

# Godišnjak 2020

Akademija tehničkih  
znanosti Hrvatske

## Projekti suradnje članova Akademije s gospodarstvom

novi proizvodi, usluge i unapređenja  
od gospodarskog interesa



## Sadržaj

Uvodna riječ .....	1
<i>Andročec, V.</i>	
Inovacije i transfer tehnologije ključni su čimbenik razvoja hrvatskog gospodarstva .....	3
<i>Šimpraga, M.</i>	
 <b>Radovi članova Akademije</b>	
Inovativni građevni proizvodi s pepelom drvne biomase .....	13
<i>Štirmer N., Carević I., Cerković S., Grubor M. i Bjegović D.</i>	
Održiv i energetski učinkovit fasadni panel ECO-SANDWICH® – od razvoja do primjene .....	27
<i>Banjad Pečur I., Milovanović B., Bjegović D., Štirmer N., Bagarić M., Carević I.</i>	
Primjena poluparametarskog modela smetnje radarskog odjeka mora u civilnom nadzoru dijela granice Jadrana .....	42
<i>Vondra, B., Bonefačić, D., Mišković, T.</i>	
Flora Croatica Database: izazovi 25-godišnjeg razvoja i održavanja .....	57
<i>Fertalj, K., Milašinović, B.</i>	
Primjena životinjskih stanica u proizvodnji cjepiva protiv bolesti Aujeszkoga .....	71
<i>Slivac, I., Gaurina Srček, V., Radošević, K., Kmetić, I., Kniewald, Z.</i>	
KONPRO 2 – Razvoj nove generacije uređaja numeričke zaštite .....	82
<i>Beus, R., Štor, A., Kuzle, I., Bišćan, M., Brkljac, B.</i>	
RUCONBAR betonske barijere za zaštitu od buke s recikliranom gumom .....	94
<i>Lakušić, S., Haladin, I.</i>	

Zagreb 21-CTT: Novi sustav pričvršćenja tramvajskog kolosijeka .....	104
<i>Lakušić, S., Haladin, I., Vranešić, K.</i>	
 Digitalizacija poduzeća – priprema za digitalnu ekonomiju EU i 4. Industrijsku revoluciju .....	114
<i>Majdandžić, N.</i>	
 Modernizacija stručnog studijskog programa za obrazovanje inženjera motornih vozila .....	126
<i>Mikulić, D., Šaban, A., Milčić, D.</i>	
 Primjena Bluetooth detektora u analizi prometnog toka i anomalija izazvanih pandemijom CoVID-19 .....	140
<i>Muštra, M., Jelušić, N., Cvetek, D.</i>	
 SafeTRAM <sup>1</sup> - Sustav za upozorenje na opasnost frontalnog sudara za urbana tračnička vozila .....	153
<i>Marković, I., Cvijić, I., Peršić, J., Oršić, M., Šegvić, S., Petrović, I., Babić, J., Eršek, A., Gavran, T., Tečec Ribarić, Z.</i>	
 Uvođenje računalnih sustava za pripremu i praćenje proizvodnje u hrvatsku odjevnu industriju .....	168
<i>Rogale, D., Ujević, D.</i>	
 Tendencije razvoja znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo .....	185
<i>Ujević, D.</i>	
 Mjerenje i analiza vibracija energetskih transformatora s ciljem smanjenja buke .....	196
<i>Bazina, T., Kamenar, E., Zelenika, S., Perčić, M., Vrcan, Ž., Ćučić, B., Ilijašević, M.</i>	
 Razvoj procesa kompostiranja biorazgradive frakcije komunalnog otpada u laboratorijskom mjerilu .....	205
<i>Sokač, T., Šalić, A., Kučić Grgić, D., Šabić Runjavec, M., Vidaković, M., Vuković Domanovac, M., Zelić, B.</i>	
 Ispitivanje i analiza duljine olimpijskog bazena .....	223
<i>Zrinjski, M., Barković, Đ., Matika, K.</i>	
 Ispitivanje i analiza preciznosti optičkog nivelira .....	233
<i>Zrinjski, M., Barković, Đ., Tupek, A.</i>	

Softverska podrška za obradu podataka geodetskih mjerena .....	242
<i>Zrinjski, M., Matika, K., Stojnović, M.</i>	

Dealing with Challenges of the European Energy Transition .....	249
<i>Andročec, V., Čavljina, N., Duić, N., Krajcar, S., Mrša, V., Terze, Z.</i>	

## Pregled

Pregled aktivnosti Akademije tehničke znanosti Hrvatske u 2020. godini .....	267
<i>Miškić Rogić, T.</i>	

Autorski indeks .....	277
-----------------------	-----



## **Uvodna riječ**

Poštovani čitatelju,



već tradicionalni Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske pokušava obznanjivati aktivnosti svojih članova i tijela kako ne bi u zaboravu ostali često vrijedni doprinosi našem društvu i njegovu razvoju. Stoga smo u ovom Godišnjaku 2020. pokušali djelomično prikazati znanja i istraživačke rezultate naših članova kroz projekte suradnje s gospodarstvom što je jedna od važnih misija naše Akademije. Naši članovi kao istaknuti znanstvenici u području tehničkih i biotehničkih znanosti često rade na takvim projektima iz kojih proizlaze rezultati primjenjeni u gospodarstvu pa neke od njih ovdje ukratko prikazujemo.

U nastavno istraživačkom radu se često dolazi do novog znanja, spoznaja, zanimljivog otkrića, ili izuma koji bi mogli postati inovativan proizvod ili usluga. Kako dalje od ideje preko procesa zaštite intelektualnog vlasništva. Da li je ispravan put kojim nas upućuju naši vrli ekonomisti i agencije da sveučilišni nastavnici i znanstvenici u institucijama svoje ideje i znanja sami komercijaliziraju i osnivaju tvrtke. To je lijepo s aspekta naših ekonomista: smisli sam, a onda i prodaj sam, a mi ekonomisti i dalje s tim nemamo ništa, osim „pametnog“ ekskulpirajućeg savjeta nakon kojeg peru ruke i tonu u dubine dugogodišnjeg nerada. Pronalaženje strateških partnera, potencijalnih izvora financiranja za istraživanja i transfer znanja i tehnologije, komercijalizacija (licenciranje, prodaja) ili predlaganje osnivanja novog trgovačkog društva tako se prebacuje te ostaju i dalje u domeni istraživača, inovatora ili izumitelja iako za to oni nisu obrazovani ni kompetentni.

Postavlja se pitanje kako onda praktično osnažiti spregu istraživanja, inovacija i gospodarstva, pa i kakve su realne koristi od dosadašnjih brojnih donijetih suhoparnih i beživotnih strategija istraživanja, transfera tehnologije i inovacija proglašenih kao krucijalno važnih hrvatskih i europskih dokumenata.

Tijekom čitanja objavljenih radova i svojevrsnih iskustava postat će razvidno, bez obzira na brojne nedaće, da su mnogi rezultati istraživanja članova Akademije uspješno realizirani i da su na razne načine našli svoju realizaciju i praktičnu primjenu.

Iz ovih radova vidljiva je aktivnost i akademska izvrsnost naših članova, ali postavlja se pitanje da li je to rezultat osobnog stvaralačkog žara ili je to rezultat dosad stvorennog uspješnog i poticajnog istraživačkog okruženja. Okruženje bi se, između ostalog, trebalo odraziti i u postupcima napredovanja kroz vrednovanje praktičnih rezultata kao važan kriterij za napredovanje i kao kriterij za nastavne norme pa i dodatke na plaće, a osobito bi se odrazilo na dosad potpuno neuspješne pokušaje reindustrializacije Hrvatske. Postupak u kojem institucije provode ocjenu znanstvenog uspjeha koja se temelji na numeričkim podacima o objavljenim publikacijama očito nije dobar ni dostatan. Kriteriji su numeričke prirode i omogućuju napredovanje bez rezultata primjene rezultata istraživanja u Hrvatskom gospodarstvu, a k tome stimuliraju aktivnosti rezultata istraživanja od kojih korist imaju drugi, a ne hrvatsko gospodarstvo.

Stoga bi radovi otisnuti u ovom Godišnjaku trebali biti primjeri dobre prakse rada hrvatskih znanstvenika koji su rezultirali i kao novi proizvodi, usluge i unaprjeđenja koji su zaživjeli i postali dio hrvatskih proizvodnih aktivnosti.

GLAVNI UREDNIK  
prof. dr. sc. *Vladimir Andročec*  
Predsjednik Akademije tehničkih znanosti Hrvatske

# **Inovacije i transfer tehnologije ključni su čimbenik razvoja hrvatskog gospodarstva**

Miljenko Šimpraga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> prorektor za inovacije, transfer tehnologije i komunikacije Sveučilišta u Zagrebu

**Sažetak:** Sveučilište u Zagrebu prepoznaće obrazovanje, znanost, inovacije i transfer znanja i tehnologije kao razvojne prioritete koji jedini Hrvatskoj mogu donijeti dugoročni ekonomski napredak i društvenu stabilnost. Da bi se to ostvarilo potrebno je u kratkom roku povećati udjel izdataka za I&R u BDP-u na 1,4 kako poticanjem istraživačkih i razvojnih aktivnosti poslovnog sektora tako i u okviru znanosti i visokog obrazovanja. Nužno je u razumnom roku poticati projekte kojima bi se udvostručila zaposlenost u I&R u poslovnom sektoru, kako bi se približili barem razini od 50% u odnosu na prosjek Europske unije. Potrebno je programe potpore poduzećima još jače povezati s proizvodnim i procesnim inovacijskim aktivnostima, suradnjom inovativnih poduzeća te suradnjom s javnim i privatnim obrazovnim, znanstvenim i istraživačkim ustanovama i poduzećima. Također, treba poticati veće zapošljavanje mladih stručnjaka u hrvatskom gospodarstvu, kako bi se osigurala pokretačka snaga za promjene prema gospodarstvu temeljenom na znanju i inovacijama.

**Ključne riječi:** inovacije; transfer tehnologije; sveučilišta; gospodarstvo

## **1. Uvod**

Sveučilište u Zagrebu prepoznaće obrazovanje, znanost, inovacije i transfer znanja i tehnologije kao razvojne prioritete koji jedini Hrvatskoj mogu donijeti dugoročni ekonomski napredak i društvenu stabilnost. Da bi to postigli Hrvatska mora postati *otvoreno, mobilno i inovativno društvo* u kojem su cjeloživotno učenje, znanost i inovacije javni interes i u kojem država mora osigurati uvjete za djelotvorno funkciranje. Hrvatska mora stvoriti okružje koje omogućuje i potiče interakcijske i transferne mehanizme suradnje u znanosti i tehnologiji između istraživačke zajednice, inovativnog gospodarstva i društvene djelatnosti. Nakon ulaska Hrvatske u EU tu posebna uloga pripada humanističkim znanostima, jer je stvorena potreba za predstavljanjem hrvatske humanistike izvan naših granica radi osiguravanja hrvatske

prisutnosti i prepoznatljivosti u multinacionalnoj uniji. S druge strane, nije nestala potreba za neprekidnim redefiniranjem hrvatskog identiteta unutar Hrvatske. Stalno proučavanje nacionalne i svjetske kulturne baštine i povijesti nužnost je društva koje svoj identitet gradi na rezultatima znanosti.

U svim europskim dokumentima, a posebice strategiji pametnog, održivog i uključujućeg rasta Europa 2020, pridruženim stožernim inicijativama *Inovacijska unija i Digitalna agenda za Europu* te programskom okviru *Obzor 2020*, povezuju se istraživanja i inovacije te razrađuje *trokut znanja između obrazovanja, istraživanja i inovacija* što čini temelj za postizanje sinergijskih učinaka ulaganja u znanost i inovacije iz nacionalnih, regionalnih i međunarodnih fondova. Ulaganja u znanost i inovacije, pa onda i u transfer tehnologije će omogućiti da javna hrvatska sveučilišta postanu međunarodno kompetitivna, odnosno, sveučilišta koja stvaraju novu znanstvenu, društvenu, kulturnu i gospodarsku vrijednost. Nova znanje i nove ideje, novi procesi, proizvodi i usluge te novo poduzetništvo povezane su sastavnice istraživačkog stvaralaštva. Stoga se hrvatska sveučilišta trebaju razvijati kao istraživačka, prepoznatljiva po jakim istraživačima i istraživačkim skupinama, utjecaju na društvo i gospodarstvo. Takve zadaće sveučilišta zahtijevaju autonomiju u upravljanju, financiranju i istraživanju uz odgovornost u stvaranju i prijenosu znanstvenih postignuća u društvo i gospodarstvo.

Interakcijski mehanizam kojim se ovo može ostvariti su zajednički istraživački projekti u kojem surađuju javna sveučilišta i gospodarstvo. Njime se mogu otvariti i inovativne sheme sufinanciranja doktorskih studija za jačanje suradnje s gospodarstvom i društvenim djelatnostima u rješavanju aktualnih društvenih izazova. Time se osnažuju *mehanizmi transfera znanja, tehnologije i intelektualnog vlasništva s javnih sveučilišta u gospodarstvo te komercijalizacija rezultata istraživanja*. Potporu tome čine i *sveučilišne inovacijske mreže* koje povezuju visoko obrazovanje i znanost sa proizvodnim poduzećima kako bi se unaprijedile inovacijske sposobnosti i konkurenčnost hrvatskih sveučilišta i poslovnog sektora. Povezivanje znanosti, tehnologije, organizacije i marketinga s novim poslovnim modelima i poslovnom praksom ima i svoju društvenu i humanističku dimenziju u kojoj će se otvoriti prostor za suradnju u istraživanju, razvoju i inovacijama. Isto vrijedi za umjetnost i kreativnu industriju. A kako novo znanje i s njim povezane inovacije nastaju samo u okružju s odgovarajućim naprednim istraživačkim infrastrukturom nužno je *unaprijediti nacionalnu istraživačku i inovacijsku infrastrukturu s javnim pristupom postojećoj i novoj istraživačkoj opremi uz povezivanje s europskim istraživačkim infrastrukturom*.

Sve navedeno se može realizirati samo uz rast ulaganja u istraživanje i razvoj. Tako da je strateški cilj EU podići ulaganje u istraživanje i razvoj do 2020. na 3% bruto domaćeg proizvoda (BDP). Hrvatski je, pak, strateški cilj podizanje ulaganja u istraživanje i razvoj na 1,4% BDP-a sa posve jasnim suglasjem svih u društvu da bez

*adekvatnog javnog financiranja istraživanja i razvoja nema dugoročne stabilnosti, autonomije i međunarodne kompetitivnosti hrvatske znanosti.* Pri tome se ulaganja moraju usmjeriti u istraživače i istraživačke projekte, a potom u nabavku istraživačke opreme. Nacionalno planiranje i raspodjela proračunskih sredstava za istraživanje i razvoj moraju se provoditi sukladno metodologiji i udjelima koje primjenjuje EU. Javna poduzeća, komunalna društva i državne institucije trebaju ulagati u istraživanje i razvoj putem zajedničkih projekata s javnim sveučilištima, a lokalna uprava i samouprava sredstvima za namjenske projekte putem javnih natječaja. Uz *stimulativnu poreznu politiku* te poticajima i potporama koje su se pokazale djelotvornima u zemljama EU osnažiti će se uloga malih i srednjih poduzeća u istraživanju, razvoju i inovacijama, a očuvati i jačati u velikim poduzećima. Time će se pospješiti *stvaranje i rast inovativnih poduzeća te potaknuti suradnja i zajednički projekti sa sveučilištima.*

## 2. Akademsko poduzetništvo

Da bi se realizirala suradnja i zajednički projekti sa gospodarstvom, a u cilju razvoja inovativnog gospodarstva u Republici Hrvatskoj, Sveučiliše u Zagrebu već duži niz godina potiče akademsko poduzetništva kojim želi: 1) uskladiti principe i pravila upravljanja intelektualnim vlasništvom i inovacijama unutar Sveučilišta, čime će se olakšati interdisciplinarna suradnja i ojačati povjerenje industrijskih partnera u profesionalnost i pouzdanost Sveučilišta i sastavnica kao istraživačkih organizacija; 2) omogućiti da ona istraživanja usmjerena ka postizanju društvenog i/ili gospodarskog učinka budu što bolje uskladjena s globalnim razvojem tehnologije te sadašnjim, a i anticipiranim potrebama industrije i društva; 3) sustavno poticati društveno prihvatljive i transparentne oblike poduzetništva u akademskoj zajednici i komercijalizaciju rezultata istraživanja kroz prodaju licenci, ili, osnivanjem *spin off* tvrtki (*university spin-off companies*), i 4) poticati poduzetničke aktivnosti studenata.

Za poticanje akademskog poduzetništva, važna bi bila *promjena kriterija za znanstveno i znanstveno-nastavno napredovanje na fakultetima*. Naime, Pravilnik kojim se regulira napredovanje morao bi onima koji vode, ili surađuju na primijenjenim projektima i projektima transfera tehnologije priznati rezultate tih projekata za napredovanje. Ti rezultati mogu biti: 1) različiti regionalni, nacionalni i/ili lokalni programi; 2) inovacije koje su priznate na domaćim, ili međunarodnim sajmovima inovacija; 3) patentne prijave; 4) patenti, i 5) suvlasništvo u *spin-off* i *start-up* tvrtkama i tome slično.

Važan instrument za razvoj inovativnog gospodarstva uz pomoć Sveučilišta bi bio i *Fond za inovacije i transfer tehnologije* kojim bi Sveučiliše u Zagrebu uz pomoć

drugih zainteresiranih za gospodarski rast i izlazak Hrvatske iz krize (Ministarstvo znanosti; Ministarstvo poduzetništva i obrta; Ministarstvo gospodarstva; Grad Zagreb; gospodarstvenici) osiguralo sredstva za financiranje inovativnih projekata i projekata transfera tehnologije kojima bi malim i srednjim poduzetnicima u Gradu Zagrebu i šire, pomogli u razvoju novih usluga i proizvoda i pripremali ih za iskorištanje značajnih sredstava koji će u te svrhe biti uskoro biti ponuđene na korištenje iz fondova EU.

### 3. Razvoj ljudskih potencijala

Temelj svih tih aktivnosti su ljudski potencijali na Sveučilištu koje u narednom razdoblju treba posebno razvijati u smjeru suradnje sa gospodarstvom. To znači i posebno financirati inovacije i transfer tehnologije te poticati suradnju studenata i znanstvenika sa gospodarstvom u sklopu ukupnih izdvajanja za istraživanje i razvoj. Nažalost, u tom smislu Hrvatska zaostaje za zemljama članicama Europske unije., odnosno udjel izdataka za istraživanje i razvoj (I&R) u BDP-u u Hrvatskoj je znatno ispod prosjeka EU. Takvo stanje, nažalost, ne garantira ostvarenje nacionalnog cilja o 1,4%-tnom udjelu u BDP-u do 2020. godine. Zbog nedostatnog financiranja znanosti, udjel osoba zaposlenih (prema ekvivalentu zaposlenosti s punim radnim vremenom) u istraživanju i razvoju u ukupnoj radnoj snazi u Hrvatskoj stagnira tijekom posljednjih 10 i više dok se u Europskoj uniji zaposlenost u I&R povećava. Još veći je nesrazmjer Hrvatske i prosjeka EU-a u zaposlenosti istraživača u poslovnom sektoru, u kojem zaposlenost istraživača u Hrvatskoj 6 puta manja nego u EU.

Takva podfinanciranost sustava visokog obrazovanja odražava se i na klasični pokazatelj prijenosa znanja u proizvode - broj patentnih prijava Europskom uredu za patente (EPO). Za Hrvatsku on je jako nepovoljan te je na razini 3,43 prijave na milijun stanovnika (2014.), dok je europski prosjek tog pokazatelja 112. Češka i Slovenija, npr., te su godine imale 26, odnosno 65 prijava na milijun stanovnika, a taj je pokazatelj za Austriju iznosio 230. U istoj godini Hrvatska je imala 12 prijava u EPO. U 2015. godini broj prijava bio je samo 9, a u 2016. godini 14. Posebno zabrinjava što je riječ o smanjenju u odnosu na prethodno razdoblje, jer je 2007. godine zabilježeno 35 prijava, a u razdoblju 2008. - 2012. između 17 i 23 prijava

Zbog nedostatnog poticanja inovacija, prema istraživanju EIS-a, Hrvatska je tzv. „umjereni inovator“ te stagnira na razini 55% prosjeka EU-a. Prema istom dokumentu, inovativnost malih i srednjih poduzeća, koja je ranije bila jača strana Hrvatske, u znatnoj mjeri je pogoršana (sa 79% prosjeka EU-a u 2010. na 61,7% u 2016. godini). Tome je posebno doprinijelo znatno smanjene proizvodne i procesne inovacijske aktivnosti malih i srednjih poduzeća (s 84,3 % na 58,2 % prosjeka EU-a). Iako je u

ranijim godinama EIS pozitivno ocijenio suradnju poslovnog i znanstvenog sektora u okviru hrvatskoga IRI sustava, u 2016. godini bilježi se pogoršanje na razinu 50,8% prosjeka Europske unije (u odnosu na 2010. godinu kad je taj pokazatelj bio na razini 86,3%), podjednako zbog slabije ocjene suradnje između inovativnih malih i srednjih poduzeća (55,9 %), ali i broja objavljenih znanstvenih radova u suradnji javnog i privatnog sektora, koji je smanjen (u odnosu na prosjek EU-a) sa 78,7 % u 2010. na 31,3 % u 2016. godini. U anketi Instituta za razvoj poslovnog upravljanja (IMD), poduzetnici u 2016. godini ukazuju kako na potrebu za jačom vezom između područja i sadržaja znanstvenih istraživanja tako i na potrebu povećanja primjene znanja u gospodarstvu.

Što se temeljne znanstvene aktivnosti tiče, ona je proteklih godina pojačana, što se najbolje vidi u porastu citiranosti znanstvenih radova - sa 20,4% prosjeka EU-a u 2010. godini na 33,5% u 2016., što je, međutim, i nadalje vrlo niska razina citiranosti. Prema analizi koju je provela Europska komisija u okviru Europskog semestra, nižu vrijednost navedenog pokazatelja ima samo Bugarska, a povezan je s niskom razinom javnog financiranja znanstvenih istraživanja.

#### **4. Sustav visokog obrazovanja i znanosti temelj je društvenog razvoja**

Pružanje visoko kvalitetnog obrazovanja na svim razinama je važno za osiguranje konkurentnosti u današnjem globalnom društvu. Zato cilj obrazovnog sustava mora biti pružanje znanja i sposobnosti mladim ljudima, koje će im omogućiti sudjelovanje u razviju društva znanja. Karakteristike takvog sustava su: 1) visoki standardi kojima se osigurava kvaliteta obrazovnog sustava. Regulira ga i financira ponajviše država pri čemu sve javne obrazovne ustanove prolazi kroz trajni sustav evaluacije i održavanja; 2) cjeloživotno učenje kao temeljni princip obrazovnog sustava kojim se u demokratskom društvu osigurava cjeloživotno obrazovanje svih građana; 3) aktivno sudjelovanje učenika i studenata kao neovisnih osoba s pravom na osobno mišljenje uz obvezom aktivnog učešća u raspravama, i 4) projektni rad na svim razinama obrazovnog sustava. Učenici i studenti moraju pohađati nastavu, ali i raditi na projektima – sami, ili, u skupinama pri čemu treba voditi računa o interdisciplinarnosti tema i timova.

Temelj tog sustava koji ima za cilj uspostavu europski i svjetski konkurentnog i dinamičnog gospodarstva temeljenog na znanju su znanstvenici. No, jedina prepreka realizaciji toga cilja je njihov nedostatak, posebice u nekim ključnim područjima znanosti. Taj nedostatak prijeti inovacijskoj snazi našeg društva, količini znanja i rastu produktivnosti, što može ozbiljno usporiti, pa čak i zakočiti ostvarivanje zacrtanih

ciljeva razvoja RH. Zbog toga Hrvatska mora osigurati potrebne okvire za dramatično povećanje privlačnosti kako za ulazak i ostanak tako i za dolazak inozemnih znanstvenika u sustav znanosti i visokog obrazovanja. Jer, dostačni i dobro razvijeni ljudski resursi u istraživanju i razvoju kamen su temeljac znanstvenog i tehnološkog napretka, te poboljšavaju kvalitetu života, osiguravaju dobrobit građana i doprinose konkurentnosti. U tom smislu, potrebno je izraditi jasni plana razvoja karijera znanstvenika i pozitivnog stava u javnosti o istraživačkoj karijeri što će potaknuti mlade ljudi na odluku o zapošljavanju u sustavu znanosti i visokog obrazovanja. Također, treba poduzimati sve korake potrebne kako bi se osiguralo da poslodavci i financijeri istraživanja razviju i održavaju poticajnu istraživačku sredinu i kulturu rada, gdje su pojedinci i istraživačke skupine cijenjeni, potican i podupirani i gdje im je pružena sva nužna materijalna i nematerijalna potpora koja će im omogućiti da ispune svoje ciljeve i zadaće.

Da bi u tome uspjeli, istraživači trebaju usmjeriti svoja istraživanja u svrhu javnog dobra i širenja granica znanosti, a da pritom uživaju slobodu mišljenja i govora te slobodu pronalaženja metoda za rješavanje problema u skladu s prepoznatim etičkim načelima i praksama. Međutim, trebali bi prepoznati granice te slobode koje proizlaze iz određenih istraživačkih okolnosti, ili, iz ograničenja u djelovanju - primjerice iz proračunskih, infrastrukturnih razloga, ili, posebice u industrijskom sektoru, iz razloga proizašlih iz prava intelektualnog vlasništva. Također, istraživači se trebaju pridržavati prepoznatih etičkih praksi i temeljnih etičkih načela koja su primjerena njihovim znanstvenim područjima, kao i etičkih standarda opisanih u različitim nacionalnim, sektorskim ili institucijskim etičkim kodeksima. Uz to, istraživači bi trebali uložiti napor kako bi osigurali da njihovi projekti budu relevantni za društvo. Na taj način se pokazuje puna svijest o odgovornosti prema svojim poslodavcima, financijerima i drugim relevantnim javnim i privatnim tijelima i prema društvu općenito. Istraživači financirani javnim sredstvima posebno su odgovorni i za učinkovito trošenje novca poreznih obveznika. Metode prikupljanja i analize, rezultati i, gdje je to moguće, detaljni istraživački podaci, trebali bi biti dostupni unutarnjem ili vanjskom pregledu kad god je to potrebno ili to zahtijeva nadležno tijelo. Svi istraživači trebaju, u skladu sa svojim ugovornim obvezama, osigurati da rezultati njihova istraživanja budu diseminirani i iskorišteni, odnosno, priopćeni, preneseni u druga istraživanja, ili, gdje je to primjereno, komercijalizirani. Od istraživača seniora se osobito očekuje da preuzmu vodeću ulogu u osiguravanju da istraživanje bude plodna i da njegovi rezultati budu ili komercijalno iskorišteni ili učinjeni dostupnima javnosti (ili oboje), kad god se za to pruži prilika. Tako, istraživači trebaju osigurati da široka javnost bude upoznata s njihovim istraživačkim aktivnostima, na način da ih mogu svi razumjeti, čime se pospješuje razumijevanje znanosti u javnosti. Neposredno komuniciranje s javnošću pomoći će povećanom interesu javnosti za prioritete znanosti i tehnologije. U svim fazama svog profesionalnog razvoja, istraživači bi trebali težiti neprekidnom usavršavanju kroz redovito osvremenjivanje i proširivanje svojih vještina i znanja.

S druge strane, pak, svi koji se bave istraživanjima trebaju biti prepoznati kao stručnjaci i s tim u skladu treba se odnositi prema njima. Takav odnos treba započeti na samom početku njihove profesionalne karijere i treba uključivati sve stupnjeve profesionalnog razvoja. Vlada RH i ostali financijeri istraživača moraju osigurati stvaranje poticajne sredine za istraživanje koja nudi odgovarajuću opremu, prostor i mogućnosti, što uključuje i međunarodnu suradnju. Stabilnost i stalnost zaposlenja uz osigurane pravedne i povoljne plaće s odgovarajućim i pravednim uredbama o socijalnim pravima ključan su čimbenik u privlačenju i ostanku u sustavu znanosti i visokog obrazovanja. Zato bi poslodavci i/ili financijeri trebali omogućiti istraživačima, na svim razinama profesionalnog razvoja, iskorištavanje rezultata njihovih istraživanja kroz zakonsku zaštitu, a posebice kroz odgovarajuću zaštitu prava intelektualnog vlasništva, uključujući autorska prava. Načela i prakse trebaju točno odrediti koja prava pripadaju istraživačima i/ili, gdje je to primjenljivo, njihovim poslodavcima i trećim stranama, uključujući vanjske komercijalne i industrijske organizacije.

## 5. Zaključci

- 1) Potrebno je u kratkom roku povećati udjel izdataka za I&R u BDP-u na 1,4 kako poticanjem istraživačkih i razvojnih aktivnosti poslovnog sektora tako i u okviru znanosti i visokog obrazovanja
- 2) Nužno je u razumnom roku poticati projekte kojima bi se udvostručila zaposlenost u I&R u poslovnom sektoru, kako bi se približili barem razini od 50% u odnosu na prosjek Europske unije.
- 3) Programe potpore poduzećima treba još jače povezati s proizvodnim i procesnim inovacijskim aktivnostima, suradnjom inovativnih poduzeća te suradnjom s javnim i privatnim obrazovnim, znanstvenim i istraživačkim ustanovama i poduzećima.
- 4) Poticati veće zapošljavanje mladih stručnjaka u hrvatskom gospodarstvu, kako bi se osigurala pokretačka snaga za promjene prema gospodarstvu temeljenom na znanju i inovacijama.



# **Radovi članova Akademije**



# Inovativni građevni proizvodi s pepelom drvne biomase

Nina Štirmer, Ivana Carević, Sonja Cerković, Martina Grubor i Dubravka Bjegović<sup>1</sup>

<sup>1</sup> članica emerita HATZ-a u Odjelu građevinarstva i geodezije

**Sažetak:** Republika Hrvatska obvezala se kao članica Europske unije (EU) na ispunjenje zahtjeva da udio potrošnje energije iz obnovljivih izvora iznosi najmanje 32 % do 2030. godine. Drvna biomasa predstavlja važnu ulogu u ostvarivanju toga cilja. No, tijekom izgaranja drvne biomase dolazi do nastanka pepela drvne biomase (PDB) koji se zasada pretežito odlaže što je najmanje poželjna opcija prema hijerarhiji gospodarenja otpadom. Procjenjuje se da u energanama nadrvnu biomasu u Hrvatskoj godišnje nastane približno 25.000 t PDB-a. Prema dosadašnjim istraživanjima, PDB pokazuje veliki potencijal primjene u industriji betona. Za potrebe istraživanja, prikupljene su različite vrste PDB-a iz energana nadrvnu biomasu na području RH te su izrađene betonske mješavine sa zamjenom dijela sitnog agregata PDB-om. U radu su prikazane vrste i porijeklo prikupljenih PDB-ova, trenutno upravljanje njime te razvoj inovativnih građevnih proizvoda s PDB-om.

**Ključne riječi:** pepeo drvne biomase, građevinska industrija, inovativni građevni proizvodi, beton.

## 1. Uvod

Beton predstavlja dominantan materijal kada se radi o izgradnji infrastrukture, budući da ima neograničene mogućnosti inovativnih dizajnerskih rješenja i tehnologije građenja te je drugi najčešće korišten materijal nakon vode [1]. Primarni materijali koji se koriste u njegovoj proizvodnji su cement, agregat i voda [2]. Cement se smatra najviše upotrebljavanim materijalom na svijetu, a njegova godišnja svjetska potrošnja iznosi između 500 i 2000 kg po stanovniku. Proizvodnja cementa podrazumijeva intenzivnu upotrebu sirovina i energije, a istodobno u atmosferu ispušta velike količine ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) [3]. Sada je već dobro poznato da doprinos industrije cementa iznosi 7 % globalne emisije stakleničkih plinova [4]-[6], s tim da je to treća energetski najintenzivnija industrija na svijetu [7]. Dodatnu opasnost predstavlja

iscrpljivanje ogromnih količina prirodnih sirovina za proizvodnju agregata za beton, što loše utječe na okoliš te istovremeno ugrožava sposobnost budućih generacija da osiguraju same sebe. Stoga, postaje sve jasnije da uvođenje održivog razvoja i metodologija u građevinski sektor predstavlja jedno od najboljih rješenja za opstanak čovječanstva. Građevinska industrija trebala bi reciklirati građevni otpad i voditi brigu o trajnosti građevina i o uporabi ekološki prihvatljivih sirovina i sekundarnih materijala [8]. Osim toga, institucije Europske unije su Direktivom 2018/2001 postavile novi obvezujući cilj da do 2030. udio energije iz obnovljivih izvora (OIE) u ukupnoj bruto potrošnji mora iznositi najmanje 32 % [9], a slijedi i mogućnost klimatske neutralnosti do 2050. pri čemu će OIE morati opskrbljivati većinu potrošnje energije. Da bi ispunila sve zahtjeve koji su pred nju postavljeni, EU planira do 2030. zatvoriti sve elektrane na ugljen te zamijeniti njihov rad s novim energeticama na krutu i plinovitu biomasu. Biomasa je daleko najvažniji OIE u EU i ključan je čimbenik u ostvarivanju klimatskih ciljeva, istodobno doprinoseći gospodarskom rastu i zapošljavanju, osobito u ruralnim područjima [10]. U ukupnoj potrošnji obnovljive energije, biomasa čini oko 60 % [11], te se smatra neutralnim gorivom [12], [13]. Nakon potpunog izgaranja drvne biomase u energeticama na biomasu, u tvornicama papira i drugim postrojenjima, nastaju značajne količine otpadnog pepela drvne biomase (PDB), koji se uglavnom odlaze ili se koristi kao gnojivo, najčešće bez ikakvog oblika kontrole [14], [15]. PDB se sastoje od vrlo sitnih čestica koje se mogu lako prenijeti kroz zrak, što znači da to može uzrokovati zdravstvene probleme vezano uz dijni sustav stanovništva koje živi u blizini odlagališta PDB-a [16]. Osim toga, u slučaju neadekvatnog privremenog odlaganja PDB-a, može doći do onečišćenja podzemnih voda [17]. S druge strane, istraživanja su pokazala da se PDB zbog svojih karakteristika i kemijskog sastava može ponovno upotrijebiti betonskoj industriji kao zamjena dijela cementa ili agregata [14], [16], [17].

