijalnog pristupa;
- određivanje korištenja volumena akumulacijskih bazena hidroelektrana i uklapanje u elektroenergetski sustav crpno-akumulacijskih hidroelektrana s analizom opravdanosti gradnje crpno-akumulacijskih hidroelektrana;
- optimiranje i rad parcijalnih sustava kao dijelova elektroenergetskog sustava nasuprot hegemonističkom nastojanju da se energetika upotrijebi za ovladavanje ekonomskim i političkim sustavom u Jugoslaviji;
- metodologije izrade dugoročne elektroenergetske bilance radi dugoročnog sagledavanja mjesta i uloge pojedine elektrane u elektroenergetskom sustavu;
- energetska-ekonomska vrijednost elektrane kao mjera stvarnog doprinosa svake elektrane elektroenergetskom sustavu;

- pristupi i metode za moderni tarifni sustav radi usklađivanja kupčeva plaćanja i troškova koje izaziva svaki kupac u elektroenergetskom sustavu te usmjeravanja navika kupaca;
- uvođenje suvremene raspodjele opterećenja (dispečinga) u elektroenergetskom sustavu radi postizanja minimuma troškova u sustavu;
- počeci rada na širenju misli o važnosti energetike u razvitku društva i stvaranju Zagrebačke energetske škole;
- vlastiti modeli za planiranje razvitka energetskog sustava radi dugoročnog, srednjoročnog i kratkoročnog sagledavanja energetske tokove od izvora prirodnih oblika do korisnih oblika energije i izbora najpovoljnijeg scenarija;
- uvođenje ekonomskih zakonitosti u energetske analize kao odlučujuće u izboru najpovoljnijih rješenja uz naglašavanje odnosa cijena pojedinih energenata kao važnog čimbenika;
- cjelokupno sagledavanje utjecaja energetike na okoliš čime je zaokružen moderni pogled na nedjeljivi kompleks „tri E“: energetika-ekonomija-ekologija i dopunjavanja prema Udovičiću – četvrtim “E”, edukacija.

3.2 Elektroenergetski sustav

Akademik Udovičić u svojoj knjizi Elektroenergetski sustav (2005.), slika 2., najprije stavlja u neizbježan i neraskidiv kontekst svekolikog energetskog sustava, u kojemu je elektro-energetski sustav najkompleksniji, a danas i najvažniji dio. Naime, danas se preko 15% finalne energije predaje potrošačima u električnom obliku ili gotovo 40% svekolike primarne energije svijeta preobražava se najprije u električnu energiju pa se tek u tom obliku koristi.

Osnovna je Udovičićeva teza: težnja prema što je moguće manjoj potrošnji energije za ostvarenje jednake koristi uz što razumnije opterećenje okoliša pri tome.

Iznosi se pregled i opisuju svojstva pojedinih obnovljivih i neobnovljivih (iscrpljivih) prirodnih oblika energije, od najranije korištenih: ugljena, nafte i plina, vodnih snaga i geotermalne energije, preko nuklearnog fisijskog goriva do najsuvremenije korištenih: biomase, biogoriva i bioplina, vjetra, sunčeva zračenja ili tek potencijalno pred ozbiljnim korištenjem: plime i oseke, morskih struja i valova te topline ocean-skih voda.

Opširnije se raspravlja o osobitim obilježjima električne energije i o elektro-energetskom sustavu – dakle o sustavu proizvodnje, prijenosa, distribucije i potrošnje električne energije. Važna je osobina električne energije – da je u okvirima ukupne

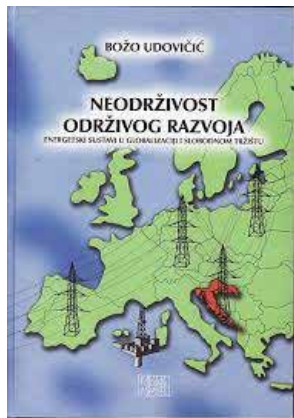
potrošnje vrlo mala mogućnost skladištenja – što ima nebrojene reperkusije na elektroenergetski sustav, koji mora biti oblikovan tako da udovolji tom svojstvu električne energije.

Po svojoj se strukturi elektro-energetski sustav u užem smislu sastoji od elektrana i mreža te se najprije daju osnovna svojstva i osnovni problemi pri korištenju električnih prijenosnih i distribucijskih mreža.

Zatim se daje uravnoteženi pregled konvencionalnih i nekonvencionalnih, ali tehnno-ekonomsko -ekološki prihvatljivih izvora električne energije te razvojni dosezi na primjeni fuzijskih reaktora i na rješavanju neposrednih pretvorba pojedinih oblika energije u električnu energiju.

3.3 Neodrživost održivog razvoja

Kolikogod iz naslova knjige Neodrživost održivog razvoja (2004.), slika 3., proizlazi i nešto drugo, ta se knjiga ponajprije bavi našim (hrvatskim) brigama oko uključenja u svjetske, globalizacijske i tržišne procese s konkretizacijom na toliko aktualno približavanje Europskoj uniji, za što su, prema Udovičiću, važne promjene, zapravo preokret u građenju novog sustava vrijednosti. Dakle, mijenjanje svjetonazora, načina mišljenja i ponašanja te otvaranje procesa promjena glavnih struktura moći u društvu, koje ne korrespondiraju s civilizacijskim stečevinama i potrebama vremena.



Sl.3. Naslovnica knjige *Neodrživost održivog razvoja*

Naravno, izloženo je to ponajprije na primjeru energije i energetike, ali knjiga daleko premašuje samo taj okvir. Naglašenijim energetske pristupom akademik Udovičić upotpunjuje desetak knjiga iz toga, ipak temeljnog, područja svoga interesa.

Od svojih prvih knjiga u kojima je razradio zao-kruženi sustav gledanja na energetiku (izdanih u razdoblju 1983. – 1993.), ali u nešto užem kontekstu, do novijih knjiga u kojima raspravlja o energetici, ali u najširem, rekli bismo najzrelijem, kontekstu.

Knjiga je pisana iznimno razumljivim jezikom, ali je kondenzirana. Uvodna poglavlja predstavljaju abecedu energetike koju bi trebao znati svatko tko se želi uključivati u rasprave o energetici. Tu su iznesena Udovičićeva gledanja na svekoliki razvitak i ulogu energije u tome te utjecaj zaštite okoliša i globalizacije na razvitak. Nešto detaljnije iznesena su gledanja na osobitosti energetskeg razvitka u tržišnim uvjetima te na pitanja cijena i tarifnih sustava. Osobitu pozornost autor je posvetio specifičnosti

elektroenergetskog tržišta i donekle tržišta plina, jer ti oblici energije predstavljaju najplemenitije energente i protežu se do kupaca svojstvenim mrežama za koje vrijede specifična pravila.

Te oblike energije ne smijemo promatrati kao općenite oblike (bilo kakvih) roba na tržištu. Vrlo temeljito opisane su i obrazložene te osobitosti. Uz takva opća razmatranja, u završnim se poglavljima autor okreće Hrvatskoj te energetskim i nacionalnim interesima Hrvatske u Europi, odnosno Europskoj uniji.

3.4 Kriza se produbljuje

U ekološkoj krizi, s kojom se civilizacija danas suočava, u pitanju je sama sposobnost Zemlje da održi razvijene forme života, smatra Udovičić u knjizi *Kriza se produbljuje* (2008.), slika 4. Kriza se oblikuje golemim povećanjem zagađenja zraka i vode; sve većom akumulacijom otpadaka koji se ne rastvaraju, olovnog taloga, pesticidnih ostataka i otrovnih dodataka u hrani; ekspanzijom gradova u široke urbane pojase; povećanim stresom zbog prenapučenosti, buke i življenja u masi; neodgovornim trošenjem prirodnih dobara, sjećom šuma... Iz navedenoga slijedi da suvremeno društvo uništava sve što se vjekovima stvorilo organskom evolucijom. Ako se taj proces ne zaustavi, Zemlja može biti reducirana na razinu biološko-tehničke jednostavnosti na kojoj se čovječanstvo (koje ovisi o hrani na tlu i u vodi) neće više moći dugo održati kao vrsta sposobna za život.

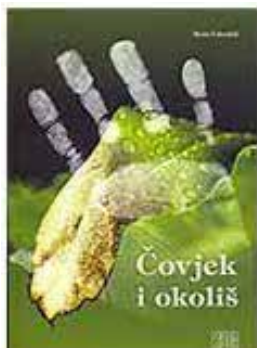


Sl.4. Naslovnica knjige *Kriza se produbljuje*

To vrijeme ovisit će u mnogome o spremnosti čovjeka za poduzimanje radikalnijih mjera u planovima razvitka za očuvanje okoliša. Znatan dio moći će se riješiti novim tehnologijama, a drugi dio mora se riješiti promjenama u shvaćanju i poimanju čovjeka o mogućnosti i potrebi življenja svih ljudi na Zemlji.

3.5 Čovjek i okoliš

Nakon svoje prve knjige na temu energetike i ekologije, „Energija i okolina“ (1989.), akademik Udovičić piše (dvadeset godina kasnije) novu knjigu: *Čovjek i okoliš* (2009.), slika 5. Polazeći od spoznaje nastanka Zemlje i života na njoj, kao i održanja razvoja flore i faune do današnjih dana, akademik nas uvodi u to da su održanje i razvoj flore i faune uvjetovani postojanjem atmosfere i korištenjem energije. Ta uska povezanost, isprepletenost utjecaja između okoliša i pridobivanja, pretvorbe i korište-



Sl. 5. Naslovnica knjige
Čovjek i okoliš

nja energije, opisana je u ovoj knjizi interdisciplinarno: od filozofije života preko društvenih kretanja i stremljenja, do praktičnih tehničko-tehnoloških rješenja.

Svako se društvo, bilo da je riječ o društvu po etničkoj ili prostornoj pripadnosti, želi razvijati i živjeti višim standardom. Ta želja može biti opravdana samo do one granice do koje ne postaje sama sebi protivna. Naime, svaki razvoj i svako povećanje standarda traži i troši više energije i stvara sve više različitog otpada, a veća potrošnja energije i veće količine otpada na različite načine zagađuju okoliš. To zagađenje može biti i fatalno za razvoj društva ako se ne uvažava neophodni (dovoljni) zahtjevi očuvanja okoliša. Poznata je uloga kisika i ozona za život i klimu na Zemlji. Pridobivanjem, pretvorbama i korištenjem (u industriji, transportu, širokoj potrošnji i poljoprivredi) energije troši se kisik i stvaraju se zagađivači okoliša (ugljikov monoksid i dioksid, sumporov dioksid, dušikovi oksidi i dr.) koji remete ravnotežu u okolišu

U knjizi su, ovisno o razvoju, prikazana moguća zagađenja zraka, vode, tla, stvaranja buke i vibracija te mijenjanje izgleda okoliša.

Djelovanje i utjecaj u energetici Slavonije, Slavonac po osnovnom i srednjoškolskom obrazovanju, akademik Udovičić osobno je sudjelovao i u nizu znanstveno-istraživačkih i stručnih aktivnosti glede energetike na području slavonsko-baranjske regije. Osim niza održanih stručnih predavanja u više slavonskih gradova te sudjelovanja na stručnim skupovima i okruglim stolovima, akademik Udovičić sudjelovao je 1979. u izradi studije *Razvoj elektroenergetike u Slavoniji i Baranji do 2000. godine* [24] te je konzultant (2003. – 2007.) na znanstvenim projektima Elektrotehničkog fakulteta Osijek o učinkovitosti korištenja energije [25, 26]. Ovdje treba svakako ukazati i na znanstveno-nastavni rad akademika Udovičića na Elektrotehničkom fakultetu Osijek gdje je više godina držao predavanja te bio mentor ili član povjerenstava za diplomске radove i doktorske disertacije [1].

4. Djelovanje u društvu

Posvećujući se stručnom radu, koji otkriva kompleksnost energije i njezine implikacije na okolinu i društvo, najbolje se ilustrira ideja - **4E**: - **E**nergetika-**E**konomija-**E**kologija-**E**dukacijom, koja karakterizira i osvjetljava cjelokupni rad Bože Udovičića.

Akademik Udovičić se intenzivno povezuje s intelektualnim zbivanjima u okolini, prepoznajući značaj i odraz djelovanja te okoline na zbivanja u društvu (kardinal F. Kuharić, I. Supek, don Sbutega, don I. Grubišić ili dr.sc. Dušan Bilandžić ili nije zanemario i male ljude kao što je Ankica Lepej) ne opterećujući se njihovim osobnim svjetonazorima i koji mu nisu bili prepreka u razmjeni i iznošenju stavova i mišljenja, te prenoseći to u svoje knjige i rasprave.

U najdelikatnijim trenucima Domovinskog rata preuzima odgovornost ministra gospodarstva. Iako se znamo (M. Matasović) iz srednjoškolskih dana, vremena provedenog na fakultetu i kasnije kao suradnici u *Hrvatskoj gospodarskoj komori* (HGK), malo znam o tom dijelu njegovog djelovanja, jer nije želio govoriti o vremenu i teškoćama s kojima se sretao, no dolaskom u HGK pokrenuo je aktivnosti realizacije problema koji su se iskristalizirali u području kojim se bavio – energija, ekologije, sustavi upravljanja kvalitetom. Tkogod je radio u gospodarstvu u to vrijeme osvjedočen je koliko su teška bila ta vremena – institucije nedefinirane, osobni interesi ogromni, nedostatak sustavnog djelovanja i drugo. B. Udovičić shvaćajući ulogu *Komore* kao medijatora između izvršne vlasti, institucija i gospodarstva pokreće, kroz *Sektora za energetiku i industriju HGK*, aktivnosti posebno na području ekologije i sustava upravljanja kvalitetom, osjećajući da na tim područjima nema sustavnog rada i da to treba osnažiti i pokretati. Paralelno s tim započinje i objavljivanje knjiga u kojima ukazuje na neprofiliranost društva u novo nastalom društveno-političkom okruženju. Jasno iskazuje da sve što je nastalo u bivšem sustavu nije loše (posebno dosezi tehničkih rješenja i uređenosti dijelova infrastrukture) ali i na cilj koji si je zemlja postavila – ulazak u Europsku zajednicu, naglašavajući da će biti potrebno mnogo toga mijenjati u mentalitetu ljudi (koji su pritisnuti osobnim interesima, nejasnim odnosom prema vlasti – „pošteno je prevariti Turčina“, do onog „lako ćemo“).

Upravo iz stalnog i cjelovitog uključenja u gospodarstvo, ne institucije, nastao je cijeli niz knjiga, (dovoljno je pogledati popis objava nakon 1990.- prilog 2.) iz kojih se vidi s kolikim je žarom i voljom Božo Udovičić nastojao ukazati na manjkavosti i njihovo uklanjanje, ali se nije odmaknuo od prikaza svojeg viđenje puta za popravak i oporavak.

Zaključak

Znanstveni i stručni rad Bože Udovičića su elektroenergetika i energetika, čiju fenomenologiju i primjenu, kao i probleme koji se mogu javiti i riješiti, poznaje dubinski, pa je sa svojim časnim prethodnikom akademikom Hrvojem Požarom suosnivač u svijetu poznate Zagrebačke energetske škole.

Svjestan da unaprijed nema rješenja u energetske sustavima, nego je potreba kontinuirani i sustavni rad u pronalaženju najmanje štetnih rješenja u ekološkom smislu ne zanemarujući ekonomska i druga rješenja – drugim riječima Božo Udovičić smatra da je potrebno sustavnim radom pronalaziti optimalna rješenja za razvitak energije, zaštita okoliša, potrošnje energije u budućnosti, stabilno i uređeno energetske tržište, kontrolirani i nadzirani ulazak u slobodno tržište, posebno u okviru globalizacije.

Pritom društvo/država mora imati održivu strategiju, ne dopuštajući stihiju kapitalizma pod svaku cijenu.

I za kraj nekoliko misli iz knjige „Križa se produbljuje“:

- Razvoj političkih, ekonomskih i socijalnih kompleksnosti pospješuje razvoj individualnosti, a on se pak potvrđuje u pravima čovjeka i građanina; ovaj time ostvaruje svoje egzistencijalne slobode. Tehničko-industrijski razvoj teži ukidanju mnogih ljudskih, etničkih i kulturnih raznolikosti. Sam razvoj stvorio je više problema nego što ih je riješio i doveo je do duboke civilizacijske krize koja ugrožava razvijena društva Zapada. ...

- Shvaćen isključivo na tehničko-ekonomski način, razvoj je na koncu konca neodrživ, čak unatoč svom trajnom karakteru. Potreban nam je drugačiji, bogatiji i kompleksniji pojam razvoja koji ne bi bio samo materijalan, nego također i intelektualan, afektivan, moralan ...

- Čovjek mora prihvatiti ne samo odgovornost za prirodu te za život i budućnost prirode, nego i za ono što još ne postoji. Moralni je imperativ da naše djelovanje u sadašnjosti bude takvo da svojim učincima ne razori buduću mogućnost života, da ne upropastimo svijet i solidarnost ljudi s njim. ...Nova etika više nije utilitarna, ona nadilazi egoizam kapitala, generacija, nacija, država i općenito ljudskog roga i izražava jedan novi stupanj univerzalizma. ...

- Mehanizmi čistog razvitka trebaju biti dio energetske planiranja, ...velikom izgradnjom nuklearnih elektrana u kombinaciji s nekonvencionalnim izvorima energije (vjetar, geotermalna energija, energija sunčeva zračenja, biomasa i drugi). Važno je prihvatiti da je učinkovito smanjenje globalnog zatopljenja odgovornost svih građana

na kao i energetske kompanije i vlada. ...

- No većina rješenja ponuđenih za rješavanje svjetske krize nepraktična, jer ona proizlaze iz istog pogleda na svijet koji je uzrokovao probleme. Zbog toga ništa osim promjene našeg pogleda na svijet i njegova razumijevanja ne može proizvesti pravu, značajnu i trajnu promjenu ... Dakle, poželjno je smanjiti egoizam i pohlepu za velikim profitom, što može postići stalnim i dugotrajnim odgojem i obrazovanjem ... odgoj je „snaga budućnosti“

Iako knjigu završava: Kriza se produbljuje – B. Udovičić ostaje optimist i očekujemo nova razmišljanja i prijedloge za poboljšavanje...

Prilog I. Životopis

Akademik prof.dr.sc. Božo Udovičić, dipl. ing.

26. 9.1933. Rodio se u Rašeljama (Tomislavgrad)
1946. Završio osnovnu školu u Jakšiću (Požega)
1954. Završio gimnaziju u Požegi
1959. Diplomirao na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu
1959. Zaposlio se u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu
1962. - zamjenik šefa Grupe za elektroenergetske sisteme
1964. - šef Grupe za elektroenergetske sisteme
1990. Ministar energetike i industrije u prvoj i drugoj Vladi RH
1991. Direktor Sektora za energetiku i industriju u Hrvatskoj gospodarskoj komori
1993. Predsjednik – Znanstveno vijeće za energetiku
1995. Direktor Sektora za energetiku, zaštitu okoliša i sustav kvalitete u HGK
1998. Umirovljen

Akadska karijera

1974. Doktorirao na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu
1977. Predaje na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu (FESB)
1978. - izvanredni profesor na FESB-u
1980. Predaje na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu
- redoviti profesor
1983. Redoviti profesor na FESB-u
1996. Predaje na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku
1997. Redoviti član HAZU-a
1999. - zamjenika tajnika Tehničkog razreda HAZU
2000. Zaposlen na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku
2002. Prestao s predavanjima na FESB-u u Splitu
2003. Prestao s predavanjima na FER-u u Zagrebu i FERIT-u u Osijeku

Akaderske titule:

1974.	doktor znanosti
1997.	akademik; redoviti član – IX razred za tehničke znanosti
1993. – 2016.	predsjednik – Znanstveno vijeće za energetiku
1999. – 2003.	zamjenik tajnika – Razred za tehničke znanosti

Fakulteti:

Elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu
Elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Splitu
Elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija,
Sveučilište u Osijeku

Funkcije i članstvo:

Tajnik Elektrotehničkog društva Zagreb; član stručne grupe Izvršnog vijeća za pitanja razvoja energetike; član jugoslavenske delegacije u Stalnoj komisiji SEV-a za električnu energiju i opća pitanja energetike; član jugoslavenske delegacije u Stalnoj komisiji SEV-a za električnu energiju u Sekciji za znanstveno-istraživački rad; član RSIZ-ove Komisije za nagrade i društvena priznanja iz područja tehničkih znanosti; član Međunarodne konferencije CIGRE u Parizu; član predsjedništva Jugoslavenskog komiteta svjetske konferencije za energiju; predsjednik Studijskog komiteta za planiranje razvoja CIGRE; član Matične komisije za područje elektrotehnike i računarstva Zajednice sveučilišta Hrvatske; član Upravnog odbora zavičajnog kluba «Požega»; član Upravnog odbora «Plive»; član Upravnog odbora Hrvatske banke za obnovu i razvitak; član Upravnog i Nadzornog odbora Hrvatske elektroprivrede; predsjednik Nadzornog odbora ATM-a; član Upravnog odbora SIEMENS-a; predsjednik Upravnog odbora Valjaonice čelika u Kumrovcu; član Upravnog i Nadzornog odbora «Končara»; predsjednik rukometnog kluba «Medveščak»; predsjednik Nadzornog odbora «Metroholdinga»; član savjeta Gradske organizacije SDP-a Zagreba; član Programskog savjeta RTV-a za znanost, obrazovanje i kulturu; ekspert u Ministarstvu znanosti za znanstveni rad R.H.; član Nacionalnog komiteta za zaštitu prirodne i kulturne baštine; predsjednik Nadzornog odbora „Infosistema“; član Upravnog vijeća Zaklade „Partner banke“; član Stručnog savjeta časopisa „Zaštita potrošača“; Predsjednik uređivačkog odbora časopisa „Elektroenergetika“, predsjednik Znanstvenog vijeća za energetiku HAZU-a

Nagrade:

- 1975. Nagrada Nikola Tesla,
- 1988. Nagrada grada Zagreba,
- 1994. Nagrada Josip Juraj Strossmayer,
- 1995. Nagrada Hrvoje Požar

Odlikovanja:

- 1978. Orden rada sa zlatnim vijencem
- 1992. Spomenica Domovinskog rata
- 1995. Red hrvatskog trolista
- 1998. Red Danice hrvatske s likom Blaža Lorkovića
- 2003. Počasni građanin Požege
- 2005. Počasni građanin općine Jakšić)

Plakete i priznanja (najvažnije):

Priznanje Saveza rezervnih vojnih starješina,(1984.), Priznanje “Elektroslavonije” Osijek,(1986.), Plaketa JUKO CIGRE (Jugoslavenskog komiteta međunarodne konferencije za velike mreže), (1990.), Počasni član EDZ Zagreb, (1996.), Priznanje Hrvatskog društva za promociju mikroelektronike i informatike (MIPRO), (1997.), Priznanje Hrvatskog komiteta CIGRE (2001.)

Prilog 2.

Pregled objavljenih radova

Znanstveni radovi

- Udovičić: Aproksimacija dnevne krivulje trajanja opterećenja, *Energija*, br. 11-12, 1961. (374-378) .
- Vuletić-Udovičić: Paralelni rad transformatora koji ne ispunjavaju uvjete za takav rad, *Energija*, br. 5-6 i 7-8, 1962.
- Udovičić: Vrijednost gubitaka u nekim vodovima elektroenergetskog sistema Jugoslavije, *Energija*, br. 5-6, 1964.
- Požar-Udovičić: Die installierte Leistung eines Wasserkraftwerkes – als Funktion seiner Kennwerke und der Entwicklung des Verbundsystems, *Oze* 26 (1973)
- Udovičić: Optimizacija elektroenergetskog sistema , *Energija*, br. 7-8, 1973.
- Požar-Mandić-Udovičić: Struktura termoelektrana u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije u daljoj budućnosti, *Energija*, br. 11-12, 1975.
- Udovičić-Alerić: Usporedba koncepcije energetskog iskorištavanja jednog vodotoka, *Energija*, br. 3-4, 1977.
- Požar-Udovičić-Granić: Neki aspekti opskrbe SR Hrvatske električnom energijom, *Energija*, br. 9-10, 1978.
- Udovičić: Mogući razvoj potrošnje i proizvodnje električne energije u Hrvatskoj, *Elektrotehnika*, br. 3-4, 1979.
- Požar-Udovičić-Alerić: Energetska vrijednost energije i snage hidroelektrana , *Energija* br. 5-6, 1979.
- Udovičić: Potrebe i mogućnosti izgradnje elektrana u Hrvatskoj za podmirenje potrošnje električne energije u budućnosti, *Energija*, br. 5-6, 1979.
- Udovičić: Energetski trenutak SR Hrvatske , *Stručni časopis "D. Đaković"*, br. 2, 1982.
- Udovičić: Mogućnosti i potrebe optimalne izgradnje elektrana u elektroenergetskom sustavu Hrvatske do 2000. g. , *Energija*, br. 6, 1983.
- Udovičić: Potrebna izgradnja serije nuklearnih elektrana u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije do 2010. g., *"Nuklearna tehnologija"*, br. 1, 1985.
- Udovičić: Energija – preduvjet razvoja društva , "Naše teme", br. 7-9, 1985.
- Granić-Udovičić: Stohastički pristup predviđanju potrošnje električne energije, *Energija*, br. 4, 1985.
- Udovičić: Problemi planiranja razvoja elektroprivrede i njenog povezivanja sa strojogradnjom, *"Naše teme"*, br. 5-6, 1986.
- Udovičić: Mogući efekti optimizacije razvoja elektro-energetskog sistema Jugoslavije, *Monografija "Energija i razvoja"*, Beograd, 1986.
- Udovičić: Dileme, energetske bilance, *"Čovjek i životna sredina"*, br. 3, 1986.
- Udovičić-Pešut-Vuk: Planiranje razvoja energetskog sistema; *Energija*, br. 5, 1988.
- Udovičić: Energija – preduvjet razvoja, *Vjesnika HAZU: 1-3/93. (100-124)*25.
- Udovičić: Čovječanstvo između razvoja i okoliša, *Ambalaža*, 1997.
- Udovičić: Mogućnosti i potrebe razvoja energetike R H; Časopis ekonomista sveučilišta u Rijeci, 1999.
- Udovičić: Sa slobodnim tržištem električne energije – oprezno; *Energija*, br. 2, 2001.

Udovičić: Elektroenergetska situacija Republike Hrvatske; *Elektroenergetika*, br. 2, 2005.

Autorske knjige

Udovičić: Neka poboljšanja metode konstantne i varijabilne energije za elektroenergetske analize, *Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1974.*

Udovičić: Elektroenergetika, Školska knjiga, Zagreb, 1983.

Udovičić: Energetski resursi i razvoj energetike u Hrvatskoj, (*u knjizi: Razvoj elektrifikacije Hrvatske, II. dio*), Zagreb, 1985.

Udovičić: Energija i izvori energije, *Građevinska knjiga, Beograd, 1988.*

Udovičić: Energetske pretvorbe i bilance, *Građevinska knjiga, Beograd, 1988.*

Udovičić: Energija i društvo, *Građevinska knjiga, Beograd, 1988.*

Udovičić: Energija i okolina, *Građevinska knjiga, Beograd, 1989.* Energetika, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

Udovičić: Razvitak i energetika, *Inačica, Zagreb, 1998.*

Udovičić: Statisti u demokraciji: Čitanka za buduću povijest, *Jesenski i Turk, Zagreb, 1999.*

Udovičić: Moralna praznina u Hrvatskoj, *Vlastita naklada, Zagreb, 2001.*

Udovičić: Energetika i okoliš u globalizaciji, *Vlastita naklada, Zagreb, 2002.*

Udovičić: Development and energy (*prijevod s hrvatskog*), Zagreb, 2000.

Udovičić: Neodrživost održivog razvoja, *Kigen, Zagreb, 2004.*

Udovičić: Elektroenergetski sustav, *Kigen, Zagreb, 2005.*

Udovičić: Pad umjesto uspona – statisti u demokraciji (II dio), *Kigen, Zagreb, 2006.*

Udovičić: Nastojao sam biti ... , *Kigen, Zagreb, 2007.*

Udovičić: Kriza se produbljuje, *Kigen, Zagreb, 2008.*

Udovičić: Čovjek i okoliš, *Kigen, Zagreb, 2009.*

Udovičić: Četiri jahača hrvatske apokalipse, *Kigen, Zagreb, 2011.*

Udovičić: Čovjek, društvo i razvoj, *HAZU, Zagreb, 2016*

Koautorske knjige

Udovičić : Razvoj elektrifikacije Hrvatske, *IEZ, Zagreb 1987.*

Udovičić : Hrvatska, Prilozi za strategiju razvoja, *HAZU, Zagreb, 1994.*

Udovičić : Hrvatska, Prilozi za strategiju razvoja – ENERGETIKA, *HAZU, Zagreb, 1996.*

Udovičić : Hrvatska agenda 2000., *Europski dom Zagreb, 2004.*

Udovičić: Aktualni problemi prirodnih znanosti i obrazovanja – stanje, perspektive i prijedlozi, *HAZU, Zagreb, 2001.*

Udovičić: Hrvoje Požar: velikan energetike i moderne sveučilišne nastave, *Energetski institut «Hrvoje Požar», Zagreb, 2003.*

Udovičić: Deklaracija o znanju – Hrvatska temeljena na znanju i primjeni znanja, *HAZU, Zagreb, 2004.*

Stručni tekstovi

Kratica: IZE – Institut za elektroprivredu

Požar-Udovičić: Usmjeravanje studija, istražnih radova i izgradnja elektroenergetskih objekata na području SR Hrvatske, *IEZ, 1961.*

Požar-Udovičić: Razvoj potrošnje električne energije u daljnjoj budućnosti, *IEZ, 1961.*

Udovičić: Aproksimacija dnevne krivulje trajanja opterećenja trima pravcima, *IEZ, 1961.*

Požar-Udovičić: Neki podaci za korištenje hidroelektrana na slivu Cetine, *IEZ, 1962.*

Požar-Udovičić: Tokovi energije među područjima Jugoslavije u 1980. godini, *IEZ, 1962.*

Požar-Udovičić: Eksploatacija hidroelektrane Gojak, *IEZ, 1962.*

Udovičić: Ovisnost opterećenja termoelektrana o postotku hidroenergije u sistemu, *IEZ, 1962.*

Udovičić: Optimalno vrijeme stupanja u pogon nove hidroelektrane u ovisnosti o razvoju konzuma, *IEZ, 1962.*

Udovičić: Moguća proizvodnja HE Orlovac s utjecajem na hidroelektrane na Cetini, *IEZ, 1963.*

Požar-Udovičić: Elektroenergetski odnosi u sistemu Jugoslavije 1965-1968. godine, *IEZ, 1964.*

Požar-Udovičić: Vrijednost gubitaka prijenosa u elektroenergetskom sistemu, *IEZ, 1964.)*

Udovičić: Elektroenergetske podloge za superponiranu mrežu Jugoslavije u 1968. godini, *IEZ, 1964.*

Požar-Udovičić: Problem veličine agregata u termoelektranama elektroenergetskog sistema Jugoslavije
IEZ, 1965.

Požar-Keglević-Udovičić: Uloga HE Trnovo u opskrbi SR Slovenije električnom energijom, *IEZ, 1965.*

Požar-Udovičić-Keglević: Redoslijed izgradnje elektrana u SR Hrvatskoj, *IEZ, 1966.*

Požar-Udovičić: Valorizacija snage i energije elektrana kao osnova za raspodjelu ukupnog prihoda elektroenergetskog sistema Srbije, *IEZ, 1967.*

Požar-Udovičić: Valorizacija snage i energije elektrana kao osnova za raspodjelu ukupnog prihoda parcijalnog sistema regije Rijeke, *IEZ, 1967.*

Požar-Udovičić: Valorizacija energije razmjene između parcijalnih sistema, *IEZ, 1967.*

Požar-Udovičić: Valorizacija snage i energije elektrana kao osnova za raspodjelu prihoda sistema, *IEZ, 1967.*

Požar-Udovičić: Valorizacija elektrana za određivanje redoslijeda izgradnje, *IEZ, 1967.*

Požar-Udovičić: Uklapanje nuklearne elektrane u elektroenergetski sistem SRH, *IEZ, 1968.*

Požar-Udovičić: Usporedba mogućnosti proizvodnje HE Orlovac s dva i tri agregata *IEZ, 1968.*

Požar-Udovičić: Pogon turbinskog-pumpnog postrojenja Buško Blato, *IEZ, 1968.*

Požar-Udovičić: Raspodjela prihoda u elektroenergetskom sistemu BiH, *IEZ, 1969.*

Požar-Udovičić: Utjecaj načina korištenja akumulacija na energetske vrijednosti akumulacionih hidroelektrana, *IEZ, 1969.*

Požar-Udovičić: Opravdanost povećanja akumulacija za HE Senj i redoslijed izgradnje akumulacionih bazena u slivu rijeke Like, *IEZ, 1969.*

Požar-Udovičić-Bodlović: Studija optimalne strukture izgradnje nuklearnih i drugih energetske objekata u zapadnom dijelu SFRJ, *IEZ, 1970.*

- Požar-Udovičić-Bodlović-Alerić: Energetsko-ekonomski odnosi velikih potrošača i udružene elektroprivrede u narednom periodu s prijedlogom konkretnih mjera, *IEZ*, 1970.
- Požar-Bodlović-Udovičić: Utjecaj veličine agregata na sigurnost opskrbe potrošača u zapadnom dijelu Jugoslavije (I. dio), *IEZ*, 1970.
- Požar-Udovičić-Bodlović: Utjecaj instalirane snage na energetske vrijednosti hidroelektrane, *IEZ*, 1971.
- Požar-Udovičić-Keglević: Optimalni volumen akumulacije i optimalna veličina izgradnje hidroelektrana *IEZ*, 1972.
- Požar-Alerić-Udovičić: Osnovne karakteristike hidroelektrana Jugoslavije, *IEZ*, 1972.
- Udovičić: Uklapanje toplinskog bloka 125/135 MW u elektroenergetski sistem SR Hrvatske uz zapadni toplinski sistem, *IEZ*, 1973.
- Požar-Udovičić-Granić-Alerić: Analiza prilika u čvorištu Zagreb u 1976. godini, *IEZ*, 1973.
- Požar-Mandić-Udovičić-Joksimović-Granić-Kalan: Optimalni kapaciteti nuklearnih elektrana u elektro-energetskom sistemu Jugoslavije, *IEZ*, 1973.
- Požar-Mandić-Udovičić: Struktura termoelektrana u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije u daljoj budućnosti, *IEZ*, 1975.
- Požar-Udovičić-Frajman: Dugoročna projekcija razvoja elektroprivrede SR Hrvatske i neke varijante izgradnje elektrana, *IEZ*, 1975.
- Požar-Udovičić-Granić: Elektroenergetski aspekti izgradnje nuklearnih elektrana, *IEZ*, 1977.
- Udovičić-Granić-Keglević-Požar-Kalan: Osnovni elaborat metodologije za izradu elektroenergetske bilance, *IEZ*, 1977.
- Požar-Udovičić-Šimurina: Energetske bilance SR Hrvatske, *IEZ*, 1977.
- Udovičić-Alerić-Bilčar-Hatić: Elektroenergetske osnove za 15-godišnji plan razvoja potrošnje i izgradnje izvora električne energije u Hrvatskoj do 1995. s osvrtom na 2000. godinu, *IEZ*, 1978.
- Alerić-Čorak-Hatić-Magdić-Malbaša-Udovičić: Razvoj elektroenergetike u Slavoniji i Baranji do 2000. godine, *IEZ*, 1979.
- Požar-Tocić-Udovičić-Frajman-Krešić: Osnovni principi tarifnog sistema za prodaju električne energije *IEZ*, 1979.
- Udovičić: Metoda za određivanje tjedne moguće proizvodnje hidroelektrana, *IEZ*, 1979.
- Udovičić-Alerić-Marković-Tonković: Mogućnost korištenja i izgradnje termoelektrana na Kosovu za potrebe elektroenergetskog sustava Hrvatske, *IEZ*, 1979.
- Alerić-Udovičić-Granić: Ispitivanje uloge HE Vinodol u elektroenergetskom sistemu SRH, *IEZ*, 1979.
- Alerić-Udovičić-Granić: Opravdanost angažiranja tehničkog minimuma na blokovima TE Sisak I i II, *IEZ*, 1979.
- Barbić-Milonja-Olujić-Udovičić: Udruživanje rada i sredstava radi izgradnje elektrana u drugim republikama, *IEZ*, 1979.
- Hruška-Jurišić-Kalodera-Milonja-Nušinović-Požar-Staničić-Šimović-Udovičić-Zorić: Društveno-ekonomski odnosi u elektroprivredi Hrvatske, *IEZ Zagreb i Ekonomski institut Zagreb*, 1980.
- Udovičić-Alerić: Daljnje energetske iskorištenje vodnih snaga SR Hrvatske, *IEZ*, 1980.
- Požar-Vuk-Udovičić-Šimurina: Energetske bilance SR Hrvatske 1981.-1985., *IEZ*, 1980.
- Udovičić-Granić: Godišnja, mjesečna i tjedna planiranja elektroenergetskog sustava SRH, *IEZ*, 1980.
- Udovičić-Alerić: Vrijednost i doprinosi HE Vinodol u elektroenergetskom sustavu SRH, *IEZ*, 1980.

- Pešut-Udovičić: Proračun sigurnosti snabdjevanja u čvorištima mreže 380/11 kV za 1985. g., *IEZ*, 1981.
- Udovičić-Alerić: Pобоljšanje metode bilanciranja u elektroenergetskom sustavu, *IEZ*, 1981
- Udovičić-Bilčar-Milonja: Elaborat o društvenoj i ekonomskoj opravdanosti osnivanja radne organizacije za prijenos električne energije u Hrvatskoj, *IEZ*, 1982.
- Udovičić-Alerić-Bilčar-Granić-Alerić-Komerički: Energetsko-ekonomska vrijednost nekih rješenja hidroenergetskog potencijala Krke i Zrmanje u odnosu na neka rješenja preostalog neiskorištenog hidropotencijala u Hrvatskoj, *IEZ*, 1982.
- Udovičić-Bilčar-Granić-Alerić-Komerički: Optimalna struktura proizvodnje električne energije do 2000. godine, *IEZ*, 1982.
- Udovičić-Pešut: Neke mogućnosti opskrbe grada Zagreba energijom, *Urbanistički zavod Zagreba*, 1982.
- Granić-Udovičić-Alerić-Bilčar-Frajman-Zeljko: Izgradnja tarifnog sistema u elektroprivredi RH, *IEZ* 1983.
- Udovičić-Bilčar-Alerić: Struktura proizvodnje električne energije Elektroprivrede Rijeka do 2000. godine, *IEZ*, 1983.
- Granić-Udovičić-Bilčar-Alerić-Zeljko-Komerički-Morić-Posavec: Prilagođavanje rada specijalnih potrošača mogućnostima elektroenergetskog sistema i efekti takvog rada, *IEZ*, 1983
- Udovičić-Bilčar-Šimurina-Bunjevčević-Vuk-Granić-Majstorović-Fuštar: Konvencionalni izvori energije i njihova upotreba u Dalmaciji (Energetika Dalmacije), *Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split*, 1984..
- Udovičić-Bilčar-Alerić-Komerički: Obrada mogućih lokacija za izgradnju termoelektrana na ugljen izvan republike i određivanje prioriteta priprema, *IEZ*, 1984.
- Udovičić-Granić-Pešut: Definicija serije nuklearnih elektrana koje će se graditi u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije do 2010. godine, *IEZ*, 1984.
- Blaževski-Udovičić: Razvoj na energetikata vo SR Makedonija 2005. godine, *EMO, Skopje*, 1986.
- Požar-Udovičić: Primjena energije Sunčeva zračenja za proizvodnju električne energije, *IEZ Zagreb*, 1989.
- Stanišić-Udovičić-Bilčar-Magdić-Vuk: Ekonomski elementi razvoja elektroprivrede, *IEZ Zagreb*, 1989.
- Udovičić: Energetika Hrvatske i energetski uvjeti za uključivanje Hrvatske u Europsku uniju , *Hrvatska elektroprivreda Zagreb*, 2000.
- Udovičić: Energija i razvoj – razvoj i zaštita okoliša, *Agencija za posebni otpad Zagreb*, 2000.
- Požar-Udovičić: Energetsko opravdanje izgradnje HE Sklope, *IEZ*, 1961.
- Požar-Udovičić: Prilike u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije (1962.-1967.), *IEZ*, 1961.
- Požar-Udovičić: Mogućnost izvoza i potrebe uvoza električne energije u Jugoslaviju, *IEZ*, 1961.
- Požar-Udovičić: Vrijeme trajanja iskorištenja snage TE Plomin, *IEZ*, 1961.
- Požar-Udovičić: Energetska usporedba HE Sklope, HE Rijeka i 3 agregata HE Split, *IEZ*, 1961.
- Udovičić: Studijske podloge za razmjenu električne energije s Italijom, *IEZ*, 1961.
- Požar-Udovičić: Elektroenergetske podloge za studij superponirane mreže SFRJ, *IEZ*, 1962.
- Požar-Udovičić: Moguća proizvodnja HE Obrovac, HE Đale, HE Senj i HE na Dravi, *IEZ*, 1962.
- Udovičić: Analiza kritičnog perioda u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije za period 1963.-1967. godine *Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd*, 1962.

- Požar-Udovičić: Uklapanje TE Šestan B (2×150 MW) u elektroenergetski sistem Jugoslavije, *IEZ*, 1963.
- Požar-Udovičić: Moguća proizvodnja hidroelektrana Jugoslavije (dopunski elaborat), *IEZ*, 1963.
- Požar-Udovičić: Elektroenergetske podloge za studij superponirane mreže SFRJ (dop. Elab.) I, *IEZ*, 1963.
- Požar-Udovičić: Moguća proizvodnja HE Obrovac i HE Varaždin, *IEZ*, 1963.
- Udovičić: Raspored potrošnje po mjesecima i kategorijama u periodu 1963.-1970. *Zajednica jugoslav. elektroprivrede, Beograd*, 1963.
- Udovičić: Analiza kritičnog perioda u 1967. godini podaci o proizvodnji postojećih i novih hidroelektrana *Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd*, 1963.
- Udovičić: Kritični period u 1969. godini, *Zajednica jug. elektroprivrede, Beograd*, 1963.
- Udovičić: Energetske prilike u Zapadnom sistemu Jugoslavije u 1965. godini, *IEZ*, 1963.
- Udovičić: Moguća proizvodnja HE Buk Bijela s utjecajima na HE Bajina Bašta i HE Zvornik (kriterij jug. invest. banke), *IEZ*, 1964.
- Udovičić: Moguća proizvodnja HE Obrovac, *IEZ*, 1964.
- Udovičić: Moguća proizvodnja HE Višegrad i HE Dubravica nakon HE K. Brod i HE B. Bijela 330 m³/sek *IEZ*, 1964.
- Udovičić: Moguća proizvodnja HE Komarnica i HE Peručica (kriterij jug. invest. banke), *IEZ*, 1964.
- Udovičić: Moguća proizvodnja HE Tara-Morača III (konačna izgradnja) i HE Andrijevo II, *IEZ*, 1964.
- Udovičić: Moguća proizvodnja Peručica sa 5 i 7 agregata, *IEZ*, 1964.
- Udovičić: Elektroenergetske podloge za superponiranu mrežu Jugoslavije u 1968. godini, *IEZ*, 1964.
- Požar-Udovičić: Elektroenergetske prilike u područjima SR BiH u 1965., 1966. i 1968. g., *IEZ*, 1965.
- Požar-Udovičić: Elektroenergetski odnosi u sistemu Jugoslavije 1969.-1971. , *IEZ*, 1966.
- Požar-Udovičić: Elektroenergetska bilanca SR BiH od 1969.-1974. , *IEZ*, 1966.
- Udovičić: Elektroenergetske podloge za superponiranu mrežu Jugoslavije u 1971. g. *IEZ*, 1966.
- Požar-Udovičić: Elektroenergetski odnosi u 1967. g. između područja SR H i tih područja sa susjednim republikama (SR Slovenija i SR BiH), *IEZ*, 1967.
- Požar-Udovičić: Hidroenergetski potencijal SR Crne Gore, *IEZ*, 1968.
- Požar-Udovičić: Elektroenergetske prilike u sistemu Makedonije 1971. i 1975. godine, *IEZ*, 1968.
- Udovičić: Elektroenergetske podloge za superponiranu mrežu Jugoslavije u 1973., 1975. i 1980. godini, *IEZ*, 1968.
- Požar-Udovičić: Utjecaj izgradnje dvaju agregata u HE Peručica na prilike u sistemu Crne Gore u 1972. godini, *IEZ*, 1969.
- Požar-Udovičić: Viškovi i manjkovi elekt. energije u elektroenergetskom sistemu Dalmacije, *IEZ*, 1969.
- Požar-Udovičić: Približne energetske vrijednosti HE u Dalmaciji u 1966., 1967. i 1968. godini, *IEZ*, 1969.
- Požar-Udovičić-Keglević: Opskrba elektr. energijom aluminijskog kombinata u Crnoj Gori, *IEZ*, 1969.
- Požar-Udovičić: Analiza boniteta izvora elektr. energije u elektroenergetskom sistemu Dalmacije, *IEZ*, 1970.

- Udovičić: Snabdjevanje električnom energijom druge i treće etape Kombinata aluminija Titograd, *Zavod za energetiku Titograd*, 1970.
- Požar-Udovičić: Redoslijed izgradnje elektrana u elektroenergetskoj regiji Zagreb, *IEZ*, 1970.
- Požar-Udovičić-Keglević: Raspodjela prihoda u elektroenergetskom sistemu Bosne i Hercegovine u 1970. godini, *IEZ*, 1970.
- Požar-Keglević-Udovičić: Energetske karakteristike HE Grabovica i HE Selakovac *IEZ*, 1970.
- Udovičić: Uklapanje druge etape TE Sisak u elektroenergetski sistem, *IEZ*, 1970.
- Požar-Udovičić-Čulo-Kalan: Pokusna primjena metoda za određivanje optimalne energetske strukture na području SR Hrvatske, *IEZ*, 1972.
- Požar-Udovičić-Keglević: Optimalna instalirana snaga HE Obrovac, *IEZ*, 1972.
- Požar-Udovičić-Keglević: Korištenje akumulacionih bazena hidroelektrana u 1973. godini (s elektroenergetskim bilancama) u sistemu Jugoslavije, *IEZ*, 1972.
- Požar-Keglević-Udovičić: Raspodjela prihoda u sistemu regije Rijeka u 1971. godini, *IEZ*, 1972.
- Udovičić: Elektroenergetske podloge za visokonaponsku mrežu zapadnog dijela Jugoslavije u 1975., 1978. i 1982. godini, *IEZ*, 1972.
- Požar-Udovičić-Keglević: Rezultati analize prilika u elektroenergetskom sistemu Makedonije 1973. do 1977. godine, *IEZ*, 1972.
- Udovičić: Moguća proizvodnja hidroelektrana na Neretvi, *IEZ*, 1973.
- Požar-Udovičić-Frajman: Osnovni projekt perspektivnog razvoja elektro-energetskog sistema Makedonije za period 1978. do 1985. godine, *IEZ*, 1973.
- Udovičić-Alerić: Elektroenergetske podloge za VN mrežu zapadnog dijela Jugoslavije, *IEZ*, 1973.
- Požar-Udovičić-Granić: Analiza međusobnih utjecaja HE Zlatoličje i HE Varaždin, *IEZ*
- Požar-Udovičić-Granić: Analiza prilika u elektroenergetskom sistemu Hrvatske u 1975., 1976. i 1977. godini, *IEZ*, 1974.
- Požar-Keglević-Udovičić-Alerić-Frajman-Krešić: Povećanje instalirane snage i volumena akumulacije u hidroenergetskom sistemu Lika-Gacka, *IEZ*, 1974.
- Udovičić: Izbor makrolokacije NE u Hrvatskoj na temelju manjkova i viškova energije i snage u regijama za period 1981.-1990. godine, *IEZ*, 1975.
- Udovičić: Uklapanje TE Plomin II u elektroenergetski sistem, *IEZ*, 1975.
- Udovičić-Granić: Izbor najpovoljnije veličine izgradnje HE Obrovac, *IEZ*, 1975.
- Požar-Granić: Veličine izgradnje hidroelektrana na Krki i Zrmanji, *IEZ*, 1975.
- Požar-Udovičić-Frajman: Uloga HE Mratinje u elektroenergetskim sistemima SR Crne Gore i SR Srbije, *IEZ*, 1976.
- Požar-Udovičić-Granić: Uklapanje u sistem HE Senj I, *IEZ*, 1976.
- Udovičić-Alerić: Opravdanost izgradnje akumulacije Ričica, *IEZ*, 1976.
- Požar-Udovičić-Granić: Veličina izgradnje HE Zakućac III, *IEZ*, 1976.
- Udovičić-Granić: Elektroenergetske podloge za visokonaponsku mrežu zapadnog dijela Jugoslavije u 1976. i 1977. godini, *IEZ*, 1976.
- Udovičić-Alerić-Kalan: Elektroenergetske podloge za mrežu SR Hrvatske za daljnju perspektivu u 1984. i 1985. godini i godišnji gubici energije, *IEZ*, 1977.
- Udovičić-Alerić: Vrijeme korištenja blokova TE Sisak, *IEZ*, 1977.

- Udovičić: Elektroenergetska analiza mogućnosti proizvodnje i elektroenergetske vrijednosti HE Orlovac *Institut građevinarstva Hrvatske*, 1977.
- Alerić-Udovičić-Komerički: Analiza varijanti izgradnje hidroelektrana na Krki i Zrmanji, *IEZ*, 1978.
- Udovičić-Alerić: Energetska vrijednost akumulacije Kosinj, *IEZ*, 1979.
- Alerić-Udovičić: Uklapanje TE Plomin II (200 MW) u elektroenergetski sustav Hrvatske, *IEZ*, 1980.
- D. Bendeković-J. Bendeković-Brozović-Juraga-Nušinović-Teodorović-Udovičić: Ocjena investicionog projekta – Proizvodnja velikih turbina, *Ekonomski institut Zagreb*, 1981.
- Udovičić-Bilčar-Granić-Alerić-Magdić-Komerički: Analiza opravdanosti prijevremene izgradnje elektrana kontinuiteta, *IEZ*, 1983.
- Alerić-Udovičić-Bilčar-Komerički: Moguća proizvodnja i energetska-ekonomska vrijednost nekih hidroelektrana užeg i šireg sliva Dalmacije, *IEZ*, 1983.
- Bilčar-Granić-Udovičić-Vuk-Šimurina: Energetika ZO Rijeka, *IEZ*, 1983.
- Alerić-Udovičić-Bilčar-Komerički: Veličina izgradnje hidroelektrane Zrmanja (Krupa), *IEZ*, 1983.
- Udovičić-Granić-Alerić: Uklapanje NE Slavonija u elektroenergetski sistem, *IEZ*, 1984.
- Udovičić-Tonković-Granić-Alerić-Bilčar-Zeljko: Uključivanje NE Prevlaka u elektroenergetski sistem i visokonaponsku mrežu, *IEZ*, 1984.
- Udovičić-Granić-Vuk-Majstrovic-Fuštár-Ganza-Majer: Konvencionalni izvori energije i njihova primjena upotrebe u Dalmaciji (Energetika Dalmacije, II dio), *Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split*, 1985.
- Udovičić-Bilčar-Magdić-Alerić: Analiza mogućnosti podmirjenja manjkova električne energije i supstitucije tekućeg goriva u termoelektranama u Hrvatskoj (II dio), *IEZ*, 1985.
- Udovičić-Vuk-Fuštár-Majstrovic-Šimurina: Konvencionalni izvori energije (Energetika Dalmacije), *Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split*, 1986.
- Udovičić-Filipović-Vuk-Majstrovic-Fuštár-Topić-Hill-Šimurina: Dugoročni program opskrbe energijom grada Splita (knjiga I), *Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split*, 1986.
- Udovičić-Vuk i ostali: Dugoročni program opskrbe energijom grada Splita, (Dosadašnji razvoj energetike grada – II knjiga), *Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split*, 1986.
- Milonja-Udovičić-Magdić-Staničić: Samoupravno organiziranje, dohodovno povezivanje i financiranje elektroprivrednih organizacija, *IEZ*, 1986.
- Udovičić-Pešut-Vuk: Dugoročni program opskrbe energijom grada Splita (Budući razvoj opskrbe energijom industrije – knjiga III), *Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split*, 1987.
- Udovičić Razvoj, energija i zaštita okoliša, *Okrugli stol o energetici*, Rijeka, 2006.

Međunarodni skupovi

- Požar-Udovičić: Studija optimalne strukture elektrana u zapadnom dijelu Jugoslavije. *Simpozij o uklapanju NTE u elektroenergetskom sistemu Evropska ekonomska komisija OUN Komitet za elektr. energiju*, Beč, 1970.
- Požar-Udovičić: Utjecaj snage i faktor raspoloživosti agregata u nuklearnim elektranama na prilike u elektro-energetskom sistemu. *Simpozij o efektima uključivanja NE u elektroenergetske sisteme sa aspekta iskorištenja i sigurnosti u proizvodnji električne energije u zemljama članicama ECE*, Madrid, 1973.
- Požar-Udovičić-Alerić: Valeur économique de Energie et de la puissance des centrales

hidroelectric schemes under the new energy situation and on the related problems, *Athens (Greece)*, 1979.

Požar-Udovičić: The influence of thermo-power and hydro-power plants structure in the power system on justifying the building pumpstorage plants United Nations, Economic Commission for Europe. *Seminar on the Medium-term and Longterm Prospects for the Electric Power Industry*, London, 1981.

Požar-Udovičić-Granić: Fitting Hydroelectric Plants into the Mathematical Model used for Analysing the Condition within an electric Power System, *Conference on Electric Power systems, Conference on Electric Generating System Expansion Analysis*, Ohio State University, Ohio, 1981.

Hill-Udovičić-Đajić-Judin: New approaching in planing the energy needs, *XIII kongres Svjetske energetske konferencije*, Cannes, 1986.

Udovičić: Opravdanost povećane upotrebe plina u energetici, *3.susret plinskih stručnjaka*, Opatija, 1987.

Udovičić: Uloga plina u energetici krajem ovog i početkom slijedećeg stoljeća, *IV. susret plinskih stručnjaka*, Opatija, 1988.

Udovičić: Energetsko-ekološke prednosti upotrebe plina, *V. Međunarodni susret plinskih stručnjaka*, Opatija, 1989.

Udovičić: Razvoj i zaštita okoliša, (*Međunarodnog savjetovanja Plastična ambalaža*), Koprivnica, 1997.

Udovičić: Development of energy industry under market conditions, *Seventinternational expert meeting: POWER ENGINEERING*, Maribor, 1998.

Udovičić: For the New Century – New Managers, *Conference of energy Management*, Dubrovnik, 1998.

Udovičić: Gospodarstvo i energetika središnje Europe. Znanstveni skup srednjoeuropskih akademija: Povezivanje srednjoeuropskih zemalja s Jadranom (Mediteranom), *Zbornik*, Zagreb, 1999.

Udovičić: Energetski sustavi u globalizaciji i slobodnom tržištu, *Međunarodni susret stručnjaka za plin*, Opatija, 2002.

Udovičić: Energy and the Environment 2004, *Opatija*, 2004.

Udovičić: Temeljne odrednice razvoja, *XIII. međunarodni znanstveni skup „Ekonomska politika“*, Zagreb, 2006.

Udovičić: Energetski razvoj i zaštita okoliša, *Međunarodni kongres „Energija i okoliš“*, Opatija, 2006.

Udovičić: Edukacija i zaštita okoliša, *Međunarodni simpozij Gospodarenje otpadom*, Zagreb, 2008.

Radovi u zbornicima

Udovičić: Tokovi energije u 1980. godini u elektro-energetskom sistemu Jugoslavije, *VI. savjetovanje CIGRE*, Budva, 1962.

Udovičić: Vrijednost gubitaka u nekim vodovima elektro-energetskog sistema Jugoslavije, *VII. savjetovanje CIGRE*, Bled, 1964.

Udovičić: Kratkoročno prognoziranje protoka po krivuljama opadanja protoka, *III. savjetovanje o eksploataciji hidroelektrana Ohrid*, 1966.

Udovičić: Praktično korištenje linearnog programiranja za određivanje optimalne strukture elektrana, *IX. savjetovanje CIGRE*, Vrnjačka Banja, 1968.

- Požar-Udovičić: Utjecaj sigurnosti opskrbe potrošača na prilike u elektroenergetskom sistemu, *X. savjetovanje CIGRE, Dubrovnik, 1970.*
- Požar-Udovičić: Instalirana snaga hidroelektrana, funkcija njenih karakteristika i razvitka elektroenergetskog sistema, *XI. zasjedanje CIGRE, Ohrid, 1972.*
- Požar-Udovičić-Granić: Metoda za određivanje optimalnog pogona pumpno-akumulacionih postrojenja i njihovog utjecaja na elektroenergetski sistem, *Savjetovanje o hidroelektranama i pumpno-akumulacijskim elektranama, Split,*
- Požar-Udovičić: Razvoj elektroprivrede Jugoslavije sa stanovišta primarnih oblika energije, *VIII. savjetovanje ekonomista elektroprivrede, Portorož, 1974.*
- Požar-Udovičić: Neki kriteriji za određivanje optimalne izgradnje i eksploatacije elektroenergetskog sistema Jugoslavije, *VIII. savjetovanje ekonomista elektroprivrede Portorož, 1974.*
- Požar-Udovičić-Granić: Određivanje faktora raspoloživosti termoelektrana u elektroenergetskom sistemu *XII. zasjedanje CIGRE, Budva, 1975.*
- Požar-Udovičić: Mogući kapaciteti nuklearnih elektrana u elektro-energetskom sistemu Jugoslavije, *II. savjetovanje: Razvoj NE U elektroprivredi Jugoslavije, Dubrovnik, 1976.*
- Udovičić-Alerić: Usporedba koncepcije energetskog iskorištenja jednog vodotoka *XIII. zasjedanje CIGRE, Bled, 1977.*
- Udovičić-Granić: Predviđanja potrošnje energije u SR Hrvatskoj, *Savjetovanje o energetici u SR Hrvatskoj, Zagreb, 1978.*
- Požar-Udovičić-Granić: Neki aspekti opskrbe SR Hrvatske električnom energijom u budućnosti *Savjetovanje o energetici u SR Hrvatskoj, Zagreb, 1979.*
- Požar-Udovičić-Granić: Konvencionalni energetski izvori u opskrbi Jugoslavije električnom energijom *XIV. Savjetovanje CIGRE, Sarajevo, 1979.*
- Udovičić: Elektroenergetski sistemi Jugoslavije i Hrvatske, stanje i perspektive razvoja Jugoslavensko udruženje za regulaciju, mjerenja i automatizaciju, *JUREMA, Zagreb, 1982.*
- Udovičić-Alerić: Uloga i doprinos crpno-akumulacijske hidro-lektrane u elektroenergetskom sustavu, *Savjetovanje o hidroelektranama, Mostar, 1982.*
- Udovičić: Značaj i načini predviđanja potrošnje energije, *XVII. savjetovanje CIGRE, Struga, 1985.*
- Udovičić: Energetska ekonomska valorizacija malih HE, *Savjetovanje «Izgradnja i eksploatacija malih hidroelektrana», DELIT, Sisak, 1985.*
- Udovičić: Energija kao preduvjet razvoja društva, *Znanstveni skup «Tehnologija samoupravljanja i društveni razvoj», Komiža, 1985.*
- Udovičić: Zajedničko planiranje razvoja elektroprivrede Jugoslavije i njegovo financiranje, *X. savjetovanje ekonomista elektroprivrede Jugoslavije, Mostar, 1985.*
- Udovičić: Pozicija nuklearnih elektrana u elektro-energetici nakon Černobila, *Simpozij «Tehnologija, ekonomika i ekologija nuklearnih elektrana», Opatija, 1987.*
- Udovičić: Energija i racionalizacija, *Savjetovanje o energiji, Opatija, 1987.*
- Udovičić: Problemi u zajedničkoj eksploataciji elektro-energetskog sustava Jugoslavije, *Savjetovanje: Racionalno projektiranje, izgradnja, i eksploatacija energetskih postrojenja i instalacija Poreč, 1988.*
- Udovičić-Bilčar: Problemi razvoja energetike Jugoslavije, *Okrugli stol IZE, Zagreb, 1988.*
- Udovičić-Bilčar-Staničić: Utjecaj dispariteta cijena energije na troškove proizvodnje električne energije *XIX. zasjedanje CIGRE, Bled, svibanj 1989. I 8str.*

- Udovičić-Požar: Mogućnosti korištenja energije Sunčeva zračenja za proizvodnju električne energije, *Naučno-stručni skup: «Električna energija za potrošače na ostrvima Jadrana i udaljenim naseljima», Split, 1989.*
- Požar-Udovičić: Neke energetske karakteristike eolskih elektrana, *Naučno-stručni skup: «Električna energija za potrošače na ostrvima Jadrana i udaljenim naseljima», Split, 1989.*
- Udovičić-Pešut-Bilčar: Problemi razvoja energetike Jugoslavije, *Savjetovanje energetičara: «Energetika u reformi privrednog sistema», Opatija, 1989.*
- Udovičić: Potrošnja i racionalno korištenje električne energije CIGRE, *Ohrid, 1990.*
- Udovičić: Problemi razvoja energetike Republike Hrvatske HAZU, Hrvatska, *Prilozi za strategiju razvoja, Zagreb, 1994.*
- Udovičić: Električna energija i kvaliteta života II., *Simpozij Hrvatskog nuklearnog društva, Zagreb, 1994.*
- Udovičić-Begović: Počeci razvitka Hrvatske elektroprivrede, *Simpozij 100-godišnjice Hrvatske elektroprivrede, Šibenik, 1995.*
- Udovičić: Planiranje razvoja energetike u Hrvatskoj, *HAZU, Zagreb, 1995.*
- Udovičić: Kritički osvrt na 16. kongres WEC-a (Svjetskog energetskog savjeta), *HAZU, Zagreb, 1996.*
- Udovičić: Kvalitetom na svjetsko tržište, *Prva hrvatska konferencija o kvaliteti, Cavtat, 1998.*
- Udovičić: Energija – podloga svakom razvitku, *Znanstveni skup HAZU: Uvjeti i izgledi ekonomskog razvoja Hrvatske početkom 21. stoljeća, Zagreb, 2000.*
- Udovičić: Pogledi na energetsku i ekološku budućnost, *Zbornik radova znanstvenog skupa: aktualni problemi prirodnih znanosti i obrazovanja u Hrvatskoj – stanje, perspektive i prijedlozi, HAZU, 2001.*
- Udovičić: Problemi slobodnog tržišta električne energije, *Znanstveni skup: Hrvatska gospodarska kriza i pravci zaokreta iz recesije u ekonomski razvoj, HAZU, 2001.*
- Udovičić: Globalizacija i slobodno tržište električne energije, *Energetika: jučer-danas-sutra, Privredni vjesnik, Zagreb, 2000.*

Prilog 3.

Referenca skupa obilježavanja 150-godišnjice HAZU na kojem je dan opširan prikaz rada akademika B. Udovičića:

Anali

Zavoda za znanstveni i umjetnički rad u Osijeku Sv. 27, Str. 43-60, Zagreb – Osijek 2011.

Pregledni rad UDK 620.9 Udovičić, B. Radoslav Galići Marijan Kalea2

Razvitak elektroenergetike u Hrvatskoj – rad i postignuća akademika Bože Udovičića Povodom obilježavanja 150 godina djelovanja HAZU-a (1861. – 2011.),

Ivan Šimatović

Dvofazni mikrovalovi s rotirajućim i torzijsko titrajućim vektorima polja

Sažetak: U fizici i elektrotehnici poznati su, temeljito istraženi i svestrano se koriste u prijenosu radio i TV signala linearno polarizirani transverzalno-vektorski valovi, a u suvremenim mobilnim i satelitskim komunikacijama helikoidalni (kružno polarizirani) mikrovalovi. Zbog nezadrživog razvoja i naglog širenja radiodifuzije i televizije te posebice suvremenih mobilnih komunikacija već dulje vrijeme vlada velika nestašica raspoloživih frekvencija. U području mobilnih i satelitskih komunikacija mogao bi se otvoriti novi prostor za njihovu daljnju ekspanziju ako bi se, uz helikoidalne mikrovalove, uveli funkcionalno složeniji dvofazni mikrovalovi koji se dobivaju slaganjem duž valne zrake dva međusobno okomito linearno polarizirana te odgovarajuće modulirana mikrovala. Područje dvofaznih mikrovalova još nije ni izdaleka iskorišteno po mogućnostima koje pruža i moglo bi se u dogledno vrijeme obogatiti za tri nove vrste mikrovalova. To su: helikoidalni mikrovalovi s torzijski titrajućim vektorima polja konstantne jakosti i dva funkcionalno složena hiperdinamička mikrovala čiji vektori polja poprečno titraju te istovremeno rotiraju ili torzijski titraju oko valne zrake. Prikazano je kako se ti mikrovalovi načelno mogu proizvesti.

Ključne riječi: dvofazni mikroval, helikoidalni mikroval, kružno polariziran, helikoidalni torzijski mikroval, hiperdinamičko polje, hiperdinamički mikroval, vektori jakosti polja, rotirajući vektori, torzijski titrajući vektori

Uvod

U fizici i elektrotehnici poznati su, temeljito istraženi i koriste se za prijenos radio i TV signala horizontalno i vertikalno linearno polarizirani transverzalno-vektorski (TVEM) valovi te, u posljednjih nekoliko desetljeća, cilindrični helikoidalni mikrovalovi u mobilnim i satelitskim komunikacijama. Njihovi poprečni vektori jakosti polja, sinkrono rotiraju oko valne zrake i u ravnom valu su duž nje na svim pozicijama i u svakom trenutku konstantne jakosti i mijenjaju se samo neizravno (kinetički) u vremenu zbog njihove jednolike brze rotacije.

Toj nevelikoj porodici elektromagnetskih valova valjalo bi, kao moguće perspektivne prinove, pridodati još:

- a) torzijski titrajuće mikrovalove s konstantnim vektorima jakosti polja,
- b) hiperdinamičke mikrovalove s poprečno titrajućim te istovremeno jednoliko rotirajućim vektorima jakosti polja i
- c) hiperdinamičke mikrovalove s poprečno titrajućim te istovremeno torzijski titrajućim vektorima jakosti polja.

Za funkcionalno složene mikrovalove pod b) i c) je svojstveno da je njihova ukupna brzina promjene jakosti EM polja u vremenu na promatranom mjestu u trenutku t jednaka vektorskom zbroju:

- radijalne brzine izravne promjene u vremenu i na nju okomite
- tangencijalne brzine neizravne (kinetičke) promjene u vremenu.

Ti osebujni mikrovalovi s *"dvobrzinskim"* EM poljem koje se istovremeno mijenja izravno i neizravno u vremenu, za razliku od *"jednobrzinskog"* dinamičkog polja hercijanskih TVEM valova koje se mijenja samo izravno u vremenu te rotirajućeg (kinetičkog) polja helikoidalnih mikrovalova koje se mijenja samo neizravno (kinetički) u vremenu mogu se nazvati hiperdinamičkim valovima.

Tehnike pridobivanja tih mikrovalova, njihova svojstva i mogućnosti primjene tek treba razraditi i pobliže istražiti. To bi moglo biti vrlo perspektivno područje niza dugoročnih multidisciplinarnih istraživanja.

1. Hiperdinamički mikroval kao linearna kombinacija dva jednofazna linearno polarizirana mikrovala

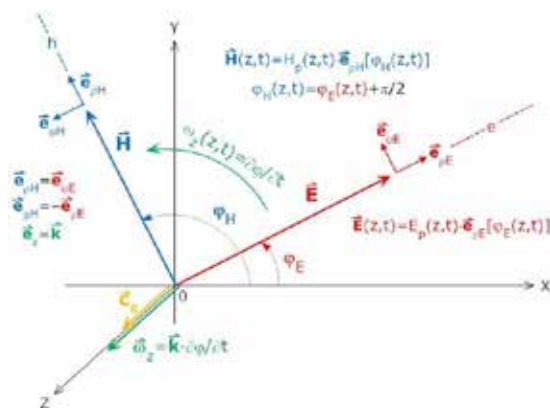
Rotirajući ili torzijski titrajući poprečni vektori $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ jakosti polja kružno polariziranog helikoidalnog (kinetičkog) vala i funkcionalno složenog hiperdinamičkog vala mogu se u promatranoj valnoj fronti jednoznačno prikazati kao vektorski zbroj polja dva odgovarajuće modulirana te međusobno okomito linearno polarizirana TVEM vala koji se duž valne zrake šire u istom smjeru. Stoga su ti funkcionalno složeni mikrovalovi u svojoj biti dvofazni.

Načelo slaganja dva linearno polarizirana mikrovala [1, str. 284-286] u funkcionalno manje ili više složen dvofazni mikroval analogno je Teslinom konceptu pridobivanja brzo rotirajućeg magnetskog polja konstantne jakosti u električnom stroju superpozicijom dva međusobno okomita harmonijski titrajuća magnetska polja dvofaznih struja jednake frekvencije fazno pomaknuta za $\pi/2$.

Uzajamno okomiti vektori $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ jakosti polja ravnog putujućeg hiperdinamičkog mikrovala duž valne zrake (Z osi), koji u valnoj fronti harmonijski poprečno titraju te istovremeno postranično jednoliko rotiraju ili torzijski titraju oko valne zrake, mogu se u cilindričnim koordinatama općenito prikazati parom jednočlanih vektorskih izraza s međusobno nezavisnim varijablama z i t :

$$\vec{\mathbf{E}}[\varphi_E(z,t), z, t] = E_\rho(z,t) \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\rho E}[\varphi_E(z,t)]$$

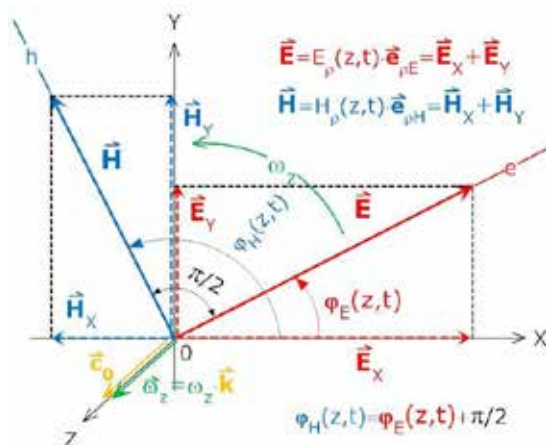
$$\vec{\mathbf{H}}[\varphi_H(z,t), z, t] = H_\rho(z,t) \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\rho H}[\varphi_H(z,t)] = H_\rho(z,t) \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\varphi E}[\varphi_E(z,t)]$$



Slika 1 – Vektori jakosti EM polja u valnoj fronti hiperdinamičkog mikrovala

Uzajamno okomiti fluktuirajući poprečni jedinični vektori $\mathbf{e}_{\rho E}$ i $\mathbf{e}_{\rho H} = \mathbf{e}_{\varphi E}$ cilindričnih koordinata, pridruženi radijalnim vektorima jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$, posredno su zavisni preko dinamičkih polarnih kutova φ_E i φ_H , mjerenih od pozitivnog smjera X osi, o varijablama z i t . Stoga oni po njima imaju parcijalne derivacije koje se određuju prema pravilu diferenciranja složenih funkcija [2].

Svaki kinetički ili hiperdinamički ravni mikroval može se dobiti slaganjem dva linearno polarizirana te odgovarajuće modulirana gradbena ravna TVEM mikrovala međusobno okomite polarizacije koji se duž valne zrake (Z osi) istovremeno šire u istom smjeru. Njihovi vektori jakosti polja u pravcu poprečnih koordinatnih osi X i Y dobivaju se projekcijom radijalnih vektora $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ pret-postavljenog kinetičkog ili hiperdinamičkog mikrovala na os X ("tlocrt vala") i os Y ("bokocrt vala"). Prema Slici 2 njihovi vektori jakosti polja općenito jesu:



Slika 2 – Gradbene komponente jakosti polja dvofaznog hiperdimamičkog mikrovala

$$\text{Val 1} = \begin{cases} \bar{\mathbf{E}}_X(z,t) = E_X(z,t) \cdot \bar{\mathbf{i}} = E_\rho(z,t) \cdot \cos \varphi_E(z,t) \cdot \bar{\mathbf{i}} \\ \bar{\mathbf{H}}_Y(z,t) \cdot \bar{\mathbf{j}} = H_Y(z,t) = H_\rho(z,t) \cdot \sin \varphi_H(z,t) \cdot \bar{\mathbf{j}} = H_\rho(z,t) \cdot \cos \varphi_E(z,t) \cdot \bar{\mathbf{j}} \end{cases}$$

$$\text{Val 2} = \begin{cases} \bar{\mathbf{E}}_Y(z,t) = E_Y(z,t) \cdot \bar{\mathbf{j}} = E_\rho(z,t) \cdot \sin \varphi_E(z,t) \cdot \bar{\mathbf{j}} \\ \bar{\mathbf{H}}_X(z,t) = H_X(z,t) \cdot \bar{\mathbf{i}} = H_\rho(z,t) \cdot \cos \varphi_H(z,t) \cdot \bar{\mathbf{i}} = -H_\rho(z,t) \cdot \sin \varphi_E(z,t) \cdot \bar{\mathbf{i}} \end{cases}$$

Rezultirajući vektori jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ dvofaznog kinetičkog ili hiperdinamičkog ravnog mikrovala mogu se u prostornim Kartezijevim i cilindričnim koordinatama predložiti općim izrazima:

$$\begin{aligned}\vec{\mathbf{E}}(z,t) &= E_x(z,t) \cdot \vec{\mathbf{i}} + E_y(z,t) \cdot \vec{\mathbf{j}} = E_\rho(z,t) \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\rho E} [\varphi_E(z,t)] \\ \vec{\mathbf{H}}(z,t) &= H_x(z,t) \cdot \vec{\mathbf{i}} + H_y(z,t) \cdot \vec{\mathbf{j}} = H_\rho(z,t) \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\rho H} [\varphi_H(z,t)] = H_\rho(z,t) \cdot \vec{\mathbf{e}}_{\varphi E} [\varphi_E(z,t)]\end{aligned}$$

2. Matematičko modeliranje dvofaznih mikrovalova

Za konstruiranje matematičkih modela nekoliko putujućih ravnih harmonijskih dvofaznih mikrovalova stoje na raspolaganju dvije mogućnosti za njihove radijalne komponente vektora jakosti EM polja:

$$E_\rho(z,t), H_\rho(z,t) = \begin{cases} E_0, H_0 & - \text{konstantne jakosti vektora EM polja} \\ E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z), H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) & - \text{harmonijsko titranje} \end{cases}$$

i za svaku od njih dvije mogućnosti pripadnih dinamičkih polarnih kutova $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ vektora jakosti EM polja.

$$\varphi_E(z,t) = \begin{cases} \omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 & - \text{jednolika rotacija oko valne zrake} \\ \tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) & - \text{torzijsko titranje oko valne zrake} \end{cases}$$

$$\varphi_H(z,t) = \varphi_E(z,t) + \frac{\pi}{2}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c_0}, \quad k_r = \frac{2\pi}{\lambda_r} = \frac{\omega_r}{c_0}, \quad k_\tau = \frac{2\pi}{\lambda_\tau} = \frac{\omega_\tau}{c_0}$$

Dvofazni hiperdinamički mikrovalovi, koji su općenito uzevši dvofrekventni, funkcionalno su bitno jednostavniji ako je kutna brzina rotacije ω_r vektora polja ili kutna frekvencija ω_τ njihovog torzijskog titranja oko valne zrake jednaka kutnoj frekvenciji ω njihovog poprečnog titranja. U nastavku slijedi prikaz matematičkih modela nekoliko tehnički zanimljivih dvofaznih mikrovalova.