Republika Hrvatska (RH) raspolaže velikim potencijalom drvne biomase budući da je oko 37 % (2.485.611 milijuna ha) ukupne kopnene površine pokriveno šumama [18] te je došlo do otvaranja velikog broja energana na biomasu u sklopu ispunjavanja ciljeva koje je postavila EU. Potrebno je naglasiti da postoje i druga postrojenja, poput tvornica za proizvodnju papira, tvornica namještaja, rasadnika i dr. koji također primjenjuju tehnologiju izgaranja drvne biomase i imaju PDB kao otpadni materijal. S obzirom na otvaranje sve većeg broja energana na biomasu te potencijal drvne biomase kojom RH raspolaže, može se očekivati proizvodnja od približno 25.000 tona PDB-a godišnje [19]. Procjenjuje se da će u EU primjena energije iz energana nadrvnu biomasu u budućnosti utjecati na proizvodnju od približno 600.000 tona PDB-a [20]. Iz svega navedenog može se zaključiti da važni izazovi za održivu uporabu biomase uključuju i održivo upravljanje proizvedenim PDB-om.

Transformacija građevinske industrije u nisko-ekološku, klimatski neutralnu, resursno učinkovitu i kružnu industriju podrazumijeva veću kružnost različitih vrsta

tokova otpada koji se još uvijek odlažu. Promicanjem uporabe odnosno pretvaranja otpada jedne industrije u sirovinu druge industrije dolazi do nove industrijske simbioze, a samim time i do uspostavljanja okvira za širu uporabu na tržištu. Trenutno u RH ne postoji sustavna uporaba PDB-a. U okviru projekta „Razvoj inovativnih građevnih kompozita primjenom biopepela“ uspostavljena je industrijska simbioza između građevinskog sektora (proizvodnog pogona Beton Lučko RBG d.o.o.) kao korisnika nove potencijalne sirovine PDB-a u betonskoj industriji te energetskog sektora koji proizvodi navedenu sirovinu. Ovim projektom želi se doprinijeti jačanju gospodarstva primjenom istraživanja i inovacija u građevnoj industriji kroz razvoj inovativnih ekoloških proizvoda, tehnologija i poslovnih procesa.

U radu je prikazano trenutačno gospodarenje PDB-om u EU i RH, dosadašnja iskuštva primjene PDB-a u betonskoj industriji te preliminarna istraživanja s ciljem utvrđivanja kako dodatak PDB-a kao djelomična zamjena sitnom agregatu utječe na relevantna svojstva betona u svježem i očvrnsulom stanju. Cilj je pronaći mogućnosti primjene PDB-a u proizvodnji betonske galerterije. Za potrebe ovog istraživanja prikupljeni su i korišteni PDB-ovi iz 4 energane na području RH te su izrađene različite betonske mješavine.

## 2. Gospodarenje pepelom drvne biomase (PDB-om)

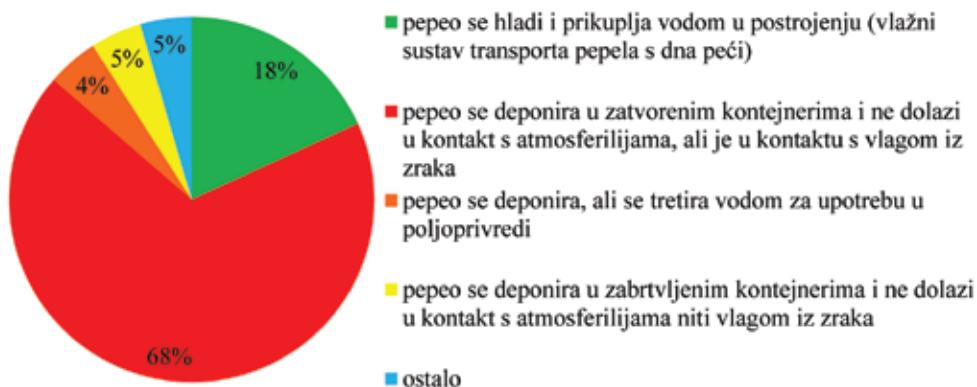
Kao što je navedeno u uvodu, procjenjuje se da će u EU primjena energije iz energana nadrvnu biomasu u budućnosti utjecati na proizvodnju od približno 600.000 tona PDB-a [19]. Međutim, novi cilj od 32 % do 2030. godine dovest će do značajnog povećanja količine PDB-a. Trenutna praksa pokazuje da se oko 70 % PDB – a odlaže na odlagališta, 20 % se nastoji primijeniti kao dodatak u tlu u poljoprivredi, a 10 % se koristi za ostale namjene [19], [21], [22], [23]. PDB je u RH trenutno klasificiran kao „Otpad iz termičkih procesa“ pod ključnim brojem 10 u Pravilniku o katalogu otpada (NN 90/15), odnosno 10 01 otpad iz termoelektrana i ostalih postrojenja u kojima se odvija sagorijevanje (osim 19) [24].

Prerada otpada u sekundarne sirovine može ispunjavati definiciju recikliranja ako se uporaba materijala zasniva na odgovarajućoj kontroli kvalitete te zadovoljava sve relevantne norme, specifikacije i zahtjeve u pogledu zaštite okoliša i zdravlja za posebnu uporabu te se na takav način može doprinijeti smanjenju ovisnosti EU o uvozu sirovina i olakšati prijelaz na održivije gospodarenje materijalima i model kružnog gospodarstva [25]. Zbog toga je nužno provesti detaljne analize i istraživanja PDB-a, kako bi se mogli uspostaviti zakonski okviri za njegovu upotrebu u građevinskoj industriji.

## 2.1. Gospodarenje PDB-om u Republici Hrvatskoj (RH)

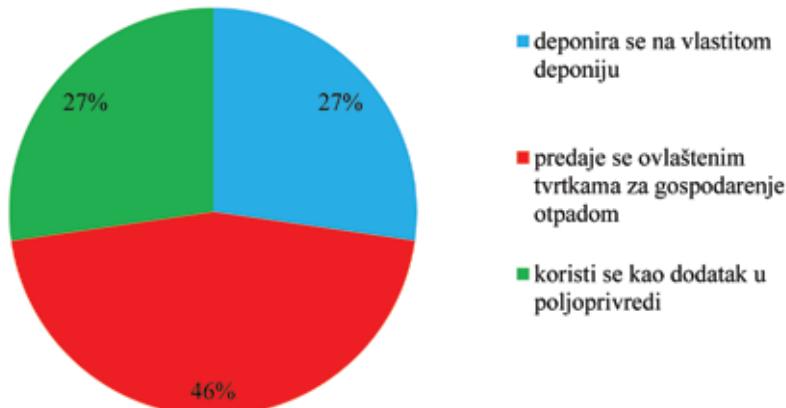
U sklopu projekta TAREC<sup>2</sup> [19], napravljena je procjena sadašnje i buduće godišnje proizvodnje PDB-a u RH na osnovi podataka dobivenih provođenjem anketa u 13 postrojenja nadrvnu biomasu te uzimajući u obzir instaliranu snagu 29 aktivnih energana na biomasu 2018. godine. Zaključeno je da tijekom izgaranja 1 tone drvne biomase nastane 3,1 % PDB-a, a s obzirom je ukupna potrošnja biomase iznosila 819.820 tona godišnje, odnosno 54 % tadašnjeg potencijala tržišta drvne biomase u RH, procjenjuje se da ukupna količina PDB-a u postojećim energanama na biomasu u Hrvatskoj iznosi 25.414 tona godišnje. Osim toga, napravljena je procjena PDB-a za slučaj kada bi se iskoristio sav potencijal drvne biomase kojom raspolaže RH te bi u tom slučaju količina PDB-a iznosila 47.430 tona godišnje [26], [27].

U ovom radu prikazana je analiza upravljanja PDB-om koja obuhvaća 20 postrojenja nadrvnu biomasu u RH (Slike 1 i 2). Iz rezultata dobivenih anketiranjem navedenih postrojenja može se zaključiti slijedeće: u većini slučajeva PDB se skladišti u zatvorenim kontejnerima (68 %) i nije u dodiru s oborinama, ali je u kontaktu s vlagom iz zraka; 18 % PDB – hlađi se i prikuplja vodom u sustavima za mokro otpepeljivanje; 5 % PDB-a deponira se u zabrtvljenim kontejnerima i nije u kontaktu s oborinama i vlagom iz zraka; dok se samo 4 % deponira, ali tretira vodom za upotrebu u poljoprivredi (Slika 1).



Slika 1: Načini prikupljanja PDB-a u 20 postrojenja nadrvnu biomasu u RH

Po pitanju gospodarenja PDB – om, 46 % energana predaje ga ovlaštenim tvrtkama za gospodarenje otpadom, 27 % predaje ga tvrtkama za upotrebu u poljoprivredi, a čak 27 % privremeno odlaže na vlastitom deponiju (Slika 2) predstavljajući ekološko opterećenje za lokalnu zajednicu.



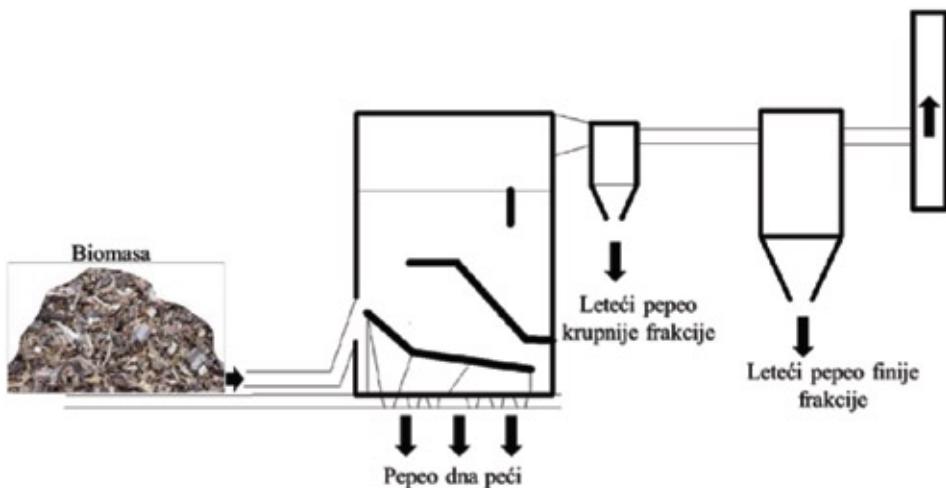
**Slika 2:** Načini gospodarenja PDB-om u 20 postrojenja na drvnu biomasu u RH

### 3. Dosadašnja iskustva primjene PDB-a u betonskoj industriji

Tradicionalno se PDB može koristiti u poljoprivredi i šumarstvu kao gnojivo i poboljšivač tla [28], ali je potrebno voditi računa o opasnim elementima u tragovima i pH vrijednosti koji mogu dovesti do ekoloških problema [29]. Primjena PDB-a u poljoprivredi ne može se smatrati niti dugoročnim rješenjem: primjerice dansko zakonodavstvo dopušta korištenje maksimalno 3 mg/ha PDB-a na šumskom tlu, koji bi se reciklirao tijekom 10-godišnjeg razdoblja. Međutim, korištenje PDB-a ograničeno je na tri puta u roku od 75 godina [30]. Prema [31], PDB je kompleksna mješavina anorganskog i organskog sastava koji može znatno varirati. S obzirom na različite tehnologije izgaranja u energeticima na drvnu biomasu, PDB se može podijeliti na pepeo s dna peći i leteći pepeo – finije i krupnije frakcije (Slika 3). Sastav i količine PDB – a ovise o vrsti biomase, tehnologiji izgaranja postrojenja i temperaturi toplinske obrade, lokaciji prikupljanja pepela (Slika 4) te načinu njegova skladištenja [32], [33], [34].



**Slika 3:** Podjela PDB-a s obzirom na tehnologiju izgaranja u energeticima na biomasu:  
a) pepeo s dna peći; b) leteći pepeo finije frakcije; c) leteći pepeo krupnije frakcije



**Slika 4:** Podjela PDB-a prema lokaciji skupljanja u postrojenju [35], [36]

Ispitivanja [37] su pokazala da se upotrebom PDB-a kao zamjene dijela cementa u cementnim kompozitim može očekivati povećana potreba za vodom, odgođeno vrijeme vezivanja, sporiji prirast tlačne čvrstoće, smanjene vrijednosti difuzije klorida te minimalni porast kapilarnog upijanja. Osim navedenog, provedena su ispitivanja ekološkog utjecaja PDB-a pri primjeni u cementnim kompozitim, a sve u skladu s temeljnim zahtjevom za građevinu koji uključuje „higijenu, zdravlje i okoliš“ prema Uredbi o utvrđivanju usklađenih uvjeta za stavljanje na tržište građevnih proizvoda [38]. Rezultati ukazuju na ekološku prihvatljivost PDB-a kao nove sirovine u proizvodnji cementnih kompozita koja je povezana sa sposobnošću cementne matrice da fizički i kemijski veže kontaminirane elemente (u ovom slučaju teške metale) unutar hidratne strukture [39]. No postojeći propisi i norme trenutno ne obuhvaćaju uporabu PDB-a u industriji betona, čime je otežana njegova primjena u praksi.

#### 4. Istraživanje utjecaja zamjene sitnog agregata s PDB-om u betonskim mješavinama

U okviru projekta „Razvoj inovativnih građevnih kompozita primjenom biopepela“ provedeno je preliminarno istraživanje utjecaja zamjene sitnog agregata PDB-om na relevantna svojstva betonskih mješavina u svježem i očvrsnulom stanju prema normama prikazanim u tablici 1. Izrađeno je 5 betonskih mješavina: referentna mješavina bez udjela PDB-a (oznake M0) te 4 mješavine s PDB iz različitih energana na području RH (oznake M1, M2, M3 i M4) u postrojenju Beton Lučko RBG d.o.o. (Slika

5 a, b, c). Simulacije sastava s PDB-om izrađene su u skladu s originalnim sastavom za lijevani beton proizvođača. Približno 15 % mase sitnog agregata frakcije 0 – 4 mm (pijeska) zamijenjeno je PDB-om. U provedenom preliminarnom istraživanju korišteni s PDB-ovi krupnije frakcije (pepeo s dna pećí) te nisu prethodno tretirani.

**Tablica 1:** Plan ispitivanja svojstava betonskih mješavina s PDB-om

Svojstva	Norma
Konzistencija slijeganjem	HRN EN 12350 - 2:2019 [40]
Udio pora	HRN EN 12350 - 7:2019 [41]
Tlačna čvrstoća	HRN EN 12390-3:2019 [42]
Upijanje vode	HRN EN 1340:2004 [43]
Vodonepropusnost	HRN EN 12390-8:2019 [44]



a)



b)

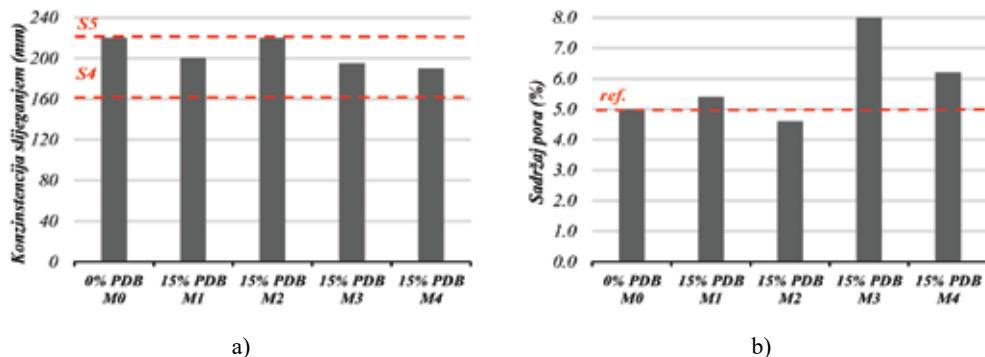


c)

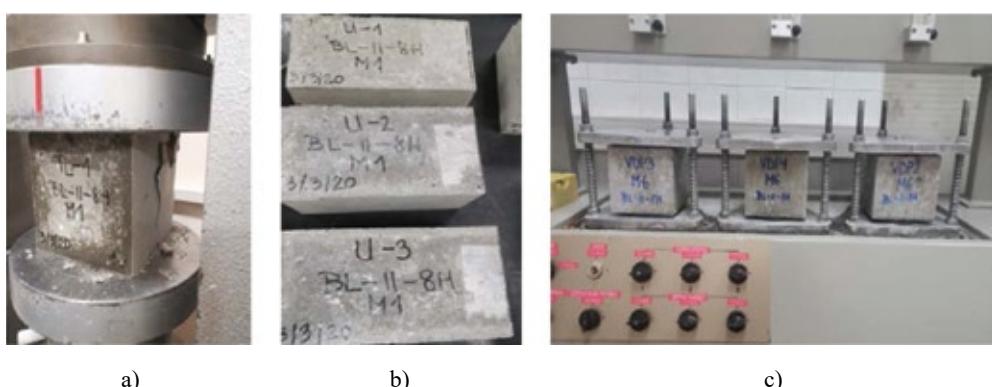
**Slika 5:** Izrada betonskih mješavina u postrojenju Beton Lučko RBG d.o.o.: a) ručno dodavanje PDB-a u miješalicu; b) sveži beton; c) ispitivanje obradljivosti betona metodom slijeganja

Promjena svojstava betona s dodatkom PDB-a u svježem stanju ovisi o vrsti korištenog PDB-a iz pojedinih energana na području RH, odnosno o morfologiji samih čestica, udjelu alkalija i gubitku žarenjem. Prema [40], obradljivost mješavine M2 ostala je nepromijenjena u odnosu na referentnu mješavinu M0 te se mješavine M0 i M2 mogu svrstati u razred konzistencije slijeganjem S5 (Slika 6a). Obradljivost mješavina M1, M3 i M4 smanjena je u odnosu na referentnu mješavinu (bez dodatka

PDB-a) te se navedene mješavine mogu svrstati u razred konzistencije slijeganjem S4 (Slika 6a). Smanjenje obradljivosti mješavina s pojedim vrstama PDB-a ne predstavlja ograničenje za njihovu primjenu tijekom proizvodnje betonske galerije. Rezultati ispitivanja sadržaja zraka svih ispitnih mješavina bile su u rasponu od 4,6 % do 8,2 % (Slika 5b). Dobiveni rezultati upućuju na to da mješavina M3 ima značajno povećan sadržaj pora u odnosu na referentnu mješavinu, M0.



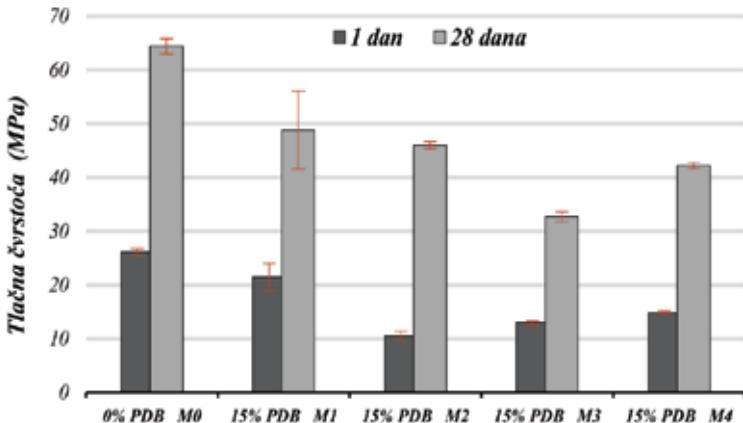
Slika 6: Grafički prikaz rezultata ispitivanja u svježem stanju:  
a) konzistencija slijeganjem; b) sadržaj pora



Slika 7: Ispitivanje svojstava lijevanog betona u očvrsnulom stanju:  
a) tlačna čvrstoća; b) upijanje vode; c) vodonepropusnost

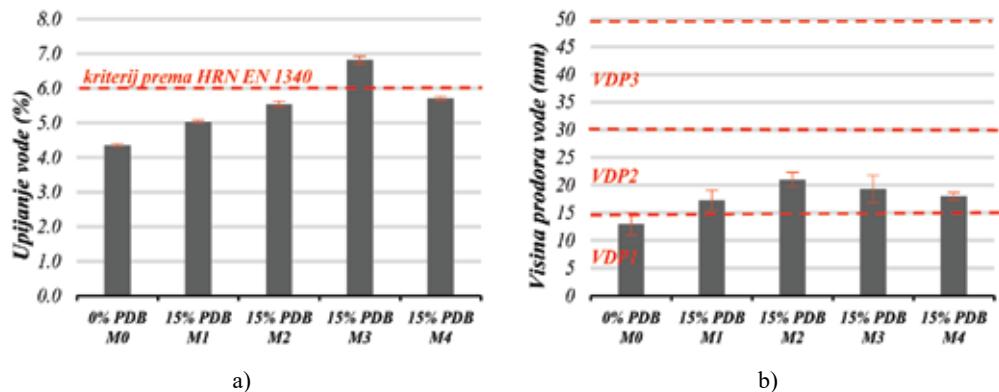
U okviru preliminarnog istraživanja utjecaja zamjene sitnog agregata s različitim vrstama PDB-a, provedena su ispitivanja mehaničkih svojstava i svojstava trajnosti betona (Slika 7). Iz rezultata dobivenih ispitivanjem tlačne čvrstoće uzoraka u starosti od 1 i 28 dana (Slika 8) vidljivo je smanjenje tlačne čvrstoće dodavanjem PDB-a u odnosu na referentnu mješavinu – M0 te se može zaključiti da vrijednost tlačne čvrstoće bitno ovisi o vrsti pepela kojom je zamijenjena frakcija sitnog agregata. Tlačna

čvrstoća referentne mješavine iznosi 26,1 MPa nakon 1 dana, dok nakon 28 dana iznosi 64,4 MPa, dok su se tlačne čvrstoće mješavina s PDB-om kretale u rasponu od 10,5 do 21,5 MPa pri starosti od 1 dana te u rasponu od 32,7 do 48,8 MPa pri starosti od 28 dana. Mješavina M3 ima najmanju 28-dnevnu tlačnu čvrstoću što se osim s vrstom korištenog pepela može povezati i s najvećim sadržajem pora.



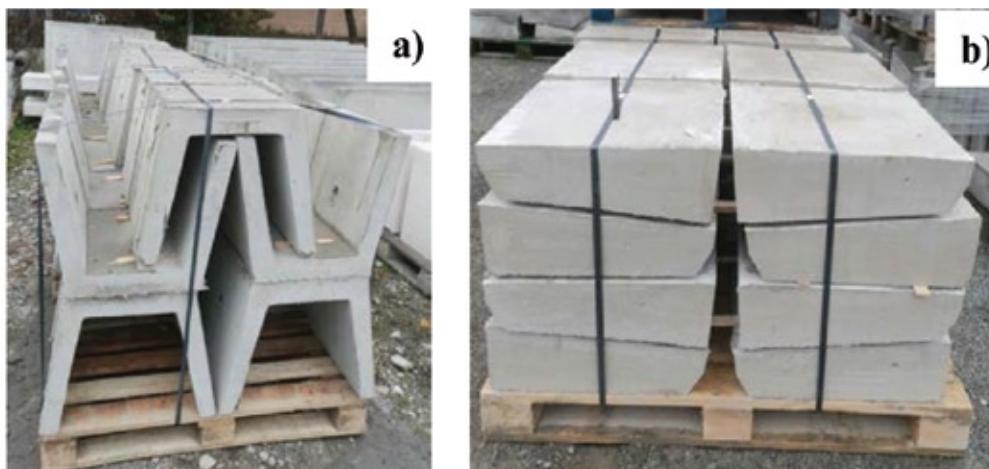
Slika 8: Grafički prikaz visina prodora vode u uzorcima lijevanog betona s PDB-om

Iz dobivenih rezultata ispitivanja upijanja vode, prikazanih na Slici 9a, vidljivo je da jedino uzorci mješavine M3 ne zadovoljavaju vrijednosti propisane normom (tablica 1), prema kojoj upijanje vode ne smije biti veće od 6 % [43]. Također, na osnovi dobivenih rezultata može se zapaziti da dodatak PDB-a u betonskim mješavinama povećava upijanje vode te da vrijednost upijanja vode bitno ovisi o vrsti pepela kojom je zamijenjena frakcija sitnog agregata.



Slika 9: Grafički prikaz rezultata ispitivanja svojstava trajnosti: a) upijanje vode; b) vodonepropusnost

Dodatak PDB-a u betonu utječe na povećanje visine prodora vode. Kao i kod ostalih ispitanih svojstava dobivene vrijednosti bitno ovise o vrsti pepela kojom je zamjenjena frakcija sitnog agregata (Slika 8b). Prema [44], sve mješavine s dodatkom PDB-a mogu se svrstati u razred vodonepropusnosti VDP2 (dubina prodora vode je  $\leq 30$  mm), dok se referentna mješavina bez dodatka PDB-a može svrstati u razred VDP1 ( $\leq 15$  mm).



**Slika 10:** Gotovi proizvod s lijevanim betonom: a) kanalice; b) rubnjaci

Na osnovi provedenih preliminarnih istraživanja utjecaja zamjene sitnog agregata PDB-om u betonskim mješavinama za proizvodnju betonske galerije, može se zaključiti da svojstva betona u svježem i očvrnsulom stanju bitno ovise o samoj vrsti korištenog pepela. Dodatak PDB-a smanjuje obradljivost u svježem stanju te utječe na smanjenje vrijednosti tlačne čvrstoće kao i na povećanje upijanja vode i visine prodora vode. Unatoč tome, zamjena sitnog agregata s PDB-om od 15 % za sve ispitane mješavine, osim mješavine M3, ne predstavlja ograničenje za zadovoljavanje potrebnih svojstava za proizvodnju betonske galerije i samim time PDB pokazuje veliki potencijal za upotrebu u njihovoј proizvodnji.

## 5. Zaključak

Ovim istraživanjem pokazano je da PDB ima veliki potencijal primjene u betonskoj industriji te predstavlja vrijedni materijal čijom se upotrebom u građevnim proizvodima može značajno doprinijeti zaštiti okoliša, očuvanju prirodnih resursa te smanjenju emisije  $CO_2$  uz smanjenje troškova proizvodnje. Republika Hrvatska raspolaže

velikom količinom drvne biomase, čije iskorištavanje predstavlja jednu od najvažnijih strategija u ostvarivanju postavljenih ciljeva do 2030. No, otvaranjem sve većeg broja energana nadrvnu biomasu, posljedično se javlja problem odlaganja ogromnih količina PDB-a kojima je potrebno pronaći mogućnosti primjene. Pri tome, inovativni građevni proizvodi s PDB-om predstavljaju jedno od mogućih rješenja. Proizvodnjom betonske galerije kao što su kanalice ili rubnjaci (Slika 10) omogućava se približavanje građevinske industrije kružnom modelu industrija. Sljedeći korak u istraživanju primjene PDB-a u inovativnim građevnim proizvodima uključuje optimizaciju sastava betonskih mješavina te sveobuhvatna ispitivanja mehaničkih svojstava i svojstva trajnosti betona.

### **Zahvala**

Istraživanje prikazano u ovom radu provedeno je u okviru projekta „Razvoj inovativnih građevnih proizvoda primjenom biopepela“ KK.01.2.1.01.0049 koji financira Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta temeljem „Ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava za projekte koji se financiraju iz europskih strukturnih i investicijskih fondova u finansijskom razdoblju 2014. – 2020.“

### **6. Literatura**

- [1] World Business Council for Sustainable Development: Cement Industry Energy and CO<sub>2</sub> Performance- Getting the Numbers Right, Geneva, 2009.
- [2] Fapohunda, C., Akinbile, B. & Oyelade, A.: A review of the properties, structural characteristics and application potentials of concrete containing wood waste as partial replacement of one of its constituent material, *YBL Journal of Build Environment*, Vol. 6 (2018) Br. 1, str. 63-85, <https://doi.org/10.2478/jbe-2018-0005>
- [3] Bjegović, D. & Štirmer, N.: *Teorija i tehnologija betona*, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, ISBN 978-953-6272-77-8, Zagreb, (2015)
- [4] Mehta, P. K.: Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development, *Concrete International*, Vol. 24 (2002) Br. 7, str. 23 - 28.
- [5] Ochsendorf, J. A: Sustainable engineering: the future of structural design, *Structures 2005: Metropolis and Beyond*, ASCE, ISBN: 0784407533, New York, travanj 2005., ASCE, (2005)
- [6] Suhendro, B.: Toward green concrete for better sustainable environment, *Procedia Engineering*, Vol. 95 (2014), str. 305 - 320.
- [7] Shafiq, P, Mahmud, H. B, Jumaat, M. Z & Zargar, M.: Agricultural wastes as Aggregate in concrete mixtures – a review, *Construction and Building Materials*, Vol. 53 (2014), str. 110 – 117, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.074>
- [8] European Parliament and of the Council: Regulation of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC, *Official Journal of the European Union*, Vol. 54 (2011), str. 43-88, ISSN 1725-2555

- [9] European Parliament and the Council: Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources, *Official Journal of the European Union*, Vol. 61 (2018), str. 82 – 210, ISSN 1977-0677
- [10] European Parliament and the Council: Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives., *Official Journal of the European Union*, Vol. 51 (2008), str. 3-30, ISSN 1725-2555
- [11] Bioenergy Europe: Report Bioenergy Landscape, *Statistical Report 2019*, Brussels, 2019.
- [12] The European Commission's Knowledge Center for Bioeconomy: Brief on biomass for energy in the European Union, *Dostupan na:* <http://dx.doi.org/10.2760/546943> *Pristupljeno:* 2021-01-15
- [13] Vassilev, S.V., Baxter, D., Andersen, L.K. & Vassileva, C.G.: An overview of the chemical composition of biomass, *Fuel*, Vol. 89 (2010) Br. 5, str. 913–933., <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.10.022>
- [14] Agrela, F., Cabrera, M., Alshaer, M., Morales, M. M. & Zamorano, M.: Biomass fly ash and biomass bottom ash, U *New Trends Eco-Efficient Recycled Concrete.*, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, ISBN: 978-0-08-102480-5, (2019), str. 23–58.
- [15] IEA Bioenergy: Options for increased use of ash from biomass combustion and co-firing, *IEA Bioenergy Task 32*, 2018.
- [16] Ban, C. C. & Ramli, M.: The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An overview, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 55 (2011) Br. 7, str. 669-685, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.002>
- [17] Udoeyo F. F, Inyang H, Young D. T. & Oparadu, E. E.: Potential of wood waste ash as an additive in concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 18 (2006) Br. 4, str. 605–611.
- [18] Hrvatske šume, O nama, *Dostupan na* <https://www.hrsume.hr/index.php/hr/tvrta/onama> *Pristupljeno:* 2021-01-12
- [19] Milovanović, B., Štirmer, N., Carević, I. & Baričević, A.: Pepeo drvne biomase kao sirovina u betonskoj industriji, *Građevinar*, Vol. 71 (2019) Br. 6, str. 505–514, <https://doi.org/10.14256/JCE.2546.2018>
- [20] Bogdan, A.: U Karlovcu pokrenuta bioelektrana toplane, *Građevinar*, Vol. 72 (2020) Br. 11, str. 1041-1048.
- [21] Chowdhury, S., Mishra, M. & Suganya, O.: The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview, *Ain Shams Engineering Journal*, Vol. 6 (2015) Br. 2, str. 429-437, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2014.11.005>
- [22] Ban, C.C., Nordin, N.S.A., Ken, P.W., Ramli, M. & Hoe, K.W.: The high volume reuse of hybrid biomass ash as a primary binder in cementless mortar block, *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 11 (2014) Br. 8, str. 1369-1378, <https://doi.org/10.3844/ajassp.2014.1369.1378>
- [23] Campbell, A.G.: Recycling and disposing of wood ash, *Tappi Journal*, Vol. 73 (1990) Br. 9, str. 141-146, ISSN: 0734-1415
- [24] Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, Izvod iz Pravilnika o katalogu otpada (NN 90/15) - Katalog otpada, Narodne novine, Zagreb, (2015).
- [25] European Parliament and the Council of the European Union: Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste, *Official Journal of the European Union*, Vol. 61 (2018), str. 109-140, ISSN 1977-0677
- [26] Tomić, I.: Obnovljiva toplinska energija je ključ za energetski zaokret, Hrvatske šume, Vol. 202 (2013) Br. 10, str. 5-7.

- [27] Pavelić, I., Kuric, D.: Realizacija projekata i investicija u energetska postrojenja na drvnu biomasu, 8. Hrvatski dani biomase znanstveno - stručni skup, Obnovljiva toplina: ključ za energetski zaokret, Našice, (2013)
- [28] Pesonen, J., Kuokkanen, T., Rautio, P. & Lassi, U.: Bioavailability of nutrients and harmful elements in ash fertilizers: Effect of granulation, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 100 (2017), str. 92–97, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.019>
- [29] Steenari, B.M. & Lindqvist, O.: Stabilisation of biofuel ashes for recycling to forest soil, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 13 (1997) Br. 1–2, str. 39–50, [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)00024-X](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)00024-X)
- [30] Maresca, A., Hansen, M., Ingerslev, M. & Astrup, T.F.: Column leaching form Danish forest soil, amended with wood ashes: fate of major and trace elements, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 109 (2017) Br. December, str. 91–99, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.12.014>
- [31] Vassilev, S.V., Baxter, D., Andersen, L. K. & Vassileva: An overview of the composition and application of biomass ssh. Part 1. Phase-mineral and chemical composition and classification, *Fuel*, Vol. 105 (2013), str. 40–76, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.09.041>
- [32] Ukraintczyk, N., Vrbos, N. & Koenders, E. A. B.: Reuse of Woody Biomass Ash Waste in Cementitious Materials, *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, Vol. 30 (2016) Br. 2, str. 137–48, <https://doi.org/10.15255/CABEQ.2015.2231>
- [33] Rajamma, R., Ball, R. J., Tarelho, L. A., Allen, G. C. & Labrincha, J. A.: Characterisation and Use of Biomass Fly Ash in Cement-Based Materials, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 172 (2009) Br. 2-3, str. 1049–60., <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.109>
- [34] Vassilev, S. V., Baxter, D., Andresen, L. K. & Vasilleva, C. G.: An Overview of the Composition and Application of Biomass Ash.: Part 2. Potential Utilisation, Technological and Ecological Advantages and Challenges, *Fuel*, Vol. 105 (2013), str. 19–39, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.10.001>
- [35] Eijk, van R. J., Supancic, K. & Obernberger, T.: Options for increased utilization of ash from biomass combustion and co-firing, (2012).
- [36] Obernberger, I., Fluch, J. & Brunner, T.: Comparative characterization of high temperature aerosols in waste wood fired fixed-bed and fluidized-bed combustion systems, *17th Eur. Biomass Conf. Exhib.*, Hamburg, (2009)
- [37] Carević, I., Baričević, A., Štirmer, N. & Šantek Bajto, J.: Correlation between physical and chemical properties of wood biomass ash and cement composites performances, *Construction and Building Materials*, Vol. 256 (2020) Br. 119460, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119450>
- [38] European Parliament and the Council: Regulation of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC, *Official Journal of the European Union*, Vol 54 (2011), str. 43–88, ISSN 1725-2555
- [39] Carević, I., Štirmer, N., Trkmčić, M. & Kostanić Jurić, K., Leaching Characteristics of Wood Biomass Fly Ash Cement Composites, *Applied Sciences-Basel*, Vol. 10 (2020) Br. 10, 8704, doi:10.3390/app10238704
- [40] Hrvatski zavod za norme: HRN EN 12350-2: 2019, „Ispitivanje svježega betona -- 6. dio: Gustoća (EN 12350-6:2019)“, (2019)
- [41] Hrvatski zavod za norme: HRN EN 12350 - 7: 2019, „Ispitivanje svježega betona -- 7. dio: Sadržaj pora -- Tlačne metode (EN 12350-7:2019)“, (2019)
- [42] Hrvatski zavod za norme: HRN EN 12390 - 3: 2019, „Ispitivanje očvrstnuloga betona -- 3. dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka (EN 12390-3:2019)“, (2019)

- 
- [43] Hrvatski zavod za norme: HRN EN 1340:2004/AC:2007, „*Betonski rubnjaci -- Zahtjevi i ispitne metode (EN 1340:2003/AC:2006)*”, (2007)
  - [44] Hrvatski zavod za norme: HRN EN 12390 - 8:2019, „*Ispitivanje očvrsnuloga betona -- 8. dio: Dubina prodora vode pod tlakom (EN 12390-8:2019)*”, (2019)

# Održiv i energetski učinkovit fasadni panel ECO-SANDWICH® – od razvoja do primjene

Ivana Banjad Pečur, Bojan Milovanović, Dubravka Bjegović<sup>1</sup>, Nina Štirmer, Marina Bagarić, Ivana Carević

<sup>1</sup> članica emerita HATZ-a u Odjelu građevinarstva i geodezije

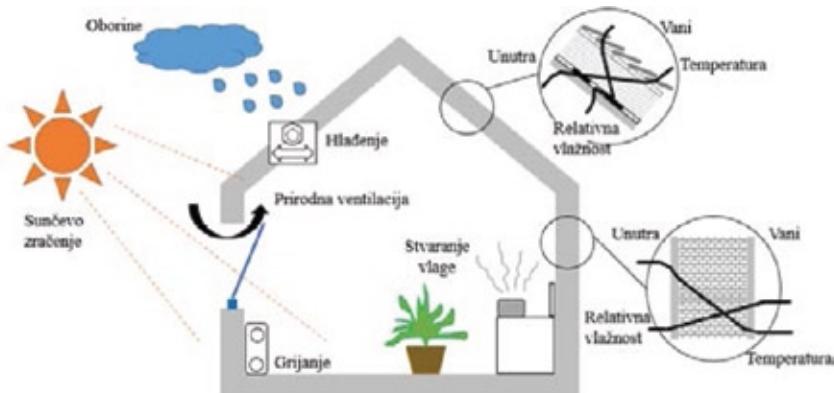
**Sažetak:** Vrlo niska potrošnja energije, smanjeni utjecaj na okoliš uz povećano recikliranje i ponovnu uporabu građevnog otpada (CDW) postali su ključni strateški ciljevi razvoja Europe. U zemljama članicama Europske unije godišnje se proizvede 180 milijuna tona CDW-a. Potencijalno rješenje problema je u uporabi CDW-a kao novog građevinskog materijala. Kroz suradnju hrvatskih znanstvenih institucija i industrije razvijen je predgotovljeni fasadni sustav ECO-SANDWICH®. Specifičnost novorazvijenog fasadnog sustava leži u korištenju CDW-a za proizvodnju betonskih slojeva i ventiliranom sloju zraka koji nije uobičajen kod klasičnih betonskih sendvič panela. U radu je prikazana metodologija razvoja inovativnih fasadnih panela: od laboratorijskih ispitivanja dvije vrste betona s recikliranim agregatom na razini materijala, preko prve primjene razvijenog fasadnog panela te na koncu do terenskog monitoringa higrotermalnog ponašanja ovojnica obiteljske kuće u realnim uvjetima okoliša i korištenja.

**Ključne riječi:** Beton s recikliranim agregatom, Građevni otpad, Ventilirana fasada, Higroermalno ponašanje, Zgrada gotovo nulte energije

## 1. Uvod

Suvremeno građevinarstvo prolazi kroz značajnu promjenu dosadašnjih ustaljenih načela, što se naročito ogleda u sektoru zgradarstva kroz sve strože energetske i okolišne zahtjeve za zgrade. U Europi je danas oko 40 % potrošnje energije i 50 % iskorištenja prirodnih sirovina povezano uz sektor građevinarstva, koji ujedno proizvodi između 30 – 50 % sveukupnog europskog otpada [1]. (Samo)održivost, energetska i okolišna, postaje strateški prioritet političkih i industrijskih djelovanja. Europska unija kroz svoju Direktivu o energetskim svojstvima zgrada [2–3], Direktivu o promicanju

uporabe energije iz obnovljivih izvora [4,5] te inicijativu za dekarbonizaciju sektora zgradarstva do 2050. godine [6] potiče, odnosno zahtjeva promjenu tradicionalnih principa projektiranja zgrada. Promjena ustaljenih načela moguća je jedino ako se zgradu promatra kao dinamički sustav koji je u konstantnoj interakciji s vanjskim okolišem, a sve s ciljem osiguranja visoke razine ugodnosti i zdrave unutarnje klime za korisnike zgrada. Također, promjena ustaljenih načela zahtjeva promišljanje o utjecaju zgrade na okoliš i njezinim operativnim troškovima tijekom cijelog životnog ciklusa, s posebnim naglaskom na trajnost građevinskih materijala, elemenata vanjske ovojnica zgrade, termotehničkih sustava i same zgrade kao cjeline [7]. Interakcija zgrade s vanjskim okolišem i unutarnjim okolišem odvija se preko vanjske ovojnice koja je, kao aktivni sudionik u procesima prolaska topline, zraka i vlage (higrotermalno ponašanje), direktno izložena opterećenjima iz okoliša te stoga mora biti dovoljno robusna, ali istovremeno i dovoljno prilagodljiva promjenama, Slika 1.



Slika 1: Interakcija elemenata ovojnica zgrade s vanjskim i unutarnjim okolišem [8]

Kada se promatra vanjska ovojnica zgrade, 75 – 90 % svih građevinskih šteta uzrokovano je vlagom, što dodatno ukazuje na nužnost pravovremenog predviđanja i osiguranja optimalnog dinamičkog higrotermalnog ponašanja ovojnica, i to osobito u slučaju novih sustava ovojnica.

Europa snažno podupire smanjenje stvaranja otpada te njegovu ponovnu uporabu i recikliranje u sustavu zatvorene petlje, što je jedan od temelja cirkularne ekonomije [9]. Što se tiče građevnog otpada, *Okvirnom direktivom o otpadu* [10] zemljama članicama Europske Unije postavljeno je kao cilj priprema 70 % otpada za ponovnu uporabu, recikliranje i drugu oporabu. Građevinski sektor u Europi odgovaran je za 200 do 300 milijuna tona građevnog otpada godišnje [11, 12], što ga čini dominantnom vrstom otpada u Europi. Ta znatna količina otpada nastaje tijekom procesa proizvodnje građevinskih materijala i proizvoda, tijekom procesa gradnje, održavanja i obnove zgrada, kao i tijekom njihovog rušenja, Slika 2.



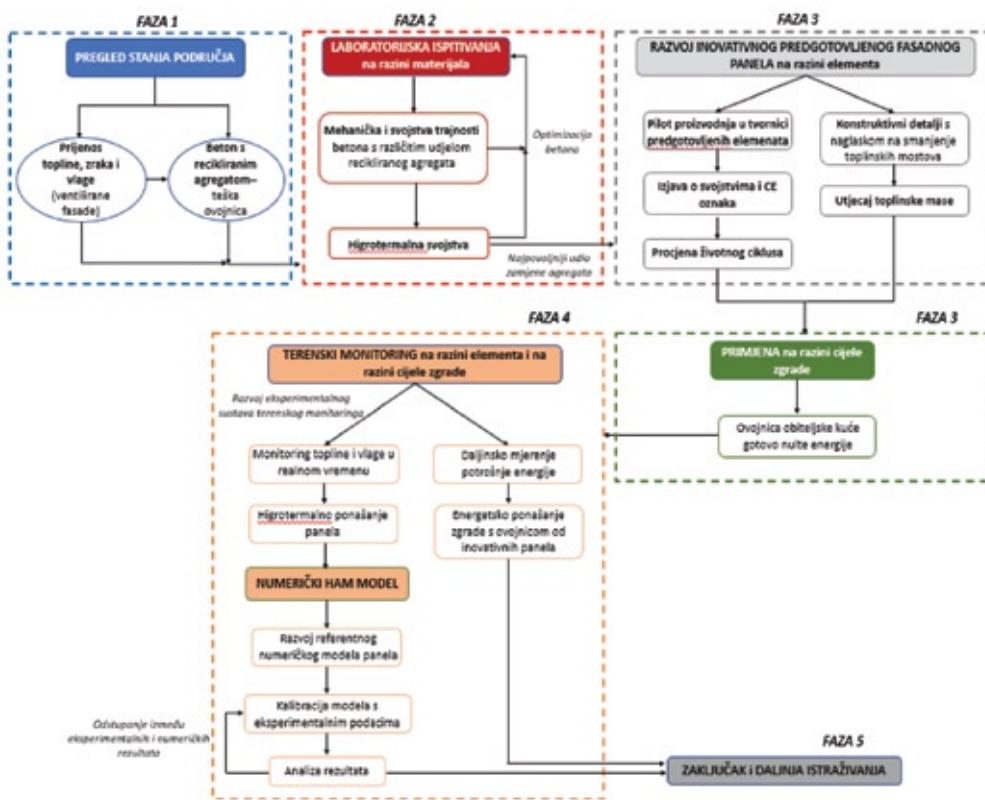
Slika 2: Građevni otpad

Recikliranjem građevnog otpada i njegovim korištenjem za proizvodnju novog građevnog proizvoda, otpad postaje sirovina čime dobiva novu dodatnu vrijednost i ostaje u životnom ciklusu, odnosno zatvara se petlja. Jedna od mogućnosti je korištenje recikliranog građevnog otpada kao agregata za proizvodnju novog betona. Unatoč činjenici da je potencijal korištenja recikliranog agregata intenzivno istraživan te postoje određene preporuke i norme za korištenje recikliranog agregata [13-15], promjenjiva i neujednačena kvaliteta recikliranog agregata te općenito slabija svojstva betona s takvim agregatom, kao i nedostatak prikladnije regulative, naročite one koja bi omogućila projektiranje na osnovi svojstava, sprječavaju njegovu veću upotrebu u industriji betona [16]. Samo u Europi, proizvede se više od 750 milijuna m<sup>3</sup> betona godišnje, što čini približno 4 tone betona po glavi stanovnika [17] te taj broj raste iz godine u godinu s razvojem građevinskog sektora. Imajući na umu da agregat čini 60 – 80 % volumena betona, odnosno 70 – 85 % njegove mase, jasno je da postoji iznimski potencijal za primjenu građevnog otpada u betonu. U tom pogledu, građevine izgrađene od betona s recikliranim agregatom mogu se smatrati bankama materijala, odnosno bankama otpada.

Prateći svjetske trendove i s ciljem ispunjenja obveza koje su postavljene sektoru zgradarstva za smanjenje potrošnje energije te cijelom sektoru građevinarstva za ostvarenje visoke razine recikliranja građevnog otpada, na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu razvijen je inovativni fasadni sustav vanjske ovojnica od predgotovljenog ventiliranog sendvič panela [18]. Razvoj i optimizacija panela rezultat je suradnje hrvatskih znanstvenih institucija i industrijskih partnera kroz projekt „ECO-SANDWICH® - Energy Efficient, Recycled Concrete Sandwich Facade Panel“ financiran europskim sredstvima iz programa CIP ECO-Innovation [18, 19]. Inovacija panela leži u primjeni velikog postotka recikliranog građevnog otpada kao agregata za proizvodnju betonskih slojeva te u zračnom sloju s prirodno provjetravanim zrakom.

## 2. Metodologija istraživanja

Znanstvena istraživanja predvodili su Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu te su ona zahvaljujući suradnji s proizvođačem toplinske izolacije tvrtkom Knauf Insulation d.o.o. i proizvođačem predgotovljenih elemenata tvrtkom Beton Lučko d.o.o. i praktično primijenjena u praksi. Metodologija istraživanja grafički je prikazana na Slici 3, a pojedine faze detaljnije su opisane u nastavku rada.



Slika 3: Grafički prikaz metodologije istraživanja

## 3. Razvoj inovativnog predgotovljenog fasadnog panela

Razvoj inovativnog predgotovljenog fasadnog panela ECO-SANDWICH® zahtjevao je optimizaciju betona s recikliranim agregatom (razina materijala) te određivanje slojeva panela i ispitivanja na razini elementa, kako bi se kao novi građevni proizvod mogao plasirati na tržiste.

### 3.1 Optimizacija betona – razina materijala

Istraživanje na razini materijala bilo je usmjereni na dvije različite vrste betona s recikliranim agregatom – jedna s agregatom od starog recikliranog betona, a druga s recikliranom opekom (Slika 4). Optimizacija betonskih mješavina provedena je varirajući postotak zamjene krupnog prirodnog agregata recikliranim (40 %, 50 %, 60 %). Za obje vrste betona postotak zamjene od 50 % pokazao se kao optimalan u pogledu mehaničkih svojstava i svojstava trajnosti [20].



**Slika 4:** Beton s recikliranim agregatom: lijevo – reciklirani agregat od drobljene opeke, desno – reciklirani agregat od starog drobljenog betona

Tablica 1 prikazuje neka od osnovnih mehaničkih svojstava, svojstava trajnosti i higrotermalnih svojstava ispitanih betona. Na osnovi rezultata ispitivanja, obje vrste betona mogu se svrstati u razred tlačne čvrstoće C 30/37. Općenito, beton s recikliranim opekom ima manju tlačnu čvrstoću u odnosu na beton čiji je reciklirani agregat stari drobljeni beton. Oba betona zadovoljavaju zahtjeve za razred izloženosti okolišu XF4 (56 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja sa solima za odmrzavanje). U usporedbi s običnim betonom izrađenim od prirodnog agregata (gustoće približno  $2400 \text{ kg/m}^3$ ), betoni s recikliranim agregatom su manje gustoće, ali zadržavaju dobra mehanička svojstva i svojstva trajnosti. Ako ne postoje posebni zahtjevi i ne očekuju se znatna opterećenja, tada je za većinu primjena prikladan razred tlačne čvrstoće C 30/37. Što se tiče toplinskih svojstava, beton s agregatom od recikliranog starog betona i beton s recikliranim opekom imaju 13 – 27 % i 29 – 40 % manju toplinsku provodljivost od literarnih vrijednosti za suhi beton s približno istom gustoćom. Koeficijent difuzije vodene pare za ove je betone 38 do 70 % manji od literarnih vrijednosti za sličan vlažni beton [20]. Ovi rezultati upućuju da reciklirani agregati imaju pozitivan utjecaj na higroermalna svojstva betona, i to na način da poboljšavaju toplinsko ponašanje te doprinose difuzno otvorenijem ponašanju betona.

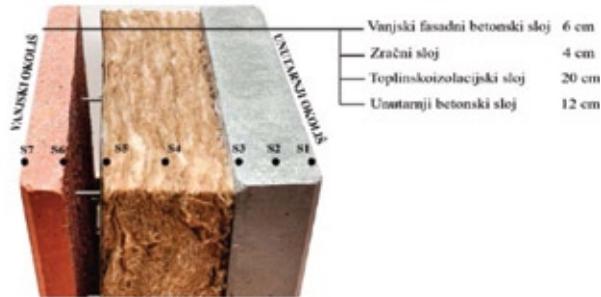
**Tablica 1:** Osnovna mehanička svojstva, svojstva trajnosti i higrotermalna svojstva betona s recikliranim agregatom

Udio recikliranog agregata	40 %		50 %		60 %	
Vrsta recikliranog agregata	Opeka	Beton	Opeka	Beton	Opeka	Beton
Volumenska masa u suhom stanju [kg/m <sup>3</sup> ]	1912,7	2064,6	1971,0	2105,0	2099,7	2243,3
Tlačna čvrstoća, 1 dan [MPa]	10,8	15,8	16,9	23,4	5,9	18,5
Tlačna čvrstoća, 28 dana [MPa]	44,3	44,3	39,7	51,2	40,7	42,8
Vlačna čvrstoća savijanjem, 28 dana [MPa]	5,8	5,8	5,9	6,4	5,2	5,4
Modul elastičnosti, 28 dana [GPa]	21,3	27,4	18,2	33,8	15,6	27,9
Srednja toplinska vodljivost pri +10°C u suhom stanju [W/(mK)]	0,703	0,867	0,746	0,858	/*	/*
Faktor otpora difuziji vodene pare [-]	18	26	29	37	/*	/*
Smrzavanje i odmrzavanje s prisustvom soli za odmrzavanje	XF4	XF4	XF4	XF4	XF4	XF4
Kapilarno upijanje [kg/(m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> )]	1,3	1,3	0,9	1,0	0,60	0,8

\*nije ispitano

### 3.2 Razvoj panela – razina elementa

Iako su postignuta iznimno zadovoljavajuća mehanička svojstva, svojstva trajnosti i higrotermalna svojstva betona s velikim udjelom zamjene krupnog prirodnog agregata recikliranim (50 %), cilj je bio razviti robustan fasadni sustav čije sveukupno ponašanje neće biti ugroženo materijalnim karakteristikama betona s recikliranim agregatom. Iz navedenog, razvoj panela usmjerio se na samonosivi sustav, dakle sustav koji nema ulogu aktivnog nosivog konstruktivnog elementa, i predgotovljenu montažnu gradnju. Predgotovljena montažna gradnja je tehnologija proizvodnje u kojoj se građevinski elementi proizvode u tvornici u kontroliranim uvjetima, što poboljšava njihovu kvalitetu. Nakon proizvodnje, građevinski elementi se prevoze do gradilišta i ugrađuju u nosivu konstrukciju. U usporedbi s monolitnom gradnjom, predgotovljena gradnja ubrzava cijeli proces gradnje, smanjuje potrebnu radnu snagu na gradilištu te smanjuje sveukupni trošak gradnje. Predmetni inovativni ventilirani fasadni panel sastoji se od dva predgotovljena betonska sloja međusobno povezana nehrđajućim čeličnim nosačima (Slika 5).



**Slika 5:** Inovativni predgotovljeni fasadni panel s prikazom slojeva

Za unutarnji (samo)nosivi betonski sloj panela je kao reciklirani agregat korišten drobljeni beton, dok je za vanjski fasadni betonski sloj korištena reciklirana opeka. Toplinska izolacija proizvedena je od recikliranog materijala (staklene boce, staklene ploče; do 85 % ukupnog sadržaja sirovina) i prirodnih materijala te bez upotrebe formaldehida i fenola, a ujedno ima manju ugrađenu energiju od tradicionalnih veziva na bazi ulja, poboljšava sveukupnu održivost zgrada te nema umjetnih bojila. Ecose® tehnologija proizvodnje toplinske izolacije je inovacija industrijskog partnera Knauf Insulation d.o.o. uključenog u razvoj panela. Između sloja toplinske izolacije Ecose® staklene vune i vanjskog betonskog sloja, nalazi se sloj ventiliranog zraka debljine 4 cm radi sprječavanja vlaženja sloja toplinske izolacije. Prirodno provjetravani zračni sloj nije uobičajen kod klasičnih betonskih predgotovljenih sendvič panela te stoga predstavlja dodatnu inovativnost panela.



**Slika 6:** Faze proizvodnje panela u tvornici predgotovljenih elemenata

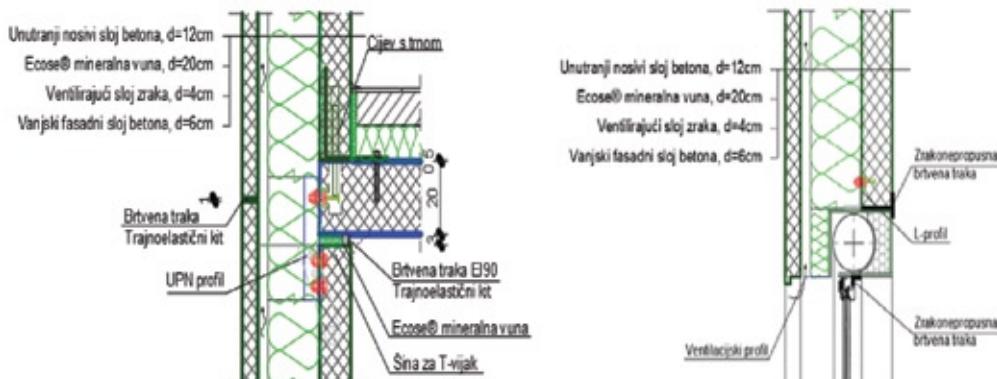
Proizvođač inovativnog panela Beton Lučko d.o.o. bio je industrijski partner projekta, koji je zaslužan i za tehnologiju proizvodnje kojom se osigurava potrebnii zračni sloj (Slika 6). Za potrebe stavljanja razvijenog proizvoda na tržište, za ECO-SANDWICH® fasadni panel izrađena je izjava o svojstvima i CE znak. Budući da se ECO-SANDWICH® fasadni element kategorizira kao nenosivi zidni element nekonstrukcijske namjene (sustav 4), ocjenjivanje i provjeru stalnosti svojstava građevnog proizvoda proveo je sam proizvođač panela [18, 19, 21].

Zahvaljujući dobroj toplinskoj izolaciji i toplinski povolnjijem ponašanju betona s recikliranim agregatom u usporedbi s toplinskim ponašanjem običnih betona, ECO-SANDWICH® panel prema izjavi o svojstvima [18] ima deklariranu vrijednost koeficijenta prolaska topline  $U < 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  u stacionarnom stanju, što ga čini konkurentnim ostalim predgotovljenim sendvič panelima dostupnima na tržištu [22] i prikladnim za izgradnju zgrada gotovo nulte ili vrlo niske potrošnje energije. Pokazalo se da ECO-SANDWICH® panel ima bolja zvučno-izolacijska svojstva (53 dB) u usporedbi s običnim betonskim sendvič panelom (47 dB) i metalnim sendvič panelima (21 dB i 22 dB ovisno o vrsti panela) [22]. Upravo su dva betonska sloja odgovorna za veliku plošnu masu ECO-SANDWICH® panela od  $458 \text{ kg}/\text{m}^2$ , što zgradu s takvim fasadnim elementima ovojnica svrstava u kategoriju teških zgrada.

Dodatno je istražen utjecaj na okoliš inovativnog predgotovljenog zidnog panela ECO-SANDWICH®. U analizu su uključene sve utjecajne kategorije definirane u EN 15804, a promatrane su kroz cijelokupni uporabni vijek panela, od vađenja materijala, proizvodnje materijala i panela, distribucije, korištenja i razgradnje [19, 23].

### 3.3 Razrada konstruktivnih detalja – smanjenje utjecaja toplinskih mostova

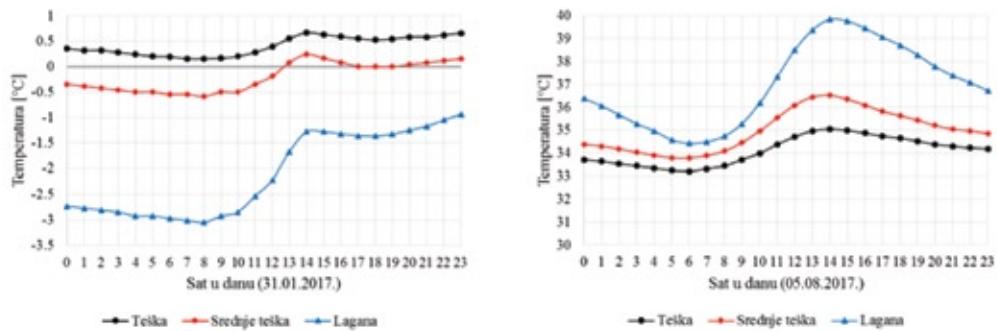
U suradnji s proizvođačem panela, razrađeni su najčešći detalji spoja panela i nosive konstrukcije [18], pri čemu je naglasak prvenstveno stavljen na umanjenje utjecaja toplinskih mostova, osiguranje zrakonepropusnosti vanjske ovojnice i otpornosti na požar (Slika 7). Kako bi se omogućio ulazak i izlazak zraka iz zračnog sloja panela, odnosno prirodno ventiliranje u fasadnom panelu, nužno je predvidjeti otvore na samom dnu i vrhu panela te na sljubnicama vanjskog betonskog sloja.



**Slika 7:** Konstruktivni detalji: lijevo – spoj panela s betonskom pločom, desno – spoj panela s gornjim dijelom prozora (detalj s kutijom za rolete)

### 3.4 Utjecaj toplinske mase

Za zgrade različite masivnosti (vrlo lagana, lagana, srednje teška, teška, masivna) analiziran je utjecaj toplinske mase na specifičnu godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje  $Q''_{H,nd}$  i hlađenje  $Q''_{C,nd}$  [20, 24]. U sklopu ovog rada, prikazan je utjecaj masivnosti ovojnica na temperaturu nekondicioniranog zraka, i to u vidu dnevnog profila temperature unutarnjeg zraka zgrada različite masivnosti u kontinentalnoj (Zagreb Maksimir) i primorskoj klimi (Split Marjan) Hrvatske. Numerički proračuni provedeni su na razini cijele zgrade (3-D proračuni) koristeći računalni program WUFI® Plus.



Slika 8: Utjecaj različite masivnosti na satne temperature nekondicioniranog zraka u kontinentalnoj klimi: lijevo – zimski dan, desno – ljetni dan

Rezultati prikazani na Slici 8 ukazuju da masivnost ovojnice zgrade ima značajan utjecaj na dnevni razvoj temperature nekondicioniranog zraka. Najmanje razvijene dnevne amplitude temperature potvrđuju da unutarnje temperature ventilirane teške zgrade reagiraju najsporije na promjene vanjskih uvjeta te najviše prigušuju temperature ekstreme. Odnosno, može se reći da su prisutni najstabilniji uvjeti temperature unutarnjeg zraka za najveću promatranu masivnost zgrade, što je potvrđeno za oba sezonska dana u obje klime.

## 4. Primjena razvijenog inovativnog predgotovljenog panela

### 4.1 Prva ECO-SANDWICH® kuća

Prijelaz sa znanstvenih istraživanja u laboratorijskim uvjetima na stvarnu primjenu razvijenog ECO-SANDWICH® panela ostvarena je 2016. godine u gradu Koprivnici, izgradnjom ovojnice obiteljske kuće nazvane „Prva ECO-SANDWICH® kuća“ vrlo niske potrebe za energijom, Slika 9. Glavni projektant obiteljske kuće bio je prof.

Ljubomir Miščević s Arhitektonskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Riječ je o zgradi s tri stambene jedinice (stan 1 u prizemlju, stan 2 na 1. katu i stan 3 na 2. katu) koje su u potpunosti grijane te je jedini negrijani prostor zajednički ulaz u kuću i stubišna vertikala. Zgrada je projektirana 2015. u skladu s principima pasivne gradnje, što podrazumijeva velike otvore na južnom pročelju, zatvorenije sjeverno pročelje, dobru toplinsku izolaciju i zrakonepropusnost vanjske ovojnica te mehaničku ventilaciju s rekuperacijom topline. Temeljem proračunskih vrijednosti iz projekta, a sukladno tadašnjim kriterijima iz *Pravilnika o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju* („NN 48/14 i 150/14“), koji je obuhvaćao samo  $Q'_{H,nd}$ , Prva ECO-SANDWICH® kuća svrstana je u A+ energetski razred.

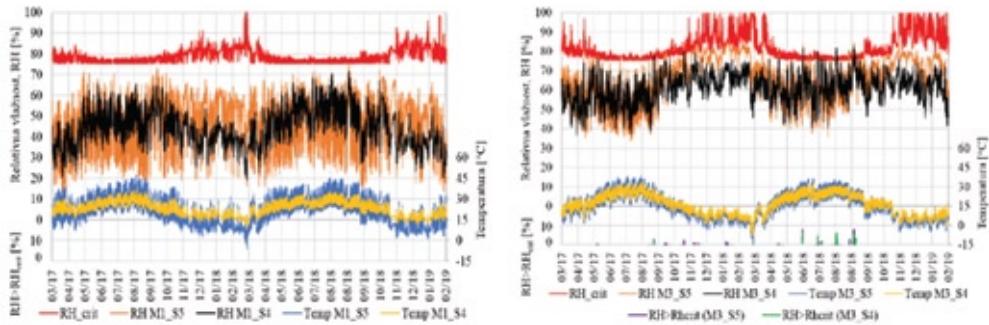


**Slika 9:** Prva primjena razvijenog fasadnog panela – Prva ECO-SANDWICH® kuća

## 5. Terenski monitoring u stvarnim uvjetima okoliša – razina elementa i razina zgrade

Cilj terenskog monitoringa bio je potvrditi koncept higrotermalne robusnosti inovativnog panela. Navedeno je istraženo kroz utjecaj klimatskih uvjeta realnog vanjskog okoliša i različitih uvjeta korištenja unutarnjeg okoliša zgrade na transport topline i vlage kroz ventilirani teški fasadni element od betona s recikliranim agregatom. Nadalje, u suradnji s tvrtkom HEP-ESCO d.o.o. uspostavljen je i mjerjenje potrošnje energije (plin, električna energija) i parametara unutarnje ugodnosti i kvalitete unutarnjeg zraka (temperatura, relativna vlažnost i CO<sub>2</sub> zraka) korištenjem računalnog poslovnog sustava ESCO® Monitor. Cilj je bio istražiti utjecaj ponašanja korisnika na potrošnju energije i parametre ugodnosti unutar zgrade čija je ovojnice izvedena od razvijenog inovativnog predgotovljenog panela.

Tri panela u prizemnom stanu odabrana su za monitoring higrotermalnog ponašanja: južno orijentirani panel M1, istočno orijentirani panel M2 i sjeverno orijentirani panel M3 (Slika 9). Osim po orijentaciji, odabrani paneli razlikuju se i prema uvjetima unutarnjeg okoliša – M1 i M2 graniče s grijanim prostorom, dok M3 graniči s negrijanim stubištem. Temperatura i relativna vlažnost, kao indikatori transporta topline i vlage, mjereni su u ukupno 7 pozicija po presjeku odabranih panela (Slika 5).



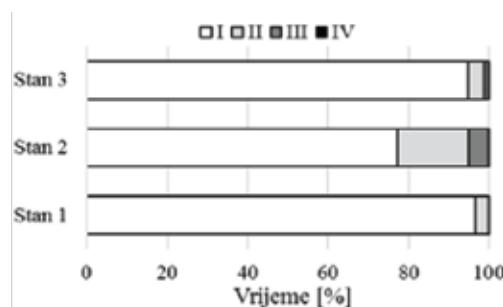
Slika 10: Usporedba relativnih vlažnosti (RH) razvijenih u sloju toplinske izolacije s kritičnim vrijednostima: lijevo – južni panel M1, desno – sjeverni panel M3

Kroz period od 2 godine (03/2017 – 02/2019), u toplinskoj izolaciji južnog panela M1 niti jednom nije došlo do prekoračenja kritičnih vrijednosti relativne vlažnosti (Slika 10 lijevo), dok je kod sjevernog panela to prekoračenje iznosilo sveukupno 107 h u sredini sloja toplinske izolacije, odnosno 291 h u segmentu neposredno do zračnog sloja (Slika 10 desno). Analizom je utvrđeno da ne postoji duži vremenski kontinuitet prekoračenja koji bi rezultirao narušavanjem trajnosti toplinske izolacije. Dodatne numeričke simulacije potvrdile su da ventilacija u zračnom sloju pasivno hlađi ovojnicu, i to naročito za južnu orijentaciju panela.

Na godišnjoj razini (01/2019. – 01/2020.), stanari Prve ECO-SANDWICH® kuće potrošili su ukupno 119,77 kWh/m<sup>2</sup> primarne energije. Sukladno trenutnoj hrvatskoj regulativi, primarna energija za obiteljsku kuću gotovo nulte energije (nZEB) u kontinentalnoj Hrvatskoj mora biti manja od 45 kWh/(m<sup>2</sup>a), no to uključuje samo energiju potrebnu za grijanje, pripremu potrošne tople vode i mehaničku ventilaciju. Imajući na umu da je za analiziranu zgradu provedeno mjerjenje sveukupne potrošnje energije, što podrazumijeva i energiju za rasvjetu, kuhanje, hlađenje, sve uređaje u stanovima itd., može se reći da je Prva ECO-SANDWICH® kuća zgrada vrlo niske potrošnje energije u stvarnim uvjetima korištenja te da bi uz ugradnju obnovljivih izvora energije ona zasigurno dosegla nZEB razinu. Nadalje, ustanovljeno je da je u stanovima 1 i 3 više od 95 % vremena prisutna najniža koncentracija CO<sub>2</sub> (Kategorija I iz Tablice 2), dok je u stanu 2 ta razina prisutna oko 77 % vremena (Slika 11). Navedeno upućuje na iznimno visoku kvalitetu unutarnjeg zraka koja je posljedica načina korištenja sustava mehaničke ventilacije, a koja je u potpunosti kontrolirana od ukućana (svaki stan zasebno). Može se zaključiti da su energetsko ponašanje zgrade i kvaliteta unutarnjeg okoliša uvelike uvjetovani ponašanjem korisnika. Iz tog je razloga nužna edukacija samih korisnika nZEB zgrada te projektanata i izvođača, ali i svih ostalih dionika uključenih u životni ciklus zgrade, što se aktivno provodi kroz EU projekte BIMZeED, The nZEB Roadshow i CONGREGATE.