2.1 Helikoidalni mikroval s rotirajućim vektorima polja

Funkcionalno najjednostavniji dvofazni ravni mikroval je dobro poznat kružno polariziran helicoidalni mikroval s međusobno okomitim radijalnim vektorima jakosti polja $\mathbf{E}_0$ i $\mathbf{H}_0$ konstantnih iznosa E_0 i H_0 , koji brzo rotiraju oko

valne zrake (Z osi) jednolikom kutnom brzinom ω_r i stoga se mijenjaju samo neizravno (kinetički) u vremenu. U cilindričnim koordinatama vektori jakosti EM polja tog mikrovala mogu se predočiti parom jednočlanih vektorskih izraza:

$$\vec{E}_0[\varphi_E(z,t), z, t] = E_0 \cdot \vec{e}_{\rho E}[\varphi_E(z,t)]$$

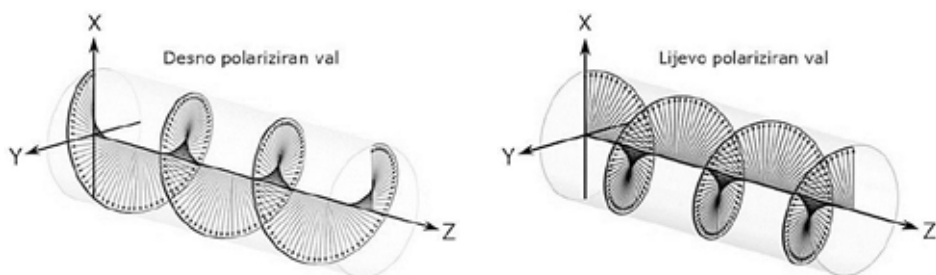
$$\vec{H}_0[\varphi_H(z,t), z, t] = H_0 \cdot \vec{e}_{\rho H}[\varphi_H(z,t)] = H_0 \cdot \vec{e}_{\varphi E}[\varphi_E(z,t)]$$

Dinamički polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ vektora jakosti polja $\vec{E}_0$ i $\vec{H}_0$ i njihova kutna brzina rotacije $\omega_z = \omega_r$ oko valne zrake određeni su izrazima:

$$\varphi_E(z,t) = \omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 \quad , \quad \varphi_H(z,t) = \varphi_E(z,t) + \frac{\pi}{2} \quad , \quad \omega_z = \omega_r = \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_H}{\partial t}$$

$\omega_r > 0$ – desni val , $\omega_r < 0$ – lijevi val

$$\text{Pri tom je: } k_r = \frac{2\pi}{\lambda_r} = \frac{\omega_r}{c_0} \quad , \quad \lambda = \lambda_r = 2\pi \cdot \frac{c_0}{\omega_r}$$



Slika 3 – Desno i lijevo kružno polariziran helikoidalni ravni mikroval

Vektori jakosti polja dva putujuća ravna te horizontalno i vertikalno linearno polarizirana harmonijska gradbena TVEM mikrovala, koji superpozicijom duž valne zrake daju helikoidalni mikroval s rotirajućim vektorima, dobivaju se projekcijom njegovih radialnih vektora EM polja u valnoj fronti na X i Y os. Na promatranom mjestu z u trenutku t te projekcije određuju polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$, pa vektori jakosti polja gradbenih mikrovalova u valnoj fronti jesu:

$$\begin{aligned} \text{Val 1} &= \begin{cases} \vec{E}_X = E_0 \cdot \cos \varphi_E(z, t) \cdot \vec{i} = E_0 \cdot \cos(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0) \cdot \vec{i} \\ \vec{H}_Y = H_0 \cdot \sin \varphi_H(z, t) \cdot \vec{j} = H_0 \cdot \sin\left(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \vec{j} \end{cases} \\ \text{Val 2} &= \begin{cases} \vec{E}_Y = E_0 \cdot \sin \varphi_E(z, t) \cdot \vec{j} = E_0 \cdot \sin(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0) \cdot \vec{j} \\ \vec{H}_X = H_0 \cdot \cos \varphi_H(z, t) \cdot \vec{i} = H_0 \cdot \cos\left(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \vec{i} \end{cases} \end{aligned}$$

Oni se mogu proizvesti harmonijskim signalima jednake amplitude (primjerice $e_0 = 100 \text{ V}$) i jednake kutne frekvencije ω_r fazno pomaknutim za $\pi/2$:

$$\begin{aligned} e_X(t, \omega_r, \varphi_0) &= e_0 \cdot \cos(\omega_r \cdot t + \varphi_0) = 100 \cdot \cos(\omega_r \cdot t + \varphi_0) \\ e_Y(t, \omega_r, \varphi_0) &= e_0 \cdot \sin(\omega_r \cdot t + \varphi_0) = 100 \cdot \sin(\omega_r \cdot t + \varphi_0) \end{aligned}$$

2.2 Helikoidalni mikroval s torzijski titrajućim vektorima polja

Najbliži srodnik kružno polariziranog helicoidalnog mikrovala je funkcionalno relativno jednostavan ravni mikroval čiji uzajamno okomiti radijalni vektori jakosti polja $\mathbf{E}_0$ i $\mathbf{H}_0$ konstantnih iznosa E_0 i H_0 torzijski titraju oko valne zrake i stoga se mijenjaju samo neizravno (kinetički) u vremenu. U cilindričnim koordinatama oni se mogu predložiti parom jednočlanih vektorskih izraza:

$$\begin{aligned} \vec{E}_0[\varphi_E(z, t), z, t] &= E_0 \cdot \vec{e}_{\rho E}[\varphi_E(z, t)] \\ \vec{H}_0[\varphi_H(z, t), z, t] &= H_0 \cdot \vec{e}_{\rho H}[\varphi_H(z, t)] = H_0 \cdot \vec{e}_{\varphi E}[\varphi_E(z, t)] \end{aligned}$$

Dinamički polarni kutovi $\varphi_E(z, t)$ i $\varphi_H(z, t)$ vektora jakosti polja $\mathbf{E}_0$ i $\mathbf{H}_0$ na mjestu z u trenutku t i kutna brzina ω_z njihovog torzijskog titranja oko valne zrake određeni su izrazima:

$$\begin{aligned} \varphi_E(z, t) &= \tau_E(z, t) = \tau_0 \cdot \sin(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0) \quad , \quad \varphi_0 \in [0, \pi/2] \\ \varphi_H(z, t) &= \tau_H(z, t) = \varphi_E(z, t) + \frac{\pi}{2} \quad , \quad k_r = \frac{2\pi}{\lambda_r} = \frac{\omega_r}{c_0} \quad , \quad \lambda_r = 2\pi \cdot \frac{c_0}{\omega_r} \\ \omega_z(z, t) &= \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} = \tau_0 \cdot \omega_r \cdot \cos(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0) \end{aligned}$$

Za $\tau_0 < \pi$ polarizacijski profil tog mikrovala je lepezast jer njegovi vektori jakosti EM polja pri torzijskom titranju oko valne zrake ne opisuju puni krug.

Vektori jakosti polja dva horizontalno i vertikalno linearno polarizirana te prikladno modulirana gradbena ravna TVEM mikrovala, koji superpozicijom duž valne zrake daju helikoidalni torzijski mikroval, dobivaju se projekcijom njegovih radijalnih vektora polja $\mathbf{E}_0$ i $\mathbf{H}_0$ u promatranoj valnoj fronti na X i Y os. Na mjestu z u trenutku t određuju ih polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$, pa vektori jakosti polja gradbenih mikrovalova u valnoj fronti jesu:

$$\begin{aligned} \text{Val 1} &= \begin{cases} \vec{\mathbf{E}}_X = E_0 \cdot \cos \varphi_E(z,t) \cdot \vec{\mathbf{i}} = E_0 \cdot \cos \left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) \right] \cdot \vec{\mathbf{i}} \\ \vec{\mathbf{H}}_Y = H_0 \cdot \sin \varphi_H(z,t) \cdot \vec{\mathbf{j}} = H_0 \cdot \sin \left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) + \frac{\pi}{2} \right] \cdot \vec{\mathbf{j}} \end{cases} \\ \text{Val 2} &= \begin{cases} \vec{\mathbf{E}}_Y = E_0 \cdot \sin \varphi_E(z,t) \cdot \vec{\mathbf{j}} = E_0 \cdot \sin \left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) \right] \cdot \vec{\mathbf{j}} \\ \vec{\mathbf{H}}_X = H_0 \cdot \cos \varphi_H(z,t) \cdot \vec{\mathbf{i}} = H_0 \cdot \cos \left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) + \frac{\pi}{2} \right] \cdot \vec{\mathbf{i}} \end{cases} \end{aligned}$$

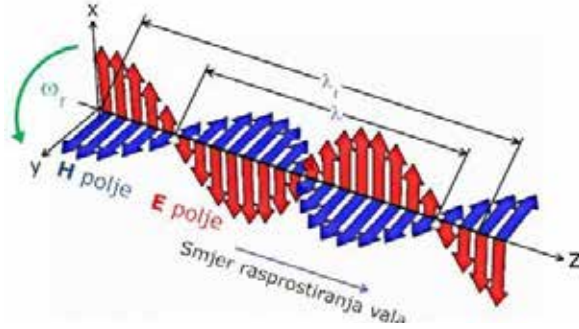
Oni se mogu proizvesti moduliranim signalima jednake amplitude (primjerice $e_0 = 100 \text{ V} \rightarrow$ vidi dodatak na kraju članka!) određenim izrazima:

$$\begin{aligned} e_X(t, \tau_0, \omega_\tau, \varphi_0) &= e_0 \cdot \cos \left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0) \right] = 100 \cdot \cos \left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0) \right] \\ e_Y(t, \tau_0, \omega_\tau, \varphi_0) &= e_0 \cdot \sin \left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0) \right] = 100 \cdot \sin \left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0) \right] \end{aligned}$$

Pri tom su amplituda torzijskog titranja vektora EM polja τ_0 , njegova kutna frekvencija ω_τ i početni fazni kut $\varphi_0 \in [0, \pi/2]$ po volji odaberivi parametri.

2.3 Hiperdinamički mikroval s rotirajućim vektorima polja

To je funkcionalno složen mikroval čiji uzajamno okomiti radijalni vektori jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ harmonijski titraju poprečno na valnu zraku (Z os) kutnom frekvencijom ω te istovremeno oko nje brzo rotiraju jednolikom kutnom brzinom $\omega_\tau \neq \omega$, pa je to u punom smislu riječi hiperdinamički mikroval (Slika 4).



Slika 4 – Hiperdinamički harmonijski mikroval s rotirajućim vektorima polja

Vektori jakosti polja tog mikrovala u promatranoj valnoj fronti mogu se u cilindričnim koordinatama predložiti parom jednočlanih vektorskih izraza:

$$\begin{aligned}\vec{E}[\varphi_E(z,t), z, t] &= E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\rho E}[\varphi_E(z, t)] \\ \vec{H}[\varphi_H(z,t), z, t] &= H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\rho H}[\varphi_H(z, t)] = \\ &= H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\varphi E}[\varphi_E(z, t)]\end{aligned}$$

Dinamički polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ vektora jakosti polja i njihova kutna brzina rotacije $\omega_z = \omega_r$ oko valne zrake određeni su izrazima:

$$\varphi_E(z, t) = \omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 \quad , \quad \omega_z = \omega_r = \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} \neq \omega$$

$$\varphi_H(z, t) = \varphi_E(z, t) + \frac{\pi}{2}$$

$$\omega_r > 0 - \text{desni val} \quad , \quad \omega_r < 0 - \text{lijevi val}$$

$$\text{Pri tom je:} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c_0} \quad , \quad k_r = \frac{2\pi}{\lambda_r} = \frac{\omega_r}{c_0}$$

Vektori jakosti polja dva horizontalno i vertikalno linearno polarizirana te prikladno modularana gradbena TVEM mikrovala, koji superpozicijom duž valne zrake daju općenito dvofrekventan ($\omega_r \neq \omega$) hiperdinamički mikroval s jednoliko rotirajućim vektorima polja, dobivaju se projekcijom njegovih radijalnih vektora jakosti polja **E** i **H** u promatranoj valnoj fronti na X i Y os. Na mjestu z u trenutku t određuju ih polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$, pa vektori jakosti polja gradbenih mikrovalova u valnoj fronti jesu:

$$\text{Val 1} = \begin{cases} \vec{E}_X = E_\rho(z, t) \cdot \cos \varphi_E(z, t) \cdot \vec{i} = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \cos(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0) \cdot \vec{i} \\ \vec{H}_Y = H_\rho(z, t) \cdot \sin \varphi_H(z, t) \cdot \vec{j} = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \sin\left(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \vec{j} \end{cases}$$

$$\text{Val 2} = \begin{cases} \vec{E}_Y = E_\rho(z, t) \cdot \sin \varphi_E(z, t) \cdot \vec{j} = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \sin(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0) \cdot \vec{j} \\ \vec{H}_X = H_\rho(z, t) \cdot \cos \varphi_H(z, t) \cdot \vec{i} = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \cos\left(\omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \vec{i} \end{cases}$$

Oni se mogu proizvesti signalima jednake amplitude (npr. $e_0 = 100$ V) određenim izrazima:

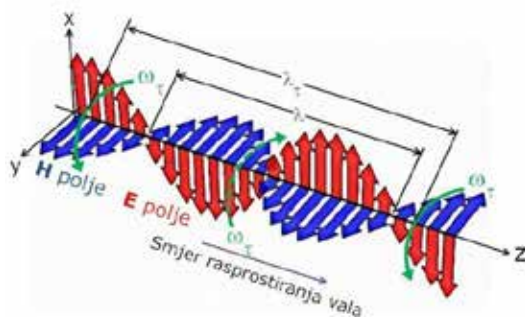
$$e_X(t, \omega, \omega_r, \varphi_0) = e_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega_r \cdot t + \varphi_0) = 100 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega_r \cdot t + \varphi_0)$$

$$e_Y(t, \omega, \omega_r, \varphi_0) = e_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega_r \cdot t + \varphi_0) = 100 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega_r \cdot t + \varphi_0)$$

Pri tom su kutna frekvencija poprečnog titranja ω , kutna brzina rotacije vektora polja ω_r i početni fazni kut $\varphi_0 \in [0, \pi/2]$ po volji odaberivi parametri.

2.4 Hiperdinamički mikroval s torzijski titrajućim vektorima polja

U tom funkcionalno vrlo složenom mikrovalu uzajamno okomiti poprečni vektori jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ harmonijski titraju poprečno na valnu zraku (Z os) kutnom frekvencijom ω i istovremeno oko nje torzijski titraju kutnom frekvencijom $\omega_\tau \neq \omega$ uz kutnu amplitudu τ_0 i pripadnu valnu duljinu λ_τ koja se općenito razlikuje od valne duljine λ poprečnog titranja (Slika 5).



Slika 5 - Hiperdinamički harmonijski mikroval s torzijski titrajućim vektorima polja

Vektori jakosti polja tog mikrovala mogu se u cilindričnim koordinatama predložiti parom jednočlanih vektorskih izraza:

$$\vec{E}[\varphi_E(z,t), z, t] = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\rho E}[\varphi_E(z,t)]$$

$$\vec{H}[\varphi_E(z,t), z, t] = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\rho H}[\varphi_H(z,t)] = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \vec{e}_{\varphi E}[\varphi_E(z,t)]$$

Dinamički polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ vektora jakosti polja i njihova kutna brzina $\omega_z(z,t)$ torzijskog titranja oko valne zrake određeni su izrazima:

$$\varphi_E(z,t) = \tau_E(z,t) = \tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) \quad , \quad \omega_\tau \neq \omega \quad , \quad \varphi_0 \in [0, \pi/2]$$

$$\varphi_H(z,t) = \tau_H(z,t) = \varphi_E(z,t) + \frac{\pi}{2}$$

$$\omega_z(z,t) = \omega_\tau(z,t) = \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} = \tau_0 \cdot \omega_\tau \cdot \cos(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0)$$

$$\text{Pri tom je:} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c_0} \quad , \quad k_\tau = \frac{2\pi}{\lambda_\tau} = \frac{\omega_\tau}{c_0}$$

Za $\tau_0 < \pi$ polarizacijski profil tog vala je lepezast jer vektori jakosti EM polja pri torzijskom titranju ne opisuju puni krug.

Vektori jakosti polja dva putujuća horizontalno i vertikalno linearno polarizirana gradbena TVEM mikrovala, koji superpozicijom duž valne zrake daju općenito dvofrekventan ($\omega_\tau \neq \omega$) mikroval s torzijski titrajućim vektorima, dobi-vaju se projekcijom radijalnih vektora jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ u promatranoj valnoj fronti na X i Y os. Na mjestu z u trenutku t određuju ih polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$, pa vektori jakosti polja gradbenih mikrovalova u valnoj fronti jesu:

$$\begin{aligned} \text{Val 1} &= \begin{cases} \vec{E}_X = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \cos[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0)] \cdot \vec{i} \\ \vec{H}_Y = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \sin\left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) + \frac{\pi}{2}\right] \cdot \vec{j} \end{cases} \\ \text{Val 2} &= \begin{cases} \vec{E}_Y = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \sin[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0)] \cdot \vec{j} \\ \vec{H}_X = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) \cdot \cos\left[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) + \frac{\pi}{2}\right] \cdot \vec{i} \end{cases} \end{aligned}$$

Oni se mogu proizvesti signalima jednake amplitude (npr. $e_0 = 100 \text{ V}$) određenim izrazima:

$$e_x(t, \omega, \tau_0, \omega_\tau, \varphi_0) = e_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0)]$$

$$e_y(t, \omega, \tau_0, \omega_\tau, \varphi_0) = e_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin[\tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t + \varphi_0)]$$

3. Što i kako dalje?

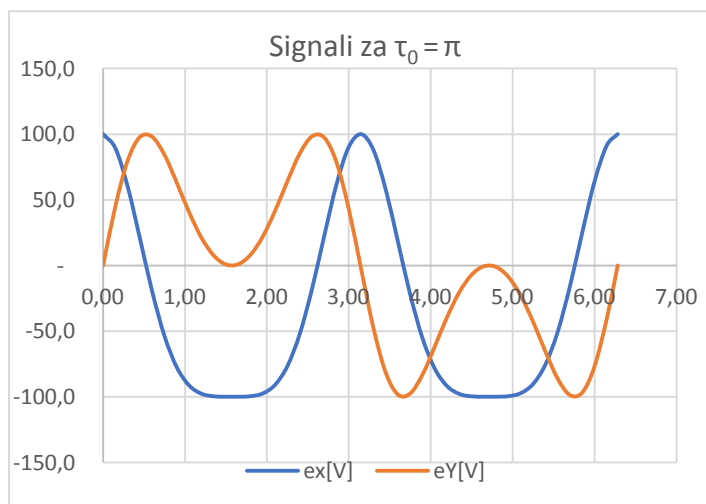
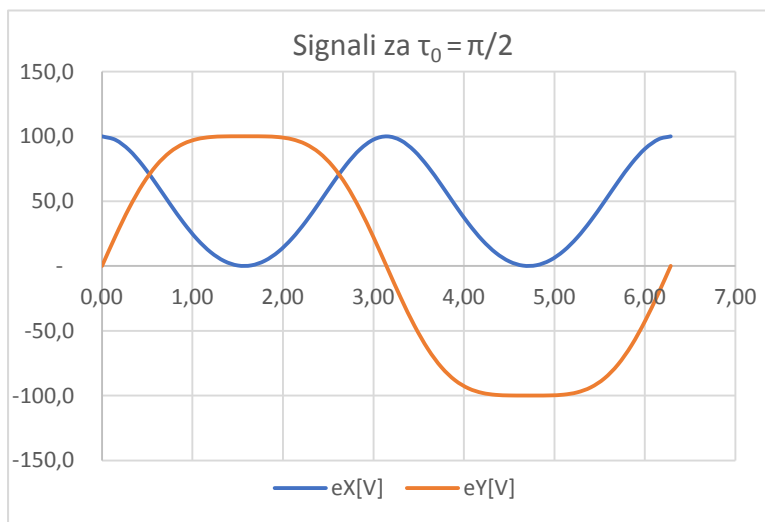
Predstavljeni matematički modeli dvofaznih mikrovalova s rotirajućim i torzijski titrajućim radijalnim vektorima polja zadovoljavaju jednadžbe elektrodinamike i valnu jednadžbu jer se dobivaju superpozicijom dva TVEM mikrovala međusobno okomite polarizacije koji te jednadžbe zadovoljavaju. Stoga su prikazani dvofazni mikrovalovi fizikalno neupitni i zasigurno tehnički mogući.

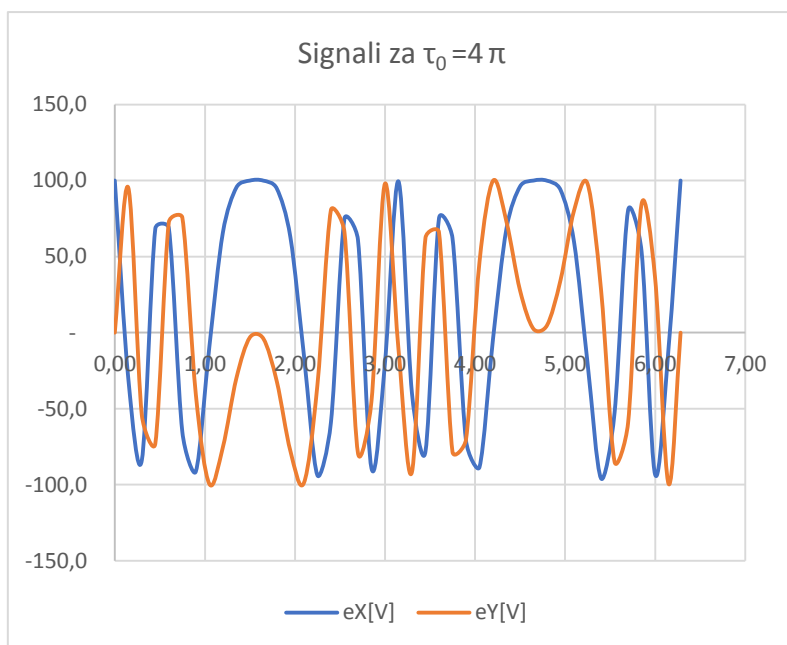
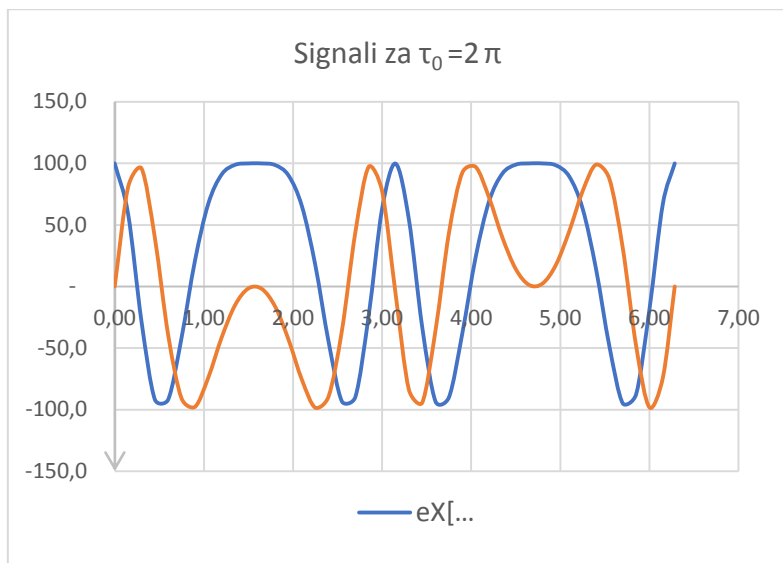
Bilo bi korisno da se što prije pristupi njihovoj cjelovitoj teorijskoj razradi, a posebice iznalaženju tehnika njihovog pridobivanja, modulacije i prijema. Pri tom bi prednost trebalo dati relativno jednostavnim helikoidalnim torzijskim mikrovalovima te jednofrekventnim ($\omega_\tau = \omega$, $\omega_\tau = \omega$) rotirajućim i torzijski titrajućim hiperdinamičkim mikrovalovima jer su oni funkcionalno jednostavniji.

Nakon što se uspješno riješi tehnike njihovog pridobivanja i prijema treba mjerenjima pobliže istražiti njihova svojstva, a zatim se valja pozabaviti iznalaženjem mogućnosti njihove primjene u tehnici mobilnih i satelitskih komunikacija, bežičnom prijenosu energije, tehnologiji, biologiji i medicini. Ako se u tome uspije moglo bi u tim područjima uslijediti više značajnih otkrića i patenata.

Literatura

- [1] Tomo Bosanac, *Teoretska elektrotehnika*, prvi dio, Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.
- [2] Bronštejn – Semendjajev, *Matematički priručnik*, Golden marketing & Tehnička knjiga, Zagreb, 2004.

Dodatak – Dijagrami signala za helikoidalni torzijski val



Ivan Šimatović

TWO-PHASE MICROWAVES WITH ROTATING AND TORSIONAL OSCILLATING FIELD VECTORS

Abstract: Linearly polarized transversal-vector waves are known and thoroughly researched in physics and electrical engineering, and widely used in radio and TV signal transmission, and helical (circularly polarized) microwaves in contemporary mobile and satellite communications. Due to the unstoppable development and rapid expansion of broadcasting and television, and especially modern mobile communications, there has been a great shortage of available frequencies for a long time. In the field of mobile and satellite communications, a new space could be opened for their further expansion if, in addition to the helical microwaves, functionally more complex two-phase microwaves were introduced. The area of two-phase microwaves is far from being used according to the possibilities it offers and could be enriched in the foreseeable future with three new types of microwaves. These are: helical microwaves with torsional oscillating field strength vectors of constant strength, and two functionally more complex hyperdynamic microwaves whose field vectors oscillate transversely and simultaneously rotate or torsional oscillate around the wave beam. It is shown how these microwaves can in principle be engineered.

Key words: two-phase microwave, helical microwave, circularly polarized, helical torsional microwave, hyperdynamic field, hyperdynamic microwave, field strength vectors, rotating vectors, torsional titrating vectors

Diferencijalne jednađbe elektrodinamike i njihova modifikacija za hiperdinamička polja¹

Sažetak: Prikazane su Maxwellove egzaktne jednađbe elektrodinamike u dvije verzije – teško preglednom i nezgrapnom skalarnom obliku te u preglednijem i matematički naprednijem kvaternionskom obliku. Zbog složene građe i mukotrpnog računanja kvaterniona Oliver Heaviside i Heinrich Rudolf Hertz su kvaternione u Maxwellovim jednađbama nadomjestili za računanje jednostavnijim te razumljivijim vektorima i skalarima. Uz ostala pojednostavnjenja, formulirali su četiri pregledne vektorske parcijalne diferencijalne jednađbe za elektrodinamička polja, koje su jednako točne te znatno lakše rješive od kvaternionskih. Zbog urađenih pojednostavnjenja one su nepotpune i ograničenog su dosega te vrijede za sva statička i dinamička makroskopska polja koja relativno miruju i mijenjaju se samo izravno u vremenu, što zadovoljava gotovo sve potrebe u fizici i elektrotehnici. Da bi te nepotpune jednađbe bile valjane i za funkcionalno složena hiperdinamička polja, koja se istovremeno mijenjaju izravno i neizravno (kinetički) u vremenu, neophodno je u njima modificirati operatore diferenciranja po vremenu i prostornim varijablama (*rot*, *div*). Time se dobivaju poopćene cjelovite vektorske jednađbe makroskopske elektrodinamike koje imaju znatno veći doseg te pokrivaju sve sagledive potrebe u fizici i elektrotehnici.

¹ Izrazito dinamička

Ključne riječi: Maxwellove jednadžbe, kvaternion, vektor, elektrodinamika, hiperdinamičko polje, izravna promjena u vremenu, neizravna promjena u vremenu, modifikacija operatora diferenciranja

1. Maxwellove jednadžbe elektrodinamike

Slavni škotski fizičar James Clerk Maxwell (1831. – 1879.) objavio je 1865. godine svoju potpunu (objedinjenu) fenomenološku dinamičku teoriju elektromagnetskih polja [1] baziranu na hipotezi o postojanju luminiferoznog (svjetlonosnog) etera – hipotetske nepokretne, savršeno fine, fluidne te fizički i kemijski nedetektibilne tvari koja ispunjava čitav prostor, ne pruža otpor gibanju tijela te se vlada kao nedisipativan krut elastičan medij kojim se velikom brzinom rasprostiru titraji elektromagnetskih valova. Preko etera prenosi se prostorom električno, magnetsko i gravitacijsko međudjelovanje na daljinu.

Maxwell je svojoj dinamičkoj teoriji dovršio, objasnio te cjelovito egzaktno povezao Faradayeve empirijski iznađene temeljne zakonitosti elektromagnetizma i formulirao ih je u strogom matematičkom obliku – sustavu od dvadeset skalarnih jednadžbi napisanih u Kartezijevim koordinatama. Pritom je preuzeo Faradayev koncept silnica električnog i magnetskog polja zasnovan na dalekosežnoj Boškovićevoj prirodnoj filozofiji. Te jednadžbe izgledaju ovako:

$e + \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} = 0$	(1) Gauss' Law
$\mu\alpha = \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz}$ $\mu\beta = \frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx}$ $\mu\gamma = \frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy}$	(2) Equivalent to Gauss' Law for magnetism
$P = \mu \left(\gamma \frac{dy}{dt} - \beta \frac{dz}{dt} \right) - \frac{dF}{dt} - \frac{d\Psi}{dz}$ $Q = \mu \left(\alpha \frac{dz}{dt} - \gamma \frac{dx}{dt} \right) - \frac{dG}{dt} - \frac{d\Psi}{dy}$ $R = \mu \left(\beta \frac{dx}{dt} - \alpha \frac{dy}{dt} \right) - \frac{dH}{dt} - \frac{d\Psi}{dx}$	(3) Faraday's Law (with the Lorentz Force and Poisson's Law)
$\frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} = 4\pi p' \quad p' = p + \frac{df}{dt}$ $\frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} = 4\pi q' \quad q' = q + \frac{dg}{dt}$ $\frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} = 4\pi r' \quad r' = r + \frac{dh}{dt}$	(4) Ampère-Maxwell Law
$P = -\xi p \quad Q = -\xi q \quad R = -\xi r$	Ohm's Law
$P = kf \quad Q = kg \quad R = kh$	The electric elasticity equation ($\mathbf{E} = \mathbf{D}/\epsilon$)
$\frac{de}{dt} + \frac{dp}{dx} + \frac{dq}{dy} + \frac{dr}{dz} = 0$	Continuity of charge

Maxwell je 1873. godine preformulirao svoj sustav od dvadeset egzaktnih jednačbi dinamičkih polja napisanih u glomaznom, nezgrapnom i teško preglednom skalaranom obliku. Da bi ih donekle sažeo te učinio preglednijim i razumljivijim u njih je, kao bitno matematičko unapređenje, za sve elektromagnetske veličine uveo kvaternione. Njegovih dvanaest kvaternionskih jednačbi su blistav vrhunac tadašnje matematičke fizike. Prema [2] one izgledaju ovako:

• **Maxwell's equations in quaternionic form** (Treatise, 2nd edition, 1881, Vol. II, p. 239–240; S = scalar and V vector part of quaternion) $\mathfrak{V}$ = velocity, ψ , Ω = scalar el./mg. pot., eq. numbers 1st column from 1865, 2nd one from 1881

(B ₁) (A)	$\mathfrak{B} = V \nabla \mathfrak{A} \quad (S \nabla \mathfrak{A} = 0 \Rightarrow \mathfrak{B} = \nabla \mathfrak{A})$	eq. of mg. induction
(D) (B)	$\mathfrak{E} = V \mathfrak{V} \mathfrak{B} - \mathfrak{A} - \nabla \psi$	eq. of el. motive force
(C)	$\mathfrak{F} = V \mathfrak{E} \mathfrak{B} - e \nabla \psi - m \nabla \Omega$	eq. of el. magn. force
(D)	$\mathfrak{B} = \mathfrak{H} + 4\pi \mathfrak{J}$	eq. of magnetization
(C) (E)	$4\pi \mathfrak{C} = V \nabla \mathfrak{H}$	eq. of el. currents
(F) [G]	$\mathfrak{R} = C \mathfrak{E}$	eq. of conductiv. (Ohm)
(E) [F]	$\mathfrak{D} = \frac{1}{4\pi} K \mathfrak{E}$	eq. of el. displacement
(A) [H]	$\mathfrak{C} = \mathfrak{R} + \mathfrak{D}$	eq. of true currents
(B ₂) [L]	$\mathfrak{B} = \mu \mathfrak{H}$	eq. of ind. magnetiz.
(G) [J]	$e = S \nabla \mathfrak{D}$	[Coulomb-Gauss law]
	$m = S \nabla \mathfrak{J}$	
	$\mathfrak{H} = - \nabla \Omega$	

On je držao da su sofisticirani kvaternioni, kojima se iskazuju sve električne i magnetske veličine, najprikladniji matematički alat za njihovu vjerodostojnu interpretaciju i egzaktnu analizu u elektrodinamici.

1.1 Što su kvaternioni?

Kvaternioni su Hamiltonovi hiperkompleksni četveročlani brojevi i predstavljaju zbroj skalara i vektora. Uz realni dio (skalar a) oni sadrže i tročlani imaginarni dio (vektor $\mathbf{v}$). Opći oblik kvaterniona u algebarskom zapisu prema [3] je:

$$\mathbf{q} = a + \mathbf{v} = a + b \cdot \mathbf{i} + c \cdot \mathbf{j} + d \cdot \mathbf{k}$$

U njemu su a , b , c , d realni brojevi, a $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$, $\mathbf{k}$ su tri međusobno okomite imaginarne jedinice ($\sqrt{-1}$) koje čine desni sustav. Za njih vrijedi:

$$\mathbf{i}^2 = \mathbf{j}^2 = \mathbf{k}^2 = \mathbf{i} \cdot \mathbf{j} \cdot \mathbf{k} = -1$$

U preformuliranim jednadžbama dinamičkih EM polja Maxwell je prikazao sve usmjerene fizikalne veličine (jakosti polja, gustoću struje) kvaternionima bez realnog (skalarnog) dijela ($a=0$, $b \cdot \mathbf{i} + c \cdot \mathbf{j} + d \cdot \mathbf{k} = \mathbf{v} \neq \mathbf{0}$), a sve neusmjerene veličine (naboje, potencijale, struje) kvaternionima bez imaginarnog (vektorskog) dijela ($a \neq 0$, $\mathbf{v} = \mathbf{0} \rightarrow b=c=d=0$).

Sofisticirana kvaternionska algebra, u odnosu na znatno jednostavniju Gibbs-Heavisideovu 3D vektorsku algebru, ima sljedeće prednosti:

- lakše se izvodi rotacija objekata u prostoru jer se ona zasniva na znamenitoj Eulerovoj formuli

$$e^{i\varphi} = \cos \varphi + \mathbf{i} \cdot \sin \varphi$$

- definiran je inverzni kvaternion $\mathbf{q}^{-1}$ što omogućuje dijeljenje kvaterniona $\mathbf{p}$ i $\mathbf{q}$ (lijevi ili desni produkt kvaterniona $\mathbf{p}$ s inverznim kvaternionom $\mathbf{q}$):

$$\mathbf{q}^{-1} \cdot \mathbf{p} \quad \text{ili} \quad \mathbf{p} \cdot \mathbf{q}^{-1}$$

Kvaternionima se može elegantno iskazivati pozicija i rotacija usmjerenih veličina u prostoru i vremenu ali su oni, zbog svoje složene građe i pravila računanja, veoma otežavali rješavanje kvaternionskih jednačbi elektromagnetskih polja na papiru s olovkom u ruci, jedinim alatom kojim su raspolagali tadašnji znanstvenici i elektrofizičari – preteče elektroinženjera. Te jednačbe su u primjeni svima bile teško prihvatljive pa se stoga intenzivno razmišljalo o iznalaženju mogućnosti za njihovo pojednostavljenje.

2. Heaviside-Hertzova vektorizacija Maxwellovih kvaternionskih jednačbi

Nakon što je Maxwell 1873. godine prvotni sustav od 20 skalarnih diferencijalnih jednačbi dinamičkih EM polja preformulirao u kvaternionske i time ih je sažeo u pregledniji te matematički napredniji i elegantniji oblik, oštrouman samouki britanski fizičar i matematičar Oliver Heaviside (1850. – 1925.) je, uz svesrdnu podršku Willarda Gibbsa, Arnolda Sommerfelda i drugih pragmatički orijentiranih utjecajnih fizičara ubrzo počeo inzistirati, unatoč oštrom Maxwellovom protivljenju, na zamjeni sofisticiranih kvaterniona strukturno jednostavnijim, intuitivnijim te stoga lakše razumljivim 3D vektorima i skalarima.

Heaviside je iz kvaterniona usmjerenih veličina EM polja izbacio njihov nulti skalarni član, a njihov tročlani imaginarni dio nadomjestio je vektorima čije se skalarne komponente mogu u Kartezijevim koordinatama iskazati funkcijama s uzajamno nezavisnim prostornim varijablama x, y, z i vremenom t .

Iz kvaterniona neusmjerenih veličina izbacio je njihov nulti imaginarni dio i time ih je pretvorio u skalarne veličine jednostavne za računanje,.

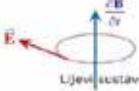
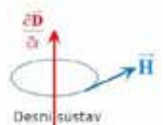
To je uradio kao nužno i, valja priznati, kao vrlo uspješno pojednostavnjenje izvršno prilagođeno efikasnom računanju u tadašnjim naglo naraslim potrebama primijenjene elektrofizike koja, za razliku od matematičke fizike, nije zahtijevala ni perfekciju, ni eleganciju, već što veću preglednost, jednostavnost i brzinu proračuna. Nezavisno o Heavisideu isto je nešto kasnije uradio i briljantan mladi te rano preminuli njemački fizičar Heinrich Rudolf Hertz (1857.–1894.).

Prema njihovom mišljenju za matematičku interpretaciju i analizu elektromagnetskih polja u fizici, a posebice za složene proračune u tadašnjoj naglo uznapredovanoj primijenjenoj elektrofizici – prethodnici suvremenog elektroinženjerstva, vektori i skalari su jednako točni te mnogo praktičniji od za računanje "groznih" sofisticiranih Hamilton-Maxwellovih kvaterniona.

S tog gledišta je Heaviside-Hertzova samovoljna pragmatička preformulacija strukturno složenog sustava od dvanaest Maxwellovih egzaktnih kvaternionskih jednačbi dinamičkih EM polja u drastično pojednostavnjene i reducirane vektorske jednačbe tada bila opravdana i svima dobro došla.

Vektorizacijom je Maxwellov egzaktan sustav sofisticiranih kvaternionskih jednačbi makroskopskih dinamičkih polja bio transformiran u konceptualno degradiran te drastično reduciran sustav strukturno slabijih vektorskih jednačbi. On sadrži tek četiri kratke te naizgled jednostavne parcijalne diferencijalne jednačbe elegantno iskazane u sažetom operatorskom obliku zanisa. One vrlo pregledno povezuju vektore jakosti dinamičkih polja, te struja te slobodne električne naboje u prostoru i vremenu.

ri temeljne Heaviside-Hertzove vektorske parcijalne diferencijalne jednačbe makroskopskog dinamičkog EM polja u inercijskom izotropnom praznom prostoru bez struja i naboja, iskazane u sažetom operatorskom obliku i racionaliziranom zapisu, prema [4] jesu:

$$\underbrace{rot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\mu_0 \cdot \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}}_{\text{Prva jednačba - načelo EM indukcije}}, \quad \underbrace{div \vec{D} = div(\epsilon_0 \cdot \vec{E}) = \epsilon_0 \cdot div \vec{E} = 0}_{\text{Treća jednačba - bezizvornost } \vec{D} \text{ polja}}$$

$$\underbrace{rot \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \epsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}}_{\text{Druga jednačba - pomaćna struja}}, \quad \underbrace{div \vec{B} = div(\mu_0 \cdot \vec{H}) = \mu_0 \cdot div \vec{H} = 0}_{\text{Četvrta jednačba - bezizvornost } \vec{B} \text{ polja}}$$

Prva i druga jednačba su glavne i po svojem iskazu su rotorske pa funkcioniraju samo ako je na njihove obje strane dinamičko vrtložno te stoga bezizvorno $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ polje čije silnice su uvijek zatvorene krivulje.

Heaviside-Hertzov sustav vektorskih jednačbi dinamičkih EM polja objavljen je 1884. godine, pet godina nakon Maxwellove smrti, te je, kao bitno jednostavniji, pregledniji i znatno lakše rješiv od sofisticiranih sustava kvaternionskih jednačbi, ubrzo bio prihvaćen u fizici, a zatim u teoretskoj elektrotehnici i u tehnici bežičnih komunikacija gdje se vrlo uspješno i neupitno koristi sve do danas jer, unatoč svojoj nepotpunosti, izvršno pokriva gotovo sve potrebe.

No, mnogo zahtjevnija teorijska (matematička) fizika je njihovim nedovoljno kritičkim prihvaćanjem te naknadnim odbacivanjem hipoteze o postojanju luminiferoznog etera, na temelju interpretacije iznenađujućih ishoda legendarnih Michelson-Morleyevih interferometrijskih mjerenja koja su, po mišljenju mnogih suvremenih istraživača, bila upitno koncipirana, mnogo izgubila.

Te četiri žalosno nepotpune vektorske jednačbe klasične elektrodinamike već se više od jednog stoljeća navode u svim visokoškolskim udžbenicima fizike, teoretske elektrotehnike i priručnicima kao slavne Maxwellove jednačbe, premda to nije tako. One, naime, zbog drastične konceptualne degradiranosti i očitih nepotpunosti u njihovom operatorskom prikazu predstavljaju tek blijedi odraz Maxwellovih egzaktnih sofisticiranih kvaternionskih jednačbi.

Stoga ih, zbog poštovanja visokog i prestižnog Maxwellovog ugleda, nije umjesno nazivati njegovim imenom. Najprikladnije ih je nazivati samo "jednačbama elektrodinamike" ili "Heaviside-Hertzovim jednačbama" želi li se istaći njihove autore koji su ih, uz svesrdnu podršku nekolicine tadašnjih utjecajnih te pragmatički orijentiranih (elektro)fizičara, samovoljno formulirali.

3. Ograničen doseg vektorskih jednadžbi klasične elektrodinamike

“Criticizing Maxwell’s equations is dangerous. One is immediately relegated as heretic. On the other hand, the power of mathematical reasoning cannot be ignored.”

Daniele Funaro

Vektorske jednadžbe klasične elektrodinamike su relativistički invarijantne te podržavaju sva relativno mirujuća makroskopska statička, kvazistatička i dinamička polja čiji se vektori jakosti $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ mogu općenito iskazati skalarnim komponentama definiranim trima neprekinutim diferencijabilnim funkcijama E_x, E_y, E_z i H_x, H_y, H_z koje zavise o tri prostorne varijable x, y, z i vremenu t .

Stoga za iskazivanje vektora jakosti dinamičkih polja u prostornim Kartezijevim koordinatama pomoću njihovih skalarnih komponenti općenito vrijedi:

$$\begin{aligned}\vec{\mathbf{E}}(x, y, z, t) &= E_x(x, y, z, t) \cdot \vec{\mathbf{i}} + E_y(x, y, z, t) \cdot \vec{\mathbf{j}} + E_z(x, y, z, t) \cdot \vec{\mathbf{k}} \\ \vec{\mathbf{H}}(x, y, z, t) &= H_x(x, y, z, t) \cdot \vec{\mathbf{i}} + H_y(x, y, z, t) \cdot \vec{\mathbf{j}} + H_z(x, y, z, t) \cdot \vec{\mathbf{k}}\end{aligned}$$

Pri tom se prešutno podrazumijeva da su tri prostorne varijable x, y, z i vrijeme t međusobno nezavisne varijable! Takva EM polja su dominantna u fizici i elektrotehnici pa za njih te nepotpune jednadžbe izvrsno funkcioniraju.

No, već pri malo pažljivijem pogledu na prvu i drugu jednadžbu, prvo što upada u oči jest da na njihovoj desnoj strani stoji parcijalna derivacija vektora jakosti polja po vremenu ($\partial\mathbf{H}/\partial t$ odnosno $\partial\mathbf{E}/\partial t$), što jasno upućuje da one opisuju samo dinamička polja čiji se vektori jakosti $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ u promatranoj fiksnoj točki (hvatištu) $T(x, y, z)$ u trenutku t mijenjaju samo izravno u vremenu duž međusobno okomitih pravaca e i h njihovog djelovanja. Ti pravci su tangente na silnice EM polja u promatranoj točki.

$$\begin{aligned}\frac{\partial \vec{\mathbf{E}}}{\partial t} &= \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{\vec{\mathbf{E}}(x, y, z, t+dt) - \vec{\mathbf{E}}(x, y, z, t)}{dt}, \quad dt > 0 \text{ i } dx = dy = dz = 0 \Rightarrow \frac{dx}{dt} = \frac{dy}{dt} = \frac{dz}{dt} = 0 \\ \frac{\partial \vec{\mathbf{H}}}{\partial t} &= \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{\vec{\mathbf{H}}(x, y, z, t+dt) - \vec{\mathbf{H}}(x, y, z, t)}{dt}, \quad dt > 0 \text{ i } dx = dy = dz = 0 \Rightarrow \frac{dx}{dt} = \frac{dy}{dt} = \frac{dz}{dt} = 0\end{aligned}$$

$\begin{matrix} v_x & v_y & v_z \end{matrix}$

Iz navedenih definicija parcijalnih derivacija po vremenu vektora jakosti $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ dinamičkog polja na promatranom mjestu $T(x, y, z)$ u trenutku t , uz

nulti pomak njegovog hvatišta ($dx=dy=dz=0$) tijekom intervala dt , očito je da se u prvoj i drugoj jednačbi ona tretiraju kao nepomična prema mirnom promatraču, ali pritom vektori jakosti polja mogu oko hvatišta postranično rotirati.

4. Redefiniranje jednačbi elektrodinamike u vremenskoj domeni

Najjednostavniji način da se uoči nepotpunost prvih dviju jednačbi u vremenskoj domeni je analiza funkcionalno složenih hiperdinamičkih polja koja se istovremeno mijenjaju izravno ($\partial \mathbf{H}/\partial t$ i $\partial \mathbf{E}/\partial t$) i neizravno (kinetički) u vremenu. To su – jasnije rečeno – sva dinamička polja u relativnom translatornom gibanju prema mirnom promatraču, ili osna polja funkcionalno složenih dvofaznih transversalno-vektorskih (TVEM) mikrovalova čiji poprečno titrajući vektori jakosti polja istovremeno postranično rotiraju, ili torzijski titraju, oko valne zrake.

Brzina izravne promjene u vremenu vektora jakosti takvih polja na promatranom mjestu $T(x,y,z)$ u trenutku t određena je njihovim parcijalnim derivacijama $\partial \mathbf{E}/\partial t$ i $\partial \mathbf{H}/\partial t$ i zbiva se duž trenutnih pravaca $\mathbf{e}$ i $\mathbf{h}$ njihovog djelovanja.

Brzina neizravne (kinetičke) promjene u vremenu vektora jakosti tih polja na promatranom mjestu $T(x,y,z)$ u trenutku t određena je relativnom brzinom translacije njihovog hvatišta, ili kutnom brzinom postranične rotacije vektora jakosti polja oko njega, prema mirnom promatraču i poprečna je na brzinu izravne promjene u vremenu, odnosno na pravace $\mathbf{e}$ i $\mathbf{h}$ njihovog djelovanja.

Ukupna brzina promjene u vremenu vektora jakosti $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ hiperdinamičkog polja na promatranom mjestu jednaka je vektorskom zbroju tih dviju brzina i mjerodavna je za njihov ukupan elektromagnetski induksijski učinak u prostoru.

Gledano s tog rakursa očito je da na desnoj strani prve i druge jednačbe, uz parcijalne derivacije po vremenu $\partial \mathbf{E}/\partial t$ i $\partial \mathbf{H}/\partial t$ vektora jakosti dinamičkih polja koja se relativno gibaju prema mirnom promatraču, nedostaju članovi koji na trenutno promatranoj poziciji iskazuju brzinu njihove neizravne (kinetičke) promjene u vremenu zbog translatorne promjene položaja hvatišta, ili promjene međusobno okomitih pravaca $\mathbf{e}$ i $\mathbf{h}$ djelovanja vektora osnih polja zbog njihove postranične rotacije ili torzijskog titranja oko valne zrake.

Da bi te dvije krnje vektorske diferencijalne jednačbe bile primjenjive na hiperdinamička polja, koja se istovremeno mijenjanju izravno i neizravno u

vremenu, očito je da na njihovoj desnoj strani treba operator parcijalnog diferenciranja po vremenu $\partial/\partial t$ vektora jakosti polja nadomjestiti operatorom ukupnog diferenciranja po vremenu d/dt . Time se na promatranom mjestu u trenutku t dobiva ukupna brzina njihove promjene u vremenu prema mirnom promatraču.

Uz tu naizgled malenu, ali dalekosežnu, modifikaciju operatora prva i druga jednačba postaju općenite i značajno povećavaju svoj doseg pa mogu vjerodostojno opisivati funkcionalno složeno ponašanje dinamičkih polja koja se relativno translacijski gibaju prema mirnom promatraču, ili osna polja funkcionalno složenih dvofaznih elektromagnetskih valova čiji vektori jakosti polja postranično rotiraju, ili torzijski titraju, oko valne zrake.

Ta modifikacija operatora diferenciranja po vremenu ($\partial/\partial t \rightarrow d/dt$) može se, slikovito rečeno, smatrati kao nužan "SP1" za prvu i drugu vektorsku jednačbu elektrodinamike. Time se na njihovoj desnoj strani, uz izravnu brzinu promjene u vremenu $\partial \mathbf{E}/\partial t$ i $\partial \mathbf{H}/\partial t$ vektora jakosti polja, dobivaju nedostajući članovi koji daju brzinu njihove neizravne (kinetičke) promjene u vremenu na promatranom mjestu $T(x,y,z)$ u trenutku t prema mirnom promatraču.

5. Određivanje ukupne brzine promjene u vremenu hiperdinamičkog EM polja

Neka se dinamičko EM polje relativno translatorno giba nerelativističkom brzinom $|\mathbf{v}| \ll c_0$ prema mirnom promatraču te promatrano hvatište $T(x,y,z)$ vektora jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ u trenutku t ima brzinu $\mathbf{v}(t)$. Vektori jakosti polja su, općenito uzevši, zavisni o tri dinamičke prostorne koordinate $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ i vremenu t kao jedinjoj nezavisnoj varijabli.

Tijekom diferencijala vremena dt hvatište vektora jakosti polja $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ pomakne se iz točke $T(x,y,z)$ određene radijvektorom $\mathbf{r} = x \cdot \mathbf{i} + y \cdot \mathbf{j} + z \cdot \mathbf{k}$ za diferencijalni pomak $d\mathbf{r} = dx \cdot \mathbf{i} + dy \cdot \mathbf{j} + dz \cdot \mathbf{k}$. Pri tom je ukupna promjena vektora jakosti polja na promatranom mjestu određena totalnim vektorskim diferencijalima $d\mathbf{E}$ i $d\mathbf{H}$ koji su definirani izrazima:

$$d\vec{\mathbf{E}} = \frac{\partial \vec{\mathbf{E}}}{\partial t} \cdot dt + \frac{\partial \vec{\mathbf{E}}}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial \vec{\mathbf{E}}}{\partial y} \cdot dy + \frac{\partial \vec{\mathbf{E}}}{\partial z} \cdot dz \quad , \quad d\vec{\mathbf{H}} = \frac{\partial \vec{\mathbf{H}}}{\partial t} \cdot dt + \frac{\partial \vec{\mathbf{H}}}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial \vec{\mathbf{H}}}{\partial y} \cdot dy + \frac{\partial \vec{\mathbf{H}}}{\partial z} \cdot dz$$

Njihovim dijeljenjem diferencijalom vremena $dt > 0$ dobivaju se za vektore jakosti $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ dinamičkog polja u translatorskom gibanju u promatranjoj točki $T(x,y,z)$ u trenutku t opći izrazi za ukupnu brzinu njihove promjene u vremenu iskazani u sažetom operatorskom obliku:

$$\frac{d\vec{E}}{dt} = \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} \cdot \frac{dz}{dt} = \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{E} = \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \text{rot}(\vec{E} \times \vec{v})$$

$$\frac{d\vec{H}}{dt} = \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{H}}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \vec{H}}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{\partial \vec{H}}{\partial z} \cdot \frac{dz}{dt} = \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{H} = \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \text{rot}(\vec{H} \times \vec{v})$$

U njima prvi član na desnoj strani ($\partial \vec{H}/\partial t$ i $\partial \vec{E}/\partial t$) daje brzinu izravne promjene jakosti polja u vremenu, a drugi član, koji sadrži operator $\vec{v} \cdot \vec{\nabla}$ usmjerenog diferenciranja vektora jakosti polja po vektoru brzine $\vec{v}(t) = d\vec{r}/dt$, određuje brzinu neizravne promjene jakosti polja u vremenu. Taj skalarni operator u Kartezijevim prostornim koordinatama općenito izgleda ovako:

$$\vec{v} \cdot \vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial \vec{v}} = (v_x \cdot \vec{i} + v_y \cdot \vec{j} + v_z \cdot \vec{k}) \cdot \left(\vec{i} \cdot \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \cdot \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \cdot \frac{\partial}{\partial z} \right) = v_x \cdot \frac{\partial}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial}{\partial z}$$

Za rotirajuća fiksna električna i magnetska polja koja se mijenjaju samo neizravno u vremenu otpadaju članovi $\partial \vec{H}/\partial t$ i $\partial \vec{E}/\partial t$ pa stoga za njih vrijedi:

$$\frac{d\vec{E}}{dt} = \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} \cdot \frac{dz}{dt} = (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{E} = \text{rot}(\vec{E} \times \vec{v})$$

$$\frac{d\vec{H}}{dt} = \frac{\partial \vec{H}}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \vec{H}}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{\partial \vec{H}}{\partial z} \cdot \frac{dz}{dt} = (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{H} = \text{rot}(\vec{H} \times \vec{v})$$

Za rotirajuća i torzijski titrajuća hiperdinamička radijalna osna polja funkcionalno složenih dvofaznih TVEM valova, s hvatištima vektora jakosti polja duž valne zrake (Z osi), ukupna brzina promjene u vremenu određena je izrazima:

$$\frac{d\vec{E}}{dt} = \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \vec{\omega}_z \times \vec{E} \quad , \quad \frac{d\vec{H}}{dt} = \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \vec{\omega}_z \times \vec{H}$$

U njima je $\vec{\omega}_z = \omega_z \cdot \vec{k} = \partial \varphi / \partial t \cdot \vec{k}$ vektor kutne brzine postranične rotacije vektora jakosti EM polja oko valne zrake.

Hiperdinamičko polje dvofaznih valova, čiji vektori jakosti polja u valnoj fronti poprečno titraju te istovremeno rotiraju ili torzijski titraju oko valne zrake može se u cilindričnim koordinatama predložiti parom vektorskih izraza s međusobno nezavisnim varijablama z i t , te polarnim kutovima φ_E i φ_H vektora jakosti EM polja zavisnim o tim varijablama. Ti izrazi iskazani u općem obliku jesu:

$$\bar{\mathbf{E}}[\varphi_E(z, t), z, t] = E_\rho(z, t) \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\rho E}[\varphi_E(z, t)]$$

$$\bar{\mathbf{H}}[\varphi_E(z, t), z, t] = H_\rho(z, t) \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\rho H}[\varphi_H(z, t)] = H_\rho(z, t) \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\varphi E}[\varphi_E(z, t)]$$

Pri tom se poprečno titranje vektora kombinira s rotacijom ili torzijskim titranjem.

$$E_\rho(z, t) = E_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z), H_\rho(z, t) = H_0 \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot z) - \text{harmonijsko titranje}$$

$$\varphi_E(z, t) = \begin{cases} \omega_r \cdot t - k_r \cdot z + \varphi_0 & - \text{jednolika rotacija oko valne zrake} \\ \tau_0 \cdot \sin(\omega_\tau \cdot t - k_\tau \cdot z + \varphi_0) & - \text{torzijsko titranje oko valne zrake} \end{cases}$$

$$\varphi_H(z, t) = \varphi_E(z, t) + \frac{\pi}{2}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c_0}, \quad k_r = \frac{2\pi}{\lambda_r} = \frac{\omega_r}{c_0}, \quad k_\tau = \frac{2\pi}{\lambda_\tau} = \frac{\omega_\tau}{c_0}$$

Ukupna brzina promjene u vremenu vektora jakosti radijalnog osnog hiperdinamičkog polja na promatranom mjestu z valne zrake u trenutku t u određuje se njihovim ukupnim diferenciranjem po vremenu na sljedeći način:

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{\mathbf{E}}}{dt} &= \frac{d}{dt} \cdot (E_\rho \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\rho E}) = \frac{\partial E_\rho}{\partial t} \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\rho E} + E_\rho \cdot \frac{d\bar{\mathbf{e}}_{\rho E}}{d\varphi_E} \cdot \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = \frac{\partial E_\rho}{\partial t} \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\rho E} + E_\rho \cdot \omega_Z \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\varphi E} \\ \frac{d\bar{\mathbf{H}}}{dt} &= \frac{d}{dt} \cdot (H_\rho \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\rho H}) = \frac{\partial H_\rho}{\partial t} \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\rho H} + H_\rho \cdot \frac{d\bar{\mathbf{e}}_{\rho H}}{d\varphi_H} \cdot \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} = \frac{\partial H_\rho}{\partial t} \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\rho H} + H_\rho \cdot \omega_Z \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\varphi H} = \\ &= \frac{\partial H_\rho}{\partial t} \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\varphi E} - E_\rho \cdot \omega_Z \cdot \bar{\mathbf{e}}_{\rho E} \quad \text{jer je:} \quad \bar{\mathbf{e}}_{\rho H} = \bar{\mathbf{e}}_{\varphi E} \text{ i } \bar{\mathbf{e}}_{\varphi H} = -\bar{\mathbf{e}}_{\rho E} \end{aligned}$$

$$\text{Pri tom je } \omega_Z(z, t) = \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} = \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} \quad \text{kutna brzina rotacije vektora polja}$$

Pri diferenciranju poprečnih vektora $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ osnih polja po dinamičkoj polarnoj varijabli $\varphi(z, t)$ je uvaženo da pri njihovoj rotaciji ili torzijskom titranju oko valne zrake iz jednog položaja u drugi pripadni fluktuirajući jedinični vektori $\mathbf{e}_{\rho E}$ i $\mathbf{e}_{\rho H} = \mathbf{e}_{\varphi E}$, za razliku od fiksnog osnog jediničnog vektora $\mathbf{e}_z = \mathbf{k}$, neprestano mijenjaju pravac djelovanja, ali pri tom oni uvijek ostaju međusobno okomiti.

Iz prethodnih izraza za određivanja ukupne brzine promjene u vremenu osnog hiperdinamičkog EM polja je očito da oni sadrže dva člana (brzinu izravne i brzinu neizravne promjene u vremenu) pa su prve dvije jednadžbe u svojem izvornom obliku, koje u vremenskoj domeni sadrže samo jedan član (brzinu izravne promjene u vremenu), za ta polja nepotpune i stoga su ograničenog dosega.

6. Redefiniranje jednačbi elektrodinamike u prostornoj domeni

Da Heaviside-Hertzove jednačbe ni u prostornoj domeni nisu formulirane dovoljno općenito može se uočiti pri određivanju ukupne rotacije i divergencije vektora jakosti polja hiperdinamičkih TVEM valova. Kod njih su, naime, dinamički polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ vektora jakosti $\mathbf{E}$ i $\mathbf{H}$ prema horizontali duž valne zrake zavisni o uzdužnoj varijabli z i vremenu t , što usložnjava određivanje njihove rotacije i divergencije (diferenciranje složenih funkcija [4]).

Zato je u krnjem sustavu vektorskih jednačbi za hiperdinamičke TVEM valove potrebno modificirati operatore prostornog diferenciranja (*rot*, *div*) tako da se u Hamiltonovom operatoru ∇ (*nabla*) u Kartezijevim i cilindričnim koordinatama podoperator parcijalnog diferenciranja $\partial/\partial z$ po uzdužnoj varijabli z nadomjesti podoperatorom ukupnog diferenciranja d/dz koji uvažava međuzavisnost dinamičkih polarnih kutova $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ o varijabli z . Shodno tome za proizvoljan putujući ravan hiperdinamički TVEM val koji se širi duž Z osi vrijedi:

$$\bar{\nabla} = \bar{\mathbf{k}} \cdot \frac{\partial}{\partial z} \quad \rightarrow \quad \bar{\nabla}_d = \bar{\mathbf{k}} \cdot \frac{d}{dz}$$

Tako modificiran operator *nabla* označen je indeksom "d" koji podsjeća na ukupno diferenciranje po varijabli z . On zahvaća u zavisnost polarnih varijabli $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ o varijabli z . To je, slikovito rečeno, nužan "SP2" u operatorskom redefiniranju sustava vektorskih jednačbi elektrodinamike! Na njemu zasnovani operatori vektorske analize *Div*, *Grad*, *Rot* pišu se velikim početnim slovom

$$\begin{aligned} \text{div } \bar{\mathbf{V}} &= \bar{\nabla} \cdot \bar{\mathbf{V}} & \rightarrow & \text{Div } \bar{\mathbf{V}} = \bar{\nabla}_d \cdot \bar{\mathbf{V}} & \Delta \cdot U &= (\bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla}) \cdot U & \rightarrow & \Delta_d \cdot U = (\bar{\nabla}_d \cdot \bar{\nabla}_d) \cdot U \\ \text{rot } \bar{\mathbf{V}} &= \bar{\nabla} \times \bar{\mathbf{V}} & \rightarrow & \text{Rot } \bar{\mathbf{V}} = \bar{\nabla}_d \times \bar{\mathbf{V}} & \Delta \cdot \bar{\mathbf{V}} &= (\bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla}) \cdot \bar{\mathbf{V}} & \rightarrow & \Delta_d \cdot \bar{\mathbf{V}} = (\bar{\nabla}_d \cdot \bar{\nabla}_d) \cdot \bar{\mathbf{V}} \\ \text{grad } U &= \bar{\nabla} \cdot U & \rightarrow & \text{Grad } U = \bar{\nabla}_d \cdot U \end{aligned}$$

da se time istakne razlika prema konvencionalnim operatorima *div*, *grad*, *rot* koji se navode u udžbenicima vektorske analize i matematičkim priručnicima te sadrže parcijalne derivacije po prostornim varijablama u odabranim koordinatama. Oni su, naime, valjani samo ako su prostorne varijable (x, y, z ili ρ, φ, z) u skalarnim komponentama vektorskih polja međusobno nezavisne!

Ukupna promjena u prostoru (rotacija) radialnog osnog hiperdinamičkog polja u cilindričnim koordinatama određuje se diferenciranjem na sljedeći način:

$$\begin{aligned}
 Rot \vec{E} &= \vec{\nabla}_d \times \vec{E} = \vec{k} \cdot \frac{d}{dz} \times (E_\rho \cdot \vec{e}_{\rho E}) = \vec{k} \times \left(\frac{\partial E_\rho}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\rho E} + E_\rho \cdot \frac{d\vec{e}_{\rho E}}{dz} \cdot \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \right) = \vec{k} \times \left(\frac{\partial E_\rho}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\rho E} + E_\rho \cdot k_z \cdot \vec{e}_{\varphi E} \right) = \\
 &= \frac{\partial E_\rho}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\varphi E} - E_\rho \cdot k_z \cdot \vec{e}_{\rho E} \quad , \quad \vec{k} \times \vec{e}_{\rho E} = \vec{e}_{\varphi E} \quad , \quad \vec{k} \times \vec{e}_{\varphi E} = -\vec{e}_{\rho E} \\
 Rot \vec{H} &= \vec{\nabla}_d \times \vec{H} = \vec{k} \cdot \frac{d}{dz} \times (H_\rho \cdot \vec{e}_{\rho H}) = \vec{k} \times \left(\frac{\partial H_\rho}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\rho H} + H_\rho \cdot \frac{d\vec{e}_{\rho H}}{dz} \cdot \frac{\partial \varphi_H}{\partial z} \right) = \vec{k} \times \left(\frac{\partial H_\rho}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\rho H} + H_\rho \cdot k_z \cdot \vec{e}_{\varphi H} \right) = \\
 &= \frac{\partial H_\rho}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\varphi H} - H_\rho \cdot k_z \cdot \vec{e}_{\rho H} = -\frac{\partial H_\rho}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\rho E} - H_\rho \cdot k_z \cdot \vec{e}_{\varphi E} \quad , \quad \vec{k} \times \vec{e}_{\rho H} = \vec{e}_{\varphi H} \quad , \quad \vec{k} \times \vec{e}_{\varphi H} = -\vec{e}_{\rho H}
 \end{aligned}$$

$$\text{Pri tom je } k_z(z, t) = \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} = \frac{\partial \varphi_H}{\partial z} \quad , \quad \vec{e}_{\rho H} = \vec{e}_{\varphi E} \quad , \quad \vec{e}_{\varphi H} = -\vec{e}_{\rho E}$$

Ona sadrži doprinose promjene hiperdinamičkog polja u prostoru od nje-gove brzine izravne i brzine neizravne (kinetičke) promjene u vremenu.

Ukupna divergencija vektora jakosti osnog polja hiperdinamičkog TVEM vala u cilindričnim koordinatama određuje se ovako:

$$\begin{aligned}
 Div \vec{E} &= \vec{\nabla}_d \cdot \vec{E} = \left(\vec{k} \cdot \frac{d}{dz} \right) \cdot (E_\rho \cdot \vec{e}_{\rho E}) = \vec{k} \cdot \left(\frac{\partial E_\rho}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\rho E} + E_\rho \cdot \frac{d\vec{e}_{\rho E}}{dz} \right) = \\
 &= \vec{k} \cdot \left(\frac{\partial E_\rho}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\rho E} + E_\rho \cdot \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\varphi E} \right) = \frac{\partial E_\rho}{\partial z} \cdot \left(\vec{k} \cdot \vec{e}_{\rho E} \right) + E_\rho \cdot \frac{\partial \varphi_E}{\partial z} \cdot \left(\vec{k} \cdot \vec{e}_{\varphi E} \right) = 0 \\
 Div \vec{H} &= \vec{\nabla}_d \cdot \vec{H} = \left(\vec{k} \cdot \frac{d}{dz} \right) \cdot (H_\rho \cdot \vec{e}_{\rho H}) = \vec{k} \cdot \left(\frac{\partial H_\rho}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\rho H} + H_\rho \cdot \frac{d\vec{e}_{\rho H}}{dz} \right) = \\
 &= \vec{k} \cdot \left(\frac{\partial H_\rho}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\rho H} + H_\rho \cdot \frac{\partial \varphi_H}{\partial z} \cdot \vec{e}_{\varphi H} \right) = \frac{\partial H_\rho}{\partial z} \cdot \left(\vec{k} \cdot \vec{e}_{\rho H} \right) + H_\rho \cdot \frac{\partial \varphi_H}{\partial z} \cdot \left(\vec{k} \cdot \vec{e}_{\varphi H} \right) = 0
 \end{aligned}$$

Diferenciranje fluktuirajućih poprečnih jediničnih vektora $\mathbf{e}_\rho$ i $\mathbf{e}_\varphi$ polarnih i cilindričnih koordinata po polarnoj varijabli φ te varijablama z i t prikazano je u matematičkom prilogu na kraju članka.

7. Klasične i modificirane jednačbe elektrodinamike

Prethodno obrazloženim modifikacijama operatora diferenciranja u vektorskim jednačbama elektrodinamike u vremenskoj i prostornoj domeni:

$$\text{"SP1": } \partial/\partial t \rightarrow d/dt \quad \text{i} \quad \text{"SP2": } \partial/\partial z \rightarrow d/dz \rightarrow \text{Rot, Div}$$

dobiva se operatorski modificiran (poopćen) sustav potpunih vektorskih diferencijalnih jednačbi podesan za egzaktno opisivanje svih makroskopskih dinamičkih i hiperdinamičkih polja u praznom prostoru bez struja i naboja, čija se hvatišta vektora polja relativno translatorno gibaju prema mirnom promatraču. U usporedbi s klasičnim jednačbama one su mnogo bogatije i izgledaju ovako:

$$\begin{aligned} \text{I.} \quad \text{rot } \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\mu_0 \cdot \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \Rightarrow \text{Rot } \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt} = -\mu_0 \cdot \frac{d\vec{H}}{dt} = -\mu_0 \cdot \left[\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \left(\frac{d\vec{r}}{dt} \cdot \vec{\nabla}_d \right) \cdot \vec{H} \right] \\ \text{II.} \quad \text{rot } \vec{H} &= \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \varepsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \Rightarrow \text{Rot } \vec{H} = \frac{d\vec{D}}{dt} = \varepsilon_0 \cdot \frac{d\vec{E}}{dt} = \varepsilon_0 \cdot \left[\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \left(\frac{d\vec{r}}{dt} \cdot \vec{\nabla}_d \right) \cdot \vec{E} \right] \\ \text{III.} \quad \text{div } \vec{D} &= \varepsilon_0 \cdot \text{div } \vec{E} = 0 \Rightarrow \text{Div } \vec{D} = \varepsilon_0 \cdot \text{Div } \vec{E} = \varepsilon_0 \cdot \left(\vec{\nabla}_d \cdot \vec{E} \right) = 0 \\ \text{IV.} \quad \text{div } \vec{B} &= \mu_0 \cdot \text{div } \vec{H} = 0 \Rightarrow \text{Div } \vec{B} = \mu_0 \cdot \text{Div } \vec{H} = \mu_0 \cdot \left(\vec{\nabla}_d \cdot \vec{H} \right) = 0 \end{aligned}$$

Za hiperdinamičke TVEM valove s rotirajućim ili torzijski titrajućim vektorima polja iskazanim u cilindričnim koordinatama, koji se šire duž Z osi, prve dvije operatorski modificirane vektorske jednačbe elektrodinamike jesu:

$$\begin{aligned} \text{Rot } \vec{E} &= -\frac{d\vec{B}}{dt} = -\mu_0 \cdot \frac{d\vec{H}}{dt} = -\mu_0 \cdot \left[\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \vec{\omega}_z \times \vec{H} \right] = \frac{\partial E_\rho}{\partial t} \cdot \vec{e}_{\rho E} + E_\rho \cdot \omega_z \cdot \vec{e}_{\varphi E} \\ \text{Rot } \vec{H} &= \frac{d\vec{D}}{dt} = \varepsilon_0 \cdot \frac{d\vec{E}}{dt} = \varepsilon_0 \cdot \left[\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \vec{\omega}_z \times \vec{E} \right] = \frac{\partial H_\rho}{\partial t} \cdot \vec{e}_{\rho H} + H_\rho \cdot \omega_z \cdot \vec{e}_{\varphi H} \\ \vec{\omega}_z(z, t) &= \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} \cdot \vec{k} = \frac{\partial \varphi_H}{\partial t} \cdot \vec{k} \quad - \text{ kutna brzina rotacije vektora oko valne zrake} \end{aligned}$$

Zaključak

Načinjena analiza vektorskih diferencijalnih jednačbi klasične elektrodinamike pokazala je da su one žalosno nepotpune i stoga su

ograničenog dosega u primjeni. Besprijeckorne su za sva statička, kvazistatička i dinamička polja s nepomičnim vektorima jakosti polja. Takva relativno mirujuća dinamička polja dominantna su u fizici i elektrotehnici i mijenjaju se samo izravno u vremenu. Za razliku od njih rotirajuća fiksna električna i magnetska polja za koja je $\partial \mathbf{E}/\partial t = 0$ ili $\partial \mathbf{H}/\partial t = 0$ mijenjaju se samo neizravno (kinetički) u vremenu pa se stoga mogu nazvati kinetičkim poljima.