**Tablica 2:** Preporučene vrijednosti parametara kvalitete zraka prema normi HRN EN 16798-1:2019 [25]

Kategorija	CO <sub>2</sub> [ppm]
I	950
II	1200
III	1750
IV	> 1750

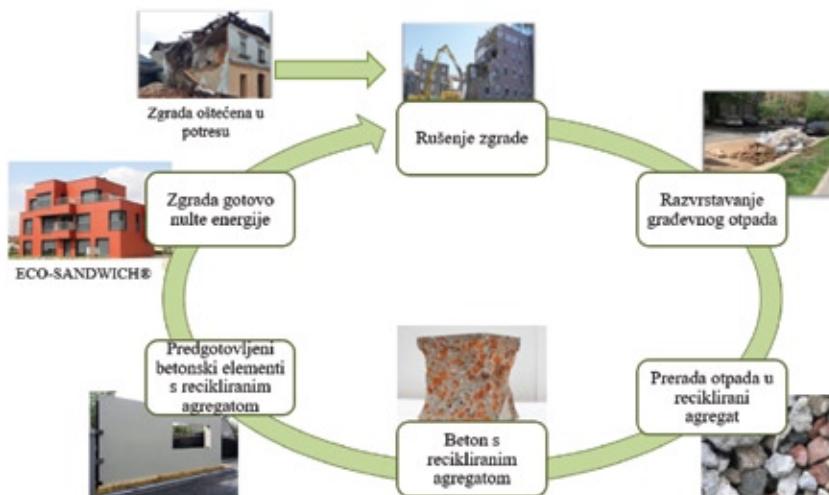


**Slika 11:** Razdioba kvalitete unutarnjeg zraka u dnevnim sobama Prve ECO-SANDWICH® kuće

## 6. Mogućnosti korištenja lokalno dostupnih sirovina – obnova potresom pogodjenih područja

Svjedoci smo razmjera posljedica potresa koji su u 2020. godini zahvatili područja Sisačko-moslavačke županije, Karlovačke i Zagrebačke županije te Grada Zagreba. Pogođeni stambeni i nestambeni fond zgrada pokazao je svoju krhkost te su mnoge zgrade oštećene, od kojih je znatan dio i potpuno neuporabljiv, poglavito na području Sisačko-moslavačke županije. Obnova potresom pogodjenih područja zahtijeva sveobuhvatan pristup koji povezuje znanstvenu zajednicu i industriju, primjenu njihova znanja i provjerenih rješenja. Proces obnove mora imati sustavan i interdisciplinaran pristup uz uključenje održivosti i kružnog gospodarstva. Održivost u obnovi moguće je postići ponovnom uporabom i oporabom građevinskih materijala koji su ostali na potresom razorenim lokalitetima, recikliranjem materijala te posebno korištenjem prirodnih materijala koji se nalaze u neposrednom/ bliskom okruženju [26]. Primjenom recikliranog agregata, koji se dobiva rušenjem postojećih neuporabljivih građevina, kao agregata u proizvodnji betonskih slojeva ECO-SANDWICH® panela, riješio bi se problem zbrinjavanja građevnog otpada i smanjilo iskorištavanje prirodnih sirovina. Nadalje, predgotovljeni fasadni sustav ovojnica ubrzava cjelokupni proces gradnje,

a samim time i zbrinjavanje stanovnika potresom pogodjenih područja. Seizmički otporna i energetski učinkovita gradnja osnovni su preduvjet za sigurne, zdrave i ugodne zgrade. Navedenim pristupom moguće je postići kružno, održivo te energetski neutralno gospodarstvo na potresom pogodjenim područjima, Slika 12.



**Slika 12:** Primjena ECO-SANDWICH® predgotovljenih fasadnih elemenata u obnovi potresom pogodjenih područja kao dio kružnog, održivog i energetski neutralnog gospodarstva

## 7. Zaključak

Ovaj rad opisuje razvoj i primjenu inovativnog ventiliranog fasadnog panela. Inovativnost panela ogleda se u korištenju velikog udjela recikliranog građevnog otpada kao agregata za proizvodnju betonskih slojeva, čime se ujedno nudi rješenje za problem zbrinjavanja građevnog otpada i smanjenje korištenja prirodnih sirovina. Dobra toplinska svojstva čine panel prikladnim za izgradnju zgrada gotovo nulte energije, čime se utječe na smanjenje potrošnje energije u sektoru zgradarstva. Suradnjom hrvatskih znanstvenih institucija i industrije provedena su opsežna znanstvena istraživanja na razini materijala (optimizacija betona s recikliranim agregatom) i na razini elementa (proizvodnja prototipa panela), koja su na koncu rezultirala primjenom panela za izgradnju cijele zgrade i potvrdom koncepta (terenska mjerena u stvarnim uvjetima okoliša). Inovativni panel, rezultat hrvatskog znanja, zbog korištenja recikliranog građevnog otpada i svoje predgotovljene tehnologije proizvodnje, ujedno pruža održivo, energetski učinkovito, seizmički sigurno i brzo rješenje za područja Republike Hrvatske pogodena potresom.

## Literatura

- [1] Vyncke, J.; Vrijders, J.: Recycling of Construction and Demolition Waste - An Overview of RI-LEM Achievements and State of the Art in the EU, *Proceedings of Second International Conference on Concrete Sustainability*, Galvez, J.C.; Aguado de Cea, A. i dr. (Ur.), str. 47-57, ISBN 978-84-945077-7-9, Madrid, Španjolska, lipanj 2016., International Center for Numerical Methods in Engineering, Madrid, (2016)
- [2] European Parliament, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), *OJEU*, L 153/13 (2010).
- [3] European Parliament, Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency, *OJEU*, L156/75 (2018).
- [4] European Parliament, Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, *OJEU*, L 140/16 (2009).
- [5] European Parliament, Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast), *OJEU*, L 328/82 (2018).
- [6] European Commission, A Clean Planet for all, A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, COM(2018) 773 final, Brussels, 2018.
- [7] Banjad Pečur, I.; Bagarić, M.; Bomberg, M.: GUEST EDITORS' PREFACE: Special issue "A Paradigm Shift in Integrated Building Design - Towards Dynamically Operated Buildings," *Advances in Building Energy Research*. (2020), Online ISSN 1756-2201 <https://doi.org/10.1080/17512549.2020.1731710>
- [8] Holm, A.; Künzel, H.M.; Sedlbauer, K.: The Hygrothermal Behaviour of Rooms: Combining Thermal Building Simulation and Hygrothermal Envelope Calculation, *Proceedings of the Eighth International IBPSA Conference - Building Simulation 2003*, str. 499–506, Eindhoven, Netherlands, kolovož 2003:
- [9] European Commission, Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy, COM(2015) 614 final, (2015).
- [10] European Parliament and Council, Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives, *OJEU*, L312/3 (2008)
- [11] Jurić, E.: Svojstva betona sa recikliranim agregatom, *Diplomski rad*, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2014.
- [12] EUROSTAT, Podaci o količinama generiranog otpada, *Dostupno na* [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste\\_generation\\_and\\_landfilling\\_indicators](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_generation_and_landfilling_indicators) *Pristupljeno:* 2016-07-05
- [13] RILEM TC 121, Specifications for concrete with recycled aggregates, Materials and Structures. (1994), str. 557–559.
- [14] Nederlands Normalisatie-instituut, Dutch Supplement to NEN-EN 12620 “Supplementary Materials for Concrete” (2005)
- [15] Hrvatski zavod za norme, HRN EN 206:2016 Beton - Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 206:2013+A1:2016), (2016)
- [16] Behera, M.; Bhattacharyya, S.K.; Minocha, A.K.; Deoliya, R.; Maiti, S.: Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review, *Construction and Building Materials*, **68** (2014), str. 501–516, ISSN: 0950-0618, doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.07.003.

- [17] Bjegović, D.; Štirmer, N.; Serdar, M.: Ecological Aspects of Concrete Production, *Proceedings of Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, Zachar, J.; Claisse, P. i dr. (Ur.), ISBN 978-1-4507-1490-7, Ancona, Italija, lipanj 2010.
- [18] Zavod za materijale – Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, ECO-SANDWICH® Energy efficient, recycled concrete sandwich facade panel, (2012) *Dostupno na:* <https://www.eco-sandwich.hr/> *Pristupljeno:* 2019-12-01
- [19] Banjad Pečur, I.; Bagarić, M.; Milovanović, B.: Development and Application of a Prefabricated Facade Panel Containing Recycled Construction and Demolition Waste, *Journal of Facade Design and Engineering*, 8 (2020) 2, str. 101-126, ISSN online 2213-3038 <https://doi.org/10.7480/jfde.2020.2.4788>.
- [20] Banjad Pečur, I.; Štirmer, N.; Milovanović, B.: Recycled aggregate concrete for nearly zero-energy buildings, *Magazine of Concrete Research*, 67 (2015) 11, str. 575-584, ISSN 0024-9831, <https://doi.org/10.1680/macr.14.00220>
- [21] Bjegović, D., Banjad Pečur, I., Štirmer, N., Milovanović, B., Carević, I., Alagušić, M.: Ventilirani predgotovljeni fasadni panel ECO-SANDWICH, *Proceedings of the International Symposium on Researching and Application of Contemporary Achievements in Civil Engineering in the Field of Materials and Structures*, Grdić, Z. (Ur.), str. 533-544, Vrnjačka Banja, Srbija, 2014., Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije, Vrnjačka Banja, (2014)
- [22] Banjad Pečur, I.; Štirmer, N.; Milovanović, B.; Carević, I.; Alagušić, M.: Energy Efficiency Aspects of Recycled Aggregate Concrete, *Proceedings of the International Symposium on Eco-Crete*, Wallevik, O.H.; Bager, D.H. i dr. (Ur.), str. 393–400, Reykjavik, Island, 2014, ICI Rheocenter, Reykjavik (2014)
- [23] Milovanović, B.; Banjad Pečur, I.; Štirmer, N.; Bagarić, M.; Carević, I.: Izjava o utjecaju na okoliš predgotovljenog zidnog panela izrađenog od recikliranog betona, *Zbornik radova Sabora Hrvatskih graditelja 2016 - EU i Hrvatsko graditeljstvo*, Lakušić, S. (Ur.), str. 179-188, Cavtat, Hrvatska, 2016. Hrvatski savez građevinskih inženjera, Cavtat, (2016)
- [24] Bagarić, M.; Banjad Pečur, I.; Milovanović, B.: Hygrothermal performance of ventilated pre-fabricated sandwich wall panel from recycled construction and demolition waste – A case study, *Energy and Buildings*, 206 (2020) 109573, ISSN 0378-7788 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109573>
- [25] HRN EN 16798-1:2019 Energijska svojstva zgrada – Ventilacija u zgradama – 1. dio: Uzlazni mikroklimatski parametri za projektiranje i procjenu energijske učinkovitosti zgrada koje se odnose na kvalitetu zraka, toplinsko okruženje, rasvjetu i akustiku, (2019)
- [26] Hrvatska sekcija ECOVAST-a i dr.: Apel za sveobuhvatan, uključiv i znanstveno utemeljen pristup obnovi potresom pogodenih područja Sisačko-moslavačke županije, 2021., *Dostupno na* [http://ecovast.hr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=188:apel-za-sveobuhvatnu-obnovu-nakon-potresa&catid=10:novosti-ecovast-hr&Itemid=72](http://ecovast.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=188:apel-za-sveobuhvatnu-obnovu-nakon-potresa&catid=10:novosti-ecovast-hr&Itemid=72) *Pristupljeno:* 2021-02-05

# Primjena poluparametarskog modela smetnje radarskog odjeka mora u civilnom nadzoru dijela granice Jadrana

Bojan Vondra<sup>1</sup>, Davor Bonefačić<sup>2</sup>, Toni Mišković<sup>3</sup>

<sup>1</sup> emovis tehnologije d.o.o., Split; [bojanvondra@hotmail.com](mailto:bojanvondra@hotmail.com)

<sup>2</sup> redoviti član HATZ-a u Odjelu komunikacijskih sustava  
Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb; [davor.bonefacic@fer.hr](mailto:davor.bonefacic@fer.hr)

<sup>3</sup> PCE - Pomorski centar za elektroniku d.o.o., Split; [toni.miskovic@pce.hr](mailto:toni.miskovic@pce.hr)

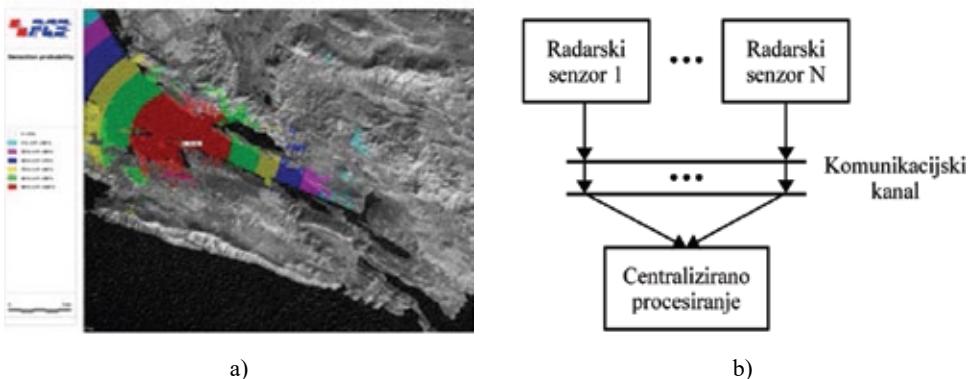
**Sažetak:** Nadzor pomorske granice Republike Hrvatske pitanje je kako zaštite nacionalnog teritorija tako i zaštite granica Europske unije. Uključivanje vlastitog znanja, tehničkih rješenja i inovacija domaćih tvrtki koja omogućuju prilagodbu sustava radarskog nadzora specifičnostima jadranskog akvatorija kao i multisenzorsku fuziju zbog toga je od izuzetnog značaja za zaštitu od mogućih ugroza, ali i za opći tehnološki razvitak naše zemlje. Kako u dostupnoj literaturi ne postoji zapisi o raspršenju elektromagnetske energije od morske površine pri specifičnim uvjetima Jadrana, razina točnosti klasičnih parametarskih modela nije poznata te se statistika odjeka smetnje u okolini praćenog cilja estimira implementacijom neuronske mreže. Utjecaj velikog broja odjeka smetnje na postojanost praćenja ublažava se primjenom Viterbijevog algoritma, što je demonstrirano na primjeru stvarnog cilja male radarske refleksijske površine u izraženoj smetnji odjeka mora i kiše.

**Ključne riječi:** smetnja mora, neuronska mreža, praćenje radarskim senzorom, Viterbijev algoritam

## 1. Uvod

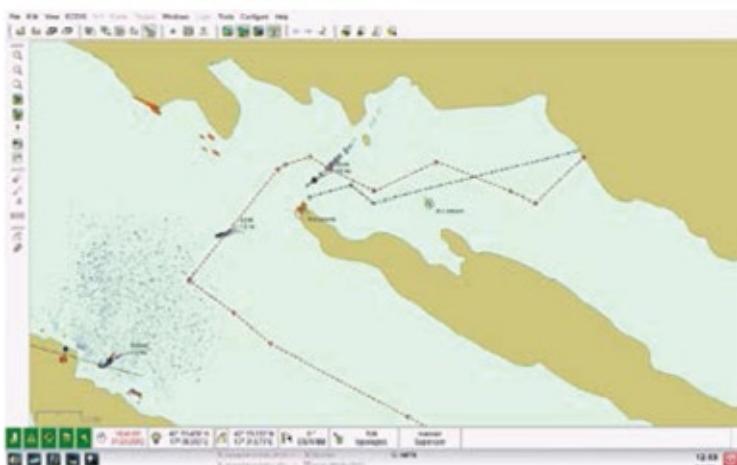
Nadzor dijela akvatorija koji se nalazi u radarskoj sjeni primarnih radara, slika 1a, moguće je provesti jeftinim i komercijalno dostupnim (COTS, engl. *Commercially off The Shelf*) radarskim senzorima u frekvencijskom području 9,4 GHz, uobičajeno s mehanički rotirajućom antenom i prijemnikom visoke dinamike na čijem je izlazu dostupna amplituda odjeka, bez informacije o fazi. Senzori mogu biti instalirani na

(ne)pokretnim platformama bez ljudske posade, a podatke iz nekoliko radarskih senzora moguće je ujediniti na centralnoj lokaciji kako ilustrira slika 1b.



**SI 1:** Koncept nadzora granice: (a) primjer radarskih sjena (preuzeto s [1])  
i (b) centralizirana fuzija podataka.

Zanimljivi ciljevi su izolirana (i moguće ilegalna i zlonamjerna) površinska plovila u izraženoj i prostorno nehomogenoj smetnji mora, male radarske refleksijske površine i visokih manevarskih sposobnosti kako ilustrira slika 2. Stoga uspješna provedba nadzora mora odgovoriti na tri izazova: manevrirajućeg gibanja cilja, izražene smetnje odjeka mora (u osnovi nepoznate statistike) i višestrukih mjerena (posljedica izražene smetnje). Dodatno, mehanizam detekcije cilja i formiranja njegove staze treba biti što brži (pri tipičnim scenarijima odvajanja plovila od obale i brzog prijelaza na suprotnu stranu te gibanja plovila duž obale).



**SI 2:** Ilustracija odjeka smetnje mora (donji lijevi dio slike)  
i odjeka plovila male radarske refleksijske površine (preuzeto s [2]).

Razina ublažavanja efekata smetnje ovisi o točnosti modela amplitudne razdiobe odjeka (raspršenja elektromagnetske energije od površine mora), jer je na izlazu radarskog senzora dostupna samo informacija o amplitudi, ne i o fazi, u ovisnosti o uvjetima okoline kao npr. brzini vjetra, stanju mora i sl. te značajkama senzora poput frekvencije, polarizacije, upadnog kuta i razlučivosti. Dostupna literatura opisuje modele koji se temelje na mjerjenjima pri uvjetima otvorenog mora odnosno oceana. Modeliranje smetnje uobičajeno se provodi parametriziranim modelom pri čemu mjerjenja evaluiraju vrijednost parametara. Model može reflektirati fizikalne mehanizme koji dovode do smetnje, kao npr. široko prihvaćeni model K-razdiobe [3], rezultat opisa smetnje kompozicijom procesa dugoročnih i kratkoročnih fluktua-cija. Pri tome su dugoročne fluktuacije rezultat kolebanja strukture morske površine, a kratkoročne posljedica velikog broja nezavisnih i unutar radarske ćelije razlučivosti jednoliko raspodijeljenih reflektora. Dok je komponenta dugoročnih fluktuacija (intenziteta teksture ili radarskog presjeka morske površine) opisana gama-razdiobom, kratkoročna je opisana Gaussovom razdiobom. U [4] je pokazano da vrijeme korelacije kratkoročnih fluktuacija iznosi par milisekundi, a dugoročnih par sekundi, pri čemu je prostorna korelaciju reda veličine metra. Premda mjerjenja uglavnom poka-zuju dobro slaganje s K-razdiobom, vidi npr. [5], postoje odstupanja, posebno kada je senzor visoke razlučivosti (radijalna razlučivost reda veličine metra i azimutna manja od stupnja). Tako nedavna mjerjenja provedena radarom visoke razlučivosti (vidi npr. [6, 7]), pokazuju prisutnost tzv. „igličastih“ odjeka, događaja koji su povezani primarno s fenomenom lomljenih valova [8]. Za Jadransko more, situacija je složenija jer po saznanju autora ne postoje objavljeni podaci o statistici elektromagnetskog ras-pršenja. Specifičnost Jadrana su površinski vjetrovni valovi ograničeni privjetrištem i trajanjem vjetra što rezultira time da je Jadran većinom nerazvijeno more te da su valovi zbog ovog razloga strmiji i kraće valne duljine nego što bi bili u oceanu [9, 10]. Usporedbe radi, mjerjenja provedena pod uvjetima ograničenog privjetrišta i ne-razvijenoga mora na lokacijama Toulona (Francuska), u Sredozemlju, te Tarantskoga zaljeva (Italija) [11], pokazuju da u određenim slučajevima mjerjenja pokazuju bolje slaganje s Paretovom nego K-razdiobom, ali i da nije uočena ovisnost parametra oblika K-razdiobe o azimutu te da je njegova vrijednost općenito veća nego u slučaju potpuno razvijenoga mora. Evaluacija parametra modela koji se razlikuje od stvarne razdiobe smetnje najvjerojatnije će degradirati proces praćenja u smislu povećanja vjerojatnosti gubljenja staze. Nasuprot tome, neparametarski je model smetnje eva-luiran isključivo mjerjenjima prikupljenim za vrijeme i u okolini praćenog cilja. To je važno i zbog toga što, kako je naglašeno u [12], statistika smetnje ovisi i o uvjetima poput blizine obale, značajkama morskih struja, veličini privjetrišta, dubini i uvjeti-ma propagacije morskih valova (postojanje prepreka i sl.).

Ako se zanemari utjecaj mjernog šuma na rezultat mjerjenja amplituda radarskih odjeka, postoji mogućnost estimacije njihove razdiobe neuronском mrežom,

primjenom svojstva univerzalne aproksimativnosti [13]. Ovakva estimacija je poluparametarska zbog toga što je poznata funkcionalna ovisnost između izlaza i ulaza mreže (obilježje parametarske metode), a velik broj parametara koji nemaju fizičko značenje (obilježje neparametarske metode), pruža mogućnost, zajedno s nelinearnim aktivacijskim funkcijama, aproksimacije proizvoljne razdiobe. Za primjenu njene estimacije, potrebno je provesti učenje mreže bez nadzora, kao npr. u [14-17] za arhitekturu acikličke slojevite mreže. Implicitno se razdioba može derivirati iz distribucije vjerojatnosti kao npr. u [18]. Metoda sume baznih razdioba (mreža radikalnih funkcija, RBF, engl. *Radial Basis Functions*) unutar klasifikacijskog okvira, pri čemu su parametri mreže rezultat maksimiranja vjerodostojnosti uzorka, primijenjena je u [19, 20]. Za razliku od estimacije razdiobe acikličkom mrežom, estimacija mrežom RBF uvijek rezultira probabilističkom funkcijom u cijelom opsegu definicije radikalne funkcije.

Diskriminacija mjerena odjeka cilja od smetnje provodi se procesom pridruživanja. Za niske omjere snage signala prema smetnji (manje od otprilike 10 dB, što je vrijednost za očekivane ciljeve), prikladna je Viterbijeva metoda [21]. Ovim se algoritmom nalazi najvjerojatniji slijed pridruživanja mjerena postojećoj stazi [22], a u [23], algoritam je proširen mjerom kvalitete praćenja (vjerojatnosti da se staza održava mjerenjima odjeka od cilja, a ne od smetnje). Iz poznavanja razdiobe smetnje, proizlazi i vrijednost parametra njene gustoće (broja mjerena unutar volumena promatrana). A poznavanje razdioba odjeka smetnje i cilja, kao i gustoće smetnje, dodatni je mehanizam koji, implementiran u proces pridruživanja kao npr. u [24], provodi dodatnu diskriminaciju između odjeka smetnje i cilja.

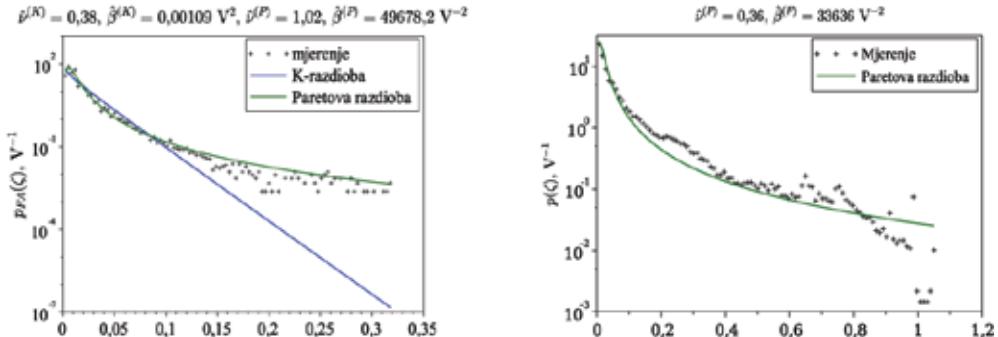
Struktura rada je sljedeća: u odjeljku 2, opisana je studija slučaja praćenja cilja u izraženoj smetnji mora nepoznate statistike, u odjeljku 3, opisana je metoda praktičnog ispitivanja Viterbijeve metode pridruživanja, odjeljak 4 je zaključak i opis budućeg rada.

## 2. Studija slučaja: praćenje cilja u izraženoj smetnji mora

U nedostatku podataka o statistici elektromagnetskog raspršenja od morske površine u specifičnim uvjetima Jadrana, za teorijsku razradu studije primjenjeni su podaci radara IPIX [25] i to za stanje mora od 3 do 4 koje je u Jadranu najčešće (javlja se u 43 % vremena prema [10]). Korištena je datoteka mjerena 19931107\_135603.cdf, pri čemu je analiza provedena samo za mjerena pri horizontalnoj polarizaciji, slika 3. Parametri radarskog sustava IPIX dani su u tablici 1. Pri tome  $dr$  i  $d\phi$  označavaju radikalnu i azimutnu razlučivost radara,  $H_{1/3}$  značajnu visinu valova,  $\phi_w=180^\circ$  označava smjer radarskog snopa niz vjetar,  $\varepsilon$  upadni kut i  $f_s$  frekvenciju ponavljanja.

**Tablica 1:**

$dr$	$d\phi$	Stanje mora	$H_{1/3}$	$\phi_w$	$\varepsilon$	$f_s$	Ćelija smetnje	Ćelija cilja
30 m	0,9°	3-4	0,9 m	180°	0,3°	1 kHz	br. 14	br. 9

**Sl 3:** Amplitudna razdioba: (a) odjeka smetnje i (b) odjeka cilja.

Slika 3 ilustrira amplitudnu razdiobu odjeka za ćeliju razlučivosti br. 14, kao i amplitudnu razdiobu odjeka iz ćelije br. 9 u kojoj se nalazio cilj, plutajuća polistiren-ska sfera promjera 1 m, presvučena žičanom mrežom. Omjer snage signala prema smetnji u ovom je mjerenu fluktuirao u rasponu od 0 dB pa do 6 dB. Za evaluaciju parametra oblika  $\hat{\nu}^{(K)}$  i skaliranja  $\hat{\beta}^{(K)}$  K-razdiobe primijenjena je metoda maksimalne vjerodostojnosti prema [26], a za evaluaciju parametra oblika  $\hat{\nu}^{(P)}$  i skaliranje  $\hat{\beta}^{(P)}$  Paretove razdiobe, metoda [zlog(z)] prema [27].

## 2.1. Estimacija razdiobe primjenom mreže RBF

Prijenosna funkcija mreže RBF (mješavine m komponenti) dana je kao

$$q_{v,m}(\zeta) = \sum_{i=1}^m q_v(\zeta | \mathcal{G}_i; \mathbf{v}_i) P(\mathcal{G}_i), \quad (1)$$

pri čemu  $q_v(\cdot)$  označava radikalnu baznu funkciju,  $\mathcal{G}_i$   $i$ -tu komponentu mješavine, vektor  $\mathbf{v}_i = (\mu_i, \sigma_i)$  središte  $\mu_i$  i skaliranje  $\sigma_i$  komponente  $\mathcal{G}_i$ , a  $P(\mathcal{G}_i)$  apriornu vjerojatnost da uzorak  $\zeta$  potječe od komponente  $\mathcal{G}_i$ , vidi [28] za više detalja o svojstvima radikalnih funkcija i konvergenciji mješavine prema stvarnoj razdiobi skupa uzoraka  $Z = \{\zeta_n, n=1, \dots, N\}$ . Vrijednosti parametara mreže RBF  $\mathcal{Y} = \{P(\mathcal{G}_i), \mathbf{v}_i, i=1, \dots, m\}$ , rješenje su maksimiranja vjerodostojnosti skupa uzoraka  $Z$  iterativnom metodom maksimiranja očekivanja (EM, engl. *Expectation Maximization*) [29]. Za Gaussove komponente

$$q_v(\zeta | \mathcal{G}_i; \mathbf{v}_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\zeta - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right), \quad (2)$$

i iteraciju  $\kappa$ , aposteriorna vjerojatnost da je uzorak  $\zeta_n$  generiran komponentom  $\mathcal{G}_i$  jednaka je

$$P_{\kappa+1}(\mathcal{G}_i | \zeta_n) = \frac{P_\kappa(\mathcal{G}_i) \sigma_{i,\kappa}^{-1} \exp\left(-\frac{1}{2}(\zeta_n - \mu_{i,\kappa})^2\right)}{\sum_{i=1}^m P_\kappa(\mathcal{G}_i) \sigma_{i,\kappa}^{-1} \exp\left(-\frac{1}{2}(\zeta_n - \mu_{i,\kappa})^2\right)}. \quad (3)$$

Središta komponenti dana su s

$$\mu_{i,\kappa+1} = \frac{\sum_{n=1}^N \zeta_n P_{\kappa+1}(\mathcal{G}_i | \zeta_n)}{\sum_{n=1}^N P_{\kappa+1}(\mathcal{G}_i | \zeta_n)}, \quad (4)$$

a skaliranja s

$$\sigma_{i,\kappa+1}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N P_{\kappa+1}(\mathcal{G}_i | \zeta_n) (\zeta_n - \mu_{i,\kappa+1})^2}{\sum_{n=1}^N P_{\kappa+1}(\mathcal{G}_i | \zeta_n)}. \quad (5)$$

Naposljetku, aposteriorna vjerojatnost odabira komponente  $\mathcal{G}_i$  je

$$P_{\kappa+1}(\mathcal{G}_i) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_{\kappa+1}(\mathcal{G}_i | \zeta_n). \quad (6)$$

Koraci (3) – (6) za korak iteracije  $\kappa$  su početne vrijednosti za korak iteracije  $\kappa+1$  i ponavljaju se sve dok vjerodostojnost

$$\Lambda(Y|Z) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \ln \left( \sum_{i=1}^m \frac{P(\mathcal{G}_i)}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\zeta_n - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right) \right) \quad (7)$$

ne konvergira prema maksimumu uz proizvoljnu točnost.

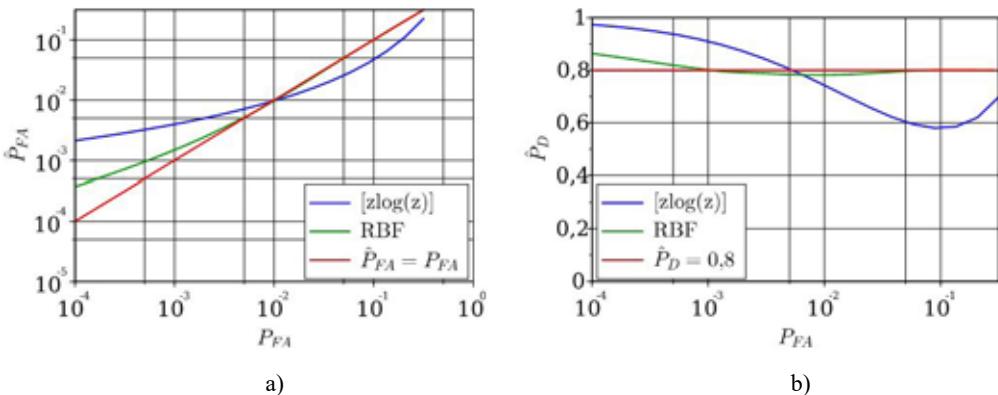
U [20] je pokazano da je za razdiobu teškog repa poput one prikazane slikom 3a dovoljno  $m \geq 4$  komponenti kako bi točnost estimacije razdiobe uz  $N=1024$  uzoraka i logaritamsku transformaciju ulaznih uzoraka prema

$$\zeta^{(*)} = a \ln(b + c \zeta) \approx a \ln(c \zeta), \quad c \zeta \gg 1 \quad (8)$$

dosegla plato. Pri tome konstante prijemnika  $a$ ,  $b$  i  $c$  određuju dinamički opseg, ali za teorijsku analizu, može se postaviti  $a=1$  i  $c=1$ . Logaritamska transformacija (8) već je ostvarena u prijemniku radarskog senzora koji je, radi ostvarenja visoke dinamike ( $\geq 100$  dB), logaritamski. Površina  $N \text{d}rd\varphi$  (za prikupljanje  $N$  uzoraka smetnje)

u okolini praćenog cilja najvjerojatnije je prevelika da bi uvjet prostorne homogenosti smetnje bio ispunjen. U tome se slučaju željeni broj uzoraka može ostvariti uzimanjem  $N/L$  uzoraka kroz  $L$  sukcesivnih okreta antene.

Slika 4 prikazuje ostvarene operativne karakteristike prijemnika za razdiobu ilustriрану slikom 3a. Metode određivanja praga detekcije (koji je oписан o dizajniranoj razini lažne detekcije  $P_{FA}$ ) su metoda radijalne mreže RBF s  $m=4$  komponente (koja iz estimirane razdiobe određuje prag detekcije) te klasična [zlog(z)] metoda koja određuje parametre oblika i skaliranja K-razdiobe te iz tako parametrizirane razdiobe, prag detekcije. Primjenjeno je  $N=1024$  uzorka na izlazu logaritamskog prijemnika. Odjek cilja modeliran je prema Swerlingovom modelu br. 1 [30] s vjerovatnošću detekcije  $P_D=0,8$ . Idealna ovisnost estimirane vjerovatnosti lažne detekcije označena je s  $\hat{P}_{FA}=P_{FA}$ , a vjerovatnost detekcije s  $\hat{P}_D=0,8$ . Slika 4 pokazuje bolje slaganje ostvarenih karakteristika prijemnika u odnosu na idealne metodom RBF nego [zlog(z)].



**SI 4:** Usporedba ostvarenih operativnih karakteristika: (a) vjerovatnost lažne detekcije i (b) vjerovatnost detekcije. U ovom je primjeru rep razdiobe teži neko što se apriornim modelom prepostavlja.