Za egzaktno opisivanje i analizu funkcionalno složenih hiperdinamičkih polja, koja se istovremeno mijenjaju izravno i neizravno u vremenu, potrebno je na desnoj strani prve i druge jednadžbe elektrodinamike operator parcijalnog diferenciranja po vremenu $\partial/\partial t$ nadomjestiti operatorom ukupnog diferenciranja po vremenu d/dt da bi se na promatranom mjestu $T(x,y,z)$ u trenutku t mogla ispravno odrediti ukupna brzina njihove promjene u vremenu.

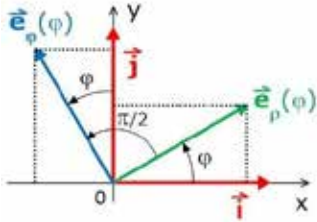
Za hiperdinamička osna polja TVEM valova s rotirajućim ili torzijski titrajućim vektorima jakosti polja, kod kojih su pripadni dinamički polarni kutovi $\varphi_E(z,t)$ i $\varphi_H(z,t)$ u cilindričnim koordinatama zavisni o uzdužnoj varijabli z i vremenu t , potrebno je u operatoru ∇ podoperator parcijalnog diferenciranja $\partial/\partial z$ nadomjestiti podoperatorom ukupnog diferenciranja d/dz , koji zahvaća u među-zavisnost polarnog kuta φ o varijabli z , da bi se pri izračunu rotacije na mjestu $T(x,y,z)$ u trenutku t ispravno odredila ukupna promjena u prostoru vektora hiperdinamičkog polja zbog njegove ukupne brzine promjene u vremenu.

Budući da suvremena računala i napredni algoritmi omogućuju veoma brzo računanje kvaterniona valjalo bi s tog aspekta preispitati u fizici i teoretskoj elektrotehnici opravdanost povratka na, silom prilika, olako napuštene egzaktne Maxwellove kvaternionijske jednadžbe koje bi prethodno trebalo napisati u suvre-menoj simbolici fizikalnih veličina i u racionaliziranom obliku. Pri tom bi trebalo na nekoliko karakterističnih primjera dinamičkih i hiperdinamičkih polja istražiti da li se, u čemu i zašto rješenja dobivena iz operatorski modificiranih vektorskih jednadžbi razlikuju od rješenja dobivenih iz egzaktnih kvaternionijskih jednadžbi.

MATEMATIČKI PRILOG

Diferenciranje jediničnih vektora $\mathbf{e}_\rho$ i $\mathbf{e}_\varphi$ polarnih i cilindričnih koordinata

Fluktuirajuće poprečne jedinične vektore $\mathbf{e}_\rho$ i $\mathbf{e}_\varphi$ kružnih polarnih i cilindričnih koordinata te fiksne jedinične vektore $\mathbf{i}, \mathbf{j}$ Kartezijevih koordinata povezuju izrazi:



$$\bar{\mathbf{e}}_\rho(\varphi) = \cos \varphi \cdot \bar{\mathbf{i}} + \sin \varphi \cdot \bar{\mathbf{j}}$$

$$\bar{\mathbf{e}}_\varphi(\varphi) = -\sin \varphi \cdot \bar{\mathbf{i}} + \cos \varphi \cdot \bar{\mathbf{j}}$$

Njihovim diferenciranjem po polarnoj varijabli φ dobiva se:

$$\frac{d}{d\varphi} \cdot \bar{\mathbf{e}}_\rho(\varphi) = \frac{d}{d\varphi} \cdot (\cos \varphi \cdot \bar{\mathbf{i}} + \sin \varphi \cdot \bar{\mathbf{j}}) = -\sin \varphi \cdot \bar{\mathbf{i}} + \cos \varphi \cdot \bar{\mathbf{j}} = \bar{\mathbf{e}}_\varphi(\varphi)$$

$$\frac{d}{d\varphi} \cdot \bar{\mathbf{e}}_\varphi(\varphi) = \frac{d}{d\varphi} \cdot (-\sin \varphi \cdot \bar{\mathbf{i}} + \cos \varphi \cdot \bar{\mathbf{j}}) = -\cos \varphi \cdot \bar{\mathbf{i}} - \sin \varphi \cdot \bar{\mathbf{j}} = -\bar{\mathbf{e}}_\rho(\varphi)$$

Za hiperdinamička radijalna osna polja iskazana u cilindričnim koordinatama, zbog zavisnosti polarne varijable φ o uzdužnoj varijabli z i vremenu t , diferenciranje poprečnih jediničnih vektora $\mathbf{e}_\rho$ i $\mathbf{e}_\varphi$, kao složenih funkcija po tim varijablama, ide ovako:

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{\mathbf{e}}_\rho}{dz} &= \frac{d}{dz} \cdot \bar{\mathbf{e}}_\rho[\varphi(z,t)] = \frac{d\bar{\mathbf{e}}_\rho}{d\varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \bar{\mathbf{e}}_\varphi \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial z} & , & \quad \frac{d\bar{\mathbf{e}}_\varphi}{dz} = \frac{d}{dz} \cdot \bar{\mathbf{e}}_\varphi[\varphi(z,t)] = \frac{d\bar{\mathbf{e}}_\varphi}{d\varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial z} = -\bar{\mathbf{e}}_\rho \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial z} \\ \frac{d\bar{\mathbf{e}}_\rho}{dt} &= \frac{d}{dt} \cdot \bar{\mathbf{e}}_\rho[\varphi(z,t)] = \frac{d\bar{\mathbf{e}}_\rho}{d\varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \bar{\mathbf{e}}_\varphi \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} & , & \quad \frac{d\bar{\mathbf{e}}_\varphi}{dt} = \frac{d}{dt} \cdot \bar{\mathbf{e}}_\varphi[\varphi(z,t)] = \frac{d\bar{\mathbf{e}}_\varphi}{d\varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = -\bar{\mathbf{e}}_\rho \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} \end{aligned}$$

Literatura

- [1] J. C. Maxwell, A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field, *Philosophical Transactions*, No. 155, pages 459-512, Royal Society, London 1865., pdf izdanje, poveznica: <https://archive.org/details/electricandmagne01maxwrich>
- [2] J. C. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism, Vol. 2*, The Clarendon Press, Oxford, 1873., pdf izdanje, poveznica: <http://www.bem.fi/library/1865-001.pdf>
- [3] John Voight, *Quaternion algebras*, v.1.01, 24. July, 2021., pdf izdanje, poveznica: <https://math.dartmouth.edu/~jvoight/quat-book.pdf>
- [3] Javorski – Detlaf, *Priručnik iz fizike*, Golden marketing & Tehnička knjiga, Zagreb, 2008.
- [4] Bronštejn – Semendjajev, *Matematički priručnik*, Golden marketing & Tehnička knjiga, Zagreb, 2004.

Ivan Šimatović

Differential Equations of Electrodynamics and their Modification for Hyperdynamic Fields

Abstract: Maxwell's exact equations of electrodynamics are presented in two versions - in a difficult to review and unsuitable scalar form, and in a clearer and more mathematically advanced quaternion form. Due to the complex structure and painstaking calculation of quaternions, Oliver Heaviside and Heinrich Rudolf Hertz replaced the quaternions with Maxwell's equations to calculate with simpler and more understandable vectors and scalars. In addition to other simplifications, they formulated four vector partial differential equations for electrodynamic fields, which are equally accurate and much easier to solve than quaternionic ones. Due to the simplifications made, they are incomplete and have a limited range in use and apply to all static and dynamic macroscopic fields that are relatively dormant and change only directly in time, which satisfies almost all needs in physics and electrical engineering. It is necessary to modify the operators of differentiation by time and by space variables (*curl*, *div*) in order that these incomplete equations become valid for functionally complex hyperdynamic fields, which change directly and indirectly (kinetically) in time. This gives generalized complete vector equations of macroscopic electrodynamics that have a much greater range and cover all the perceived needs in physics and electrical engineering.

Key words: Maxwell's equations, quaternion, vector, electrodynamics, hyperdynamic field, direct change in time, indirect change in time, modification of differentiation operator

Ivica Vuković, Anđa Valent

75-ta obljetnica Uvoda u višu analizu Željka Markovića

Sažetak: Među mnogim hrvatskim visokoškolskim udžbenicima matematike *Uvod u višu analizu* profesora Željka Markovića zauzima sasvim posebno mjesto po svom opsegu, dugotrajnoj uporabi, mnogim ponovljenim izdanjima, koji je generacijama matematičara i inženjera bio temeljni udžbenik, ali prvenstveno po jedinstvenom stilu pisanja, njegovanom jeziku i u našoj literaturi nenadmašenom izvoru povijesnih podataka. Sve to zajedno čini ovaj udžbenik kulturološki važnim djelom povijesnoga značaja.

Ključne riječi: Željko Marković, Tehnički fakultet, viša analiza, visokoškolski udžbenici matematike,

Uvod

Prvo izdanje Markovićenog *Uvoda u višu analizu* objavljeno je neposredno po završetku II. svjetskog rata, u ranu jesen 1945. U predgovoru prvoga izdanja Marković slikovito i zorno navodi kako je *htio da uvede čitača u predvorje prostrane i visoke matematičke zgrade odakle će se moći uspeti i u gornje njene spratove ili zaći u posebne odjele, a pokazuje mu i putove koji vode do njenih primjena*. Danas znamo da je u svom naumu u cijelosti uspio.

Uvod u višu analizu prvi je cjeloviti udžbenik više matematike na hrvatskom jeziku [1]. Hrvati su i ranije objavljivali visokoškolske matematičke priručnike. Primjere, posebno su bili cijenjeni udžbenici Senjanina Ivana Paskvića¹ [2], s kraja XVIII.

¹ Ivan Paskvić, * Senj 1754., † Beč 1829., astronom, matematičar i fizičar. Koliko su njegovi udžbenici bili cijenjeni, najbolje ilustrira pismo madžarskog matematičara F. Bolyaia sinu Jánosu u kojem preporučuje čitanje Karstena, Kästnera, Pasquicha, Eulera i La Grangea.

i početka XIX. stoljeća, koji nisu pisani hrvatskim jezikom pa ih u ovome članku ne uvrštavamo u kategoriju hrvatskih visokoškolskih matematičkih priručnika.

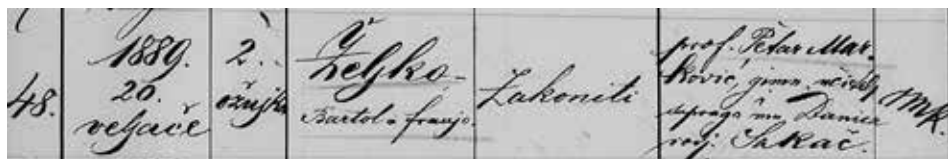
Godine 1899. objavljena su litografirana skripta *Algebarska analiza*, I., predavanja priv. docenta Dr. V. Varičaka [3] Opseg ove knjige iznosi 156 stranica pisanih rukopisom Slave Dragića, poznatog hrvatskog stenografa. Knjiga se čuva u Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Središnjoj matematičkoj knjižnici i knjižnici Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu. Varičakova predavanja iz kolegija *Diferencijalne jednadžbe* akademske godine 1909./10. vlastoručno je zabilježio Božo Širola, kasnije glasoviti hrvatski muzikolog. Primjerak se čuva u Središnjoj matematičkoj knjižnici na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu.

Prvi pravi, autorski visokoškolski matematički udžbenik napisao je Marije Kiseljak [4], prvi predstojnik Zavoda za primijenjenu matematiku. Puni naziv toga udžbenika je *Udžbenik više matematike za slušače visokih škola*, s podnaslovima *Prva knjiga: Diferencijalni račun, prvi svezak: Uvod u višu matematiku (algebarska analiza)*. Knjiga je tiskana u Zagrebu godine 1920. Kiseljaku nije uspjelo izdati niz od preostalih osam svezaka, koji su u „čistopisu dovršeni“, stoga je 1925. objavio litografrani, meko uvezani *Repetitorij diferencijalnoga i integralnoga računa*.

U razdoblju od 1925. pa sve do tiskanja Markovićevog *Uvoda u višu analizu* 1945., nisu objavljivani visokoškolski matematički udžbenici na hrvatskome jeziku.

1. Životopis Željka Markovića

Željko Marković rođen je u Požegi 20. veljače 1889. Prema zapisu iz matične knjige Župe Požega kršten je 2. ožujka. U rubrici *ime kršćenika* upisana su imena Željko, Bartol i Franjo, a u rubrici *ime, prezime i stališ roditelja* upisani su prof. Petar Marković, gimn. učitelj i supruga mu Danica rodj. Sakač.



Sl. 1.: Zapis o krštenju Željka Markovića u matičnoj knjizi Župe Požega

Petar Marković, Željkov otac, prema zapisu iz matice župe Kaptol, kršten je 20. ožujka 1856. i taj se nadnevak obično navodi kao dan njegova rođenja. Petar je sin Ivana i Kate rod. Bošnjak. Za oca Ivana se navodi da je *majstorskoga stališa*. Petar Marković hrvatski je književnik, prevoditelj, znanstvenik i profesor. Školovao se u

Pleternici, Požegi i Zagrebu. Službovao je na Rijeci i u Osijeku, a u Požegi radi od 1881. do 1890., kada prelazi u Zagreb, gdje je 1894. imenovan ravnateljem novooosnovane realne gimnazije. Suradivao je s brojnim književnim časopisima, prevodio Andersenove priče (govorio je njemački, talijanski i francuski jezik). Služio se pseudonimom Pero Mijakić. Umro je 6. kolovoza 1900. od sušice u lječilištu Neumarkt u Štajerskoj. Zaslugom njegove rodbine, posebice unuke Lelje Dobronić, njegovi su posmrtni ostatci, nakon 102 godine preneseni u domovinu i danas počivaju u cintoru župne crkve Sv. Petra i Pavla u rodnom Kaptolu.

Petar Marković se 1882. g. oženio Danicom Sakač pl. Vojnovečkom, kćeri Bartola Sakača pl. Vojnovečkog. Danica je rođena 1862., a preminula je 1952. Pokopana je na Mirogoju. Kalnička plemićka obitelj Sakač potječe iz sela Vojnovca, po kojem se nazivaju Vojnovečki [5]. Bartol Sakač rođen je 1830. u Kapeli, mjestu sjeverno od Kalnika. Službovao je u Požegi od 1863. do 1868., gdje je bio predsjednik suda, zatim seli u Zagreb, i obnaša dužnosti tajnika Banskog stola i zamjenika državnog odvjetnika. Kasnije se vraća u Požegu (1877. – 1891.) gdje je postao predsjednikom Kraljevskoga sudbenoga stola. Vraća se u Zagreb, a do umirovljenja 1897., bio je vijećnikom Banskoga stola. Umro je 1898. u Zagrebu.

Petar Marković i Danica rođ. Sakač pl. Vojnovečka imali su petero djece: Zdenku, Željka, Jerku, Miljenka i Cvijetu.



Sl. 2.: Kuća u Požegi, u ulici Vučjak br. 12 u kojoj je živjela obitelj Marković

Zdenka Marković hrvatska je spisateljica. U matici krštenih upisano je da se Zdenka Matilda Katarina² rodila 10. ožujka, a da je krštena 16. ožujka 1894. Roditelji Petar Marković, profesor kr. vel. gimnazije i Danica Sakač pl. Vojnovečka stanovali su u Požegi, u Sv. Florijana ulici, na kućnom broju 1. Zdenka je pohađala ženski licej u Zagrebu, gdje su joj predavale Marija Jambrišak i Jagoda Truhelka, a potom je prema [6] pohađala studij povijesti umjetnosti i filozofije u Zagrebu i Fribourgu, a u [7] se navodi da je pohađala predavanja iz slavistike (ruski i poljski jezik). U švicarskom Fribourgu specijalizirala se u poljskoj literaturi i godine 1914. stekla doktorat na osnovi radnje *Der Begriff des Dramas bei Wyspiański*. Do umirovljenja g. 1940. predavala je na ženskoj realnoj gimnaziji u Zagrebu. Umrula je u Zagrebu 1974.



Sl. 3.: Spomen ploča na kući u ulici Vučjak br. 12

Željкова sestra Jerka udala se za skladatelja Antuna Dobronića i njezina kći je već spomenuta znamenita hrvatska povjesničarka umjetnosti Lelja Dobronić. Željkov brat Miljenko (1893. - 1985.) bio je ekonomist i stručnjak za novčarstvo. Među suradnicima *Hrvatske enciklopedije*, što ju je uređivao Mate Ujević, uz matematičara Željka,

² Prema tadašnjim običajima su imena Katarina i Matilda dana u čast Zdenkinim bakama

su i dr. Zdenka Marković, za koju se navodi da je *profesor u m.* te dr. Miljenko Marković, *ravnatelj Saveza novčanih zavoda*. Prema nekim izvorima Miljenko Marković bio je prije II. svjetskog rata jedno vrijeme guverner Narodne banke Jugoslavije. No, u popisu guvernera nema njegovog imena. Nije nam poznato je li bio dužnosnik Narodne banke. U nekim se radovima spominju njegova nastojanja oko spašavanja hrvatskih novčarskih zavoda. Preveo je knjigu *Uputa u studij političke ekonomije*, njemačkog ekonomista Johannes Conrada.

Cvijeta Marković, najmlađa kći Petra i Danice bila je knjižničarka Pravnog fakulteta u Zagrebu.

Ovim popisom najbliže rodbine Željka Markovića htjeli smo prikazati obiteljski krug u kojemu je živio i koji ga je oblikovao kao osobu, kao znanstvenika, profesora i svestranog intelektualca. I čini nam se kako neke od ovih ličnosti zaslužuju više spomena u našim leksikonima i enciklopedijama. Primjerice, u knjizi *Znameniti i zaslužni Hrvati* uvršteni su i Petar Marković i kći mu Zdenka. Desetak godina kasnije, u *Leksikon Minerva*, uvršteni su Petar, Miljenko, Zdenka i Željko Marković. No, u suvremenoj *Hrvatskoj enciklopediji* nema natuknice o književniku Petru Markoviću niti o ekonomistu Miljenku Markoviću.

Željko Marković je tijekom svoga školovanja dao u *Opisu života* što ga je priložio molbi za polaganje učiteljskog ispita za srednje škole.

Opis života

Rodio sam se dne 20. veljače 1889. u Požegi u Slavoniji. Osnovnu sam školu svršio u Zagrebu, zatim polazim kao redoviti učenik osam godina Kr. donjogradsku gimnaziju zagrebačku, gdje sam položio dne 1. srpnja 1907. ispiz zrelosti. U jesen iste godine upisao sam se u mudroslovni fakultet sveučilišta Franje Josipa I. u zagrebu, da studiram kao redoviti slušač matematiku i fiziku. Taj sam studij nastavio u ljetnom semestru iste školske godine 1907./8. na c. i k. češ. sveučilištu u Pragu. U zimskom i ljetnom semestru školske godine 1908./9. studirao sam opet na kr. sveučilištu Franje Josipa I. u Zagrebu, a tada zimski i ljetni semestar semestar školske godine 1909./10. proboravio u svrhu studija matematike, fizike i astronomije na kr. pruskom sveučilištu u Göttingenu. U jesen školske godine 1910./11. povratio sam se na sveučilište Franje Josipa I. u Zagrebu, gdje sada svršavam svoj osmi semestar.



Sl. 4.: Vlastoručno pisani Opis života Željka Markovića

Nakon što je već 1912. položio učiteljski ispit za srednje škole, čime mu je priznaje sposobnost, da možu učiti matematiku i fiziku u cijeloj gimnaziji [8]. Za domaću radnju iz matematike, kao obvezatni dio učiteljskog ispita, obradio je temu *Integralne jednadžbe*. Toj je radnji dodao i nastavak *Neke primjene teorije integralnih jednadžbi na rješavanje diferencijalnih jednadžbi*. Radnju je Varićak ocijenio odličnom i na nastavku dopisao *I ova bi sama radnja dostajala!* Svjedodžbu p položenom učiteljskom ispitu potpisali su T. Maretić, kao ravnatelj. Kr. povjerenstva te članovi V. Varićak i S. Hondl. Godine 1915. doktorirao je u Zagrebu temom *Primjena linearnih integralnih jednadžbi na rješavanje diferencijalnih jednadžbi*. Mentor, Vladimir Varićak, zadao je temu blisku onoj što ju je Marković pripremio u radnji za učiteljski ispit. Ovim je učinjen prvi korak Markovićeve blistave karijere znanstvenika i sveučilišnog nastavnika.

Željko Marković je habilitirao 1918. g. radom *Novija istraživanja u problemu triju tijela* iz kolegija *Nebeska mehanika*. Već 1920. Marković je postao izvanredni, a 1921. redoviti profesor na Tehničkoj visokoj školi u Zagrebu, koja potom prerasta u Tehnički fakultet. Nakon što Marije Kiseljak napušta Tehničku visoku školu, Marković postaje 1925. g. predstojnikom Zavoda za primijenjenu matematiku i tu dužnost obnaša sve do 1949. kada prelazi na Prirodoslovno-matematički fakultet i na kojemu ostaje sve do umirovljenja 1962. Na mjestu predstojnika Zavoda za primijenjenu matematiku naslijedio ga je još jedan važan hrvatski matematičar i znameniti profesor – Danilo Blanuša.

Željko Marković obnašao je gotovo sve akademske dužnosti koje je bilo moguće postići, a najvažnije su:

predstojnik Zavoda za primijenjenu matematiku (1925. – 1949.);

dekan Tehničke visoke škole (1921./22.);

dekan Tehničkog fakulteta (1930./31.);

dekan Prirodoslovno-matematičkog fakulteta (1957./58.);

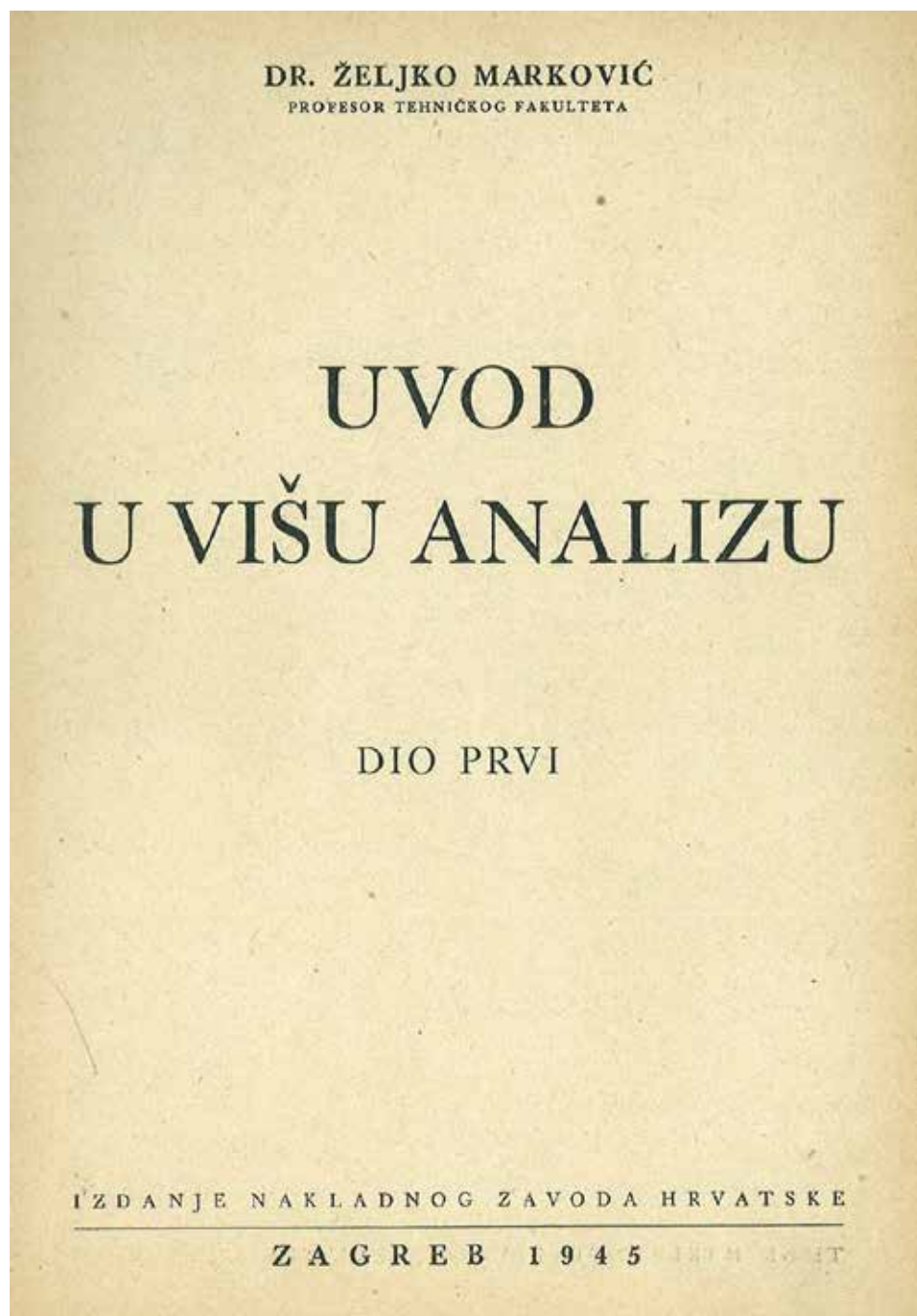
rektor Sveučilišta u Zagrebu (1954./55.).

Za redovitoga člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti izabran je god. 1931. Željko Marković bio je član i Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti koja je djelovala od 1941. do 1945. Godine 1946. izabran je i u novi sastav Akademije, uz Dragutina Boranića i Vladimira Nazora, kao jedan od trojice akademika koji su bili članovi Akademije i za trajanja Nezavisne Države Hrvatske [1]. U Akademiji je od 1947. do 1966. bio tajnikom Razreda za matematičke, fizičke i tehničke znanosti.

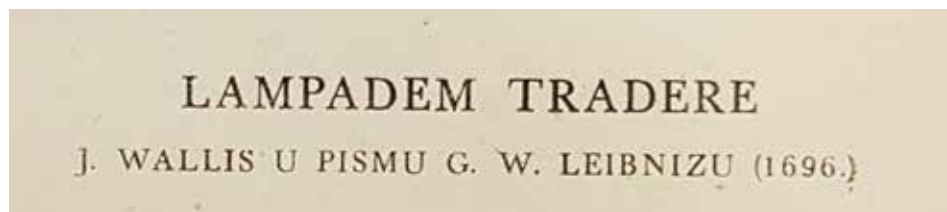
Željko Marković preminuo je 23. kolovoza 1974., a prema obiteljskoj osmrtnici koja se čuva u Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici, pogreb je obavljen 26. kolovoza, a sveta misa zadušnica služila se dan kasnije u crkvi Sv. Ivana u Zagrebu. Željko Marković počiva na Mirogoju, u grobnici sa suprugom Julijom i sinom Rankom.

2. O udžbeniku *Uvod u višu analizu*

Dadić navodi da je Željko Marković na temelju svojih predavanja dovršio udžbenik godine 1943. i predao ga pod naslovom *Uvod u višu analizu* izdavaču, vjerojatno Nakladnom odjelu Hrvatske državne tiskare. Tiskanje tako opsežnog djela sa složenim matematičkim slogom nije dovršeno za vrijeme rata. Predgovor prvoga izdanja udžbenika nosi nadnevak 20. rujna 1945., a izdavač je Nakladni zavod Hrvatske.



Sl. 5.:



Sl. 6.: Moto svukupnoga djela na samom početku udžbenika

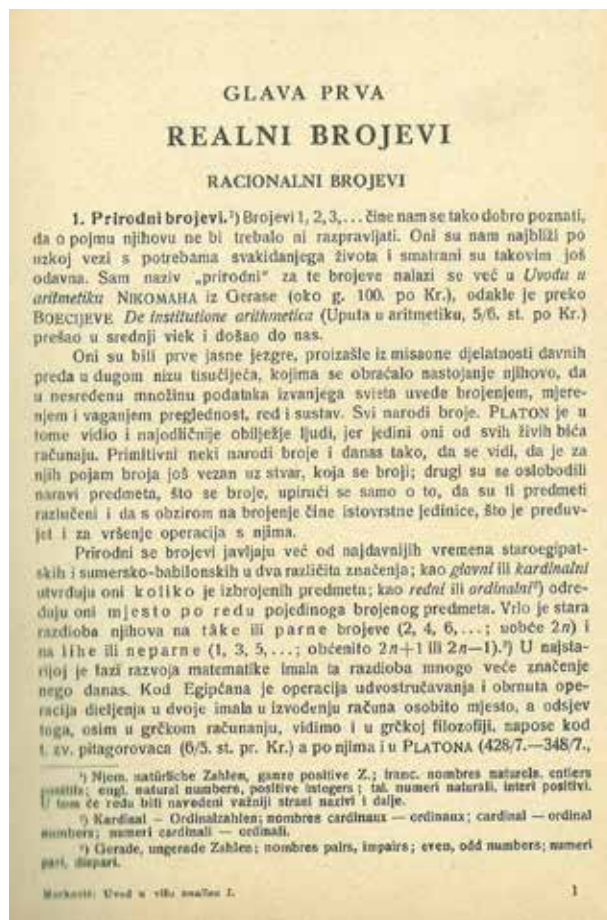
U Predgovoru, Marković predpostavlja da je udžbenik namijenjen *svakome koji pozna algebru, trigonometriju i analitičku geometriju srednjih škola, a hoće, ne plašeći se stalnog truda što ga matematički studij uvijek traži, da se upozna s pojmovima, načinom izvođenja i rezultatima više analize u obliku koji je primila u gotovo tri stoljeća pročišćavanja, ujednostavljivanja i produbljivanja, a da ne izgubi vezu s njenim primjenama*. Dakle, Marković nije i ne želi biti eksperimentator i svjesno se oslanja na tradicionalno poučavanje više matematike koje se temelji na višestoljetnom metodičkom iskustvu, vodeći računa o tomu da studentima približi primjenu naučenih pojmova i metoda.

Svjestan je svih izazova s kojima se suočava svaki autor djela koje uvodi čitača u višu matematiku – kako spojiti strogost izvoda sa zornošću razlaganja. U predgovoru Marković obrazlaže zašto udžbenik više matematike započinje sustavnim razlaganjem osnova realnih brojeva, od prirodnih, preko racionalnih do iracionalnih brojeva. Čini mu se najprirodnijim da i čitač prođe u sebi onaj proces čišćenja i uzdizanja što ga je prolazila matematička spoznaja u svom razvoju.

Valja zamijetiti kako u Markovićevom predgovoru nema ni natruhe bilo kakvom podilaženju novoj vlasti, kakav se primjerice nalazi u Kiseljakovom predgovoru svoga prijevoda Bauleovog udžbenika [4].

Pri kraju predgovora prvom izdanju, Marković spominje sa zahvalnosti i one koji su mu pomagali pri izrađivanju ili uređivanju rukopisa. Dr. Boris Apsen pomagao je pri numeričkim računima, *a crtanje slika i strojno pisanje preuzeli su na se cand. ing. † Oton Mosner, Mirko Knežević, Josip Lorincz i Mladen Rovešnjak*. U predgovoru drugom izdanju iz 1947. Marković navodi da su *cand. ing. Vladimir Devidé i Vladimir Glaser pročitali sav tekst prvoga i drugoga izdanja*.

U predgovoru II. dijelu udžbenika s nadnevkom od 20. srpnja 1952., Marković *izriče srdačnu i odanu hvalu svojim mlađim suradnicima*. Tako je *Ing. Vladimir Devidé izradio s velikim marom slike i čitao dio rukopisa, a asistent Sibe Mardešić i Aleksandar Grossmann pročitali su s velikom pažnjom znatan dio rukopisa*. Mar-



Sl. 7.: Prva stranica udžbenika. Stranice I. – 376. pisane su korijenskim pravopisom.

dešić i Grossmann izvršili su *numeričke račune* u dijelu u kojem se obrađuje numeričko rješavanje diferencijalnih jednadžba.

Prvo izdanje *Uvoda u višu analizu* iz 1945. vjerojatno je jedinstvena knjiga i po pravopisu koji je korišten. Jedan dio te knjige otisnut je korijenskim pravopisom koji je bio u uporabi u Nezavisnoj Državi Hrvatskoj, a drugi dio je otisnut u tada važećem pravopisu, zapravo onomu iz doba Banovine Hrvatske. Novoj vlasti bilo je važno imati visokoškolski udžbenik namijenjen školovanju budućih inženjera pa je bilo moguće dopustiti ovakav potpuno jedinstven slučaj izdanja knjige pisane dvama različitim pravopisima. U predgovoru Željko Marković sve ovo spomenuto naziva kao *nastalu nehomogenost u pravopisu*. Valja imati na umu da je primjerice, gotovo cijela naklada V. sveska *Hrvatske enciklopedije* unište-

na upravo zbog toga jer je otisnuta korijenskim pravopisom. Zacijelo je sve ovo razlog što je Markovićev udžbenik objavljen bez kolofona, koji su tada bilo dosta detaljni. Primjerice, isti nakladnik za knjigu Drage Grdenića *Atomi i molekule* vrlo pedantno navodi imena korektora, nadnevke početka i dovršetka tiskanja, nakladu od 50 000 primjeraka, čak i nadnevak odobrenja o cijeni. Kao da se u ovom slučaju zaziralo od takvih podataka. U kasnijim izdanjima, kao onomu iz 1950., navedene su dvije odgovorne osobe, za izdavača Dr. E. Musić i tehnička redakcija Z. Orban. Ovdje je riječ o dr. Eduardu Musiću i Zlatku Orbanu.

Usporede li se izdanja, koja su nam bila dostupna, ono iz 1945. i iz 1950. uočava se da je Marković tekst pomno pročitao te da su unesene izvjesne izmjene. Nekoliko takvih promjena u nazivlju dat ćemo u sljedećoj tablici:

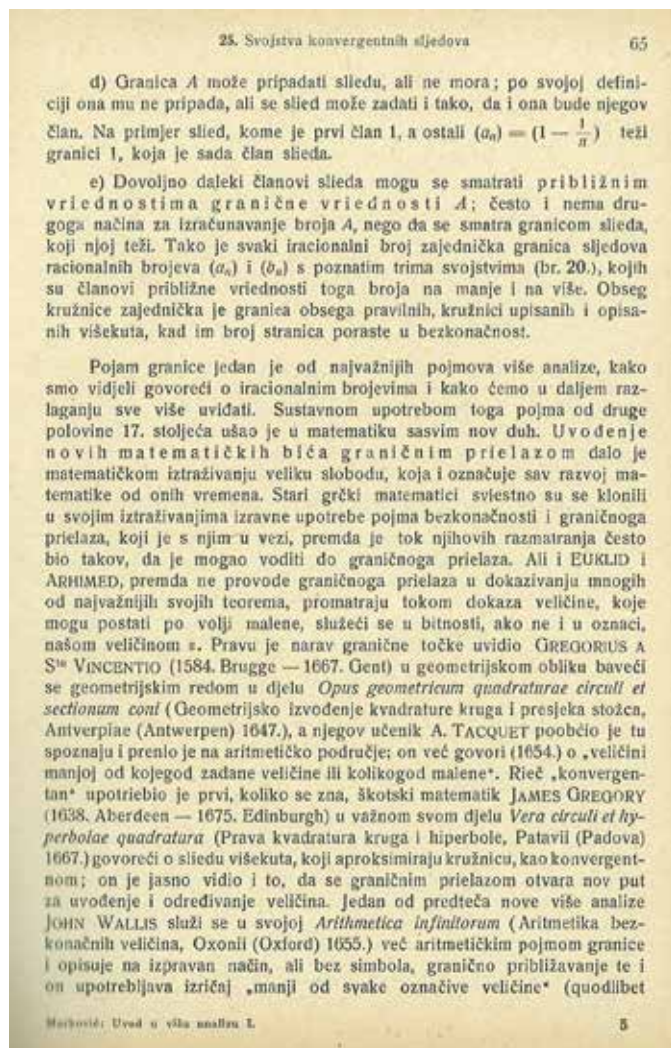
Izdanje iz 1945.:	Izdanje iz 1950.:
<i>zbroj harmoničkih gibanja, harmoničko titranje</i>	<i>zbroj hamonijskih gibanja, hamonijsko titranje</i>
<i>kvadratni momenat, momenat ustrajnosti</i>	<i>kvadratni moment, moment ustrajnosti</i>
<i>traktris</i>	<i>traktrisa</i>
<i>apsolutna pogreška</i>	<i>apsolutna pogreška</i>
<i>zbroj beskonačnoga reda</i>	<i>zbroj beskonačnog reda</i>

Zanimljiviji su matematički termini koje Marković koristi u oba izdanja, a danas se manje koriste:

- *neprekinutost, neprekinuta funkcija;*
- *tâka i liha funkcija, tâki i lihi brojevi;*
- *beskonačni slijed;*
- *faktorijela;*
- *inversna funkcija;*
- *uvjet nuždan i dovoljan;*
- *ploština;*
- *logaritmička spirala, logaritmička skala, logaritmička derivacija;*

Dadić [1] naglašava kako Markovićev udžbenik sadrži izvorno hrvatsko matematičko nazivlje. Pri tomu posebno ističe termin *neprekinutost* kao onaj što je potiskivan nakon Drugog svjetskog rata u korist termina *neprekidnost*, koji pripada srpskom matematičkom nazivlju. Željko Marković, slijedeći hrvatsku matematičku tradiciju, dosljedno je rabio hrvatski naziv *neprekinutost*, kao što su ga u svojim udžbenicima rabili, primjerice, Vladimir Varićak i Marije Kiseljak. Termin *neprekinutost*, oslanjajući se na udžbenik i predavanja profesora Markovića, rabili su Vladimir Devide i Bogdan Zelenko u svojim litografiranim zbirkama zadataka što su izdavane krajem 40-tih godina XX. stoljeća.

Uvod u višu analizu je u hrvatskoj matematičkoj literaturi nenadmašen izvor povijesnih podataka o razvoju matematičkih pojmova, ideja i rezultata. Vrijedno je



Sl. 8.: Povijesni podatci uz pojam konvergentnih sljedova

izdanju iz 1945. pisalo *prije Krista*, odnosno *pr. Kr.* zamijenjeno je novim izričajem *prije nove ere*, tj. *s pr. n. e.* Primjerice, umjesto Arhimed (287. – 212. pr. Kr.) u izdanju iz 1950. nalazi se Arhimed (287. – 212. pr. n. e.).

citirati ponajboljeg poznavatelja Marko-vicevog života i rada, Žarka Dadića [1]: *U cijelom djelu se Marković vrlo opširno osvrće na razvitak pojedinih ideja i matematičkih rezultata. Ti su povijesni dodaci vrlo iscrpni, tako da predstavljaju u cjelini razvitak više matematike, a i matematike uopće. Oni predstavljaju u određenom smislu enciklopedijski prizak razvitka matematičkih pojmova i shvaćanja...*

U prvom izdanju, u kazalu pojmova, nalazi se čak 140 matematičara. Nekima nije navedena godina rođenja i smrti pa je to dodano u kasnijim izdanjima. Zacijelo je nakladnik potaknut ideološkim razlozima tražio još neke ispravke na koje je autor jednostavno morao pristati. Naime, svugdje gdje je u prvom

Svojstva JACOBIJEVIH eliptičkih funkcija za realne vrijednosti argumenta, koja zorno dolaze do izražaja u grafovima funkcija, pokazuju, da se one u mnogom pogledu vladaju gotovo tako jednostavno kao kružne funkcije, a tablice, koje su izračunate za te funkcije, čine, da se s njima i računa upravo tako kao s kružnim funkcijama. Od tablica spomenut ćemo L. M. MILNE-THOMSON, *Die elliptischen Funktionen von JACOBI*, J. Springer, Berlin 1931., koje daju vrijednosti funkcija $\operatorname{sn} u$, $\operatorname{cn} u$, $\operatorname{dn} u$ na pet decimala za vrijednosti k^2 od 0,0, 0,1, 0,2, ..., 0,9 do 1. Zatim Dr. E. JAHNKE-F. EMDE, *Funktionentafeln mit Formeln und Kurven*, 3. Aufl. B. G. Teubner, Leipzig-Berlin, 1938., koje je i inače važna zbirka tablica.

O određivanju eliptičkih integrala spomoću beskonačnih redova vidi br. 167.

LEGENDRE, a poslije ABEL i JACOBI, promatrali su drugi korijen iz polinoma četvrtoga stupnja, napose normalni oblik $\sqrt{(1-x^2)(1-k^2x^2)}$, u kome dolaze samo takve potencije od x , za koji se može pokazati, da se na nj dađe svesti svaki polinom četvrtog stupnja uvođenjem zgodno odabrane nove promjenljive. K. WEIERSTRASS, koji je u 19. st. obnovio teoriju eliptičkih funkcija, polazi od drugog korijena iz polinoma trećeg stupnja $y = \sqrt{4x^3 - g_2x - g_3}$ kao normalnog oblika, u kome su g_2 i g_3 realne konstante, za koje vrijedi $g_2^3 - 27g_3^2 = 0$. Integrali

$$I_1 = \int \frac{dx}{\sqrt{4x^3 - g_2x - g_3}}, \quad I_2 = \int \frac{x dx}{\sqrt{4x^3 - g_2x - g_3}}, \quad I_3 = \int \frac{dx}{(x-a)\sqrt{4x^3 - g_2x - g_3}}$$

WEIERSTRASSOVI su kanonski integrali prve, druge i treće vrste. Inversija eliptičkog integrala prve vrste vodi do osnovne WEIERSTRASSOVE eliptičke funkcije Pu , s kojom se mogu izraziti i tri JACOBIJEVE eliptičke funkcije.

4. Primjena na matematičko njihalo. U točki O (sl. 185.) visi



Slika 185.

na niti duljine l , koje težinu zanemarujemo, materijalna točka mase m . Pomaknuta iz položaja ravnoteže OO' , od koga počinjemo brojiti kutove, u nov položaj, u kome zatvara s prvim kut α , i prepuštena samo utjecaju sile teže izvodi ona gibanje, koje treba analitički opisati. Put opisan u vremenu t , koje brojimo od časa prolaza točke m kroz O' , luk je $O'A = l \cdot \alpha(t)$; akceleracija je gibanja u čas t dakle $l \alpha''(t)$; od sile teže mg djeluje u tom gibanju samo tangentna komponenta $mg \sin \alpha$, tako da je po osnovnom zakonu mehanike gibanje opisano diferencijalnom jednačinom:

$$m l \alpha''(t) = - m g \sin \alpha;$$

negativni predznak desne strane znači, da je akceleracija, kojom se mijenja kut α s vremenom, negativna za $\sin \alpha > 0$, t. j. za kutove desno od položaja ravnoteže OO' , da se dakle za takve kutove brzina promjene kuta s vremenom umanjuje uzevši u obzir i predznak brzine. Radi se dakle o integraciji diferencijalne jednačine drugog reda

$$\alpha'' + \frac{g}{l} \sin \alpha = 0.$$

Sl. 9a.: Udžbenik Uvod u višu analizu odlikuje se preglednim matematičkim slogom i zornim crtežima

Pomnožimo li tu jednadžbu s $2\alpha'$, možemo je radi $2\alpha'\alpha'' = \frac{d\alpha'^2}{dt}$ i $\alpha'\sin\alpha = -\frac{d}{dt}(\cos\alpha)$ pisati:

$$\frac{d}{dt}(\alpha')^2 = \frac{2g}{l} \frac{d}{dt}(\cos\alpha),$$

a odatle prvom integracijom:

$$(1) \quad \alpha'^2 = \frac{2g}{l} \cos\alpha + C.$$

Konstantu C odredit ćemo opet iz početnih uvjeta problema; u točki A_1 , u kojoj je amplituda njihaja najveća i jednaka α_0 , brzina promjene $\alpha'(t) = 0$, dakle je za $\alpha = \alpha_0$, $\alpha' = 0$, što uvršteno u (1) daje $C = -\frac{2g}{l} \cos\alpha_0$, pa (1) prima stoga oblik:

$$(2) \quad \frac{d\alpha}{dt} = \sqrt{\frac{2g}{l}} \sqrt{\cos\alpha - \cos\alpha_0},$$

gdje smo uzeli korijen s pozitivnim predznakom, jer promatramo dio gibanja, u kome $\alpha(t)$ raste te je $\alpha'(t) > 0$. Iz (2) izlazi:

$$dt = \sqrt{\frac{l}{2g}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\cos\alpha - \cos\alpha_0}}, \text{ t. j. } t = \sqrt{\frac{l}{2g}} \int_0^\alpha \frac{d\alpha}{\sqrt{\cos\alpha - \cos\alpha_0}},$$

gdje smo u toj drugoj integraciji stavili konstantu po volji jednaku nuli, jer je za $\alpha = 0$ prema dogovoru o početku brojenja vremena $t = 0$. Stavimo $\cos\alpha = 1 - 2\sin^2 \frac{\alpha}{2}$, $\cos\alpha_0 = 1 - 2\sin^2 \frac{\alpha_0}{2}$; time dobivamo za vrijeme t , što prođe, dok točka m dođe iz položaja O' u A , izraz:

$$t = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{l}{g}} \int_0^\alpha \frac{d\alpha}{\sqrt{\sin^2 \frac{\alpha_0}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2}}}.$$

Neka je $\sin \frac{\alpha_0}{2} = k$, $\sin \frac{\alpha}{2} = k \sin \varphi$; tada je $0 < k < 1$ (slučaj $\alpha_0 = \pi$, kada bi bio $k = 1$ i kada bi točka došla u O , isključujemo), a $\alpha \leq \alpha_0$. Jer je

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}, \quad \sqrt{\sin^2 \frac{\alpha_0}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = k \cos \varphi \text{ i } \frac{1}{2} \cos \frac{\alpha}{2} d\alpha = k \cos \varphi d\varphi,$$

$$\text{to je} \quad d\alpha = \frac{2k \cos \varphi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} d\varphi, \quad \text{a} \quad t = \sqrt{\frac{l}{g}} \int_0^\varphi \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}};$$

vrijeme t kao funkcija kuta φ dano je dakle eliptičkim integralom prve vrste argumenta φ i modula $k = \sin \frac{\alpha_0}{2}$, t. j. prema (1) u 1.

$$(3) \quad t = \sqrt{\frac{l}{g}} F(\varphi, k).$$

Da odredimo kut α kao funkciju od t , moramo izvršiti najprije inversiju tog integrala, t. j. od vremena t prijeći na kut φ ; iz (3) izlazi prema (2) u 1. i (a₁):

Sl. 9b.: Udžbenik Uvod u višu analizu odlikuje se preglednim matematičkim slogom i zornim crtežima

Sadržaj obaju dijelova udžbenika *Uvod u višu analizu*

I. DIO	II. DIO
REALNI BROJEVI	DETERMINANTE I MATRICE
Racionalni brojevi	VEKTORI U PROSTORU
Iracionalni brojevi	PRIMJENA U ANALITIČKOJ GEOMETRIJI PROSTORA
SLJEDOV I REDOVI	FUNKCIJE DVIJU I VIŠE PROMJENLJIVIH
Beskonačni sljedovi	IMPLICITNE FUNKCIJE
Beskonačni redovi	FUNKCIJE PREDODNE U INTEGRALNOM OBLIKU
O FUNKCIJAMA	KRIVULJNI INTEGRALI U RAVNINI
Funkcije uopće	PROSTORNE KRIVULJE
Svojstva funkcija	SVOJSTVA POVRŠINA
DIFERENCIJALNI RAČUN	DVOSTRUKI I VIŠESTRUKI INTEGRALI
Derivacije funkcija	FUNKCIJE KOMPLEKSNE PROMJENLJIVE
Redovi potencija	DIFERENCIJALNE JEDNADŽBE
INTEGRALNI RAČUN	Obične diferencijalne jednačbe
Određeni integral	Diferencijalne jednačbe višeg reda i sustavi jednačbi
Neodređeni integral	Linearne diferencijalne jednačbe
Primjene diferencijalnog i integralnog računa	Parcijalne diferencijalne jednačbe
približno određivanje integrala	Račun varijacija
FOURIEROVI REDOVI	

3. Bivši studenti o Željku Markoviću

Uvijek je zanimljivo što bivšim studentima ostane u trajnom sjećanju o svojim nekadašnjim profesorima. Matematičar i vodeći hrvatski povjesničar znanosti Žarko Dadić, o svom profesoru Markoviću i njegovom udžbeniku piše *kako ta knjiga nije bila suhoparan udžbenik, kao što to nisu bila ni predavanja Željka Markovića*. I posebno naglašava kako je knjiga *pisana živim jezikom, ponegdje pravim književnim stilom* [1].

Među bivšim studentima Željka Markovića na poseban se način izdvaja Mate Maras, koji je završio studij matematike i fizike, jedno vrijeme radio kao gimnazijski profesor, ali kojega su silnice sudbine i sirenski zov književnosti, potaknut i nasljednim pjesničkim genom, odveo u književne i prevoditeljske vode, kasnije i diplomatske. Usudujemo se vjerovati kako bi Željko Marković bio ponosan na književno-prevodi-

teljske uspjehe svoga studenta Marasa, kao što je, vjerojatno bio ponosan i Vladimir Varićak na muzikološka postignuća svoga nekadašnjega studenta matematike Božidara Širole. U razgovoru za Matematičko-fizički list³, Mate Maras se prisjetio vremena svoga studija matematike: Željko Marković nam je predavao Uvod u višu analizu, divio sam se umjetničkoj razini jezika u njegovim knjigama.

U razgovoru, za potrebe ovoga članka, prisjetio se profesora Markovića, sljedećim riječima:

Profesor Marković se isticao dostojanstvenim držanjem i blagonaklonošću koju je iskazivao prema svima studentima; a bilo nas je u predavaonici s pogledom na Marulićev trg više od šezdeset. Meni se nekako činilo da on lebdi iznad nas, iako je bio malen rastom; resila ga je duhovna zrelost, uskoro ga je čekala mirovina. Govorio je jednostavno, tiho ali razumljivo, upletao je u predavanja anegdote o pojedinim učenjacima i događajima, a gradivo iz svojih knjiga kao da nam je tek blago preporučivao. Na ispitu nas je primao u svojem kabinetu, u skupinama od deset-petnaest studenata; vodio je s nama poduži razgovor o svemu i svačemu, više odgovarao nego ispitivao; na kraju bi nas zamolio da izađemo i pričekamo ocjene; nitko se od nas nije zabrinjavao zbog ishoda -- jer kod profesora Markovića najniža ocjena je bila "dobar". ... Jezici i književnost odvlačili su me na drugu stranu. I doista, nakon desetak godina učiteljavanja, sve sam svoje sposobnosti potom uložio u prevođenje i pisanje. Ali nikada nisam zaboravio koliko sam volio knjige profesora Markovića zbog birana jezika i savršena stila.

3 Mate Maras, MFL, LXVI 4 (2015. – 2016.), str. 219.

Zaključak

Željko Marković je hrvatsku akademsku zajednicu obogatio knjigom koja je generacijama matematičara i inženjera bila temeljni udžbenik matematike i koja je svojim *biranim jezikom i savršenim stilom* izuzetan doprinos hrvatskoj kulturi uopće. Uz sam bok ovoga djela spada i ovdje nespomenuta, dvosveščana monografija *Ruđe Bošković*, o našem najvećem znanstveniku. Ovdje se prirodno nameće pitanje je li hrvatsko društvo iskazalo trajnim pamćenjem zahvalnost ovome čovjeku. Ne dajući konačnoga odgovora u ovoj prigodi, recimo ipak, da u Zagrebu nema ulice ili trga nazvanim po ovom matematičaru. U zagrebačkom naselju Slobodština nekoliko je ulica nazvano po matematičarima kao što su Mijo Šilobod Bolšić, Vladimir Varićak, Karel Zahradnik ili čak Milutin Milanković. Nismo se sjetili Željka Markovića. Njegovanje uspomene na velikane ne služi njima samima, već potomstvu kao putokaz za utiranje putova prema većim stvarima, da parafraziramo Gaussovu misao uzetu kao moto drugoga dijela *Uvoda*: *Ab his via sternitur ad maiora*.



Željko Marković

Ne nalazeći bolji izričaj, poslužimo se sintagmom kojom je Miroslav Šicel okarakterizirao Zdenku Marković u predgovoru njezinim Izabranim djelima – *Plemkinja duha* [6]. Čini nam se da se s punim pravom može proširiti i na Željka Marković – *plemić, aristokrat duha*.

Zahvala

Zahvaljujemo profesoru Stanimiru Vuk-Pavloviću, dopisnom članu Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, na danim podacima o članovima obitelji Željka Markovića.

Zahvaljujemo hrvatskome prevoditelju, književniku i diplomatu Mati Marasu, nekadašnjem studentu Željka Markovića što je s nama podijelio sjećanja na svoga profesora.

Literatura

- [1] Ž. Dadić: Egzaktne znanosti u Hrvatskoj u ozračju politike i ideologije (1900-1960), Izvori, Zagreb, 2010.
- [2] I. Vuković, A. Valent: Dva matematička priručnika Ivana Paskvića, *Prirodoslovlje*, 18(1-2)18, Zagreb, 2018.
- [3] T. Šikić, A. Valent, I. Vuković: Nastavni rad Vladimira Varićaka, Vladimir Varićak (1865. – 1942.) u hrvatskoj i svjetskoj znanosti, *Rasprave i građa u povijest znanosti*, HAZU, Zagreb, 2018.
- [4] I. Vuković, A. Valent, B. Hanžek, Ž. Hanjš: Visokoškolski udžbenici matematike Marija Kiseljaka, Zbornik radova 8. simpozija Povijest i filozofija tehnike (ur. Z. Benčić), Kiklos – krug knjige, Zagreb, 2019.
- [5] O. Blagec: Bela IV. i kalničko plemstvo, *Cris*, XII, br. 1/2010., Križevci, 2010.
- [6] Ana Batinić: Plemkinje duha Marija Jambrišak – Jagoda Truhelka – Zdenka Marković, *Nova Croatia*, II (2008) 2, Zagreb, 2008.
- [7] - Znameniti i zaslužni Hrvati te pomena vrijedna lica u hrvatskoj povijesti od 925-1925, Zagreb, 1925.
- [8] I. Vuković, A. Valent: Trnovit put do kraljevskog profesora matematike početkom XX. stoljeća, *Poučak*, 20 (80) 2019, Zagreb, 2019.

Ivica Vuković, Anđa Valent

75-th anniversary of Introduction to Higher Analysis by Željko Marković

Abstract: Among many croatian university textbooks of mathematics Introduction to Higher Analysis by professor Željko Marković occupies quite a distinct place for its volume, long-term usage and many reissues; a core textbook for generations of mathematicians and engineers alike, but primarily for unique style of writing, well-groomed language and in our literature unsurpassed source of historical data. All that combined makes this textbook culturally an important work of historical significance.

Key words: Željko Marković, higher analysis, university textbooks of mathematics

Stručna i znanstvena društva

Miroslav Matasović

Časopis QM - kaducej kvalitete i aktivnosti HGK na području kvalitete

*It is not enough to do things right-
do the right things*

Sažetak: 1997. pokrenut je časopis za područje upravljanja i osiguravanja kvalitete pod pokroviteljstvom HGK i HDK, da popuni prazninu prepoznavanja uloge kvalitete u gospodarskim djelatnostima, pružanje informacije o događanjima na području kvalitete u zemlji i inozemstvu, praćenje institucionalnog djelovanja i dosega na području kvalitete u gospodarstvu. Izlaženje časopisa je upotpunilo djelovanje HGK na području tribine ISO FORUM CROATICUM i projekta Izvorno hrvatsko i Hrvatska kvaliteta, te kao neslužbeno glasilo HDK.

Ključne riječi: Kvaliteta, časopis za kvalitetu, pregled sadržaja časopisa, institucije, tribine, znakovi kvalitete

Časopis za kvalitetu QM pokrenut je u doba kada smo dobili svoju državu, svoje gospodarstvo i kada je trebalo gospodarstvu pružiti ruku da se osnaži i ravnopravno uđe u europski gospodarski prostor. Kvaliteta je tržišna vrijednost proizvoda, postupaka ili usluga, razinu i prihvatljivost kojih određuje tržište, što znači da njezinu razinu određuje svaki dobavljač (proizvođač ili davatelj usluge) samostalno. Osiguravanje kvalitete, pak, izražava unutrašnji ustroj poduzeća kad je u pitanju održavanje određene ili prihvaćene razine kvalitete, smanjenje troškova poslovanja, stjecanje povjerenja kupaca i stabilan položaj na tržištu općenito.

Odnos prema osiguravanju kvalitete pokazuje, dakle, snagu unutrašnjeg ustroja svakoga gospodarstvenog subjekta, te snagu gospodarstva u cjelini, što se izražava kao mogućnost osiguranja čvrstih i jednoznačnih odnosa kupaca i dobavljača.

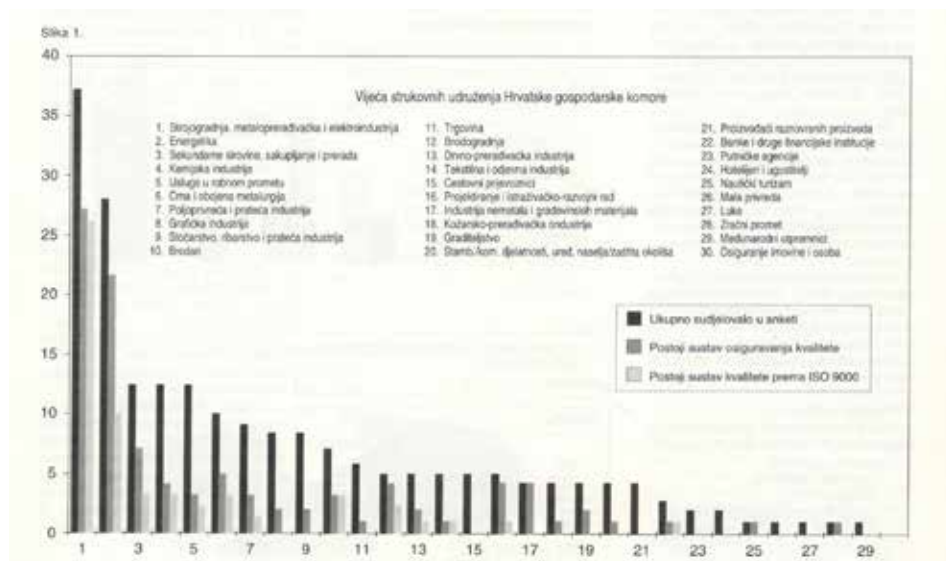
Da bi se to postiglo bilo je potrebno pokrenuti, ne zanemarujući dosadašnja

postignuća, pristup tržišnom gospodarstvu. U tržišnome gospodarstvu osnovicom se smatra dobro, stabilno i pouzdano poslovanje, odnosno prepoznatljivost tvrtke i korektni odnosa kupaca i dobavljača na svim područjima gospodarske djelatnosti.

U gospodarstvenim krugovima i tisku u to doba sve se češće javljaju kao teme rasprave o kvaliteti proizvoda, osiguravanju i upravljanju kvalitetom u organizacijama, o obveznosti/dobrovoljnosti primjene norma ISO 9000 – uglavnom velika šarolikost u pristupima o značenju, o vrednovanju kao i o budućim smjerovima razvika osiguravanja i upravljanja kvalitetom, ali i o dosezima postignuća. Učeno je da se rasprave kreću od vrlo objektivnih i stručnih do onih što uvođenje i bavljenje pitanjima kvalitete svode na pomodni hir, spuštajući raspravu na razinu brojenja dobivenih certifikata (tko, gdje, kada, zašto...).

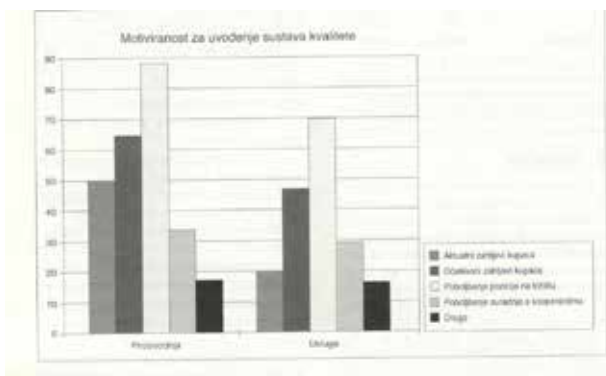
Da bi se pristupilo sustavnom djelovanju na području osiguravanja i upravljanja kvalitetom u Hrvatskoj gospodarskoj komori, u Sektor za energetiku, zaštitu okoliša i sustav kvalitete (direktor akademik Božo Udovičić, pomoćnik za sustave kvalitete Miroslav Matasović), pokrenuta je anketa usmjerena na prikupljanje što objektivnijih podataka o stanju i potrebama gospodarstvenih subjekata glede osiguravanja i upravljanja kvalitetom u hrvatskom gospodarstvu, a s ciljem pokretanja strateških smjerove djelovanja na tom području sukladno potrebama i željama gospodarstvenika.

Anketa je bila usmjerena prema članicama strukovnih udruženja. Upućena je na 600 članica od čega se odazvalo 230 tvrtki - (31% sudjelovanja). Anketa je sadržajem široko obuhvatila utjecajne čimbenike područja osiguravanja i upravljanja kvalitetom.

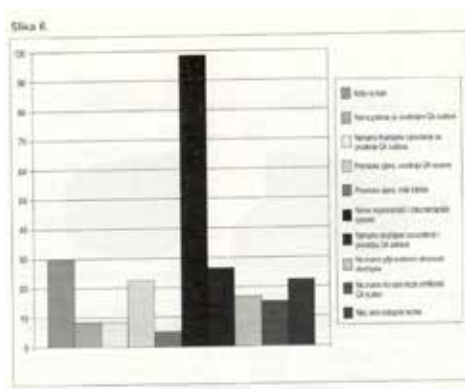


Ne ulazeći u detaljniji prikaz ankete i njezinih rezultata, budući da je anketa objavljena i obrađena u časopisu QM br.1. rujan 1997, treba istaknuti da je anketom potaknuto pokretanje sustavnih akcija, koje je provela Hrvatska gospodarska komora.

U osmišljavanju sustavnih aktivnosti polazilo se od potreba koje su iskazali gospodarski subjekti. Uočljivo je da je velika većina anketiranih iskazala činjenicu da organizacijski i dokumentacijski nije spremna za uvođenje sustava osiguravanja kvalitete, kao i činjenicu, da gledano iz perspektive gospodarstva, u to doba sudionici na tržištu ne zahtijevaju postojanje uspostavljenog i certificiranog sustava osiguranja i upravljanja kvalitetom. Nije zanemariva niti činjenica da su cijena uvođenja, po ocjeni sudionika ankete, previsoke, da nema školovanih stručnjaka, te da im nisu dostupne norme ISO 9000.



Iz takovih podataka dalo se zaključiti da gospodarski subjekti uistinu nisu dovoljno organizacijski sređeni ili da nisu dovoljno obaviješteni o značenju i doseg u sređenog sustava osiguravanja i upravljanja kvalitetom.



Podatak da je nakon pokretanja tribine ISO FORUM CROATICUM istu pratilo između 70 i 90 sudionika iz gospodarstva mjesečno jasno pokazuje da je motiviranost primjerena i da je potrebno krenuti u sustavnu akciju.

Razmatrajući buduće aktivnosti na tom polju usmjerenje je krenulo prema:

- infrastrukturi na području osiguravanja kvalitete,
- jačanju strukovnih udruga za područje osiguravanja i upravljanja kvalitetom,
- jačanju svijesti o potrebi certificiranja sustava,
- organizaciji cjelovit sustav obrazovanja za potrebe područje osiguravanja i upravljanja kvalitete, ravnomjerno na području cijele zemlje (županije, strukovna udruženja),
- potaknuti sustav ubilježених savjetnika i
- oblikovati kodeks ponašanja na tom području.

U okviru sustavnog djelovanja osjetila se i potreba pokretanja nacionalni projekt uvođenja sustava osiguravanja kvalitete, uz razrađen program financiranja, što je osobito važno za mala i srednja poduzeća

Kao odgovor na potrebe u Hrvatskoj gospodarskoj komori, pokrenuti su projekti **MAČ** - osposobljavanje djelatnika HGK za pomaganje zainteresiranim članovima kroz županijske komore) i **LUK** – organizacija edukacije malih poduzeća za uvođenje sustava osiguravanja i upravljanja kvalitetom. Nadalje kao institucija u službi gospodarstva pokreću se tri značajne aktivnosti:

I. Tribina ISO FORUM CROATICUM

Tribina je pokrenuta u suradnji Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo (Biserka Bajzek-Brezak) i Hrvatske gospodarske komore (Miroslav Matasović)

Cilj održavanja tribine je pružiti stručne informacije i aktualnosti na području sustava kvalitete, omogućiti raspravu o potreba na području i okupljanje zainteresiranih da kroz direktne kontakte sudionika razmijene iskustva i saznanja. Tribina se organizirala jednom mjesečno. Posjećenost je bila između 70 do 90 sudionika. U prilogima dan je popis tema i predavača (prilog 1).

2. Projekt Izvorno hrvatsko i Hrvatska kvalitete

Pokretač i nositelj Sektor za energetiku, zaštitu okoliša i sustav kvalitete (Miroslav Matasović)

Projekt zamišljen s ciljem povezivanja gospodarstva i znanosti, uključivanjem gospodarskih subjekata s kvalitetnim i/ili izvornim hrvatskim proizvodima sa znanstvenicima i stručnjacima, koji djeluju na područjima djelovanja gospodarskog subjekta, zatim s područja marketinga i s područja sustava kvalitete, na način da se znanstvenici i stručnjaci uključe u povjerenstva za ocjenu proizvoda i proizvodnje. Postupci obuhvaćaju dokumentacijsku provjeru proizvoda i provjere u proizvodnim procesima.

Na taj način postignut je direktni kontaktom stručnjaka u proizvodnji i povjerenstvu a čime je stvorena mogućnost učinkovitost povezivanja i daljnja suradnja. Vidljiva oznaka projekta su dva znaka – Hrvatska kvaliteta (za kvalitetan proizvod) i Izvorno hrvatsko (za kvalitetan izvorno hrvatski proizvod) kao oznake za prepoznavanje na tržištu. Dodijeljeno i objavljeno oko 400 znakova. Detalji se mogu naći na stranicama HGK – digitalnakomora.hr.



3. Časopis QM – kaducej kvalitete

Časopis je pokrenut da bi se popunila medijska praznina informiranja o događanju na području osiguravanja i upravljanja kvalitetom, inicijator je bila HGK u suglasnost HDK, koji su uključeni kao sunakladnici tvrtke SIP.



U nakladničko vijeće i uredništvo, kao i na mjesto glavnog urednika, uključeni su priznati stručnjaci na području sustava upravljanja kvalitetom.

Moto je izdavačke politike časopisa bio da časopis treba biti „kaducej kvalitete“, koji će poticati i područje i gospodarske subjekte i pojedince na aktivnosti. S

tim ciljem krenulo se u prikupljanje podataka i izvještavanje o stvarnom stanju na području, pozivanjem domaćih stručnjaka da putem objava iznesu svoja iskustva, pristupilo praćenju i objavljivanju članaka i informacija iz značajnih svjetskih časopisa (*Qualität und Zuverlässigkeit (QZ)*, *British Standards Institution News (BSI News)*, *DIN-Mitteilungen*, *Quality Progress*, *Business Standards*, *European Quality*, *The TQM magazine*, *ISO 9000 Quality Management Systems*), pružanja informacija o događanjima i trendovima, podacima o postignućima (tvrtke, organizacije za certificiranje, certifikati), pregledima sadržaja međunarodnih časopisa, ostavljajući dovoljno prostora za nove inicijative i poboljšavanja.

Odaziv i suradnja kako domaćih tako i međunarodnih stručnjaka bio je dobar, a podrška je dobivena i od uglednih međunarodnih časopisa, koji dali dopuštenje da se besplatno prenose članci iz njihovih časopisa.

Časopis je izlazio 3 godine. Objavljeno je 8 brojeva. Naklada je bila u 500 primjeraka s oko 300 pretplatnika.

Svaki broj je bio usmjeren prema određenoj temi, kojoj je bio usmjeren uvodnik i sadržaja broja. Nastojalo se prikupiti što objektivnijih podataka o događanjima, dosegima ali temama u drugim publikacijama kako bi se moglo pozicionirati u odnosu na druge, ali tražiti i nova ili uklanjati nedostatke ili iznalaziti nove mogućnosti ili djelovanja na području.

Časopis je prošlost.

Koliko se uspjelo i što se događalo u to vrijeme i ondašnjem okuženju najbolje ukazuje pregled sadržaja.

QM, broj 1, godina 1, rujan 1997

UVODNIK

Glasnik bogova, Merkur (grč. Hermes), zaštitnik trgovaca, pronalazača, hodočasnika i putnika, krilatim štapom *kaducejem* (lat. *caduceus*) u ruci budi ljude iz sna. Tako bi i ovaj časopis što ga pokrećemo, poput dodira *kaducejem*, imao probuditi hrvatske gospodarstvenike. Nema nikakva opravdanja - ne bi to smio biti ni neželjeni rat, što je sada iza nas za odgađanje buđenja svijesti nužnosti postojanja, sustavna osiguravanja i upravljanja kvalitetom. U tome očividno kasnimo i moramo se hitno probuditi. Utemeljitelji časopisa *QM*, kakva u nas dosad nije bilo, postavili su si zadaću poticati i pomoći tvrtkama pojedincima u svrhovitu, brzemu i sustavnom rješavanju teškoća i dvojbi kad je u pitanju kvaliteta. Cilj nam je prilagoditi se potrebama i odgovoriti zahtjevima prakse, objavljivati stručne napise i vijesti iz hrvatskoga gospodarstva, te prenijeti strana iskustva i rješenja o kojima pišu svjetski stručni časopisi. Pritom će od velike koristi biti ponuđena suradnja i stručna potpora dviju važnih ustanova - Hrvatske gospodarske komore i Hrvatskoga društva za kakvoću. Ovaj prvi broj pokušaj je Uredništva da »oslušne« i prepozna vaše potrebe. Jesmo li imali dovoljno sluha, reći ćete vi. No, kako bismo postigli željeni »kaducejski« učinak, nužna nam je vaša neposredna, poticajna suradnja. Pišite, izrazite svoje potrebe, upozorite, pokažite kako vi gledate na problem i kako ga rješavate...! Ali, prije svega - budite kritični! Jedino tako časopis može postati uistinu vašim - *QM* bit će, jer mora biti, otvoren za sve ideje i probleme. Zato želimo čuti vaš glas - »glas kupca«. Krenimo zajedno!



KAZALO

5

Prikaz rezultata ankete o osiguravanju kvalitete u hrvatskome gospodarstvu Hrvatska danas

Mr. Miroslav Matasović

9

Interview s mr. Dubravkom Smojver, direktoricom Osiguranje kvalitete u Plivi
Kvaliteta jučer, danas, sutra

Dubravko Veldić

17

Kvaliteta i motivacija

Kvaliteta: kome to treba?

Mr. Doroteja Kirhmajer-Vujčić

23

Upravljanje kvalitetom: Shvaćanje kvalitete u zemljama u razvoju

Guidelines for Enterprises in Developing Countries (UNCTAD/WTO -ITC),

Iso 9000 GMGuidelines

28

ISO 9000 u Austriji

Manje pogrešaka i proizvoda s greškom

J. Sage/P. Voithofer

QZ

32

Mjerila pri odбору oblika dokumentacije

Dokumentiranje procesa primjereno suradnicima

M. Hornung/T. J. Steiger/F. E. Wider

QZ

38

Usporedba kontrole sustava i kontrole sukladnosti

Kontrola zaštite okoliša

*Dr. Andrew Griffiths**DIN-Mitteilungen*

41

Strategijsko planiranje

Dogovor s kupcem prije planiranja

*Forler Massnick**Quality Progress*

45

Glas kupca

Vrijednost odziva kupca

J. Goodman/ D. DePalma/S. Broetzmann Quality Progress

48

Standardi upravljanja kvalitetom

Mogu li norme ISO 9000 činiti »čuda«?

*David Taylor**Business Standards*

49

Europski parlament Težak put do usklađenja

*(tehničke norme i međusobno priznavanje)**Carlos Ferrer**DIN-Mitteilungen*

53

Pregled zbivanja i popis izlaganja

Svijet za kvalitetu

40. kongres EoQ u Berlinu

56

Uvodno izlaganje

Upravljanje kvalitetom u europskome gospodarstvu

Dr. Karl J. Ehrhart

59

Izvešće s Kongresa poslovodstvu Samoborke d.d.

Držimo li korak sa svijetom?

Josip Kumerički

Vijesti iz HKD-a i HGK

62

Hrvatsko društvo za kakvoću

Kvaliteta u Europi - zajedno pobjeđujemo

Prijenos iz Glasila HKD-a

66

Hrvatska gospodarska komora

Pregledne liste tvrtki za osiguravanje i upravljanje kvalitetom u djelatnostima obratovanja, savjetovanja i certifikacije

Miroslav Matasović

70

Nova stručna literatura

Popis objavljene literature u časopisima QZ, DIN-Mitteilungen, Quality Progress i TQM

Na stranicama 26,27, 31,37, 40 i 44 donosimo preglede iz sadržaja svjetskih časopisa QZ, BSI News, DIN-Mitteilungen, Quality Progress, Business Standards, European Quality i TQM

QM, broj 2, godina 1, prosinac 1997.