## 2.2. Viterbijeva metoda pridruživanja

Koncept slijeda pridruživanja mjerenja postojećoj stazi opisan je usmjerenim rešetkastim dijagramom, gdje su čvorovi događaji  $\{A_{k,s}, s=-1, 0, \dots, n_k\}$ , a lukovi vjerodostojnosti prijelaza iz događaja indeksa  $s_{k-1}=u$  (prethodna opservacija), u događaj indeksa  $s_k=v$  (kurentna opservacija). Logaritamska vjerodostojnost slijeda  $j^k$  izražena je zbrojem logaritamskih vjerodostojnosti duž staze kroz rešetkasti dijagram. Događaji  $A_{k,s}$  su mjerena u trenutku  $k$  tako da je

$$A_{k,s} = \begin{cases} \text{mjereno } \zeta_{k,s} \text{ potječe od cilja, } s = 1, \dots, n_k \\ \text{niti jedno mjereno ne potječe od cilja, a cilj je primjetljiv, } s = 0 \\ \text{niti jedno mjereno ne potječe od cilja i cilj nije primjetljiv, } s = -1 \end{cases} \quad (9)$$

Za razliku od [31] gdje je uveden koncept postojanja cilja, u ovom je radu primijenjen koncept njegove primjetljivosti [32]. Cilj koji je primjetljiv uvijek se može detektirati s nekom vjerovatnošću, a ako nije, njegova detekcija nije moguća iako se on i dalje nalazi unutar volumena motrenja. Dok primjena koncepta postojanja cilja zahtijeva, ako algoritam ukaže na to, završetak ili ponovnu provedbu inicijalizacije staze, primjenom koncepta primjetljivosti nema potrebe za tim što je pogodno u slučajevima praćenja kada je cilj povremeno neprimjenljiv (npr. zaklonjen). Rekurzivna aproksimacija nalazi maksimalnu vjerodostojnost staze  $j^{k(*)}$  u trenutku  $k$  kao

$$\Lambda_k(j^{k(*)}) = \max_{v=-1,0,\dots,n_k} (\Lambda_k(v)) \approx \max_{v=-1,0,\dots,n_k} \left( \max_{u=-1,0,\dots,n_{k-1}} (\Lambda_k(u,v) \Lambda_{k-1}(u)) \right), \quad (10)$$

što je dinamičko programiranje sa širenjem prema naprijed. Prema [24], normirane vjerodostojnosti prijelaza dane su s

$$\Lambda_k(u,v) = \begin{cases} \frac{1 - \bar{D}_k}{(1 - P_D)\bar{D}_k}, & v = -1 \\ 1, & v = 0 \\ \frac{P_D e_k(u,v) \ell_k(\zeta_v)}{\lambda_k(1 - P_D)}, & v = 1, \dots, n_k \end{cases} \quad (11)$$

za broj smetnji u okolini cilja prema Poissonovoj razdiobi. Pri tome  $\lambda_k$  označava prostornu gustoću smetnje,  $\ell_k(\zeta_v)$  omjer razdioba odjeka cilja prema razdiobi odjeka smetnje za mjerjenje amplitudne  $\zeta_v$  i  $e_k(u,v)$  apriorno mjerjenje, ovisno o mjerjenju pozicije  $\mathbf{z}_{v,k}$  (u trenutku  $k$ ) i estimaciji čvora (u trenutku  $k-1$ ), Gaussove razdiobe

$$e_k(u,v) = \mathcal{N}(\mathbf{z}_{v,k}; \bar{\mathbf{z}}_{u,k}, \mathbf{S}_{u,k}), \quad (12)$$

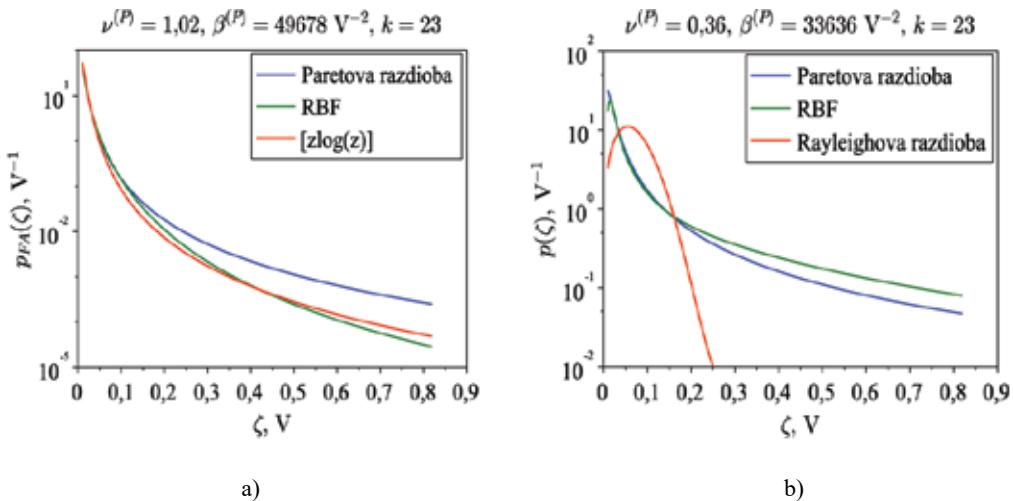
pri čemu su  $\bar{\mathbf{z}}_{u,k}$  i  $\mathbf{S}_{u,k}$  apriorno mjerjenje i inovacija estimacije (za više detalja vidi [24], a za višemodelnu implementaciju [33]). Vrijednost apriorne vjerovatnosti  $\bar{D}_k$  propagira u skladu s

$$\bar{D}_k = \pi_0 D_{k-1} + \pi_1 (1 - D_{k-1}), \quad (13)$$

pri čemu su  $\pi_0$  (vjerovatnost da će primjetljiv cilj u trenutku  $k-1$  biti primjetljiv i u trenutku  $k$ ) i  $\pi_1$  (vjerovatnost da će cilj koji nije primjetljiv u trenutku  $k-1$  biti primjetljiv u trenutku  $k$ ), parametri dizajna. Prema [31], vjerovatnost postojanja cilja određena je čvorovima za koje je cilj primjetljiv,

$$D_k = \frac{\sum_{v=0}^{n_k} \Lambda_k(v)}{\sum_{v=-1}^{n_k} \Lambda_k(v)}. \quad (14)$$

Viterbijev algoritam diskriminira (najvjerojatniji) odjek cilja od (najvjerojatnijih) odjeka smetnje. Uzorci ovako selektiranih odjeka smetnje i cilja mogu se primijeniti u estimaciji razdiobe mrežom RBF. Upravo je parametar  $\ell(\zeta)$  bitan za dodatnu diskriminaciju odjeka cilja i smetnje. Naime, kako je pokazano u [34], za frekvencijski pojas 9,4 GHz i upadne kutove od  $0,5^\circ$  do  $1^\circ$  te za širine impulsa od 100 ns do 300 ns, postoji izrazito odstupanje amplitudne razdiobe odjeka cilja od Swerlingovih modela br. 1 i br. 3 [30] za male plastične i gumene brodice. U navedenim je radovima pokazana i koreliranost radarskog presjeka sa smetnjom, u smislu da intenzitet radarskog presjeka pada kako se objekt primiče žlijebu vala. Također i primjer radara IPIX pokazuje efekt maskiranja malog površinskog cilja, vidi sliku 3b. Odjek iz radikalne ćelije u kojoj se nalazi cilj kompozicija je odjeka od cilja i odjeka od valova kada oni maskiraju cilj. Tako se za ovakve specifične ciljeve, amplitudna razdioba uvelike razlikuje od Rayleighove aproksimacije. Ilustracija estimacije odjeka smetnje mrežom RBF prikazana je slikom 5a, a cilja slikom 5b.

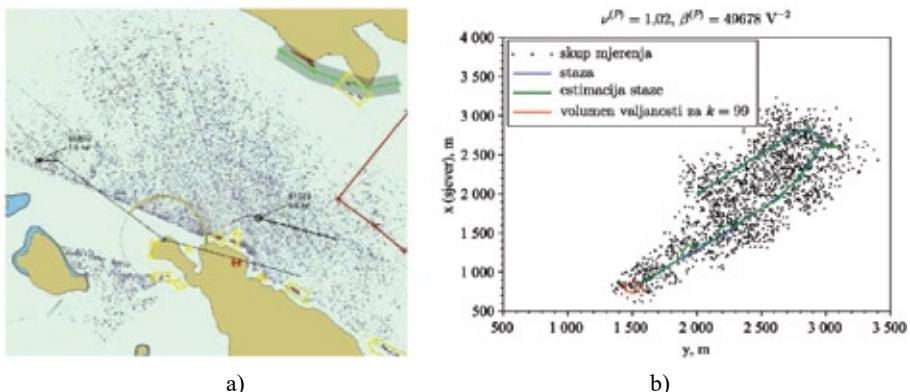


Sl 5: Estimacija razdiobe: (a) smetnje i (b) cilja maskiranog valovima.

Primjena omjera vjerodostojnosti ilustrirana je primjerom praćenja manevrirajućeg cilja u izraženoj smetnji. Dok slika 6a prikazuje stvarnu smetnju odjeka od morske površine, slika 6b prikazuje jednu realizaciju simulirane staze u smetnji Paretove razdiobe. Pri tome je vjerojatnost lažne detekcije  $P_{FA}=0,5$  i vjerojatnost detekcije cilja  $P_D=0,8$ . Usporedba ostvarenih vjerojatnosti zadržavanja staze  $P_{TT}$  za poluparametarsku (RBF) i parametarsku ( $[\text{zlog}(z)]$ ) metodu (koja estimira parametre Paretove razdiobe za smetnju i parametar Rayleighove razdiobe za cilj), prikazana je tablicom 2.

**Tablica 2:** Vjerovatnost zadržavanja staze  $P_{TT}$  ovisno o primjenjenoj metodi za estimaciju omjera vjerodostojnosti.

Metoda	$P_{TT}$
Parametarska ([zlog(z)])	0,014
Poluparametarska (RBF)	0,301



**Sl 6:** Izražena smetnja odjeka mora: (a) stvarna smetnja (ustupljeno iz [2]) i (b) simulacija s parametrima razdiobe smetnje i cilja prema slici 3.

### 3. Praktična ispitivanja Viterbijeve metode pridruživanja

U ovom su odjeljku demonstrirani rezultati praćenja cilja male radarske refleksijske površine u izraženoj smetnji mora i kiše te šuma svojstvenog radarskom senzoru.



**Sl 7:** Ilustracija sustava za demonstraciju praćenja cilja radarski male refleksijske površine.

Kako je ilustrirano slikom 7, praćenje je provedeno sustavom koji se sastojao od radarskog senzora i kamere.. Radarskim senzorom, kamerom te procesom praćenja, upravljalo se putem aplikacije razvijene u Pomorskom centru za elektroniku. Praćenje ostvareno implementacijom radarskih mjerena i Viterbijeve metode pridruživanja u okviru višemodelne estimacije, zabilježeno je kamerom radi vizualne inspekcija kvalitete praćenja. Zbog toga što kamera nije bila kalibrirana, nije se mogla koristiti kao mjerni instrument, već samo kao indikator.

Parametri radarskog sustava prikazani su tablicom 3, a parametri Viterbijeve metode pridruživanja tablicom 4. Zbog nedovoljnog broja kvantizacijskih razina radarskog videa, nije bilo moguće primijeniti proces estimacije razdioba odjeka smetnje i cilja neuronском mrežом.

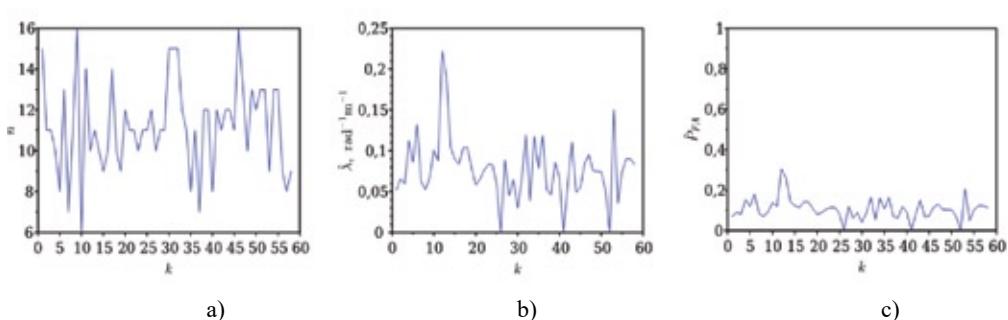
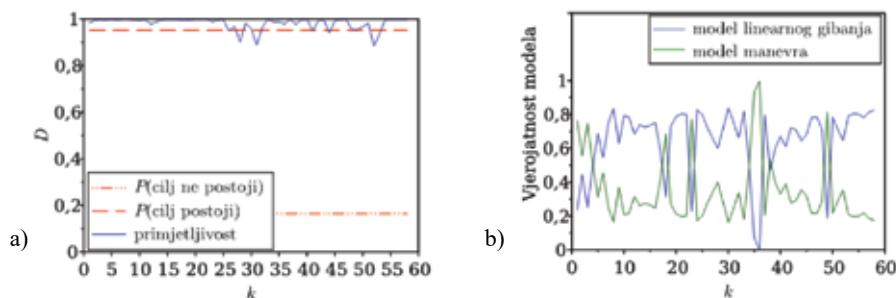
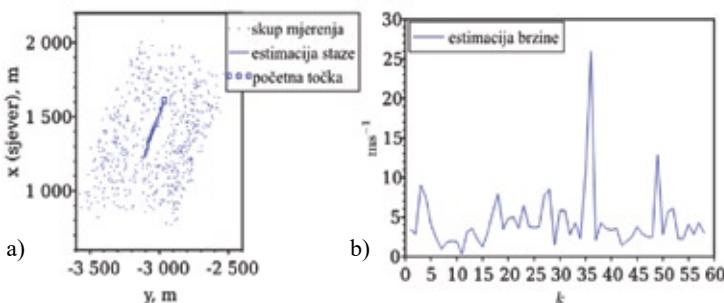
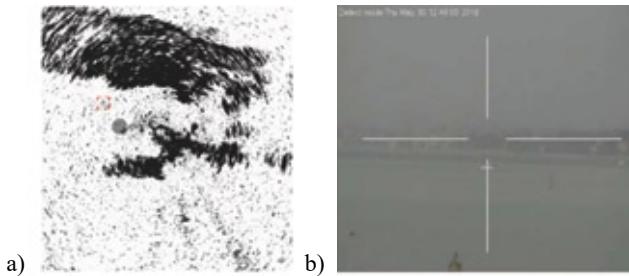
**Tablica 3:** Parametri radarskog senzora.

Značajka	Vrijednost
Radiofrekvencijska snaga	165 mW
Frekvencija zračenja	Od 9,3 GHz do 9,4 GHz
Modulacija	Frekvencijska, modulacije 75 MHz
Frekvencija ponavljanja	Od 200 Hz do 540 Hz
Širina antenskog snopa (kriterij -3 dB)	Horizontalna 5,2°, vertikalna 25°
Polarizacija	Horizontalna
Brzina okretanja antene	24\ okreta u minuti

**Tablica 4:** Parametri Viterbijeve metode pridruživanja.

Značajka	Vrijednost
Okvir višemodelne estimacije	IMM [33] s modelima linearног i krivočrtног gibanja
Estimator	Drugokorijenski kubturni Kalmanov filter [35]
Kovarijanca procesnog šuma za linearni model	0,2 m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
Vrijeme korelacije akceleracije	25 s
Procesni šum akceleracije	8 m <sup>2</sup> s <sup>-4</sup>
Vjerojatnost zadržavanja linearног gibanja	0,3
Vjerojatnost zadržavanja manevira	0,98
$\pi_0$	0,9
$\pi_1$	0,1

Smetnja u okolini praćenog cilja bila je kombinacija smetnje mora i jake kiše te šuma svojstvenog radarskom senzoru s frekvencijskom modulacijom, slika 8. Estimacija staze ilustrirana je slikom 9. Visoka vjerojatnost primjetljivosti, ilustrirana slikom 10a, ukazuje na stabilno praćenje, unatoč velikom broju mjerjenja unutar volumena valjanosti kako prikazuje slika 11a. Također je gibanje cilja skoro linearno kroz cijelo vrijeme trajanja staze, kako pokazuje tijek vjerojatnosti modela ilustriran slikom 10b. Uzoračke estimacije prostorne gustoće smetnje  $\hat{\lambda}$ , kao i vjerojatnosti lažne detekcije  $\hat{P}_{FA}$ , ilustrirane su slikama 11b i c.



## 4. Zaključak

Specifičnosti Jadrana (spektar valne energije, odnos brzine vjetra prema efektivnoj visini valova, malo privjetrište, veliki broj otoka), sugeriraju potrebu provedbe velikog broja mjerenja elektromagnetskog raspršenja od morske površine za evaluaciju dobrog parametarskog modela smetnje, za upadne kutove (ispod  $1^\circ$ ) kakvi se mogu očekivati u primjenama radarskog senzora na bespilotnoj površinskoj platformi te visokih upadnih kutova (iznad  $10^\circ$ ) koji se mogu očekivati primjenom na bespilotnoj letjelici. Nasuprot tome, poluparametarska metoda implementirana neuronском mrežom estimira statistiku smetnje isključivo na temelju mjerenje, bez potrebe za poznавanjem modela. Praćenje ciljeva male radarske refleksijske površine, vjerojatno maskiranog valovima, može se dodatno poboljšati (u smislu povećanja vjerojatnosti zadržavanja staze) primjenom metode praćenja prije detekcije (TBD, engl. *Track Before Detect*), gdje se eksplicitni proces detekcije eliminira te se implicitno provodi unutar samog estimatora. Pri tome je točnost estimacije razdioba odjeka smetnje i cilja od krucijalne važnosti. U odnosu na radarski senzor primijenjen u dosadašnjim praktičnim ispitivanjima (odjeljak 3), amplitudna razlučivost senzora treba biti veća, minimalno 256 diskretnih razina kvantizacije.

## Literatura

- [1] PCE: Radarski sustavi – pokrivanje, *Dostupan na* [http://www.pce.hr/radar\\_systems/coverage/coverage.html](http://www.pce.hr/radar_systems/coverage/coverage.html) *Pristupljeno:* 2020-12-12
- [2] PCE: Zaštita Zelene i Plave granice, *Dostupno na* [https://www.pce.hr/ptns/border\\_protect/border\\_protect.html](https://www.pce.hr/ptns/border_protect/border_protect.html) *Pristupljeno:* 2020-12-12
- [3] Jakeman, E. & Tough, R. J. A.: Non-Gaussian models for the statistics of scattered waves, *Advances in Physics*, Vol. 37 (1988), Br. 5, str. 471-529
- [4] Gini, F. & Greco, M.: Texture modeling and validation using recorded high resolution sea clutter data, *Proceedings of the 2001 IEEE Radar Conference*, str. 387-392, ISBN: 0-7803-6707-3, Atlanta, GA, USA, svibanj 2001., IEEE
- [5] Bouvier, C., Martinet, L., Favier, G. & Artaud, M.: Simulation of radar sea clutter using autoregressive modelling and K-distribution, *IEEE International Radar Conference*, str. 425-430, ISBN: 0-7803-2121-9, Alexandria, VA, USA, svibanj 1995., IEEE
- [6] Sangston, K. J., Gini, F. & Greco, M. S.: Coherent radar target detection in heavy-tailed compound-Gaussian clutter, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 48 (2012), Br. 1, str. 64-77, ISSN: 0018-9251
- [7] Palamà, R., Greco, M. S., Stinco, P. & Gini, F.: Statistical analysis of bistatic and monostatic sea clutter, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 51 (2015), Br. 4, str. 3036-3054, ISSN: 0018-9251
- [8] Melief, H.W., Greidanus, H., Genderen, van, P. & Hoogeboom, P.: Analysis of sea spikes in radar sea clutter data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 44 (2006), Br. 4, str. 985-993, ISSN: 0196-2892
- [9] Katalinić, M., Čorak, M. & Parunov, J.: Analysis of wave heights and wind speeds in the Adriatic Sea, *U Maritime Technology and Engineering*, Taylor & Francis Group, ISBN: 978-1-138-02727-5, London, 2015, str. 1389-1394

- [10] Zorović, D., Mohović, R. & Mohović, Đ.: Prilog određivanju duljine vjetrovnih valova na Jadranu, *Naše more*, Vol. 60 (2003), Br. 3-4, str. 145-150, ISSN: 0469-6255
- [11] Johnsen, T.: Characterization of X-band radar sea-clutter in a limited fetch condition from low to high grazing angles, *2015 IEEE Radar Conference*, str. 109-114, ISBN: 978-1-4673-9655-4, Johannesburg, South Africa, listopad 2015., IEEE
- [12] Ward, K. D. & Watts, S.: Use of sea clutter models in radar design and development, *IET Radar, Sonar & Navigation*, Vol. 4 (2010) Br. 2, str. 146-157, ISSN: 1751-8784
- [13] Haykin, S.: *Neural networks: a comprehensive foundation*, Prentice Hall, ISBN: 978-0132733502, New York, (1999)
- [14] Modha, D. S. & Fainman, Y.: A learning law for density estimation, *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 5 (1994), Br. 3, str. 519-523, ISSN: 1045-9227
- [15] Likas, A.: Probability density estimation using artificial neural networks, *Computer Physics Communications*, Vol. 135 (2001), str. 167-175, ISSN: 0010-4655
- [16] Parzen, E.: On estimation of a probability density function and mode, *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 33 (1963), Br. 3, str. 1065-1076
- [17] Trentin, E. & Freno, A.: Unsupervised nonparametric density estimation: A neural network approach, *2009 International Joint Conference on Neural Networks*, str. 3140-3147, ISBN: 978-1-4244-3548-7, Atlanta, GA, USA, lipanj 2009., IEEE
- [18] Xiongfeng, F., Xianhui, Y. & Yongmao, X.: A new method for density estimation by using forward neural network, *International Joint Conference on Neural Networks*, str. 1461-1464, ISBN: 0-7803-5529-6, Washington, DC, USA, srpanj 1999., IEEE
- [19] Trávén, H. G. C.: A neural network approach to statistical pattern classification by „se-miparametric“ estimation of probability density functions, *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 2 (1991), Br. 3, str. 366-377, ISSN: 1045-9227
- [20] Vondra, B. & Bonefačić, D.: Mitigation of the effects of unknown sea clutter statistics by using radial basis function network, *Radioengineering*, Vol. 29 (2020), Br. 1, str. 215-227, ISSN: 1805-9600
- [21] Forney, G. D.: The Viterbi algorithm, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 61 (1973), Br. 3, str. 268-278, ISSN: 0018-9219
- [22] Quach, T. & Farooq, M.: Maximum likelihood track formation with the Viterbi algorithm, *Proceedings of the 33rd IEEE Conference on Decision and Control*, str. 271-276, ISBN: 0-7803-1968-0, Lake Buena Vista, FL, USA, prosinac 1994., IEEE
- [23] Pulford, G. & Scala, B. L.: Over-the-horizon radar tracking using the Viterbi algorithm. Second Report to DSTO, *Dostupan na*  <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.46.4722&rep=rep1&type=pdf> *Pristupljeno:* 2020-12-20
- [24] Vondra, B. & Bonefačić, D.: Estimation of heavy-tailed clutter density using adaptive RBF network, *22nd International Conference on Applied Electromagnetics and Communications (ICECom)*, str. 1-6, ISBN: 978-9-5360-3771-1, Dubrovnik, Croatia, rujan 2016., IEEE
- [25] Bakker, R. & Currie, B.: The Dartmouth database, *Dostupan na*  <http://soma.ece.mcmaster.ca/ipix/dartmouth/index.html> *Pristupljeno:* 2020-01-17
- [26] Balleri, A., Nehorai, A. & Wang, J.: Maximum likelihood estimation for compoundgaussian clutter with inverse gamma texture, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 43 (2007), Br. 2, str. 775-779, ISSN: 0018-9251
- [27] Bocquet, S.: *Parameter estimation for Pareto and K distributed clutter with noise*, IET Radar, Sonar & Navigation, Vol. 9 (2015), Br. 1, str. 104-113, ISSN: 1751-8784
- [28] Zeevi, A. J. & Meir, R.: Density estimation through convex combinations of densities: Approximation and estimation bounds, *Neural Networks*, Vol. 10 (1997), Br. 1, str. 99-109

- [29] Ghahramani, Z.: Solving inverse problems using an EM approach to density estimation, U *Proceedings of the 1993 Connectionist Models Summer School*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., ISBN: 978080581590010, Industrial Avenue, Mahwah, NJ 07430, USA, 1994, str. 316-323
- [30] Swerling, P.: Probability of detection for fluctuating targets, *IRE Transactions on Information Theory*, Vol. 6 (1960), Br. 2, str. 269-308, ISSN: 0096-1000
- [31] Pulford, G. W. & Scala, B. F. L.: Multihypothesis Viterbi data association. Algorithm development and assessment, *IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems*, Vol. 46 (2010), Br. 2, str. 583-609, ISSN: 1557-9603
- [32] Li, N. & Li, X. R.: Target perceivability and its applications, *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 49 (2001), Br. 11, str. 2588-2604, ISSN: 1053-587X
- [33] Scala, B. L. & Pulford., G. W.: Manoeuvring target tracking with the IMM-VDA algorithm, *8<sup>th</sup> International Conference on Information Fusion*, ISBN: 0-7803-9286-8, Philadelphia, PA, USA, srpanj 2005., IEEE
- [34] Herselman, P. L., Baker, C. J. & Wind, de, H. J.: An analysis of X-band calibrated sea clutter and small boat reflectivity at medium-to-low grazing angles, *International Journal of Navigation and Observation*, Vol. 2008, str. 1-14
- [35] Arasaratnam, I. & Haykin, S.: Cubature Kalman filters, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 54 (2009), Br. 6, str. 1254-1269, ISSN: 0018-9286

# **Flora Croatica Database: izazovi 25-godišnjeg razvoja i održavanja**

Krešimir Fertalj<sup>1</sup>, Boris Milašinović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> redoviti član HATZ-a,

Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, [kresimir.fertalj@fer.hr](mailto:kresimir.fertalj@fer.hr)

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, [boris.milasinovic@fer.hr](mailto:boris.milasinovic@fer.hr)

**Sažetak:** *Flora Croatica Database (FCD) je nacionalna baza podataka o flori Hrvatske. Primarno izrađena kao baza podataka vaskularne flore, prvotno proširena na evidenciju drugih biljnih vrsta za potrebe Botaničkog vrta u Zagrebu, tijekom 2020. godine dodatno je proširena podacima o mahovinama te se planira podrška za unos algi čime bi se kompletirao taksonomski obuhvat flore. Od inicijalnog taksonomskog popisa hrvatske flore 1994. godine što se može smatrati začetkom izrade nacionalne baze podataka (Croatian Information Service for Biodiversity – Database, skraćeno CIS-B Database) prošlo je više od 25 godina tijekom kojeg je sustav konstantno bio održavan i nadogradivan, višestruko povećavajući svoj opseg kako u podacima, tako i programski. U radu je dan kratki pregled povijesti razvoja, popis značajnih komponenti sustava, nakon čega slijedi kratki pregled problema s kojima su se autori s više ili manje uspjeha nosili tijekom razvoja i održavanja sustava.*

## **1. Uvod**

*Flora Croatica Database (FCD) je nacionalna baza podataka o flori Hrvatske koja sadrži podatke o vaskularnoj flori i mahovinama, a u planu je izrada programske podrške za unos algi s ciljem kompletiranja taksonomskog obuhvata flore Hrvatske. Začetkom razvoja smatra se inicijalni taksonomski popis hrvatske flore izrađen 1994. godine [1]. Početna verzija sustava bila je izrađena kao višekorisnička aplikacija realizirana klijentom Microsoft Access nad bazom podataka spremljenim na poslužitelju Microsoft SQL Server. Tadašnja baza podataka sadržavala je osnovne taksonomske (nomenklaturu, sinonime i narodna imena), horološke (navode vrsta u literaturi, podatke iz dijela herbarskih zbirki i popise opaženih vrsta tijekom terenskih istraživanja) i ekološke podatke (vrijednosti ekoloških indeksa za pojedine vrste) [2].*

Početkom stoljeća započinje prijelaz na web-aplikaciju čija prva inačica nastaje 2004. godine. Tijekom sljedećih nekoliko godina prijelaz je u potpunosti dovršen te je sustav proširen dodatnim komponentama poput crvene knjige ugroženih vrsta, podrške za evidenciju korisnog bilja, invazivnih vrsta i kategorizacije staništa, unosa i pregleda slika vrsta, prikaza geokodiranih podataka o vrstama, izračuna bioraznolikosti i drugim. Dodatno, za potrebe Botaničkog vrta u Zagrebu dodana je potpora za evidenciju drugih biljnih vrsta [3].

U trenutku pisanja ovog rada, FCD sadrži više od 127 000 slika vrsta, više od 544 000 geokodiranih zapisa o opažanjima vrsta na terenu, preko 358 000 geokodiranih literarnih navoda vrsta te podatke za više od 55 000 herbarskih primjeraka (pri čemu je više od 47 000 geokodiranih uz približno 30 000 slika herbara, većinom visoke rezolucije).

Uzevši u obzir neumitnost starenja softvera [4] te procjene kako je prosječni životni vijek informacijskog sustava ili bilo kojeg softvera 9-12 godina [5][6], onda činjenicu da FCD uspješno postoji u svojoj web-inačici već 16 godina (a ukupno preko 25 godina) mora izazvati određeni respekt.

Recept za dugovječnost može se opisati s tri gledišta. Jedan, vrlo značajan, su dobro uspostavljeni temelji kvalitetno modeliranim relacijskim modelom podataka prema kojem postojeća baza podataka sada broji preko sto tablica. Broj pogleda, funkcija i procedura je s vremenom višestruko narastao, ali su preinake strukture podataka kroz vrijeme bile relativno male zbog dobro projektirane osnovice. Ugodan dizajn, potvrđen uvrštanjem na popis 100 najboljih hrvatski internetskih stranica 2005. godine prema časopisu VIDI, zadovoljava i danas, iako uslijed povećanja rezolucije ekrana ograničava iskoristivost prostora na ekranu, pa je inicijalna strategija razvoja u kojoj se dodatne komponente dodaju kao dio cjelokupne, zajedničke web-aplikacije morala biti napuštena, što uzrokuje da nove komponente budu oblikovane modernijim dizajnom uz zadržavanje inicijalnih vizualnih logotipova.

Drugi ključni faktor opstanka sustava je utemeljen na entuzijazmu autora (PMF, FER), koji su ga godinama održavali skromnim sredstvima, a povremeno *de-facto* volontersvom, pri čemu je tek zadnjih nekoliko godina dio održavanja formalno preuzeo Državni zavod za zaštitu prirode (DZZP), danas Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (HAOP).

Treći faktor pomalo podsjeća na anegdotu o vlasniku koji se hvali svojom dugovječnom metlom na kojoj je od kupnje prije puno godina, eto, samo dvaput promijenio dršku i triput donji dio, ali to je ista ona njegova vjerna metla. Sustav *Flora Croatica* ne bi preživio da kontinuirano ne doživljava razne dogradnje i preinake, a odnedavno i ponovne izgradnje pojedinih komponenti. Za razliku od nekih izoliranih poslovnih

sustava za koje je moguće pretpostaviti da će njegovi korisnici kontinuirano osigurati hardver i operacijski sustav iz vremena kad je sustav nabavljen (pa tako nije neuobičajeno naići na aplikacije pisane u *Clipperu*, *dBaseu* i sličnim alatima koji rade na zastarjelim verzijama operacijskih sustava) sustav namijenjen široj populaciji korisnika mora se prilagoditi vremenu. Dio sustava još uvijek radi na originalnim temeljima (tehnologiji *ASP.NET Web Forms*) uz nužne modernizacije u skladu s mogućnostima i potrebama, primjerice zbog prestanka podržanosti nekih komponenti.

## 2. Korisnici i komponente sustava

FCD koriste različiti profili korisnika, od korisnika javno dostupne usluge koje zanimaju biljke, preko studenata, nastavnika i botaničara amatera, pa sve do profesionalaca kojima je FCD ključni izvor za izradu različitih studija i znanstvenika kojima je FCD relevantni i citirani izvor. Na tehničkoj razini, FCD prepoznaje anonimne i prijavljene korisnike, pri čemu prijavljeni korisnici mogu pripadati određenim grupama (ulogama) te sukladno tome imaju dodatna prava u odnosu na obične prijavljene korisnike u smislu mogućnosti unosa i ažuriranja podataka, primjerice o herbarskim zbirkama koje evidentiraju kustosi muzeja. Dodatno, omogućeni su korisnički računi s vremenski ograničenim trajanjem, primjerice za vrijeme trajanja izrada seminara, ugovora za unos podataka i slično.

Prijava korisnika se obavlja iz bilo kojeg dijela sustava mehanizmom jednostrukе prijave korisnika (engl. *single-sign on*) korištenjem vlastitog rješenja razvijenim nad radnim okvirom *IdentityServer* u skladu s protokolima *OpenID Connect* i *OAuth 2.0*. Inicijalno je razmatrana mogućnost prijave korištenjem AAI identiteta (autentikacijska i autorizacijska infrastruktura sustava znanosti i visokog obrazovanja u Republici Hrvatskoj) i/ili Googleovog računa, ali s obzirom da jedan dio korisnika ne pripada akademskoj zajednici te da je inicijalno dodavanje korisnika preko Googlea složenije, odlučeno je da se ide u razvoj vlastitog rješenja čime je mogućnost upravljanja korisnicima značajno pojednostavljena. Postojeće rješenje omogućava prijavu iz različitih aplikacija i s različitih platformi uz uvjet da imaju ugrađen internetski preglednik za prijavu. Web-aplikacije koriste takozvane kolačiće (*cookie*) koji se formiraju nakon prijave, a mobilne aplikacije mogu koristiti oznaku prema internetskom standardu *JSON Web Token* (JWT) prilikom komunikacije s web-servisima.

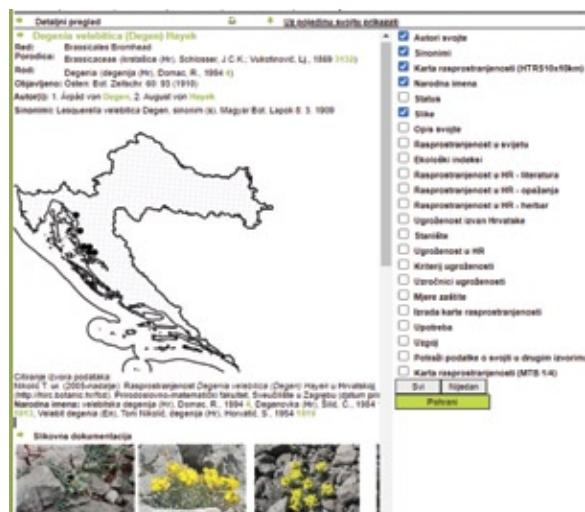
Početna stranica (Slika 1, središnji prikaz) sadrži poveznice na glavne komponente sustava: crvenu knjigu ugroženih vrsta, pregled bibliografskih podataka, pregled korisnog bilja i njegove upotrebe, prikaz alohtonih (invazivnih) vrsta, galeriju slika vrsta i staništa, modul za usporedbu i identifikaciju porodica korištenjem dihotomskog ključa, pregled terenskih opažanja, pregled herbarskih zbirk, modul za rad s

prostornim podacima u svrhu izrade prostornih profila svoji i analize raznolikosti te *FCD Geoportal* (Slika 5) za prikaz prostornih podataka.



Slika 1. Primjeri različitih izgleda i parametara za pretragu

Poveznice su navedene u izborniku ispod naslovnice te su većinom stalno prisutne, pri čemu se izgled pojedine stranice i parametri za pretragu prilagođavaju pojedinoj tematskoj cjelini (Slika 1). Rezultat pretrage u pojedinim komponentama je popis vrsta s kartom rasprostranjenosti, nakon čega se za odabranu vrstu mogu prikazati različiti podaci, pri čemu korisnik ima mogućnost odabira grupe podataka (Slika 2). Prijavljeni korisnici imaju širi izbor mogućnosti te se za njih pamti odabir.



Slika 2. Prikaz detalja vrste i odabir skupina podataka za prikaz

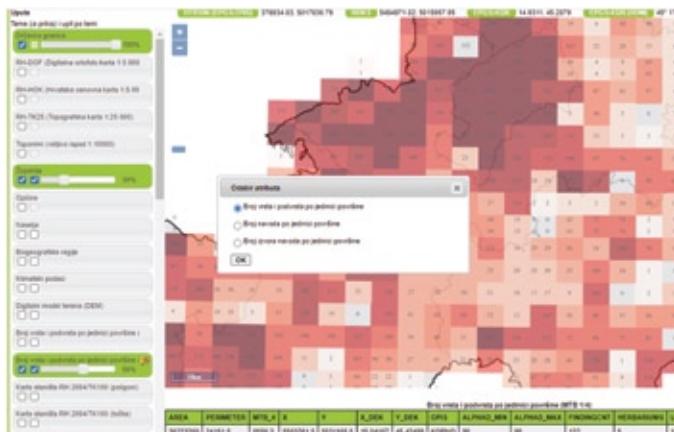
Vrsta: Degenija velebitica (Degen) Hayek										
Osnovni podaci	Autori	Dostime	Auto-aliholnosti	Narodna imena i sinonimi	Vrijednost	Biomarka stanika	Anal (DWG)	Komentar i opis		
<b>Ugovoreni</b>					<b>+/-</b>	<b>Mjere zaštite</b>				
Hrvatska Crvena knjiga On-Line 2006 - / Croata Red Book On-Line 2006 - / BN - ugrođena / Nikolić, T.; Topić, J.(2004) - id:7887						Mjera zaštite	Top mjeri			
Hrvatska - Zakonska zaštita 2004 / Legal status in Croatia 2004 / SA-Ugroge zaštićene biljke (NvN 100 20.7.2004) / Anonymus(2004) - id:7983						1.1.1. Razvoj	primjerena			
Hrvatska - Zakonska zaštita 2006 / Legal status in Croatia 2006 / SA-Ugroge zaštićene biljke (NvN 7.16.1. 2006) / Anonymus(2006) - id:8452						1.1.2. Promjena	primjerena			
Hrvatska crveni popis 1994-2000 / Croata Red List 1994-2000 / E - ugrođena / Nikolić, T.(1994-2000) - id:7668						4.4.3. Upravljanje	primjerena			
Hrvatska crveni popis 1994-2000 / Croata Red List 1994-2000 / Zavarovani zaštićeni / Nikolić, T.(1994-2000) - id:7688						3.2. Biogeografski raspored populacija	predviđena			
Hrvatska Crvena knjiga 2005 / Croata Red Book 2005 / EN - ugrođena / Nikolić, T.; Topić, J.(2005) - id:7136						3.4. Stanje staništa	predviđena			
Europlus crveni popis 1. / Europa - Red List 1 / Europa V - ogrožena / Anonymus(1991) - id:6328						3.8. Trendovi/Monitoring	predviđena			
IUCN crveni popis 1997 / IUCN Red List 1997 / V - ogrešljiva / Walter, K. S.; Gillett, H. (27998) - id:5415						4.1. Održevanje/Zaštita	predviđena			
Hrvatska - Zakonska zaštita 2009 / Legal status in Croatia 2009 / SA-Ugroge zaštićene biljke (NvN 19.8.2009) / Anonymus(2009) - id:11379										
Hrvatska - Zakonska zaštita 2013 /Legal status in Croatia 2013 / SA-Ugroge zaštićene biljke (NvN 144/22.11.2013) / Anonymus(2013) - id:11751										
Stranica 1 od 1 (0 rezultata) <   >										
<b>IUCN kriteriji ugrođenosti</b>					<b>+/-</b>	<b>Uvod</b>				
AC1: otegnjavanje areala (i/ili kvaliteta staništa)						1.1.3. Promjene u poljoprivredi (Shifting agriculture)				
EG1: Segmentacija						2.1. Izmjenjivanje				
S2: vis. ili: područja, stima (i/ili kvalitet staništa)						3.3. Gubitak staništa				
Stranica 1 od 1 (0 rezultata) <   >										

Slika 3. Isječak iz administratorskog modula. Komponenta za izmjenu podataka o vrstama.

Složenost i broj kriterija najbolje se može opisati isječkom iz administrativnog modula na kojem se vidi komponenta za rad sa svojstvima vrste (Slika 3) gdje su svojstva vrste podijeljena u kategorije. Osim navedene komponente administratorski modul omogućava izmjene podataka u različitim tablicama, promjenu krivo pridruženih nalazišta, različite pregledne, administraciju korisnika te pregled ažuriranja podataka kroz administrativni modul (Slika 4).

Stabilo	Vrt	Pregledi	Tablice	Prijenos nalazišta	Administracija korisnika	Pregled ažuriranja
<b>Povijest ažuriranja</b>						
<input type="checkbox"/>	OK?	Start	Kraj	Korisnik:	Naredba	Podaci
<input type="button" value="Sve"/>	<input type="text" value="Q."/>	<input type="button" value=""/>	<input type="text" value="Q."/>	<input type="text" value="Q."/>	<input type="text" value="Q."/>	<input type="text" value="Q."/>
		25.01.2021. 19:29	25.01.2021. 19:29	Toni Nikolić, Botanički zavod. PMF, Zagreb	User.UpdateDjelatnikCommand	{"IdDjelatnika": "nikulovic", "Djelatnik": {"Value": "2022-01-01T00:00:00"} }
		22.01.2021. 11:17	22.01.2021. 11:17	Toni Nikolić, Botanički zavod. PMF, Zagreb	Rod.AddRodCommand	{"IdPorodice": 36627, "NazRod": "Pteris", "KratRod": "Pta", "AutorRod": "L.", "Objavljeno": "Sp. Pl: 1073 (1753)", "Grupa": 0, "IdRod": 0}
		22.01.2021. 11:16	22.01.2021. 11:16	Toni Nikolić, Botanički zavod. PMF, Zagreb	Porodica.AddPorodicaCommand	{"IdPoroda": 31158, "NazPorodice": "Pteridaceae", "AutorPorodice": "E. D. M. Kirchn.", "Objavljeno": "Schul-Bot: 109 (1831)", "Grupa": 0, "IdPorodice": 0}
		22.01.2021. 10:20	22.01.2021. 10:20	Toni Nikolić, Botanički zavod. PMF, Zagreb	Svojstva.AddInvazivnaVrstaCommand	{"IdVrste": 36622, "IdInvazivne": "2.1.1.3"}
		22.01.2021. 10:20	22.01.2021. 10:20	Toni Nikolić, Botanički zavod. PMF, Zagreb	Svojstva.DeleteInvazivnaVrstaCommand	{"IdInvazivneVrste": 6929}

Slika 4. Prikaz povijesti ažuriranja korištenjem administratorskog modula



**Slika 5.** Geoportal FCD-a za prikaz različitih agregiranih geoprostornih slojeva - prikaz podataka o biološkoj raznolikosti

### 3. Tehnološki izazovi

Prethodne slike prikazuju samo dio komponenti FCD-a. FCD je svoj obujam kroz godine povećao nekoliko puta. U trenutku pisanja ovog rada baza podataka nad kojom FCD radi sadrži 175 tablica, 245 pogleda, 19 funkcija i 777 pohranjenih procedura te je praktično nemoguće vizualizirati kompletni model na jednom mjestu.

Dominantni tehnološki problem FCD-a nije vezan za broj korisnika i potrebu za skalliranjem, iako je porast broja korisnika bio razlog za dio hardverskih i softverskih promjena. Kompleksni izračuni, kao što je izračun  $\alpha$ -diverziteta, to jest broja različitih vrsta i podvrsta koji uključuje razvrstavanje geokodiranih nalazišta vrsta po prostornim poligonima pri čemu u izračunu treba voditi računa o tome jesu li u poligonu sve podvrste neke evidentirane vrste, odnosno tipična podvrsta i slično, kako ne bi došlo do povećanja stvarnog broja [7][8] obavljaju se periodički, jednom dnevno te se podaci spremaju u obliku *ESRI shapefile* datoteka spremnih za prikaz preko *FCD Geoportala* (Slika 5). Slično, za izračune manje složenosti, ali koji zahtijevaju određeno vrijeme za izračun (npr. 10-60 sekundi), kao što su izrada prostornog profila svojti razvrstavanjem po ponuđenim prostornim temama, obavljaju se asinkrono uz periodički prikaz status posla. Ono što predstavlja veći problem su kontinuitet dodavanja novih funkcionalnosti i potreba za osvremenjivanjem zastarjelih tehnologija.

#### 3.1 Podatkovni model

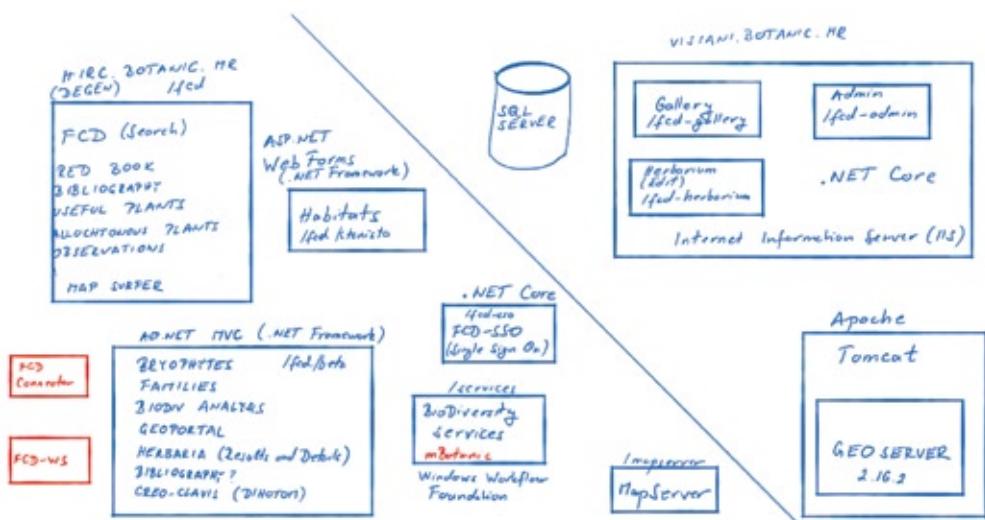
Ranije navedeni broj procedura je prilično velik, iako dio njih uslijed modernizacije komponenti više nije u upotrebi. Evidentiranje „mrtvog“ koda, odnosno procedura koje se ne koriste nije jednostavan problem. U nekim starijim komponentama koristio

se mehanizam izravnih (SQL) upita nad bazom podataka. Prednost se očitovala u jednostavnosti i neovisnosti izrade, ali i nedostatku automatske provjere upita i modela prilikom izmjene tablica.

Pojavom tehnologije *Language-Integrated Query* (LINQ) dio baze podataka je preslikan iz relacijskog u objektni model. Budući da je pojavom radnog okvira *Entity Framework* upotreba LINQ-a za izradu objektno-relacijskog preslikavanja napuštena, opet je nastao novi niz parcijalnih modela, pri čemu način imenovanja i veza nije bio isti, što otežava preslikavanje. Dodatno, problem su međusobne ovisnosti upita i procedura van programskog koda, na samoj bazi podataka, Slijedom navedenog, trenutni je stav je da se zbog opsegaa posla ne ide u sistematizaciju i optimizaciju procedura sve dok uslijed promjene strukture ili skupa podataka koji treba dohvatiti nije potrebno mijenjati proceduru ili niz procedura. Opravdanje koje služi kao potvrda ovog stava predstavlja činjenica da se skup tablica rijetko mijenja, većinom dodavanjem novih atributa ili dodavanjem povezanih tablica, uz tek nekoliko slučajeva promjene kardinalnosti veza među entitetima, pa je i broj procedura koje trebaju promjenu relativno mali, a osim šuma koji unose nekorištene procedure ne stvaraju štetu.

### 3.2 Problem velikog broja različitih komponenti

Slika 6 prikazuje skicu koja je poslužila kao podloga za pregled korištenih tehnologija i komponenti. Iako ne predstavlja industrijski standard notacije (u usporedbi s



Slika 6. Skica komponenti FCD-a

UML dijagramom komponenti), dijelom ilustrira suradnju s naručiteljem-korisnikom netehničke struke, a daje dobar prikaz stanja nakon razvoja web-aplikacije od 2004. godine. FCD trenutno radi na 2 poslužitelja, pri čemu je prvi (nadograđen i rekonfiguriran tijekom godina) bio poslužitelj na internetskoj poveznici hirc.botanic.hr. Na njemu je tehnologijom *ASP.NET Web Forms* nad radnim okvirom .NET bio izveden inicijalni skup modula: modul za uređivanje taksonomije vrsta, crvena knjiga ugroženih vrsta, popis bibliografije, korisno bilje, invazivne vrste, opažanja i pregled geoprostornih podataka koristeći otvorenu platformu za objavu prostornih podataka i kartiranje *MapServer* (nadopunjuje se s kasnije izrađenim *FCD-Geoportalom*). Istom tehnologijom je dodan administratorski modul (kasnije moderniziran) i modul za evidenciju staništa.

Razvoj novih modula je pratio razvoj novih tehnologija, pa su tako komponenta za mahovine, dio podataka o herbarskim zbirkama, analiza bioraznolikosti i druge, razvijene korištenjem tehnologije ASP.NET MVC. Složeni postupci izračuna biološke raznolikosti i izrade ekoloških profila biljnih vrsta modelirani su tehnologijom *Windows Workflow Foundation* i izloženi kao web-usluge (engl. *web services*). Mješavina različitih tehnologija otežavala je spajanje komponenti u jednu integriranu aplikaciju. Do problema je dolazilo ne zbog same razlike u konceptu izrade, već zbog korištenih programskih knjižnica trećih strana u danom trenutku, gdje je počelo dolaziti do nekompatibilnosti između verzija (engl. *breaking changes*), a nadogradnja na novije verzije u jednoj komponenti bila je onemogućena ili količinom posla ili vezanošću za neku nekompatibilnu knjižnicu druge komponente. U trenutku kad je FCD nastajao velik broj današnjih, uobičajenih programskih knjižnica nije postojao. Primjerice *jQuery* koji se intenzivno koristi u kasnijim komponentama, nastao je tek 2006. godine i nije se mogao smatrati „sigurnom okladom“ u konkurenciji s nekim sličnim alatima u to vrijeme, a nije uvijek bio kompatibilan s alternativama koje su se nudile (npr. *Microsoft Ajax Toolkit*). Dodatno i razvoj *jQuerya* je bio obilježen različitim promjenama ugrađenih programskih postupaka, pri čemu su neki koji su korišteni s vremenom zastarjeli, pa se pojedine komponente nisu mogle nadograditi u noviju inačicu zbog prevelike količine posla.

Pojavom programskog radnog okvira *.NET Core* kao dugoročnog nasljednika okvira *.NET Framework*, postalo je sasvim jasno da će postupak integracije tehnološki biti sve teži i da je potrebno napraviti upravo suprotno - razdvojiti sustav na niz manjih aplikacija, što je nedavno napravljeno na primjeru administratorskog modula, galerije slika (Slika 7) i modula za evidentiranje herbarskih podataka. Navedeni pristup omogućio je neovisan dizajn (o problemu dizajna naknadno) i korištenje prikladne tehnologije za pojedinačni problem, neovisno o prethodnim komponentama. Dodatno, omogućava da se stari dijelovi moderniziraju dio po dio, ovisno o nužnosti te finansijskim i vremenskim mogućnostima.

Ključni element koji je omogućio modernizaciju FCD-a i preduvjet za navedeno razdvajanje bila je izrada komponente za jedinstvenu prijavu (engl. *single sign on*) nekim od uobičajenih protokola kojim bi se mogle prikopčati sve komponente tamo gdje je bitno prepoznati prijavljenog korisnika. Time je omogućen neovisni razvoj budućih komponenti koje više nisu nužno dio iste aplikacije, ne moraju koristiti stare tehnologije i dizajn, niti se moraju nalaziti na istom računalu, pa se novi moduli mogu razvijati različitim modernim tehnologijama (npr. *.NET Core* u kombinaciji s nekim od modernijih klijentskih razvojnih okvira).

### 3.3 Problem licenci

Dizajn složenih izvještaja koji su trebali simulirati izgled papirnatih izvještaja (npr. fizičkih primjera crvene knjige) te izrada složenih tabličnih formi s mogućnošću grupiranja stupaca, izvoza podataka u formate *Excel* i *PDF* su kompleksni problemi za koje na tržištu nema odgovarajućih besplatnih alata s kojima bi se takve funkcionalnosti mogle kvalitetno i u razumnom vremenu ugraditi, a da pritom trošak razvoja bez tih alata značajno ne premaši investiciju u kupnju komercijalnih alata. Stoga se 2009. godine pristupilo nabavi razvojne licence za razvojni okvir *DevExpress*. Sa stanovišta naručitelja rješenje se činilo opravdanim uvezši u obzir da se radi o licenci koju plaća razvijatelj (FER), rješenje nije predstavljalo dodatan trošak u produkciji, a licencu nije bilo nužno periodički obnavljati. No, ovaj koncept se pokazao kao mač s dvije oštice. Razvojni tim nije imao drugih potreba za navedenim alatom, naručitelju je ponestalo sredstava za unaprijeđenje sustava i motiva za obnovu licence pa je obnova odgođena. Nakon nekoliko godina korištena verzija je prestala biti kompatibilna s aktualnim verzijom drugih alata, što je rezultiralo prekidom rada nekih funkcionalnosti. Slično se ponovilo nakon proteka još pet godina, pri čemu prijelazi na noviju verziju bivaju značajno složeniji. Neminovno je da bi se problem mogao ponoviti modernizacijom komponenti za izvještaje i prelaskom na *.NET Core*, što će opet otvoriti pitanje financiranja licence, čija obnova postaje neminovna svakih nekoliko godina. S druge strane, uvezši u obzir da produljenje licence košta trećinu inicijalne investicije, postavlja se pitanje kolika je isplativa ušteda naručitelja koja za nuspojavu ima povećan obujam posla (posljedično troška održavanja) u sljedećim nadogradnjama.

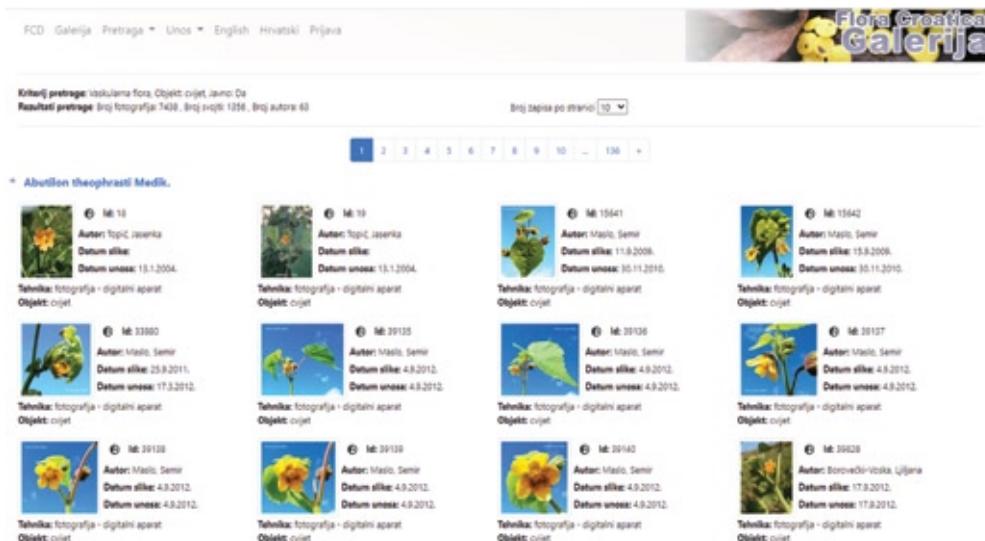
Nažalost, problem je teško rješiv dok se problem održavanja dogovora na godišnjoj razini s neizvjesnim izvorima financiranja, zanemarujući pritom vrijednost sustava – kako onu podataka koje su vrijedni botaničari prikupljali godinama, tako onu tehnološku sadržanu u 25 razvoja i znanju o primjeni tehnologije u problemskom području. Naime, održavanje sustava u jednom trenutku financira DZZP (danas HAOP), s ciljem preuzimanja podataka i administrativnim pristupom održavanju sustavu pa čak i namjerom da za cijenu održavanja preuzme vlasnička prava.

### 3.4 Problem procjene i neočekivanih ovisnosti

Dio komponenti je nadograđivan preventivno, naslućujući probleme sa zastarjelim tehnologijama. Takav primjer je komponenta za prikaz slika visoke rezolucije koja je implementirala standard *Flash*. Paralelno s tom nadogradnjom došlo je do promjene komponente za unos i pretragu slika te su nove komponente, zajedno sa slikama fizički smještene na novi poslužitelj ([visiani.botanic.hr](http://visiani.botanic.hr)).

Svaka od tih nadogradnji je usput iskorištena da bi se promijenio dizajn kako bi bio prilagođen modernim preglednicima i različitim rezolucijama ekrana, pritom pokušavajući zadržati sličnost s izvornim dizajnom (Slika 7).

Međutim na primjeru premještaja slika na drugi, diskovnim prostorom i performancama bolji poslužitelj može se vidjeti kompleksnost takvih poslova i teškoće u procjeni potrebne količine posla. Dok je bilo moguće jasno iskazati potrebno vrijeme za izradu nove komponente, vrlo teško je bilo locirati sva mesta u kojima su se koristile slike, pa je primjerice pogreška u izradi PDF izvještaja za ugrožene vrste i invazivne vrste uočena puno kasnije nakon što su slike obrisane sa starog poslužitelja. Slično, mjesecima kasnije u tragu pogrešaka se još uvijek pojavljuju zahtjevi za rukovanje slikama preko starih adresa i usluga. Iako se u praksi često koristi koncept da se vrši automatsko preusmjeravanje zahtjeva na novu lokaciju, ovdje je namjerno odabrana strategija prijavljivanja pogrešaka te su na taj način locirani vanjski sustavi koji su se oslanjali na podatke iz FCD-a, a da razvojni tim toga uopće nije bio svjestan. Iz perspektive korisničkih prava to je bila sasvim dozvoljena radnja, ali skriveni trošak



Slika 7. Isječak iz modula za pregled slika vrsta i staništa

koji nastaje održavanjem starih usluga je problematičan iz perspektive procjene troškova održavanja.

Kao još jedan primjer skrivenog troška može poslužiti web-usluga (Slika 6, crveno označena komponente *FCD connector*) izrađena za vezu s posebno za tu namjenu izrađenom samostalnom aplikacijom koja je iz muzejske baze podataka prenosila podatke u FCD, označavala prenesene te one čiji podaci nisu ispravni, odnosno nisu uparivi s podacima u FCD-u. Inicijalno je bilo očekivano da se aplikacija i web-usluga koriste tako dugo dok postupak prijenosa ne bude dovršen i podaci usklađeni. Međutim, u praksi se pokazalo da je korisnicima iz muzeja odgovarala varijanta u kojoj mogu nastaviti koristiti svoj stari program i s izrađenom aplikacijom periodički prenositi podatke u FCD. Navedeno je izašlo na vidjelo kao skriveni trošak nakon promjene strukture herbarskih podataka i nakon prvih dojavljenih pogrešaka prilikom pokušaja prijenosa podataka.

### 3.5 Problem dizajna

Iako je FCD dobio nagradu časopisa VIDI za dizajn, s tehničkog aspekta dizajn ima nekoliko ključnih nedostataka, koji su usporili i/ili onemogućili daljnji razvoj. Svojedobna odluka da se širina ekrana prilagodi ekranima rezolucije 800x600, 2004. godine, u trenutku kada su ekrani HD rezolucije već počeli gubiti primat nije bila dugoročno promišljena. Danas, na ekranima pune (Full HD) rezolucije, prostor namijenjen za FCD u starijim komponentama zauzima tek 1/3 ekrana horizontalno i oko 2/3 vertikalno, a na pojedinim mjestima tablice, zbog naknadnog dodanih stupaca, prelaze predviđene rubove. Preinaku i prilagodbu za različite rezolucije uređaja otežava i tekst napisan u obliku slika razlomljen u puno manjih slika, što je bilo aktualno u vrijeme sporih, modernskih brzina, a danas samo nepotrebno povećava broj zahtjeva na server.

Dobar dizajn je čest problem s tehničkog aspekta, jer veliki broj grafičkih dizajnera radi izvrsne slike i oblike kontrola u alatima za obradu slika, ali nema tehničkog znanja u izradi CSS stilova i HTML-a, pa nastaju problemi s tehničkom konverzijom, a naročitu u slučaju dinamičkog sadržaja varijabilne duljine i širine, čime je razvojni tim pružen koristiti razna zaobilazna rješenjima i često redefinirati stilove i definirati nove. To praktično rezultira s velikim brojem stilova za jednokratnu upotrebu, grubim prijelazima na rubovima ponovo iskorištenih slika (primjerice Slika 7, logotip u desnom gornjem kutu) i nemogućnost kombiniranja s novim programskim bibliotekama koje se oslanjaju na uhodane stilske okvire poput *Bootstrapa* koji jasno predviđaju skup stilova i način kako se oni smiju mijenjati i kombinirati. Kao olakotnu okolnost ipak treba uzeti u obzir da u vrijeme kad je navedeni dizajn za FCD nastajao, CSS nije bio standardiziran i prikaz je često varirao od preglednika do preglednika,

nije bilo nijednog stilskog okvira, pa bi bilo koje rješenje bilo prinuđeno na veće ili manje promjene. U budućnosti bi uz postojanje jasnih stilskih radnih okvira problem trebao biti premošten, ali uz značajan napor u prilagodbi svih postojećih sadržaja.

### 3.6 Studentski radovi

FCD je posljedično poslužio i za demonstraciju uporabe modernih tehnologija, što je za korisnu nuspojavu imalo više elementa: povećanje opsega FCD-a i poboljšanje kvalitete usluge, ali i praktično iskustvo autorima te njihovim studentima koji su svoje završne i diplomske radove [9-21] realizirali za potrebe stvarnih korisnika. Iako, zamišljeno kao *win-win-win* situacija za studente, mentore i vlasnike FCD-a, praksa je pokazala da je u većini slučajeva maksimalna iskoristivost studentskih radova vezanih za FCD na razini prototipa (pri čemu analiza razloga izlazi van okvira ovog rada), ali i dalje predstavlja dobre primjere demonstracije koncepta i provjere isplati li se dalje razvijati određene komponente, odnosno kojom tehnologijom će postojeće komponente biti zamijenjene.

## 4. Zaključak

Činjenica da neki sustav funkcioniра više od 25 godina te da je od uskog kruga sačuvan od nekoliko korisnika prerastao u nacionalnu bazu flore, definitivno mora razveseliti dionike sustava. Naravno, bez kontinuiranog doprinosa korisnika i neu-mornog rada na održavanju i ispravljanju podataka znanstvenika i nastavnika, vođenih vizijom i entuzijazmom prof. dr. sc. Tonija Nikolića s Botaničkog zavoda Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu sustav ne bi opstao bez obzira kako dobro bio projektiran i izgrađen. Sagrađen, održavan i napunjen podacima entuzijazmom, volontarizmom, doprinosom studentskih radova uz trošak investicije nesumjerljiv milijunima kuna uloženih u druge slične projekte ima podcijenjenu društvenu vrijednost i značaj, što bi se prepoznalo tek pri prestanku rada, uobičajeno prekasno.

S druge strane, autori ovog rada su ponosni što su prepoznali važnost, potrebe i koncepte u problemskom području te s tehničke strane omogućili da se sustav razvija i kontinuirano puni podacima. Pritom je istovremeno i dobra i loša vijest da dio originalnog programskog koda web-aplikacije radi u izvornom obliku. To istovremeno znači da je posao inicijalno kvalitetno održan, ali i da predstoji još puno posla na modernizaciji sustava. Ipak, ključni problemi poput razdvajanja aplikacija su uspješno savladani i smjer konverzije zacrtan. Stoga će u budućnosti fokus manje biti na

tehnološkim izazovima konverzije, a više na dizajnu i procjeni skrivenih troškova kako bi se izbjeglo podsjećanje da je *iskustvo ono što ti ostane kad ne dobiješ što si zaslužio.*

## Literatura

- [1] Nikolić, T.: Popis flore Hrvatske, 1. dio. Flora Croatica. Index Florae Croaticae. Pars 1. *Natura Croatica: periodicum Musei historiae naturalis Croatici*, Vol. 3 (1994), str. 1-116
- [2] Nikolić, T.; Fertalj, K.; Helman, T.; Mornar, V. & Kalpić, D.: CROFlora, a Database Application to Handle Croatian Vascular Flora. *Acta Botanica Croatica*. Vol. 60 (2001) 1.; str. 31-48
- [3] Mihelj, D.; Fertalj, K.; Nikolić, T. & Pokupec, A.: Database for plant collection data in Zagreb botanical garden. *The 2nd International Conference of Eastern and Central Europaen Botanic Garden - EastCentGard II. "European botanic gardens together towards the implementation of plant conservation strategies"* Puchalski, J. (ur.), str. 49-50. Warszaw/Rogów : Académie Polonaise des Sciences, (2007)
- [4] Parnas, D. L.: Software aging, *International Conference on Software Engineering*, str. 279-287, (1994)
- [5] Tamai, T. & Torimitsu, Y.: Software lifetime and its evolution process over generations, *Conference on Software Maintenance*, ICSM, str. 63–69, (1992)
- [6] Swanson, E. B. & Dans, E.: System Life Expectancy and the Maintenance Effort: Exploring Their Equilibration. *MIS Quarterly*, Vol. 24 (2000) 2, str. 277-297
- [7] Milašinović, B.; Nikolić, T. & Fertalj, K.: Biodiversity analysis supporting species-subspecies uncertainty in findings data, *International journal of biology and biomedical engineering* Vol. 7 (2013), 4, str. 127-134
- [8] Milašinović, B.; Nikolić, T. & Fertalj, K.: An Object Model for Biodiversity Analysis, *Latest Trends in Information Technology (Recent Advances in Computer Engineering Series 7)*, Anderson, D.,; Yang H. J. & Varacha P. (ur.), str. 273-278, Beč, Austrija, WSEAS Press, (2012)
- [9] Kraljević, L.: Web-aplikacija za vizualizaciju rezultata predviđanja nalazišta biljnih vrsta, završni rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2017)
- [10] Perović, V.: Primjena statističkih modela u predviđanju nalazišta biljnih vrsta, diplomska rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2016)
- [11] Vujošović, J.: Programska podrška za udaljeno upravljanje vinogradom, diplomska rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2016)
- [12] Braun, M.: Botanički ključ, diplomska rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2013)
- [13] Habrka, I.: Mobilna aplikacija za terensko istraživanje, diplomska rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2012)
- [14] Fabijanić, K.: Proširivi sustav pretraživanja baze podataka zasnovan na WCF servisima diplomski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2012)
- [15] Erceg, V.: Muzejski herbar, diplomska rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2010)
- [16] Fabijanić, M.: Taksonomija biljnih vrsta, diplomska rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2010)
- [17] Gracin, F.: Botanički vrt, diplomska rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2010)

- [18] Popović, G.: Foto dokumentacija flore Hrvatske, diplomski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2010)
- [19] Cigić, I.: Evidencija biljnih vrsta, diplomski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2008)
- [20] Švec, M. Bibliografska baza podataka, diplomski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2006)
- [21] Tukerić, M. Crvena knjiga, diplomski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb (2005).

# **Primjena životinjskih stanica u proizvodnji cjepiva protiv bolesti Aujeszkoga**

Igor Slivac<sup>1</sup>, Višnja Gaurina Srček<sup>1</sup>, Kristina Radošević<sup>1</sup>, Ivana Kmetić<sup>2</sup>,  
Zlatko Kniewald<sup>1, 3,\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratory for Cell Culture Technology and Biotransformations

<sup>2</sup> Laboratory for Toxicology, Faculty of Food Technology and Biotechnology,  
University of Zagreb, 6 Pierotti St., HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>3</sup> član emeritus HATZ-a u Odjelu bioprocесног инжењерства

\* Corresponding author (Fax, 385-1-46 05 065; Email, [zlatko.kniewald@pbf.hr](mailto:zlatko.kniewald@pbf.hr))

Za Godišnjak HATZ 2018 INOVACIJA, a na temu „Inovacije i patenti članova Akademije tehničkih znanosti Hrvatske“, prilog u nastavku pri uređivanju negdje je zagubljen.

Sada predlažem Uredništvu HATZ da ga sada uključi u Godišnjak 2020. zajedno sa znanstvenim radom našeg tima koji je objavljen 2006. godine i rezultat je navedenoga istraživanja. Baza podataka ResearchGate (RG) prati korištenje znanstvenih radova u proteklom razdoblju. Posebno su zanimljivi podaci našega rada od početka COVID 19 krize i neposredno prije toga. Baza podataka je otvorena i javno dostupna svim zainteresiranim iz cijelog svijeta, a cjelovit rad je dostupan u bazi podataka bez naknade. Rad je u proteklom razdoblju, a posebice od 2018 pregledan 1393 puta i to 230 od članova RG, a 1163 su nečlanovi RG. Citiranost rada 21 puta. Stanje 12.2.2021.