UVODNIK

Prvi broj je za nama - okrenimo se drugomu. Ovaj broj počinje kaducejem: HACCP-a kao dijela integriranog upravljanja kvalitetom. Slijedi niz tema, što se bave vašim osobnim utjecajem na uvođenje kvalitete - od štednje novca (projektni pristup) do različita tumačenja zahtjeva normi pri uvođenju i održavanju sustava. Nadam se da će se i vama svidjeti mali biseri o kvaliteti, što smo ih ubacili kao rijetke začine. Primijetit ćete kako je odziv na suradnju više nego dobar, o čemu svjedoči činjenica da je broj ispunjen člancima domaćih autora - tek je nekoliko prijenosa iz stranoga tiska. Zadovoljni smo, ali svjesni da nas dobar početak ne smije uspavati. Zato, nemojte misliti kako ima vremena, i da će »oni drugi pisati, a mi ćemo čekati dok ne stignemo na red«. Nema vremena!



Pišite! Ožujak je blizu - izlazak trećeg broja časopisa - i vaš članak je presudan, jer u tome broju očekujemo rasprave o temama Prve nacionalne konferencije o kvaliteti, 1. do 3. travnja 1998.

A problema je mnogo - od činjenice da se ne prepoznavamo u djelovanju, do nepostojanja sustava na području osiguravanja i upravljanja kvalitetom. Kako ste zacijelo primijetili, nastojali smo zadržati opseg prvoga broja. No, čini se da smo vam dužni dati dva objašnjenja. Ima, naime, nejasnoća oko pretplate: časopis izlazi četiri puta godišnje - dva broja u 1997. i dva u 1998. (riječ je, dakle, o obračunskoj, a ne kalendarskoj godini), što znači da je cijena godišnje pretplate, upravo za ta četiri broja, 320 kuna. Drugo objašnjenje vrijedi za naslove što ih prenosimo objavljivanjem sadržaja stranih časopisa, a u vezi s činjenicom da nam se nitko nije javio:

Ako želite pročitati neki članak, na kojeg smo vas upozorili, Uredništvo će posredovati i pribaviti vam ga. To nam je i bila nakana - naprosto približiti vam zanimljivo stručno štivo.

Nije, naime, moguće baš sve prevesti i prenijeti, ali možemo graditi mostove. Poruka na kraju: ako ste zadovoljni časopisom pričajte svima, ako niste, pričajte nama kako bismo zadovoljili vaše želje i potrebe.

KAZALO

5

SUSTAVI KAKVOĆE U INDUSTRIJI HRANE HACCP

- Sustav analize opasnosti i kontrola kritičnih točaka

Srdan Lisac

9

RAZGOVOR: BRANKA MAGDALENIĆ HACCP

- jamac zdrave i sigurne hrane

Dubravko Veldić

II

INTERPRETIRANJE NORMI ISO 9000

Zlouporaba ili neznanje?

Božidar Cvitković

12

NEKE PRAVNE NEDOUMICE GLEDE PROVOĐENJA AUDITA

Audit / Audit

*Carl-Otto Bauer**QZ*

16

BVQI: ISO-NORME TEK SU TEMELJ -CILJ JE TQM

Pokretačka snaga normi

*Ian Day**European Quality*

18

PUT DO EUROPSKE NAGRADE ZA KVALITETU

Jesu li ISO-norme dovoljne?

Ivica Oslić

22

EUROPSKA NAGRADA ZA KVALITETU 1997.

Šampioni kvalitete

Višnja Sušić

23

KLJUČNI FAKTORI USPJEHA

Projektni pristup uspostavi sustava upravljanja kvalitetom

Ante Jakovčev

26

NEKOREKTNO TUMAČENJE CERTIFIKATA ISO 9000

Certifikat - "kisela jabuka"

Nenad Injac

33

PRIMJENA TAGUCHI-METODE U OBLIKOVANJU POKUSA

Dizajnom do kvalitete

Miljenko Košiček

38

DONOŠENJE KVALITETE U DOM

Kako je jedna zaposlena majka riješila jutarnji kaos

Marla R. Clark

Quality Progress

39

IZJAVA O POSLANJU OBITELJI

"Recept" za ljubav

Michael Garrett

Quality Progress

40

PROCJENA SUSTAVA

Quality Audit u Plivi

Željko Pranjić-Anušić

44

O VAŽNOSTI KOMUNICIRANJA

Dobar dan. kako ste?

Ana Devčić-Jeras

45

INTERNET - IZVOR PODATAKA O KVALITETI

Način pretraživanja

Silvana Tomić-Rotim

52 41.

KONGRES EOQ

TQM - strategija planiranja i poslovanja

Dubravka Smojver

54 41.

KONGRES EOQ

Pregled i popis izlaganja

Neda Ortner

56

OBILJEŽAVANJE TJEDNA KVALITETE U 1997. GODINI

Značajni pomaci

Želimir Đurašević

57

EUROPSKI INDEKS ZADOVOLJSTVA KUPCA (ESCI)

Pokretanje ESCI-projekta

Želimir Đurašević

60

HDK - Prva nacionalna konferencija o kvaliteti DUBROVNIK

61

PROJEKT - VIZUALNO OZNAČIVANJE HRVATSKIH PROIZVODA HRVATSKA KVALITETA/IZVORNO HRVATSKO

Ulazak u globalnu tržišnu utakmicu

Ruder Friganović

63

ISO FORUM CROATICUM

Odgovor na izazov

Gabrijela Karajica i Miroslav Matasović

64

HRVATSKA GOSPODARSKA KOMORA

Pregledne liste tvrtki za osiguravanje i upravljanje kvalitetom u djelatnostima obrazovanja, savjetovanja i certifikacije

Miroslav Matasović

67

KVALITETA NA INTERNETU

Pregled važnijih adresa

Miroslav Matasović

70

THE MEMORY JOGGER™.. MICHAEL BRASSARD/ /DIANE RITTER

Alati za stalno i učinkovito poboljšanje planiranja

Petar Jerković

71

NOVE KNJIGE

Pregled iz sadržaja svjetskih časopisa QZ, BSI News, DIN-Mitteilungen, Quality Progress, Business Standards, European Quality i TQM

Hrvatska gospodarska komora

Pregledne liste tvrtki za osiguravanje i upravljanje kvalitetom u djelatnostima obrazovanja, savjetovanja i certifikacije

Nova stručna literatura

Popis objavljene literature u časopisima QZ, DIN-Mitteilungen, Quality Progress i TQM

QM, broj 3, godina 1, ožujak 1998.

UVODNIK

U prošlom broju najavio sam u uvodniku Prvu hrvatsku konferenciju kvaliteti. Činilo se u tom trenutku kako je Konferencija vrlo daleko.

U Cavtatu imamo priliku za cjelovitu otvorenu raspravu o pitanjima kvalitete u hrvatskom gospodarstvu. Nije nakana Konferencije rješavati probleme, no, ne smijemo izgubiti iz vida njezinu temeljnu svrhu - snimanje i ustanovljivanje stvarnoga stanja - bez uljepšavanja i "friziranja". Ako nam pristup bude takav, i uspijemo li osmisлити projekt hrvatske kvalitete koji će dobiti podršku i kojem će hrvatska Vlada pokazati privrženost krenut ćemo uistinu novim, pravim putem. Hrvatska danas ima kritičnu masu stručnjaka za područje kvalitete, ima, za sadašnje prilike, i dovoljno ustanova za obrazovanje, savjetovanje i certifikaciju, aii nema osmišljena i uvedena sustava na području kvalitete, niti sustavna djelovanja, a bez sustavna djelovanja nije moguće ni uvođenje ni poboljšanje kvalitete u hrvatskomu gospodarstvu. Osobno očekujem da će naša Prva konferencija uspjeti pokrenuti sustavno djelovanje.

Vratimo se časopisu, iako nam već priličan broj autora šalju svoje napise, odzivom još ne možemo biti zadovoljni. U ovome broju, inače, donosimo, među ostalim, izbor Ezopovih basni i hipotetičke stavove Aleksandra Velikog kako bismo upozorili na dugovječnost i univerzalnost te stalnu aktualnost polazišta kvalitete.

Zato predlažem da se javljate svojim pitanjima o određenoj temi ili problemu. Osigurat ćemo stručan odgovor i potaknuti znalce da o problemu ili temi napišu opširniji prikaz. Autore prikaza i priloga upozoravamo kako bi nam uvelike pomogli kada bi nam ih dostavljali kao kompjutorski zapis na disketi (Word6.0 ili više, snimljeno u *DOC-formatu* ili kao *text onltf*). Naredni broj pripremamo za lipanj 1998. i bit će posvećen uglavnom zbivanjima u Cavtatu i odjecima Prve hrvatske konferencije o kvaliteti.



KAZALO

5

PRVA HRVATSKA KONFERENCIJA O KVALITETI

Hrvatski odgovor na svjetske izazove

Želimir Đurašević

6

NORMIZACIJA USLUGA

Sve veća važnost uslužnoga sektora

Ivana Dimoti

8

DRŽAVNI INSPEKTORAT

Nova kvaliteta u inspekcijskom nadzoru

Branko Jordanić

10

SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI U STROJARSTVU prema SCC-u

Sigurnost pri radu donosi uštede

*Joachim Wagne**QZ*

12

EZOP O SUSTAVIMA KVALITETE

Pouke neprolazne vrijednosti

*Denise E. Robitaille**Quality Progress*

15

INTEGRALNA KAKVOĆA I ZDRAVSTVENA ISPRAVNOST HRANE

Zbrka u glavama i nazivlju

Danko Matasović

18

ZDRAVLJE I SIGURNOST

Veća sigurnost - manji troškovi

Jenny Bacon

Business Standards

19

PROCJENA SUSTAVA

Quality audit u Plivi (2)

Željko Pranjić-Anušić

23

PRAVNI ASPEKTI SURADNJE KUPCA I DOBAVLJAČA

Princip nade ili ugovor s “kvakom”?

Ruth Melzer-Ridinger

QZ

26

JEDNO JAPANSKO ISKUSTVO “

Evidentirati” ili upravljati troškovima

Antun-Toni Rehak

31

DESET SAVJETA PREMA ISO 9000

Neka norme rade za vas

Business Standards

33

PLANIRANJE I PROVOĐENJE SUSTAVNE IZOBRAZBE ZA KVALITETU

Školovanje - temelj razvoja sustava kvalitete

Ivo Bakija

42

PROVJERA USPIJEŠNOSTI PROGRAMA UVOĐENJA SUSTAVA KVALITETE

Imate li dugoročnu strategiju?

Goran Kliškić

43

KORACI, KORACI, KORACI...

Šest koraka do bolje kvalitete

Goran Kliškić

44

DOKUMENTACIJA: PREPREKA ILI POTICAJ

“Papirologija” da, ali kratka i jasna!

Mladen Meštrović

50

ISKUSTVA U USPOSTAVLJANJU QA-SUSTAVA

Dokumentiranje sustava kvalitete

Ivan Rogan

55

KAKO PREPOZNATI KVALITETAN PROCES?

Ciljevi poslovnih procesa

Živko Kondić

57

INFOMART - ANKETA O CERTIFICIRANJU QA-SUSTAVA PO MO-
DELU ISO 9001/2

Povoljna iskustva ispitanika

Infomart

61

DRUGI FORUM EOQ-a/MUNCHEN

Restrukturiranje poslovnih procesa - dio TQM-a

Goran Kliškić

63

NAČELA UPRAVLJANJA KVALITETOM i SMJERNICE ZA UPORABU

U pripremi nove norme ISO 10002?

Goran Kliškić

DODIJELJENI ZNAKOVI HRVATSKA KVALITETA

Put u visoko društvo

HGK

68

Odluka Europske komisije o primjeni norma slijeda ISO 14001 i EN ISO 14001

Europska komisija

70

IZVORI SPOZNAJA O KVALITETI NA INTERNETU

Mreža kreativnosti

Jim Clauson

Quality Progress

Pregled iz sadržaja svjetskih časopisa QZ, BSI News, DIN-Mitteilungen, Quality Progress, Business Standards, European Quality i TQM

Hrvatska gospodarska komora

Pregledne liste tvrtki za osiguravanje i upravljanje kvalitetom u djelatnostima obrazovanja, savjetovanja i certifikacije

Nova stručna literatura

Popis objavljene literature u časopisima QZ, DIN-Mitteilungen, Quality Progress i TQM

QM, broj 4, godina I, ožujak 1998.

UVODNIK

Pred vama je četvrti broj časopisa ili godinu izlaženja. Bilo je teškoća u ovih godinu dana, pa možda i lutanja, no učinili smo što smo mogli. Nastojali smo dati širok spektar zbivanja na području kvalitete, stručno potaknuti nove inicijative, napose integrirani pristup kvaliteti kao prijelaz prema TQM-u, reagirati na zamijećene teškoće u dnevnoj praksi itd., no nedovoljno osjećamo vaš utjecaj i udjel u oblikovanju časopisa kao stručnu podršku dnevnom poslu i literature što je imala pridonijeti stvaranju svjetonazora o kvaliteti u poduzeću. Pitajte se koliko ljudi u vašem poduzeću (koje ima uveden sustav osiguravanja kvalitete) zna da časopis postoji, a koliko je imalo časopis u rukama i pročitalo nešto iz sadržaja.

Moram reći da ima premalo inicijative, prema- lo se piše o stvarnim problemima. Kao da se osjeća nekakvu nesigurnost, premda za to nema razloga - zgodan su primjer kratki objavljeni članci nekolicine autora, koji su u neposrednoj vezi s problemima koji nas zanimaju, ali koji i upozoravaju kako se s njima borimo. Mi ćemo i dalje nastojati održavati razinu kakvu smo dostigli dosad i za koju imamo usmenu podršku. No bojimo se samozadovoljstva: nedostaje nam »vaš glas« - koji može biti pozitivan, ali i negativan. Pretplatnika je i oglašivača premalo. To ukazuje da sustavi kvalitete još nisu dovoljno postali mentalitetom naših gospodarstvenika. Nemam prijedloga niti rješenja, kako izići iz tog problema - možda ga imate vi? Na nama je - ustrajati!

Prijedimo na ovaj broj. Posvetili smo ga, kako smo i najavili, Prvoj konferenciji o kvaliteti. Konferencija je održana u »obiteljskom krugu« - okupila je očekivani broj sudionika - oko dvije stotine entuzijasta, onih koje se može uglavnom sresti na ISO FORUMU ili su aktivni odnosno pasivni suradnici časopisa QM. Broj prijavljenih i kvaliteta održanih referata, mislim da može zadovoljiti. To što nije bilo izdvajanja određena broja referata, nego su svi prezentirani, imalo je i dobrih i loših strana. Dobre su: vrijedan Zbornik i bolje upoznavanje sudionika, a loše: premalo vremena za otvorenu raspravu. Zasad nema očekivana odziva na poticaje Konferencije. Kako bi se ostavilo trag o Konferenciji i prenijelo glavne teme onima kojih nije bilo u Cavtatu, u ovom broju prenosimo uvodna i nekoliko drugih izlaganja s Konferencije - koliko



je moguće u raspoloživu prostoru. U narednim ćemo brojevima nastaviti objavljivati referate.

Na kraju dvije isprike. Najprije gospodinu Jordaniću: u sadržaju prošloga broja lista, uz naslov njegova članka objavljeno je ime gospođe Vrbanić, čiji članak objavljujemo u ovome broju. Omašku je uzrovala činjenica što je članak gospodina Jordanića stigao uoči sama izlaska časopisa, a bilo nam je stalo objaviti ga, poradi aktualnosti teme - pažnja je popustila i nastala je greška. Drugu ispriku vam dugujemo radi kašnjenja broja. Razlog je poznat. Nadam se da ćete i to uvažiti.

Ujesen se održava Konferencija EOQ u Parizu i Europski tjedan kvalitete. Za obje se manifestacije valja pripremiti i stoga vas pozivamo na suradnju i inicijative

KAZALO

Zaključci Prve hrvatske konferencije o kvaliteti

5

ZAJEDNIČKI NAPORI EFQM I EOQ UZ POPTORU EU

Nedostaje nam knjiga o kvaliteti poput »krimića«!

Mr. Otto Neumayer

II

PROŠLOST KOJA OBVEZUJE HDK -

Koliko već desetljeća?

Dr. sc. Mladen Rovešnjak

17

NACIONALNI PROGRAM ILI NACIONALNI PROJEKT KVALITETE?

Hrvatski sustav kvalitete nužnost!

Mr. sc. Miroslav Matasović

19

NORME - TROŠAK, STANDARD I KORIST

Hrvatska i ISO 9000

Želimir Đurašević

22

Samo četiri temeljne norme?

23

ZAŠTO I KAKO USPOSTAVITI HRVATSKI SUSTAV AKREDITACIJE?

Dohvatljivi uzvišeni ciljevi

Dubravka Smojver

27

HRVATSKA, NAŽALOST, JOŠ NEMA INSTITUT NAGADE ZA KVALITETU

Nagrada - pokretač i motivator!

Veljko Mehmet

29

DRŽAVNI ZAVOD ZA NORMIZACIJU I MJERITELJSTVO U USPOSTAVI SU- STAVA KAKVOĆE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Izuzetna uloga nacionalnog sustava za ovlašćivanje

Dr sc. Jakša Topić

39

NEDOUMICE JEZIKA NAŠEG SVAGDAŠNJEG

Kvalitetan ili kakvoćan

John Barley

41

ZAHTJEVI NA SUSTAVE UPRAVLJANJA U HRVATSKOJ

Pregled i strategija učinkovita razvoja

Jean Pierre Sauvage

45

STAJALIŠTA KONZULTANATA KVALITETE O STANJU U HRVATSKIM TVRTKAMA

Možemo li promijeniti svjetonazor?

Božidar Cvitković

48

ULOGA MENADŽMENTA U IZGRADNJI SUSTAVA KVALITETE

Formalizam na hrvatski način

Veljko Mahmet

50

MODEL POSLOVNE IZVRSNOSTI

Samoprosudbom do poslovne uspješnosti

Božena Vrbanić

53

KAKVOĆA I INSPEKCIJSKI NADZOR KAKVOĆE PROIZVODA U RH

Između želja i mogućnosti - kontrola!

Mr.sc. Đordo Sinković Damir Vrhovnik

56

UPRAVLJANJA I UNAPRJEĐIVANJA KVALITETE U »VIKTORU LENCU«

Prednosti i nedostaci uporedna uvođenja sustava ISO 9000 i ISO 14000

Ana Devčić-Jeras

59

KULTURA KVALITETE

Utjecaj pojedinca na unaprjeđenje kvalitete

*Mr. sc. Miroslav Matasović**Dr.sc. Vidoje Vujić*

HRVATSKA GOSPODARSKA KOMORA

62

Dodijeljeni znakovi kvalitete,

63

Pregledne liste obrazovnih, savjetničkih i certifikacijskih tvrtki u Republici Hrvatskoj

68

NOVE KNJIGE

Dr. sc. Nedan Injac: Mala enciklopedija kvalitete

70 HRVATSKO DRUŠTVO ZA KAKVOĆU

Odjeci Prve hrvatske konferencije o kvaliteti

Na stranicama 39, 40, 44, 47 i 61 uobičajeni pregled sadržaja stručnih časopisa Qualität und Zuverlässigkeit, DIN Mitteilungen, Quality Progress, Business Standards, te Glasila DZNM

QM, broj 5, godina 2, svibanj 1999.

UVODNIK

Govoriti, pisati o kvaliteti odgovoran je i težak posao. Raspon poznavanja problematike kvalitete među gospodarstvenicima toliko je širok, da je vrlo teško okupiti homogeni skup za obradu određene teme. Nedavno sam upozoren kako bi, uz web-stranice na kojima objavljujemo liste obrazovnih, savjetničkih i certifikacijskih organizacija, bilo potrebno objaviti kratke tekstove o 150- normama. Ili - najčešće pitanje što ga susrećem u svome profesionalnom djelovanju veoma je kratko - kako se dobiva i što se mora učiniti da bi se dobilo 150-certifikat. Na drugoj strani, dobri stari ISO 9000 i dalje nam dobro služi kao osnova u gradnji kuće kvalitete, ali ostaje velika praznina u višim razinama kvalitete - u stručnim se krugovima o tome priča, i razglaba, ali se premalo piše. U hrvatskom gospodarstvu jasno se profilira kritična masa tvrtki koje streme integriranju poslovanja prema zahtjevima osiguravanja odnosno upravljanja kvalitetom, napose, primjerice, HACCP-sustava u industriji hrane. Mnogo se, međutim, radi na procjeni opasnosti radnoga mjesta (zaštita na radu), na što potiču i zakonske obveze, ali se malo ili uopće ne iskorišćuje prednosti sustavna pristupa kontroli i nadzoru procesa, što omogućuje primjena normnoga slijeda ISO 9000. Teško je shvatiti zašto taj alat ne primjenjuju ni tvrtke koje imaju uveden sustav. Stoga me ne čudi nedavni prijedlog jednog uvaženoga kolege da jedan termin ISO FORUMA bude posvećen samo razumijevanje pojma kvalitete - osobno bih nadopunio - i integriranih sustava. To ćemo vjerojatno i učiniti...

Još o alatima kvalitete. Jeste li razmislili čita li vaš pretpostavljeni o kvaliteti? Vjerojatno ne - ima i drugih tekstova koje valja čitati. Zašto ne biste kopirali pojedini članak ili njegov dio kad ocijenite da bi mu mogao biti koristan (na primjer jedan list A4 formata). Vjerujem da bi ga tada pogledao i, možda, pročitao.

Kaducej u ovom broju kratak je, jasan i bitak, kako već Božidar Cvitković zna - snažno uzdrmati čitatelja ili slušača. Kao i uvijek nastojim prikupiti širok izbor tema, zanimljivih i aktualnih, no osobito vas želim upozoriti na činjenicu da smo dobili i članak iz jednoga od prvih ovlaštenih laboratorija. Pozdravljamo početak rada nacionalnog ovlašćivanja laboratorija, što je velik pomak nabolje u hrvatskome gospodarstvu.



Poželjeli bismo da što prije dobijemo ovlaštene organizacije i u drugim područjima, napose u osiguravanju i upravljanju kvalitetom. To bi nam omogućilo čvršće i pouzdanije promicanje gospodarskoga sklada, i time više razine kvalitete.

Iza nas je prošlogodišnja Konferencija o kvaliteti, a pred nama su dva značajna događaja - 43. kongres EOQ, na kojemu će se raspravljati o izazovima 21. stoljeća za mala i srednja poduzeća, te 2. hrvatska konferencija o kvaliteti u Cavtatu, početkom studenoga ove godine. Konferencija će se, tematski, baviti pitanjima osiguravanja i upravljanja kvalitetom - osobito višim razinama i novim oblicima, zaštitom okoliša, te integriranim upravljanjem kvalitetom. Valjalo bi uznastojati, kad je već riječ o osiguravanju kvalitete, u sadržaj rada Konferencije uvrstiti i teme u svezi sa zaštitom na radu i zdravstvenom ispravnosću poljoprivrednih proizvoda i industrijski prerađene hrane. Ta područja nedovoljno su zastupljena u upravljanju kvalitetom u poduzećima, djeluju izdvojeno i time ne pridonose dovoljno uspješnosti tvrtke ni njezinoj profitabilnosti. Osobitu pozornost morat ćemo usmjeriti reviziji ISO-norma - to je nov izazov i valja nam se dobro pripremiti.

Iako se čini kako je Druga hrvatska konferencija još »daleko«, dojam vara. No, nije prekasno da se svojim radovima i sudjelovanjem uključite i u ta i te kako značajna događanja. Krajnji je trenutak da nam promicanje mentaliteta kvalitete i potrebe za kvalitetom svima postane najvećim izazovom - u tvrtki i osobno.

Obratite pozornost i prikazima dviju novih knjiga: Priručnik za prosuditelje i Sustavi kvalitete 2000.

KAZALO

5

KRITIČKI POGLED

Konzultant - kreativac ili tumač strane literature?

Božldar Cvitković

6

IZJAVA O POLITICI I CILJEVIMA SUSTAVA KVALITETE U OVLAŠTENU ISPITNOM LABORATORIJU

Neprocjenjiva uloga ovlaštena ispitnog laboratorija

dr. sc. Ž. Jelčić, mr. sc. M. Mlinac-Mišak V. Merzel

12

ORGANIZACIJSKE PRETPOSTAVKE POSLOVNE IZVRSNOSTI

»Srećologija« - odgovor na izazove budućnost

mr. sc. Ana Alić

SAMOPROCJENJIVANJE PREMA EFOM-UPITNIKU

Novi pristup samoprocjenjivanju

dr. sc. Ivica Oslić

19

KADROVSKA DIMENZIJA KVALITETE

Kako stvoriti savršen sustav?

dr. sc. Vidoje Vujić

MALI PRIRUČNIK O (NE) KVALITETI - PREDUVJET ZA ISO 9000-X

Kvaliteta ponašanja

Ana Devčić-Jeras

MENADŽER KAO UZOR

Dnevni interni audit

K. Rohling

26

POBOLJŠANJE SUSTAVA KVALITETE POSREDSTVOM »EMPOVVERMENTA«

Proširenje poslovnog utjecaja pojedinca

Goran Kliškić

29

SUSTAV KVALITETE POTVRĐUJE SE NA TRŽIŠTU

Zadovoljstvo kupca - što je to?

dr. sc. Nenad Injac

38

POSLOVNE FILOZOFIJE U GRAFIČKO-MATEMATIČKIM
INTERPRETACIJAMA

Strategija projektiranja i izgradnje sustava kvalitete

dr. sc. Klaudio Tominović

44

TIMSKI PRISTUP RJEŠAVANJU PROBLEMA OSIGURANJA KVALITETE

Za složene probleme - skladan stručni tim!

Hrvoje Štingl

51

UTJECAJNI ČIMBENICI PRI UVOĐENJU I UNAPRJEĐENJU SUSTAVA
KVALITETE

Kvaliteta mora postati kultura življenja

Christopher Sheldon

54

KAKO UKLONITI ILI BAREM SMANJITI KOLIČINU OTPADA?

Ne možete si priuštiti otpad!

Branko Škrobonja,

EUROPSKA KONVENCIJA O KVALITETI

58

Neuobičajen i jedinstven sadržaj 58

59

EUROPSKA POVELJA O KVALITETI 59

61

KUPUJMO KVALITETNO - HRVATSKO!

Potraga za hrvatskom kvalitetom 61

Jasna Pozaić

62

DODIJELJENI ZNAKOVI HRVATSKA KVALITETA I IZVORNO HRVATSKO

62

PREGLEDNE LISTE OBRAZOVNIH, SAVJETNIČKIH I CERTIFIKACIJSKIH
TVRTOČNIŠTVA U RH

Donosimo Objave sadržaja iz stručnih časopisa Qualität und Zuverlässigkeit (42,43),
Quality Progress (56), DIN Mitteilungen (57)

QM, broj 6, godina 2, listopad 1999.

UVODNIK

Ovih je dana zanimanje ljudi od struke usredotočeno 2. konferenciji o kvaliteti (Cavtat, 3. do 5. studenoga 1999.) i na obnovu norma u slijedu ISO 9000. Konferencija je u središtu pozornosti kao okupljalište struke, mjesto razmjene iskustava i pregleda stanja, lako se institucionalnom smislu u ovome području nije dogodilo ništa značajno novo (nije pokrenut nacionalni program, nije završena akreditacija certifikacijskih organizacija), pomak je u općem trendu povećanja broja tvrtki koje su pokrenule rad na implementaciji sustava osiguravanja kvalitete. Mnoge su to već obavile, o čemu svjedoče pokazatelji o broju provedenih certifikacija (trenutno ih je otprilike 200). Valja upozoriti i na jedan bitan iskorak na našem području kad je posrijedi poimanje osiguravanja kvalitete-Veleučilište u Dubrovniku uvelo je i certificiralo sustav osiguravanja kvalitete i temeljem norma HRN EN ISO 9002/96. uzimajući u obzir i zasade u Konferenciji o izobrazbi pomoraca, što je znakovito zbog dvaju razloga - uveden je sustav osiguravaju kvalitete u visokoškolsku ustanovu, što razbija uobičajene predodžbe o primjeni osiguravanja kvalitete na proizvodne tvrtke, dok su u certifikaciji sudjelovale dvije certifikacijske kuće, uz jedinstven - izvrstan učinak. To potvrđuje, kad postoji sustav i htijenje, da svi drugi problemi dolaze u drugi plan. Pritom valja istaknuti zasluge i osobito čestitati rektoru M. Milkoviću i njegovim suradnicima D. Bonačiću, J. Šundrici, D. Ivušić i Lj. Merčepu, koji su uvođenje sustava pokrenuli samoinicijativno, iz unutarnje potrebe - što daje iznimnu težinu i snagu primjera i pristupa.

Obnovu slijeda norma ISO 9000/2000 očekuje se s velikim zanimanjem - u nekih s dvojabama, u nekih s oduševljenjem. No, sigurno je jedno! Svijet se neće srušiti, jer je već dosadašnja primjena i implementacija ISO 9000 opravdala postojanje sustavna pristupa osiguravanju kvalitete. U obnovi tih norma, uvažavajući dosadašnje iskustvo, uistinu se prelazi u višu fazu upravljanja kvalitetom.

Prema viđenomu i objavljenom, dvojba zaista ima. kao u svakoj novoj i nedovoljno poznatoj stvari. Upravo zato da bismo pomogli u rješavanju nekih bitnih dvojba i približili VHM novi koncept obnovljene norme ISO 9000/2000, u časopisu



objavljujemo uvodni članak s pogledom na obnovu, pripremili smo jedan grub usporedni prikaz norma ISO 9001/94 i ISO/CD2 9001/2000, s određenim komentarima. Tijekom Kongresa EOQ već se moglo čuti određene pohvale, ali i bojazni, napose u svezi s interpretacijama novih zahtjeva (Očekivanje i zadovoljstvo kupca). Izražena je bojazan kako će tvrtka odveć ovisiti o interpretaciji ocjenjivača sustava itd. Sve smo to prošli i pri uvođenju prijašnjih norma. Osobno smatram kako je norma dobitak, s tim da se ne smije zaboraviti sustavnost i određenost verzije norme iz 1994. Ona je bila i bit će vrlo korisna manje educiranima i manje sređenim tvrtkama u uvođenju unutarnjeg reda i dokumentiranosti procesa. To sigurno nije plač nad prošlim, nije konzervativizam, nego snaga - u osnovi prepoznatljiva - sustavan pristup »stare norme« što je u integraciji različitih sustava (ekologija, sigurnost, zdravstvena ispravnost) omogućila jedinstven sustav mišljenja i zajedničke odrednice, kakve već danas čvrsto povezuju različite sustave. Zato ću, osobno, u projektnom pristupu upravljanju kvalitetom sigurno često posegnuti za dobrim starim ISO-om kao alatom kako bih lakše dosegnuo ono bitno.

Nastojimo u časopisu i dalje razvijati kulturu kvalitete te, koliko je god moguće, ostajemo informativni, a tako ćemo nastaviti i ubuduće - uz podršku naših čitatelja dakako.

Vidimo se u Cavtatu, a odjeke i poruke donijeti ćemo na stranicama QM-a.

KAZALO

5

NA PRAGU NOVOGA TISUĆLJEĆA

Revizija norma ISO 9000 - potreba i izazov

Željko Bunjevac

9

JE LI OBNOVA NIZA NORMA ISO 9000 BAUK?

Prosudite samil

mr. sc. Miroslav Matasović

28

ISPITIVANIE KVALITETE

Nadzor sustava kvalitete ispitnih (ovlaštenih) laboratorija

dr. sc. Želimir Jelčić

34

ISO 14001

Presudna važnost ljudskoga faktora

Antun Rehak

36

POUZDANOST PROCESA I NJEZIN UTJECAJ NA KVALITETU

Ljudi, sredstva i predmeti rada

mr. sc. Živko Kondić

40

PROJEKT PLIVA XXI

Iskorak prema novome stoljeću

Dubravka Smojver

43

KVALITETAN RAZGOVOR

O umijeću komuniciranja

Antun Rehak

HRVATSKA GOSPODARSKA KOMORA

46 Dodijeljeni novi znakovi Hrvatska kvaliteta i Izvorno hrvatsko

48 Pregledne liste obrazovnih, savjetničkih i certifikacijskih tvrtki u Republici Hrvatskoj

QM, broj 7-8, godina 2, listopad 2000.

UVODNIK

Druga je hrvatska konferencija o kvaliteti iza nas, izdanje slijeda norma ISO 9000:2000 pred nama, ušli smo u novo tisnu, pišemo i bavimo se kulturom kvalitete, a ipak - brojni naši problemi ostali su nepromijenjeni. *Kaducej* ovog broja dira staru ranu, podsjeća nas na aktualno stanje gospodarstva, pitanje menadžera što ga nismo riješili (niti se približili rješenju) a, prema svemu sudeći, neće ga ni riješiti ova generacija. Menadžment, uprava, posloводство..., uistinu ne znam kako bih i nazvao taj problem oko kojega se vrtimo, uvjeravamo sami sebe da radimo najbolje što znamo kako bismo ih pridobili za kvalitetu, potaknuli na djelovanje itd. To nam je postalo gotovo prioritarnom zadaćom. No. ruku na srce, upitajmo se je li to zaista problem ljudi

koji se »operativno« ili, ako hoćete, profesionalno bave kvalitetom? Naravno da nije - to je »njihov« problem. Pa što je onda »naš« problem? Nije li to pitanje kako djelovati u odgoju mladih ljudi, još neuključenih u gospodarske tijekove, koji će već sutra biti menadžment, uprava, posloводство. Ne smijemo propustiti ponuđenu priliku i odgovornost. Ako je netko u prošlosti propustio svoju šansu, moramo li je propustiti i mi?

Pokušajmo (možda ćemo uspjeti) obratiti se mladima ljudima, onima koji uče, onima koji dolaze.

Na ovo me je razmišljanje nedavno potaknuo student na jednomu našem fakultetu koji je, u sklopu semestralnog rada, istraživao odnos Hrvata i stranaca prema kvaliteti u Hrvatskoj (rad pod naslovom *Kvaliteta u Hrvata* objavit ćemo u jednomu od sljedećih brojeva). Ono što me zainteresiralo bila je upravo potreba mladih da nešto saznaju o kvaliteti, o znakovima kvalitete na hrvatskim proizvodima, zanimanje što su ga pokazali (ne samo odzivom) na seminaru Centra za unaprjeđivanje kvalitete HGK kad je prošireno izlaganje i razgovor bio organiziran upravo za njih. Rezultat toga susreta bio premašio je očekivanja - dobra posjećenost, osobni stav sudionika o brojnim pitanjima u vezi s upravljanjem i kvalitetom u užem i širem smislu, povezivanje kvalitete s upravljačkom funkcijom itd. Smatram da bi nam rad s mladima trebao postati obvezom.

I ubuduće se, naravno, moramo nositi s onim što smo zatekli, ali stvorimo isto-



dobno strateški plan rada za budućnost - radimo s mladim ljudima! Možda tu ima patetike, možda, ali raditi treba. Potaknimo ministarstva na uključenje obrazovanja za kvalitetu u obrazovne sustave (s Vladom i gospodarstvom nismo uspjeli). Potaknimo ih na stvaranje novoga mentaliteta, kao što se predlaže u *kaduceju*. Trebamo generaciju novog mentaliteta.

U ovom broju dotaknuli smo se tema otvaranja prema budućnosti kvalitete i njezinu odrazu na buduća zbivanja. Autori se zauzimaju za sustavnu izgradnju kvalitete, nastoje dokazati kako je to nužnost, ali upozoravaju i na iskustva i greške prošlosti, što mogu biti osnovicom za utiranje novih putova budućnosti. Pokušali smo se odmaknuti od normativnog dijela kvalitete i otvoriti nova obzorja.

Kako me to podsjeća na pjesmu P. Whitmana, u izvrsnom prepjevu T. Ujevića:

*»...nikoga ne vodim stolu za ručak, u knjižnicu, u burzu,
ali svakog muškarca i svaku ženu među vama ja vodim na brežuljak,
moja vas lijeva steže oko pasa,
moja vam desna pokazuje na krajolike kontinenata i javni drum.
Ne. ni ja ni nitko drugi ne može prevaliti taj put za vas,
vi ga morate prevaliti sami.«*

KAZALO

OSOBNI POGLED

Kako biti menadžer za kvalitetu, a ne biti menadžer

Božidar Cvitković

7

HUMANIZACIJA ODNOSA U TVRTKI

Obrazovanje za kulturu unaprjeđenja poslovanja

Ana Devčić-Jeras

II

Crtice o (ne)kvaliteti :

Ana Devčić-Jeras

13

IESMO LI SPREMNI ZA VRTOGLAVE PROMJENE?

Glas kupca iz 21. stoljeća

14

NAČELA UPRAVLJANJA KVALITETOM: TEMELJ ZA NORME ISO 9000:2000.

Prethodila je praktična primjena

Jack West,

Charles A. Cianfrani,

Joseph Tsiakals

18

A ROAD MAP FOR QUALITY BEYOND CONTROL

Addressing problems, ensuring prosperity

Thomas Pyzdek

23

ŠTO JE ZAPRAVO KVALITETA?

Put do kvalitetnih rezultata sustava

Antun Rehak

41

UČINKOVITE PROMIENE UZ NAJNIŽE TROŠKOVE

Kontinuirano poboljšavanje procesa proizvodnje

Mr. sc. Živko Kondić

46

DOBRA PROIZVOĐAČKA PRAKSA (GMP) I FUNKCIJA ENERGETIKA I ODRŽAVANJE

Izvan općih zahtjeva sve je - »zdrav razum«

Mr. sc. Doroteja Kirhmajer-Vujičić

48

»ZDRAVO« POSLOVNO PARTNERSTVO

Ocjena ugovora - element osiguranja kvalitete

Stjepan Badanjak

53

ISTINSKA SNAGA CERTIFIKACIJE (ISKUSTVO IZ SLOVENIJE)

Mjerenje utjecaja sustava kvalitete na konkurentnost poduzeća

Goran Budiselić

56

DRUGA HRVATSKA KONFERENCIJA O KVALITETI

Još jedno korisno iskustvo

Želimir Đurašević

58

»Kvaliteta - potreba i izazov«

Ivica Oslić

61

Budimo profesionalci!

*Prof. dr. Ivan Mencer**Željko Marić*

64

HRVATSKO DRUŠTVO MENADŽERA KVALITETE

Zašto nam treba certifikat?

Mr.sc.Miroslav Matasović

HRVATSKA GOSPODARSKA KOMORA

67

Pregledne liste obrazovnih, savjetničkih i certifikacijskih tvrtki u Republici Hrvatskoj.

ZAKLJUČAK

Aktivnosti i djelovanje HGK i časopisa nad kojim je imala „patronat“ bilo je u potpunosti u opsegu i funkciji HGK – pomoć gospodarstvu u sustavnom djelovanju i medijacijama kroz djelovanje prema institucijama izvršne vlasti.

Važno je uočiti da se HGK osposobila - od toga da je i sama uvela i provela certifikaciju sustava upravljanja kvalitetom i otvorila dva unutrašnja projekta kao potporu vanjskom djelovanju –da bi djelovala na „terenu“ kroz svoje Županijske komore i bila je od pomoći, posebno malim poduzećima, njihovim nastojanjima.

Vidljivi znakovi djelovanja su znakovi Hrvatska kvaliteta, Izvorno hrvatsko i Časopis QM.

Kada su došla druga vremena časopis se „ugasio“ no trag je ostao.

PRILOG I. Popis održanih tribina ISO FORUM CROATICUM 1995. – 2013.

2013.

116.;

30. siječnja;

Mogući prilaz integriranim sustavima upravljanja;

Dr. sc. Nenad Injac

2012.

115.;

19. prosinca;

Predstavljanje knjige

„Upravljanje energijama“ sustava

Slavomir Cune Miljević, Hrvatsko društvo menadžera kvalitete

114.;

07. prosinca;

Uloga, kompetentnost i konkurentnost u kontroli hrane i okoliša

Dr.sc. Adela Krivohlavek, Zavod za javno zdravstvo, dr Andrija Štampar“

113.;

25. listopada;

Stres i društvena odgovornost u svjetlu norme 26000:2010 /e/;

Dr. sc. Josip Čiček, Hrvatsko društvo menadžera kvalitete

112.;

20. rujna;

Važnost kvalitete izvedbe zgrada u svjetlu zahtjeva energijske učinkovitosti

Prof. dr. sc Nina Štirmer, Građevinski fakultet

111.;

09. svibnja;

Međulaboratorijske usporedbe u procjeni kompetentnosti i konkurentnosti laboratorija na tržištu

Zlatko Grgić, HAA

Prof. dr. sc. Š. CerjanStefanović, CROLAB

Prof.dr.sc. Neven Antunac, Agronomski fakultet

Vesna Popijač, Podravka

Krešimir Cofek, Ex-Agencija

Branka Špehar, INA.

110.;

27. travnja;

Samoprocjenjivanjem do poslovne izvrsnosti

Dr. sc. Ivica Oslić

109.;

23. ožujka;

Primjena norma u javnim nabavama;

Mirko Vuković

Andreja Mačković

HZN

108.;

23. veljače;

Fmea analiza kao moćan alat u svijetu rizika

Mr. sc. Ana Devčić-Jeras

Pliva

107.;

27. siječnja;

Okrugli stol - sustav upravljanja kvalitetom i kvaliteta sustava upravljanja

Dr. sc. Miroslav Drljača, HD MK

Mr. sc. Božidar Ljubić, HDK

Željko Bunjevac, Bureau Veritas Croatia

Damir Maleković, HAA

2010.

106.;

12. listopada;

**Društveno odgovorno poslovanje u RH i uloga HGK društvena odgovornost i norma ISO 26000
HGK**

Milivoj Jurišić,

Mr. sc. Nenad Nikolić

HZN

105.;

08. lipnja;

**Implementacija bolonjskog procesa u Republici Hrvatskoj - uloga agencije za znanost i visoko
obrazovanje**

Prof. dr. sc. Jasmina Havranek, Agencija za znanost i visoko obrazovanje

104.;

10. prosinca;

Plivati s ISO-m i ostati živ;

Olga Štajdohar Pađen, IEE

2009.

103.;

06. listopada;

Umjeravanje – ponos i predrasude ;

Siniša Prugovečki, Metroteka.

102.;

28. rujna;

Dinamika razvoja kvalitete sustava upravljanja u RH

Mr. sc. Miroslav Drljača, Zračna luka Zagreb

101.;

05. lipnja;

Izvišćivanje u funkciji upravljanja organizacijom;

Mr. sc. Paško Melvan, SINACO

100.;

09. travnja;

Svečano obilježavanje stote tribine ISO FORUM CROATICUM

Horizontalno tehničko zakonodavstvo – usklađivanje s EU

Mr. sc. Ladislava Čelar, MGRP

Najava 53. kongresa europske organizacije za kvalitetu, Dubrovnik, 12.-14. svibanj 2009

Mr. sc. Božidar Ljubić, HDK

2008.

99.;

21. studenoga;

Uloga nabave u sustavu kvalitete;

Vesna Jungić Tišljar, Pliva, HUND

Zvezdana Dumičić, Mr. sc. Ana Devčić Jeras, Pliva

98.;

17. listopada;

Promocija knjige: Kvaliteta i poslovna izvrsnost, autora dr. sc. Ivice Oslića;

Goran Tudor, M.E.P. Consult

Dr. sc. Ivica Oslić

97.;

12. rujna; Što donosi nacrt norme **iso/fdis 9000/2008?**.,

Mr. sc. Ana Devčić Jeras, predsjednica HZN/TO 176

Mr. sc. Nenad Nikolić, Tajnik HZN/TO 176

96.;

06. lipnja;

Revizija novog pristupa u usklađivanju tehničkog zakonodavstva na razini EU

Mr. sc. Dubravka Vlašić-Pleše, MVPEI, Voditeljica RS za pregovore o punopravnom članstvu RH u EU

95.;

28. ožujka;

Stalno obrazovanje kao pretpostavka stvaranja kulture i svijesti o zaštiti informacija;

Dr. sc. Nenad Injac

94.;

01. veljače;

Upravljanje promjenama ;

Dr. sc. Ivica Oslić, Ericsson Nikola Tesla

2007.

93.;

03. prosinca;

EVROS – europski registracijski sustav informacija o kvaliteti

Tihomir Babić, Centar za strateško upravljanje

92.;

13. srpnja;

Kvaliteta – nova poslovna orijentacija;

Prof. dr. sc. Tonči Lazibat, Ekonomski fakultet

91.;

28. lipnja;

Integrirano upravljanje poslovnim rezultatima u okruženju procesno orijentirane organizacije;

Damir Keller, Qualitas

90.;

20. ožujka;

Upravljanje poboljšavanjem ;

Dr. sc. Ivica Oslić, Ericsson Nikola Tesla

89.;

29. siječnja;

Sustavi upravljanja sigurnošću hrane;

Marijan Jurić, Podravka

2006.

88.;

28. studenoga;

Pregovori republike hrvatske i europske unije u području slobode kretanja roba

Mr. sc. Dubravka Vlašić Pleše, MVPEI

87.;

20. studenoga;

Uloga laboratorija u infrastrukturi kvalitete udruga hrvatski laboratoriji CROLAB;

Olga Štajdohar Pađen, IEE

Dr. sc. Dubravko Risović, Institut Ruđer Bošković

86.;

05. srpnja;

Istraživanje novih puteva transformacije;

Marijan Jurić, Kristina Jandrašić Ivanček, Podravka

85.;

29. ožujka;

Lideri i kvaliteta ;

Dr. sc. Ivica Oslić, Ericsson Nikola Tesla.

84.;

28. veljače;

Osnove i metodologija analize rizika u hrani RASFF - učinkoviti alat transparentnosti sustava kontrole hrane

Dr.sc. Boris Antunović, Vedran Poljak, Diana Herold, Hrvatska agencija za hranu

2005.

83.;

28. studenoga;

Uloga državnog zavoda za mjeriteljstvo u mjeriteljstvu RH;

Dr. sc. Marijan Andrašec, DZNM

82.;

07. studenoga;

Hrvatski zavod za norme - hrvatsko nacionalno normirno tijelo ;

Mr. sc. Snježana Zima, HZN

81.;

20. listopada;

Hrvatska akreditacijska agencija i njena uloga u pristupanju RH EU

Mr. sc. Biserka Bajzek Brezak, HAA

80.;

17. lipnja;

Metodologija 20 ključeva kao temelj programa poboljšanja konkurentnosti hrvatskog gospodarstva;

Mr. sc. Žarko Jakovljević, Deloitte & Touche.

79.;

04. svibnja;

Efikasnost gospodarstva – stanje i mogućnosti povećanja efikasnost – stanje i mogućnosti povećanja efikasnost – procesi upravljanja intelektualnim kapitalom – Iskustvo Uljanika ;

Prof. dr. sc. Ante Pulić, Zajednica za unaprjeđivanje intelektualnog kapitala

Dr. sc. Klaudio Tominović, Uljanik.

78.;

16. veljače;

Upravljanje rizicima poslovanja – Rizici u procesima i projektima;

Prof. dr. sc. Marko Bešker, OSKAR.

77.;

28. siječnja;

Razine izvrsnosti europske zaklade za upravljanje kvalitetom ;

Dr. sc. Ivica Oslić, Ericsson NikolaTesla.

2004.

76.;

29. studenoga;

Oznaka CE i tehničke zapreke trgovini;

Mr. sc. Miroslav Matasović, HGK

75.;

28. listopada;

Hrvatsko društvo za kvalitetu – Aktivnosti i planovi

Mr. sc. Božidar Ljubić, Marijan Jurić, HDK

74.;

13. srpnja;

Novi tehnički zakoni;

Mirko Vuković, DZNM

73.;

28. svibnja;

Hrvatska normizacija - kako dalje?;

Mr. sc. Snježana Zima, DZNM

72.;

07. svibnja;

Akreditacija u RH - Stanje i perspektiva

Mr. sc. Biserka Bajzek-Brezak, DZNM

71.;

26. ožujka;

Novosti zakona o mjeriteljstvu ;

Dr. sc. Antun Benčić, DZNM

70.;

06. veljače;

Tehničko zakonodavstvo

Dr. sc. Jakša Topić, DZNM

2003.

69.;

28. studenoga;

Put do EFQM razine izvrsnosti ;*Dr. sc. Ivica Oslić, Ericsson NikolaTesla.*

68.;

23. listopada;

6 SIGMA - Moda ili novost?;*Dr. sc. Nenad Injac*

67.;

01. listopada;

Anketa HGK o sustavu upravljanja kvalitetom – Rasprava o prikupljenim podacima i stavovima*Mr.sc.MiroslavMatasović, HGK*

66.;

04. lipnja;

E-održivost ;*Dubravka Bačun, Ericsson Nikola Tesla*

65.;

28. ožujka;

Zakon o zaštiti na radu i provedbeni propisi ;*Fran Marović, MIRSS- Zavod za ZNR*

64.;

21. veljače;

Zakonski propisi, potrošači i prehrambena industrija*Dr. sc. Danko Matasović*

63.;

30. siječnja;

Zaštita potrošača - svjetski standard, koji nedostaje Hrvatskoj*Prof. dr. sc.Vesna Stipčević Brčić- Ekonomski fakultet, HUZP*

;

2002.

62.;

16. prosinca;

Prezentacija rezultata ankete provedene u hrvatskim tvrtkama s cert. sustavima kvalitete*Mr. sc. Miroslav Matasović, Centar za kval. HGK*

61.;

25. listopada;

Mjerenje rezultata poslovanja ERICSSON NIKOLA TESLA i komuniciranje putem BSC modela ;

Siniša Ravlić, Ericsson Nikola Tesla

60.;

27. rujna;

Integrirani sustav upravljanja kvalitetom, zaštitom okoliša, zdravljem i sigurnošću ;

Mr. sc. Vlasta Čizmić, INA- Maziva - Zagreb

59.;

28. lipnja;

Unapređivanje poslovanja-procesni pristup;

Ernest Lehotkai, ELEKTRO-KONTAKT.

58.;

24. svibnja;

Upravljanje znanjem;

Dr. sc. Ivica Oslić, Ericsson Nikola Tesla

57.;

03. svibnja;

Pristup javnim službenim publikacijama i dokumentaciji ;

Neda Erceg, Hrvatska informacijsko-dokum.refera.agencije

56.;

22. ožujka;

Upravljanje procesom – primjer za izobrazbu djelatnika;

Marijan Pavlić, Siemens,Zagreb

55.;

24. siječnja;

Poslovno izvještavanje o okolišu

Višnja Jelić-Mück, Hrvatski poslovni savjet za održivi razvoj

2001.

54.;

05. prosinca;

Akreditacija – povjerenje u ispitivanje i certifikaciju

Mr.sc. Biserka Bajzek Brezak, DZNM

53.;

26. listopada;

Certifikat ISO 9001 - snažno sredstvo zaštite u rukama kupaca ;.

Ante Jakovčev, FREJA - M

52.;

28. rujna;

Upravljanje znanjem i dokumentima ;

Damir Keller, Qualitas-poslovni sustavi

Ivan Matejašić, Saša Bart, Spin-informatica

51.;

29. lipnja;

Kodeks HDK

Ana Devčić-Jeras, Pliva

50.;

25. svibnja;

Tehnički odbor 176 ;

Goran Kliškić, BVQI

49.;

30. ožujka;

Gospodarstvo i propisi zaštite okoliša ;

Dubravka Bačun, Ericsson Nikola Tesla

48.;

28. veljače;

Kvaliteta i novi tip menadžera ;

Goran Tudor, M.E.P. Consult

2000.

47.;

15. prosinca;

Kvaliteta u zahtjevima EU na području tehničkog zakonodavstva

Mr. sc. Miroslav Matasović, HGK

46.;

09. studenoga;

Europski tjedan kvalitete;

Ana Devčić Jeras, Dubravka Smojver, Pliva

Mr. sc. Miroslav Matasović, HGK

45.;

27. listopada;

Nekoliko nezavisnih pogleda na novu reviziju ;

Ana Devčić Jeras, Pliva

Božidar Cvitković, ABB

Željko Bunjevac, ZIK

Dr.sc. Nenad Injac, CRO-CERT

Veljko Mahmet, LRQA

44.;

29. rujna;

Novi standardi upravljanja sustavima: SA 8000 standard socijalne prihvatljivosti;

Željko *Bacinger*, - g., *BVQI*

43.;

30. lipnja;

Strategija tehničkog usklađivanja

Sklapanje Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju

Mr. sc. Dario Mihelin, MEI

42.;

02. lipnja;

Tehničko usklađivanje s Europom i svijetom u području certifikacije i akreditacije

Mr. sc. Biserka Bajzek-Brezak, DZNM

41.;

28. travnja;

Dizajn - redefinicija pojmova;

Andrea. Milovanović

40.;

31. ožujka;

Uloga dragovoljne normizacije u tehničkom usklađivanju s Europom i svijetom;

Mr. sc. Snježana Zima, DZNM

39.;

25. veljače;

ISO FORUM CROATICUM - pet godina tribine;

Mr. sc. Miroslav Matasović, HGK

Mr. sc. Biserka Bajzek-Brezak, DZNM

38.;

28. siječnja;

Ovlašćivanje laboratorija prema normi HRN EN 45001;

Olga Štajdohar Pađen, dipl. ing., IEE

Dr. sc. Želimir Jelčić, DIOKI

1999.

37.;

08. prosinca;

Šest koraka ka kvalitetnoj organizaciji – TQM u praksi;

Alon Shklarek, ASP Consulting Austria

36.;

26. studenoga;

Kontroling u sustavu kvalitete;

Prof.dr.sc Ivanka Avelini Holjevac, Hote. fakultet, Opatija

35.;

24. rujna;

Principi upravljanja kvalitetom i restrukturiranje poduzeća;

Marijan Jurić, Podravka

34.;

25. lipnja;

ISO 9000 u 2000. - kontinuitet ili novi izazov;

Željko Bunjevac, ZIK

33.;

28. svibnja;

Menadžer zvanje ili zanimanje;

Prof. dr. sc. Velimir Srića, Ekonomski fakultet

32.;

23. travnja;

Uloga menadžera u restrukturiranju poduzeća;

Miroslav Preglej, ACB

31.;

26. ožujka;

Organizacijske pretpostavke poslovne izvrsnosti;

Mr. sc. Ana Alić, INA.

30.;

26. veljače;

Upravlјati ljudima ili procesima;

Antun Toni Rehak, Polimeri

29.;

29. siječnja;

Otvoreno o kvaliteti - s povodom i razlogom – rasprava o aktualnim problemima pri uvođenju sustava kvalitete u poslovanje poduzeća;

1998.

28.;

II. prosinca;

Manager - kako lakše upravljati;

Ante Jakovčev, FREJA - M

27.;

30. listopada;

ISO 9000 i informacijski sustavi u proizvodnim i uslužnim tvrtkama

Mr. sc. Zdenko Adalsberger, Multinet

26.;

09. listopada;

Može li se u hrvatskom gospodarstvu ostvariti upravljanje kvalitetom;

Dr. sc. Josip Čiček

25.;

26. lipnja;

Ericssonov model poslovne izvrsnosti;

Dr. sc. Ivica Oslić, Ericsson Nikola Tesla.

24.;

27. svibnja;

Europski model osposobljavanja stručnjaka za kvalitetu;

Viktor Seitschek, Austrijsko udruženje za kvalitetu

23.;

24. travnja;

Otvoreno o kvaliteti - rasprava;

Želimir Đurašević, HDK

22.;

27. veljače;

Hrvatski znakovi kvalitete;

Ruđer Friganović, HGK

21.;

30. siječnja;

ISO 9000 i upravljanje sigurnošću;

Krešimir Fabijanić, Hrvatsko društvo za promicanje zaštite rad. i život. okoline

1997.

20.;

31. listopada;

ISO 9001 I HACCP - znak europske kvalitete - kako radimo;

Mr. sc. Branka Magdalenić, VINDIJA

19.;

02. listopada;

Integriranje sustava ISO 9000 I ISO 14000 kao dobitak za poduzeće -iskustva u provedbi;

Mr. sc. Đorđo Sinković, VIKTOR LENAC

18.;

27. lipnja;

Integralno upravljanje kvalitetom;

Mr. sc. Miroslav Matasović, HGK

17.;

23. svibnja;

Primjer primjene statističkog sw alata "STATISTICA" u području kontrole kvalitete;

Janez Štalec, SYSTEMCOM

16.;

25. travnja;

Troškovi kvalitete;

Želimir Đurašević, HDK

15.;

28. ožujka;

Ljudski faktor u kvaliteti;

Prof. Dušan Sterle, Time Manager International

14.;

07. ožujka;

ISO sustavi kvalitete u informatici;

Prof. dr. sc. Zdravko Krakar, ZIH

13.;

31. siječnja;

ISO 9000 i mala poduzeća;

Željko Bacinger, BVQI

1996.

12.;

13. prosinca;

Osiguravanje i upravljanje sustavom kvalitete u RH;

Mr. sc. Miroslav Matasović, HGK

Mr. sc. Biserka Bajzek Brezjak, DZNM

11.;

08. studenoga;

ISO 9000 i drugi modeli upravljanja kvalitetom;

Veljko Mehmet, ELCON

10.;

27. rujna;

Certifikacija sustava kakvoće;

Zoran Janković, LLOYD'S OF SHIPPING

9.;

13. lipnja;

Slovensko iskustvo u uspostavi sustava kakvoće prema ISO 9000 normama

Predstavnici SIQ-a - Slovenskog instituta za kakovost i meroslovje

8.;

24. svibnja;

Mjeriteljstvo u uspostavi sustava kakvoće prema ISO 9000;

Dr. sc. Antun Benčić, DZNM

7.;

09. veljače;

Projektni pristup uvođenju sustava kakvoće u tvrtke;

Dr. sc. Nenad Injac

6.;

12. siječnja;

Korištenje ISO 9000 za postizanje konkurencijskih prednosti;

Dr. sc. Charles Stiffler, Dr. sc. Vesna Lužar Stiffler, CAIR CENTAR

1995.

5.;

29. rujna;

Dokumentacija sustava osiguravanja kakvoće sukladno normama ISO 9000 ;

Novak Ražnatović, KONČAR

4.;

22. svibnja;

Kakvoća kao poslovna kategorija – kako krenuti u promjene

Ante Jakovčev, TEP-EATON

3.;

20. travnja;

CE - znak sukladnosti direktivama EU;

Dr. sc. Horst Dieter Shulze, RWTUV Essen

2.;

10. ožujka;

Odnos vlasnika i posloводства, poslovno restrukturiranje i izgradnja sustava osiguravanja kakvoće;

Mr. sc. Božidar Cvitković, ABB

1.;

01. ožujka;

EFQM - europska zaklada za upravljanje kakvoćom

Veljko Mahmet, ELCON

Očuvanje tehničke baštine

Dubravko Rogale, Martin Rogale

Restauracija špijunske radiostanice BP-5 iz II svjetskog rata

Sažetak: U Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme pohranjena je legendarna špijunska radiostanica oznake BP-5 načinjena tijekom Drugog svjetskog rata u Engleskoj. Radiostanicu je razvio ingeniozni poljski inženjer Tadeusz Heftman, počela se proizvoditi 1944. godine za pokrete otpora u Europi, a koristila se i u borbama na Pacifiku. U jednom našem elektroničkom oglasniku ponuđen je jedan primjerak na prodaju u devastiranom stanju. Autori su je otkupili i temeljito restaurirali te doveli u potpuno ispravno stanje. Radiostanica predstavlja rijedak i vrijedan artefakt hrvatske tehničke povijesti, a u članku je opisan dio njezine povijesti i detaljan postupak svih zahvata obnove.

Ključne riječi: špijunska radiostanica BP-5, hrvatska tehnička baština, restauracija

Uvod

Špijunska radiostanica BP-5 je namijenjena za rad telegrafijom i fonijom te je jedna od najpoznatijih špijunskih radiostanica iz doba Drugoga svjetskog rata. Počela se proizvoditi 1944. godine kada je uočeno da dotadašnje špijunske radiostanice imaju premalu snagu (5-8 W) za komunikaciju na veće daljine. Stoga je konstruirana radiostanica BP-5 koja je imala snagu od 50 W te je osiguravala radijske veze i na udaljenostima do nekoliko tisuća kilometara. To je rijedak i vrijedan artefakt ljudske borbe za slobodni, demokratski svijet, te uspomena na ingenioznog poljskog radijskog konstruktora, inženjera Tadeusza Heftmana koji ju je konstruirao. To je čovjek koji je morao bježati iz Poljske kad su mu zemlju napali nacisti s jedne i komunisti s druge strane i podijelili ju napola. U Velikoj Britaniji se borio konstrukcijama vrhunskih radiostanica kako bi poljskom pokretu otpora, ali i svim drugim pokretima otpora u porobljenoj Europi, omogućio komunikaciju sa slobodnim svijetom i borbu za svoju slobodu.

Heftman je svoju edukaciju završio u Njemačkoj, a prve špijunske stanice razvio je još u Poljskoj, u Varšavi (tzv. Pipsztok) u tvornici AVA gdje su Poljaci napravili i prvu kopiju Enigme još prije nego je započeo rat, a o čemu su zapadni saveznici dugo vremena šutjeli veličajući samo svoju ulogu. Kad su nacisti napali Poljsku 1939. godine AVA se prvo seli u Rumunjsku, potom u Francusku, a kad je i ona napadnuta 1940. godine, Heftman odlazi u Veliku Britaniju u Stanmore Park, sjeverozapadno od Londona. Sa sobom je ponio svoju prvu uspješnu špijunsku stanicu Pipsztok i dokumentaciju o njoj te uspješno konstruira stanice A-1 (Nelka) tijekom 1941. godine i kasnije A-2, A-3, A-4 i A-5. Te stanice primarno je koristila britanska špijunska služba SOE (engl. Special Operations Executive). One su imale ispravljač ugrađen u tijelo stanice, a kasnije Heftman napušta takvu koncepciju jer su se previše zagrijavale i gradi tzv. B seriju s ispravljačima odvojenim od kućišta stanice i drugim značajkama za špijunski rad u urbanim sredinama. Stanice B-1 i B-2 nastaju 1942., a kasnije slijede BP-3, BP-4 i BP-5, sredinom 1944. godine. Heftmanove stanice su bile kompaktnije i manje, imale su znatno veću snagu i bile su vrlo kvalitetne, a nerijetko i znatno bolje od britanskih. Tijekom Drugoga svjetskog rata (WW2) Heftmanove stanice koristila je Poljska domovinska vojska u egzilu, britanska SOE, francuski, češki, jugoslavenski, albanski i talijanski pokret otpora, OSS na Pacifiku, a poslije rata koristio ih je britanski SIS i američka CIA. na slici 1 prikazana je Heftmanova stanica BP-3 s kućištem i BP-5 bez kućišta.



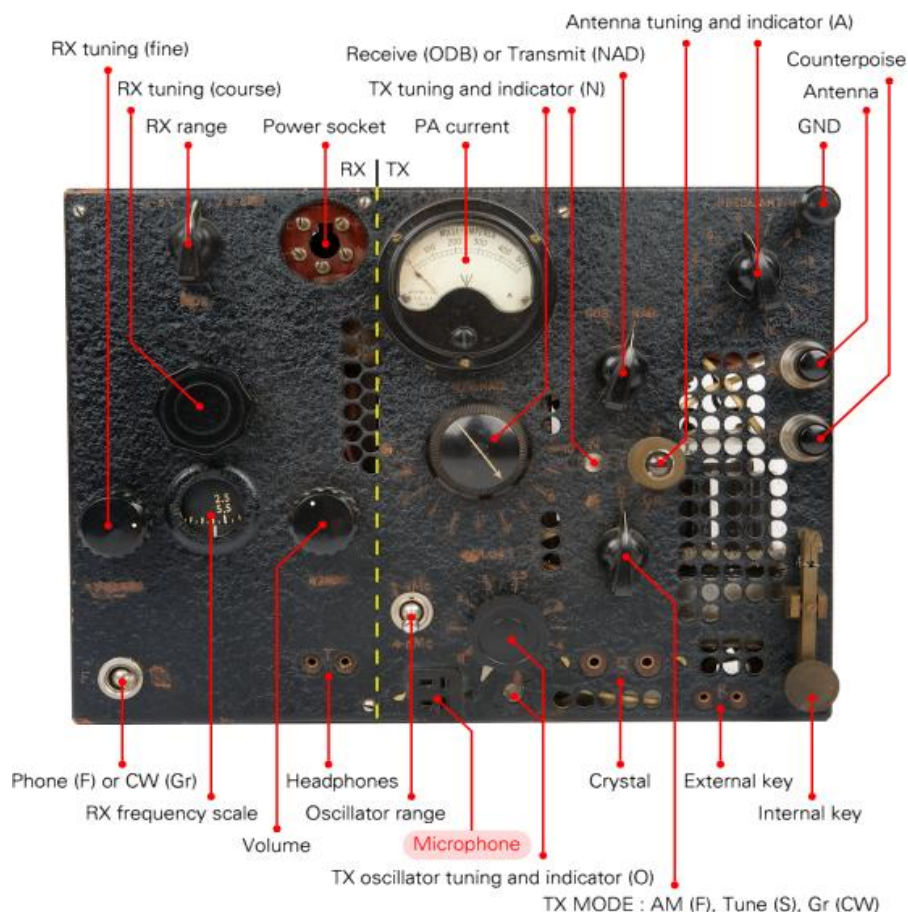
Sl. 1: Špijunske radiostanice Tadeusza Heftmana BP-3 i BP-5

Vidljivo je da je BP-5 poprimila manje izmjene na prednjoj ploči te da se u manjoj mjeri razlikuje od BP-3, međutim radiostanica BP-5 je znatno poboljšana u elektoničkom smislu te ima bolja tehnička rješenja. Najveća novina je uvođenje rada fonijom (amplitudnom modulacijom) te stoga dobiva i priključak za mikrofoni, slika 2, na kojoj su prikazani svi elementi prijemnika i odašiljača na prednjoj ploči.

Radiostanica BP-5 je vrlo rijetka. Zanimljivo je da stanica slikana za internet-

sku stranicu Cryptomuseuma [i] također, kao ni naša, nema kućište s poklopcem ni ispravljač. Vjerojatni razlog tome opisan je u tekstu. Stanica je logički podijeljena (žuta crtkana crta na slici 2.) na dio prijemnika i odašiljača.

Prijemnik ima uobičajene komande: grubo i fino podešavanje frekvencije prijemnika, preklopnik valnog područja 2-5 i 5-8 MHz, regulator glasnoće, preklopnik vrste prijema fonija/telegrafija i konektor za slušalice. Gore desno je konektor napajanja za cijeli uređaj.



Sl. 2: Prednja ploča špijunske radiostanice BP-5 (izvor: internetska stranica Cryptomuseum)

Predajnik ima preklopnik područja rada 2-4 i 4-8 MHz, gumb za podešavanje pobude oscilatora, gumb za podešavanje pobude izlaznog stupnja i preklopnik za podešavanje prilagodbe na antenu. Tu su priključci za antenu, kvarcni kristal, vanjsko tipkalo i mikrofoni te ugrađeno telegrafsko tipkalo. Postoje i preklopnici prijem/predaja te preklopnik vrste rada fonija/podešavanje/telegrafija.

Radiostanica je izvršno tehnički koncipirana tako da na vrlo malom prostoru ima sve potrebne komponente za svoj rad, a vrlo vješto su izbjegnute nepoželjne povratne sprege koje bi unosile nestabilnosti u rad uređaja.

Na slici 2 prikazana je prednja ploča špijunske radiostanice BP-5, a za ispravljačke uređaje nema dostupnih podataka. Postoji velika vjerojatnost da se stanica priključivala na mnoštvo drugih izvora prema specifičnoj potrebi.

2. Crtnice o nabavi BP-5

Na internetskom oglasniku Njuškalo je 22. 12. 2020. u 15:16 objavljen oglas pod naslovom **RADIJO STANICA COLLINS 51S1**. Kako svakodnevno redovito pratimo Njuškalo, obično navečer kad se posvršavaju dnevne dužnosti, išli smo detaljnije pogledati o kakvom se uređaju radi i kakva mu je cijena, bez obzira na činjenicu da u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme [2, 3] imamo dva takva ispravna prijemnika (nije dakle „radio“ stanica). Oglašena je cijena 2 100 kn (278 €) koja je korektna ako se radi o potpuno ispravnom, cjelovitom i jako dobro očuvanom uređaju, pa su nas zanimali detalji. Uz oglas je bilo priloženo i sedam fotografija. Na prve četiri bile su uistinu fotografije cijevnog radio prijemnika Collins 51S1, ali na posljednje tri su bile fotografije nama nepoznatog uređaja izloženog na cilindrima traktorskog motora koji zasigurno nije Collins prijemnik niti je dio opreme za njega. Telegrafsko tipkalo u donjem desnom kutu upućivalo je da se radi o odašiljaču, a sudeći po instrumentu i dizajnu gumba radilo se o starijem uređaju, slika 3a.

Pogled straga otkrio je da se radi o starijem uređaju sa staklenim i čeličnim elektronskim cijevima, slike 3. b i c. Po oznakama na kondenzatorima otkriva se da je uređaj iz ranih četrdesetih godina prošlog stoljeća, odnosno najvjerojatnije iz Drugog svjetskog rata (WW2). Budući da nas je uređaj po nekim elementima dizajna podsjećao na britansku špijunsku radiostanicu AP-5 (koju od ranije imamo u kolekciji) otišli smo na internetsku stranicu Cryptomuseum i tamo smo našli da se u stvari radi o legendarnoj britanskoj špijunskoj stanici BP-5 iz Drugoga svjetskog rata.

Sljedeće jutro nazvali smo prodavača i pitali ga je li se mogu uređaji kupiti odvojeno ili ide sve u paketu. Budući da je bilo moguće kupiti uređaj odvojeno od prijemnika Collins, odmah smo krenuli u Jastrebarsko. Prodavač je bio gospodin srednjih

godina koji ima servis za popravak traktora te se ne razumije u uređaje koje prodaje. Na pitanje otkud mu onda ti uređaji odgovorio je da ih je dobio pod cijenu jednog popravka traktora na Žumberku kad vlasnik traktora nije imao dosta novaca da plati popravak pa je ponudio ta dva uređaja za zamjenu.

Na prvi pogled vidjelo se da je telegrafsko tipkalo neispravno jer je glavna poluga olabavljena te da nedostaje opruga i dijelovi za regulaciju sile opruge koja vraća glavnu polugu u početni položaj pri tipkanju telegrafije, slika 4.



a.



b.



c.

Sl. 3: Slike radio uređaja objavljene na Njuškalu, prednja ploča uređaja (a), stražnja strana uređaja (b) te emisijska i pobudna elektronika (c)



Sl. 4. Prednja ploča BP-5 nakon kupnje i prvog detaljnog čišćenja

U središnjem dijelu uređaja nedostajao je preklopnik područja za niže i više frekvencije (tzv. kip-šalter za frekventno područje od 2-4 MHz i 4-8 MHz), nekome je vjerojatno trebao za traktor ili Fiću pa ga je skinuo prerezavši ili istrjavši žice koje su bile spojene na njega. Uređaj je bio bez kutije, poklopca, ispravljača, slušalice i kabla koji povezuje ispravljač s uređajem. S obzirom na evidentno loše stanje neispravnosti i necjelovitosti, moguće je bilo za pretpostaviti (što se na žalost kasnije pokazalo više nego točnim) da uređaj ima u sebi i još pokoji dodatni kvar. Tako smo u korektnom i srdačnom razgovoru zaključili da bi cijena uređaja u viđenom stanju bila oko 200 kuna. Kao kupci bili smo vrlo zadovoljni jer smo kupovinu smatrali povoljnom s obzirom da se radi o razmjerno rijetkom uređaju, iako je u Drugom svjetskom ratu proizveden u nekoliko tisuća komada. Tada nismo znali da je uređaj znatno devastiran nestručnim intervencijama neukog radiotehničara čija znanja je složenost stanice BP-5 znatno premašivala. Čekala nas je višemjesečna rekonstrukcija i popravak niza teških kvarova u unutrašnjosti uređaja. Da zlo bude veće, na internetskim stranicama postoji shema za radio uređaj BP-3, a za BP-5 ne postoji. Iako ima dosta sličnosti, ima i značajnih razlika u shemama jer je BP-5 modernizirana i jako poboljšana verzija svog prethodnika. To je znatno otežalo i produžilo višemjesečni postupak popravka.

3. Popravak i restauracija BP-5

Postupci popravljjanja i restauracije BP-5 potrajali su više od osam mjeseci te su se sastojali od popravljjanja i izrade mehaničkih komponenti te elektroničkih komponenti i sklopova.

3.1. Popravak telegrafskog tipkala

Na slici 5a. vidljiv je izgled telegrafskog tipkala kad je popravak počeo.



a.



b.



c.

Sl. 5. Popravak telegrafskog tipkala, devastirano telegrafsko tipkalo (a), odabir mesinganog vijka za popravak (b) te stanjivanje šipkice (c)

Kako se često u životu događa neobjašnjiva sinkronost, tako smo dobrotom gospodina Kreše Jesteršabeka, desetak dana prije dolaska BP-5, dobili sitne mehaničke dijelove (vijke, matice, podložne pločice, odstojnike i dr.) pa tako i mjedene šipkice s navojem, slika 5b. Kako i priliči dobrom slučaju, promjer šipkica bio je identičan promjeru rupice na glavnoj poluzi tipkala, slika 5a. Preciznom turpijicom stanjili smo šipkicu pričvršćenu u škripac, slika 5c, na debljinu tankog listića.