## **Razlozi:**

1. Predloženi tekst sadrži izvješće o rezultatima dugogodišnjeg istraživačkog projekta u suradnji s PLIVA d.d. i postignutim rezultatima. (Tekst u privitku).  
U popisu objavljenih radova iz tog projekta nalazi se i rad:  
**Slivac I., Gaurina – Srček V., Radošević K., Kmetić I., Kniewald Z. Aujeszky's disease virus production in disposable bioreaktor. :J. Biosci.(2006) 31 (3) 363-368,**

2. Uvidom u ResearchGate (podaci u privitku od 2004 godine do 2020.) uočen je visoki znanstveni interes za ovaj naš rad do kojega dolazi otvaranjem pandemije COVID 19 i žurne potrebe proizvodnje cjepiva.

**Sažetak:** Ispitan je novi sustav bioreaktora s reaktorskom posudom za jednokratnu upotrebu (Wave bioreactor). Bioreaktor, koji koristi valovito djelovanje za miješanje i prijenos kisika ispitani je kod umnožavanja mase stanica stanične linije BHK 21 C13 pri proizvodnji virusa Aujeszkyjeve bolesti (ADV). Praznina je kinetika rasta BHK 21 C13 stanica u bioreaktoru tijekom trodnevnog razdoblja. Na kraju trodnevnog uzgoja BHK 21 C13 stanica i pri gustoći stanica od  $1,82 \times 10^6$  stanice  $ml^{-1}$ , reaktor je inokuliran s 9 ml gE<sup>-</sup> Bartha K-61 soj ADV suspenzija ( $10^{5.9}$  TCID<sub>50</sub>) s indeksom infekcije (MOI) od 0,01. Poslije inkubacije od 144 h, dobiveno je 400 ml ADV biomase s titrom od  $10^{7.0}$  TCID<sub>50</sub>  $ml^{-1}$ , što odgovara 40.000 doza cjepiva protiv ADV. Posebna pogodnost ovog postupka je, što se proizvedena biomasa može u istom spremniku uskladištiti do trenutka daljnog tehnološkog postupka, i s novim spremnikom nastaviti proizvodnju iste ili druge biomase bez posebnih dugotrajnih postupaka čišćenja i sterilizacije. Ovisno o potrebi, volumen spremnika se može povećavati bez zahijevnog scale-up postupka.

**Zaključno:** Rezultati dobiveni ovim bioreaktorom s BHK 21 C13 stanicama pokazali su da se ovaj sustav može smatrati uspješnim za proizvodnju ADV ili samo proizvodnju BHK 21 C13 biomase stanica.

*A novel, disposable-bag bioreactor system that uses wave action for mixing and transferring oxygen was evaluated for BHK 21 C13 cell line growth and Aujeszky's disease virus (ADV) production. Growth kinetics of BHK 21 C13 cells in the wave bioreactor during 3-day period were determined. At the end of the 3-day culture period and cell density of  $1.82 \times 10^6$  cells  $ml^{-1}$ , the reactor was inoculated with 9 ml of gE<sup>-</sup> Bartha K-61 strain ADV suspension ( $10^{5.9}$  TCID<sub>50</sub>) with multiplicity of infection (MOI) of 0.01. After a 144 h incubation period, 400 ml of ADV harvest was obtained with titre of  $10^{7.0}$  TCID<sub>50</sub>  $ml^{-1}$ , which corresponds to 40,000 doses of vaccine against AD. In conclusion, the results obtained with the wave bioreactor using BHK 21 C13 cells showed that this system can be considered as suitable for ADV or BHK 21 C13 cell biomass production.*

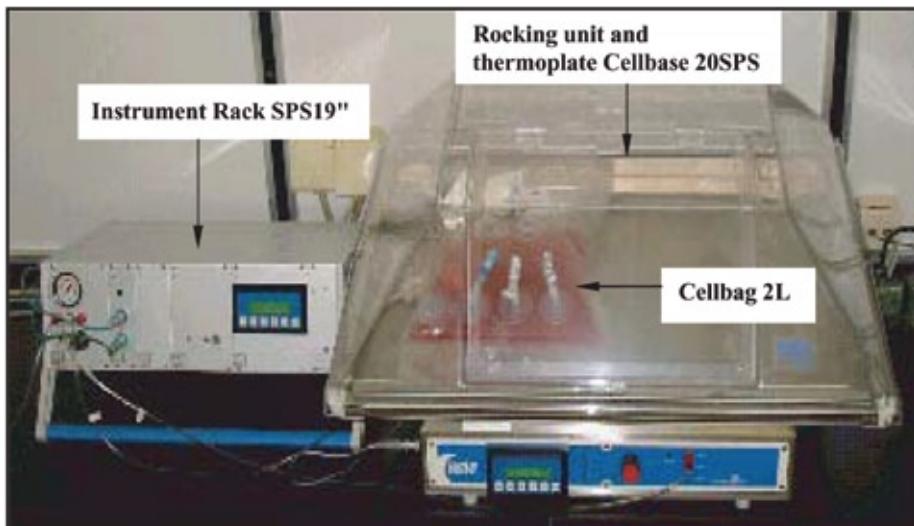
**Keywords:** Aujeszky's disease virus, baby hamster kidney cells, cell culture, disposable bioreactor, virus titre

## 1. Introduction

Demand for vaccine production requires high-yield, stable bioproduction systems and implementation of new technologies. A cell culture device that uses a presterile,

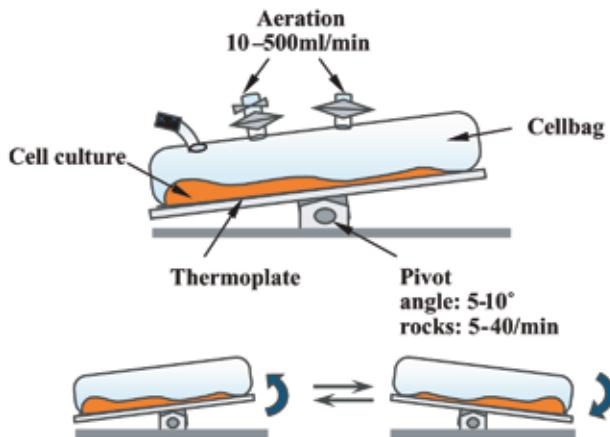
single-use plastic bag for cell cultivation has been introduced. The *Wave Bioreactor 20SPSTM* (Wave Biotech AG, Tagelswangen, Switzerland) is a cultivation system developed for semi-industrial cultivation of many different cell types (e.g. hybridomas, mammalian cells, plant cells) (Weber *et al* 2002). Due to its novelty, very small number of protocols about cultivation parameters for different cell lines or virus production are available. The wave bioreactor (figure 1) consists of three components: (i) fixed rocker base unit with thermoplate, *Cellbase 20SPS*; (ii) device for data connection, *Instrument Rack SPS19"*; and (iii) disposable, presterile, plastic bag, *Cellbag 2L*.

The cell suspension is cultivated inside the *Cellbag2L*, placed on the thermoplate of the rocker base unit, *Cellbase 20SPS*, which rocks at specified frequency and angle.



**Figure 1.** The *Wave Bioreactor 20SPSTM* system with fixed rocker base unit *Cellbase 20SPS*, *Cellbag2L* and *Instrument Rack SPS*.

The gentle rocking motion of the bioreactor creates waves that promote mixing of the cell culture fluids (figure 2). As a result, cells are not exposed to large variations in shear forces and thus are able to grow in a more stable physical environment. Fresh atmosphere is passed through the headspace of the cellbag, keeping it rigidly inflated. The wave motion of culture liquid generates turbulent surface, which results in much greater volumetric oxygen transfer coefficient ( $k_{La}$ ) than in any static culture or spinner flasks (Singh 1999). This effectively eliminates the need for a complex dissolved oxygen control system. The presterilized cellbags are disposable after use, which eliminates the need for repeated washing and sterilization.



**Figure 2.** The wave bioreactor is a novel system for cell culture cultivation. The cell cultivation is performed in a disposable plastic bag (cellbag) placed on an incubation platform (thermoplate) that rocks at a specified frequency and angle. This rocking motion promotes mixing of the culture fluid inside the cellbag and efficient oxygen transfer without shear or bubbles.

The Aujeszky's disease virus (ADV), belonging to the *Alphaherpesvirinae* family, is the cause of a natural infection in swine population. To reduce its incidence and financial losses, the vaccination of pigs with attenuated live or inactivated vaccines is widely performed. A laboratory attenuated ADV replicates well in BHK 21 cells (Puentes *et al* 1993), which can be cultivated in different cell culture systems like T-flasks, roller bottles or spinner cultures in order to produce ADV.

The objective of this study was to investigate utility of the wave bioreactor system for cultivation of BHK 21 C13 cell line growing in suspension, and ADV production.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Cell line, medium and cell culture conditions

The BHK 21 C13 cells (ATTC-CCL 10) were cultivated in Glasgow BHK 21 medium (GIBCO, Paisley, Scotland) supplemented with 5% (v/v) fetal bovine serum (FBS) (GIBCO, Paisley, Scotland). Antibiotics were not used.

Before starting the propagation in the wave bioreactor, the initial biomass production was performed in the cellspin bioreactor (IBS Integra Biosciences, Switzerland) in humidified atmosphere containing 5% of CO<sub>2</sub> at 37°C with initial cell concentration of  $5 \times 10^5$  cells ml<sup>-1</sup> and initial volume of 100 ml of culture medium. Cultivation in

spinner flask was performed during 3 days with addition of 120 ml of fresh media on the second day. On the third day the cell suspension was diluted to final volume of 450 ml and cell density of  $5.5 \times 10^5$  cells  $\text{ml}^{-1}$ . The cell suspension was then transferred directly into the inflated *Cellbag 2L<sup>TM</sup>* of the wave bioreactor system. All transfer activities were performed inside a laminar flow cabinet. The cell cultivation in the wave bioreactor was carried out after placing the cellbag on the rocking unit of the system heated at 37°C and at rocking speed of 10 rpm with tilt angle of 6°. Before the cell inoculation, the bag was rigidly inflated with atmosphere consisted of 95% of air + 5% of CO<sub>2</sub> using gas mixing module *Gasmix 20SPS<sup>TM</sup>*. This atmosphere was regularly changed and refreshed within each 24 h during 9 days of maintained cultivation and ADV production. The inlet and outlet filters of the cellbag were opened for aeration at flow rate of 0.2 l min<sup>-1</sup> for several hours daily to avoid extensive medium evaporation. The medium exchanges were accomplished by stopping the rocking motion of the bioreactor, letting the suspended cells to sediment to the bottom of the bag, and then pumping out supernatant liquid. About 65% of the spent medium was removed from the cellbag. The fresh warmed medium was added to the remaining contents of the cellbag and then the initial rocking setting of the bioreactor was resumed.

## 2.2 Cell counting

Cells were counted using a Fuchs-Rosenthal hemacytometer. Viable and non-viable cells were determined by trypanblue exclusion method. Viable cells are impermeable to trypan-blue and therefore the cells are transparent while non-viable cells are blue-dyed. The specific growth rate  $\mu$  (h<sup>-1</sup>) was estimated by the following equation:  $\mu = (\ln X_n - \ln X_{n-1}) / (t_n - t_{n-1})$ , where  $X$  represents the viable cell density per ml,  $t$  represents the time-points of sampling expressed in hours and the subscripts  $n$  and  $n-1$  stand for two successive sampling points.

## 2.3 Glucose and lactate analysis

Glucose and lactate were quantified enzymatically. The glucose was quantified using Glucose-PAP colorenzymatic assay kit (Herbos, Sisak, Croatia) while the lactate was quantified by the UV-test (R-Biopharm AG, Darmstadt, Germany).

## 2.4 Virus strain, virus production and titration

The gE- ADV (Bartha K-61 strain), multiplied in PK-15 cell culture provided by the Veterina Ltd. (Kalinovica, Croatia), was used throughout this study.

The BHK 21 C13 cells were infected by the gE<sup>-</sup> Bartha K-61 strain of AD virus at cell concentration of  $1.82 \times 10^6$  cells ml<sup>-1</sup> and inoculation volume of 2% (v/v) of the culture volume. The virus production was performed at 37°C in the wave bioreactor containing 450 ml of culture medium during 6 days. The samples were taken daily to determine cell concentration as well as concentration of glucose and lactate. The virus titre was determined by the Spearman-Karber method and expressed in tissue culture infectious dose ( $TCID_{50}$  ml<sup>-1</sup>) on the second, the fourth and the sixth day post-infection using secondary cell culture of chicken fibroblasts (KF/1) by means of the microtitration method (Lojkić *et al* 1992). All assays were performed in duplicate.

### 3. Results and discussion

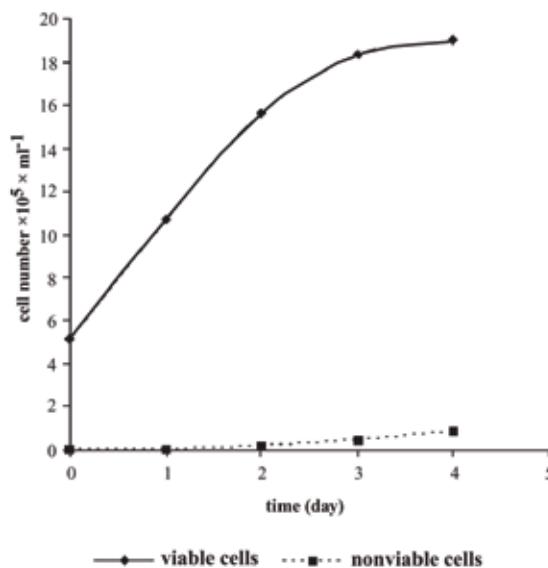
#### 3.1 Cell culture growth in the wave bioreactor

The growth profile of BHK 21 C13 cells in the wave bioreactor was established and typical growth curve is presented in figure 3. The cells were propagated in 200 ml of media in spinner flask, prior to cultivation in the bioreactor. During this propagation, the cells started their exponential growth phase. After their transfer into the *cellbag* of the bioreactor and addition of 300 ml of fresh media, this phase continued for the next 3 days. The initial cell density in the bioreactor was  $5.2 \times 10^5$  cells ml<sup>-1</sup> and it reached its maximum ( $19 \times 10^5$  cells ml<sup>-1</sup>) at the fourth day of the cultivation period by an apparent beginning of plateau phase. The maximum growth rate was 0.0285 h<sup>-1</sup>. The cell culture in the bioreactor was maintained in batch mode at rocking rate of 10 rpm, tilt angle 6° and aeration conditions as previously described.

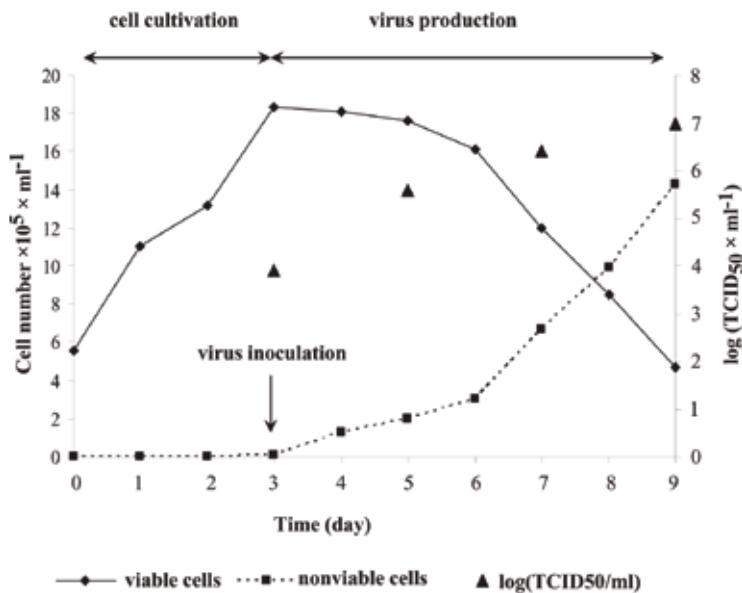
#### 3.2 Virus production

Once it has been determined that the wave bioreactor system could support the high cell density of BHK 21 C13 cells, the next step was to evaluate the ADV production capability. The cells were seeded at initial cell density of  $5.5 \times 10^5$  cell ml<sup>-1</sup> in culture volume of 450 ml (figure 4). The cells were cultivated at a rocking rate of 10 rpm, tilt angle 6° and aeration conditions as described previously. During the second day of cultivation and having obtained cell concentration of  $13.3 \times 10^5$  cells ml<sup>-1</sup>, about 65% of the culture medium was replaced with the same volume of fresh medium in order to avoid nutrient limitation and to increase cell density. At the third day the cell density reached  $1.82 \times 10^6$  cells ml<sup>-1</sup> and the cell viability was equal to 99%. The specific growth rate was ranged from 0.008 to 0.028 h<sup>-1</sup> (mean 0.016 h<sup>-1</sup>). The obtained specific growth rate was comparable to growth rates achieved when HEK-293 and CHO cell lines were cultivated in the wave bioreactor system (Namdev and

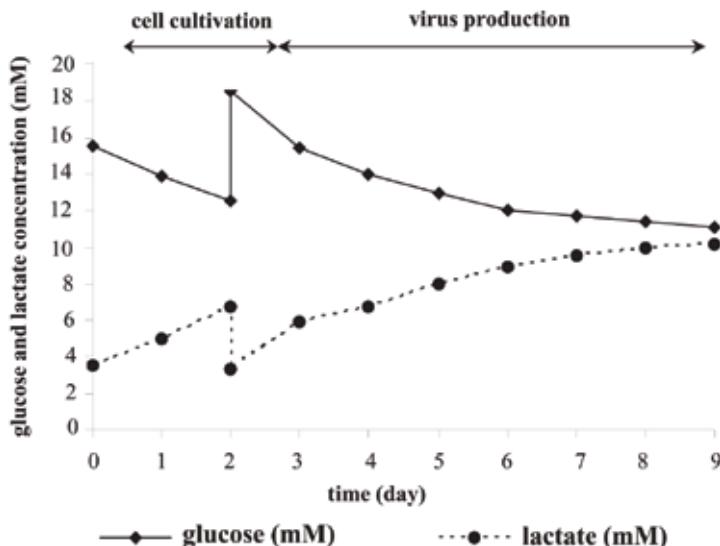
Lio 2000). The glucose, as one of the major carbon and energy sources in cell culture media and its by-product lactate, were measured during BHK 21 C13 cell cultivation.



**Figure 3.** Typical growth curve of BHK 21 C13 cells cultivated in batch mode in the wave bioreactor.



**Figure 4.** Growth of BHK 21 C13 cells in the wave bioreactor and evolution of viable/nonviable BHK 21 C13 cells during AD virus production.



**Figure 5.** Glucose consumption and lactate production during BHK 21 C13 cell growth and ADV production in the wave bioreactor.

The glucose and lactate concentrations during the cultivation process are shown in figure 5. At the end of the cultivation period, the glucose concentration was 15.4 mM while the lactate concentration was 5.9 mM. The inhibitory level of lactate is 22 mM, as reported for stirred BHK 21A culture (Cruz *et al* 2000), and the results of our study have shown that lactate level were significantly under the growth limit.

When the BHK 21 C13 cells reached concentration of  $1.82 \times 10^5$  cells ml<sup>-1</sup>, the cells were infected with 9 ml of gE- Bartha K-61 strain virus suspension ( $10^{5.9}$  TCID<sub>50</sub>) with multiplicity of infection (MOI) of 0.01 and continued to incubate in the wave bioreactor system (figure 4). This titre of the seed virus was chosen according to our previous experiments of AD virus production using multiple harvest process (Gaurina Srček *et al* 2004) when the main intention was to keep the cells alive for longer period in order to achieve higher virus production. On the first day post-infection there was 99% of viable cells. During next 6 days the cell number decreased slowly from 90% on the second day post-infection to 62% on the fourth day post-infection and to 25% at the end of the process. The virus titre expressed in TCID<sub>50</sub> ml<sup>-1</sup> on the second day post-infection was  $10^{5.6}$  and on the fourth day post infection was  $10^{6.4}$  (figure 4). The virus harvest obtained on the sixth day post-infection yielded 400 ml and virus titre calculated using the Spearman-Karber formula was  $10^{7.0}$  TCID<sub>50</sub> ml<sup>-1</sup>. Since one-AD vaccine dose requires  $10^{5.0}$  TCID<sub>50</sub> (Veterina Ltd, Kalinovica, Croatia, *Technical Documentation*), 40,000 vaccine doses could be prepared from the crude harvest during this experiment.

The Aujeszky vaccine is routinely produced in 150 l fermentors by Smith Kline-RIT (Baijot *et al* 1987) and 2x better results in the antigen units were obtained when microcarrier cultures were performed in comparison to stationary cultures. This difference is explained by the difference in cell number, better regulation of pH and better oxygen supply,. The new technology of mixing, and therefore better oxygen supply, could also be a reason for higher virus titre obtained in our experiment. Comparison of oxygentransfer data obtained in spinner flasks and wave bioreactor system is reported by Singh (1999). According to this data, optimization of rocking mechanism provided  $k_{La}$  for oxygen transfer of 2–4 h<sup>-1</sup>, which is sufficient to grow up to  $7 \times 10^6$  cells ml<sup>-1</sup>. Also, the adenovirus production by human embryonic kidney cell line 293 showed that the system is capable to maintain adequate dissolved oxygen levels at achieved cell densities of  $2.7 \times 10^6$  cells ml<sup>-1</sup>. At the end of the ADV production (figure 5) the glucose concentration was 11.1 mM and the lactate concentration was 10.2 mM, which was still under inhibitory levels reported for stirred BHK 21A culture (Cruz *et al* 2000).

The results of this study showed that BHK 21 C13 cells could be cultivated successfully in the wave bioreactor in order to produce ADV with obtained virus titre of  $10^{7.0}$  TCID<sub>50</sub> ml<sup>-1</sup> and 40,000 doses of AD vaccine. The ADV production was carried out with relatively low titre of the seed virus which was the reason for 6 days infection cycle and 25% of viable cells at the end of process. Our further experiments with ADV production are oriented to obtaining a higher virus titre and cell concentrations. Therefore, this will reduce the time and costs of production, which will lead to further improvements of the whole process.

In conclusion, BHK 21 C13 cells could be cultivated successfully in the wave bioreactor to cell density of  $1.82 \times 10^5$  cells ml<sup>-1</sup> and viability of 99%. The ADV titre obtained during this process was higher than in previously published data with simple harvest process using spinner technology. Therefore, this type of bioreactor can be recommended for routinely AD and other virus productions, particularly considering the fact that its scalability of 1:10 makes it a favourable bioreactor with several advantages.

## Acknowledgements

This work is funded by the Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia (Grants No. 0058001, 0058010 and TP 05803). We wish to thank Veterina Ltd., Kalinovica, Croatia for their technical support in virus titre assay.

## References

- Baijot B, Duchene M and Stephenne J 1987 Production of Aujeszky vaccine by the microcarrier technology "From the ampoule to the 500 litre fermentor"; *Dev. Biol. Stand.* 66 523–530
- Cruz H J, Freitas C M, Alves P M, Moreira J L and Carrondo M J T 2000 Effects of ammonia and lactate on growth, metabolism, and productivity of BHK cells; *Enz. Microb. Technol.* 27 43–52
- Gaurina Srček V, Čajavec S, Sladić D and Kniewald Z 2004 BHK 21 C13 cells for Aujeszky's disease virus production using the multiple harvest process; *Cytotechnology* 45 101–106
- Lojkić M, Markuš-Cizelj Lj, Čajavec S, Zidar V and Gojšić S 1992 Investigation on safety of attenuated Aujeszky's disease vaccine (Ay-Vak Bartha-6) in piglets and sows; *Prax. Vet.* 40 315–322
- Namdev P K and Lio P 2000 Assessing a disposable bioreactor for attachment-dependent cell cultures; *Bio. Pharm.* (Feb) 1–5
- Puentes E, Eiras A, Cancio E, Nores M V, Aquilera A, Seoane R and Regueiro B J 1993 Comparison of the protective efficacy of Aujeszky's disease (pseudorabies) virus glycoproteins obtained from different sources; *Vet. Microbiol.* 35 45–59
- Singh V 1999 Disposable bioreactor for cell culture using waveinduced agitation; *Cytotechnology* 30 149–158
- Weber W, Weber E, Giesse S and Memmert K 2002 Optimisation of protein expression and establishment of the Wave Bioreactor for Baculovirus/insect cell culture; *Cytotechnology* 38 77–85

## Razlozi objavljivanja

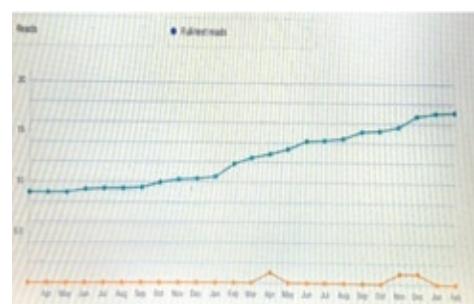
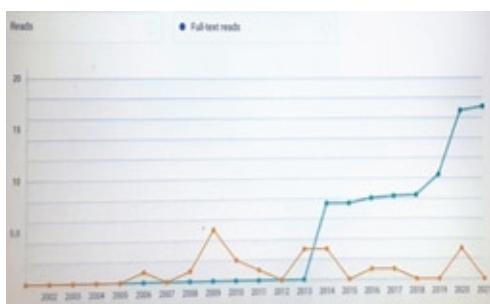
Ostvarena suradnja s PLIVA d.d. započela je tijekom rasprava koje su se vodile na skupu organiziranom od strane Prehrambeno biotehnološkog fakulteta 1992. godine pod naslovom "Prehrambeno-biotehnološki fakultet na raskrižju Sveučilišta i gospodarstva", Zagreb. Stanje gospodarstva bilo je nezavidno, tehnologija zastarjela. Ministarstvo znanosti obrazovanja i športa usvojilo je program potpore tehnološkim projektima, a PLIVA d.d. imala je snažan interes istraživanja za unapređenje i uvođenje novih tehnologija proizvodnje cjepiva. I upravo takvo okružje u trenutku osnivanja Hrvatske akademije tehničkih znanosti 1993. godine (danas Akademija tehničkih znanosti Hrvatske HATZ) i osnivanje Biotehničkog centra HATZ stvorilo je zajedno sa znanstvenim novacima sufinciranim od MZOŠ preduvjete za razvoj Tehnologije životinjskih i biljnih stanica na PBF-u. Istraživanje i razvoj se isključivo ostvario u novoosnovanom Laboratoriju za tehnologiju životinjskih i biljnih stanica, Zavoda za biokemijsko inženjerstvo PBF-a. U ovom prilogu prikazano je jedno razoblje istraživanja koje danas pokazuje svu svoju vrijednost, ali i žalosnu istinu da nam je taj dio gospodarstva bitno izmjenjen pa su i daljnja istraživanja u tom pravcu zaustavljena i tako rezultati postali dostupni drugima. Pandemija COVID19 započela je svoje širenje početkom 2019.godine i kasnije zahvatila cijeli svijet. Tehnologija proizvodnje cjepiva danas je primjenom tehnologije stanica mnogo jednostavnija i brža, kao i postupci proizvodnje konačnog proizvoda. Ipak da bi se proizvelo

cjepivo za humanu primjenu protrebbno je provesti isti put predkliničkih i kliničkih istraživanja kao i za svaki drugi lijek. Taj postupak je dugotrajan što je i u ovom slučaju stvorilo gužvu i nervozu na svjetskom tržištu u želji da se bude prvi. U druge moguće razloge ovdje ne bih ulazio.

Naša objavljena istraživanja ukazuju na mogućnost znatno brže, jednostavnije i jefтинije proizvodnje cjepiva. Koji proizvođač je do sada primjenio ovu tehnologiju ili će ju primjeniti nikada nećemo znati, ali uočen je veliki interes za objavljeni rad. To ukazuje da nije bitan naziv institucije, znanstveni položaj sveučilišta u svijetu ili istraživački tim, pa čak niti časopis u kojem je rad objavljen, već kvaliteta objavljenih rezultata već dostupnost rezultata u međunarodnim znanstvenim časopisima i potreba svjetskog gospodarstva koje ovim putem dolazi do visokovrijednih informacija bez vlastitih ulaganja. Koliko puta smo u proteklom razdoblju poklonili naše rezultate u utrci za CC radovima i potpunom pomanjkanju želje da se patentima zaštiti naše intelektualno vlasništvo.

U nastavku su prikazani podaci za navedeni rad preuzeti iz RG 12. 2. 2021:

Učestalost pregleda rada po godinama 2006 - 2021 mjesecima 04. 2018. – 02. 2021.



Iz godišnjeg pregleda vidljivo je da je interes za rad započeo 2014. godine, a naročito se intenzivirao 2019 – 2021. Prema mjesecima je također vidljiv interes koji je u su-glasju s pojavom virusa i to je veljača 2020.

# KONPRO 2 – Razvoj nove generacije uređaja numeričke zaštite

Rafaela Beus<sup>1</sup>, Anthea Štor<sup>2</sup>, Igor Kuzle<sup>3</sup>, Marko Bišćan<sup>4</sup>, Blaženka Brkljač<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, [rafaela.beus@fer.hr](mailto:rafaela.beus@fer.hr)

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, [anthea.stor@fer.hr](mailto:anthea.stor@fer.hr)

<sup>3</sup> član suradnik HATZ-a u Odjelu energijskih sustava,  
Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, [igor.kuzle@fer.hr](mailto:igor.kuzle@fer.hr)

<sup>4</sup> Končar - Elektronika i informatika d.d., [mbiscan@koncar-inem.hr](mailto:mbiscan@koncar-inem.hr)

<sup>5</sup> Končar - Elektronika i informatika d.d., [bbrkljac@koncar-inem.hr](mailto:bbrkljac@koncar-inem.hr)

**Sažetak:** U radu je predstavljen istraživačko-razvojni projekt (engl. *Industrial Research and Innovation - IRI*) novog sustava zaštite, mjerena i upravljanja za primjenu u elektroenergetskom sustavu (EES). Sustav zaštite, mjerena i upravljanja koristi nove funkcionalnosti - kako zaštitne tako i komunikacijske, poboljšale su se i objedinile postojeće funkcionalnosti, te znatno proširilo područje primjene. Projekt je dio cjelokupnog razvoja nove platforme naprednih mikroprocesorskih ugradbenih sustava (engl. *Embedded Systems*) za regulaciju, zaštitu i upravljanje u EES-u. Nova platforma temelji se na distribuiranim modularnim funkcijama (hardverskim i softverskim) koje se komunikacijski povezuju u cjeloviti napredni sustav. Tehničko-ekonomska opravdanost projekta povećava se jer se na istoj platformi, kao izvedenice, kasnije mogu realizirati i drugi slični uređaji za regulaciju i upravljanje procesima u elektroenergetici.

**Ključne riječi:** numerički zaštitni relej, algoritmi zaštite EES-a, komunikacijski protokoli, Konpro 2, IRI projekt

## 1. Uvod

Svrha elektroenergetskog sustava (EES) je proizvodnja i opskrba krajnjih korisnika električnom energijom. Sustav treba biti projektiran tako da se opskrba električne energije odvija na pouzdan i siguran način. Učestali kvarovi koji dovode do nestanka

napajanja rezultiraju poremećajima normalne rutine modernog društva koje zahtjeva povećanu pouzdanost i sigurnost opskrbe električnom energijom. Sustavi relejne zaštite dio su sekundarne opreme elektroenergetskog sustava i osnovna im je funkcija isključivanje dijelova elektroenergetskog sustava koji su u kvaru, zaštita ljudi i primarne opreme kako ne bi došlo do njenog oštećenja, odnosno do dugotrajnih prekida u opskrbi električnom energijom. Isključenjem nastalog kvara omogućava se nesmetano napajanje preostalom dijelu mreže. Pod primarnom opremom podrazumijevaju se generatori, transformatori, prekidači, vodovi (dalekovodi) itd.

Dva su temeljna zahtjeva na rad sustava zaštite. Jedan je dovoljna osjetljivost da bi se kvar detektirao, a drugi je brzina djelovanja kako bi se izbjegle posljedice negativnog djelovanja kvara. Uz to, sustavi relejne zaštite i upravljanja čine temelj za vođenje elektroenergetskog sustava.

Prilikom pojave kvara u dijelu mreže elektroenergetskog sustava, svi elementi sustava (gdje god se djelovanje kvara rasprostire) izloženi su povećanim opterećenjima i naprezanjima, kako mehaničkim tako i termalnim (posebice u slučaju nesimetričnih kvarova). Zaštita primarne opreme mora uključivati praćenje ne samo kvarom pogodjene dijelove mreže, nego i sve druge okolne elemente mreže. Mnogi elementi elektroenergetskog sustava su iznimno skupi te predstavljaju veliku kapitalnu investiciju. U cilju maksimizacije povrata investicije sustav se mora čim više koristiti unutar dozvoljenih ograničenja na sigurnost i pouzdanost opskrbe. Osim toga, elektroenergetski sustav treba u svakom trenutku funkcionirati na siguran način. Bez obzira koliko dobro sustav bio projektiran do kvarova u elektroenergetskom sustavu koji će predstavljati rizik za život i imovinu će uvijek dolaziti. Iako su pojedini elementi mreže dosta udaljeni od mjesta kvara, velike struje kvara mogu izazvati oštećenja elektroenergetskih postrojenja ako traju više od nekoliko sekundi. Stoga, postojanje odgovarajuće zaštite koja će otkriti i odvojiti dijelove, odnosno elemente, elektroenergetskog sustava u kvaru je veoma bitan dio u projektiranju sustava.

Istraživačko-razvojni projekt KONPRO 2 ujedinio je istraživače iz gospodarstva (tvrtka Končar – Elektroinka i informatika d.d.; skraćeno Končar-INEM) s istraživačima iz akademije (Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva; skraćeno FER). Radi se o dva regionalno i europski prepoznatljiva entiteta koji njeguju višegodišnju suradnju koja je rezultirala brojim inovativnim proizvodima i tehnološkim rješenjima kao i velikim brojem objavljenih publikacija. Pri tome je važno napomenuti da je prijenos znanja u ovom slučaju dvosmjeran i na obostranu korist, sveučilište omogućava industriji uvid u najnovija tehnološka rješenja i trendove u svijetu, a za uzvrat dobiva mnoštvo praktičnih znanja koja olakšavaju fokusiranje na daljnja primjenjena istraživanja.