Navoj na šipkici je već bio narezan Withworthovim finim navojem, tako da se okretanjem matice može vrlo precizno namještati sila pritiska telegrafskog tipkala. Naravno, na šipkici je bila i odgovarajuća mesingana matica, slika 6a. Odmah iza navoja na početku listića izbušena je modelarskom bušilicom rupica promjera 1,5 mm, slika 6a., za pričvršćenje potezne opruge koja vraća glavnu polugu tipkala u početni položaj. Potom je listić odrezan neposredno iza izbušene rupice i dobiven je element koji je nedostajao, slika 6b. Valjalo je sve fino obraditi brusnim papirom.



a.



b.



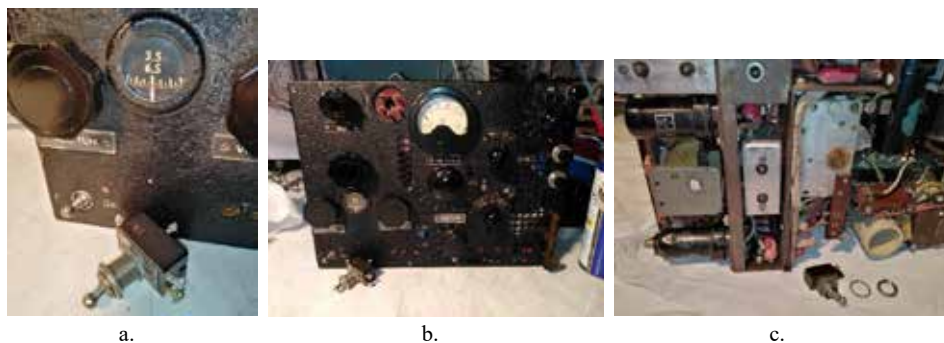
c.

Sl. 6. Izrada elementa za podešavanje sile pritiska telegrafskog tipkala, stanjeni dio šipkice s rupicom za oprugu (a), gotov element (b) i kompletirano tipkalo (c)

Nakon toga uslijedila je montaža izrađenog dijela na glavnu polugu. Prije toga, u našoj skromnoj zbirci spiralnih opruga, pronađena je opružica koja je svojom veličinom i zateznom silom prilično točno odgovarala opruzi koja je nedostajala. Izrađeni element postavljen je na svoje mjesto, a ispod prednje ploče uređaja postavljena je zatezna opruga i tipkalo je proradilo. Šesterokutnom maticom podešena je napetost opruge tipkala, a vijkom na kraju polužice podešen je razmak između kontakata tipkala. Patina na glavnoj poluzi, izrađenom elementu i šesterokutnoj matici je bila istog intenziteta tako da se ničim ne može opaziti da nedostajući dio nije dio originalne izvedbe tipkala, slika 6c.

3.2. Montaža novog preklopnika za niže i više frekvencijsko područje

Odmah pri prvom razgledavanju stanice BP-5 još pri prodavatelju zamijećeno je da je netko skinuo (otrgnuo) preklopnik (kip-šalter) za niže frekventno područje od 2-4 MHz i za više područje od 4-8 MHz. U zbirci starih dijelova doniranoj od mnogih dobrih ljudi (opet Krešo Jesteršabek) pronađen je tijekom novogodišnjih blagdana na prijelazu u 2021. godinu, originalni kip-šalter s kuglicom na vrhu polužice, slika 7a.



a.

b.

c.

Sl. 7. Pronalazak odgovarajućeg kip-šaltera i pokušaj montaže

Estetski oblik i godina proizvodnje očito je odgovarala novom kip-šalteru, a i promjer vrata prekidača je odgovarao promjeru rupe na prednjoj ploči uređaja, slika 7b. Međutim, kad se 3. I. 2021. prišlo stanici sa stražnje strane, uvidjelo se da montaža neće ići lako zbog nedostatka mjesta. Naime, špijunske stanice su građene tako da zauzimaju što manji volumen kako bi im dimenzije i masa bile što manje. Stoga su ugradbene komponente studiozno umetane u sićušan prostor kako bi se iskoristio svaki djelić unutrašnjosti, pa popravci, zbog otežanog pristupa komponentama, predstavljaju pravu muku. Dosta vremena se posvetilo proučavanju unutrašnjosti stanice kako bi se pronašlo rješenje za ugradnju pri čemu se otkrio novi niz problema, osobito oko konektora za napajanje i antene prijemnika.

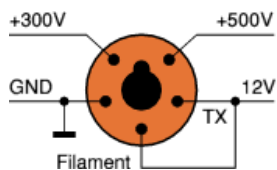


Sl. 8. Traženje pogodnog prilaznog mjesta za montažu prekidača

Na početku je izgledalo da će najbolje biti skinuti mjerni instrument pa onda kroz nastali prostor doći do mjesta prekidača, ali okoliš nije djelovao ohrabrujuće, slika 8a. Bliži pogled, slika 8b, otkriva da je to praktički nemoguće jer bi trebalo odlemiti jako puno elemenata što bi zbog njihove starosti predstavljalo riskantan poduhvat. Zato se krenulo s donje strane i onda se otkrilo da i na konektoru napajanja nedostaju neki vodovi što je bio tek početak lavine novih problema koji su nas čekali.

3.3. Uočavanje novih problema i spajanje konektora napajanja

Kako je spomenuto, tijekom traženja pogodnog pristupa za montažu nedostajućeg kip-šaltera za promjenu frekventnog područja detaljno je prostudirana unutrašnjost stanice BP-5 pri čemu je zamijećen nedostatak nekih žica za napajanje uređaja sa konektora napajanja. Uvidom u dio objavljene dokumentacije na stranici <https://www.cryptomuseum.com/spy/bp5/index.htm> je vidljivo da se na konektor priključuju naponi žarenja elektronike od 12,6 V, napon napajanja prijemnika od 300 V i predajnika od 500 V, slika 9a. Naponi žarenja su razdvojeni tako da nema potrebe trošiti energiju na žarenje cijevi predajnika dok nema potrebe za predajom, već radi samo prijemnik, ali u slučaju napajanja iz mreže mogu se dva pina kratko spojiti pa su cijevi prijemnika i predajnika stalno spremne za rad. Na slici 9b vidljivo je da žice na lijevoj strani konektora (sredina slike, gore) uopće nisu spojene. To se dobro vidi na slici 9c.



a.



b.



c.

Sl. 9. Konektor napajanja stanice BP-5

Zaključak je bio da je netko ranije razdvojio prijemnik od predajnika radi nekog popravka, odlemio žice žarenja cijevi i anodnog napona predajnika, ali ih kasnije više nije vratio. Nikakve žice nisu virile u unutrašnjosti pa je trebalo otkriti kamo idu žice napajanja predajnika, izraditi nove i zalemiti ih. Žice napajanja prijemnika nisu razlemljene i ostale su na desnoj strani konektora, slika 10a.

U analizi spajanja žica pomogli su podaci o dvostrukoj izlaznoj tetrodi 829 i pobudnoj pentodi 6V6 te analiza strujnih krugova predajnika nakon čega su pripremljene i zalemljene nove žice. Potom je pronađen privremeni konektor od podnožja starog releja na kojeg su spojene žice, slika 10b, pa se moglo priključiti napon napajanja. Autotransformatorom je polagano podizan napon i praćena struja žarenja pa se ubrzo vidio sjaj žarenja kroz staklo izlazne cijevi, slika 10c. Nakon toga je i kućište pentode 6V6 postalo toplo što je bio dobar znak da su cijevi predajnika ispravne. Nakon toga spojeno je žarenje četiri elektronske cijevi u prijemniku i na sličan način, po temperaturi kućišta čeličnih elektronki, zaključeno je da su i one najvjerojatnije ispravne. Naposljetku priključen je i napon od 300 V iz vanjskog izvora na prijemnik, ali on je ostao nijem. Nikakvog, pa ni najmanjeg, šuma nije bilo iz slušalica. Potom se priključio napon od 500 V na predajnik i spojena mu je umjetna antena. Pritiskom na tipkalo ništa se nije dogodilo. To je bilo prilično obeshrabrujuće i ukazivalo je na ozbiljniji kvar. Kako se kasnije pokazalo nije se radilo samo o jednom kvaru nego o nizu teških kvarova. K tome je još pronađena žica i antene prijemnika koja nigdje nije bila spojena nego samo ugurana u kućište.



a.



b.



c.

Sl. 10. Spajanje konektora napajanja stanice BP-5

Valjalo je barem pokušati pronaći ozbiljniju dokumentaciju te pomoću nje nastaviti naporan i neizvjestan rad na iznalaženju narednih kvarova.

3.4. Izrada utikača za slušalice prijemnika

Za vrijeme ispitivanja prijemnika privremeno su ugurane gole žice slušalica u buksne prijemnika kako bi se pokušalo utvrditi da li je prijemnik ispravan. S obzirom na ozbiljnost kvarova pristupilo se tokarenju novih utikača za slušalice, slike 11a i 11b.



a.



b.



c.

Sl.11. Istokareni utikači za slušalice i montaža na priključni kabel

Čekali su se malo topliji dani pa se u vrlo toplo rano proljeće pristupilo tokarenju utikača u Gorskom kotaru. Tu imamo dobro opremljenu mehaničku radionicu s malim tokarskim strojem. Prvi autor (otac) je istokario prva dva utikača, a drugi autor (mlađi sin) druga dva. Jedan par utikača poslužio je za slušalice stanice AP-5, slika 11c. (donacija Kreše Jesteršabeka), a drugi za stanicu BP-5 za također originalne engleske nisko omske slušalice s platnenim naglavnikom.

3.5. Demontaža, studija i opis prijemnika

Bilo je očito da se popravljajući kvarova neće moći pristupiti bez odvajanja prijemnika od predajnika stanice BP-5. Zbog toga su odvojeni svi gumbi na prednjoj ploči prijemnika i otpušteni svi vijci koji su držali prijemnik na zajedničkoj šasiji s predajnikom, slika 12a.



a.



b.

Sl. 12. Odvajanje prijemnika od zajedničke šasije s predajnikom

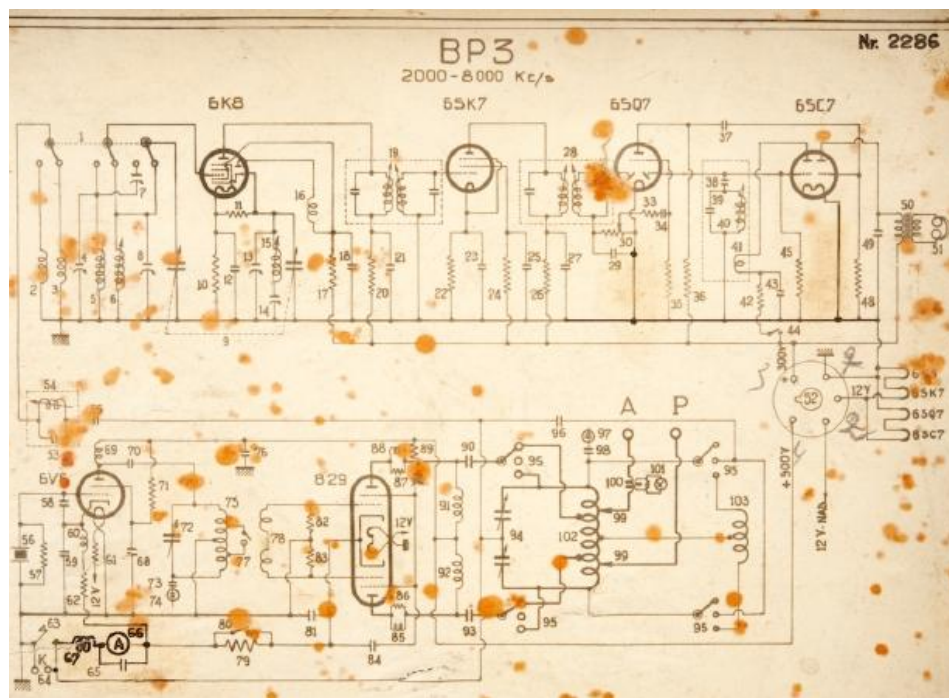
Odvajanje je bilo izuzetno jednostavno, jer prijemnik nije bio nijednom žicom vezan za predajnik, a žice koje su išle s prijemnika u predajnik nisu postojale. Na slici 12b prikazan je prijemnik okrenut prema gore, onako kako se pričvršćuje na zajedničku šasiju. Gore u sredini je preklopnik valnog područja prijemnika 2 do 5 i od 5 do 8 MHz, a desno od njega je konektor napajanja. Veliki crni krug je skala prijemnika koja se vidi kroz okrugli prozorčić na prednjoj strani uređaja, a građirana također u dva područja: 2-5 MHz i 5 do 8 MHz. Lijevo dolje uz skalu je mehanizam za fino pokretanje skale, a desno je osovina potencijometra za glasnoću. Dolje desno je prekidač (još jedan kip-šalter s kuglastom polužicom) za prebacivanje prijemnika u način za slušanje telegrafije ili amplitudno modulirane fonije. Prijemnik je uistinu ingeniozno konstruiran tako da zauzima vrlo malo prostora. To je četverocijevni superheterodinski prijemnik temeljen na čeličnim elektronskim cijevima razvijenim neposredno prije Drugog svjetskog rata. Fotografija prijemnika prikazana je na slici 13. Prva čelična elektronska cijev skroz lijevo na šasiji, s oznakom RCA, je 6K8, tri-

oda heksoda, razvijena u USA 1935. godine. Ona služi kao miješalo ulaznog signala i kao lokalni oscilator koji zajedno daju međufrekkvenciju od 1530 kHz. Iza nje (u narančastoj i sivoj boji) nalaze se trimeri za podešavanje antenskih ulaznih titrajnih krugova i lokalnog oscilatora. Do cijevi 6K8 nalazi se zračni promjenjivi kondenzator za namještanje prijemne frekvencije, a ispod šasijske vodoravno polegnut prvi međufrekventni oscilator u aluminijskom kućištu s dva otvora za podešavanje rezonantne frekvencije.

Iza zračnog kondenzatora je crna čelična pentoda 6SK7 s gornjom površinom obojenom u azurno plavu boju, poznata kao dvije od tri cijevi koje sačinjavaju legendarnu britansku špijunsku stanicu Paraset Whaddon Mark VII. I pentoda 6SK7 je razvijena u USA 1935. godine. U BP-5 služi kao prvo međufrekventno pojačalo. Iza nje u nizu nalaze se titrajni krugovi prvog međufrekventnog pojačala smješteni u okomito aluminijsko kućište s dva otvora za podešavanje.



Sl. 13. Prijemnik špijunske radiostanice BP-5 iz Drugog svjetskog rata



Sl. 14. Shema radiostanice BP-3 koja je slična shemi BP-5 ali i sa značajnim razlikama u odašiljaču

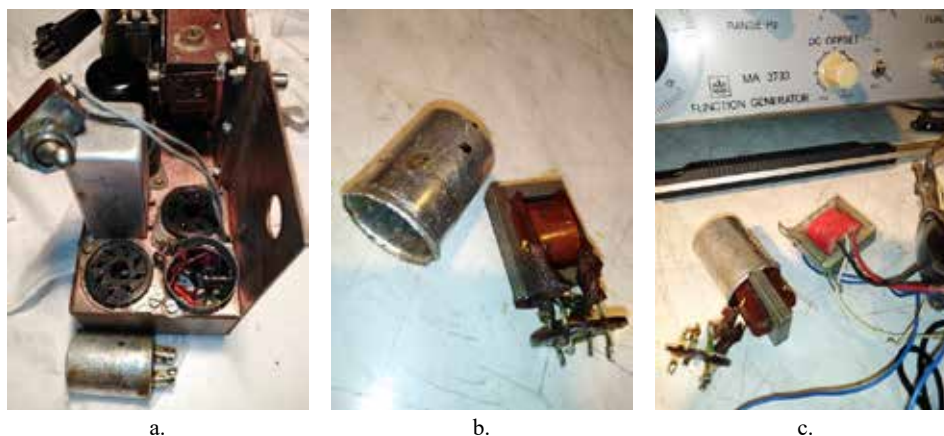
Zadnja u nizu je čelična elektronka s tirkizno obojenom gornjom površinom. To je cijev 6SQ7 u čije kućište je integrirana dvostruka dioda i trioda, a konstruirana je 1939. godine. U ovom prijemniku jedna dioda služi kao demodulator, druga kao miješalo s drugim oscilatorom za izbijanje telegrafije (BFO), a trioda kao niskofrekventno pretpojačalo. To je lijepo vidljivo na gdje je prikazana shema stanice BP-3 koja je slična stanju stvari u BP-5, ali s nekim razlikama prema zamislima poljskog radio inženjera Tadeusza Heftmana. Izmijenjeni su i poboljšani antenski i ulazni titrajni krugovi uz cijev 6K8 i izlazni titrajni krugovi uz dvostruku tetrodu 829, načini upravljanja stanicom, prednja ploča stanice i druga poboljšanja (dodatak mikrofona i modulatora za rad fonijom uz primjenu amplitudne modulacije). Tako je i ta nepotpuna shema značajno pripomogla u iznalaženju i otklanjanju brojnih kvarova na BP-5.

Četvrta cijev prijemnika, 6SC7 je dvostruka trioda, slika 13, iz 1938. godine. Na slici 13. vidi se dijelom zaklonjena odmah iza kućišta drugog međufrekvencijskog transformatora, s crnom površinom na svom vrhu. Prvi triodni sustav služi kao oscilator za izbijanje telegrafije (BFO), a drugi kao niskofrekvencijsko pojačalo za slušali-

ce. Desno od nje je prekidač za uključenje anodnog napona za BFO oscilator (smeđe kućište s zalemljenim dvojim sivim žicama). Ispod prekidača, a zakriven elektronkom 6SQ7 (tirkizna boja) vidi se okruglo aluminijsko kućište u kojem je smješten izlazni transformator niskofrekvencijskog pojačala za slušalice.

3.6. Popravak izlaznog transformatora niskofrekvencijskog pojačala za slušalice

Naš stil popravljanja radijskih prijemnika je od izlaza prema ulazu. Kod kupljene radiostanice BP-5, nakon priključka napona žarenja i anodnog napajanja, nije bilo tona u slušalicama. Mjerenjem napona na anodi elektronke 6SC7 utvrđeno je da ga nema, a prema slici 14. dolazi izravno s napajanja kroz primar izlaznog transformatora. Stoga se pristupilo demontaži izlaznog transformatora, slika 15a.



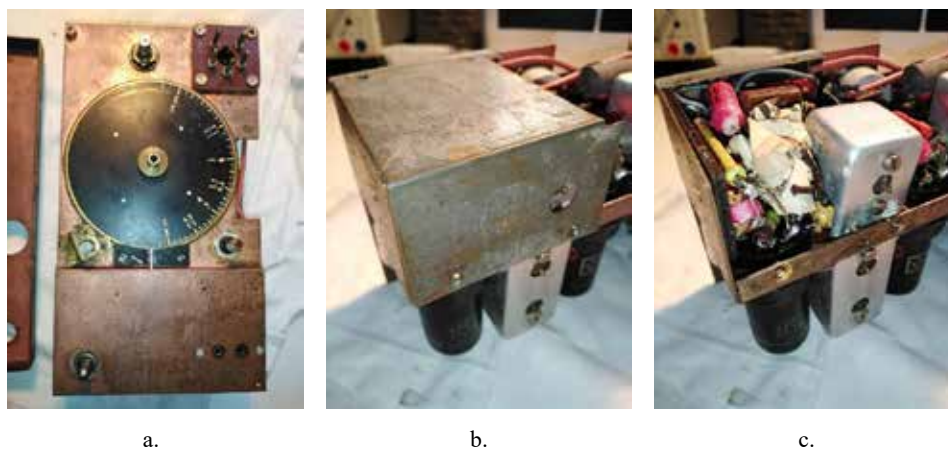
Sl. 15. Demontaža i popravak izlaznog niskofrekvencijskog transformatora

Transformator se mogao izvaditi nakon uklanjanja elektronke 6SQ7 i 6SC7 i prekidača za uključivanje BFO oscilatora te otpuštanjem obujmice, slika 15a. Om metrom je utvrđeno da uistinu postoji prekid na primaru transformatora, a sekundar je bio ispravan. Postojala je mogućnost da je do prekida došlo između namotaja primara i priključne stezaljke pa se pristupilo otvaranju aluminijskog kućišta. Nakon skidanja poklopca s priključcima utvrđeno je da je transformator zaliven voskom kako bi se zaštili namotaji transformatora od štetnog utjecaja vode do kojeg može doći u uvjetima terenskog rada. Plamenikom je zagrijavano valjkasto kućište dok vosak nije iscurio te se transformator mogao izvući, slika 15b. Utvrđeno je da je na žalost do prekida došlo u primaru, a nerazjašnjeno je da li je to nastalo zbog starosti uređaja ili nestručnih postupaka pri ranijem popravljaju kad kratki spoj na anodi može biti uzrok prekidu tan-

ke žice primara. Uskoro je među starim dijelovima nađen sličan izlazni transformator koji je ugrađen pa se pojavio prvi šum u slušalicama što je bilo znakom da je barem drugi triodni dio elektronke 6SC7 proradio i da niskofrekvencijsko pojačalo sad radi.

3.7. Popravak prekidača za odabir CW/AM vrste rada prijemnika

Nakon pojave šuma u slušalicama pojavila se nada da će prijemnik proraditi ali to je bio tek prvi kvar u dugom nizu. Osciloskopom je utvrđeno da nema oscilacija na anodi i rešetki prvog triodnog sustava elektronke 6SC7, ali ni anodnog napona pa je pregledan prekidač vrste rada telegrafija (CW) / amplitudna modulacija (AM), smješten u kutu desno dolje, slika 16a.



Sl. 16. Popravak preklopnika vrste rada prijemnika i daljnje rastavljanje

Utvrđeno je da je prekidač (kip-šalter) u prekidu i da ne propušta anodni napon za ispravan rad oscilatora za izbijanje telegrafije. Srećom, opet je u zbirci starih dijelova pronađen još jedan stari prekidač s kuglastim završetkom polužice i ugrađen u prijemnik. Napon na anodi se sada pojavio, ali BFO nije proradio. Valjalo je skinuti poklopac ispod prijemnika, slika 16b, koji sprječava širenje smetnji od rada oscilatora i potražiti kvar, odnosno uzrok.

Skidanjem poklopca BFO oscilatora pronađen je zagonetni paketić umotan u novinski papir.

3.8. Popravak BFO oscilatora za izbijanje telegrafije

Promjenom prekidača za vrstu rada prijemnika dobiven je anodni napon triode oscilatora za izbijanje telegrafije, ali oscilacije se nisu pojavile niti je prijemnik proradio. Skinut je poklopac Faradayevog kaveza oscilatora i između aluminijskog kućišta

pronađen je mali paketić pritisnut odrezanim žicama, slika 17a.

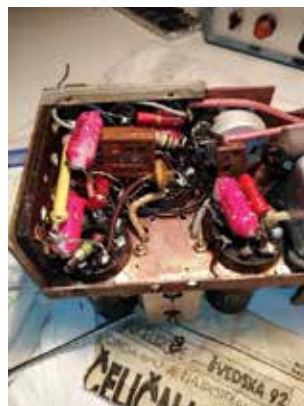
Hvala „majstoru“ koji je „popravljao“ stanicu da je bar te vijke vratio jer su sa finim Whitworth navojem i izrađeni od mesinga, a takve bi teško našli. Izgleda da je „majstor“ na toj točki odustao od daljnjih napora, sve fino spakirao ispod poklopca i vratio sve natrag tako da se izvana ništa nije vidjelo. No, iza sebe je ostavio pet razlemljenih žica za koje se nije znalo kamo vode i čemu služe te razlemljenu i devastiranu unutrašnjost titrajnog kruga.



a.



b.



c.

Sl. 17. Pronalazak umotanog paketića u prostoru BFO oscilatora

Odmatanjem paketića pronađena su dva mesingana vijka koja su držala kućište titrajnog kruga BFO-a. Paketić je umotan u novine Slobodna Dalmacija od 23. lipnja 1992., slika 17b. Kućište se vrlo lako moglo odvojiti jer ga vijci nisu držali, slika 17c.

Na kućištu oklopa titrajnog kruga je olovkom napisao „ne valja“, slika 18.a. Vjerojatno nije shvatio da mu je bio neispravan prekidač za vrstu rada CW/AM koji nije dovodio napon na oscilator nego je nepotrebno prionuo rastavljanju sklopa. Pri tome je ostavio četiri nespojene i neizolirane žice s lijeve strane oklopa, slika 18.b., a petu s desne strane oklopa, slika 18.c. Dobro je da te ostavljene i skrivene neizolirane žice nisu napravile kratki spoj i još veću štetu u stanici kad se priključila na napon.

Nije preostalo drugo nego da se pet nespojenih žica, slika 19a, studijskim razmatranjem različitih vrsta BFO-a i nepotpune sheme za BP-3 pokuša smisljeno spojiti pri čemu je nastala skica sa slike 19b i potom su zalemljeni titrajni krugovi u aluminijskom kućištu. Da se zaštite krhke žice titrajnog kruga od prekida, priključne krute žice učvršćene su plastičnim obujmicama, slika 19c.



a.



b.

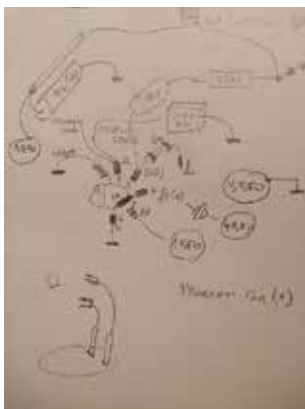


c.

Sl. 18. Devastirano kućište i okoliš oko titrajnog kruga BFO oscilatora



a.



b.



c.

Sl. 19. Snimanje sheme spoja i saniran titrajni krug

Nakon toga montirano je kućište titrajnog kruga natrag u uređaj i titrajni krug je spojen prema skici na slici 19b. Priključenjem prijemnika na napon žarenja i na anodni napon na osciloskopu su primijećene oscilacije pa se digitalnim frekventometrom podesila frekvencija u blizini vrijednosti međufrekvencije. Još jedan sklop je bio popravljen, međutim prijemnik još uvijek nije proradio, šum u slušalicama se malo pojačao ali i dalje nije bilo prijema. Valjalo je nastaviti s traženjem narednih kvarova.

3.9. Popravak otpornika za napajanje rešetki heksodne mješalice

Nakon što je BFO oscilator proradio, krenuli smo tražiti kvar dalje prema antenskom ulazu. Provjerom napona na pentodi 6SK7 ustanovljeno je da su svi naponi prisutni i njihova vrijednost je bila u očekivanim granicama. Priključkom signal generatora na prvu rešetku pentode iz slušalice na frekvenciji 1530 kHz u slušalicama se začuo jasan ton i pri CW i pri AM načinu rada što je značilo da međufrekventno pojačalo ispravno radi. Mjerenja su pomaknuta na 6K8 triodu/heksodu i ustanovljeno je da anodnog napona ima, ali nema napona na rešetkama heksode. Ubrzo je nađen prekid na otporniku R17 od 15 k Ω koji dovodi napon na rešetke, slika 20a, najvjerojatnije od starosti jer nije mogao biti preopterećen.



a.



b.



c.

Sl. 20. Uklanjanje kvara na dovođenju napona na rešetke heksode 6K8

Na sreću, fizičko mjesto otpornika je brzo locirano i nalazilo se na lako pristupačnom mjestu na vrhu od nekoliko slojeva komponenti, slika 20a, pa je brzo i bez muke izvađen, slika 20b.

Otpornik je očito bio prevelik za male snage potrebne za upravljanje rešetkama heksode (u Velikoj Britaniji u ratnim uvjetima nije se moglo puno birati) pa je ubrzo zamijenjen manjim otpornikom od 15 k Ω snage 2 W, slika 20c. I to je otpornik iz donacije Kreše Jesteršabeka te i ovom prigodom valja zahvaliti takvim dobrim ljudima na donacijama jer se komponente veće snage i viših napona teško mogu naći u malo-prodaji, a nužno su potrebne za popravak starih uređaja. Nakon zamjene tog otpornika svi radni naponi na heksodi su postali normalni i prijemnik je napokon proradio. Hvatanjem neizoliranog dijela žice antene prijemnika prstom, u slušalicama su se mogle čuti jače kratkovalne stanice, ali ostala je enigma vrijednosti veznog kondenzatora i mjesta priključka odspojene žice antene prijemnika u predajniku.

3.10. Ugradnja antenskog kondenzatora i povezivanje s preklopnikom predajnika

Antenski kondenzator nije bilo teško izabrati, pronađen je u zalihi izvrsnih stirofleksnih kondenzatora i imao je vrijednost 1 nF. Priključkom antene prije i poslije kondenzatora snaga prijema se nije mijenjala pa se daljnji eksperimenti nisu trebali izvoditi. Preostalo je pitanje priključka antene u predajniku na čijoj šasiji su se nalazili priključci za vanjsku antenu.

Pri tome valja naglasiti da posjedovanje sheme uređaja BP-3 u ovom slučaju nije moglo uopće biti korisno jer je Tadeusz Heftman sistem prebacivanja prijem/predaja i upravljanje naponima napajanja u uređaju BP-5 sasvim drugačije riješio. Ovaj problem je vrlo značajan, jer pogreška u spajanju antenskog ulaza prijemnika može potpuno uništiti prijemnik ako predajni signal neobično velike snage od 50 W uđe u prijemnik. To bi značilo kraj za svaki daljnji napor osposobljavanja ovog uređaja, a dosad uloženi trud ništavnim.

Stoga se pristupilo izučavanju drugih tehničkih rješenja kod radio stanica s ručnim prebacivanjem režima prijem/predaja uz istodobno prebacivanje napona napajanja. Problem je predstavljala mogućnost rada radiostanice BP-5 na dipol sa simetrično napajanim antenskim vodom i sa nesimetričnim napajanjem antena tipa long wire i tzv. protutegom. Veliki keramički preklopnik kojim se stanica prebacivala s prijema na predaju i obratno je teško dostupan jer je zatrpan drugim dijelovima pa je bilo teško snimiti shemu spoja i rada. Srećom, u staroj literaturi iz 1950-tih godina bivše JNA pronađena su neka prihvatljiva rješenja i u kombinaciji s dosad stečenim znanjima oba autora donesena je odluka o mjestu priključka antene prijemnika. Pažljivim razmicanjem elemenata načinjen je uski prolaz za vrh lemila kojim je napokon zalemljen i taj misteriozan antenski priključak prijemnika.

Kasnijim popravkom kvarova koji su detektirani u predajniku i kad je cijela radio stanica BP-5 dovedena u ispravno stanje, te je proradila po svim svojim radnim parametrima i kapacitetom, utvrđeno je da je antenski priključak prijemnika ispravno odabran.

3.11. Ugradnja VF prigušnice u kvarcni oscilator

Nakon što je proradio prijemnik radiostanice prišlo se je popravljaju predajnika. On je već bio priključen na napon žarenja od 12,6 V i anodni napon od 500 V, ali nije dao nikakve naznake ispravnosti. Popravak i u ovom slučaju ide od kvarcnog oscilatora do izlaznog stupnja, od početka prema kraju, odnosno sada obratno nego kao kod prijemnika.

Vanjski pregled nije upućivao na nikakve znakove kvarova, sve je izgledalo ispravno, slika 21. Lijevo u sredini vidljiva je staklena dvostruka tetroda 829, proizve-

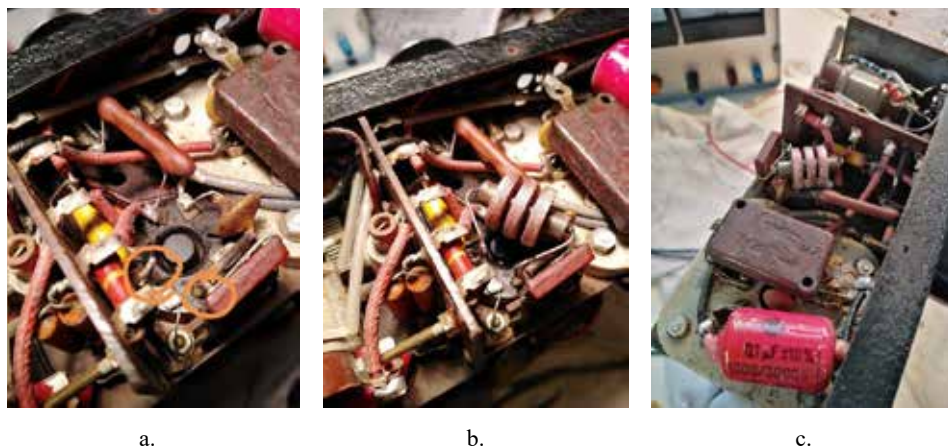
dena 1943. godine, koja bez većih problema može izračiti respektabilnih 50 W izlazne snage. Odmah desno od nje je poznata pentoda 6V6 (koja je emisiona cijev i u Parasetu). Ona služi kao kvarcni oscilator i pobudni sklop za dvostruku tetrodu. U prvom planu slike, dolje desno, su elementi oscilatorskog titrajnog kruga, a lijevo izlaznog stupnja. U drugom planu gore, su titrajni krugovi izlaznog stupnja i prilagodbe na impedanciju antene. Preklopnik vrste rada je ispod svega toga pa je sad vidljivo kako je bilo teško pronaći mjesto priključka antene prijemnika i još ga i zalemiti.

Potraga za kvarom započela je ispod kvarcnog oscilatora s pentodom 6V6 mjenjima napona. Anodni napon i napon druge rešetke su imali očekivane i stabilne vrijednosti, međutim napon na katodi pentode je neobjašnjivo fluktuirao.



Sl. 21. Odašiljač špijunske radio stanice BP-5

Tek pomnijim pregledom tog dijela vidjele su se dvije odrezane žice, neposredno uz nožice podnožja, slika 22a.



Slika 22: Nedostatak VF prigušnice i ugradnja nove u kvarcni oscilator

Na temelju iskustva (prvi autor je izgradio repliku Paraseta s takvim oscilatorom) i konzultiranjem stručne literature brzo se uvidjelo da nedostaje VF prigušnica induktiviteta 2,5 mH. Nekom je očito trebala prigušnica pa ju je izvadio. Prigušnica visokofrekvencijski odvaja katodu pentode i cijeli sklop oscilatora od sklopa za oblikovanje impulsa na tipkalo za telegrafiju i samog tipkala. U seriju s tom prigušnicom spojeno je tipkalo tako da se strujni krug uspostavi pri kratkom spoju tipkala, poteče anodna struja kroz elektronku, prigušnicu i tipkalo na masu i tada oscilator zaoscilira na frekvenciji kvarcnog kristala. Stoga prigušnica mora imati dovoljno velik promjer žice kojom je motana da može izdržati protok struje kroz pentodu oscilatora.

Uskoro je u zbirci starih dijelova nađena prihvatljiva prigušnica, ispitana joj je ispravnost komponent testerom i ugrađena je u oscilator, slika 22b. Odašiljač je sada poprimio završni izgled kakvog je zacijelo imao, najvjerojatnije prema dostupnoj dokumentaciji, 1944. godine. Nakon ugradnje prigušnice odašiljač je ponovo spojen na napajanje, ali nažalost oscilator još uvijek nije započeo s oscilacijama. Valjalo je tražiti nove kvarove.

3.12. Popravak kondenzatora filtriranje napona druge rešetke pentode

Pažljivim praćenjem spojnih žica svih komponenata kvarcnog oscilatora koji vode od podnožja pentode 6V6 u unutrašnjost uređaja, došlo se do pojedinih komponenti i potom je svakoj komponenti provjeravana ispravnost. Tako se došlo i do kondenzatora koji filtrira napon druge rešetke pentode (on u stvari kratko spaja visokofrekventnu komponentu napona napajanja druge rešetke i odvodi je na masu uređaja) te je uočen prekid spojne žice koja je vodila iz njega, slika 23.



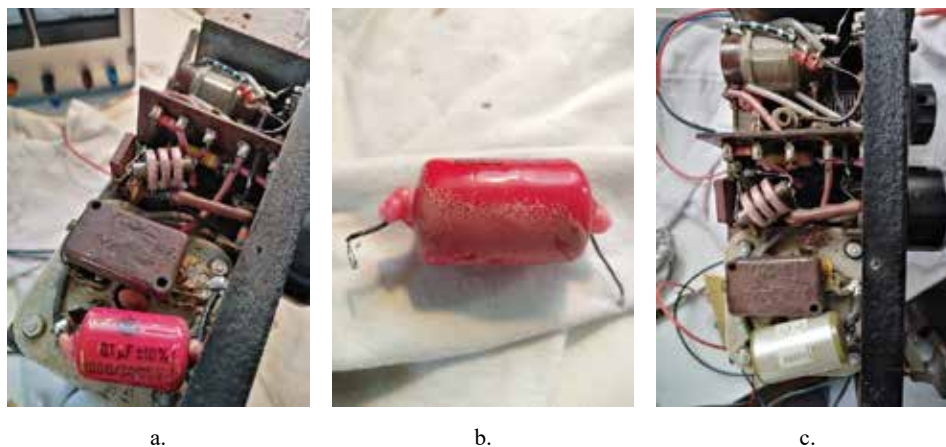
Sl. 23. Prekid priključne žice kondenzatora koji filtrira napon druge rešetke pentode

Do prekida je vjerojatno došlo zbog korozije žice nastale starošću uređaja. Krajevi žice su pažljivo očišćeni i nanovo zalemljeni te je tako i taj kvar otklonjen. Na taj način sačuvana je izvornost uređaja u najvećoj mogućoj mjeri. Postoji mogućnost da će za 20-30 godina ponovo doći do istog kvara jer se na slici 23. vidi novi izvor korozije neposredno na ulazu u kondenzator, a to će onda popraviti netko drugi s dovoljno znanja i volje da to učini.

Nakon lemljenja prekinutog izvoda kondenzatora, odašiljač je ponovno priključen na napon od 500 V i na oduševljenje autora zamijećene su visokofrekvencijske oscilacije točno na frekvenciji kvarcnog kristala oscilatora.

3.13. Popravak kondenzatora filtriranje napona druge rešetke izlazne dvostruke tetrode

Nakon što je proradio oscilator, na odašiljač je priključena umjetna antena i pritiskom tipkala uočen je izboj na antenskom priključku. Svi gumbi za podešavanje izboja radili su ispravno i na umjetnoj anteni uočavan je porast izračene snage sve do maksimuma nešto većeg od 50 W. Međutim, kako je odašiljač bio otkriven, a kondenzator (crvene boje u prvom planu) druge rešetke triode vidljiv, slika 24a, uočeno je da na izvodima kondenzatora ključa plastika, a ubrzo se proširio oštar miris spaljene plastike. Brzo je isključen napon, dodiranjem kondenzatora prstom utvrđeno je da je kondenzator jako vruć. Taj kondenzator je starijeg tipa, s papirom kao dielektrikom, i očito je došlo do raspada papirne strukture te je kondenzator počeo voditi struju koja ga je zagrijava.



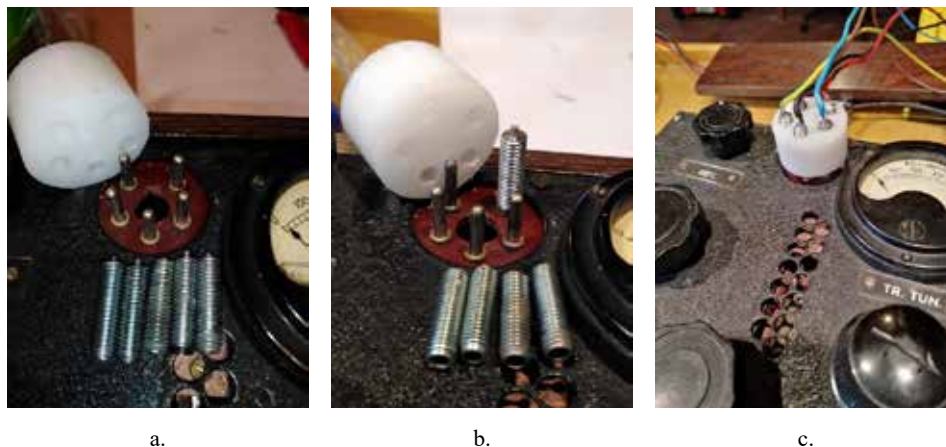
Sl. 24. Proboj i zamjena kondenzatora druge rešetke izlazne tetrode

Na slika 24b, nakon što je kondenzator izlemljen iz uređaja, vidljive su neobične nakupine rastopljenе plastike koja je izlazila iz pregrijanog kondenzatora uz priključne vodove, na lijevoj i desnoj strani kondenzatora. Sreća je da je odašiljač pri ispitivanju bio tako položen da je ta pojava odmah uočena jer je moglo doći do eksplozije kondenzatora, njegovog proboja, oštećenja tetrode i drugih komponenata. To je inače česta pojava kod starih uređaja gdje su obično najveći problem sasušeni elektrolitski kondenzatori i papirni kondenzatori koji počinju propuštati ili su već u kratkom spoju. To nije poseban problem za osobe koji se bave oživljavanjem starih uređaja, no veći problem danas je pronaći zamjenski kondenzator. Opet je do izražaja došla donacija gospodina Kreše Jesteršabeka koji je uz ostalo donirao i veću količinu vrlo kvalitetnih stirofleksnih kondenzatora. Ubrzo je pronađen kondenzator, nekad vrhunske tvornice RIZ, istog kapaciteta od 0,1 μF i radnog napona od 1500 V što je više nego dovoljno za anodni napon odašiljača od 500 V. Nakon ugradnje tog kondenzatora, slika 24c, radio stanica BP-5 je proradila u punom svom sjaju i radi sve do danas.

3.14. Izrada priključnog konektora za napajanje stanice

Radio stanica je kupljena preko oglasnika u jednom vizualnom, mehaničkom i još gorem električnom stanju s nizom kvarova te bez kutije, poklopca, ispravljača i priključnih kablova s neuobičajenim nestandardnim konektorima. Stoga je što prije trebalo zamijeniti privremeni provizorni konektor (vidljiv je na slici 20b, lijevo gore uz mjerni instrument) jer se uređaj tijekom popravljavanja i ispitivanja rada napajao s tri ispravljača: za 12,6 V (žarenje elektronki), 300 V (anodni naponi u prijemniku) i 500 V (anodni naponi u odašiljaču) pa je postojala velika opasnost da dođe do kratkog spoja, odvajanja žica i kvara na uređaju ili strujnog udara. Konektor je izrađen tokarenjem

iz sipasa¹ i navojnih šipki s ubušnim rupama, slika 25a.



Sl. 25. Izrada napojnog konektora

Tijelo konektora istokareno je od sipasa i na njemu je izbušeno pet rupa u koje je narezan navoj M5. Potom je od navojne šipke na tokarskom stroju odrezano pet komada šipke duljine jednake visini valjka od sipasa. U dijelovima navojnih šipki je tokarskim strojem na jednoj strani izbušena duga rupa promjera izdanaka na konektoru stanice, a na drugoj strani kraća i tanja rupa za lemljenje kablova. Na slici 25b vidi se jedan dio navojne šipke nataknut na izdanak konektora stanice. Nakon toga je svih pet dijelova navojne šipke uvijeno u valjak od sipasa, zalemljeni su kablovi i tijelo konektora je bilo gotovo.

3.15. Popravak slušalica

Stare slušalice su također donacija gospodina Jesteršabeka. Na njih su zalemljene istokarene buksne. Na buksne je navučen termobužir, slika 26a.

U našoj zbirci ima velik broj starih slušalica, ali sve su visoko omske, no ove su bile nisko omske, s malim zvučnicima od 8 oma u svakoj. Nažalost, ispostavilo se da priključkom na BP-5 slušalice ne rade. Skinut je gumeni naušni dio s puno teškoća jer se radi o staroj gumi koja je izgubila elastičnost pa je moglo doći do trganja pri skidanju. Otvaranjem tijela slušalica utvrđeno je da je tijekom uporabe došlo do prekida razmjerno krutih žica uslijed mnogobrojnih savijanja pri uporabi. Kablovi su nanovo zalemljeni, slika 26b, i obje slušalice su proradile, vraćeni su gumeni naušni dijelovi s

¹ poliamidna plastika

nadom da do narednog loma neće doći uskoro.



a.

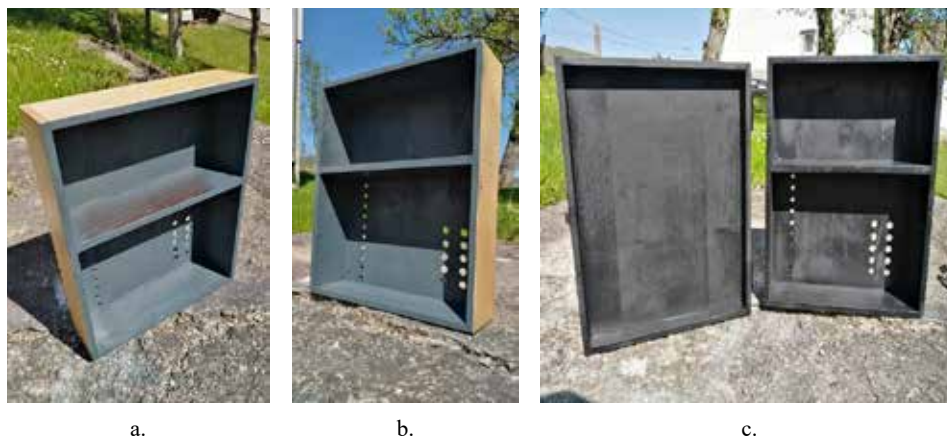


b.

Sl. 26. Popravak slušalica

3.16. Izrada kutije za BP-5

Sad, kad radio stanica BP-5 pouzdano radi, ima siguran napojni konektor i primjerene slušalice, valjalo je pristupiti izradi kutije za nju. Početkom svibnja 2021. odlučeno je da kutija bude drvena. Zanimljivost izrade špijunskih stanica u Velikoj Britaniji, gdje je bila velika nestašica elektroničkih komponenti, da su one rađene od šarolikog i jedva dostupnog materijala. Kao i ova stanica, legendarna prva špijunska radiostanica Paraset je početkom Drugog svjetskog rata bila izrađivana i u drvenoj i u metalnoj kutiji, a dobri poznavatelji tog segmenta povijesti kažu da zbog nestašice dijelova ne postoje dva jednaka Paraseta. Zacijelo se stanje nešto popravilo do 1944. godine, ali ne značajno. Jednostavnije nam je bilo načiniti drvenu kutiju u radionici u Gorskom kotaru. Izrada je počela 9. 5. 2021., nakon čega je obojena, slika 27a.



Sl. 27. Bojenje izrađene kutije za BP-5

Na kutiji su izbušene rupe za hlađenje elektronskih cijevi i načinjena je pregrada koja će odvajati stanicu od budućeg ispravljača. Niz većih rupa, slika 27b, služi za hlađenje elektronskih cijevi u odašiljaču, a manjih za hlađenje cijevi u prijemniku. Kutija je prvo obojena u temeljnu boju, a zatim u crnu kako se i vidi na slici 27c. Na toj slici vidljiv je i poklopac kutije koji je također izrađen zajedno s kutijom. To je bilo potrebno jer su sve britanske stanice imale svoje poklopce kako se ne bi oštetile u transportu ili tijekom rada na terenu. Visina poklopca pomno je odabrana tako da se ispod njega može smjestiti konektor kabla za napajanje stanice iz ispravljača i mrežni kabl ispravljača. Poklopac ima svoje šarke i kopču za zatvaranje.

3.17. Izrada prednje ploče ispravljača

Prednja ploča ispravljača započela se raditi 5. 6. 2021. Tada nam je rođak supruge starijeg sina prvog autora, odrezao aluminijsku ploču prema otvoru predviđenom za ispravljač na kojeg smo smjestili elemente ispravljača radi rasporeda, slika 28a. Debljina aluminijske ploče bila je 3 mm, a sitne ogrebotine na njoj smo prebrusili finim brusnim papirom.



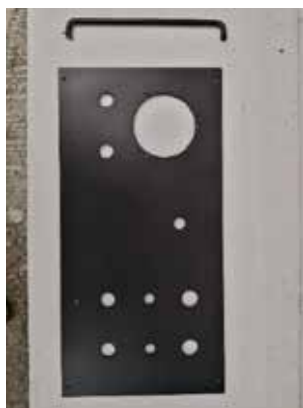
Sl. 28. Početak izrade prednje ploče ispravljača

Prema preliminarnom rasporedu načinjen je crtež rasporeda i započelo je bušenje rupa različitih promjera. Najteže je bilo izraditi najveću rupu za mjerni instrument pa je to izrađeno krunskom pilom na stupnoj bušilici, slika 28b. Poslije je rupa malo dorađena finom turpijom i izbušene su tri manje rupice za vijke učvršćenja instrumenta.

Bušenje preostalih rupa za ostale elemente teklo je znatno jednostavnije i brže s obzirom da su za to trebala samo svrdla promjera od 6 do 12 mm, slika 28c.

Gotova prednja ploča je još jednom lagano obrušena brusnim papirom, a potom je odmašćena. Na nju je nakon sušenja nanesen prvi sloj tzv. prajmera (primer) u vidu spreja kako bi se površina aluminijske mogla lakirati klasičnim lakovima bez ljuštenja s površine.

Nakon sušenja prajmera površina prednje ploče ispravljača prelakirana je s dva sloja crnog mat spreja. Tada je prelakirana i aluminijska ručica smještena na donjoj strani prednje ploče ispravljača namijenjena laganom izvlačenju ispravljača iz kutije radio stanice BP-5 u slučaju kvara. Prednja ploča poprimila je svoj konačni izgled, slika 29b.



a.



b.



c.

Sl. 29. Bojenje i priprema za ugradnju prednje ploče ispravljača

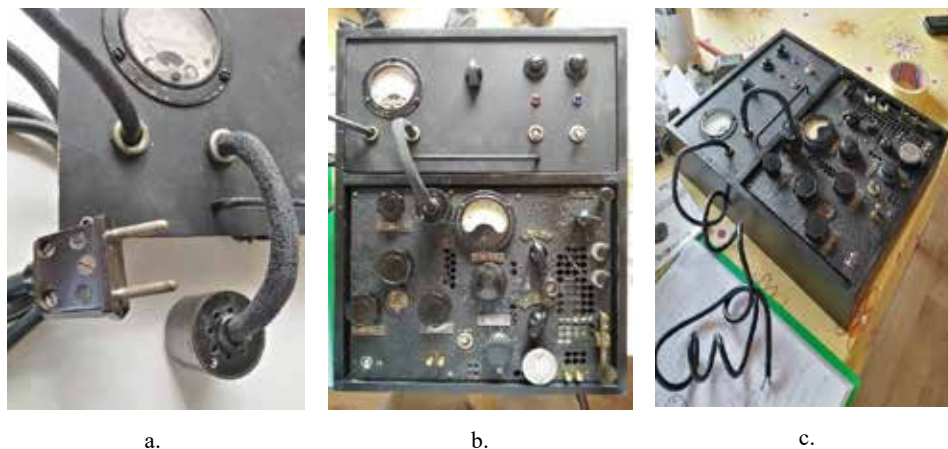


Sl. 30. Prednja ploča ispravljača montirana na kutiju radio stanice BP-5

Stupići za pričvršćenje prednje ploče zalijepljeni su u kutove kutije i ostavljeni da se suše preko noći, slika 29c. Nakon toga se prednja ploča ispravljača mogla pričvrstiti na kutiju stanice, slika 30.

3.18. Izrada mrežnog i napajачkog konektorskog kabla ispravljača

Izrada mrežnog i konektorskog kabla ispravljača započela je 18. 6. 2021. godine. Za mrežni priključak nađen je kabel od jednog starog neispravnog mikrofona iz Drugog (WW2) rata koji je imao samo kućište bez nekih dijelova i kabel bez konektora. Kabel je bio idealan, debele izolacije i više primjeren za napajanje nego za mikrofona. Pronađen je i utikač iz vremena Drugog svjetskog rata tako da je i on montiran na spomenuti kabel, slika 31a.



Sl. 31. Priključni mrežni i napajački konektorski kabel na stanici BP-5

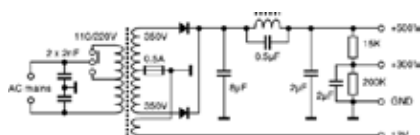
Na taj način su mrežni kabel i utikač povijesno, po vrsti materijala koji se tada koristio i dizajnerski lijepo uklopili u okruženje stanice BP-5.

Poseban problem predstavljao je petožilni kabel za napajanje stanice. Tu je bilo pet raznobojnih debelih žica koje su vodile iz ispravljača u stanicu (kablovi za +500 V, za +300 V i za žarenje od 12,6 V te kabel za masu prijemnika i predajnika). To nismo znali riješiti pa smo na jednom od naših susreta za savjet pitali gospodina Krešu Jesteršabeka. On je odmah predložio rješenje: kablove postaviti u vezicu za cipele. Rješenje je izgledalo na prvi pogled neobično, a u stvari je izvrsno. Snop kablova za napajanje izlazi desno dolje, odnosno ispod mjernog instrumenta, slike 31a i 31b, i stvarno je i praktično i estetsko rješenje, a izgleda da se ta tehnika uistinu i koristila u starih uređajima. Tu valja istaknuti i da je za kućište konektora od sipasa, vidljivog na slici 25., korišteno staro bakelitno oktalno podnožje elektronke iz istog doba tako da je funkcionalnost i estetika bila potpuna. Moglo se krenuti na izradu ispravljača.

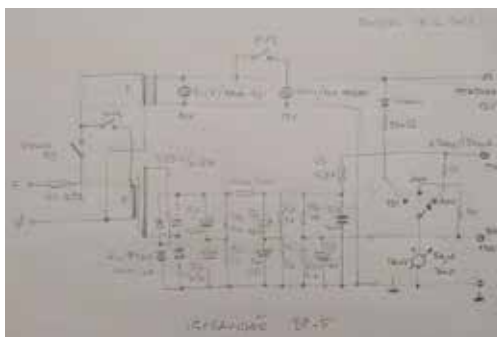
3.19. Izrada ispravljača

Prema literaturi dostupnoj na Internetu izgleda da nema sačuvanih ispravljača za radio stanicu BP-5. Kako se radiostanica koristila prije svega za špijunske svrhe, zbog njezine izvrsnosti i snage primjenjivana je čak i na vozilima te brodovima (pa i na Pacifiku) pa je moguće da je bila napajana iz različitih tehničkih sustava i naprava. Stoga unificirani ispravljač za nju vjerojatno nije postojao. Ostalo je samo nekoliko sačuvanih stanica BP-5 pa nije ni čudo da nema njenih još rjeđih ispravljača. Stoga je na internetskoj stranici cryptomuseum.com/spy/bp5/index.htm objavljena shema zamjenskog ispravljača s poluvodičkim diodama koji može napajati radio stanicu BP-5,

slika 32a.



a.



b.

Sl. 32. Sheme ispravljača za radio stanicu BP-5

Shema na slici 32a. nesumnjivo je dobra i može zadovoljiti potrebe, no mi smo se odlučili na drugačiji i po nama bolji pristup. Naša koncepcija ispravljača, slika 32b., ima više elemenata koje prijedlog nema: dva osigurača za mrežni i anodni napon, puno jače elektrolite i bolje filtriranje s dvostrukim filterom, blokadu radio smetnji, instrument s preklopnikom za mjerenje napona žarenja i anodnih napona prijemnika i predajnika, dva prekidača za uključivanje napona žarenja i anodnih napona te dvije kontrolne sijalice koje signaliziraju prisutnost napona žarenja i anodnih napona. Naša varijanta ispravljača ima i dva transformatora: za žarenje i anodne napone. Spojeni su tako da se ne može uključiti anodni napon ako nije uključeno žarenje, a ideja je da se prvo uključi napon žarenja (oko minutu do dvije), a tek potom se uključuje anodni napon čime se štite komponente od visokog napona dok elektronske cijevi ne dostignu radni režim.

Unutrašnjost ispravljača prikazana je na slici 33a. Odabrane su komponente koje najbolje odgovaraju starosti uređaja i koje su bile dostupne. Transformatori su u središnjem dijelu unutrašnjosti, a pločica s Graetзовim ispravljačem je desno uz njih. Na njoj su potrebni kondenzatori i otpornici povezani s upravljačkim elementima na upravljačkoj ploči s pomoću žičane forme.



a.



b.

Sl. 33. Unutrašnjost spravljača i stanica s otklopljenom pločom ispravljača

Na slici 33b, vidljiva je stanica BP-5 s otklopljenim ispravljačem. Napravljeni ispravljač u cijelosti zadovoljava sve potrebe radio stanice za napajanjem.

3.20 Natpisne pločice

Drugi autor je na računalu izradio natpisne pločice, slika 34., za ispravljač koje će biti laserski gravirane kako bi poprimile isti dizajn kao i natpisne pločice radiostanice BP-5.

Na većoj središnjoj pločici će biti i kratko uputstvo o redoslijedu uključivanja pogonskih napona napajanja za radiostanicu kako bi se izbjegli previsoki naponi prije postizanja radnih temperatura elektronskih cijevi u uređaju.



Sl. 34. Prijedlog natpisnih pločica za ispravljač

4. Zaključak

Ovaj tekst je napisan da se vidi koliko volje, truda, vremena, znanja, alata i pribora, mjernih uređaja, specijaliziranih radionica za elektroniku, metal i drvo te zbirke starih rezervnih dijelova i literature treba da bi se popravio i stavio u radno stanje jedan rijedak i vrijedan povijesni artefakt. Neka nedostaje samo jedan od navedenih uvjeta, poduhvat obnove brzo će uroditi neuspjehom. Tako je devastirana, pokvarena i skoro nepovratno uništena špijunska radiostanica BP-5 nakon višemjesečnog rada dotjerana u potpuno ispravno radno stanje i kompletirana u cijelosti, slika 35, te je spremna za izložbenu vitrinu Prve hrvatske zbirke mjerne i komunikacijske opreme.

Poticaj za pisanje ovog opsežnog teksta i ovog zaključka dao nam je jedan mladi gospodin kojeg smo sreli na jednoj tehničkoj izložbi u Zagrebu. Bili smo nazočni Željko Knezić i prvi autor. Mladi gospodin je znao za Prvu hrvatsku zbirku mjerne i komunikacijske opreme i za nas, a bilo mu je drago da nas je osobno upoznao. Razgovor je tekao vrlo srdačno i na kraju razgovora je palo pitanje koliko je od izloženih artefakata ispravno i tko to popravlja. Odgovoreno mu je da je puno artefakata popravljeno, neki još nisu ni pregledani zbog obima tog i redovitog posla, ali da je procjena da je ispravno oko 90 % artefakata. Na to je je mladi gospodin lakonski rekao otprilike ovo: „Super, kad mi to preuzmemo jednog dana, nećemo imati puno posla...“. Taj naoko nevažan razgovor i završna primjedba nas proganja već više od dva mjeseca od kad se to dogodilo. Prvo nas zanima koliko taj mladi gospodin uistinu zna o tehnici koja se koristila u vrijeme WW2. Zna li išta o heksodama, pentodama, tetrodama i triodama koje se koriste u takvim uređajima, njihovim radnim naponima i režimima rada... O superheterodinskim prijemnicima, kvarcnim i BFO oscilatorima, mješalima signala, međufrekvencijskim pojačalima, podešavanju izlaznog stupnja na štap, dipol ili long wire antenu (da koristimo samo dio tehnike korištene u BP-5)...?

Koliko mladih ljudi danas zna popraviti neki uređaj, imaju li za to znanja, volje, sposobnosti, alata, instrumenata, dijelova, vremena, prostora i da li im je to fokus interesa i smatraju li da je to uopće vrijedno ikakvog truda.

Osobno, mi osjećamo veliko zadovoljstvo da je špijunska radiostanica BP-5 opet kompletirana, ispravna i da radi.

Priča o BP-5 napisana je prvenstveno za one koji znaju nešto o povijesti čovječanstva, prikazanoj tehnici iz razdoblja prije i za Drugoga svjetskog rata te načinu obnove ovog rijetkog i dragocjenog artefakta i koji će to s razumijevanjem i radošću čitati.

Napisana je i za one koji sve to ne razumiju da bi barem u maloj mjeri spoznali o kakvoj se to količini rada i znanja radi, pa i uloženi novčanih sredstava ili izgubljenе dobiti na drugom mjestu, kako bi ubuduće, možda više cijenili tuđi trud i specifično

znanje. K tome da se istodobno zapitaju koliko je u stvari veliko i primjenjivo njihovo znanje, da li bi znali načiniti pothvat oživljavanja jednog tako značajnog civilizacijskog artefakta, da li bi ga znali pokrenuti i napraviti jednu vezu (makar fonijom, ako ne znaju telegrafiju) na radioamaterskom kratkovalnom području od 3,5 ili 7 MHz koje ova stanica pokriva. Ako se zamisle nad svojim neznanjem na samo par sekundi, trud uloženi i pisanje ovog teksta nije uzaludan.



Sl. 35. Uređena, popravljena, kompletirana i ispravna špijunska radio stanica BP-5

Zahvala

Zahvaljujući donacijama, savjetima i stalnom dopisivanju s gospodom Krešom Jesteršabekom i Željkom Knezićem, koje smo izvještavali tijekom osam mjeseci o napretku rada na stanici BP-5, ostale su srećom fotografije u mobitelu koje su ovdje sada iskorištene. Stoga zahvaljujemo spomenutoj dvojici prijatelja, svim drugim donatorima i članovima naše obitelji koji nas podupiru u našim neobičnim aktivnostima i bez kojih ovaj, i niz drugih projekata u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme, ne bi bio ostvaren.

Literatura:

- [1] Internetska stranica <https://www.cryptomuseum.com/spy/bp5/index.htm> pristupljeno 22.10.2021.
- [2] Rogale, D.; Fajt, S.; Knezić, Ž.; Lukša, D.: Prva hrvatska zbirka mjerne i komunikacijske opreme, Zbornik Povijest i filozofija tehnike 7. simpozij PIFT 2018., Benčić, Z. (ur), str. 355-364, Zagreb, svibanj 2108., I Kiklos – Krug knjige d.o.o., Zagreb (2018)
- [3] D. Rogale: Struktura i artefakti Prve hrvatska zbirka mjerne i komunikacijske opreme, Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske za 2019. godinu: Hrvatska tehnička i industrijska baština, HATZ, Zagreb, str. 323-338

Dubravko Rogale, Martin Rogale

Restoration of the Spy Radiotelegraph Station BP-5 from World War II

Abstract: The First Croatian Collection of Measuring and Communication Equipment stores the legendary spy radio station marked BP-5, made during the Second World War in England. The radio station was developed by the ingenious Polish engineer Tadeusz Heftman and began production for resistance movements in Europe in 1944 and was also used in battles in the Pacific. It was found for sale in a very devastated condition in one of our electronic classifieds. The authors bought it and thoroughly restored it and brought it in completely work condition. The radio station is a rare and valuable artifact of Croatian technical history, and the article describes a part of its history and a detailed procedure for repairing it.

Key words: Spy radio station BP-5, Croatian technical heritage, restoration

Miroslav Křepela

Tramvaj od konjske do električne vuče ili kako je elektricitet ubrzao život

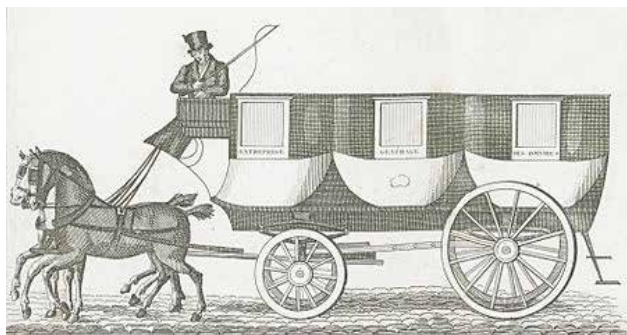
Sažetak: Ove godine, točnije 11.5.2021. navršava se 130 godina od početka izgradnje tramvajske mreže u Zagrebu. Dakako s konjskom vučom. Time je Zagreb slijedio niz europskih gradova koji su konjski tramvaj uvodili od 1860.-ih godina. Nakon promocije male električne željeznice na izložbi u Berlinu 1879. god., konjska vuča zamjenjuje se postepeno električnom, no zbog prvenstveno financijskih, ali i tehnoloških razloga, to nije išlo brzo. Konji su tramvaje u mnogim gradovima vukli još početkom 20. stoljeća, pa je tako Zagreb dobio prvu elektrificiranu prugu 1910. god. Razvojem tramvajskih mreža te mreža podzemnih i prigradskih željeznica, gradovi su postali „manji“, život se ubrzao.

Ključne riječi: povijest, tramvaj, elektricitet

Uvod

Razvojem obrta, manufakturne proizvodnje, a osobito izumom parnog stroja i brzom industrijalizacijom koja je počela u Ujedinjenom kraljevstvu i proširila se na kontinentalnu Europu u 19. stoljeću, dolazi do sve veće potrebe za radnom snagom i migracije ljudi u gradove. Nagli porast broja stanovnika i gustoće stanovanja u gradovima, doveli su do sve izraženije potrebe kvalitetnog javnog gradskog prijevoza i uvođenje efikasnog, redovitog prijevoza putnika do mjesta rada, uz sve veće udaljenosti.

Prvi javni prijevoz odvijao se je kolima i kočijama, bez redovnih linija. Preteča tramvaju za prijevoz putnika, bili su omnibusi s konjskom vučom. Omnibus sa sjedalima za prijevoz 12 do 18 putnika uveden je u promet u Parizu 1828. god., slika 1.



Sl. 1. Pariški omnibus

Prvi oblik javnog tračničkog prijevoza putnika inspiriran omnibusom, bili su konjski tramvaji. Razvijeni su temeljem od ranije korištenog industrijskog tračničkog prijevoza robe i sirovina konjskom vučom. Tramvaji su, kao tračničko vozilo, omogućili prijevoz većeg broja putnika s obzirom na manje trenje iz-

među kotača i podloge, što je omogućilo konjima vuču većeg tereta uz manji napor te putnicima ugodniju vožnju uz znatno smanjenje vibracija u odnosu na vožnju po granitnim blokovima ili makadamu.

Najranije zabilježeno korištenje tračnica potječe još iz 1556. god. Drvene tračnice koristile su se za kretanje drvenih vagona u tadašnjim rudnicima. Prvo korištenje metalnih tračnica, profila sličnog današnjem, za prijevoz tereta datira iz 1789. god. Primijenio ih je William Jessop (1745. – 1814.), građevinski inženjer, na trasi Charnwood Forest Canal između Thringstonea i Nanpantana (Engleska, UK), čime je započela era najprije dopune, a postepeno i zamjene kanala kao transportnih puteva. Zanimljivo je spomenuti industrijsku liniju konjskog tramvaja koja je povezivala ciglanu i tvornicu vapna Ticknall s kanalom Ashby (Engleska, UK) otvorenu 1802. god., slika 2.

Linija je bila u funkciji sve do 1913. god., a zatvorena je 1915. god. Bila je ispred svojeg vremena i smatra se pretečom modernog tračničkog transporta.

Iste godine, uz završetak izgradnje 1803. god., u promet je pušten i teretni konjski tramvaj koji je povezivao mjesta Mitcham i Croydon (Surrey Iron Railway), danas u južnom Lon-



Sl. 2. Tračnički prijevoz tereta Ticknall – kanal Ashby

donu (Engleska, UK). Bio je u upotrebi do 1846. god.

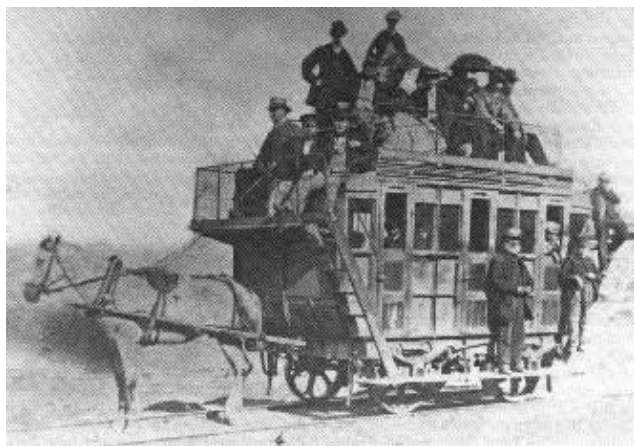
Porijeklo riječi tramvaj nije posve jasno. Prema nekim izvorima engleska riječ tram i tramway vuku korijen iz flamanske riječi *trame* u značenju: greda, šipka, prečka, rudo za vuču kola, a identična riječ u francuskom jeziku ima značenje: poprečna greda. Zanimljivo je i tumačenje porijekla iz staroskandinavske riječi *traam* ili *trum* u značenju: greda, drvo. Vrlo vjerojatni korijen je škotska riječ *tram* koja opisuje vrstu teretnog vagona korištenog u rudnicima ugljena i drvene grede od kojih su bile napravljene prve tračnice po kojima su se kretali, dakle dualno značenje koje opisuje i tračnice i vagon (*tram-wagon*). Korijen svih navedenih riječi vjerojatno je latinska riječ *trabs* u značenju: balvan, greda. Kako bilo, i danas se u nekim zemljama engleskog govornog područja riječi *tram* i *tramway* koriste kako za prugu, tako i za vozila, dok se kod nas se za vozilo usvojio naziv tramvaj. Nazivi vozila i u velikom broju, mogli bismo reći u većini, ostalih zemalja svijeta imaju korijen u riječi *tram*.

I Konjski tramvaj

I.1 Konjski tramvaj u svijetu

Prvi konjski tramvaj za prijevoz putnika u svijetu bio je Swansea and Mumbles Railway, pušten u promet 1807. god. u Walesu (UK). Tramvajska kola bila su vrlo nalik omnibusu ili diližansi, slika 3.

Od godine 1877. na liniji prometuju tramvaji s parnim pogonom, a od 1929. godine do ukidanja 1961. godine električni tramvaji.



Sl. 3. Prvi konjski tramvaj 1807. god.

Tako je nezaustavljivo započela era uvođenja konjskih tramvaja u redovni gradski promet u gradovima širom svijeta. Interesantno je spomenuti i prvu konjsku željeznicu za prijevoz robe i putnika u kontinentalnoj Europi koja je puštena u promet 1828. god. u tadašnjoj austrijskoj monarhiji, na liniji **České Budějovice (Češka) – Linz (Austrija)**, slika 4.



Sl. 4. Konjska željeznica České Budějovice - Linz

Europu su u uvođenju konjskog tramvaja za prijevoz putnika slijedile SAD. Prvi konjski tramvaj konstruirao je John Stephenson (1809. – 1893.), a linija je otvorena 1832. god. u New Yorku, duž Bowery i 4. avenije. Konjski tramvaj razvijan je po uzoru na diližanse i omnibuse koji su prometovali na redovnim linijama, prevozeći putnike bez potrebe prethodne rezervacije karata. Putnička kola vukla su

najčešće dva konja ili mule. Zadnja linija konjskog tramvaja u New Yorku obustavljena je 1917. god., slika 5.

Tri godine iza New Yorka, 1835., konjski tramvaj uvodi i New Orleans. Prema podacima Američkog društva strojarских inženjera, to je najstariji tramvajski sustav u trajnom prometu.

Prvi konjski tramvaj u kontinentalnoj Europi pušten je u promet 1839. god. između Montbrisona i Montronda u Francuskoj. Zbog ekonomskih razloga, ukinut je 1848. god. Konjski tramvaj u Francuskoj nastavio se razvijati, pa je tako, kao snažna konkurencija omnibusima, 1852. god. otvorena prva linija u Parizu po uzoru na tramvaj u New Yorku, da bi se oko 1900. god. većina javnog prijevoza Pariza još uvijek odvijala konjskim tramvajem), slika 6.

Sl. 5. Zadnji konjski tramvaj u New Yorku, Broadway 1917.





Sl. 6. Konjski tramvaj Pariza početkom 20. st.

Beč je dobio prvu liniju konjskog tramvaja 1840. god. koja je u prometu bila do 1842. god. i služila je za prijevoz putnika od Donaukanala do rekreacijskog centra poznatog kao Kolosseum. Nastavak razvoja konjskog tramvaja u Beču uslijedio je od 1865. god. otvaranjem redovnih gradskih linija.

Intenzivna izgradnja tramvajskih linija s konjskom vučom nastaje u europskim gradovima oko 1860.-ih godina, usporedno s razvojem industrije i porastom broja stanovnika, pa navedimo kronološkim redom samo neke:

- 1863. god. u St. Peterburgu (Rusija);
- 1865. god. u Beču (Austrija) i Berlinu (Njemačka);
- 1866. god. u Budimpešti (Mađarska) i Hamburgu (Njemačka);
- 1869. god. u Brnu (Češka);
- 1871. god. u Madridu (Španjolska);
- 1872. god. u Moskvi (Rusija) i Dresdenu (Njemačka);
- 1873. god. u Barceloni (Španjolska) i Lisabonu (Portugal);
- 1875. god. u Pragu (Češka), slika 7., i Amsterdamu (Nizozemska);
- 1876. god. u Trstu (Italija) i Münchenu (Njemačka);
- 1877. god. u Rimu (Italija) i Stockholmu (Švedska);
- 1878. god. u Grazu (Austrija);
- 1885. god. u Sarajevu (BiH);
- 1892. god. u Beogradu (Srbija) itd.

Osim u Europi i SAD, izgradnja mreža konjskih tramvaja odvijala se je i na drugim kontinentima:



Sl. 7. Konjski tramvaj u Pragu (Muzej gradskog prijevoza, Prag)

- 1858. god. u Santiagu (Čile), prvi u Južnoj Americi;
- 1860. god. u Sydneyju, prvi u Australiji, slika 8;
- 1863. god. u Aleksandriji (Egipat), prvi u Africi;
- 1867. god. u Galvestonu (Teksas, SAD);
- 1869. god. u Bataviji, današnjoj Džakarti (tadašnja Nizozemska istočna Indija, danas Indonezija).



Sl. 8. Konjski tramvaj u Sydneyju, Australija

uvijek prometuju na pruzi izgrađenoj 1876. god. na Otoku Man (UK), slika 9, te na pruzi izgrađenoj 1894. god. u Adelaideu (Australija), slika 10, danas uglavnom kao turističke atrakcije.

Tijekom zadnjeg kvartala 19. st., konjska vuča postepeno je mijenjana mehaničkim pogonima. Međutim, u nekim gradovima svijeta zadržala se sve do naših dana, bilo u redovnom prometu ili kao turistička atrakcija. Tako je zadnji tramvaj kojeg su vukle mule u gradu Celaya u Meksiku bio u prometu do 1954. god. Redovna linija konjskog tramvaja u Sjevernoj Irskoj (UK) bila je u prometu do 30.9.1957. god., a još



Sl. 9. Konjski tramvaj na Otoku Man



Sl. 10. Konjski tramvaj u Adelaideu, Australija

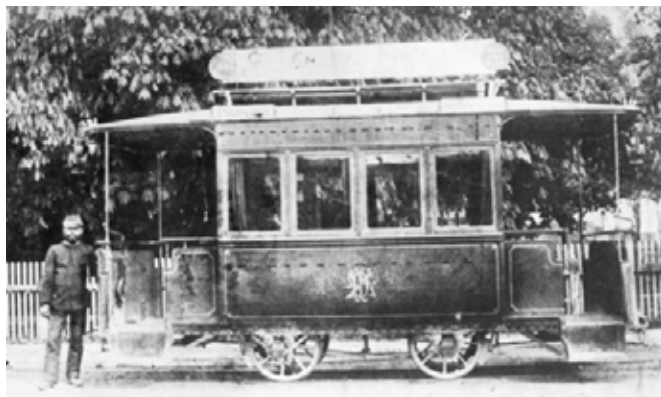
1.2 Konjski tramvaj u Hrvatskoj

Prvi konjski tramvaj u Hrvatskoj (i na teritoriju bivše Jugoslavije uopće), pušten je u promet 1884. god. u Osijeku, slika 11.



Sl. 11. Konjski tramvaj u Osijeku

Tramvaj se u Osijeku spominje još 1868. god. temeljem subvencija ponuđenih za izgradnju od strane gradske uprave. Dioničko društvo za izgradnju konjske



Sl. 12. Konjski tramvaj u Zagrebu



Sl. 13. Replika zagrebačkog konjskog tramvaja u tehničkom muzeju

željeznice dobilo je 14.7.1883. god. koncesiju nad izgradnjom jednokolosiječne tramvajske pruge, koja je 10.9.1884. god. svečano puštena u promet. Prva linija vodila je od crkve sv. Roka, preko Tvrdje, do Donjeg grada. Konjski tramvaj prometovao je u Osijeku do 1926. god., kada ga je zamijenio električni.

Prve ideje o konjskom tramvaju u Zagrebu su se pojavile 1885. god. Francuski inženjer R.P.A Gautier predložio je 20.6.1887. god. gradskoj upravi sklapanje ugovora za izgradnju tramvajske mreže. Ponuda je prihvaćena te je temeljem zaključka gradskog zastupstva od 26.3.1889. god. odobrila Gautieru gradnju tramvajskih pruga na tlu gradskih ulica, a 11.6.1889. god. s njim sklopila ugovor. Nakon dobivanja koncesije za gradnju i pogon tramvaja od Ministarstva trgovine 7.3.1891., za razdoblje do 1931. god., Gautier odustaje od projekta, a

svoja prava, dozvolom gradske općine i zaključka gradskog zastupstva od 23.4.1891. god., prenosi na Društvo zagrebačkih građana zastupano po Dr. Ljudevitu Schwarzu. Društvo počinje izgradnju mreže konjskog tramvaja 11.5.1891. god. Radovi su ugovoreni s poduzetništvom Gfrörer i Muskovics iz Budimpešte. Rok za izgradnju glavne pruge na potezu od mitnice u Vlaškoj ulici, kroz Jurišićevu ulicu i Trg bana Josipa Jelačića do Vodovodne ulice, uz odvojak Kolodvorskom ulicom do južnog kolodvora te od križanja Frankopanske ulice i Ilice do savskog mosta bio je šest mjeseci od datuma preuzimanja koncesije od strane Društva. Poduzetništvo je rokove ispoštovalo i promet je otvoren 5.9.1891. god. Ukupna dužina kolosijeka širine 0,76 m bila je 8 km. Brzina kretanja konjskog tramvaja bila je oko 7,5 km/h. Zagreb je tada bio mali grad s oko 40.000 stanovnika. Tramvajska kola izrađena su u tvornici Weitzer u Grazu (Austrija), a vukao ih je jedan konj, slika 12. Konjski tramvaj uspostavljen je u Zagrebu u vrijeme kad se je u drugim gradovima Europe i svijeta već uvodio električni. Ostao je u prometu do godine 1910./1911., kad ga je zamijenio električni. Replika zagrebačkog konjskog tramvaja u postavi je tehničkog muzeja „Nikola Tesla“ u Zagrebu, slika 13.

Pored Osijeka i Zagreba, konjski tramvaj uveden je u promet i u Velikoj Gorici, 22.2.1907. god., slika 14., popularno nazvan „kojnača“. Konjski tramvaj izgradilo je Dioničko društvo „Tramvaj“, osnovano 1906. god. inicijativom grupe Velikogoričana, temeljem akta potpisanog u studenom iste godine od strane Ferenc Kossutha, zajedničkog ministra Hrvatske i Ugarske. Glavni dioničari novoosnovanog društva bili su Plemenita općina turopoljska i poduzetnik Nikola Hribar. Tramvajska kola kupljena su 1907. god. u Zagrebu od zagrebačkog tramvaja. Vukao ih je jedan konj, a ponekad dva. U prometu su bila putnička i teretna kola (ova potonja su koristile tvornice u Novom Čiču i velikogorički trgovci). Tramvajska pruga dužine oko 8 km vodila je od Novog Čiča, preko centra Velike Gorice do željezničkog kolodvora u Gradićima. Konjski tramvaj je u Velikoj Gorici prometovao do 9.11.1937. god. kada je zbog stečaja dioničkog društva, do kojeg je došlo zbog uvođenja autobusne linije od Zagreba do



Sl. 14. Konjski tramvaj u Velikoj Gorici i njegova replika u Novom Čiču

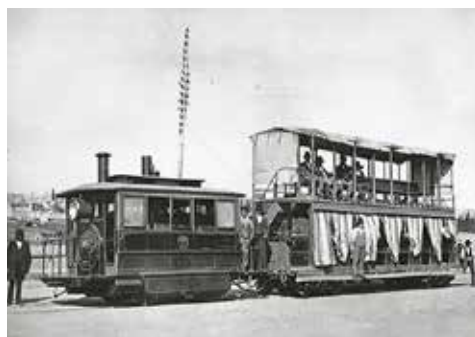
sela Orle 1928. god., ukinut. Zanimljivo je spomenuti da su prije stečaja konji zamijenjeni parnom lokomotivom.

I dok je u Velikoj Gorici stečajem poduzeća tramvaj ukinut i ostao samo u sjećanju, u Osijeku i Zagrebu konjska vuča je, kao i u drugim gradovima svijeta, zamijenjena mehaničkim pogonom.

4 Tramvaji na parni, plinski i ostale pogone

2.1 Tramvaj na parni pogon

Izumom parnog stroja koji je pokrenuo industrijsku revoluciju te njegovom primjenom za pogon lokomotiva, najprije u rudarstvu, a zatim i u željezničkom prometu kao zamjene za konjsku vuču, pojavila se mogućnost njegovog korištenja i za pogon tramvaja, pa je tako prvi mehanički tramvaj imao



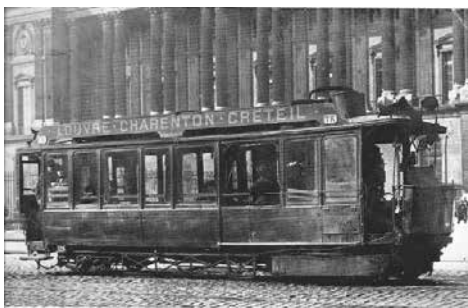
Sl. 15. Parni tramvaj u Sydneyju, Australija



Sl. 16. Parni tramvaj u Brnu, Češka, danas turistička atrakcija

parni pogon. Pri tome su se razlikovala dva tipa parnog tramvaja:

- tramvaj s malom parnom lokomotivom i jednim ili više vagona (prikolica), kakvi su bili najuobičajeniji, a u prometu su bili npr. u Christchurchu (Novi Zeland) od 1881. do 1905. god., Sydneyju od 1879. do 1906. god. (Australija), slika 15, Münchenu (Njemačka) od 1883. god., Brnu (Češka) od 1884. do 1900. god., slika 16 i nizu drugih gradova;



Sl. 17. Parni tramvaji u Parizu

– tramvaj s ugrađenim parnim strojem, kakvi su bili u prometu npr. u Parizu (Francuska) od 1876. god., Rockhamptonu (Australija) od 1909. do 1939. god., Stockholmu (Švedska) od 1887. do 1901. god. i dr.

S obzirom na prometovanje gradskim ulicama, radi minimiziranja ispuštanja dima, kao gorivo se je najčešće koristio koks umjesto ugljena. Vidljivo ispuštanje vodene pare sprječavalo se je kondenzatorima ili pregrijavanjem. Parni pogon koji se tih godina uspješno koristio na željeznici te rudničkim vlakovima, nije polučio uspjeh na tramvajima. Zbog relativno komplicirane i skupe izvedbe parnog pogona te brzog razvoja elektromotornih pogona, tramvaji s parnom vučom nisu u potpunosti zaživjeli kao zamjena za konjsku vuču, a u prometu su se zadržali uglavnom do početka 20. st., no ponegdje i duže (npr. u Rockhamptonu, Australija do 1939. god.). Treba spomenuti da je mogućnost parnog pogona u svojoj ponudi za izgradnju tramvaja u Zagrebu iz 1887. god. naveo i Gautier, no ta ideja nije zaživjela u praksi.

2.2 Tramvaj na plinski pogon

Krajem 19. i početkom 20. stoljeća za pogon tramvaja u nekim gradovima, kao što su Melburn (Australija) od 1886. – 1888. god., Berlin i Dresden (Njemačka), Manchester (UK) od 1897. do 1908. god. korišten je plin (naftni ili ugljeni). Ovi pogoni, slično parnim, nisu ušli u širu primjenu.

Godine 2011. NGV Journal je objavio da Malezija 2012. god. planira pustiti u promet prvi tramvaj na komprimirani prirodni plin u svijetu, međutim kasnijih vijesti o tom projektu nije bilo.

2.3 Tramvaj na pogon komprimiranim zrakom

Uz navedene pokušaje zamjene konjske vuče modernijim pogonima, treba spomenuti i izum francuskog inženjera poljskog podrijetla Louisa Mékarskog, koji je 1870. god. patentirao propulzijski sustav s komprimiranim zrakom za pogon tramvaja.



Sl. 18. Tramvaj na komprimirani zraku Parizu, lijevo i Nantesu (Francuska), desno

Tramvaji na komprimirani zrak bili su isprva prihvaćeni kao kvalitetno rješenje prometa gradskim centrima s obzirom da ne proizvode nikakvo zagađenje, prvenstveno dim, čađu i iskre kao parni pogoni te na taj način ne smetaju putnicima, niti uznemiruju konje. Ispitani su i uvedeni u promet 1876. god. u Parizu, a 1879. god. u Nantesu (Francuska), gdje su 1917. god. zamijenjeni električnim tramvajima, slika 18.

Sustav je od 1890. do 1902. god. korišten na jednoj liniji u Bernu (Švicarska), a kraće vrijeme i u gradu Wantage (UK), te od 1881. do 1883. god. u Londonu. Zbog znatnih tehničkih problema i ekonomskih razloga, tramvaji na komprimirani zrak nisu ušli u širu primjenu.

2.4 Tramvaj s benzinskim i diesel motorima



Sl. 19. Tramvaj na benzinski pogon u Stockholmu (Švedska), 1920. god.

Izumom motora s unutarnjim izgaranjem, pojavile su se ideje korištenja benzinskog i kasnije diesel motora za pogon tramvaja. Tramvaji na benzinski pogon prometovali su, npr., u Hastingsu (UK), na jednoj liniji u Stockholmu (Švedska), slika 19, te na nekim linijama u Karačiju (Pakistan).

Tramvaj s diesel-električnim motorima prometuje u Galvestonu (Tek-

sas, SAD), gdje je uveden zbog čestih uragana koji su uzrokovali velike štete na kontaktnoj mreži gornjeg voda.

2.5 Tramvaj s ljudskom vučom

Kao kuriozitet treba spomenuti manji broj tramvaja, u upotrebi do 1930. god. u gradu Osaki (Japan), koji su vukli ljudi, slično rikšama, slika 21

Na Tasmaniji (Australija) linija tramvaja s ljudskom vučom, tzv. „kažnjenički“ tramvaj, otvorena je 1836. god. u dužini 8 km kao alternativa tada opasnom putovanju morem od Hobarta do Port Arthura. Vukli su je osuđeni iz kažnjeničkog naselja Port Arthur, Tasmanija. Prema većini zapisa, bio je to prvi tramvaj za prijevoz putnika ali i robe u Australiji, a kretao se je po drvenim tračnicama! Zatvaranje linije nije poznato, no dogodilo se sigurno prije 1877. god.



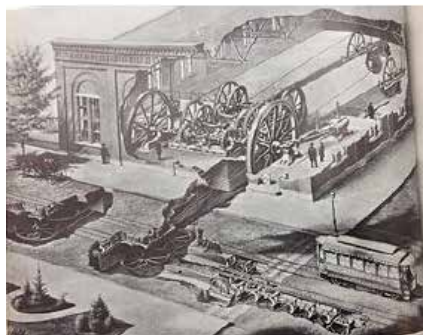
Slika 20: Tramvaj s diesel-električnom vučom, Galveston (Teksas, SAD)



Sl. 21. Tramvaj s ljudskom vučom

3 TRAMVAJ NA POGON VUČNIM UŽETIMA

Krajem 19. st. u mnogim gradovima svijeta, kao zamjena za konjsku vuču ili u slučaju izgradnje novog tramvajskog sustava, kao pogonsko sredstvo koristila su se vučna čelična užeta s centralnom strojarnicom, slika 22. Čelična užeta besprekidno se gibaju jednolikom brzinom (kao npr. beskonačna traka), a tramvajska kola pokreću se i zaustavljaju korištenjem za tu svrhu razvijenog mehanizma sa stegom za efikasno hvatanje i otpuštanje kabela.



Sl. 22. Centralna parna strojarnica vučnih užeta u Baltimoru (SAD) krajem 19. st. (slika lijevo) i moderna električna strojarnica u San Franciscu (SAD) (slika desno)

Usavršavanjem i širokom primjenom parnog stroja krajem 19. st., ovakav pogon, iako zahtjevan u pogledu izgradnje, izgledao je prihvatljiviji od tramvaja s parnom vučom.

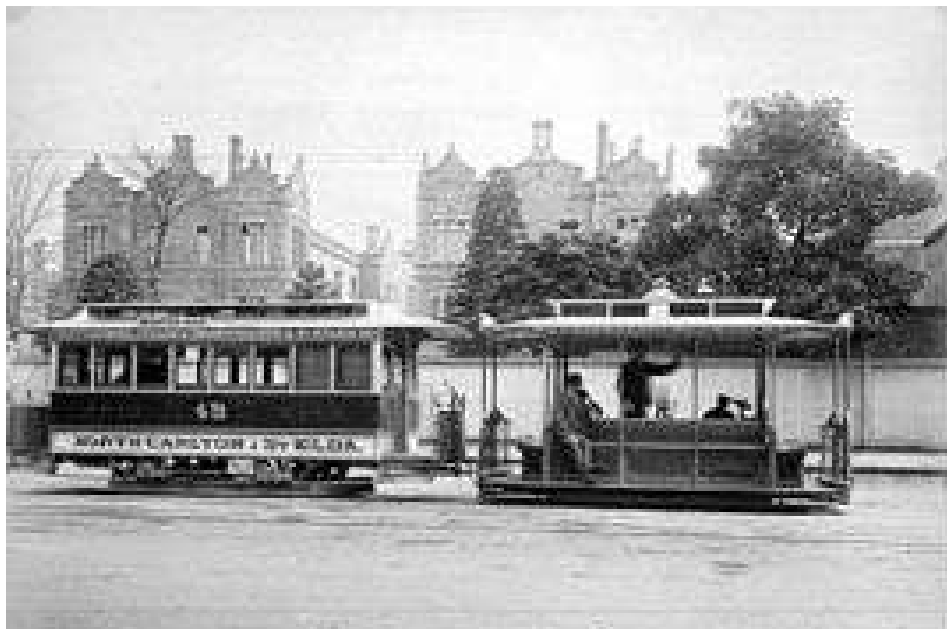
Prvi tramvajski sustav s vučnim užetima izgrađen je i pušten u promet 1873. god. u San Franciscu (SAD) i u prometu je sve do našeg vremena, uglavnom kao turistička atrakcija, slika 23. Parna strojarnica je u periodu između 1912. i 1926. god. postepeno elektrificirana.



Sl. 23. Tramvaj s pogonom vučnim užetima u San Franciscu (SAD) nekad (1877. god.) i danas

Do kraja 19. st. tramvajski sustav s vučnim užetima i centralnom strojarnicom pokretanom parnim strojem, uvelo je niz svjetskih gradova, kao što su:

- 1881. – 1957. god. Dunedin (Novi Zeland);
- 1885. – 1940. g. Melburn (Australija), najveći takav sustav u svijetu,
- 1886. – 1900 god. i 1892. – 1905. god. dvije linije u Sydneyju (Australija);



Sl. 24. Tramvaj s pogonom vučnim užetima u Melburnu (Australija)

- 1885. – 1889. god. i 1886. – 1898. god. dvije linije u Los Angelesu (SAD);
- 1882. – 1906. god. Čikago (SAD);
- 1885. – 1908. god. Kansas City (SAD);
- 1892. – 1929. god. Otok Man (UK);
- 1902. – danas Great Orme Tramway, Llandudno (Wales, UK) – najstariji takav sustav u UK, danas turistička atrakcija, slika 25 i dr.



Sl. 25. Tramvaj s pogonom vučnim užetima, Llandudno (Wales, UK)

Razvojem efikasnih tramvajskih elektromotornih pogona te s obzirom na skupu infrastrukturu potrebnu za razvod vučnih užeta ispod tramvajskih pruga iz centralne strojarnice, sustavi s vučnim užetima postepeno su ukidani u javnom gradskom prijevozu, ustupivši mjesto električnim tramvajima.

Sustav centralne strojarnice s vučnim užetima zadržao se i dalje se razvija kao efikasan za pokretanje uspinjača te automatskih tračničkih vozila za prijevoz putnika u zračnim lukama (slika 26), zabavnim parkovima, odmaralištima i rekreacijskim centrima, kampusima i sl.

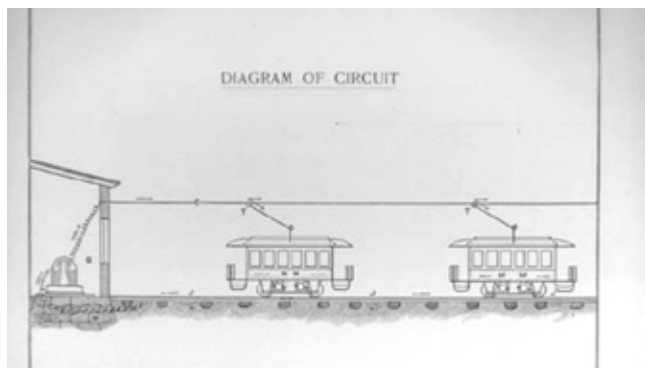


Sl. 26. Moderna automatska vozila s pogonom vučnim užetima

4 ELEKTRIČNI TRAMVAJ

4.1 Od Volte do Siemens

Ubrzani razvoj i primjena tramvaja s elektromotornim pogonom, električnog tramvaja, počinje u zadnjem kvartalu 19. st. Zamah razvoju električnih vozila općenito, dao je izum istosmjernog električnog motora šezdesetih godina 19. st. No do tog su trenutka prošla stoljeća stjecanja spoznaja o elektricitetu kao pojavi i njegovim efektima. Kao temelj uspješ-



Sl. 27. Davenportov prikaz električnog tramvaja

nog eksperimentiranja i razvoja znanosti o elektricitetu, treba istaknuti izum talijanskog fizičara Alessandra Volte koji je 1800. god. konstruirao prvi izvor dinamičkog elektriciteta, njemu u čast nazvan Voltin stup. Podsjetimo se samo najvažnijih izuma i postignuća na području elektromagnetizma u 19. st. koji su omogućili konstrukciju rotacijskih strojeva ali i do tada neslućeni razvoj svih područja elektrotehnike i posljedično industrije, elektromedicine i komunikacija, uz intenzivan utjecaj na svakodnevni život i standard ljudi koji traje do naših dana i ne vidi mu se kraj:

- 1800. god. talijanski fizičar Alessandro Volta konstruira galvanski članak ili Voltin stup;
- 1820. god. danski fizičar i kemičar Hans Christian Ørsted otkriva međuovisnost elektriciteta i magnetizma;
- 1820. god. francuski fizičar, kemičar i matematičar André-Marie Ampère otkriva privlačenje odnosno odbijanje paralelnih vodiča protjecanih strujom istog ili suprotnih smjerova, čime postavlja temelje elektrodinamike - Amperéov zakon;
- od 1827. god. mađarski izumitelj i inženjer Ányos István Jedlik eksperimentira s rotirajućim elektromagnetima i radi na razvoju istosmjernog motora i dinamo stroja;
- 1831. god. engleski kemičar i fizičar Michael Faraday otkriva elektromagnetsku indukciju, što se je pokazalo kao epohalno otkriće u daljnjem razvoju elektrotehnike, te predstavlja preteču istosmjernog elektromotora, prvi u Europi;
- 1832. god. francuski izumitelj Hippolyte Pixii konstruira preteču dinamo stroja;
- 1832. god. engleski fizičar i izumitelj William Sturgeon konstruira elektromotor s komutatorom i rotirajućim magnetima;
- 1934. god. američki izumitelj i kovač Thomas Davenport predstavio je istosmjerni motor napajan iz baterije i idejni prikaz njegovog korištenja za pokretanje tramvaja (tada nazvanih ulično vozilo, engl. streetcar), slika 27;
- 1834. god. prusko-ruski inženjer i fizičar Moritz Hermann von Jacobi konstruira elektromotor napajan iz baterije;
- 1860. god. talijanski fizičar Antonio Pacinotti izumio je poboljšanu verziju dinamo stroja i otkriva da se isti može koristiti kao motor;
- 1871. god. belgijski elektroinženjer Zénobe Théophile Gramme izumio je, po njemu nazvan, Grammeov stroj, tip istosmjernog dinamo stroja koji je mogao generirati kvalitetniji i znatno viši istosmjerni napon nego tada poznati dinamo strojevi;
- 1873. god. Z.T. Gramme i francuski elektroinženjer Hippolyte Fontaine otkrivaju

da se Grammeov dinamo stroj može koristiti kao motor, puno veće snage nego tada poznati elektromotori.

Moderni dinamo stroj primjenjiv u industriji razvili su i patentirali neovisno jedan od drugoga: Samuel Alfred Varley 1866. god. te Ernst Werner von Siemens i Sir Charles Wheatstone 1877. god.

Davenportov električni tramvaj jedna je od prvih ideja korištenja električne energije u praktične svrhe, međutim je nedostajao odgovarajući izvor električne energije. Izum i patentiranje primjenjivog dinamo stroja, odnosno generatora istosmjerne struje kao stabilnog izvora električne energije zadovoljavajućih parametara, snage i napona, dao je zamah korištenju električne energije u industriji i razvoju električne vuče općenito.

4.2 Tramvaj s akumulatorima kao izvorom napajanja

Do izuma u praksi primjenjivog istosmjernog generatora, u periodu između osamdesetih i devedesetih godina 19. st. bilo je pokušaja korištenja olovnih akumulatora kao izvora napajanja elektromotora tramvaja. Međutim, zbog nedovoljnog kapaciteta i velikih dimenzija i mase ranih akumulatora, ovi pokušaji ostali su na razini ideja i ponekih praktičnih izvedbi. Tako su prvi tramvaji u Bendingu (Australija) 1892. god. imali elektromotorni pogon s napajanjem iz akumulatora, no unutar tri mjeseca su bili zamijenjeni konjskim tramvajem. Prvi tramvaj s akumulatorima (aku-tramvaj) kao izvorom napajanja u Nizozemskoj, prometovao je na liniji između Den Haaga i Scheveningena od 1890. do 1904. god. kada je zamijenjen klasičnim električnim tramvajem. U Gentu (Nizozemska) aku-tramvaj je prometovao od 1899. do 1907. god. Aku-tramvaji korišteni su i na nekim kraćim linijama u New Yorku (SAD). I zagrebačko Društvo je 1892. god. razmišljalo o uvođenju akumulatorski napajanog električnog pogona u tramvaje, no ta ideja nije zaživjela. Ne tako davno, tijekom pedesetih godina 20. st., aku-tramvaji su prometovali na liniji između Milana i Bergama (Italija).

Razvojem tehnologije akumulatora i elektromotornih pogona, u novije vrijeme ponovo se razmišlja o aku-tramvajima. Tako je, npr., 2007. god. u Nici (Francuska) otvorena kraća linija u centru grada na kojoj prometuju aku-tramvaji, a u Nanjingu (Kina) aku-tramvaji prometuju od 2014. god. Charlotte City (SAD) nabavio je 2016. god. hibridne električne tramvaje s akumulatorima za pogon na dijelovima pruge bez kontaktne mreže u centru grada, slika 28, akumulatori se pune tijekom napajanja iz kontaktne mreže (gornjeg voda).

Tehnologija korištenja akumulatora kao jedinog ili alternativnog izvora napajanja i dalje se razvija kao jedna od inačica električnog tramvaja, poglavito za promet gradskim centrima i povijesnim jezgrama s ciljem izbjegavanja izgradnje nadzemne kontaktne mreže gornjeg voda.



Sl. 28. Moderni niskopodni električni tramvaj s akumulatorima kao dodatnim izvorom napajanja

4.3 Električni tramvaj u svijetu

Začetak električnog pogona vozila napajanog iz vanjskog električnog izvora (mreže) može se smatrati mala sajamska električna željeznica za prijevoz posjetitelja, koju je na trgovačkoj izložbi u Berlinu 31.5.1879. god. predstavila tvrtka Siemens & Halske, slika 29., s kružnom prugom kroz izložbeni prostor dužine oko 300 metara. Strojovođa je sjedio na lokomotivi koja je vukla

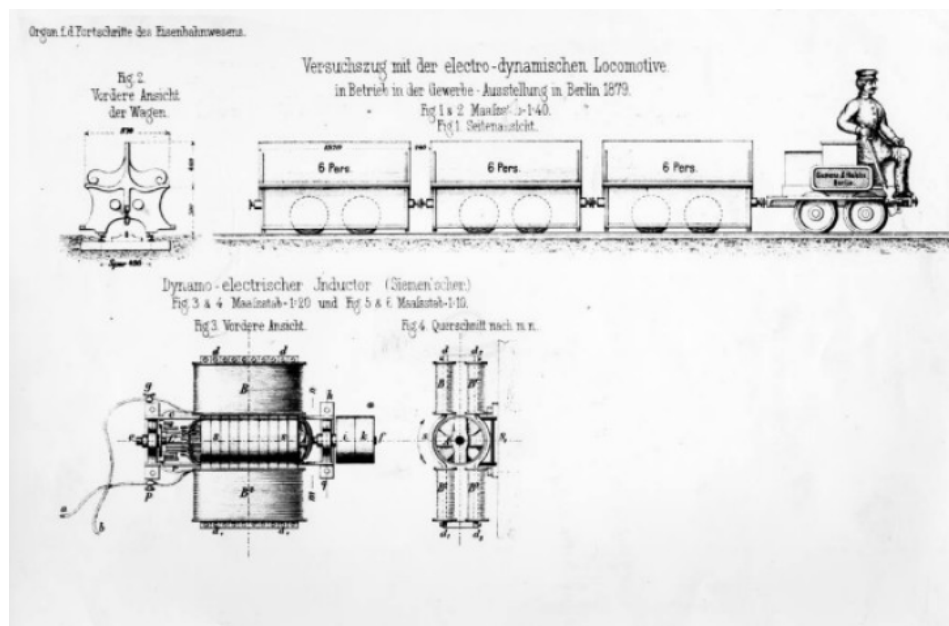


Sl. 29. Mala Siemens & Halske električna željeznica na trgovačkoj izložbi u Berlinu 1879. god.



tri mala vagona, svaki sa šest putnika. Bio je to prvi, uspješno predstavljeni električni vlak u svijetu, bio je spektakl i atrakcija izložbe te polučio neočekivani uspjeh, čak i za Siemensu kome je to bio probni model. Tijekom četiri mjeseca trajanja izložbe preveo je više od 86.000 putnika uz donaciju 20 pfenniga za dobrotvorne svrhe!

Snaga motora iznosila je 3 KS, a napajanje električnom energijom bilo je riješeno istosmjernim naponom 150 V preko izoliranog čeličnog profila položenog između tračnica, uz povrat struje preko obje tračnice, a kretao se je brzinom konjskog tramvaja (oko 7 km/h), Slika 30.



Sl. 30. Nacrt Siemens & Halske sajamske električne željeznice iz 1879. god.

Nakon uspjeha male sajamske električne željeznice, ništa više nije moglo zaustaviti intenzivni razvoj električne vuče, poglavito električnih tramvaja koji su se nametnuli kao najkvalitetnije rješenje javnog prijevoza u gradovima u usporedbi s konjskom i parnom vučom te pogonom vučnim užetima.

Godine 1880., Werner von Siemens je pokušao od gradske uprave dobiti koncesiju za izgradnju prve tramvajske linije u Berlinu, no zbog protesta ne samo onih koji su živjeli duž predložene rute, bio je odbijen, pa projekt nije mogao biti realiziran.

Godinu dana nakon izložbe u Berlinu, ukrajinski inženjer i izumitelj Fyodor Pirotsky je u Sestroretsku kod St. Peterburga (Rusija) preuredio konjski tramvaj u električni, napajan iz Grammeovog dinamo stroja, koji je, kao prvi prototip električnog tramvaja pušten u eksperimentalni promet 3.9.1880. god., što je dakako izazvalo proteste vlasnika konjskog tramvaja. Eksperimente s električnim tramvajem izvodio je na željezničkim tračnicama (na tzv. Milerovoj liniji između Beloostrova i Sestroretska), slika 31. Obje tračnice bile su izolirane, pri čemu je jedna služila kao dolazni (kontaktni), a druga kao povratni vod. Zbog nedostatka novca za daljnji razvoj svog eksperimenta, ovaj tramvaj je prometovao samo do kraja rujna 1880. god., no pobudio je zanimanje širom svijeta.

Godine 1881. Werner von Siemens je dobio na korištenje probnu dionicu izvan grada, u bogatom predgrađu Berlina Gross-Lichterfelde. Tamo je još postojao dio pruge koja se koristila 1870. god. za prijevoz materijala na gradilište vojne akademije koju je Siemens rekonstruirao za potrebe tramvaja. Tako je, stjecajem čudnih okolnosti, izgrađen prvi komercijalni električni tramvaj na svijetu. Svečano otvorenje i preuzimanje nakon uspješnog ispitivanja upriličeno je 12.5.1881.

god., a redoviti promet započeo je 16.5.1881. god. Pruga dužine oko 2,45 km, širine kolosijeka 1 m, povezivala je stanicu Lichterfelde s vojnom akademijom. Od prvog dana redovnog prometa tramvaj je bio veliki uspjeh: samo u prva tri mjeseca prevezao je 12.000 putnika. Tvrtka Siemens & Halske izgradila je prugu o vlastitom trošku. Tri tramvaja s konjskom vučom preuredili su u električne tramvaje, slika 32. Tri dvoosovinska tramvaja, svaki s po 16 sjedala, mogla su prevoziti gotovo 50 ljudi. Svaki tramvaj je imao istosmjerni motor snage 5 KS, napona 180 V. Struja je vođena tračnicama izoliranim drvenim ulošcima, pri čemu je jedna bila dolazni, a druga povratni vod. Na križanjima s cestom, tračnice su bile izolirane i bez napona. Elektromotor je struju preuzimao putem kliznog kontakta i drvenih kotača sa željeznim obručem. Tramvaji su postizali brzinu od oko 20 km/h. Kao izvor napajanja služio je generator pogonjen parnim strojem montiranim uz stanicu.



Sl. 31. Mjesto na željezničkoj pruzi gdje je Pirotsky ispitao prvi električni tramvaj



Sl. 32. Prvi komercijalni električni tramvaj na svijetu u Lichterfeldeu, Berlin (lijevo) i ploča u spomen prvom električnom tramvaju na svijetu (desno)



Napajanje električnog tramvaja putem dviju tračnica nije se pokazalo kao dobro rješenje zbog opasnosti za ljude i konje od strujnih udara te čestih kvarova uslijed kratkih spojeva, pa se takvo rješenje ubrzo napušta. Godine 1891. tramvaj je opremljen bipolarnim gornjim vodom, slika 33, a linija je produžena do stanice Berlin-Lichterfelde zapad. Uz nekoliko dodatnih proširenja, u prometu je ostala do 1931. god.



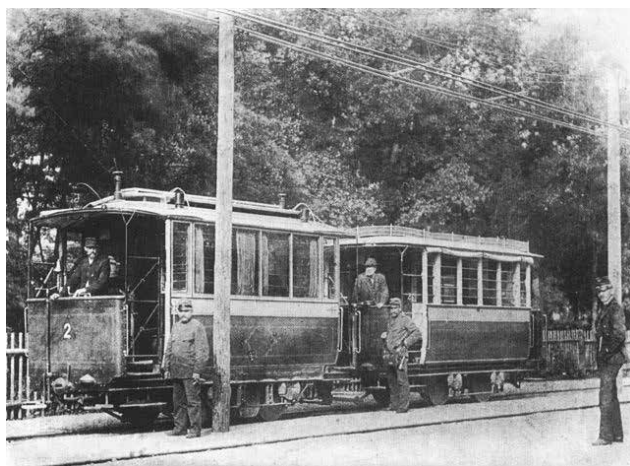
Sl. 33. Tramvaj u Lichterfeldeu, Berlin, opremljen za napajanje iz gornjeg voda

Ovdje treba napomenuti da se je, zbog navedene neprikladnosti i nepraktičnosti korištenja tračnica kao polova izvora napajanja, kratko vrijeme u tramvajskim sustavima koristio gornji vod s dvije međusobno izolirane žice (bipolarni gornji vod), slično trolejbusu, što se zbog tehničkih i estetskih razloga isto nije dugo održalo. Prvi tramvaj s bipolarnim gornjim vodom pušten je u promet na liniji Mödling - Hinterbrühl (Austrija), slika 34. Bipolarni gornji vod zamijenjen je jednostrukim 1903. god. Nakon primjene u SAD oko 1891. god. današnjeg sustava za

vođenje električne struje, tj. gornji vod s jednom žicom kao plus pol i tračnice kao povratni vod, odnosno minus pol, ovaj sustav, s različitim oblicima oduzimača struje (klizni sklop preko kojeg je motor priključen na gornji vod kontaktne mreže), počinje se koristiti širom svijeta.

Nakon uspjeha u Berlinu, električni tramvaj ubrzano u promet uvođe mnogi gradovi svijeta, nabrojimo samo neke:

– 1883. god. prvi električni tramvaji u Austriji (Mödling - Hinterbrühl), slika 34, Engleskoj (Brighton – u prometu do naših dana) i Kanadi (Toronto);



Sl. 34. Prvi tramvaj u Austriji (Mödling-Hinterbrühl), prvi na svijetu s gornjim vodom, napon 550 V istosmjerno

- 1884. god. prvi komercijalni električni tramvaj u SAD (Cleveland, Ohio);
- 1885. god. prvi električni tramvaji u Blackpoolu (UK), Münchenu (Njemačka) i Sarajevu (BiH);
- 1886. god. američki pomorski časnik i izumitelj Frank J. Sprague („otac električne vuče”) predstavlja neiskreći elektromotor konstantne brzine s regenerativnim kočenjem – prvi praktični i pouzdani motor za električnu vuču;
- 1887. god. prvi električni tramvaj u Budimpešti (Mađarska);
- 1888. god. pušten u promet Spragueov tramvaj u Richmondu, Virginia (SAD);
- 1888. god. prvi električni tramvaj u Melburnu (Australija) sa Spragueovim sustavom;
- 1891. god. prvi električni tramvaj u Pragu (Češka), slika 35, slika 36;



Sl. 35. Električni tramvaji Praga (Češka) s početka 20. st. – putnički (lijevo) i teretni (desno)



Sl. 36. Otvoreni električni tramvaj u Pragu (Češka) iz 1913. god. za prigodne i turističke vožnje

- 1891. god. prvi električni tramvaj u Galvestonu (Texas, SAD);
- 1892. god. prvi električni tramvaj u Kijevu (Ukrajina, tadašnje Rusko carstvo);
- 1894. god. prvi električni tramvaji u Beogradu (Srbija), Bukureštu (Rumunjska), St. Peterburgu (Rusija), Hamburgu (Njemačka);
- 1895. god. prvi električni tramvaj u Rimu (Italija) i Münchenu (Njemačka);
- 1895. god. prvi električni tramvaj u Japanu (Kyoto);
- 1897. god. prvi električni tramvaj u Beču (Austrija) i Subotici (Srbija), slika 37;
- 1900. god. prvi električni tramvaji u Brnu (Češka), Trstu (Italija), Barceloni (Španjolska), Amsterdamu (Nizozemska), Helsinkiju (Finska);
- 1901. god. prvi električni tramvaji u Ljubljani (Slovenija), slika 37, Lisabonu (Portugal), Stockholmu (Švedska) itd.



Sl. 37: Električni tramvaji na razglednicama Ljubljane (Slovenija), 1913. god. (lijevo) i Subotice (Srbija) 1914. god. (desno)

Do pojave autobusa i trolejbusa, tramvaj je bio jedino površinsko prometno sredstvo masovnog javnog prijevoza putnika u gradovima.

Izgradnjom i širenjem kvalitetne cestovne mreže u gradovima te usporednim razvojem automobilske industrije i usavršavanjem autobusa, na ulicama gradova se sve više koriste nova, udobna prijevozna sredstva: autobus i njegova električna inačica trolejbus, kao zamjena za tramvaj. Bili su brži i udobniji i nisu zahtijevali skupu infrastrukturu. Naročito trolejbus s pogonom na električnu struju te vožnjom bez buke počinje naglo konkurirati i istiskivati „stari tramvaj“ iz gradskog prometa. U tom razdoblju se čak pomišljalo da će tramvaj biti posve zamijenjen trolejbusom, a tramvaji i tramvajska infrastruktura – tračnice i kontaktna mreža – su nestali s ulica mnogih gradova svijeta. Uvođenje trolejbusa u javni gradski prijevoz nije, međutim, masovno

zaživjelo, s obzirom na sve nedostatke preuzete od tramvaja (potrebna električna infrastruktura gornjeg voda) i autobusa (gume; mnogo kraći vijek trajanja od tramvaja).

Tramvajska infrastruktura postala je zastarjela i kao takva bila jedan od argumenata zagovornicima uvođenja autobusa i trolejbusa. Tendencija zamjene tramvaja autobusima bila je pogotovo prisutna u SAD, gdje su proizvođači autobusa nastojali preuzeti primat u gradskom prometu. Ukidanje tramvaja često je uvjetovao i stečaj prometnog poduzeća kada su troškovi premašili prihode zbog pada broja putnika na račun autobusa. Tramvaji su gotovo u potpunosti istisnuti s ulica Francuske i UK, a u potpunosti u Irskoj, Danskoj, Španjolskoj te djelomično ili u potpunosti u mnogim gradovima svijeta, osobito SAD-a.

Pojavom te snažne konkurencije, proizvođači tramvaja i prometni stručnjaci poučeni prometnim i gospodarskim iskustvom počinju intenzivno tehnički modernizirati „stari tramvaj“, slika 38. Modernizacija se uglavnom sastoji od povećanja prostora i udobnosti za putnike, povećanja brzine, usavršavanja sustava komandi i kočenja, smanjenja buke kod vožnje i sl. Za razliku od gradova koji su napuštali tramvaj, u nizu zemalja se pristupilo rekonstrukciji i modernizaciji tramvajske infrastrukture i modernizaciji tramvaja, osobito u Njemačkoj, Češkoj, Švicarskoj, Austriji, Belgiji, Portugalu, Švedskoj, Japanu, Rusiji itd.



Sl. 38. Modernizirani tramvaji s početka 1950. – ih godina, minhenski (lijevo) i praški (autor s „vršnjakom“ u praškom Muzeju tramvaja, desno)

Zanimljivo je spomenuti da su u mnogim svjetskim gradovima, npr. Berlinu te poglavito gradovima u UK i gradovima u zemljama pod njihovom dominacijom (Johanesburg, Aleksandrija, Hong Kong i dr.) prometovali, a negdje još prometuj, tramvaji na kat,



Sl. 39. Tramvaji na kat u gradovima UK

Krajem 20. i početkom 21. st. masovna upotreba osobnih automobila i sve veća gustoća naseljenosti dovode do sve većih prometnih gužvi i problema s parkiranjem, poglavito u velikim gradovima, uz popratno sve veće zagađenje zraka ispušnim plinovima. Istovremenim spoznajama o klimatskim promjenama te s ciljem smanjenja emisija stakleničkih plinova i onečišćenja zraka u gradovima, električni tramvaj se, kao ekološko vozilo, ponovo nameće kao rješenje masovnog javnog prijevoza i doživljava renesansu. U velikim gradovima tramvaj je integriran u sustav javnog prijevoza u kombinaciji s podzemnom i prigradskom željeznicom te autobusima na prigradskim linijama.

Zahvaljujući brzom i intenzivnom razvoju na poljima elektrotehnike i strojarstva te numeričkih sustava informiranja putnika, moderni niskopodni električni tramvaji su uvedeni u mnoge gradove, u neke nakon više desetljeća od njihovog ukidanja. Tako je München (Njemačka) nakon višegodišnjeg prekida razvoja tramvaja, 1994. god. uveo u promet moderne niskopodne tramvaje uz daljnji razvoj i proširenje tramvajske mreže, slika 40.



Sl. 40. Generacije niskopodnih tramvaja u Münchenu (Njemačka)

Početak 21. st., s ciljem poboljšanja urbanog života, smanjenja cestovnog prometa i emisija koje stvara, moderne niskopodne tramvaje u promet uvode praktički svi svjetski gradovi s postojećom ili novoizgrađenom tramvajskom mrežom, neki od kojih su prikazani na slika 41, slika 42 i slika 43., za gradski i prigradski, uglavnom nadzemni, ali na dijelovima trasa po potrebi i podzemni promet. Niskopodne tramvaje za grad Liepaja (Latvija), slika 43, isporučila je hrvatska tvrtka Končar.



Sl. 41. Moderni niskopodni tramvaji u Pragu (Češka), lijevo i Grazu (Austrija), desno



Sl. 42. Moderni niskopodni tramvaji u Helsinkiju (Finska) i Melburnu (Australija)



Sl. 43. Moderni niskopodni tramvaji u Liepaji (Latvija), lijevo i Osaki (Japan), desno

Usavršavanjem tehnologije inteligentnih autonomnih vozila, unazad nekoliko godina, pojavili su se prvi inteligentni autonomni tramvaji opremljeni numeričkim sustavima upravljanja i sigurnosnim senzorskim, radarskim i video sustavima koji omogućuju kretanje bez vozača u svim vremenskim uvjetima, što predstavlja novu revoluciju u razvoju i korištenju tramvaja u javnom gradskom prometu.

Godine 2018. tvrtka Siemens je na najvećem svjetskom sajmu prometne tehnologije, InnoTrans u Berlinu prikazala autonomni tramvaj bez vozača, slika 44., proizveden u suradnji s tvrtkom ViP Verkehrsbetrieb Potsdam GmbH.



Sl. 44. Siemensov inteligentni autonomni tramvaj

Tramvaj je ispitivan bez putnika na pruzi dužine 6 km koja prelazi nekoliko mirnih ulica sa i bez semafora u Potsdamu, predgrađu Berlina. Komercijalna upotreba autonomnog tramvaja u redovitom prometu planira se za 2026. god.

Autonomni tramvaj bez vozača ispituje i tvrtka PC Transport Systems and Cognitive Technologies s tramvajem proizvedenim u suradnji s Transmashholding u Moskvi (Rusija). Probne vožnje izvodit će se bez putnika, a ukoliko sva ispitivanja prođu uspješno, prva komercijalna upotreba najavljena je za 2022. god.



Sl. 45. Moskovski inteligentni autonomni tramvaj

Prvi svjetski autonomni tramvaj s pohranom energije za korištenje u zračnim lukama i sustavima podzemne željeznice opremljen superkondenzatorima velikog energetske kapaciteta predstavila je tvrtka CRRC Zhuzhou Locomotive Co Ltd. iz Kine, slika 46. Tramvaj ima sedam vagona i može prevoziti 500 putnika. Punjenje superkondenzatora izvedivo je unutar 30 s. Tramvaj postiže brzinu od 70 km/h.



Sl. 46. Autonomni tramvaj CRRC Zhuzhou Locomotive Co Ltd.

U novije vrijeme eksperimentira se i s vodikovim gorivim ćelijama i akumulatorima kao izvorom električne energije za napajanje tramvajskih motora, bez kontaktne mreže, pa i kao autonomnog vozila bez vozača. Prvi takav tramvaj je prikazan 2015. god. u Qingdaou (Kina). Na razvoju „vodikovog“ tramvaja (od engl. *hydrogen tram*) radi se i u Rusiji, pa je tako prototip prikazan i ispitan 2019. god., u St. Peterburgu, gradu u kojem je demonstriran i prvi električni tramvaj 1880. god. Prva komercijalna linija u svijetu s „vodikovim“ tramvajima otvorena je krajem 2019. god. u gradu Foshanu (Kina), slika 47, lijevo, a firma Hyundai Rotem iz Južne Koreje planira u komercijalnu upotrebu staviti svoj „vodikov“ tramvaj, slika 47, desno, tijekom 2023. god.



Sl. 47. Tramvaji s pogonom na vodikove gorive ćelije

Na razvoju prototipa prvog europskog „vodikovog“ tramvaja, planiranog do 2025. god., radi i njemačka firma HeiterBlick iz Leipziga u suradnji s firmama Hörmann Vehicle Engineering (Chemnitz) i Flexiva Automation & Robotik (Amtsberg).



Sl. 48. Prikaz prototipa prvog europskog “vodikovog” tramvaja

4.4 Električni tramvaj u Hrvatskoj

Električni tramvaj u pojedinim hrvatskim gradovima, tada u sastavu Austro-Ugarske monarhije odnosno Italije, uveden je u promet paralelno s razvojem električnog tramvaja u ostalim dijelovima Europe i svijeta, kronološkim redom:

- 1899. god. u Rijeci, prvi u Hrvatskoj, u prometu do 1952. god.;
- 1904. god. u Puli, u prometu do 1934. god.;
- 1908. god. u Opatiji, u prometu do 1933. g., tramvaji su prodani Ljubljani;
- 1910. god. u Dubrovniku, u prometu do 1970. god.;
- 1910. god. u Zagrebu, u kontinuiranom prometu;
- 1926. god. u Osijeku, u kontinuiranom prometu.

Električni tramvaj u Rijeci

Prvi sustav električnog tramvaja u Hrvatskoj je izgrađen u Rijeci, samo dvije godine nakon Beča. Još 1892. god. Riječka općina je raspisala javno nadmetanje za izgradnju tramvaja za prijevoz putnika i robe te prihvaća ponudu baruna Oscara Lazzarina, koji se je, između ostalih javio na nadmetanje, uz uvjet da umjesto konjskog tramvaja odmah uvede električni tramvaj. Barun je osnovao Anonimno društvo za riječki električni tramvaj koje s Riječkom općinom sklapa Ugovor o izgradnji i prometu električnog tramvaja u gradu Rijeci 1896. god. uz koncesiju na 50 god. Tramvaj je u javni gradski promet pušten je 7.II.1899. god. u 6 sati ujutro, na liniji od mosta na Riječini, duž Fiumare, do zadnje stanice Pioppi s jednotračnom prugom dužine oko 4 km. Napajanje električnom energijom osigurano je iz centrale u neposrednoj blizini tramvajske remize na Školjiću. Društvo je raspolagalo s osam tramvajskih kola. Jedna tramvajska kola mogla su prevesti 28 putnika, imala su kapacitet 16 sjedećih i 12 stajaćih mjesta, slika 49. Cijena vozne karte je bila 10 solda. Do tada se javni prijevoz putnika odvijao kočijama i omnibusima s konjskom vučom koji su mogli prevesti do deset putnika. Rijeka je tada bila grad s nešto manje od 40.000 stanovnika s tendencijom ubrzanog rasta i razvoja. Tramvajska pruga je 1907. god. produžena od mosta na Riječini do Školjića te od stanice Pioppi do brodogradilišta Danubius (današnji 3. maj). Jednotračna pruga pokazala se nedostatnom te 1914. god. počinje izgradnja dvokolosične pruge, koja je zbog rata dovršena tek 1921. god.



Sl. 49. Riječki električni tramvaj s početka 20. st.

Zanimljivo je spomenuti da su natpisi na tramvajima bili dvojezični, na talijanskom i mađarskom jeziku, bez hrvatskog, što je uzrokovalo nezadovoljstvo i rezultiralo višednevnim demonstracijama, nakon čega su, 17.II.1899. god., navedeni dvojezični natpisi povučeni.

Električni tramvaj je u Rijeci prometovao do lipnja 1952. god. kada je zamijenjen trolejbusom, o čijem uvođenju u promet umjesto tramvaja se počelo razmišljati

još 1935. god. Trolejbus je u Rijeci ukinut 1969. god., kada su u prometu ostali samo autobusi. Današnja tvrtka javnog gradskog prijevoza u Rijeci, Autotrolej, baštini povijest Anonimnog društva za riječki električni tramvaj.

Električni tramvaj u Puli

Pet godina nakon Rijeke, električni tramvaj, simbol novog vremena, uveden je 1904. god. u Puli, tada važnoj pomorskoj bazi Austro-Ugarske mornarice. Pula je na prijelazu između 19. i 20. st. imala oko 60.000 stanovnika s intenzivnim razvojem industrije i pomorske važnosti te rastom stanovništva, pa postojeći prijevoz putnika kočijama nije više bio dostatan.

Početak radova na izgradnji dviju linija tramvajske pruge, Ministarstvo željeznica Austrije odobrilo je 1897. god. inženjeru Rudolfu Urbanitzkyju. Radovi na izgradnji započeli su 1902. god. Nakon probne vožnje 15.2.1904. god., tramvaj je svečano pušten u promet 24.3.1904. god., slika 50 i postao ponosom grada. Početna stanica bila je na željezničkom kolodvoru. Jedna linija vodila je uz Rivu i Arsenala do Nove Pule, a druga, kružna, uz Monte Casino, preko gradskog trga Giardina te uz Arenu natrag do željezničkog kolodvora. Pruga je kasnije proširena jednim krakom koji se odvajao od Arene prema Šijanskoj šumi. Ukupna dužina pruga bila je 7,1 km. Tramvajsko društvo je u početku imalo 8 zatvorenih i 4 otvorena kola, da bi kasnije proširilo vozni park na 14 motornih kola i 15 prikolica. Kapacitet tramvajskih kola je bio 40 sjedećih i 16 stajaćih mjesta. Razmak tračnica bio je identičan željezničkom.

Nakon Velikog (I. svjetskog) rata, raspadom Austro-Ugarske i potpadanje pod vlast Italije, Pula gubi značaj kako u vojnom tako i u gospodarskom pogledu. Ideje o proširenju tramvajske mreže nakon uspješnog početka prometovanja nisu realizirane. Tramvaj je Pulom prometovao do 16.4.1934. god. kada je zamijenjen autobusima.



Sl. 50. Pulski električni tramvaj s početka 20. st.

U novije vrijeme u Puli se ponovo razmišlja o uvođenju tramvaja kao udobnog, ekološkog vozila za prijevoz putnika, s ciljem rasterećenja cestovnog prometa, s obzirom na sve veće prometne gužve u centru grada, osobito ljeti, o čemu je krajem 2021. god. pisao Glas Istre.



Sl. 51. Vizualizacija novog tramvaja u Puli (Glas Istre)

Današnja tvrtka javnog gradskog prijevoza u Puli, Pulapromet, baštini povijest društva pulskog tramvaja.

Električni tramvaj u Opatiji

Opatija, koja od 1880. – ih godina bilježi intenzivni razvoj turizma, izgradnju hotela i rast stanovništva, a 1889. god. je proglašena klimatskim lječilištem Austro-Ugarske monarhije, već je krajem 19. st. razmišlja o uvođenju tramvaja, te je izrađen projekt za parni tramvaj. Projekt nije zaživio zbog bojazni da će dim i buka otjerati goste. Početkom 20. st., 1907. god. Ministarstvo željeznica Austrije izdalo je građevinsku dozvolu za izgradnju električnog tramvaja, a prvi električni tramvaj pušten je u promet već 17.2.1908. god., slika 52.



Sl. 52. Električni tramvaj u Opatiji

Izgrađena je jedna jednokolosiječna pruga dužine 12 km, s mimoilaznicama na tramvajskim stanicama. Širina kolosijeka je bila 1 m, a napon napajanja 750 V. Vlasnik je bilo dioničko društvo Abbazianer Elektricitats und Kleinbahngesellschaft iz Beča. Linija je vodila od željezničke stanice Matulji, uz hotele preko centra Opatije do Lovrana. Glavna namjena tramvaja, odnosno male električne željeznice kako su je nazivali, bila je prijevoz hotelskih gostiju od željezničke stanice Matulji do hotela, ali i prijevoz tereta do skladišta u Opatiji teretnim tramvajskim kolima. Opatija je tada imala oko 6500 stanovnika.

Nakon Velikog (I. svjetskog) rata, raspadom Austro-Ugarske i potpadanje pod vlast Italije nakon Rapalskog ugovora 1920. god., Opatija, kao grad na rubu države, gubi na značaju i stagnira uz smanjenje broja stanovnika. Zbog posljedične neren-tabilnosti, tramvajski promet je ukinut 31.3.1933. god. Tramvajska kola su prodana Ljubljani, a tračnice Siciliji.

Električni tramvaj u Dubrovniku

Samo dvije godine nakon Opatije, električni tramvaj uveden je u promet u Dubrovniku i kao moderno prijevozno sredstvo zamijenio kočije i omnibuse. Bio je to jedini tramvaj u Dalmaciji. Ideja uvođenja električnog tramvaja u javni gradski promet se pojavila nakon izgradnje i puštanje u pogon električne centrale 1901. god. Promicateljski odbor za izgradnju električnog tramvaja osnovan je 1906. god. Prijed-log za izgradnju električnog tramvaja na relaciji od luke Gruž do Dubrovnika (Pile), odnosno ishodenje koncesije od države, odbor je iznio na sjednici Općinskog vijeća 17.6.1908. god. Budući da je koncesije za izgradnju pruga izdavallo Cesarsko Kra-ljevsko Ministarstvo Željeznica, dioničko društvo za izgradnju električnog tramvaja nazvano je Dubrovačka električna željeznica (DEŽ). Izgradnja je počela 1910. god. i za samo 48 radnih dana bili su završeni radovi na ugradnji tračnica i postavljanju gornjeg voda.

Električni tramvaj je u Dubrovniku, na sveopću radost i oduševljenje građana, svečano pušten u promet 22.12.1910. god. u 10 sati. Kolosijek je bio širine 0,76 m, napon napajanja 600 V istosmjerno, a brzina kretanja na ravnom dijelu pruge 40 – 45 km/h. Dubrovnik je tada imao oko 12.000 stanovnika, uz zamjetan gospodarski razvitak.

Električni sustav (osim remize) i električnu opremu tramvajskih kola isporučilo je i izgradilo elektrotehničko poduzeće češkog izumitelja, elektroinženjera i poduzet-nika Františka Křižíka, „Křižíkovy závody“ iz Karlína (danas dio Praga), s karoseri-jama prvih pet tramvaja i zatvorenih prikolica izrađenih u tvornici „Grazer Wagonen und Maschinenfabrik“ iz Graza (Austrija), slika 53. Zanimljivo je spomenuti da je F. Křižík 1891. god. izgradio i prvi električni tramvaj u Pragu, koji je bio ujedno prvi u Češkoj. Zbog brzog razvoja turizma i porasta broja putnika, dodatna dva tramvaja

naručena su 1912. god. Križikovi tramvaji prometovali su svih 60 godina postojanja dubrovačkog tramvaja.



Sl. 53. Električni tramvaj u Dubrovniku

Tadašnje novine „Dubrovnik“ br. 92, od 16.II.1910. god. u članku pod naslovom „Dubrovačka električna željeznica“, izuzetno pohvalno su pisale o češkoj firmi, citat: *Već je skoro potpuno izvedena. Prispjela su već i kola, sve se radnje dovršuju tako, da će se započeti prometom još možda u prvoj polovici nastajnog decembra. Poduzeće električne željeznice, ugledna česka tvrtka Fr. Križik iz Praga, Karlina, nadmašila je izvedbom naše željeznice onaj dobar glas i pouzdanje, što je pretekao. Ustrajnošću u izvedbi prkosila je nepogodama vremena tako, da u određenom roku dovršuje svoje izvedbe čemu je mnogo doprinijelo i kulantno ponašanje prema liferantima i uzorno postupanje sa namještanim osobljem. Za vrijeme čitave izvedbe tvrtka Fr. Križik nije dala povoda upravi električne željeznice da se potuži ili da posreduje.*

Električni tramvaj proširen je dodatnom linijom Pile – Lapad dužine nešto više od 2 km tijekom 1928. god., a radovi su trajali samo dvadesetak radnih dana. U šezdesetim godinama 20. st., vozni park je proširen s četiri tramvaja preuzetih iz Sarajeva (BiH, tada Jugoslavija), tramvaj br. 1, slika 53, lijevo.

Zbog zastarjelosti i potrebe znatnih ulaganja u obnovu i uvođenje u promet tada popu-



Sl. 54. Vizualizacija modernog niskopodnog tramvaja u Dubrovniku

larnih autobusa, Općina Dubrovnik donijela je odluku o ukidanju tramvaja tijekom 1970./71. god. Nesreća koja se dogodila 7.3.1970. god., ubrzala je tu odluku i tramvaj je na posljednju vožnju krenuo 20.3.1970. god., kada su ga Dubrovčani ispratili s tugom u srcu i s puno lijepih riječi.

No, na krilima suvremenih tendencija rehabilitiranja tramvaja kao ekološkog vozila za masovni prijevoz putnika širom svijeta, u Dubrovniku su se pojavila razmišljanja ponovnog uvođenja tramvaja, prije svega radi smanjenja velikih prometnih gužvi u gradu s obzirom na brojnost turista, o čemu je pisao dubrovnik.net, slika 54.

Električni tramvaj u Osijeku

Nakon uspješnog uvođenja u promet konjskog tramvaja 1884. god., kao prvog tramvaja u Hrvatskoj, Osijek ga je 1926. god. zamijenio električnim tramvajem, Slika 55. Osijek tada ima oko 40.000 stanovnika. Elektrifikacija tramvaja predložena je još 1898. god., međutim zbog nesuglasica između gradske uprave i dioničkih društava za plin i tramvaj, zbog čega kasni cjelokupna elektrifikacija grada, te Velikog (I. svjetskog) rata, prvi električni tramvaj proizveden u tvornici Škoda krenuo u promet 12.12.1926. god., slika 55, lijevo, koji se danas koristi u turističke svrhe.



Sl. 55. Električni tramvaj u Osijeku

Širina kolosijeka je 1000 mm, a napon napajanja kontaktne mreže je 660 V istosmjerno. Tramvajska mreža Osijeka se trenutno sastoji od tri linije preko centra grada od kojih je jedna kružna (popularni „Kolodvorac“), ukupne dužine pruga oko 30 km na kojima prometuje 25 tramvaja. Tramvaj je u Osijeku postao tradicija, dio identiteta i jedan od simbola grada na Dravi.

Prema pisanju medija (Republika.eu i dr.), u planu je daljnje širenje i modernizacija tramvajske mreže, izgradnja nove pruge te nabava niskopodnih tramvaja sredstvima iz fondova EU, slika 56.



Sl. 56. Vizualizacija modernog niskopodnog tramvaja u Osijeku (Republika.eu)

Današnja tvrtka javnog gradskog prijevoza u Osijeku, Gradski prijevoz putnika d.o.o. (GPP), baštini povijest društva osječkog konjskog tramvaja od 1884. god., a Osijek je grad s najdužim kontinuiranim tramvajskim prometom u Hrvatskoj.

Zanimljivo je spomenuti da je 1.12.2021. god., o 235. obljetnici grada, u Osijeku organizirana (vjerojatno) prva utrka tramvaja (Glas Slavonije od 2.12.2021.), slika 57.



Sl. 57. Prva utrka tramvaja u svijetu, Osijek 1.12.2021.

Električni tramvaj u Zagrebu

Početkom 20. st. Zagreb se počeo ubrzano razvijati uz porast broja stanovnika. Pod utjecajem elektrifikacije tramvaja u drugim gradovima tadašnje Austro-Ugarske monarhije, Europe i svijeta i u Zagrebu se razmišlja o zamjeni konjskog tramvaja električnim. Tramvajsko društvo je 1906. god., nakon pregovora s gradskom općinom kao koncesionarom, izrazilo spremnost za sklapanje ugovora za gradnju električnog tramvaja. Pregovori su nastavljeni, pa je tako gradsko zastupstvo na sjednici 11.3.1907. god. donijelo zaključak na osnovu kojeg se tramvajskom društvu, temeljem ugovora, predaje uprava budućeg električnog tramvaja. Nakon daljnjih pregovora vezano na dodjelu koncesije, koje se tramvajsko društvo nije željelo odreći u korist gradske općine, konačno je došlo do nagodbe prema kojoj je tramvajsko društvo pristalo izgraditi sustav električnog tramvaja o svom trošku, uz pravo upravljanja najmanje 10 god. nakon kojeg roka bi ga gradska općina mogla otkupiti, dok bi električni tramvaj prešao u vlasništvo gradske općine bez naknade nakon 50 god. Nagodba je odobrena i gradska općina je došla u posjed koncesije za izgradnju i pogon tramvaja na neograničeno vrijeme 15.4.1909. god. Izvedba i pogon su predani novoosnovanom poduzeću Zagrebački električni tramvaj d.d. (ZET), a staro poduzeće je likvidirano.

Kao jedan od preduvjeta izgradnje sustava električnog tramvaja bila je i izgradnja električne centrale, tzv. „Munjare“, puštene u pogon 24.10.1907. god. na lokaciji tadašnjeg Gradskog vodovoda u Zagorskoj ulici (današnji nasljednik je EL-TO Zagreb).

Zagrebački električni tramvaj d.d. je radove na izgradnji pruga ugovorio s belgijskim društvom Compagnie Mutuelle de Tramways iz Bruxellesa. Radovi na cijeloj mreži su završeni 4.8.1911. god. Za cijelo vrijeme gradnje promet konjskim tramvajem nije bio obustavljen. Izgradnjom su obuhvaćene uglavnom iste pruge koje su bile u prometu konjskim tramvajem, uz proširenje pruge od Južnog kolodvora (danas Zapadni kolodvor) kroz Ilicu i Jurišićevu ulicu do Draškovićeve ulice u dvokolosiječnu, a pruga u gornjoj Ilici je produžena do Črnomerca. Također je sagrađena i kružna pruga od Kolodvorske ulice (danas Ulica Republike Austrije), Jelisavinom (danas Klaićeva ulica), Kukovićevom (danas Hebrangova ulica), Boškovićevom i Draškovićevom ulicom. Svečano puštanje u promet prvog električnog tramvaja upriličeno je 18.8.1910. god. Zagreb je tada imao oko 80.000 stanovnika.

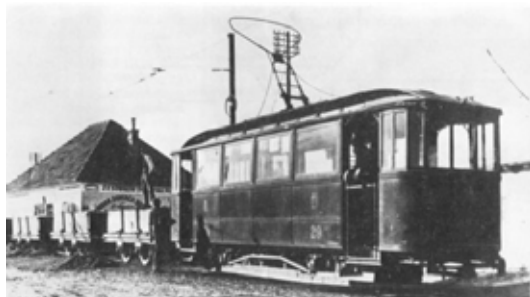
Širina kolosijeka je proširena s 0,76 m na 1 m, a napon napajanja kontaktne mreže je 600 V istosmjerno. Brzi razvoj grada i porast broja stanovnika nametnuo je potrebu proširenja tramvajske mreže, pa je tako već 1911. god. izgrađena pruga od Jelačićevog trga preko Bakačeve ulice, Nove Vesi i Gupčeve zvijezde do Mirogoja. Izgradnja novih pruga nastavlja se i između dva svjetska rata, tijekom i nakon drugog svjetskog rata, sve do naših dana, uz naznake daljnjeg širenja tramvajske mreže diktirano širenjem grada. Današnja tramvajska mreža Zagreba ima oko 116 km pruge uz prometnu dužinu oko 54 km.

Vozni park sastojao se je u početku od 28 motornih kola i 14 prikolica, slika 58. Motorna kola isporučila je tvrtka Ganz&Co. iz Budimpešte (Mađarska), a prikolice su preuzete od konjskog tramvaja i preuređene za širinu kolosijeka od 1 m te u kasnijim godinama rekonstruirane u zatvorene. Naknadno je nabavljeno još sedam motornih kola za brdsku prugu prema Mirogoju.



Sl. 58. Prvi električni tramvaji u Zagrebu

S obzirom na porast broja putnika i sve veće potrebe za povećanjem voznog parka, ubrzo nakon Velikog (I. svjetskog) rata, donesena je odluka o gradnji motornih kola i prikolica u vlastitoj radionici, za što su pripremni radovi počeli sredinom 1921. god. Prva motorna kola vlastite proizvodnje, model M-22, s dva AEG – ova motora po 30,5 kW, prema projektu Dragutina Mandla, dipl.ing., ZET je uveo u promet 2.7.1922. god., Slika 59, lijevo. Inženjeri ZET – a konstruirali su i oduzimač struje koji se u tadašnjim uvjetima pokazao boljim od inozemnih.



Sl. 59. Tramvaji proizvedeni u radionici ZET – a od 1922. god., model M-22, lijevo i M-24, desno

Kasnije proizvedeni tramvaji, legendarni model M-24, slika 59, desno, u prometu su bili do sedamdesetih godina 20. st., a i danas se koriste u turističke i prigodne svrhe.



Sl. 60. Tim stručnjaka koji su konstruirali prva dvoosovinska motorna kola, D. Mandl, dipl.ing. (u bijeloj kuti) sa suradnicima (od lijeva na desno): J. Kerin, J. Božičević, Z. Fresl, R. Kuzle, D. Kosić, S. Sklepić, Đ. Křepela, dipl.ing. i J. Ausperger, 1950. god.

S obzirom na zastarjelost i nedovoljni kapacitet postojećeg voznog parka, vlastita proizvodnja tramvaja tu nije stala i nastavljena je nakon II. svjetskog rata. Tim stručnjaka, slika 60, sastavljen od već spomenutog Dragutina Mandla, dipl.ing. kao voditelja (u bijeloj kuti) i suradnika (od lijeva na desno): J. Kerin, J. Božičević, Z. Fresl, R. Kuzle, D. Kosić, S. Sklepić, Đ. Křepela, dipl.ing. i J. Ausperger, 1950. god. konstruirao je prototip novih dvoosovinskih tramvajskih motornih kola, modela TMK-101, slika 61. Kasnijih godina su u ZET – ovim radionicama proizvedena još dva, da bi,

prema tehničkoj dokumentaciji ZET – a, proizvodnja bila prebačena u tvornicu Đuro Đaković u Slavonskom Brodu.

Bio je to prvi tramvaj domaće proizvodnje, brzine do 60 km/h. U promet je uključen 1951. god. i kako piše Jutarnji list od 11.6.2017. god., bio je to, s obzirom na niz tehničkih noviteta, „Ferrari svoga vremena“.

Model TMK-101 bio je dalje razvijan u suradnji sa stručnjacima ZET – a, pojavile su se nove inačice i modeli (TMK-200, TMK-201). U zasluženu „mirovinu“, ovaj uspješni model, popularna „stojedinica“, je otišao krajem 2008. god., no i danas se ponekad, po potrebi uključuje u promet.



Sl. 61. Prvi domaći tramvaj razvijen, uz prototip proizveden u ZET – u, popularni TMK-101 i njegov „kokpit“, serijska proizvodnja u tvornici Đuro Đaković, Slavonski Brod

Tijekom sedamdesetih godina, u zagrebački promet su uvedeni i tramvaji proizvodnje češke tvornice ČKD-Tatra, slika 62, koji su i dalje u redovnom prometu.

Narastle potrebe prijevoza putnika, uz proširenje tramvajske mreže i postepeno povlačenje iz prometa starih modela, te razvoj suvremenih niskopodnih tramvaja u svijetu, doprinijele su odluci o razvoju i proizvodnji domaćih modela s ciljem modernizacije i povećanja kapaciteta voznog parka ZET – a. Godine 2005. u promet je pušten prvi niskopodni tramvaj proizveden u suradnji zagrebačkih tvornica Končar i Gredelj, model NT-2200, slika 63, znanjem i radom domaćih stručnjaka, slično kao i davnih 1922. i 1950. god. Povijest kao da se je ponovila.



Sl. 62. Tramvaji češke tvornice ČKD-Tatra, modeli T4 i KT4



Sl. 63. Suvremeni niskopodni zagrebački tramvaji

Zaključak

Od prvog konjskog tramvaja, praktički dilažansi na tračnicama, uvedenog u promet 1807. god. u Walesu, UK, do naših dana, tramvaj je doživljavao uspone i stagnaciju, da ne kažemo padove uzrokovane razvojem motora s unutarnjim izgaranjem i pojavom autobusa.

Može se reći da je tramvaj doživljavao uspon i popularnost od pojave konjskog tramvaja do prve polovice 20. st. U tom razdoblju bilo je niz pokušaja zamjene konjske vuče novoizumljenim pogonima, prije svega parnim, koji međutim, za razliku od željeznice, zbog skupe izvedbe, dima, pare i buke nije zaživio u gradskom prometu. Nije zaživio niti pokušaj pogona na komprimirani zrak.

Od Davenportove genijalne ideje korištenja električne energije za pogon tramvaja davne 1834. god. do danas prošlo je gotovo 200 god. Tramvaj je prolazio kroz niz, više ili manje uspješnih razvojnih ciklusa, da bi prvi vrhunac razvoja dosegao krajem 19. st., izumom i razvojem električnog pogona i električnih centrala. Korištenjem električne energije iz udaljenog izvora, popularnost i razvoj tramvaja doživljava novi uzlet. „Zlatne” godine tramvaja i masovna izgradnja tramvajskih mreža bila je zadnja dekada 19. i prva polovica 20. st., od elektrifikacije centralnih strojarnica za pogon vučnim užetima do električnog napajanja preko kontaktne mreže (gornjeg voda).

Stagnaciju i pad popularnosti tramvaja događa se brзом izgradnjom kvalitetne cestovne mreže, osobito iza II. svjetskog rata te utjecajem naftne i automobilske industrije dovode do široke primjene autobusa i trolejbusa koji su prezentirani kao „jeftinija“, brža i modernija varijanta javnog prijevoza. Prestaje širenje, a dolazi i do masovnog ukidanja tramvajskih mreža u mnogim gradovima diljem svijeta na račun naoko jeftinijeg cestovnog prometa (kod nas Dubrovnik, Opatija, Pula, Rijeka).

Novi zamah korištenju i obnovi postojećih te uvođenju novih tramvajskih sustava događa se krajem 20. i početkom 21. st. Moderni niskopodni električni tramvaj, kao ekološko prijevozno sredstvo velikog kapaciteta putnika, postaje ponovo okosnica javnog gradskog prijevoza u gradovima širom svijeta, integriran u cjeloviti sustav s podzemnom i nadzemnom prigradskom željeznicom te autobusima na širem gradskom području, a negdje i s preostalim linijama trolejbusa.

S obzirom na sve veću gustoću stanovanja, masovno korištenje motornih vozila uz prometno zagušenje gradskih središta i sve veće zagađenje zraka uz emisije stakleničkih plinova, poglavito CO₂, čiji su jedan od izvora motori s unutarnjim izgaranjem, krajem 20. i početkom 21. stoljeća, tramvaj doživljava renesansu s obzirom na sljedeće prednosti:

- globalno zagrijavanje potiče na djelovanje s ciljem smanjenja emisija stakleničkih plinova, među kojima je osobito zastupljen CO₂;
- tramvaj je ekološko vozilo, dugog životnog vijeka (> 40 god.);
- razvoj brzih, modernih, niskopodnih tramvaja velikog kapaciteta putnika;
- moderni sustavi pogona, upravljanja i signalizacije;
- razvoj naprednih, dijelom još u povojima, izvedbi napajanja elektromotora iz akumulatorskih baterija, super-kondenzatora i vodikovih gorivih ćelija;
- razvoj autonomnih tramvaja bez vozača.

Električni tramvaj višestruko je „ubrzao” život, mjereći brzinu kretanja, skoro deset puta, od oko 7,5 km/h konjskog tramvaja, do više od 70 km/h modernih tramvaja i time „skratio” udaljenosti u sve prostranijim i gusto naseljenim gradskim i prigradskim četvrtima. Isto tako, više od deset puta je povećan kapacitet prijevoza putnika, od početnih dvadesetak do preko dvjesto pedeset.

Svojim dizajnom, ergonomskim i ekološkim kvalitetama, uz minimiziranje buke u prometu, suvremeni niskopodni tramvaji u potpunosti se uklapaju u urbane prostore. Korištenjem, gdje god je to moguće, kolosijeka izvan prometnica, moderni niskopodni tramvaji postižu optimalnu brzinu kretanja te uz veliki kapacitet putnika rasterećuju cestovni promet.

Širom svijeta tramvaji prevoze milione putnika brzo i sigurno, dan za danom, bez štetnih emisija. Novu revoluciju koja upravo traje, predstavlja razvoj tramvaja s napajanjem iz alternativnih izvora (akumulatori, vodikove gorive ćelije i sl.) te inteligentnih autonomnih tramvaja s komercijalnom primjenom u javnom gradskom prometu u bliskoj budućnosti.

Literatura

1. Materijali dostupni na internetu (www):

- [1] Antonio Pacinotti
- [2] Aju Business Daily - State demonstration project launched to commercialize hydrogen trams by 2023
- [3] Ballard Power: Case Study Foshan Gaming Tram Final
- [4] Bow Collector
- [5] Cable Car
- [6] Convict Tramway
- [7] Double-decker Tram
- [8] Dubrovnik – Hrvatska enciklopedija
- [9] Dubrovniknet – Tramvaj kao rješenje prometnih gužvi
- [10] Dynamo
- [11] Dynamo Machine_Stories_Siemens Global
- [12] Edison Tech Center – Trolleys, Light Rail and Subways
- [13] Electric Railway_Stories_Siemens Global,
- [14] Electric Streetcar_Stories_Siemens Global
- [15] Frank J. Sprague
- [16] Fuel Cell Vehicle
- [17] FuelCellsWorks – Russia: Hydrogen Fuel Cell Tram Tested in St.Petersburg
- [18] Fyodor Pirotsky
- [19] Glas Slavonije – Modernizacija tramvajske infrastrukture na području grada Osijeka
- [20] Glas Slavonije – Osijek, domaćin prve svjetske utrke tramvaja
- [21] GPP Osijek
- [22] Gramme Machine
- [23] Gross Lichterfelde Tramway
- [24] Hasting and Distric Electric Tramways
- [25] HeiterBlick GmbH – Towards the future with hydrogen
- [26] History of Trams
- [27] Horsecar
- [28] Hyppolite Fontaine
- [29] Hyundai Rotem Tech – Hydrogen Electric Tram
- [30] Inet.hr – Dubrovački tramvaj
- [31] Kojnača
- [32] Louis Mékarski
- [33] M-24

- [23] Miller's Line
- [35] Mödling and Hinterbrühl Tram
- [36] Moritz von Jacobi
- [37] Osijek – Hrvatska enciklopedija
- [38] Opatija_ Hrvatska enciklopedija
- [39] Povijest - Autotrolej
- [40] Povijest dubrovačkog tramvaja
- [41] Povijest GPP – a Osijek
- [42] Povijest.hr – Zagreb dobio prvi električni tramvaj
- [43] Povijest Rijeke
- [44] Povijest ZET – a
- [45] Pulapromet - povijest
- [40] Railway Gazette International
- [41] Railway-News: World's First Hydrogen-Powered Tram Enters Service
- [42] Republika.eu – Obnova osječke tramvajske mreže
- [43] Siemens Combio
- [44] Siemens Mobility
- [45] Surey Iron Railway
- [46] The Korea Bizwire – S.Korea reveals country's first hydrogen tram
- [47] Thomas Davenport – Electrical Pioneer
- [48] Ticknal Tramway
- [49] Thomas Davenport – Electrical Pioneer
- [50] TMK-101
- [51] Tram
- [52 - 75] Trams in Adelaide, Amsterdam, Barcelona, Belgrade, Berlin, Brno, Budapest, Graz, Finland, Lisbon, Ljubljana, Melbourne, Moscow, Munich, Osijek, Prague, Rome, St.Petersburg, Sarajevo, Subotica, Sydney, Trieste, Vienna, Zagreb
- [76] Tramvaji u Hrvatskoj
- [77] Tramvaji u Subotici
- [79 - 86] Tramvajski promet u Beogradu, Dubrovniku, Ljubljani, Osijeku, Puli, Rijeci, Sarajevu, Zagrebu
- [87] Tramway (Industrial)
- [88] Tramway information – Compressed Air Trams
- [89] TÜV SÜD Korea to participate in hydrogen electric tram project
- [90] Wagonway
- [91] Walter Reichel_Stories_Siemens Global
- [92] Wantage Tramway
- [93] William Sturgeon
- [94] Zénabe Gramme

2. Ostala literatura

- [95] Chronik der Straßenbahn, M.&H. Schaper Verlag, Hannover, 1969.
- [96] Fenomen Křižik, Dopravní podnik hl.m. Prahy & Národní technický muzeum, Prag, 2016.
- [97] Tehnička enciklopedija, Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb, 1969.
- [98] Zagrebački leksikon, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2006.
- [99] 60 godina Zagrebačkog tramvaja 1891. – 1951., ZET, Zagreb, 1951.
- [100] Zagrebački tramvaj 70 godina, ZET, Zagreb, 1961.
- [101] Đuro Křepela, dipl.ing.: Suvremeni prijevoz putnika u gradskom saobraćaju, Zagreb, 1959.
- [102] Đuro Křepela, dipl.ing.: Parametri koji se zahtijevaju sa gledišta korisnika kod vozila gradskog i prigradskog pružnog saobraćaja poslije 1970. godine u Zagrebu, Međunarodna konferencija o razvoju gradskog i prigradskog pružnog saobraćaja poslije 1970. godine, Prag, 1967.
- [103] Stanislav Linert: Dopravní prostředky pražské městské hromadné dopravy 1875 - 1975

Miroslav Křepela

Tram from Horse to Electric Traction or How Electricity Accelerated Life

Summary: This year, more precisely on the 11th May 2021., Zagreb celebrates the 130th anniversary of the beginning of the construction of the tram network. However horse-drawn. Thus, Zagreb followed numerous European cities that introduced the horse-drawn tram since 1860's. After the promotion of the small electric railway at the Berlin Industrial Exhibition in 1879, horse-drawn trams have been gradually replaced by electric ones, however, primarily for financial, but also for technological reasons. This trend took place gradually. Horses hauled trams in many cities as early as the beginning of the 20th century, so Zagreb got its first electrified tram line in 1910. With the development of tram networks as well as subway and suburban railway networks, cities became "smaller", life „accelerated“.

Key words: history, tram, electricity

Zvonko Benčić, Željko Jakopović, Viktor Šunde

Nastava učinske elektronike na Tehničkom fakultetu, Elektrotehničkom fakultetu i Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu

Sažetak: Učinska elektronika je važno područje tehnike i elektrotehnike. Bez sklopova i uređaja učinske elektronike nije moguća učinkovita pretvorba obilježja električne energije. Područje učinske elektronike je multidisciplinarno, te zahtjeva znanja iz različitih područja tehnike. Kvalitetno obrazovanje stručnjaka i znanstvenika koji se bave učinskom elektronikom postaje nužnost. Ovaj članak prikazuje povijest nastave učinske elektronike na Tehničkom fakultetu, Elektrotehničkom fakultetu i Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, te prikaz trenutnog stanja nastave i nastavnih metoda na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

Ključne riječi: nastava; učinska elektronika; nastavne metode

I. Uvod

Učinska elektronika je izuzetno važno područje tehnike i elektrotehnike kroz povijest, a naročito u novije vrijeme. Rast važnosti učinske elektronike posebno je uočljiv s porastom primjene i udjela obnovljivih izvora energije u energetskej bilanci čovječanstva. Bez sklopova i uređaja učinske elektronike nije moguće učinkovito povezivanje obnovljivih izvora u elektroenergetske sustave. Učinska elektronika je neophodna za učinkovitu pretvorbu obilježja električne energije. Nažalost područje učinske elektronike je multidisciplinarno, te zahtjeva znanja iz različitih područja tehnike. Stoga je neobično važno imati kvalitetno obrazovanje stručnjaka i znanstvenika koji se bave učinskom elektronikom. Svrha ovog članka je upoznavanje sa povješću nastave učinske elektronike na Tehničkom fakultetu, Elektrotehničkom fakultetu i Fa-

kultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, te prikaz trenutnog stanja nastave i nastavnih metoda na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

Prije prikaza povijesti potrebno je razrješiti moguće nedoumice oko nazivlja u području učinske elektronike. U samim počecima nastave, područje učinske elektronike bilo je integrirano u druge predmete iz područja „jake struje“. Osamostavljanje je počelo nakon 1946. godine kada je prof. Plenković uveo naziv predmeta *Usmjerivači*. Uvođenjem nastavnog programa ETF IV 1978/79 akademske godine predmet dobiva naziv *Energetska elektronika*, što je u stvari pogrešan prijevod međunarodnih naziva *Power Electronics* (engl.), *Leistungselektronik* (njem.) ili *Electronique de puissance* (franc.). Ova je pogreška pokušana biti ispravljena uvođenjem nastavnog programa FER II u akademskoj godini god. 2005/06 uvođenjem naziva *Učinska elektronika*, jer su nastavnici grupe predmeta smatrali da naziv *učinska* znatno bolje odgovara smislu pojma. Ova promjena bila je relativno kratkog vijeka, jer je već uvođenjem nastavnog programa FER III u akademskoj godini 2017/18 donijelo vraćanje naziva *Energetska elektronika* neakadskim metodama. Novi ponovo promijenjeni naziv primjenjuje se i na srodne predmete, pa tako uzrokuje mnogobrojne nejasnoće kao primjerice promijenjeni naziv predmeta *Upravljanje učinskim pretvaračima* čini zbunjujućim u obliku *Upravljanje energetskim pretvaračima*. Ta činjenica će zasigurno i u budućnosti mnogima uzrokovati zbunjenost.

U ovom radu povijesni razvoj nastave učinske elektronike podijeljen je u 3 glavne faze.

2. Povijesni razvoj nastave učinske elektronike

Faza I – Počeci

Naziv „*usmjerivač*“ uveo je prof. Zlatko Plenković vjerojatno oko 1945. Godine. On je 1947. je počeo predavati na Elektrotehničkom odjelu Tehničkog fakulteta u Zagrebu. *Usmjerivač* je naziv koji postoji samo u hrvatskom jeziku. Ovaj naziv je bio prijevod njemačkog naziva *Stromrichter*, uvedenog u njemački jezik 1932. Godine, u doba živinih ventila. Predmet je nazvao **(Električni) Usmjerivači** I pod tim nazivom se predavao sve do uvođenja nastavnog plana ETF 4, akademske godine 1978./79., kada je preimenovan u *Energetska elektronika*.

Usmjerivač je sklop koji spaja istosmjernu i izmjeničnu mrežu, a tok energije može biti u oba smjera. Ispravljač je niža kategorija od usmjerivača, svaki usmjerivač je ispravljač, no obratno ne vrijedi. Potrebno je napomenuti da pojam koji odgovara *usmjerivaču*, odnosno *Stromrichteru*, ne postoji čak niti u engleskom govornom po-

dručju, što onemogućava jasno i nedvosmisleno nazivanje pojedinih modernih sklopova učinske elektronike. Primjerice danas često korišteni sklop *PWM usmjerivač*, u engleskom se govornom području naziva najčešće *PWM rectifier*, što nije odgovarajući naziv zbog dvosmjernog toka energije.

Modifikacijom nastavnog plana Elektrotehničkog odsjeka Tehničkog Fakulteta Sveučilišta predmet nestaje sa smjera Slaba struja i ostaje na Jakoj struji pod nazivom *Usmjerivači*.

PRILOG 8.

NASTAVNI PLAN
ELEKTROTEHNIČKOG ODSJEKA TEHNIČKOG FAKULTETA
SVEUČILIŠTA
U ŠKOLSKOJ GODINI 1951/52.

Prve godište (jaka i slaba struja)		Semester		Semester	
		zimski	ljetni	zimski	ljetni
Vila matematika	4+2	4+4	4+2	2+2	—
Fizika	4+2	4+2	4+2	4+4	4+3
Nastava geometrije	4+2	0+2	0+2	3+3	3+3
Tehničko crtanje	1+4	0+3	0+3	—	2+1
Mehanička tehnologija	2+0	2+2	2+2	—	3+0
Mehanika	3+2	4+2	4+2	—	2+0
Eksplozivne kemije	—	4+0	4+0	—	2+0
Osnovi mehanizma-laminizma	2+0	2+0	2+0	2+0	2+0
Strani jezik	2+0	2+0	2+0	—	—
Predvojnička obuka	2+0	2+0	2+0	—	—
Drugo godište (jaka struja)					
Vila matematika	4+4	—	—	4+2	—
Mehanika	3+2	3+2	3+2	—	3+1
Elementi strojeva	4+4	0+4	0+4	3+2	3+2
Mehanička tehnologija	—	4+4	4+4	1+3	1+3
Osnovi elektrotehnike	4+4	4+4	4+4	3+1	—
Nauka o čvrstoći	4+4	—	—	2+2	—
Nauka o toplini	—	3+2	3+2	3+3	3+3
Hidromehanika	—	3+1	3+1	—	2+1
Strani jezik	0+2	0+2	0+2	3+3	3+3
Predvojnička obuka	2+0	2+0	2+0	—	3+0
Treće godište (jaka struja — elektroindustrijski smjer)					
Toplinski strojevi	4+2	—	—	2+0	2+0
Hidraulički strojevi	—	3+1	3+1	—	—
Teoretska elektrotehnika	3+2	3+2	3+2	—	—
Električna mjerenja	1+3	1+3	1+3	—	—
Tehnologija elektromaterijala	3+1	—	—	—	—
Rasklopna postrojenja	2+2	—	—	—	—
Usmjerivači	3+3	3+3	3+3	—	—
Industrijske zgrade	—	2+1	2+1	—	—
Enciklopedija lično-dojavne tehnike	—	3+0	3+0	—	—
Konstrukcija električnih aparata	—	3+1	3+1	—	—
Predvojnička obuka	2+0	2+0	2+0	—	—
Treće godište (slaba struja)					
Teoretska elektrotehnika	3+2	—	—	—	—
Električna mjerenja	1+3	1+3	1+3	—	—
Tehnologija elektromaterijala	1+3	1+3	1+3	—	—
Uzajamni krugovi	3+1	3+1	3+1	—	—
Teoretski osnovi dojavne tehnike	3+2	2+2	2+2	—	—
Elektronika i elektronički cijevi	2+2	4+4	4+4	—	—
Elektronika	2+1	2+1	2+1	—	—
Enciklopedija strojarstva	3+0	—	—	—	—
Encikl. proizvodnje i razdiobe električne energije	2+0	—	—	—	—
Mjerenja u dojavnoj tehnici	—	1+4	1+4	—	—
Encikl. električnih strojeva	—	2+1	2+1	—	—
Predvojnička obuka	2+2	2+2	2+2	—	—
Četvrto godište (jaka struja — elektroprivredni smjer)					
Toplinski strojevi	2+1	—	—	—	—
Hidraulički strojevi	3+1	—	—	—	—
Teoretska elektrotehnika	3+2	3+2	3+2	—	—
Električna mjerenja	1+3	1+3	1+3	—	—
Tehnologija elektromaterijala	3+1	—	—	—	—
Četvrto godište (slaba struja — elektroprivredni smjer)					
Toplinski strojevi	2+1	—	—	—	—
Hidraulički strojevi	3+1	—	—	—	—
Ispitivanje elektr. strojeva	2+4	2+4	2+4	—	—
Prenos električne energije	4+3	4+3	4+3	—	—

Slika 1. Predmeta *Usmjerivači* predaje se na smjeru Jaka struja od ak. god. 1951/52

[illegible]

Slika 3. Prikaz dijela nastavnog plana ETF II s *Usmjerivačima* kao redovitim i izbornim predmetom na smjerovima ESA (Elektrostrojarstvo i automatizacija) i EEN (Elektroenergetika)

Novom modifikacijom nastavnog plana ETF-a nastaje ETF III u ak.god. 1970./71. Predmet zadržava svoj veliki značaj na smjeru ESA kao redoviti I izborni predmet *Usmjerivači*, dok se na smjeru EEN realizira kroz izborni predmet *Sinkroni strojevi I usmjerivači*.

U sadržaj predmeta ulaze diodni i tiristorski poluvodički ventili.

Nastavni plan Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu od šk. god. 1970./71. - ETF - 3

ELEKTROSTROJARSTVO I AUTOMATIZACIJA

NASTAVNI PLAN ZA TREĆU NASTAVNU GODINU

Oznaka	Predmet	V semestar	VI semestar
3201	Teoretska elektrotehnika	3+3+0+0*	—
3202	Električni strojevi I	4+3+0+0*	—
3203	Usmjerivači	2+0+2+0*	—
3204	Mehaničke konstrukcije	4+1+0+0*	—
3212	Mehaničke konstrukcije	0+0+0+2	—
3205	Automatska regulacija I	3+1+2+0*	—
3206	Električni strojevi II	—	4+2+0+0*
3211	Električni strojevi II	—	0+0+0+1
3207	Automatska regulacija II	—	3+1+2+0*
3208	Osnovi teorije mreža	—	2+3+3+0*
3209	Osnovni elektronički sklopovi	—	2+2+1+0*
4201	Osnovi ekonomike	—	2+0+0+0
4202	Osnovi industrijske sociologije	—	2+0+0+0
3210	Industrijska praksa	—	da

Slika 4. Mjesto *Usmjerivača* u nastavnom planu ETF III – smjer ESA

Faza II – Promjene

Uvođenjem nastavnog plana **ETF IV** u ak.god. 1978/79. nastaju značajne novosti, te značaj predmeta postaje veći nego ikada na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu. Dolazi do prve promjene imena iz *Usmjerivači* u *Energetska elektronika*.

Uz EEN i ESA uvodi se novi smjer Industrijska elektronika (IE), te se sada predmet predaje na 3 smjera kao redoviti predmet *Energetska elektronika*. U jednom razdoblju ovaj predmet sluša i pohađa laboratorijske vježbe oko 160 studenata. Dodatno na smjeru ESA postoji i izborni predmet *Energetska elektronika – odabrana poglavlja*.

S nastavnim planom ETF IV započinje Faza II nastave energetske/učinske elektronike na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu.

Značajne novosti nastale u Fazi II su:

- *Zlatka PLENKOVIĆA* kao honorarnog nastavnika mijenja *Zvonko BENČIĆ*, također kao honorarni nastavnik koji također dolazi kao zaposlenik KONČAR Instituta za elektrotehniku. On se odmah pokušava izboriti za još bolji status predmeta na ETF-u
- Modernizira se sadržaj predmeta uvođenjem novih topologija sklopova koji koriste učinske poluvodičke ventile – diode i tiristore
- Uz pomoć KONČAR-a značajno se modernizira Laboratorij za energetske elektroniku opremanjem u Končaru razvijenim pultevima sa modeliranje sklopova energetske/učinske elektronike. Veliku ulogu pri tome je imao dipl.ing. *Anton LISAC* koji je kao honorarni asistent u početku vodio laboratorijske vježbe.
- Potrebno je napomenuti da je u jedno vrijeme predmet istovremeno slušalo i 160 studenata triju smjerova (ESA, EEN i IE)
- Napori Zvonka BENČIĆA za boljim statusom predmeta urodili su konačno plodom, te je od 1982. god kao stalni asistent zaposlen *Željko JAKOPOVIĆ*, no glavni nastavnik je i dalje u honorarnom statusu.



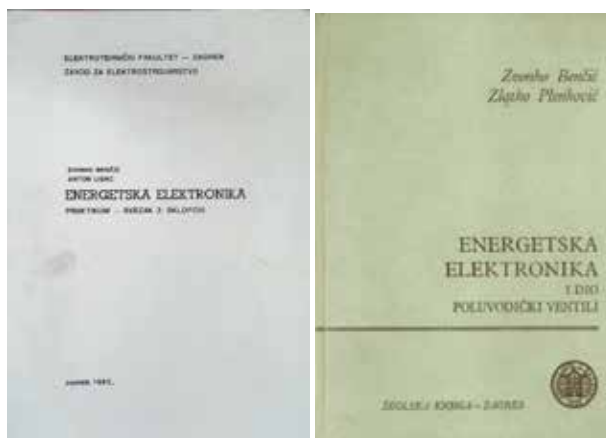
Slika 5. Prof. dr. sc. Zvonko Benčić (1940.-2021.)

Prof. Zvonko BENČIĆ započinje svoju nastavničku karijeru na ETF-u Zagreb kao predavač od akademske god. 1978./79. prema ETF-u IV. Njegovim dolaskom počinje uzlet područja energetske/učinske elektronike na ETF-u u Zagrebu.



Slika 6. Pult za modeliranje sklopova energetske elektronike razvijen u KONČAR-u

Značajni korak u razvoju nastave bila je modernizacija Laboratorija za energetske elektroniku uvođenjem pulteva za modeliranje sklopova energetske elektronike, na kojima su se temeljile značajno modernizirane laboratorijske vježbe. Zapošljavanje stalno zaposlenog asistenta dodatno je ubrzalo razvoj laboratorija



Slika 6. Udžbenik i skripta za Energetsku elektroniku

Značajan doprinos prof. Zvonka BENČIĆA bio je i sveučilišni udžbenik za Energetsku elektroniku koji je nažalost pokrivao samo gradivo učinskih poluvodičkih komponenata, ne i sklopova. Za potrebe laboratorijskih vježbi napisana je uz pomoć Antona Lisca skripta koja je kasnije dopunjena uz pomoć asistenta Željka Jakopovića.

Faza III – Stalno zapošljavanje nastavnika, FER I

Potpuno nova Faza III u nastavi energetske/učinske elektronike započinje 1991. godine dolaskom Zvonka Benčića kao stalno zaposlenog nastavnika na ETF. On je 1992. god. izabran u zvanje izvanrednog profesora. Od tada su na ETF-u 2 stalno zaposlena (profesor i asistent), te je mnogo lakše raditi na razvoju područja i predmeta. Polagano se počinje pripremati nastavni plan **FER I**, koji će krenuti od 1995./96. ak.god.

U njemu će nažalost nastava predmeta biti ukinuta na smjeru Industrijska elektronika, na smjeru Elektroenergetika ostaje kao izborni predmet, dok na ESA-i i dalje ima značajnu ulogu kao redoviti predmet *Energetska elektronika* na 3. godini, izborni predmet *Laboratorij energetske elektronike* na 4. godini, te D+P predmet *Elektronički pretvarači za elektromotorne pogone*.

Nastavnici predmeta zasnivaju novi izborni predmet *Razvoj elektrotehničkih proizvoda*.

Značajan novi moment je i povećanje malog tima dolaskom Viktora Šunde 1996. godine, najprije kao znanstvenog novaka, a od 2008. kao docenta. Nova sinergija nastala povećanjem broja nastavnika rezultirala je značajnim unaprjeđenjem nastavnog procesa, uvođenjem novih nastavnih metoda, uvođenjem IGBT sklopki i novih topologija sklopova. Sve to rezultiralo je velikim brojem edukativnih članaka na konferencijama i u časopisima, gdje su prezentirani dosezi nastave energetske/učinske elektronike na FER-u.

- Jakopović, Željko; Benčić, Zvonko; Šunde, Viktor
Multimedia Laboratory for Power Electronics // *EPE 2001 Proceedings CD-ROM*
Brussels, Belgium: EPE Association, 2001. str. CD-ROM (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
- Jakopović, Željko; Benčić, Zvonko; Šunde, Viktor
Virtual Laboratory for Power Electronics // *10th European Conference on Power Electronics and Applications CD-ROM Proceedings*
Toulouse: EPE Association, 2003. str. 1-10 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
- Jakopović, Željko; Benčić, Zvonko; Šunde, Viktor
Multimedia in Power Electronics Education // *Proceedings of the 26th International Convention MIPRO 2003* / Biljanović, Petar ; Skala, Karo (ur.).
Rijeka: MIPRO, 2003. str. 103-107 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
- Jakopović, Željko; Benčić, Zvonko; Šunde, Viktor
Computer in Power Electronics Education // *IEEE EUROCON 2003 Proceedings* / Željč, Baldoir ; Tkalec, Marko (ur.).
Ljubljana: IEEE, 2003. str. 1-5 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
- Jakopović, Željko; Šunde, Viktor; Kolarič, Keti
Integration of Measurement and Simulation in Power Electronics Laboratory // *Proceedings of the 12th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC 2006* / Jezernik, Karel (ur.).
Portorož, Slovenia: IEEE, 2006. str. 2124-2129 (pozvano predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
- Čižak, Tihomir; Jakopović, Željko
Educational IGBT Power Switch Module // *CD Proceedings of MIPRO 2007*
Zagreb: MIPRO, 2007. str. 1-6 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
- Jakopović, Željko; Benčić, Zvonko; Šunde, Viktor
Integration of Different Tools and Methods into Education of Power Electronics – Lectures and Laboratory // *CD Proceedings of Power Electronics Educational Workshop PESC 2007* / Roohet, Muhammad (ur.).
Orlando: IEEE, 2007. str. 1-5 (pozvano predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
- Jakopović, Željko; Šunde, Viktor; Benčić, Zvonko
Undergraduate Power Electronics Laboratory – Applying TSMST Method // *Journal of Power Electronics*, 10 (2010), 6: 621-627 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

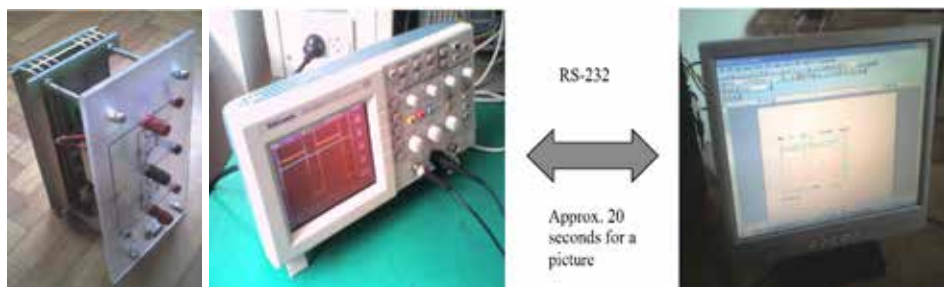
Slika 7. Edukativni članci grupe objavljeni na konferencijama i u časopisima

Faza III – Unaprjeđenje laboratorija

Kao glavni problem u približavanju gradiva Učinske elektronike studentima uočena je relativna zastarjelost laboratorija i nastavnih pomagala. Pultevi za modeliranje nisu mogli modelirati sklopove utemeljene na novim IGBT tranzistorima, a studenti su predavanja pratili precrtavajući složene sheme sklopova i valne oblike sa ploče. Stoga su u ovoj fazi razvoja nastave napravljeni značajni koraci naprijed.

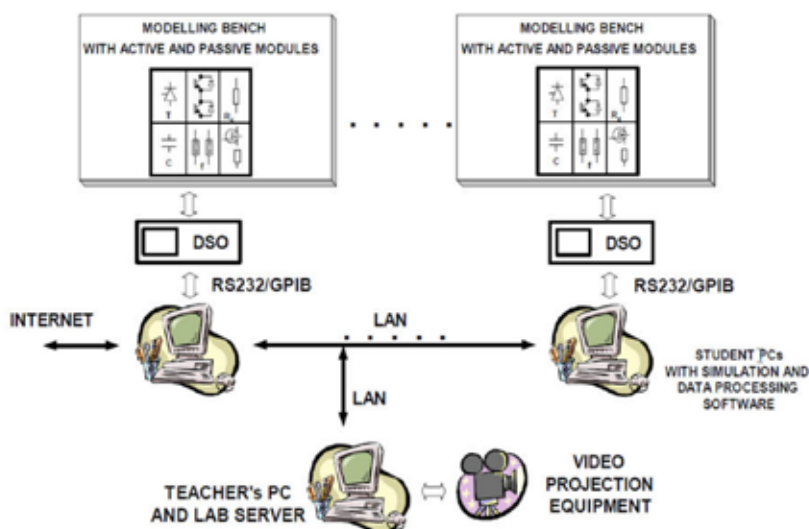
Projektirana je i izvedena nova temeljna učinska sklopka (PEBB) utemeljena na IGBT poluvodičkim komponentama. Da bi se IGBT sklopkama moglo upravljati, razvijen je i novi sklop modulatora koji omogućava upravljanje sa 4 IGBT sklopke, omogućujući na taj način istosmjerne i izmjenične PWM modulacije jednofaznog monofaznog spoja pretvarača.

Nabavljeni su moderni digitalni osciloskopi za laboratorijske vježbe, s mogućnošću komunikacije s računalima. To je ukinulo potrebu za mukotrpnim precrtavanjem izmjerenih valnih oblika. Bili smo među prvim laboratorijima na FER-u s takvom mjernom opremom namijenjenom za studentske vježbe.



Slika 8. Poluvodička dvostruka sklopka s IGBT tranzistorima (lijevo) i moderni digitalni osciloskopi (desno) uvedeni su u laboratorijske vježbe

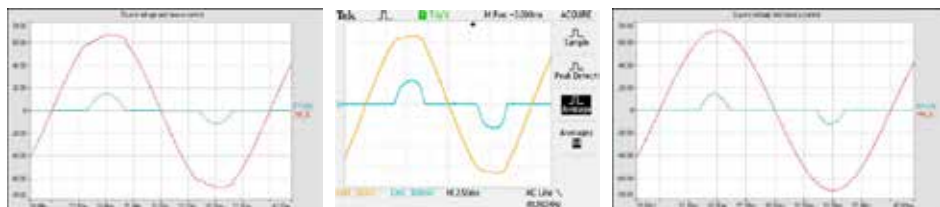
Sve te promjene omogućile su modernizaciju nastavnog procesa i svojevrsnu integraciju predavanja, auditornih vježbi i laboratorijskih vježbi. Konceptiju nastave omogućenu ovim unaprjeđenjima prikazuje slika 9. Osim modernizacije sadržaja predmeta i njegove prilagodbe suvremenom tehnološkom razvoju u svijetu, modernizirali smo i način predavanja. Među prvim smo na FER-u nabavili video projekcijsku opremu samo za našu grupu predmeta, u trenutku dok su na FER-u bila samo 2 video projektora. To je omogućilo između ostalog prikazivanje interaktivnih simulacija rada sklopova primjenom suvremenih programskih pomagala, primjerice IPES-a (ETHZ)



Slika 9. Nova koncepcija nastave učinske elektronike s integracijom teorije i mjerenja

Unaprjeđenje laboratorija omogućilo je uvođenje nove metode TSMST (Theory – Simulation – Measurement – Simulation – Theory) u laboratorijsku nastavu energetske/učinske elektronike. Ova je metoda detaljno opisana u Lit.4.

O čemu se tu zapravo radi? Studenti najprije na predavanjima ovladaju teoretskim osnovama rada pojedinog sklopa. Nakon toga u sklopu simulacijske pripreme za laboratorijske vježbe realiziraju simulacijski model sklopa, te analiziraju njegov rad metodom simulacije. Sljedeći korak je realizacija sklopa na pultu za modeliranje sklopova u Laboratoriju. Rezultati se naravno ne podudaraju, pa je potrebno modificirati simulacijski model (nove komponente i/ili parametri), te naći teorijsko obrazloženje za potrebne promjene. Slika 10. prikazuje jedan primjer primjene TSMST metode.



Slika 10. Primjena TSMST metode na primjeru jednofaznog ispravljača s kapacitivnim ulazom

Faza III – Unaprjeđenje literature, FER II i FER III

Sve od prve knjige i skripte za Učinsku elektroniku nije bilo literature na hrvatskom jeziku, studenti su koristili englesku literaturu i predavanja. I u tom području je napravljen napredak, prevođenjem vrhunske literature i pisanjem vlastite literature. Tako je nastalo nekoliko značajnih djela:

- Prijevod knjige Kassakian i dr.: Osnove učinske elektronike I., Graphis, Zagreb, 2000.
- Prijevod knjige Kassakian i dr.: Osnove učinske elektronike II., Graphis, Zagreb, 2006.
- Prijevod i dopuna knjige Danfoss: *Najvažnije o frekvencijskim pretvaračima*, Graphis d.o.o., Zagreb, 2009.
- Viktor, Šunde; Jakopović, Željko; Benčić, Zvonko, *Osnove učinske elektronike – Simulacijsko modeliranje*, Sveučilišni udžbenik: datum odobrenja Senata Sveučilišta u Zagrebu 14. 06. 2013.

Uvođenje nastavnog plana FER II 2005. god. donosi velike promjene u nastavi predmeta. Prva i najznačajnija je promjena naziva osnovnog i izvedenih predmeta. Na inicijativu prof. Benčića mijenja se ime iz ***Energetska elektronika*** u ***Učinska elektronika***. Promjena je lingvistički i tehnički opravdana, ali nailazi na otpor i mnogobrojne prijemore. Vrijeme će pokazati tko je bio u pravu.

Uvedene su mnogobrojne promjene u strukturi studija, pa ESA-e nema u preddiplomskom, pripremnom dijelu studija.

Sadržaj predmeta sada se predaje na smjeru Automatika (3. god) kao dio predmeta *Elektromehanički sustavi*, na smjeru Elektroenergetika (3. god) kao dio predmeta *Elektromehaničke i električne pretvorbe* a takođe se predaje popularan izborni predmet *Praktikum učinske elektronike*.

Na diplomskom studiju, ESA je promijenila ime u ESIT (Elektrotehnički sustavi i tehnologija), te se predaje predmet *Učinska elektronika*. Uz postojeći izborni predmet *Razvoj elektrotehničkih proizvoda* razvijen je novi izborni predmet *Upravljanje učinskim pretvaračima*.

Uvođenje nastavnog plana FER III 2018. god. ponovo vraća ime predmeta ***Energetska elektronika***, protiv volje predmetnih nastavnika.

ESA vraća svoje ime i staru ulogu na preddiplomskom studiju. Za sve studente Elektrotehnike predaje se predmet *Osnove energetske elektronike*. Prva iskustva su jako dobra. Trenutačno ga sluša oko 90 studenata.

Na diplomskom studiju predaju se predmeti *Elektronički energetski pretvarači*, *Upravljanje energetskim pretvaračima (!)*, *Razvoj elektrotehničkih proizvoda*. Na doktorskom studiju nastavlja se predavati predmet *Sustavi energetske elektronike*.

Važno je napomenuti da se u sklopu dislociranog zajedničkog studija (FER + FSB) u Šibeniku već 5 godina predaje predmet *Osnove energetske elektronike*.

Zaključak

U ovom radu dan je pregled povijesnog razvoja nastave učinske elektronike na Tehničkom fakultetu, Elektrotehničkom fakultetu i Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, te prikaz trenutnog stanja nastave i nastavnih metoda na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu. Taj se povijesni razvoj nastave može podijeliti u 3 glavne faze. U prvoj fazi nastava je bila uklopljena u druga područja, te se osamostalila u obliku predmeta Usmjerivači. Nastavnik nije bio stalno zaposlen na fakultetu. U toj početnoj fazi još nije bilo poluvodičkih ventila koji su unijeli revoluciju u područje učinske elektronike. Druga faza razvoja nastave učinske elektronike počinje stalnim zapošljavanjem nastavnika na fakultetu, promjenom imena predmeta u Energetska elektronika, te uvođenjem učinskih poluvodičkih ventila. Treća faza razvoja nastave učinske elektronike karakterizirana je velikim promjenama u tehnologiji i metodologiji nastave. Modernizira se laboratorij, nastavna oprema, metode poučavanja i nastavna literatura. Usprkos stalnim promjenama u broju smjerova i studenata kojima se nudi, učinska elektronika ima svoje značajno mjesto u nastavi na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

Literatura

- [1] ETF Zagreb, „Spomenica 1919 – 1969, 50 godina studija elektrotehnike u Hrvatskoj“, Tehnička knjiga Zagreb, 1969.
- [2] FER Zagreb, „Spomenica 40. obljetnica Fakulteta 1956-1996“, FER Zagreb, 1996.
- [3] Drago Ban, „90 godina Zavoda za elektrostrojarstvo i automatizaciju 1925-2015“, Sveučilište u Zagrebu FER, 2015.
- [4] Ž. Jakopović, V.Šunde, Z.Benčić, „Undergraduate Power Electronics Laboratory – Applying TSMST Method“, Journal of Power Electronics, 2010.

Zvonko Benčić, Željko Jakopović, Viktor Šunde

Power Electronics Education on Technical Faculty, Faculty of Electrical Engineering and Computing University of Zagreb

Abstract: Power electronics is an important field of engineering and electrical engineering. Without power electronics circuits and devices, efficient conversion of electricity characteristics is not possible. The field of power electronics is multidisciplinary and requires knowledge from various fields of technology. Quality education of professionals and scientists dealing with power electronics is becoming a necessity. This article presents the history of teaching power electronics at the Technical Faculty, Faculty of Electrical Engineering and the Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb and presents the current state of teaching and teaching methods at the Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb.

Keywords: education; power electronics; teaching methods

Karla Draženović, Ante Perić, Zvonko Benčić, Viktor Šunde

Učinska elektronika u elektroenergetskom sustavu – prošlost, sadašnjost, budućnost

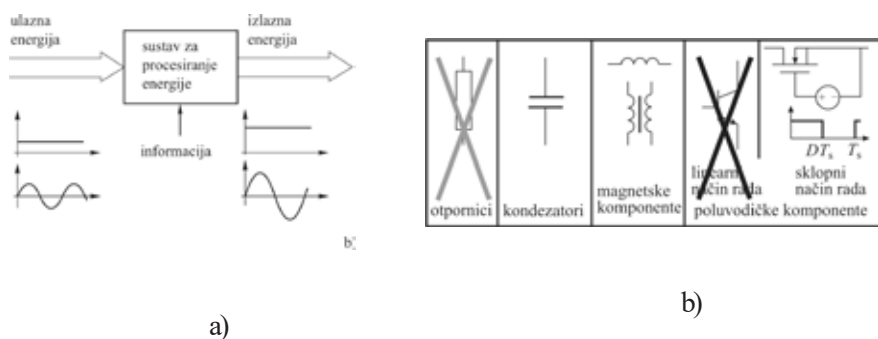
Sažetak: Područje elektroenergetike u posljednjih nekoliko desetljeća suočava se s promjenom načina na koji se energija proizvodi, prenosi i koristi. U ovom trenutku elektroenergetika se nalazi u fazi prelaska s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije. Danas je, u smislu godišnjeg novoinstalanog kapaciteta, obnovljiva proizvodnja veća od konvencionalne te se očekuje da će se taj trend rasta nastaviti i u budućnosti. Prelazak na obnovljive izvore i energetske održivu i učinkovitu proizvodnju oslanja se na učinsku elektroniku kao tehnologiju koja omogućava uspješnu integraciju obnovljivih izvora u elektroenergetski sustav. U ovom radu predstavljena je kratka povijest učinske elektronike te njena primjena u današnjem elektroenergetskom sustavu s nagovještajem budućih istraživanja i razvoja koji će dovesti do još značajnije primjene učinske elektronike u elektroenergetskom sustavu.

Glavne riječi: poluvodički ventili, obnovljivi izvori energije, spremnici energije, mikromreža, distribuirana proizvodnja, visoko učinkoviti učinski pretvarači

I. Uvod

Učinska elektronika je dio elektronike koji se bavi pretvorbom obilježja električne energije i upravljanjem tokom električne energije bez znatnijeg gubitka snage [1]. Pretvorba obilježja električne energije i upravljanje tokom energije odvija se pomoću uređaja učinske elektronike, tj. elektroničkih učinskih pretvarača. Elektronički učinski pretvarač je operativna cjelina koja spaja dva, po nekom od obilježja, različita električna sustava. Područje primjene učinskih pretvarača je široko i obuhvaća sustave za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije, sustave obnovljivih izvora energije, transport, sustave neprekinutog napajanja, male elektroničke uređaje

je, itd. Danas se gotovo 70 % proizvedene električne energije prilagođava trošilima upotrebom elektroničkih učinkih pretvarača [2]. Široko područje primjene učinkih pretvarača uvjetuje i široki raspon snaga učinkih pretvarača od nekoliko milivata (npr. u mobilnom telefonu) do stotine megavata (npr. u istosmjernom veleprijenosu električne energije). Učinski pretvarači predstavljaju nelinearnu električnu mrežu građenu od elektroničkih učinkih ventila (diode, tiristori, tranzistori...) koji rade u sklopnom načinu rada. Jedino sklopnim načinom rada ventila može se postići velika djelotvornost učinkoga pretvarača [1].

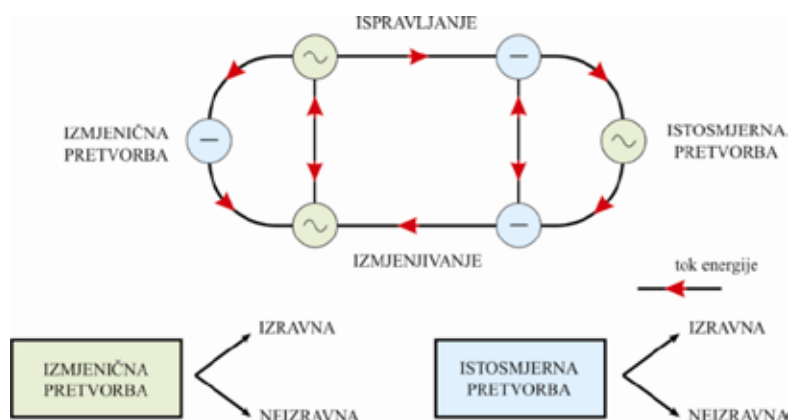


Slika 1. a) Osnovno svojstvo učinske elektronike - pretvorba obilježja električne energije, b) Komponente u uređajima učinske elektronike (kako bi se povećala učinkovitost izbjegavaju se otpornici i poluvodičke komponente u linearnom načinu rada)

U ovom radu dan je kratak pregled povijesnog razvoja tehnologije elektroničkih učinkih pretvarača, trenutni status tehnologije učinkih pretvarača te njihova primjena u elektroenergetskom sustavu u sadašnjosti i budućnosti. Rad se sastoji od pet poglavlja. U drugom poglavlju dan je kratak pregled razvoja elektroničkih učinkih pretvarača i tehnologije poluvodičkih ventila. U trećem poglavlju predstavljene su najčešće korištene topologije učinkih pretvarača za integraciju obnovljivih izvora i spremnika energije u elektroenergetsku mrežu. U četvrtom poglavlju opisana je struktura elektroenergetskog sustava u budućnosti te uloga učinkih pretvarača u njemu. Na kraju rada je zaključak.

2. Pregled razvoja tehnologije učinkih pretvarača i poluvodičkih ventila

Elektronički učinkni pretvarač je operativna cjelina za elektroničku energetska pretvorbu koja sadrži jedan ili više elektroničkih ventila, transformatore (ako ih ima), filtre te upravljačke i ostale pomoćne sklopove. S obzirom na dva osnovna sustava električne energije (izmjenični i istosmjerni), četiri su osnovne skupine elektroničkih učinkih pretvarača; ispravljači, izmjenjivači, istosmjerni pretvarači i izmjenični pretvarači, slika 2. Ispravljač pretvara izmjeničnu struju u istosmjernu (ispravljanje; energiju daje izmjenični sustav), izmjenjivač pretvara istosmjernu struju u izmjeničnu (izmjenjivanje; energiju daje istosmjerni sustav), istosmjerni pretvarač spaja dva istosmjerna sustava električne energije različitih naponskih razina (istosmjerna pretvorba; tok energije može biti u oba smjera), a izmjenični pretvarač spaja dva izmjenična sustava (izmjenična pretvorba; tok energije može biti u oba smjera). Usmjerivač je pretvarač koji može raditi i u ispravljačkom i u izmjenjivačkom načinu rada [1].



Slika 2. Vrste pretvorbe energije pomoću uređaja učinske elektronike

Načela učinske elektronike postavljena su već početkom prošlog stoljeća. Slika 3.a) prikazuje naslovnice knjige *Einführung in die Theorie der Stromrichter* tiskane 1935. godine. U knjizi su predstavljene sheme topologija trofaznog spoja sa srednjom točkom, jednofaznog mosnog spoja, jednofaznog spoja sa srednjom točkom, itd., slika 3.b) i c). Navedene topologije svoju primjenu pronalaze i u današnjim sustavima, ali se umjesto živinih i vakuumskih ventila koriste poluvodički ventili.



a)

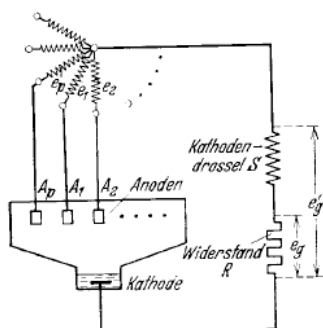


Abb. 108. Prinzipschema eines Mehrphasen-Gleichrichters.

b)

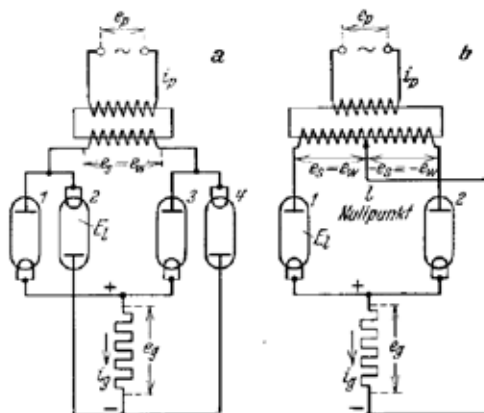


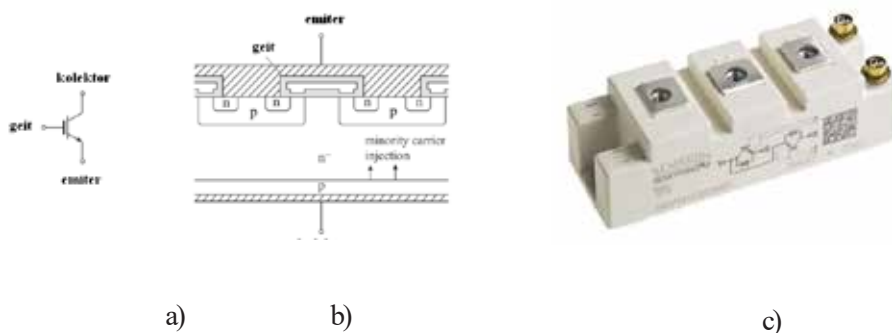
Abb. 59. Schaltung eines Zweiphasengleichrichters ohne und mit Nullpunktbildung im Transformator.

c)

Slika 3. a) Naslovnica knjiga Einführung in die Theorie der Stromrichter, b) Živin ventil - trofazni spoj sa srednjom točkom, c) Vakuumski ventil - jednofazni mosni spoj i jednofazni spoj sa srednjom točkom

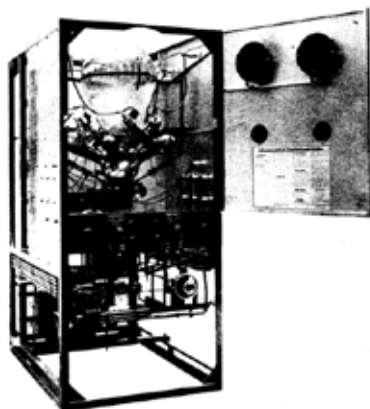
Osnovna komponenta pretvaračkog sklopa je električka, tj. elektronička sklopka. Bitna komponenta elektroničke sklopke je poluvodički ventil. Poluvodički ventil je složena struktura unutar monokristala silicija. Primjerice, na slici 4 prikazan je bipo-

larni tranzistor s izoliranom upravljačkom elektrodom (engl. *Insulated Gate Bipolar Transistor* – IGBT).

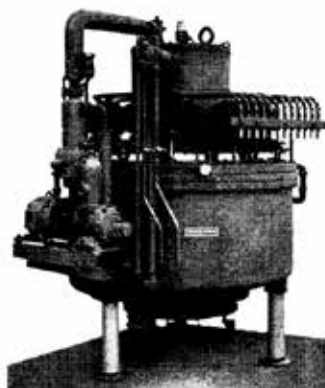


Slika 4. a) Simbol, b) struktura IGBT-a, c) IGBT modul

U prošlosti su se kao električki ventili koristili živin ventil te vakuumski ventil, slika 5.a) i b), te mehanički slogovi, slika 6. Za upravljanje mehaničkim slogovima koristili su se električni motori koji su uklapali odgovarajuće mehaničke kontakte tako da se postigne funkcija električne sklopke.



a)



b)

Slika 5. a) Živin ventil, b) Vakuumski ventil

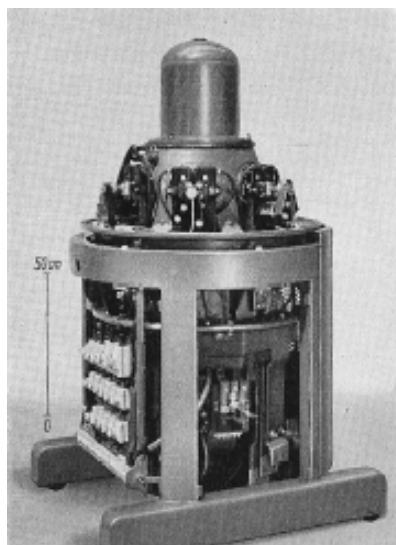
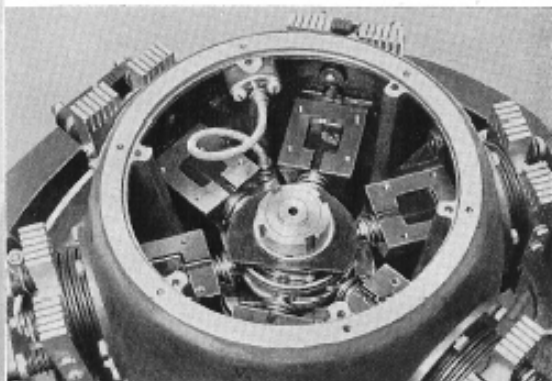


Abb. 2.5. Kontaktgerät in Sternbauart
mit 6 Kontakten für Großumformer
5000 A, 300 V (SSW 1939).



Slika 6. Mehanički ventil

Razvoj poluvodičkih ventila započeo je sredinom prošlog stoljeća. Ubrzo nakon završetka 2. svjetskog rata 1945. godine unutar tvrtke Bell Labs formirana je grupa za istraživanje fizike čvrstog stanja koju su predvodili Shockley te kemičar Stanley Morgan [3]. Zadatak ove grupe u Bell Labsu bio je istraživanje alternativnog rješenja za lomljiva staklena vakuumaska cijevna pojačala. Grupa predvođena Shockleyem objavila je nekoliko patenata za tranzistore na bazi elektrolita te za tranzistore temeljene na dizajnu kontaktnih točaka. Dana 13. veljače 1948. član tima, John N. Shive, napravio je tranzistor točkastog kontakta s brončanim kontaktima na prednjoj i stražnjoj strani tankog klina germanija, dokazujući da se šupljine mogu širiti kroz masu germanija, a ne samo duž površine kao što se prije mislilo. Shiveov izum potaknuo je Shockleya na izum spojnog tranzistora. Nekoliko mjeseci kasnije izumio je potpuno novi, znatno robusniji tip tranzistora sa slojevitom ili 'sendvič' strukturom, slika 7. Ova struktura se nastavila koristiti za veliku većinu svih tranzistora u 60-tim godinama prošlog stoljeća, a razvila se u bipolarni spojni tranzistor (engl. *Bipolar Junction Transistor - BJT*). Za ovaj izum Shockley je zajedno sa svojim suradnicima J. Bardeenom i W. Brattainom dobio Nobelovu nagradu za fiziku 1956. godine.

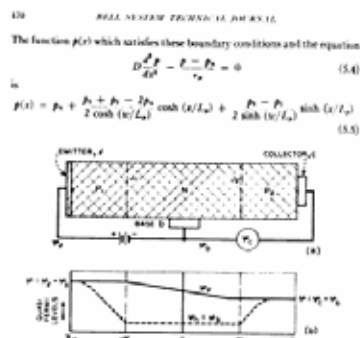
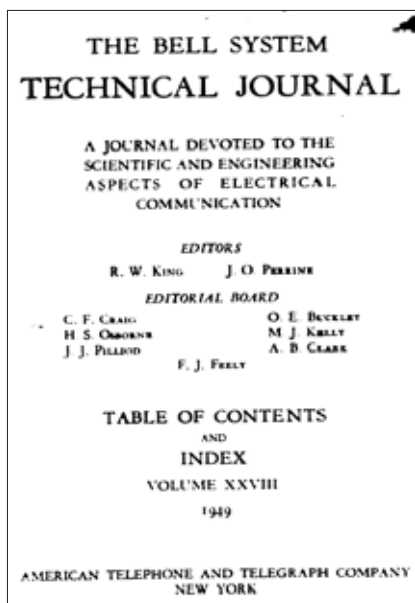


Fig. 10—Model used for calculation of internal contact potential and to illustrate $p-n$ transition.

(a) Semiconductor with two $p-n$ junctions and ohmic metal contacts.

(b) Quasi-Fermi levels showing internal contact potential between b and c .

$$I_a = -qD \frac{dp}{dx} \bigg|_{x=0} = \frac{qD}{2L_a} \left[(p_1 - p_2) \coth \frac{w}{L_a} + (2p_1 - p_2) \tanh \frac{w}{L_a} \right] = \frac{qD}{2L_a} \left[(p_1 - p_2) \left(\coth \frac{w}{L_a} + \tanh \frac{w}{L_a} \right) - (p_1 - p_2) \left(\coth \frac{w}{L_a} + \tanh \frac{w}{L_a} \right) \right] = +p_2 qD \left[\frac{e^{qV_{bc}} - 1}{\sinh (2w/L_a)} - \frac{(e^{qV_{bc}} - 1)}{\sinh (2w/L_a)} \right] = \coth (2w/L_a) / q \mu \epsilon_0 - \coth (2w/L_a) / q \mu \epsilon_0$$

Slika 7. Naslovnica i jedna stranica članka u kojem je Shockley predstavio načela rada spojnog tranzistora

Kao primjer početka upoznavanja s tehnologijom poluvodičkih ventila u Hrvatskoj može poslužiti razvoj učinske diode u sklopu magistarskog rada prof. Zvonka Benčića. Prof. Benčić je 1967. godine u laboratorijima Instituta za fiziku Sveučilišta u Zagrebu razvio prvu učinsku diodu strujne opteretivost 200 A i naponske opteretivost 1800 V, slika 8.

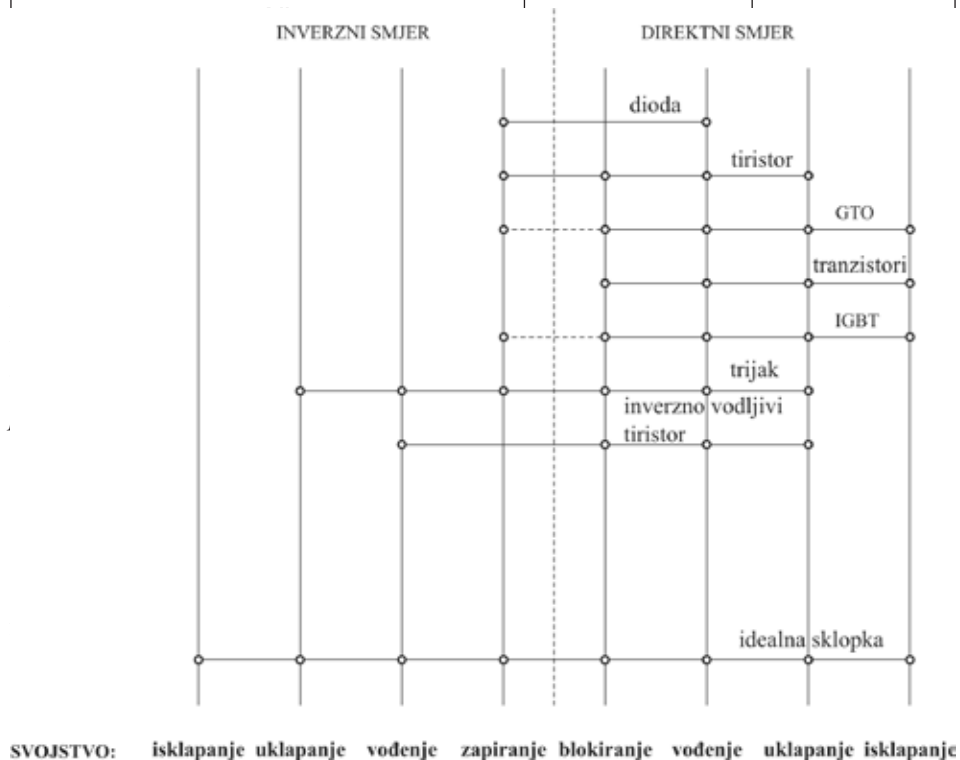


Slika 8. Lađica za legiranje i „sendvič“ diode

Zahvaljujući superiornim svojstvima poluvodičkih ventila u odnosu na živine i vakuumske ventile, došlo je do naglog napretka na području tehnologije elektroničkih učinkovitih pretvarača. U tablici 1 prikazna je usporedba tiristora i živinog ventila prema najvažnijim svojstvima. Zbog znatno manjeg pada napona u vođenju, poluvodički ventili (tiristor) imaju manje gubitke vođenja u odnosu na živine ventile. Manji gubici te manje dimenzije poluvodičkih ventila podrazumijevaju manji, tj. kompaktniji i pouzdaniji pretvarački uređaj.

Tablica 1. Usporedba živinog ventila i tiristora

	Živin ventil	Tiristor
Pad napona u vođenju (V)	25	1,5



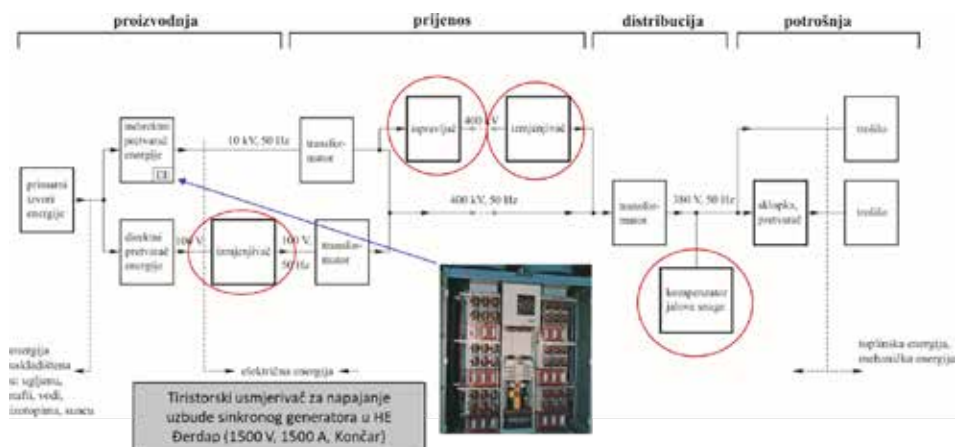
Slika 9. Osnovna svojstva poluvodičkih ventila uspoređena sa svojstvima idealne sklopke

3. Učinska elektronika u sustavu proizvodnje, prijenosa, distribucije i potrošnje električne energije

U prošlosti, učinski pretvarači nisu bili značajnije zastupljeni u sustavu proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije. U klasičnoj centraliziranoj strukturi elektroenergetskog sustava primjeri primjene uređaja učinske elektronike u fazi proizvodnje električne energije su tiristorski usmjerivač za napajanje uzbude sinkronog generatora i izmjenjivači za prilagodbu istosmjernih izvora energije (fotonaponski moduli) sustavu izmjeničnog (AC) prijenosa. U zadnje vrijeme, uz izmjenični prijenos, sve se više koristi i istosmjerni (DC) prijenos električne energije. U tom sustavu prijenosa koriste se ispravljački i izmjenjivački uređaji. U području distribucije, uređaji učinske elektronike se koriste za smanjenje utjecaja nelinearnih trošila na kvalitetu električne energije i za kompenzaciju jalove snage. Struktura klasičnog centraliziranog elektroenergetskog sustava s naznačenim primjenama učinskih pretvarača prikazana je na slici 10.

Sve veća primjena obnovljivih izvora energije uvjetovala je promjene u strukturi elektro-energetskog sustava. Elektroenergetski sustav doživljava transformaciju od centraliziranog sustava s velikim proizvodnim jedinicama i pasivnim potrošačima prema decentraliziranom sustavu s mnogo malih proizvođača te potrošačima koji aktivno sudjeluju u upravljanju tokovima energije u mreži, slika 11. Decentralizirani energetska sustav karakterizira grupiranje izvora u manje proizvodne jedinice koje zajedno s potrošačima tvore samostalan sustav proizvodnje i opskrbe električnom energijom, tj. mikromrežu.

Mikromreža je skup međusobno povezanih distribuiranih (rasprostranjenih) izvora, spremnika energije te lokalnih upravljivih i neupravljivih trošila koji djeluju kao jedinstveni upravljivi sustav s ciljem povećanja pouzdanosti energetska sustava i kvalitete opskrbe energijom [5]. Mikromreže omogućavaju učinkovitu opskrbu električnom energijom zasnovanu na koordiniranom smještaju distribuiranih izvora i potrošača te sigurnu i pouzdanu opskrbu kvalitetnom električnom energijom uz mogućnost korištenja različitih usluga ovisno o željama potrošačima.



Slika 10. Klasični centralizirani elektroenergetski sustav s primjerima primjene uređaja učinske elektronike

Sa stanovišta električnih karakteristika, mikromreže se mogu podijeliti na izmjenične (engl. *Alternating Current* - AC) i istosmjerne (engl. *Direct Current* - DC), ovisno o tipu zajedničke sabirnice. Prednosti istosmjerne mikromreže u odnosu na izmjeničnu su veća pouzdanost, jednostavnije upravljanje te jednostavnija integracija s obnovljivim izvorima, trošilima i spremnicima energije. Kod izmjenične mikromreže, za razliku od istosmjerne, potrebno je pored iznosa napona upravljati i frekvencijom napona zajedničke sabirnice.

Za mikromreže je karakteristično da se proizvodnja nalazi u blizini potrošnje energije. Zahvaljujući tome, smanjuju se gubici prijenosa unutar mikromreže te je moguće postići povećanje kvalitete električne energije.

Mikromreže mogu biti povezane s vanjskim elektroenergetskim sustavom (mrežom-vezani način rada) i/ili djelovati samostalno u otočnom (autonomnom) načinu rada u slučaju kvara na višim naponima ili uslijed drugih kriznih situacija [6]. U slučaju kada je mikromreža spojena na vanjski sustav moguć je dvosmjerni tok energije. Elektroenergetski sustav osigurava stabilnost i kvalitetu napajanja. Mikromreže pružaju podršku energetske mreži u smislu smanjenja opterećenja, a u slučaju kvara, mikromreža ima dovoljnu proizvodnju da može raditi samostalno.



Slika 11. Usporedba klasičnog centraliziranog sustava s decentraliziranim sustavom [7]

Pojava obnovljivih izvora energije, osobito vjetroagregata i fotonaponskih modula, doprinijela je značajnijoj primjeni uređaja učinske elektronike u elektroenergetskom sustavu. Obnovljive izvore energije karakterizira stohastička raspoloživost snage i različitost obilježja proizvedene električne energije, stoga je za uspješnu integraciju obnovljivih izvora energije u postojeću energetska mrežu potrebno koristiti elektroničke učinske pretvarače. Uloga učinskih pretvarača u mrežama s obnovljivim izvorima energije je upravljanje tokom energije, upravljanje snagom, promjena obilježja električne energije, prilagodba izmjeničnih trošila istosmjernim izvorima, smanjenje utjecaja nelinearnih trošila na mrežu, zaštita, itd. Pri tome se od učinskih pretvarača zahtijeva siguran i pouzdan rad te mali gubici.

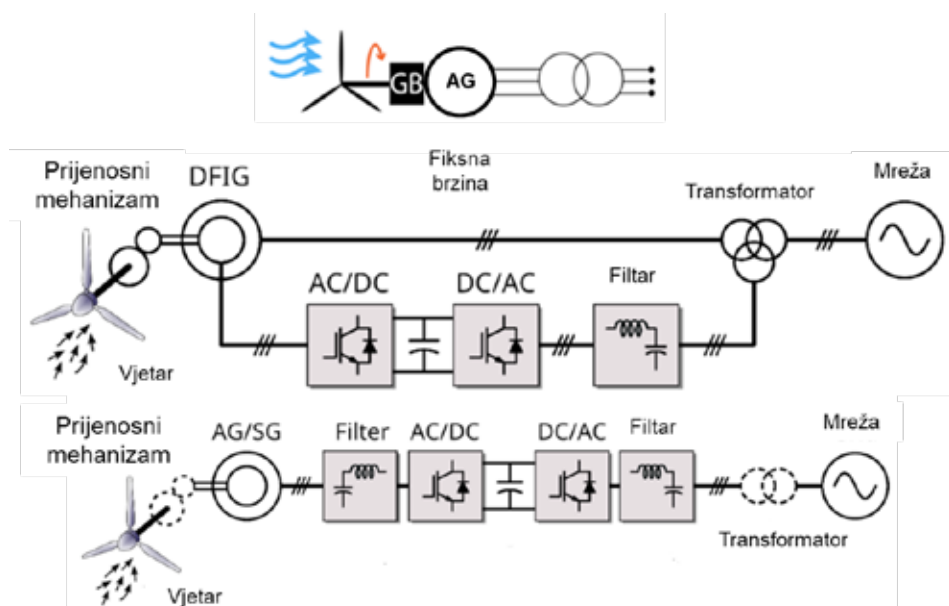
3.1. Primjene učinske elektronike u sustavima vjetroagregata

Energija vjetra se već stoljećima koristi za dobivanje mehaničke energije, a od osamdesetih godina 20. stoljeća energija vjetra se koristi i za tržišnu proizvodnju električne energije.

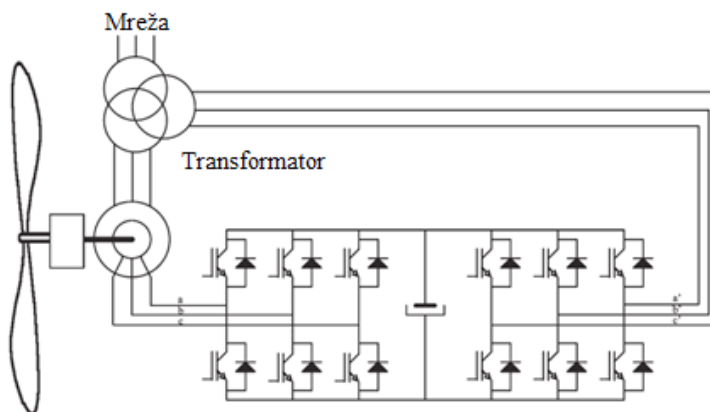
Pretvorba energije vjetra u električnu energiju obavlja se pomoću vjetroagregata. Koriste se vjetroagregati s fiksnom i promjenjivom brzinom vrtnje. U slučaju vjetroagregata s fiksnom brzinom vrtnje asinkroni generator se izravno spaja na mrežu bez korištenja elektroničkih učinskih pretvarača. Nedostatak vjetroagregata s fiksnom brzinom je 5% manja godišnja proizvodnja električne energije u odnosu na vjetroagregat s promjenjivom brzinom vrtnje [8]. Vjetroagregati s promjenjivom brzinom vrtnje dijele se na vjetroagregate s djelomičnom i potpunom primjenom učinske elektronike. Vrste spoja vjetroagregata, s fiksnom i s promjenjivom brzinom vrtnje, na mrežu prikazane su na slici 12. U sustavu s djelomičnom primjenom učinske elektronike rotor generatora se preko učinskog pretvarača spaja na mrežu dok je stator generatora izravno spojen na mrežu, slika 13. Korištenjem pretvarača postiže se odvajanje mehaničke i električne frekvencije te je moguće upravljanje brzinom vrtnje. U sustavu vjetroelek-

trane s potpunom primjenom učinske elektronike generator je u potpunosti odvojen od mreže, slika 14. U ovakvom sustavu, izmjenični napon generatora se pretvara u istosmjerni napon međukruga koji se zatim pretvara u izmjenični napon mreže.

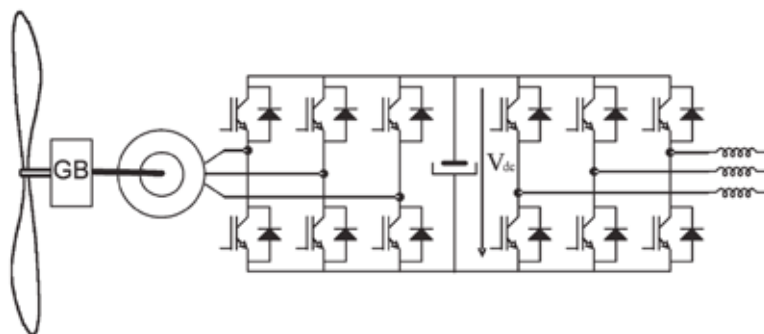
U slučaju da se vjetroagregat spaja na istosmjernu sabirnicu mikromreže koriste se ispravljački uređaji, uz koje se može koristiti dodatni stupanj pretvorbe u obliku istosmjernog (DC/DC) pretvarača. Primjer spajanja vjetroagregata na ispravljački uređaj s dodatnim stupnjem istosmjerne (DC/DC) pretvorbe su pučinske farme vjetroagregata (engl. *offshore wind farms*) koje se nalaze na velikoj udaljenosti od točke spoja na ostatak energetskog sustava (engl. *point of common coupling -PCC*).



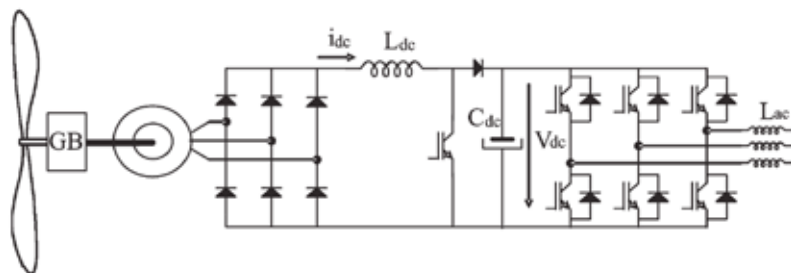
Slika 12. Načelne sheme spajanja vjetroagregata na izmjeničnu mrežu (za sustave s fiksnom brzinom i bez primjene učinskih pretvarača te za sustava s djelomičnom i potpunom primjenom učinskih pretvarača) [9]



Slika 13. Spoj vjetroagregata na mrežu s djelomičnom primjenom učinkovite elektronike. Za spoj rotora generatora na mrežu koriste se dvorazinski trofazni izmjenjivači [8]



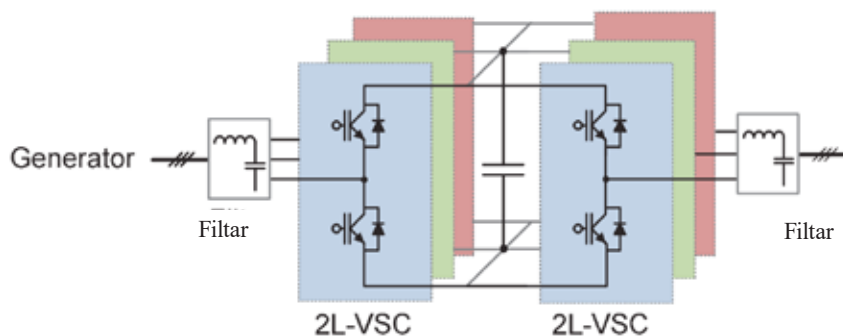
a)



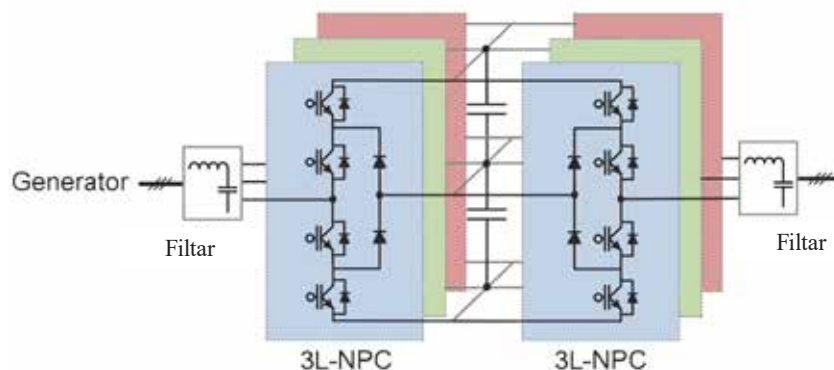
b)

Slika 14. Spoj vjetroagregata na mrežu s potpunom primjenom učinkovite elektronike: a) Za spoj generatora na mrežu koriste se dvorazinski trofazni izmjenjivači, b) Za spoj generatora na mrežu koristi se diodni ispravljač, uzlazni pretvarač i trofazni izmjenjivač [8]

Najčešće korišteni izmjenični pretvarač za spajanje vjetroagregata na izmjeničnu mrežu je neizravni AC/AC pretvarač s dvorazinskim mrežnim izmjenjivačem s utisnutim naponom (engl. *Back-to back Two-level Voltage Source Converter*) prikazan na slici 15. Dvorazinski izmjenjivač je dokazana tehnologija koju karakterizira jednostavna struktura, korištenje standardnih poluvodičkih ventila, a najveći nedostatak je mala učinkovitost na velikim snagama [9]. Snaga pojedinačnih vjetroagregata u današnje vrijeme je i do nekoliko MW, a na tim snagama ovaj pretvarač karakteriziraju dosta visoki gubici. Stoga se u današnjim primjenama s vjetroagregatima sve češće koriste topologije izmjenjivača kojima se postiže više naponskih razina, veći izlazni napon, a samim time i veća izlazna snaga. Primjer takve topologije je trirazinski diodno pritegnuti izmjenjivač (engl. *Three-level Neutral Point diode Clamped*) kojim se postiže jedna naponska razina više u odnosu na dvorazinski izmjenjivač, slika 16. Primjena ovog tipa izmjenjivača omogućava smanjenje filtra. Najveći nedostatak trofazinske topologije je nejednaka raspodjela gubitaka po pojedinim sklopkama.



Slika 15. Neizravni AC/AC pretvarač s dvorazinskim mrežnim izmjenjivačem

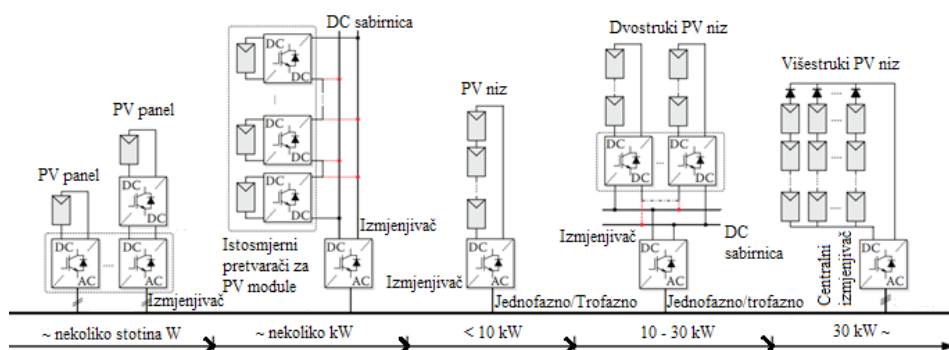


Slika 16. Neizravni AC/AC pretvarač s trirazinskim diodno-pritegnutim mrežnim izmjenjivačem

3.2. Primjene učinske elektronike u fotonaponskim sustavima

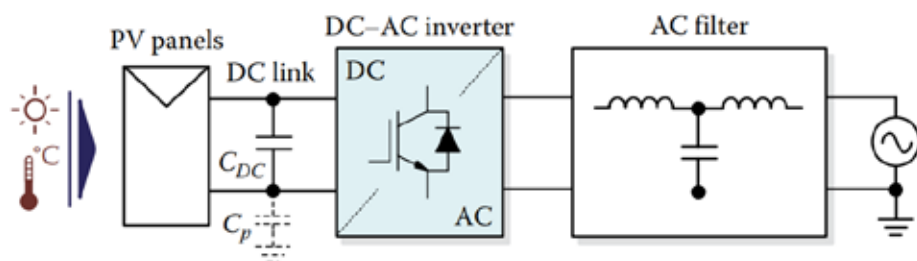
Potražnja za solarnom električnom energijom u stalnom je rastu od oko 20 % godišnje u posljednjih tridesetak godina što je posljedica činjenice da solarna električna energija postaje sve dostupnija i jeftinija [8]. Elektronički učinski pretvarači neizostavan su element za povezivanje fotonaponskih modula prema ostatku elektroenergetskog sustava. Odgovarajući učinski pretvarači omogućavaju učinkovitu pretvorbu i prilagodbu električne energije proizvedene pomoću fotonaponskih modula, tj. učinski pretvarači omogućavaju da se energija proizvedena pomoću fotonaponskog sustava preda u mrežu, trošilima ili da se pohrani u spremnike energije. Ovisno o zahtjevima primjene u kojoj se fotonaponski moduli koriste za proizvodnju električne energije, primjenjuju se različite konfiguracije spoja fotonaponskog sustava na mrežu, slika 17. Snaga fotonaponskog sustava je ključan parametar koji određuje vrstu konfiguracije prilikom spoja fotonaponskog sustava na mrežu, a pojedine konfiguracije spoja se razlikuju prema broju i topologiji izmjenjivača te istosmjernih pretvarača.

Pretvarači za fotonaponske sustave se dijele na tzv. jednostupanjske topologije koje se sastoje samo od izmjenjivača (engl. *single-stage inverter*) te dvostupanjske (višestupanjske) topologije koje se sastoje od izmjenjivača te istosmjernog pretvarača (s ili bez galvanskog odvajanja) (engl. *dual-stage inverter*). Pozicija istosmjernog međukruga u sustavu fotonaponskog pretvarača određuje podjelu na jednostupanjske i dvostupanjske topologije. Jednostupanjske topologije karakterizira istosmjerni međukrug na strani fotonaponskog panela. S druge strane, dvostupanjske topologije imaju istosmjerni međukrug smješten između istosmjernog pretvarača i izmjenjivača [11]. Mrežni izmjenjivač (ponekad se u literaturi naziva i PV izmjenjivač) se spaja na mrežu pomoću filtra koji se najčešće sastoji od kombinacije prigušnice i kondenzatora, u L, LC ili LCL konfiguraciji. Izmjenični filter omogućava smanjenje harmonika koji bi se inače utiskivali u mrežu.



Slika 17. Spoj fotonaponskog sustava na mrežu [11]

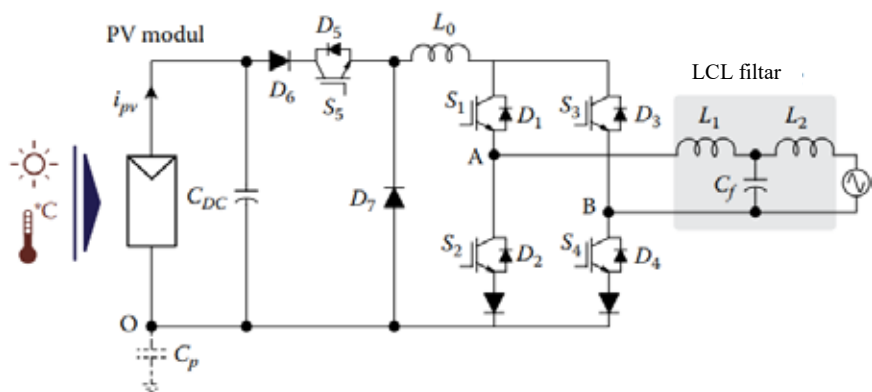
U slučaju jednostupanjske topologije, unutar izmjenjivača implementirano je upravljanje strujom koja se injektira u mrežu, algoritam praćenja točke maksimalne snage (engl. *Maximum Power Point Tracking - MPPT*) te ako je potrebno podizanje naponske razine fotonaponskog modula na odgovarajući napon mreže. Načelni prikaz jednostupanjske topologije fotonaponskog pretvarača dan je na slici 18.



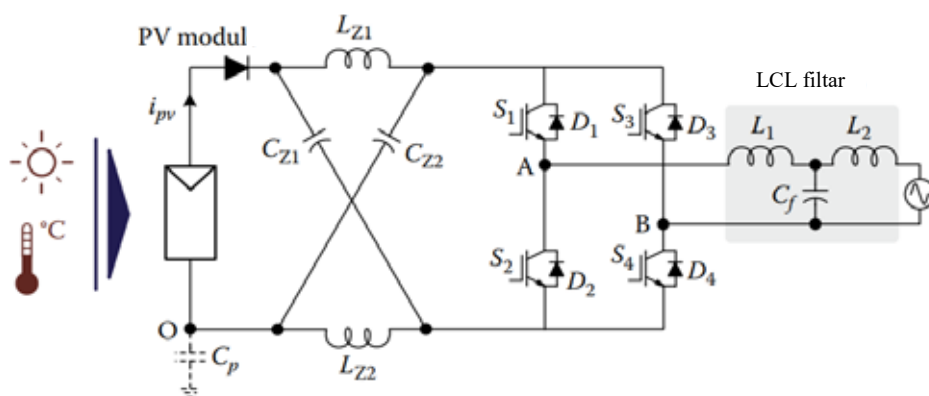
Slika 18. Blok-shema jednostupanjske topologije fotonaponskog pretvarača [11]

U primjenama gdje se naponska razina fotonaponskog modula značajnije razlikuje od napona mreže, izmjenjivač za jednostupanjske topologije osim pretvorbe istosmjernog napona u izmjenični napon koristi se i za prilagodbu naponske razine, tj. rada kao uzlazni ili silazni pretvarač. Izmjenjivač za jednostupanjske topologije najčešće se temelji na mosnom ili polumosnom spoju, upravljan bipolarnom sinusnom modulacijom širine impulsa (PWM). Jednostupanjska topologija izmjenjivača prikazana je na slici 19, a može raditi u silaznom, silazno-uzlaznom ili uzlaznom načinu rada te se za spoj na mrežu koristi LCL filter kako bi se ograničio THD struje. Silazni, silazno-uzlazni i uzlazni način rada postižu se s odgovarajućom sekvencom ukpanja i isklapanja pojedinih poluvodičkih ventila. Osim jednostupanjskih topologija s integriranim istosmjernim pretvaračem koriste se i jednostupanjske topologije temeljene na teoriji pretvorbe impedancija-admitancija te na impedantnoj mreži (engl. *impedance-admittance conversion theory, impedance network*). Primjer takvog pretvarača je *Z-source* izmjenjivač koji korištenjem LC mreže podiže razinu napona (djelovanje kao uzlazni pretvarač) za mosni izmjenjivač, slika 20.

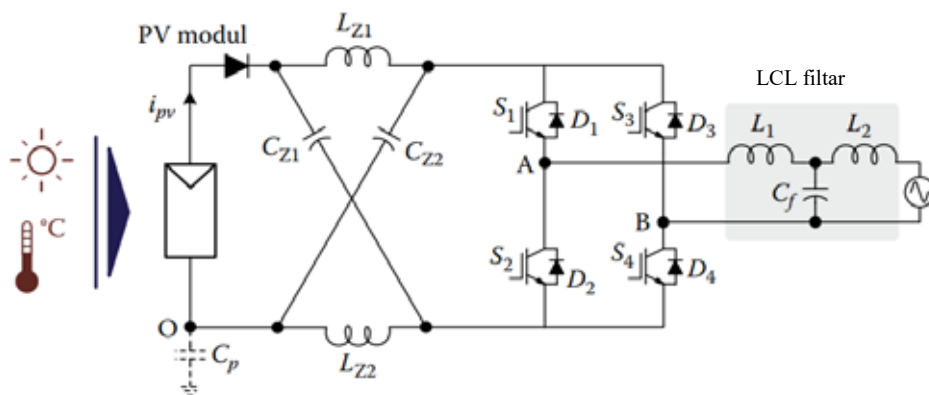
I na većim snagama, tj. za niz fotonaponskih modula, također se može koristiti izmjenjivač u jednofaznom mosnom spoju (engl. *Full-Bridge Inverter*), slika 21. Maksimalna učinkovitost ovakvog sustava je 96,5 % jer, tijekom vremenskog intervala kada su diode u vođenju, nema prijenosa radne snage već se jalova snaga razmjenjuje između mrežnog filtra i ulaznog kondenzatora [10].



Slika 19. Jednostupanjski izmjenjivač sa silaznim DC/DC pretvaračem na ulazu i LCL filtrom prema mreži [11]

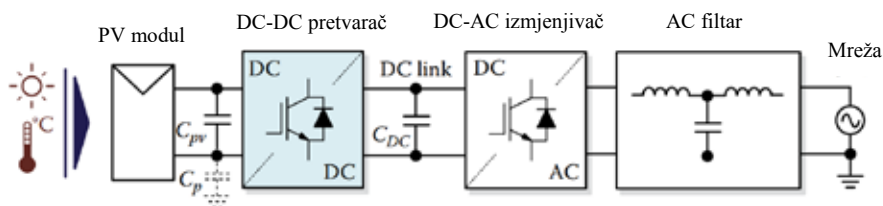


Slika 20. Jednostupanjski Z-source izmjenjivač s LCL filtrom prema mreži [11]



Slika 21. Jednofazni punomosni izmjenjivač fotonaponskog sustava s LCL filtrom [11]

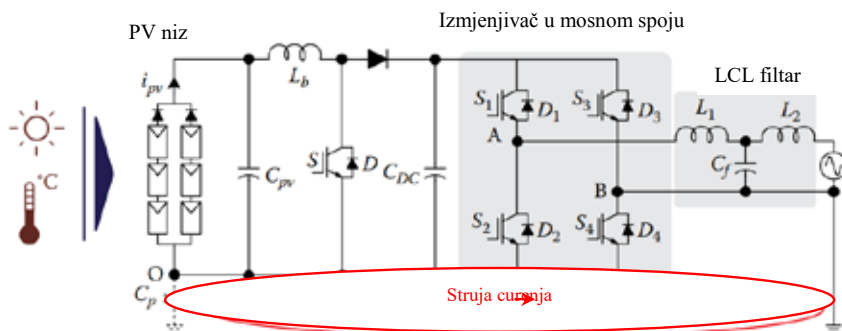
Za veći raspon vrijednosti napona uobičajeno se koriste dvostupanjske topologije. U slučaju dvostupanjske topologije, istosmjerni pretvarač zadužen je za MPPT i podizanje naponske razine, a izmjenjivač upravlja strujom koja se injektira u mrežu, slika 22. Ovakva struktura sastoji se od ulaznog filtra (kondenzatora) koji je spojen na fotonaponski modul. Uloga ulaznog filtra je odvajanje (engl. *decouple*) ulaznog modula od sljedećih faza, tj. smanjenje valovitost struje i napona na strani fotonaponskog modula.



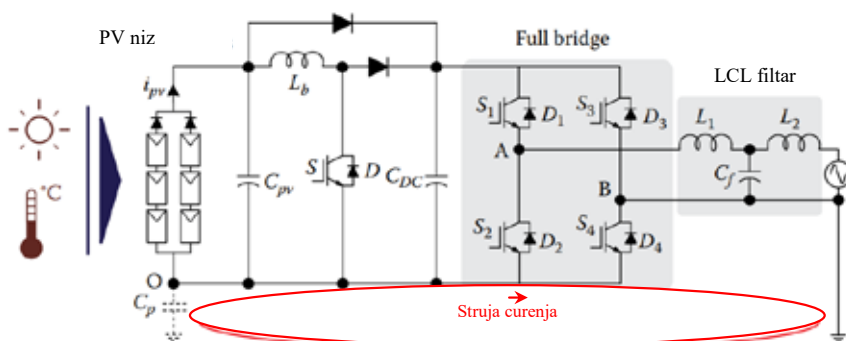
Slika 22. Blok-shema dvostupanjske topologije fotonaponskog pretvarača [11]

Nakon ulaznog filtra slijedi istosmjerni pretvarač za prilagodbu naponske razine s implementiranim algoritmom praćenja točke maksimalne snage, a ako se koristi pretvarač s visokofrekvencijskim transformatorom onda se postiže i galvansko odvajanje. Najčešće korištene topologije istosmjernih pretvarača su uzlazni pretvarač bez galvanskog odvajanja te neizravni istosmjerni pretvarač s galvanskim odvajanjem (engl. *Flyback*). Istosmjerni pretvarač povećava raspon ulaznog napona te omogućava stabilniji napon istosmjernog međukruga čime se poboljšavaju karakteristike upravljanja energijom koja se predaje u mrežu. Pojedine konfiguracije fotonaponskih sustava koriste više istosmjernih pretvarača kako bi se upravljanje ostvarilo na istosmjernoj strani.

Najčešće korištena dvostupanjska topologija fotonaponskog izmjenjivača prikazana je na slici 23 i sastoji se od istosmjernog uzlaznog pretvarača i izmjenjivača u mosnom spoju. Dodatak istosmjernog pretvarača uvjetovat će smanjenje učinkovitosti sustava stoga se često koriste i alternativne topologije uzlaznog pretvarača koje imaju mogućnost mekog sklapanja ili mogućnost vremenskog dijeljenja (engl. *time sharing*). *Time-sharing* uzlazni pretvarač karakteriziraju smanjeni gubici vođenja i gubici sklapanja, a jedna takva topologija prikazana je na slici 24.

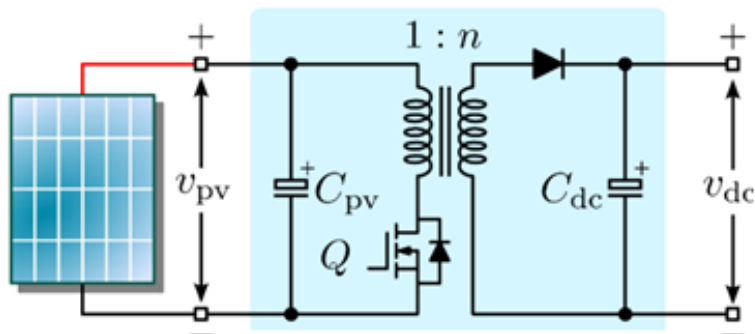


Slika 23. Dvostupanjski fotonaponski izmjenjivač s uzlaznim istosmjernim pretvaračem i LCL filtrom



Slika 24. Dvostupanjski fotonaponski izmjenjivač s *time-sharing* uzlaznim istosmjernim pretvaračem i LCL filtrom

U slučaju dvostupanjskih topologija primjenu pronalaze i istosmjerni pretvarači s galvaniskim odvajanjem. Upotrebom istosmjernog pretvarača s galvaniskim odvajanjem nije potrebno koristiti niskofrekvencijski mrežni transformator čime se smanjuju dimenzije sustava fotonaponskog pretvarača. Najčešće korištene topologije istosmjernih pretvarača s galvaniskim odvajanjem su neizravni istosmjerni pretvarač, slika 25, a ako se zahtijeva visoka učinkovitost najčešće se koristi pretvarač u dvostrukom mosnom spoju s galvaniskim odvajanjem (engl. *Dual Active Bridge* - DAB).



Slika 25. Istosmjerni neizravni pretvarač s galvanskim odvajanjem u sustavu dvostupanjskog pretvarača za fotonaponski modul

4. Budućnost učinkne elektronike u elektroenergetskom sustavu

Neminovno je da će se u budućnosti nastaviti razvijati novopostavljena paradigma elektroenergetskog sustava prema tzv. naprednoj elektroenergetskoj mreži s velikim udjelom obnovljivih izvora i spremnika energije. U takvoj naprednoj mreži ključnu ulogu imaju i imat će elektronički učinkni pretvarači koji moraju osigurati pouzdan i učinkovit prijenos električne energije te visoku kvalitetu električne energije. Kako bi se postigla bolja upravljivost proizvodnjom iz obnovljivih izvora energije te upravljivost tokovima energije u mreži u budućnosti se očekuje daljnji razvoj naprednih upravljačkih algoritama implementiranih u učinkne pretvarače. Također, s porastom udjela snage proizvedene iz obnovljivih izvora energije doći će do razvoja novih pretvaračkih topologija veće učinkovitosti i veće pouzdanosti. Tome će sigurno doprinijeti i sve veća upotreba i razvoj novih poluvodičkih komponenata na bazi SiC i GaN.

Zaključak

Osnovna načela učinske elektronike poznata su već od početka prošlog stoljeća. Znatna iskorak u razvoju i primjeni učinske elektronike potenciran je primjenom poluvodičkih ventila kao elektroničkih učinskih sklopki. Učinske poluvodičke sklopke omogućile su smanjenje dimenzija i gubitaka pretvaračkih uređaja što je potaknulo dodatna istraživanja na području topologija učinskih pretvarača i njihovu širu primjenu. Danas se više od dvije trećine ukupne svjetske proizvedene električne energije prilagođava trošilima upotrebom elektroničkih učinskih pretvarača. Uključivanje obnovljivih izvora i spremnika energije u elektroenergetski sustav moguće je isključivo korištenjem odgovarajućih učinskih pretvarača, čime se formiraju tzv. napredne mreže. Učinski pretvarači koji se koriste u elektroenergetskom sustavu primjenu pronalaze u sustavima za smanjenje utjecaja nelinearnih trošila na kvalitetu električne energije, u sustavima neprekinutog napajanja, za pretvorbu obilježja energije iz obnovljivih izvora, za spajanje spremnika električne energije na napredne mreže, itd. Razvoj novih poluvodičkih komponenata (SiC, GaN), novih topologija (višerazinski pretvarači, dvosmjerni pretvarači) te metoda upravljanja pretvaračima omogućit će daljnje jačanje uloge učinske elektronike u elektroenergetskom sustavu budućnosti (HVDC, FACTS).

Literatura

- [1] učinska elektronika. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 21. 1. 2022. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=62932>>.
- [2] F. Blaabjerg, S. Round, *Power electronics: revolutionizing the world's future energy systems*, Pristupljeno 26.1.2022., <https://www.hitachienergy.com/news/perspectives/2021/08/power-electronics-revolutionizing-the-world-s-future-energy-systems>
- [3] *William Shockley*, Pristupljeno 26. 1. 2022, https://en.wikipedia.org/wiki/William_Shockley
- [4] ventil. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 26. 1. 2022. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=64271>>
- [5] Electropedia. International Electrotechnical Commission. 2017-12-15.
- [6] Živić Durović, M., Kezele B., Škrlec D., Primjenjivost mikromreža u distribucijskoj mreži HEP ODS-a, HO-CIRED, 2010.
- [7] Pristupljeno 26. 1. 2022, <http://unitedenergyventures.com/Decentralised%20Energy.html>
- [8] J. M. Carrasco et al., "Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 4, pp. 1002-1016, June 2006, doi: 10.1109/TIE.2006.878356.
- [9] F. Blaabjerg, K. Ma and Y. Yang, "Power Electronics for Renewable Energy Systems - Status and Trends," CIPS 2014; 8th International Conference on Integrated Power Electronics Systems, 2014, pp. 1-11.
- [10] Y. Yang, K. A. Kim, F. Blaabjerg, and A. Sangwongwanich, *Advances in Grid-Connected Photovoltaic Power Conversion Systems*, Woodhead Publishing, 2018.
- [11] Blaabjerg, Frede, Ionel, Dan M, *Renewable energy devices and systems with simulations in MATLAB® and ANSYS®*, CRC Press (2017)

Karla Draženović, Ante Perić, Zvonko Benčić, Viktor Šunde

Power electronics in the power system - past, present, future

Abstract: In the last few decades, the electric power system is facing a change in the way energy is produced, transmitted, and used. At the moment, the energy power system is in the phase of transition from fossil fuels to renewable energy sources. Annual installed capacity of renewable generation is higher than conventional one and it is expected that this growth will continue in the future. The transition to renewable sources and energy sustainable and efficient production relies on efficient power electronic devices as a technology that enables the successful integration of renewable sources into the power system. This paper presents a brief history of power electronics and its application in today's power system with a hint of future research and development that will lead to even more significant use of power electronics in the power system.

Keywords: semiconductor devices, renewable energy sources, energy storage, microgrids, distributed generation, highly-efficient power converters

Tesla i Hrvati

Mario Essert, Tihomir Žilić i Darko Žubrinić

Tesline dvije autobiografije

Sažetak. Postoje dvije autobiografije Nikole Tesle: *My Inventions* i *The Strange Life of Nikola Tesla*. U članku se razmatraju neke razlike među tim biografijama. Čini se da je druga knjiga ona koja odgovara Teslinom izvorniku, a ne prva. Ovaj članak predstavlja poziv na dublji studij pitanja autentičnosti Teslinih dviju autobiografija.

Ključne riječi. Nikola Tesla, dvije autobiografije, razlike među njima

Uvod

Svrha ovog članka je usporediti sljedeće dvije autobiografije Nikole Tesle:

- *My Inventions* (Moji pronalasci), objavljene 1919. u časopisu *Electrical Experimenter* (EE), gdje je glavni urednik bio Hugo Gernsback;
- *The Strange Life of Nikola Tesla* (Neobičan život Nikole Tesle), koju je priredio John Roland Hans Penner 1995., Kolmogorov – Smirnov Publishing.

Čini se da su neke od Teslinih rečenica koje se pojavljuju u *The Strange Life of Nikola Tesla* ispuštene u *My Inventions*. I obratno, neke od rečenica su naknadno dodane u *My Inventions*, koje Tesla izvorno nije napisao. Čini nam se da je knjiga *The Strange Life of Nikola Tesla* ona koja odgovara Teslinom izvorniku, a ne *My Inventions*.

U petom poglavlju knjige *The Strange Life of Nikola Tesla*, riječi “after a short visit to my friends in Watford, England” su maknute u *My Inventions*. Poznato je da je Tesla doista posjetio Englesku 1892. godine i tamo održao predavanje u Royal Society u Londonu pod naslovom “Experiments with alternate current of high potential and high frequency”.

Nevjerojatno je da je vrijednost od 100.000.000 volti (sto milijuna volti), koja se pojavljuje u petom poglavlju knjiga *The Strange Life of Nikola Tesla* (vidi u sljedećem

odjeljku), smanjena u *My Inventions* na 1.000.000 volti, tj. sto puta! Oko sedam rečenica ispod toga je Hugo Gernsback Teslin izraz “over 100,000,000 volts” promijenio u samo “4,000,000 volts”.

Postavlja se pitanje jesu li neke Tesline rečenice bile uklonjene u odnosu na nesačuvani Teslin izvornik (koji je rezultirao s *My Inventions*), ili su bile naknadno uključene, što je rezultiralo sa *The Strange Life of Nikola Tesla*. Čini se da je slučaj bio ovo prvo. Zašto bi inače Tesla spominjao da je posjetio svoje prijatelje u engleskom gradu Watford 1892.? Zašto bi netko dodao informaciju o Teslinoj posjeti Waterfordu (gradu u blizini Londona) u Teslin izvorni tekst? Čini nam se da je ta informacija već bila sadržana u izvornom Teslinom tekstu.

Treba ovdje primijetiti da je izdavačka kuća Kolmogorov – Smirnom, koja je tiskala knjigu *The Strange Life of Nikola Tesla*, imenovana prema dvojici istaknutih ruskih matematičara, te da u statistici postoji pojam “Kolmogorov-Smirnov test”. Priređivač te knjige H. R. Penner živi u Kanadi, ako je još živ.¹

U kratkom uvodnom tekstu u knjigu *The Strange Life of Nikola Tesla* navodi se da je R. H. Penner pretipkao malu i vrlo istrošenu knjižicu koju je nabavio u antikvarijatu za \$2.50. Na toj knjižici je navedeno ime originalnog nabavljača koji se zovao Arthua Daine (?), s naznačenim datumom 29 travnja 1978. Knjižica se čini puno starijom, tiskana na 40 stranica. Nija imala oznake copyrighta. Penner navodi da ta knjižica nije više dostupna u tiskanom obliku, te da ju je pretipkao od riječi do riječi točno prema izvornoj numeraciji stranica. Nije poznat izdavač izvorne knjižice.

Nekoliko primjera

Sada navedimo nekoliko karakterističnih dijelova iz knjige *The Strange Life of Nikola Tesla*, s podcrtanim riječima kojih nema (ili se sadržaj bitno razlikuje) u *My Inventions*.

Chapter 2, **My First Efforts At Invention**, str. 9

My friend, the Hon. Chauncey M. Dupew, tells of an Englishman on whom he sprung one of his original anecdotes and who listened with a puzzled expression, but a year later, laughed out loud. I will frankly confess it took me longer than that to appreciate Johnson's joke. Now, my well-being is simply the result of a careful and measured mode of living and perhaps the most astonishing thing is that three times in my youth I was rendered by illness a hopeless

¹ Pokušali smo g. Pennera kontaktirati na njegov e-mail J.Penner@GENIE.GEIS.com (koji je naveden u uvodu knjige), ali bez uspjeha.

physical wreck and given up by physicians. MORE than this, through ignorance and lightheartedness, I got into all sorts of difficulties, dangers and scrapes from which I extricated myself as by enchantment. I was almost drowned, entombed, lost and frozen. I had hair-breadth escapes from mad dogs, hogs, and other wild animals. I passed through dreadful diseases and met with all kinds of odd mishaps and that I am whole and hearty today seems like a miracle. But as I recall these incidents to my mind I feel convinced that my preservation was not altogether accidental, but was indeed the work of divine power. An inventor's endeavour is essentially life saving. Whether he harnesses forces, improves devices, or provides new comforts and conveniences, he is adding to the safety of our existence. He is also better qualified than the average individual to protect himself in peril, for he is observant and resourceful. If I had no other evidence that I was, in a measure, possessed of such qualities, I would find it in these personal experiences. The reader will be able to judge for himself if I mention one or two instances.

Chapter 5, **The Magnifying Transmitter**, p. 26

Upon regaining my health, I began to formulate plans for the resumption of work in America. Up to that time I never realised that I possessed any particular gift of discovery, but Lord Rayleigh, whom I always considered as an ideal man of science, had said so and if that was the case, I felt that I should concentrate on some big idea.

At this time, as at many other times in the past, my thoughts turned towards my Mother's teaching. The gift of mental power comes from God, Divine Being, and if we concentrate our minds on that truth, we become in tune with this great power. My Mother had taught me to seek all truth in the Bible; therefore I devoted the next few months to the study of this work.

One day, as I was roaming the mountains, I sought shelter from an approaching storm. The sky became overhung with heavy clouds, but somehow the rain was delayed until, all of a sudden, there was a lightening flash and a few moments after, a deluge. This observation set me thinking.

p. 27

It seemed a hopeless undertaking, but I made up my mind to try it and immediately on my return to the United States in the summer of 1892, after a short visit to my friends in Watford, England; work was begun which was to me all the more attractive, because a means of the same kind was necessary for the successful transmission of energy without wires.

At this time I made a further careful study of the Bible, and discovered

the key in Revelation. The first gratifying result was obtained in the spring of the succeeding year, when I reaching a tension of about 100,000,000 volts — one hundred million volts — with my conical coil, which I figured was the voltage of a flash of lightening. Steady progress was made until the destruction of my laboratory by fire, in 1895, as may be judged from an article by T.C. Martin which appeared in the April number of the Century Magazine. This calamity set me back in many ways and most of that year had to be devoted to planning and reconstruction. However, as soon as circumstances permitted, I returned to the task.

Although I knew that higher electric-motive forces were attainable with apparatus of larger dimensions, I had an instinctive perception that the object could be accomplished by the proper design of a comparatively small and compact transformer. In carrying on tests with a secondary in the form of flat spiral, as illustrated in my patents, the absence of streamers surprised me, and it was not long before I discovered that this was due to the position of the turns and their mutual action. Profiting from this observation, I resorted to the use of a high tension conductor with turns of considerable diameter, sufficiently separated to keep down the distributed capacity, while at the same time preventing undue accumulation of the charge at any point. The application of this principle enabled me to produce pressures of over 100,000,000 volts, which was about the limit obtainable without risk of accident. A photograph of my transmitter built in my laboratory at Houston Street, was published in the Electrical Review of November, 1898.

Chapter 6, **The Art of Telautomatics**, p. 35

I have expressed myself in this regard fourteen years ago, when a combination of a few leading governments, a sort of Holy alliance, was advocated by the late Andrew Carnegie, who may be fairly considered as the father of this idea, having given to it more publicity and impetus than anybody else prior to the efforts of the President. While it can not be denied that such aspects might be of material advantage to some less fortunate peoples, it can not attain the chief objective sought. Peace can only come as a natural consequence of universal enlightenment and merging of races, and we are still far from this blissful realisation, because few indeed, will admit the reality — that God made man in His image — in which case all earth men are alike. There is in fact but one race, of many colours. Christ is but one person, yet he is of all people, so why do some people think themselves better than some other people?

Svjedočanstvo Maria Esserta

Na koncu svog mandata predstojnika „Zavoda za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava“, pozvao sam članove Zavoda na zajednički izlet u Smiljan, rodno mjesto Nikole Tesle. Bilo je to u svibnju 2018. godine. Jednodnevni izlet uključivao je posjet rodnoj kući hrvatskoga političara i književnika Ante Starčevića (1861.-1895.) u Velikom Žitniku, posjet muzeju Like grada Gospića i posjet Memorijalnom centru „Nikola Tesla“ u Smiljanu. Prvo smo posjetili ‘rodnu kuću’ Nikole Tesle ispred koje se nalazi kameno obilježje sa smjerokazima i udaljenostima u kilometrima zračne linije prema mjestima i gradovima u kojima je Nikola Tesla živio i radio. U prizemlju kuće, slikom i zvukom prikazan je životni put i genijalnost velikog izumitelja, a povijesna događanja koja prate njegov život utkani su u lentu vremena. Tu nam je voditeljica muzeja rekla kako Nikola Tesla, unatoč tomu što mu je otac bio pravoslavni svećenik (prota), nije bio religiozan. Istina je, rekla je, da je on imao nekakve vizije koje je pripisivao onostranosti, ali to nije bila vjera. Prilično me iznenadila ta izjava, jer o Teslinoj religioznosti nisam nikad razmišljao, a proučavao sam njegova otkrića još kao student na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu (1973.-1977.).

Ta me misao snažno zaokupila dok smo u potkrovlju iste kuće gledali replike Teslinih izuma, a još više u ispitnoj stanici s eksperimentom visokofrekventnih struja. Ta ispitna stanica, izgrađena nedaleko od rodne kuće, replika je Teslinog laboratorija iz Colorado Springsa gdje je Tesla boravio 1899-1900. i istraživao bežični prijenos informacije i energije na daljinu, npr. bez vodiča je u to doba upalio 200 žarulja udaljenih 40 milja. Pitao sam se, koje su to ‘onostrane vizije’ koje su dovele do otkrića, a koja su i danas temelj mnogobrojnih tehnologija (radio prijemnik, televizija, mobitel), tehnologija kojima je Tesla zauvijek promijenio svijet? No, pravo me pitanje i to potpuno ‘slučajno’ obuzelo tek za vrijeme gledanja filma o Tesli. Nakon demonstracija u ispitnoj stanici voditeljica nas je dovela u konferencijsku dvoranu, koja služi i kao kino-dvorana. Tu nam je prikazan dokumentarac o Teslinom životu. Bilo je ugodno sjesti u fotelje nakon višesatnog hodanja, a to je i planirani završetak obilaska Centra.

Dokumentarac je snimila Hrvatska radio televizija (HTV 2) 2007. godine prema autobiografiji „*Moji pronalasci*“. Glas za film dao je glumac Rade Šerbedžija. Taj film koji traje 45:44min, počinje s autentičnim tonskim zapisom gradonačelnika New Yorka, gospodina Fiorello la Guardia-e s izvješćem o Teslinom preminuću: „U četvrtak navečer u našem gradu New Yorku, čovjek u dobi od 87 godina, preminuo je u svojoj skromnoj hotelskoj sobi. Njegovo ime je Nikola Tesla. Umro je u siromaštvu, a bio je jedan od najkorisnijih i najuspješnijih ljudi koji su ikad živjeli...“. Film se nastavlja čitanjem rečenica iz Tesline autobiografije. I onda, neočekivano, čujem odlomak (iz 2. poglavlja *Mojih pronalazaka*) koji me duboko pogađa: „Preživio sam strašne bolesti i sreo se sa svim vrstama strašnih nezgoda, a još uvijek sam ostao hrabar i čitav, što je

čudo. Ali, kad se sjetim, svih tih događaja, uvjeren sam da se nisam spasio slučajno.“ Bilo je to na 4:54min od početka filma. Kako to, pitao sam se, znanstvenik, koji nije religiozan, može biti ‘uvjeren da se nije spasio slučajno’? Ta rečenica mi je jednostavno izgledala nezavršenom.

Jedva sam navečer dočekaao trenutak mira da se upustim u istraživanje izvorâ. Za to sam imao i dobro pripravljenju literaturu, jer sam članove Zavoda darovao jednim CD-om na kojem je bilo puno sadržaja vezanih uz naš izlet, od hrvatske povijesti i Starčevića do literature o Tesli koju sam sabrao s interneta. Do potvrde svoje teze došao sam vrlo brzo. U knjizi „The Strange Life of Nikola Tesla“ ta je rečenica doista imala nastavak: „But as I recall these incidents to my mind I feel convinced that my preservation was not altogether accidental, but was indeed the work of divine power.“

Istodobno i neovisno od mene, moj kolega i prijatelj, doc. dr. sc. Tihomir Žilić, također je uočio razliku dviju autobiografija: jedna „Moji izumi“ nije spominjala Teslino čitanje Biblijske knjige Otkrivenja, dok je druga – „The strange life of Nikola Tesla“, imala sve dodatne odlomke. Usporedbom oba izvora uvidjeli smo da se odlomci u kojima se spominje Biblija, Bog ili bilo što vezano uz religioznost u toj knjizi ne spominju u ‘službenoj’ inačici autobiografije, u ‘My inventions’. Je li prva knjiga nastala dodavanjem spornih odlomaka ili je ‘službena’ verzija cenzurirana?

Kolega Žilić dao si je truda proučavati i originalne tekstove iz uglednog časopisa „Electrical Experimenter“ iz 1919. godine, po kojima je i nastala ‘službena’ verzija „My inventions“. U njima se nisu nalazili sporni odlomci, ali pod neobičnim okolnostima. Umjesto njih stajali su naslovi koje su urednici časopisa dodali, a koji nisu Teslini. To još uvijek nije bio dokaz jesu li odlomci recenzirani ili su u drugoj knjizi dodani. Međutim, kolega Žilić našao je dio rečenice kojeg također nema u ‘službenoj’ verziji: „It seemed a hopeless undertaking, but I made up my mind to try it and immediately on my return to the United States in the summer of 1892, after a short visit to my friends in Watford, England; work was begun which was to me all the more attractive, because a means of the same kind was necessary for the successful transmission of energy without wires.“

Je li moguće da je neki ‘vjerski fanatik’, koji je želio načiniti Teslu ‘religioznim’ imao motiva i znanja napisati takvu rečenicu. Ili su moderatori časopisa i službene verzije autobiografije s dubokim uvjerenjem prosvjetiteljske brige da se čitatelji ne inficiraju „opijumom za narod“ izbacili sve odlomke, a usput i ovaj koji razrješuje tu zagonetku? Tesla je doista 1892. godine bio u Engleskoj, a noviji interview-i s Teslom govore tomu u prilog i njegovoj religioznosti: Tesla je bio vjernik, redovito se molio i čitao Bibliju, svetu Božju riječ. Štoviše, Biblija je po Teslinom ispovijesti bila rješenje (key) najvećeg otkrića modernoga doba (At this time I made a further careful study of the Bible, and discovered the key in Revelation.).

Zaključak

Ivan Meštrović, znameniti hrvatski kipar, o Teslinoj je duhovnosti i idealizmu zapisao sljedeće riječi (vidi [Meštrović]):

Njegov ideal i svi njegovi naponi bili su usmjereni na to, da koristi napretku čovječanstva. Iza toga je skrenuo u mistiku i pripovjedaio mi, kako se još od mladosti prije spavanja, klečeći na golim koljenima, molio Bogu. Kad sam ga upitao, kakve molitve moli, odgovorio mi je:

- One, koje sam u djetinjstvu molio. Ali, da, tako sam se molio sve do svoje pedesete godine. Od toga se doba molim drugačije, nu to je svejedno, suština je ista, i ja se molim Bogu svakoga dana.

Kao što vidimo, Teslina duhovnost stoji čvrsto na kršćanskim temeljima, a to je našlo vidljivog odraza i u njegovoj autobiografiji. Iz tog razloga, zajedno s ostalim primjerima navedenim u članku, zaključujemo da autentičnu Teslinu autobiografiju predstavlja knjiga *The Strange Life of Nikola Tesla*, a ne *My Inventions*. Čitatelje pozivljemo da sami usporede dvije navedene Tesline autobiografije putem izvora dostupnih na Internetu.

Upućujemo također i na knjigu [Filipi, str. 137-144], gdje je moguće naći još neke dodatne usporedbe dviju Teslinih autobiografija, u odjeljku *Krivotvorine u "Mojim pronalascima"*.

Literatura

- [1] Nikola Tesla: *My Inventions*, <https://archive.org/details/TeslaArticlesElectricalExperimenter/page/n45> (posjećeno travnja 2022.)
- [2] Mario Filipi: *Nikola Tesla ispod paučine*, 2. prošireno izdanje, Samobor 2006. (treće izdanje je u pripremi)
- [3] Ivan Meštrović: *Uspomene na političke ljude i događaje*, Buenos Aires, 1961., Knjižnica Hrvatske revije. (str. 191-193); ili Matica hrvatska, Zagreb 1969. (str. 169-170)
- [4] Darko Žubrinić: Školovanje Nikole Tesle u Hrvatskoj i njegov učitelj Martin Sekulić, www.croatian-history.net/etf/tesla_sekulic.html (posjećeno travnja 2022.)
- [5] Mario Essert, Tihomir Žilić, Darko Žubrinić: Differences between two Tesla's autobiographies, www.croatianhistory.net/etf/teslas.html (posjećeno travnja 2022.)

Mario Essert, Tihomir Žilić i Darko Žubrinić

Two Tesla's autobiographies

Summary. There exist two autobiographies of Nikola Tesla: *My Inventions*, and *The Strange Life of Nikola Tesla*. In this article we discuss some of the differences between them. It seems to us that the second book is the one corresponding to Tesla's original text, and not the first one. This article is an invitation for a deeper study of the question of authenticity of the two Tesla's autobiographies.

Keywords. Nikola Tesla, two autobiographies, differences between them, Hugo Gernsback, John Roland Hans Penner

Darko Žubrinić

Nikola Tesla i njegov asistent Charles F. Scott

Sažetak. Charles F. Scott (1864. – 1944.) zaposlio se u kompaniji Westinghouse tijekom ljeta 1888. neposredno nakon studija matematike i fizike, te je bio dodijeljen Nikoli Tesli kao njegov asistent na poslovima razvoja Teslinog indukcijskog motora na izmjeničnu struju. Radio je više od dvadeset godina na razvoju Teslinog polifaznog sustava i izravno je povezan s pionirskim radom na izgradnji znamenite hidrocentrale na vodopadima Niagare 1895. g. Poznat je kao izumitelj „Scottove veze“ (Scott connection) ili Scottovog T transformatora (Scott-T transformer). U ovom članku objavljujemo malo poznati prilog Scotta pod naslovom „The Contribution of Tesla to Electrical Power Development“, objelodanjenog 1929. g. u zborniku *Tehnički fakultet Sveučilišta / kraljevine Jugoslavije u Zagrebu*, 1919-1929, povodom obilježavanja deset obljetnice utemeljenja Tehničke visoke škole u Zagrebu. Sačuvana je iznimno interesantna Teslina fotografija s hrvatsko-američkim boksačem Fritzie Zivicem, u kojoj smo otkrili i lik Scotta, vidljiv u ogledalu iza Teslinih leđa. To je jedina zajednička fotografija Tesle i Scotta koja nam je poznata.

Ključne riječi. Nikola Tesla, Charles F. Scott, Fritzie Zivic, George Westinghouse, izmjenična struja, polifazni sustav, Fiorello La Guardia.

1. Charles F. Scott i njegova suradnja s Nikolom Teslom

Charles F. Scott rođen je 1864. u Athensu, Ohio, gdje je studirao matematiku i fiziku na Ohio State University i diplomirao 1885. g. Nakon toga je magistrirao matematiku i fiziku na The John Hopkins University. Tijekom ljeta 1888. zaposlio se u kompaniji Westinghouse Electric and Manufacturing Company u Pittsburghu, Pennsylvania, te je kolovoza 1888. dodijeljen Nikoli Tesli kao njegov asistent. Tesla je 1. svibnja te iste godine patentirao indukcijski motor i polifazni sustav.¹

¹ Ovdje vrijedi podsjetiti da je u području Pittsburgha najveća gustoća naseljavanja hrvatske emigra-

Charles Scott je nešto ranije, 16. svibnja 1888., pribivao značajnom Teslinom predavanju održanom u organizaciji Američkog instituta elektroinženjera (AIEE², preteča današnjeg IEEE³) u New Yorku na Columbia University, pod naslovom „Novi sustav izmjeničnih struja i transformatora“.⁴

Na temelju suradnje s Teslom, Scott je na polifaznim sustavima razvio novu metodu fazne transformacije koja je postala poznata kao „Scottova veza“ (Scott connection) ili Scottov T transformator (Scott-T transformer), te je 1894. g. o tome objavio članak. Radi se o kombinaciji dvofaznog i trofaznog sustava, točnije, o ostvarivanju prijelaza iz dvofaznog u trofazni sustav i obratno. Kao Teslin pomoćnik, Scott je u Pittsburghu radio izravno oko godine dana, s 1888. na 1889. Godine 1899. Tesla je napustio Westinghouseovu korporaciju. Na temelju iskustva s Teslom, Scott je odigrao značajnu ulogu u izgradnji centrale na izmjeničnu struju na vodopadima Niagare, koja je dovršena 1895. g. Naravno, kroz cijelo to vrijeme Scott je bio u stalnoj vezi s Teslom. Tesla je osobno imao važnu ulogu i u vrlo složenom pravnom postupku kojim je Westinghouse dobio prava oko ugovora za Niagaru.⁵ Prvu praktičnu primjenu je spomenuta Scottova veza našla 1896. g., za potrebe elektro-energetskog sustava kojim je hidrocentrala na Niagari povezana s gradom Buffalo u državi New York.

U razdoblju od 1902. – 1903. g., Scott je bio na istaknutom položaju predsjednika Američkog instituta elektroinženjera (AIEE). Njegova je važna uloga bila u boljem povezivanju raznih elektrotehničkih društva u SAD-u, kao i u sistematskom radu s mlađim naraštajima. Radi toga je potaknuo vrlo poznatog škotsko-američkog industrijalca i dobrotvora Andrew Carnegie-a,⁶ da financira izgradnju nebodera

cije u SAD-u, koja se zapošljavala osobito u čeličanicama.

² AIEE, predhodnica IEEE-a, utemeljena je 1884. g.

³ IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) postoji od 1963. g. Iste godine je utemeljena međunarodna nagrada pod nazivom IEEE Nikola Tesla Award, a dobitnici dobivaju medalju s Teslinim likom. Spomenimo da se od 1909. do danas svake godine dodjeljuje *IEEE Edison Medal*, koja je također međunarodnog karaktera. Prema službenom popisu, Nikola Tesla je dobitnik Edisonove medalje postao 1916. g.

⁴ Izvorni naslov Teslina predavanja održanog 1888. g. u organizaciji AIEE glasi: „A new system of alternate-current motors and transformers.“

⁵ Vidi (Carlson, 9. poglavlje), osobito str. 171 – 183.

⁶ Andrew Carnegie (1835. – 1919.), rođen u skromnoj obitelji u Škotskoj, postao je jedan od najboljih ljudi SAD-a. Utemeljitelj je Carnegie Steel Company u Pittsburghu, koja postoji i danas pod imenom U.S. Steel. Posljednjih 18 godina života uložio je skoro 90% svojeg imetka za razvoj lokalnih knjižnica (više od 2500 knjižnica širom svijeta), nabavku više od 7600 orgulja širom svijeta, za pomoć humanitarnim organizacijama, raznim zakladama i sveučilištima. Od poznatijih institucija spomenimo koncertnu dvoranu Carnegie Hall u New Yorku, Carnegie Mellon University, Carnegie Institution for Science, Peace Palace u New Yorku, Carnegie Trust for the Universities of Scotland. Godine 1889. je u svojem eseju *Evangelje bogatstva* (*The Gospel of Wealth*) ustvrdio da bogati pojedinci (kao on) imaju

AIEE-a od trinaest katova u New Yorku (Brittain 2002, str. 8).

G. Mario Filipi nam je koncem 2020. g. poslao dragocjeni i malo poznati podatak da je 1892. g. Nikola Tesla izabran na položaj jednog od trojice dopredsjednika AIEE.⁷ Nije stoga isključeno da je deset godina kasnije Charles F. Scott postao predsjednikom AIEE na preporuku Nikole Tesle. Naravno, značajna mu je preporuka bila i plodan rad u svojstvu Teslinog asistenta.



Charles F. Scott (1864. – 1944.), Teslin asistent od 1888. g.

Izvor ove fotografije, kao i ostalih na kojima je portret Charlesa F. Scotta, je Wikipedia.

Neposredni prije Charlesa F. Scotta, predsjednik AIEE je u razdoblju od 1900. – 1902. bio Charles Proteus Steinmetz (1865. – 1923.), koji se posebno isticao sposobnošću da složene fizikalne pojave objasni matematičkim metodama. Steinmetzu u

moralnu obvezu raspodijeliti svoj novac tako da potiču blagostanje i sreću običnih ljudi. Također je napisao i ovo: “Čovjek koji umire bogat, umire ponižen”. U Hrvatskoj je jedan od najfascinantnijih primjera dobrotvora Miho Pracat (oko 1552. – 1607.), pomorac i bankar rodom s otoka Lopuda kod Dubrovnika, jedini pučanin u povijesti kojemu je Dubrovačka Republika podigla spomenik.

⁷ O tome postoji bilješka objavljena pod naslovom „Electricians Choose Officers“ u *New York Times*, May 19, 1892. Zahvaljujemo g. Mario Filipiju na ovom podatku.

čast je 1979. g. ustanovljena nagrada *IEEE Steinmetz Award*. Bio je vrlo niskog rasta. Poznata je njegova zajednička fotografija s Albertom Einsteinom i s grupom sudionika jedne konferencije. Vjerovalo se da se na toj fotografiji pored Einsteina nalazi i Tesla, što se međutim pokazalo netočnim.⁸

Scott je više od dvadeset godina, od 1888. do 1911., radio na razvoju Teslinog polifaznog sustava, te je, kao što je već naglašeno, izravno povezan s pionirskim radom na izgradnji hidrocentrale na vodopadima Nijagare 1895. g. Pretpostavljamo da je Scott surađivao s Teslom i na pripremama za poznatu *Svjetsku Kolumbovu izložbu* (World's Columbian Exposition) održanu 1893. g. u Chicagu, povodom obilježavanja četristote obljetnice Kolumbova otkrića Amerike, ali o tome nismo našli pisanih podataka.



Charles F. Scott pored modela svojeg T transformatora

Od 1911. g., nakon višegodišnje suradnje s Teslom (izravne i neizravne), zaposlio se kao profesor elektrotehnike na Yale University (New Heaven Connecticut) u SAD-u, gdje je vodio Program za nastavu elektrotehnike.

⁸ Zahvaljujem g. Miranu Perhavecu iz Maribora na ovom podatku.

Scott je, kao i prije njega Tesla 1916. g., bio dobitnik prestižne „Edisonove medalje“, koju dodjeljuje AIEE. Nagradu je primio 1929. g. za svoje doprinose u području višefaznog prijenosa električne energije (polyphase power transmission), ostvarene tijekom njegove rane suradnje s Nikolom Teslom. Iste je godine postao i počasni član AIEE. U mirovinu je otišao 1933., a preminuo je 1944., godinu dana nakon Tesle, u dobi od 80 g. Opširnije o Scottu vidi (Brittain 2002).

Kao što ćemo vidjeti niže, postoji jedna vrlo neobična fotografija na kojoj su zajedno Nikola Tesla i Charles F. Scott.

2. Nikola Tesla s hrvatsko-američkim boksačem Fritzie Zivicem i Charlesom F. Scottom

Posve neočekivano, naišli smo na zajedničku fotografiju Nikole Tesle i Charlesa F. Scotta iz 1941. g. Ona prikazuje Teslu s hrvatsko-američkim profesionalnim boksačem Fritzijem Zivicem (1913. – 1984., izvorno Živčić), čiji otac Josip Živčić je bio rodom iz Bosiljeva u Hrvatskoj. Fritzie Zivic, poznat kao „The Croat Comet“, je 1941. g. uspio obraniti titulu svjetskog prvaka u uzvratnom meču protiv poznatog američkog crnoputog boksača Henry Armstronga.

Taj uzvratni boksачki meč, održan kao i prvi u prestižnom Madison Square Gardenu u New Yorku,⁹ izazvao je nezapamćeno zanimanje dolaskom više od 23000 gledatelja,¹⁰ a oko 5000 ljudi ostalo je bez karata. Nikola Tesla je Zivicemov ponovnom pobjedom bio toliko oduševljen, da ga je pozvao kod sebe u hotel na objed, zajedno s njegovih četvero braće.

Na izvanredno lijepoj fotografiji, na kojoj je prikazan razdragani Tesla, vidljiv je kao druželjubiva i vrlo socijalna i duhovita osoba. Fotografija zrači topline i prisnošću.

⁹ Prvi boksачki meč između Armstronga i Zivica održan je 1940. g.

¹⁰ Ta brojka je i do danas nenadmašana.



Razdragani Nikola Tesla 1941. g. s Fritzijem Zivicem i njegovom braćom: Joe Zivic, Fritzie Zivic, Nikola Tesla, Jack Zivic, Pete Zivic i Eddie Zivic. U ogledalu iza Teslinih leđa je vidljivo da za stolom sjede još barem dvije osobe. Jedna od njih je Charles F. Scott.¹¹



Raspoloženi Nikola Tesla 1941. g. s Fritzie Zivicem, hrvatsko-američkim boksačem¹²

Na fotografiji smo primijetili jednu važnu pojedinost: u ogledalu iza Teslinih

¹¹ Izvor ove fotografije, kao i ostalih na kojima se pojavljuje Nikola Tesla, je Photo archive of the *Pittsburgh Post-Gazette*. Ova je fotografija objavljena 19 siječnja 1941. u novinama *Pittsburgh Press*.

¹² Ovo je jedna od rijetkih fotografija na kojoj se Tesla smije. Zahvaljujem g. Mariju Filipiju na ovom podatku.

leđa vidljivo je da za stolom sjede još barem dvije osobe, a jedna od njih je nesumnjivo Charles F. Scott, nekadašnji Teslin asistent (od 1888.). Vjerujemo da bi novine *Pittsburgh Press* od 19. siječnja 1941. g., u kojima je objavljena ta fotografija, mogle sadržavati dodatne pojedinosti o tom susretu, te bi ih stoga bilo od interesa pažljivo pregledati.

Naša je slutnja da se na fotografiji za istim stolom (vidljiv u ogledalu iza Teslinih leđa, desno od Charlesa Scotta) nalazi Fiorello La Guardia (1882 – 1947.), najznačajniji gradonačelnik New Yorka u povijesti toga grada, u razdoblju od 1934. do 1945.



U ogledalu iza Teslinih leđa vidljiv je lik Charlesa F. Scotta, koji sjedi za istim stolom s Teslom i s braćom Zivic. Desno od Scotta je vidljiva još jedna nama nepoznata osoba. Čini se da bi to mogao biti Fiorello La Guardia, znameniti gradonačelnik New Yorka, koji je govorio hrvatski jezik.

Grad Rijeka ima ulicu s imenom Fiorella LaGuardia. Na Ellis Island ispred New Yorka nalazi se “Muzej Američkih doseljenika” (*Ellis Island Immigration Museum*), gdje za Fiorello H. LaGuardiju stoji natpis iz kojeg je vidljivo da je govorio i hrvatski jezik.¹³

Još jedna fotografija dokazuje da se Tesla susreo s braćom Zivic u više navrata, te da je s njima doista bio u veoma prisnim odnosima. Vjerujem određenu važnost u njihovoj međusobnoj komunikaciji i prijateljstvu ima činjenica da je Fritz Zivic sa svojom braćom i roditeljima živio u Pittsburghu, gdje su Tesla i Scott boravili zajedno puno ranije, s 1888. na 1889. g.



Nikola Tesla s braćom Zivic (Živčić) 1941. g., dvije godine prije smrti

¹³ Evo sadržaja tog natpisa: „Fiorello H. LaGuardia, who would later become one of America’s foremost public servants, was an interpreter on Ellis Island from 1907 to 1910. Certified to speak three languages - Italian, German, and Croatian, LaGuardia received an annual salary of \$1,200.“ Izvor ovog podatka je (Novak, str. 71), s odgovarajućom fotografijom. Fiorello LaGuardia je bio američki konzularni agent u gradu Rijeci (1903. – 1906.). Po svjedočenju g. Vladimira Novaka, volio je pjevati hrvatske pjesme, a kada je došao u SAD, zaposlio se na Ellis Island u New Yorku (1907. – 1910.). Iz članka (Rivetti 2015) doznajemo da je 1905. g. La Guardia kao 23-godišnji mladić u Rijeci igrao nogomet za lokalni klub. Bio je niskog rasta, visok 1 m i 57 cm. Po njemu se zove poznata zračna luka *La Guardia Airport* u New Yorku. U gradu Rijeci postoji ulica s njegovim imenom.



Fritzie Zivic siječnja 1941 g. na naslovnoj stranici časopisa *The Ring*

Fritzie Zivic uveden je kao istaknuti američki boksač u International Boxing Hall of Fame 1993. g. O njemu je još za njegova života objavljena monografija pod naslovom Timpav:¹⁴ *CHAMP - Fritzie Zivcic - The life and time of the Croat Comet*.¹⁵

¹⁴ Timpav je pseudonim Josepha M. Pavlaka, hrvatskog novinara u SAD-u.

¹⁵ Jack Zivic, stariji brat Fritzie Zivica, osvojio je na Olimpijskim igrama održanim 1920. g. u Antwerpenu u Belgiji zlatnu olimpijsku medalju u boksu za SAD u pero-kategoriji.

3. Članak Charles F. Scotta u čast Nikole Tesle, objavljen u Zagrebu 1929. g.

Ovdje objavljujemo malo poznati članak Charlesa F. Scotta objelodanjen 1929. g. u Zagrebu u zborniku *Tehnički fakultet Sveučilišta / kraljevine Jugoslavije u Zagrebu*, 1919-1929, povodom obilježavanja desete obljetnice utemeljenja Tehničke visoke škole u Zagrebu. Vidi (Scott 1929). Iako u Zborniku nije izričito navedeno, pretpostavljamo da je članak zamoljen od Charlesa F. Scotta. Nije nam poznato da je ikada objavljen u SAD-u ili igdje drugdje, osim 1929. u Zagrebu.

U svojem članku Scott naglašava da Teslini patentni indukcijskog motora i polifaznog sustava predstavljaju temelj za novu industrijsku revoluciju. Naglašava da je prije Tesline metode izmjenične struje, za svaku grupu od 50 do 100 sijalica bio potreban poseban istosmjerni generator.

Charles Scott u svojem članku naglašava da se pravi značaj Teslinog otkrića indukcijskog motora i polifaznog sustava najviše ogleda u svojem industrijskom, ekonomskom i socijalnom značaju. Početkom 20. st. vidljivo je veliko povećanje proizvodnje na temelju mogućnosti koje pruža indukcijski motor. Plaće radnika rastu, sati proizvodnje padaju, čime se pružaju nove mogućnosti za razvoj intelektualnih, estetskih i duhovnih sadržaja. Primjene izmjenične struje u tvornicama, kućama i farmama, dovele su do značajnih promjena u svega nekoliko desetljeća, a sljedećih će stoljeća imati utjecaje koje je teško predvidjeti. (O svemu tome je naravno daleko više i sadržajnije pisao sam Nikola Tesla.)¹⁶

U zadnjem dijelu svojeg članka Scott opsežno citira mišljenje uredništva uglednog američkog časopisa *Electrical World*,¹⁷ napisano povodom dodjele „Edisonove medalje“ Nikoli Tesli 2017. g. Evo tog Scottovog članka, koji je zadnji puta objavljen 1929. g. u Zagrebu.

¹⁶ Ovdje valja spomenuti i paralelnu industrijsku revoluciju u području petrolejske industrije, na čijim počecima od 1901. g. stoji Anthony F. Lucas (Antun Lučić), rođen 1855. g. u Splitu. Kao što je Tesla otac moderne elektrotehnike, tako je i Anthony F. Lucas otac naftne industrije (ili prema američkim izvorima, „the father of petroleum engineering“). O Antunu Lučiću – Lucasu pogledajte članak (Žubrinić 1995), kao i povezane članke.

¹⁷ Časopis *Electrical World* se objavljuje od 1883. g.

The Contribution of Tesla to Electrical Power Development

Charles F. Scott¹⁸

If one seeks the all important factor underlying the civilization of the nineteenth century in which the locomotive and the steamship made the world a compact unit and in which the industrial revolution enormously increased productive power and transformed our modes of life, he will find back of it all the steam engine. Steam power supplementing animal power was the motive power underlying the transformations in the civilization of the last century.

And with the new century is coming a new acceleration or even a new industrial revolution. And again it is power, more power, a new kind of power, mobile, flexible, universal power - electric power, which is again transforming our civilization.

To our present method of using electric power Nikola Tesla made an outstanding contribution. The induction motor which is in universal use and the polyphase system by which practically all electric power is now generated and transmitted were revealed in the United States patents granted to Tesla on May 1, 1888. To appreciate the significance of this invention it is essential to consider the state of the art at the time and also to tract its subsequent development. Prior to the introduction of the Tesla methods electric service was on a small scale. Arc lighting required a separate generator and circuit for each group of 50 or 100 lamps. Incandescent lighting was at first supplied by the direct current, three wire system which was so limited in its radius that many independent stations were required for lighting a large city. Electric railways required a different type of generating machinery. Motors were few in number operated sometimes from lighting circuits and sometimes from their own special generators and circuits.

The introduction of the alternating current was a notable step in advance. The use of high voltage for transmission with transformers for reducing the voltage greatly extended the radius of economical distribution and led to a great increase in the use of electricity. But practically the whole use of the current was for incandescent lighting. There was no adequate motor. The alternating current which overcame the limitations of distance could not supply power.

¹⁸ Mr. Scott entered the Westinghouse Company in the summer of 1888 and was assigned as assistant to Mr. Tesla in the early experimental work upon his motor. Mr. Scott continued with the Westinghouse Company for something over twenty years and participated actively in the development of the polyphase system and was intimately connected with the pioneer work at Niagara Falls. (Ova bilješka je objavljena kao dio Scottovog članka objelodanjenog u Zagrebu 1929. g.)



Charles F. Scott

Tesla produced the induction motor adapted for use on alternating current and of marvelous simplicity in its construction and operation. His patents were immediately acquired by George Westinghouse, the outstanding advocate of alternating current. At first there was hope that the new motor could in some way be adapted for satisfactory operation on the existing single phase lighting circuits. But the motor called for polyphase circuits and for a lower frequency. Electric lighting companies hesitated about completely reequipping their generating stations to enable them to furnish auxiliary motor service and the motor, as a matter of fact, did not achieve its large distinction as a mere supplement to lighting service but in a new field of its own creation.

In the early '90s the outstanding electrical development of the world was

at Niagara Falls. In the development of an enterprise which contemplated the production of far more power than was produced at any single locality it was found essential that the power be produced by large water wheels of unprecedented size and then distributed over a considerable area. An international Niagara Commission of experts from various countries sought proposals on methods for the distribution of this power. The projects received advocated hydraulic transmission and transmission by compressed air and by electricity, some advocating direct current and one proposal, polyphase, alternating current. Lord Kelvin, Chairman of the Commission, and Edison, renowned inventor, strongly urged direct current. Westinghouse did not participate in the competition but later strongly recommended the polyphase alternating current which his company had been perfecting. The Niagara enterprise, after its world wide quest for an adequate power system chose polyphase alternating current, the Tesla system. The Niagara plant of 1895 inaugurated the great step in the transition from the mechanical power industry of the nineteenth century to the universal electric power of the present. A new method in power was inaugurated. Formerly power was produced locally at each factory by its own water wheel or engine. Now power sufficient for 100 mills or more was to be produced in a central station and distributed. It was to be transmitted and distributed electrically and to great distances. The electric generators of 5000 H. P. were several times larger than had ever been built.

Furthermore, the new polyphase system enabled electric service of all kinds to be supplied from one source instead of requiring the multiplicity of small machines of different types as was then the common practice. These heterogeneous systems and circuits were replaced by one comprehensive system for universal service. This pioneer plan inaugurated at Niagara has been followed; the power systems of the world today and those planning for the future employ the polyphase alternating current - the system proposed by Tesla in 1888. The induction motor, so beautiful in its basic principle and so simple in its mechanical construction, was at first regarded as Tesla's great achievement and the polyphase system was thought of as simply a means of supplying current to the motor. But in the development of electric power the polyphase system as a universal system for generating, transmitting, distributing and utilizing electricity in all forms has made possible the great power development of today. No other method is known for accomplishing what is now being accomplished by this method.

But the real significance lies not in the invention itself nor in the marvelous growth of electric light and power service but in their industrial, economic and social significance. In the last few decades in the United States the horse

power used in industry has increased several times as fast as the number of wage earners. Production has enormously increased as workers have used the power which the motor provides. Wages increase, working hours decrease and there is new opportunity for the development of the intellectual, the aesthetic and spiritual phases of life. Electricity in the factory, in the home and on the farm has produced significant changes in a few decades and in the coming centuries will have influences which are futile to predict.

On May 18, 1917, exactly twenty-nine years after Tesla presented his first paper announcing his invention before the American Institute of Electrical Engineers, he was awarded the Edison Medal. The *Electrical World* editorially commented upon the event as follows:

“The award of the Edison Medal to Nikola Tesla is most appropriate, in view of the early contribution that he made to alternating-current motors. In order to recognize that contribution, one must go back to the period, thirty years ago, when alternating-current engineering was greatly handicapped by the absence of motors capable of being installed on alternating-current circuits.

It was at this point that Tesla invented the polyphase alternating-current system and polyphase motors, which, whether of the synchronous or of the asynchronous type, had the advantage of definite starting torque. It is generally understood that he was not the only inventor of the polyphase motor. The same idea seems to have occurred to one or two other independent inventors in Europe. But not only was Tesla the sole American independent inventor of the polyphase motor, but he was also the only inventor of it in the whole world who had faith in it. He believed in it enthusiastically and urged its claims both publicly and privately. He built the first small polyphase motor, which behaved very satisfactorily, and he urged the building of larger ones. Much experimenting, desiring and discarding had to be done before large polyphase motors could be built successfully, and the progress was slow; but Tesla's faith was unshakable and his claims were prophetic. A less enthusiastic mature might have quailed before the discouragements and have allowed success to escape.

The polyphase motor was not Tesla's only pioneer contribution to electrical progress. He was a tireless experimenter, and his experiments carried him very early into the field of high-frequency alternators, or alternators which, in 1890, were considered to give high frequency. Later he developed the well known Tesla induction coil, or high-frequency oscillator. With this new source he was able to demonstrate, during 1891 and 1892, in England, France and America, a number of entirely new electrical phenomena which at lower frequencies had been unobtainable. His lectures were given at the Royal Institution

in London, the Franklin Institute in Philadelphia, and in various other places. The experimental phenomena he produced were dazzling and classical. They deservedly brought him great renown.



Charles F. Scott, vjerojatno kao predsjednik AIEE 1902. – 1903. (kasniji IEEE)

The high-frequency phenomena that Tesla first developed and displayed had scientific rather than practical interest; but Tesla called attention to the fact that by taking his electric oscillator, grounding one side of it and connecting the other to an insulated body of large surface, it should be possible to transmit electrical oscillation to a great distance, and to communicate intelligence in this way to other oscillators in sympathetic resonance therewith. This was going far toward the invention of radio-telegraphy as we know it today.

For the above reasons we welcome and acclaim the award to Nikola Tesla which the American Institute of Electrical Engineers has made of its Edison medal. We of this generation are prone to forget great efforts and the unwearying patience which have been necessary in the past to produce those results which are now the every-day electrical common-places of life, and it is well to signalize them, lest the next generation in its turn should forget the result of the pains and labor of this.”

Još neka nova otkrića o Nikoli Tesli

Ovaj članak predstavlja nastavak niza članaka o novim saznanjima o Nikoli Tesli, objavljenih u (Žubrinić 1917 – 2020). Koristimo prigodu ovdje spomenuti malo poznati podatak da je Nikola Tesla 1929. g. u gradiću Puntu na otoku Krku projektirao Munjaru (električnu centralu). Teslina je tehnička dokumentacija nestala (otuđena) oko 1948. g., tijekom zloglasne komunističke kolektivizacije za vrijeme ex-Jugoslavije. Ovaj je podatak objelodanio prof. dr. sc. Rado Žic Mikulin,¹⁹ koji je kao dijete zajedno sa svojim ocem vidio Tesline nacрте, u vrijeme dok su se još čuvali u arhivu Munjare u Puntu. Opširnije pogledajte u (Žubrinić 2020).

Još jedan važan novi podatak koji iznosi profesor Žic Mikulin tiče se hrvatskog mornara koji se zvao Pero Orlić Vicencov, rodom iz Punta. On je bio prijatelj Nikole Tesle (tjS. Mikule Tesle, kako je govorio), a boravili su u istom hotelu. Kada je Tesla preminuo, Pero Orlić Vicencov ga je s nekolicinom osoba previo i presvukao, položivši ga na jednu dasku. Upravo on je 1929. g. potaknuo Teslu da za planiranu Munjaru u Puntu izradi tehničke nacрте. Na temelju njegova svjedočenja (a u zapisu profesora Žic Mikulina) doznajemo da je Tesla povremeno držao popularna predavanja iz elektrotehnike za radnike u New Yorku, kojima su pribivali i naši ljudi. Ovi podatci bit će objavljeni u knjizi (Eleršek i Žic Mikulin), koja je u pripremi.

¹⁹ Dr. Rado Žic Mikulin (rođen 1936. g. u Puntu na otoku Krku), doktor je medicinskih znanosti, specijalist u području cervikofacijalne kirurgije i otorinolaringologije, u miru. Doktorirao je pod vodstvom profesora (kasnije akademika) Ive Padovana.

Zahvale. Zahvaljujem dr. Petru Javoru, docentu Zavoda za primijenjenu matematiku FER-a u miru, na darovanom primjerku Spomenice koja sadrži članak (Scott 1929). Zahvaljujem pok. g. Vladimiru Novaku na podatku da je Fiorello La Guardia govorio hrvatski jezik i pjevao hrvatske pjesme, te njegovoj supruzi gđi. Mariji Johanni Novak na darovanoj fotomonografiji (Novak 2018). Zahvaljujem također g. Mariu Filipiju na malo poznatom podatku da je 1892. g. Nikola Tesla postao dopredsjednik AIEE.

Literatura

- [1] James C. Brittain, Charles F. Scott: A Pioneer in Electrical Power Engineering, *IEEE Industry Applications Magazine* Vol. 8 (2002), No 6, str. 6 – 8.
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1044199> (posjećeno studenog 2020.)
- [3] W. Bernard Carlson, *Tesla, izumitelj električnog doba*, Planetopija, Zagreb 2014. (prijevod na hrvatski; naslov izvornika: *Tesla – Inventor of the Electrical Age*, Princeton University Press, 2013)
- [2] Leo Eleršek i Rado Žic Mikulin, *Tugomerika* (provizorni naslov), knjiga u pripremi
- [3] Vladimir Novak, *Croatians in America, Zagreb – Croatia*, 2018.
- [4] Igor Rivetti: Sportski život Rijeke, *Turistička zajednica grada Rijeke*, 2015.
http://press.visitrijeka.hr/Najvaznije_o_Rijeci/Dossier_Rijeka/Sportski_zivot_Rijeke, (posjećeno prosinca 2020.)
- [4] Charles F. Scott, The Contribution of Tesla to Electric Power Development, u *Tehnički fakultet Sveučilišta / kraljevine Jugoslavije u Zagrebu*, 1919-1929, Spomenica fakultetskog savjeta, Preštampano iz godišnjaka Sveučilišta u Zagrebu 1924/1925 - 1928/29, Zagreb 1929, str. 975 – 978.
- [5] Darko Žubrinčić
- Antun Lučić (Anthony F. Lucas), otac svjetske naftne industrije, 1995., <http://www.croatianhistory.net/etf/et2a2a.html> (posjećeno studenog 2020.)
 - Školovanje Nikole Tesle u Hrvatskoj i njegov profesor Martin Sekulić, u *Povijest i filozofija tehnike / radovi EDZ sekcije 2017. godine* / Benčić, Zvonko; Moser, Josip (ur.). Zagreb : *Kiklos*, Zagreb 2017., str. 81 – 117.
 - Nastava hrvatskog jezika, matematike i fizike tijekom školovanja Nikole Tesle u Hrvatskoj, u *Povijest i filozofija tehnike / radovi EDZ sekcije 2018 godine* / Benčić, Zvonko (ur.). Zagreb : *Kiklos*, 2018. str. 293 – 317.
 - Nikola Tesla i njegov učitelj Martin Sekulić, <http://www.croatianhistory.net/etf/teslah.html>, 2019. (posjećeno rujna 2020.)
 - Nikola Tesla and Croatians in the USA, www.croatianhistory.net/etf/tesla_sekulic.html, 2020. (posjećeno rujna 2020.)
 - Schooling of Nikola Tesla in Croatia and his Professor Martin Sekulić, prihvaćeno u *Journal of Croatian Studies*, tentatively Vol. 53 (2021)

Darko Žubrinić

Nikola Tesla and his Assistant Charles F. Scott

Summary. Charles F. Scott (1864. – 1944.) was employed immediately after his studies of Mathematics and Physics, at the Westinghouse Corporation during the Summer of 1888, and he was assigned to Nikola Tesla as his assistant on the project of development Tesla's induction motor using alternating current. He collaborated for more than twenty years on Tesla's polyphase system, and was directly involved in the pioneering work on the completion of the famous Niagara power plant. He is known as the inventor of the „Scott connection“ or Scott-T transformer. In this article we reproduce a little known text by Scott entitled „The Contribution of Tesla to Electrical Power Development“, published 1929 in Croatia, in the proceedings entitled *Tehnički fakultet Sveučilišta / kraljevine Jugoslavije u Zagrebu*, 1919-1929, on the occasion of tenth anniversary of establishing the High Technical School in Zagreb. An extremely interesting Tesla's photo with Croatian-American boxer Fritze Zivic is preserved from 1941, where we have discovered the figure of Scott, visible in the mirror behind Tesla's back. This is the only joint photo of Tesla and Scott known to us.

Keywords. Nikola Tesla, Charles F. Scott, Fritzie Zivic, George Westinghouse, alternating current, polyphase system, Fiorello La Guardia.