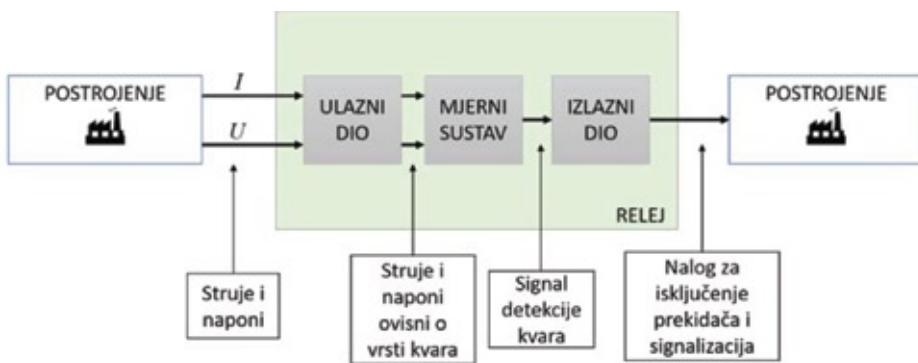
Rad je organiziran na sljedeći način. Poglavlje 2 opisuje zaštitnu opremu, definira sastavne dijelove zaštitne opreme te pruža opću strukturu numeričkih zaštitnih uređaja

dok su specifikacije numeričkog zaštitnog uređaja nove generacije KONPRO 2, razvijenog u okviru predmetnog IRI projekta, opisane u poglavlju 3. Podnaslovi poglavlja 3 detaljno opisuju algoritme zaštite, strukturu programske podrške numeričkih uređaja te kućište uređaja. Komunikacijske mogućnosti KONPRO 2 kao i komunikacijska sučelja i protokoli opisani su u poglavlju 4.

## 2. Zaštitna oprema

Osnovni zadatak zaštite je otkrivanje i odstranjivanje poremećaja u EES-u. Poremećaj može biti kvar ili smetnja. Kvar predstavlja značajnija odstupanja od normalnih pogonskih prilika koja izazivaju oštećenja opreme, dok smetnja predstavlja odstupanje od normalnih pogonskih prilika koja kratkotrajno ne izaziva oštećenja, ali dugo-trajne smetnje mogu izazvati oštećenja. Definicije koje slijede općenito se koriste u vezi sa zaštitom elektroenergetskog sustava [1]:

- Zaštitni sustav je skup zaštitne opreme i drugih uređaja od kojih se zahtjeva da ostvare specificiranu funkciju zasnovanu na principu zaštite (prema normi IEC 60255-20).
- Zaštitna oprema je skup zaštitnih (releji i osigurači), isključnih uređaja (prekidači i sklopniči) te mjernih uređaja poput naponskih i strujnih mjernih transformatora te različitih osjetnika (senzora) a dans se sve više koriste i sinkronizirani mjerni uređaji (engl. *Phasor Measurement Unit – PMU*) posebice za realizaciju posebnih zaštitnih shema (engl. *Special Protection Schemes – SPS*) [2],[3].
- Zaštitna shema je skup zaštitne opreme koja pruža definiranu funkciju i uključuje svu opremu potrebnu da osigura ispravan rad zaštitne sheme.



Slika 1: Sastavni dijelovi zaštitnih uređaja [4]

U cilju ispunjavanja zahtjeva na zaštitu s optimalnom brzinom za različite konfiguracije mreže te pogonske uvjete potrebno je razviti različite tipove releja koji djeluju na različite veličine u EES-u. Zaštitni uređaji mijere sljedeće električne veličine:

struja, napon, snaga, impedancija, frekvencija te neelektrične veličine: temperatura, tlak, brzina strujanja, brzina vrtnje, itd. Uobičajni sastavni dijelovi zaštitnog uređaja prikazani su na **Slika 1** gdje se primjerice promatraju amplitude napona i struje kvara što može biti dovoljno u jednim sustavima dok mjerjenje snage i impedancije može biti potrebno u drugim sustavima. Releji često mijere i složene veličine u EES-u koje se jedino mogu izraziti matematički ili grafički.

Releji se dijele prema tehnologiji koja se koristi na:

- Elektromehaničke,
- Statičke,
- Digitalne i
- Numeričke.

Različiti tipovi releja imaju različite mogućnosti u ovisnosti o ograničenjima tehnologije koju koriste. Unazad par godina reljena tehnologija se uveliko promijenila. Elektromehanički releji u svim svojim oblicima su zamijenjeni statičkim, digitalnim i konačno numeričkim relejima. Svaka promjena u generaciji releja dovela je do smanjenja veličine uređaja i značajnog unapređenja funkcionalnosti. Nadalje, promjena generacija releja dovela je kako do povećanja pouzdanosti tako i do proširenja područja primjene.

Numerički releji koriste jedan ili više digitalnih procesora za obradu signala (engl. *Digital Signal Processors - DSP*) koji su optimizirani za obradu signala u stvarnom vremenu te izvođenje matematičkih algoritama za zaštitne funkcije. Daljnje smanjenje u troškovima i veličini mikroprocesora, memorije te ulazno/izlaznih krugova dovelo je do toga da se jedan numerički reley može koristiti za različite funkcije. Za brzu obradu signala u stvarnom vremenu te detaljniju analizu valnih oblika može se koristiti i više procesora koji rade paralelno. Mnogo funkcija koje su se prije implementirale u različitim uređajima sada mogu biti sadržane u istom uređaju.



**Slika 2:** Struktura numeričkog zaštitnog uređaja

Tipična hardverska struktura numeričkog zaštitnog uređaja prikazana je na **Sliku 2.** Sa slike je vidljivo da se arhitektura sastoji od jednog ili više procesora, memorij-ske jedinice, digitalnih i analognih ulaza/izlaza, komunikacijskog sučelja te jedinice za napajanje. U slučaju korištenja više procesora jedan od procesora je zadužen za upravljanje ulazno/izlaznom jedinicom, grafičkim sučeljem te bilo kojom drugom pridruženom logikom dok se ostali procesori koriste za izvođenje različitih zaštitnih algoritama.

Osim navedenog, sinkronizirani mjerni uređaji [2],[3] korištenjem GPS prijamnika pridjeljuju i vremensku oznaku (točno astronomsko vrijeme), prilikom A/D pretvorbe svakom izmjerrenom podatku što olakšava naknadnu analizu kvara i njegovih posljedica na EES.

Interna komunikacijska sabirnica povezuje hardverske komponente te stoga predstavlja kritičnu komponentu u dizajnu numeričkog releja. Komunikacija internom sabirnicom mora se odvijati velikim brzinama koristeći niskonaponske signale. Posebni zahtjevi postavljaju se na sprečavanje elektromagnetskih smetnji prisutnih u elektroenergetskim postrojenjima koje bi mogle utjecati na kvalitetu komunikacije.

### 3. Specifikacije numeričkog zaštitnog releja nove generacije

KONČAR INEM je sa svojim sustavima zaštite, mjerenja i upravljanja u elektroenergetskim sustavima prisutan 40-ak godina na domaćem i svjetskom tržištu te konstantno prati i analizira sve promjene na tom tržišnom segmentu. Dosadašnje proizvode na polju sustava relejne zaštite, KONČAR INEM razvio je vlastitim kapacitetima i u potpunosti je vlasnik intelektualnih prava na ugrađene algoritme. Riječ je o seriji PRIL 2000 i o seriji KONPRO. Numerički zaštitni uređaj nove generacije KONPRO 2 logičan je slijed razvojnih i tržišnih aktivnosti KONČAR INEM-a.

Funkcije zaštite, nadzora, upravljanja i mjerena biti će integrirane u jedinstvenom numeričkom zaštitnom releju nove generacije KONPRO 2 koji će biti pogodan za primjenu u transformatorskim stanicama, elektranama, industrijskim srednjonaponskim (SN) objektima te u sustavima upravljanja.

Numerički zaštitni relj nove generacije KONPRO 2 bit će primjenjiv za:

- zaštitu vodova,
- motorsku zaštitu,
- upravljanje sklopnim aparatima,
- transformatorsku zaštitu,

- zaštitu polja kompenzacije i
- zaštitu generatora.

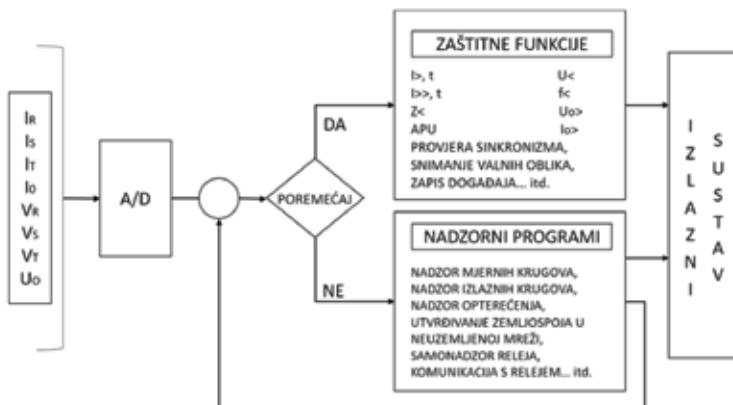
Važno je istaknuti kako će relaj KONPRO 2 imati odvojene procesne kapacitete za zaštitne i komunikacijske funkcije, odnosno zasebni procesor za izvođenje algoritama zaštite i zasebni procesor za višestruku paralelnu komunikaciju.

### 3.1 Algoritmi zaštite EES-a

Algoritmi zaštite numeričkog zaštitnog relaja nove generacije KONPRO 2 temeljiti će se na obradi analognih mjerjenja, na djelovanju iniciranom digitalnim veličinama te komunikacijskim kanalima. Većina zaštitnih funkcija zasniva se na mjerenu i obradi strujnih i naponskih veličina. Stoga, numerički zaštitni relaj treba omogućiti mjerni sustav analognih veličina u širokom rasponu vrijednosti.

Raspon strujnih vrijednosti je od  $0.001 A$  do  $100 A (1/5 A)$ , a kada je riječ o naponima taj raspon je od  $1 V$  do  $400 V$ . Navedeni rasponi ne trebaju nužno biti ostvareni u jedinstvenom ulaznom krugu, oni se mogu postići s više varijanti ulaznog mjernog kruga. Sve zaštitne funkcije temeljene na mjerenu i obradi strujnih i naponskih veličina te digitalnim ulazima i komunikacijskim uvjetima trebaju se provoditi s najmanje *20 uzoraka po periodi* ( $1 kHz$ ). Uzorkovanje strujnih i naponskih veličina treba biti s najmanje *128 uzoraka po periodi* za potrebe registratora poremećaja i mjerena [5].

Sve zaštitne funkcije numeričkih zaštitnih relaja definirane su preko programske podrške čija je struktura prikazana na **Slika 3** u obliku pseudo koda. Prikazanom strukturuom programske podrške omogućeno je izvođenje više različitih zaštitnih funkcija koje je ovisno o početnom parametriranju relaja. Prednost digitalne tehnologije, s primjenom u numeričkim relejima, je u tome što je označenje značajno smanjeno zbog činjenice da je funkcionalnost definirana programskom podrškom.



Slika 3: Struktura programske podrške numeričkog relaja [4]

Kao što se može vidjeti na **Sliku 3**, numerički relj trajno mjeri i nadzire određene električne veličine postrojenja (mogu biti i neelektrične) te u slučaju unaprijed određene vrijednosti izaziva unaprijed definirano djelovanje u jednom ili više komandnih, odnosno signalnih strujnih krugova. Također, relj ima mogućnost samonadzora, nadzor izlaznih krugova, nadzor mjernih krugova, nadzor opterećenja itd. Nova generacija numeričkih uređaja KONPRO 2 imat će visok stupanj programibilnosti izveden pomoću programske matrice što će omogućiti jednostavno povezivanje signala s binarnim ulazima i reljnim izlazima uređaja.

Predefinirane upravljačke sheme omogućavaju jednostavno konfiguriranje releja. Modularna sklopovska i programska arhitektura KONPRO 2 releja omogućit će, uz primjenu osnovnih zaštitnih funkcija sadržanih u osnovnom programskom paketu uređaja, uključivanje dodatnih zaštitnih funkcija, sukladno potrebama korisnika.

Numerički zaštitni uređaj nove generacije KONPRO 2 treba omogućiti, uz već postojeće funkcije zaštite temeljene na mjerenoj veličini struje i napona, i nove funkcije zaštite koje će proširiti područje primjene. Važniji dio funkcija zaštite koje će se realizirati u KONPRO 2 uređaju predočen je u **Tablica 1**.

**Tablica 1:** Funkcije zaštite temeljene na mjerenoj veličini struje i napona

ANSI No. 50, 51	Neusmjereni nadstrujni zaštitni elementi
ANSI No. 50P, 51P	Jednofazna neusmjereni nadstrujni zaštitni elementi
ANSI No. 67	Usmjereni nadstrujni zaštitni elementi
ANSI No. 50N, 51N	Zemljospojna zaštitna funkcija
ANSI No. 67N	Usmjereni zemljospojni zaštitni elementi
ANSI No. 67Ns	Osjetljiva usmjereni zemljospojni zaštitni elementi
ANSI No. 67Ntr	Usmjereni, tranzijentni zemljospojni zaštitni elementi
ANSI No. 32N	Usmjereni, vatmetrički zemljospojni zaštitni elementi
ANSI No. 59	Nadnaponska zaštitna funkcija
ANSI No. 27	Podnaponska zaštitna funkcija
ANSI No. 59N	Zemljospojna (U0) zaštitna funkcija
ANSI No. 24	Zaštitna od naduzbude V/Hz
ANSI No. 25	Funkcija provjere sinkronizma
ANSI No. 81, 81R	Frekvencijska zaštitna funkcija
ANSI No. 46	Zaštitna od negativne komponente struje
ANSI No. 46BC	Zaštitna od negativne komponente struje
ANSI No. 46DP	Zaštitna od prekida faze

ANSI No. 49F	Zaštita od termičkog preopterećenja kabela
ANSI No. 50BF	Zaštita od zatajenja prekidača
	Registracija uklopa transformatora na osnovu drugog harmonika (engl. <i>Inrush</i> )
	Funkcija hladnog starta CLP (engl. <i>Cold Load Pickup</i> )
ANSI No. 79	Automatski ponovni uklop
ANSI No. 21FL	Lokator kvara
ANSI No. 74TCS	Nadzor iskllopog kruga prekidača
ANSI No. AFD	Zaštita od električnog luka
ANSI No. 86	Funkcija zaključavanja glavnog izlaza (engl. <i>Lockout function</i> )

Sve zaštitne funkcije numeričkog zaštitnog uređaja KONPRO 2 imat će minimalno 6 grupa podešenja parametara te mogućnost izbora načina računanja mjereneh veličina odnosno izbora prorade prema izračunu temeljenom na osnovnom harmoniku ili na efektivnoj tj. srednjoj kvadratnoj vrijednosti - true RMS (engl. *Root Mean Square*). Nadalje, sve zaštitne funkcije trebaju se moći dinamički rekonfigurirati prema svih 6 grupa podešenja uslijed unaprijed definiranih promjena uvjeta. Potrebno je omogućiti podešenje svih parametara numeričkog zaštitnog uređaja preko samo jedne datoteke koja mora sadržavati podešenja svih zaštitnih funkcija, nadzornih i logičkih funkcija kao i svih podešenja vezanih uz komunikacije [5].

## 3.2 Vizualizacija

### 3.2.1 Vizualizacija preko prednje ploče

Prednja ploča releja, koja je prikazana na **Slika 4**, imat će veliki LCD zaslon u boji temeljen na tehnologiji tekućih kristala (engl. *Liquid Crystal Display*), pred-definirane tipke, navigacijske tipke, pred-definirane svjetleće LED indikatore (engl. *Light Emitting Diode* -), programibilne višebojne indikatore, te kao dodatnu opciju i programibilne tipke. Prednji LCD zaslon u boji treba omogućavati prikaz sheme polja (engl. *Single Line Diagram - SLD*) sa statusima svih sklopnih aparata te vrijednostima mjereneh veličina kao i prikaz pojedinih statusa. Sve što je prikazano na prednjem ekranu imat će mogućnost konfiguracije. Zahvaljujući izbornicima koji su maksimalno prilagođeni krajnjim korisnicima te navigacijskim tipkama, do svih parametara releja dolazi se brzo i jednostavno. To relej čini vrlo praktičnim za upotrebu, kako korisnicima koji imaju iskustvo s relejnim uređajima zaštite, tako i onima koji se s ovakvom vrstom opreme susreću po prvi put. Ukoliko se želi ograničiti mogućnost promjene parametara na određenu grupu korisnika svaka promjena nekog parametra imat će mogućnost zaštite zaporkom.



**Slika 4:**  
Prednja ploča releja

Osim navedenih stavki, prednja ploča treba sadržavati i izmjenjivu traku s općim informacijama o uređaju, kao i komunikacijsko sučelje za programsku podršku koja omogućava potpuno podešavanje releja, očitavanje snimljenih zapisa i događaja, što je vidljivo na slici **Slika 4**.

### 3.2.2 Mehaničko rješenje

Vanjske i ugradbene dimenzije nove generacije uređaja KONPRO 2 temeljiti će se na standardnim dimenzijama zakretnog okvira ormara ( $19''$ ) u koje se uobičajeno ugrađuje ovakva oprema. Razvijena je izvedba  $1/3$  širine, **Slika 5**, a očekuje se i razvoj šire izvedbe od  $1/2$  širine zakretnog okvira tj. već prema potrebi. Sama izvedba releja je modularna. Svi moduli su izvlačivi, te je njihovo učvršćenje na kutiji jednostavno, zbog servisnih potreba. Radno temperaturno područje treba biti u rasponu od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $+55^{\circ}\text{C}$ .

Moduli su napravljeni sukladno IPC (engl. *Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits*) klasi 3 za tiskane pločice, kao i po IPC Class 610-3 [5]. Mogućnost spajanja 3 uređaja pomoću dodatnog dijela koji omogućuje direktnu montažu uređaja u  $19''$  okvir bez potrebe za montažnom pločom prikazana je na **Slika 6**.

Izvedba manjeg uređaja okvira  $1/3 19''$  sadrži sljedeće module:

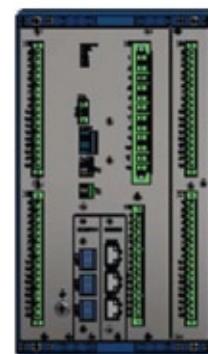
- Modul napajanja;
- Modul procesora/komunikacije koji je nadogradiv s dva dodatna komunikacijska modula;
- Modul strujnih i naponskih ulaza;
- Modul binarnih ulaza i relejnih izlaza.



**Slika 5:** Izvedba uređaja  $1/3$  širine  $19''$  okvira



**Slika 6:** Prijedlog spajanja 3 uređaja



**Slika 7:** Stražnja strana uređaja

Stražnja strana numeričkog zaštitnog uređaja prikazana je na **Slika 7.**

Modula napajanja je projektiran za široki raspon napona: 18-265 VDC i 110-230 VAC 50/60 Hz. Modul strujnih i naponskih ulaza sadrži min. 5 strujnih i 5 naponskih ulaza. Minimalno četiri strujna ulaza trebaju biti za nazivnu struju od 1/5 A i jedan strujni ulaz treba biti za nazivnu struju od 0.2/1 A. Naponski ulazi su predviđeni za 100 V i 400 V nazivnog napona. Relej minimalno sadrži 12 binarnih ulaza, te 8 relejnih izlaza, uz mogućnost dodatne ugradnje modula binarnih ulaza i relejnih izlaza (npr. u kombinaciji 16+10). Postojat će i mogućnost ugradnje modula s analognim ulazima i izlazima, modula s RTD ulazima, te modula sa svjetlosnim ulazima.

Postupak funkcionalne provjere rada prototipa KONPRO 2 releja je, izmeđuostalog, planirano provesti i u laboratorijskom okruženju u Laboratoriju za napredne elektroenergetske mreže - SGLab-u (engl. *Smart Grid Laboratory*) [6][7] koji se nalazi na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu na Zavodu za visoki napon i energetiku [8][9]. Istraživači SGLab-a imaju dugogodišnju suradnju s industrijom na primijenjenim istraživanjima u području naprednih elektroenergetskih mreža. Opsežan i detaljno opisan pregled opreme i mogućnosti navedenog laboratorija nalaze se u [6][7][8]. Nadalje, na FER-u se trenutno provodi istraživački projekt pod nazivom Fleksibilnost mikromreža s velikim udjelom pretvarača (FLEXIBASE) koji može poslužiti kao dobra podloga za laboratorijsku verifikaciju KONPRO 2 releja na modelu mikromreže dostupnom u SGLab-u [10].

## 4. Komunikacijska sučelja i protokoli

Komunikacijski protokoli koji će biti podržani u uređaju KONPRO 2 su: IEC 61850 Server i Goose, IEC 60870-5-104, IEC 60870-5-103, te Modbus TCP/IP. Nadalje, imati će mogućnost konfiguriranja svih parametara vezanih uz zaštitne funkcije i uz IEC 61850 unutar jedne datoteke. Dodatna podešenja vezana uz komunikacijski protokol IEC 61850 trebaju se moći napraviti s bilo kojim konfiguracijskim alatom za navedenu namjenu [5].

Numerički zaštitni uređaj će podržavati sljedeće mogućnosti:

- Istovremene IEC 61850 konekcije, do 6 klijenata istovremeno,
- Transfer protokol datoteka (TFTP) i transfer datoteka kroz IEC 61850,
- Vremensku sinkronizaciju putem različitih izvora sinkronizacije,
- Mogućnost definiranja prioritetnog izvora sinkronizacije,
- Mogućnost dinamičkog prebacivanja izvora sinkronizacije ovisno o dostupnosti pojedinog izvora.

U elektroenergetskim postrojenjima često se pojavljuje zahtjev za sinkronizaciju vremena na različitim uređajima sekundarne opreme kako bi se mogla vremenski analizirati pojava kvara i širenje poremećaja na ostale dijelove postrojenja. Stoga, uređaj treba sadržavati interni sat za vremensku sinkronizaciju, te također treba postojati i mogućnost vanjske vremenske sinkronizacije preko sljedećih protokola:

- IRIG-B standardna vremenska sinkronizacija preko vanjskog GPS prijemnika,
- SNTP vremenska sinkronizacija preko SNTP servera ili IEC 61850,
- IEEE1588 PTP (engl. *Precision time protocol*) je protokol za vremensku sinkronizaciju na računalnim mrežama definiran u IEEE 1588 standardu te,
- IEC 60870-5-103 vremenska sinkronizacija izvodi se telegramom s propisno konfiguriranim komunikacijskim sučeljem.

U svrhu ostvarivanja komunikacije uređaj treba biti opremljen s 2 optička Ethernet priključka, s dva načina rada. Jedan način rada je da svaki od priključaka može raditi neovisno, a drugi je da priključci rade u redundantnom režimu rada. Osim optičkih Ethernet priključaka, uređaj treba imati i priključak za serijsku vezu, te žičani Ethernet priključak [5].

## 5. Zaključak

Cilj projekta je razvoj i proizvodnja novog sustava zaštite, mjerenja i upravljanja za primjenu u elektroenergetskim objektima. Sustav će koristiti nove funkcionalnosti, poboljšati i objediti postojeće funkcionalnosti te znatno proširiti područje primjene. Poseban naglasak je na razvoju nove platforme naprednih mikroprocesorskih ugradbenih sustava koji povećava tehničko-ekonomsku opravdanost projekta jer će se na istoj platformi, kao izvedenice, moći realizirati i drugi slični uređaji za regulaciju i upravljanje procesima u elektroenergetici. Projekt bi trebao pridonijeti kontinuitetu konkurentnosti proizvoda te osigurati porast prodaje na domaćem i globalnom tržištu. Projektom je planirana i zaštita intelektualnog vlasništva registracijom žiga i dizajna novog proizvoda. Realizacijom KONPRO 2 projekta Končar-INEM očekuje povećanje tržišnog udjela u ovom segmentu poslovanja i rast prihoda od prodaje novog proizvoda. Ovaj istraživačko-razvojni projekt doprinio je dugogodišnjoj suradnji FER-a i Končar INEM-a.

### Zahvala

This work has been supported by European Structural and Investment Funds under project Konpro 2 (Razvoj nove generacije uređaja numeričke zaštite), grant KK.01.2.1.01.0096.

## Literatura

- [1] Alstom: *Network protection & automation guide: Protective Relays, Measurement & Control*, Alstom Grid, ISBN: 978-0-95687678-0-3, Great Britain, (2011)
- [2] Ivanković, I.; Kuzle, I. & Holjevac, N.: Multifunctional WAMPAC System Concept for Out-of-step Protection Based on Synchrophasor Measurements, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 87 (2017), str. 77–88, ISSN: 0142-0615
- [3] Zbunjak, Z. & Kuzle, I.: System Integrity Protection Scheme (SIPS) Development and an Optimal Bus-Splitting Scheme Supported by Phasor Measurement Units (PMUs), *Energies*, Vol. 12 (2019) 17, Paper no. 3404, ISSN 1996-1073
- [4] Marušić A. & Havelka J.: *Sastavni dijelovi reljefne zaštite, predavanja iz predmeta Zaštita elektroenergetskog sustava*, FER-Zagreb, Dostupno [www.fer.hr](http://www.fer.hr) Pristupljeno: 2021-01-15
- [5] Mikulandra, N.; Bišćan, M. & Gudac, Ž.: LL0001\_Tehnička specifikacija-Idejno rješenje\_KONPRO2, 2018-07.
- [6] Kuzle, I.; Havelka, J.; Pandžić, H. & Capuder, T.: Hands-On Laboratory Course for Future Power System Experts, *IEE Transaction on Power System*, Vol. 29 (2014), no. 4, pp. 1963-1971, ISSN 0885-8950
- [7] Kuzle, I.; Jurković, K. & Pandžić, H. Razvoj laboratorija za električna postrojenja, *Zbornik 12. savjetovanja HRO CIGRÉ*, Filipović-Grčić, B. (urednik), str. 1-9 (ref. C6-06), ISSN 1849-5346, Šibenik, Studeni 2015, HRO CIGRÉ, (2015)
- [8] Kuzle, I.: Department of energy and power systems – 80 years of success in science, teaching and cooperation with industry, *Journal of Energy*, Vol. 64 (2015) 1-4, str. 3-28, ISSN 0013-7448
- [9] Kuzle, I.: Razvoj studija elektroenergetike na Sveučilištu u Zagrebu, *Annual of the Croatian Academy of Engineering*, Vol. 2019 (2019) 1, str. 207-223, ISSN 1332-3482
- [10] FLEXIBASE, *Fleksibilnost mikromreža s velikim udjelom pretvarača*, Dostupno na <https://flexibase.fer.hr/flexibase> Pristupljeno: 2020-12-10

# RUCONBAR betonske barijere za zaštitu od buke s recikliranom gumom

Stjepan Lakušić<sup>1</sup>, Ivo Haladin

<sup>1</sup> član suradnik HATZ-a u Odjelu građevinarstva i geodezije

**Sažetak:** RUCONBAR predstavlja novo, eko-inovativno rješenje betonskih barijera za zaštitu od buke. Inovativan sastav i postupak dobivanja apsorbirajućeg sloja izrađenog od reciklirane otpadne gume razvijen je i patentiran na Građevinskom fakultetu u Zagrebu, a cijelokupna proizvodnja izvediva je u hrvatskim pogonima. Ovaj tip barijera se zasniva na ideji upotrebe recikliranih materijala u novom proizvodu, čime se donosi dobrobit u tri područja: (1) zaštiti od buke, (2) gospodarenju otpadom te (3) smanjenju upotrebi prirodnih resursa.

**Ključne riječi:** barijere za zaštitu od buke, otpadne gume, recikliranje, gospodarenje otpadom

## 1. Uvod

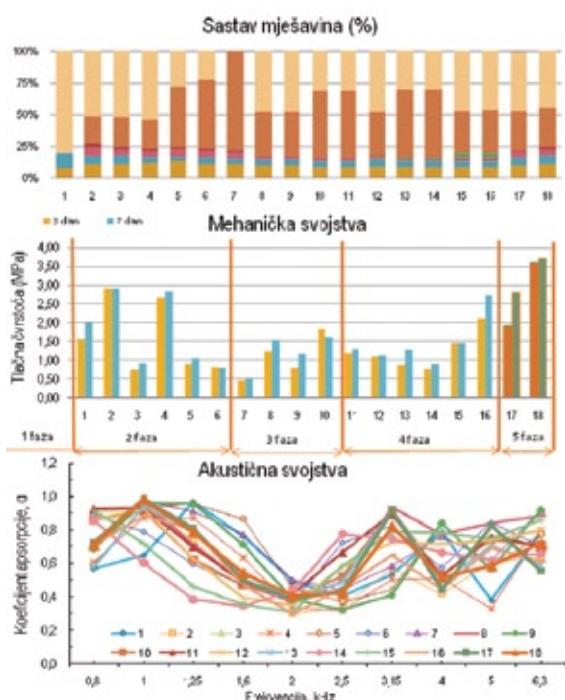
Migracija stanovništva iz ruralnih u urbane sredine, razvoj prometne infrastrukture i porast broja vozila znatno utječe na povećanje razine buke. S ciljem ekološke održivosti prometne infrastrukture u lipnju 2002., EU je donijela Direktivu 2002/49/EC o procjeni i načinima upravljanja bukom poglavito u područjima uz autoceste i željeznice. Republika Hrvatska uskladila je svoje propise s navedenom direktivom te na taj način preuzela obvezu da će svi budući projekti u cestogradnji i željeznicama obuhvatiti zaštitu od buke okolnih urbanih područja uz prometnice. Primjena barijera za zaštitu od buke predstavlja najčešći i najsigurniji način smanjenja rasprostiranja buke. Odmah nakon postavljanja postiže se efekt smanjenja razine buke na projektom predviđenu razinu. Visine izvedenih barijera pritom variraju od 2 do 5 m, dok duljine barijera ovise o veličini područja koje se štiti. Općenito postoje dva tipa akustičnih barijera: reflektirajuće i apsorbirajuće. Osnovna razlika između ova dva tipa barijera je ta što reflektirajuće odbijaju zvučne valove bez smanjenja njihovog intenziteta, dok apsorbirajuće "upijaju" dio zvučne energije i reflektiraju zvučni val smanjenog intenziteta. Apsorbirajuće barijere u pravilu se izvode kao neprozirne, dok reflektira-

juće mogu biti izvedene od neprozirnih ali i prozirnih materijala. Prema provedenim istraživanjima [1] primjena apsorbirajućih barijera je učestalija. Za potrebe izgradnje barijera za zaštitu od buke danas na tržištu postoje paneli izrađeni od različitih materijala, a najčešće su u upotrebi: beton, drvo, aluminij te transparentni materijali. Apsorpcijski sloj betonskih barijera izrađuje se s dodatkom drvenih vlakana (drvo-betonske barijere) ili granula ekspandirane gline. Primjenom navedenih materijala djelujemo suprotno održivom razvoju. S obzirom da je danas betonska industrija jedan od najvećih potrošača prirodnih resursa u svijetu. Godišnja potrošnja osnovnih sirovina penje se do vrtoglavih 900 milijuna litara vode, 9 milijardi tona prirodnog agregata te 1.5 milijardi tona cementa [2]. Za proizvodnju betonskih barijera, uz navedeno koriste se znatne količine drvenih vlakana te granule ekspandirane gline. Proizvodnja tih materijala uzrokuje značajne promjene eko sustava; naime proizvodnja drvenih vlakna zahtjeva sječu šuma, a šume su vrlo važan faktor u korekciji štetnih stakleničkih plinova također, proizvodnja ekspandirane gline uzrokuje značajno bespovratno trošenje prirodnih resursa ostavljajući ogoljen i devastiran okoliš. Zaštita od buke naselja u blizini novih autocesta provedena je izgradnjom različitih tipova i vrsta zidova za zaštitu od buke. Do 2007. godine u Hrvatskoj su u najvećoj mjeri korištene drvene, aluminijiske i transparentne barijere te manjim dijelom gabionske strukture i armirani nasipi. Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu je tijekom 2006. godine u suradnji s dvije hrvatske tvrtke, koje imaju razvijenu tehnologiju proizvodnje pred-

gotovljenih betonskih elemenata, razvio dvoslojne betonske panele za zaštitu od buke s granulama ekspandirane gline.

## 2. RUCONBAR barijere za zaštitu od buke

Ideja o razvoju inovativnog ekološki prihvatljivog proizvoda započela je 2008. godine, tijekom izrade idejnog projekta Zaštite od buke Zoološkog vrta u Zagrebu od prometne buke. Nakon razrade strategije krenula je izrada optimalne betonske mješavine s dodatkom reciklirane gume. Ispitivana su mehanička i akustička svojstva 18 različitih mješavina u cilju postizanja stabilne strukture dobrih apsorpcijskih svojstava, Slika 1.



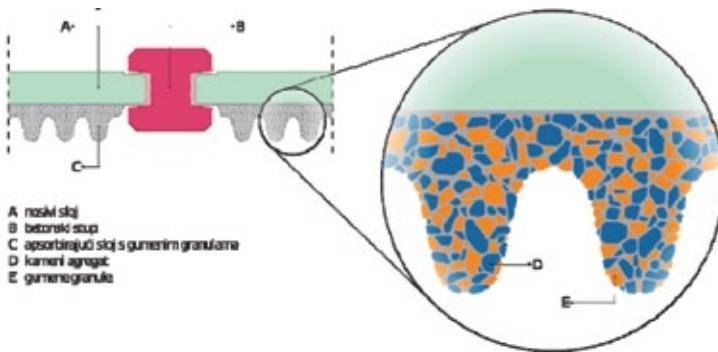
SI 1: Sastav i ispitivanja malih uzoraka

RUCONBAR (Rubberized COncrete Noise BARiers) je ekološka, visoko apsorbirača barijera za zaštitu od buke, čiji se apsorbirajući sloj sastoji od reciklirane gume i betona. Inovativno rješenje razvijeno je u sklopu znanstvenih istraživanja na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu kao plod suradnje dvaju zavoda, Zavoda za Prometnice i Zavoda za Materijale [3, 4, 5, 6]. Nakon inicijalnih ispitivanja betonske barijere za zaštitu od buke s apsorbirajućim slojem od reciklirane gume prepoznate su i u Europskoj uniji. Projekt RUCONBAR u razdoblju od 2011. do 2014. godine sufinancira Europska unija u sklopu inicijative CIP Eko Inovacije, Izvršne agencije za konkurentnost i inovacije - EACI. Projekt RUCONBAR, sastavljen isključivo od hrvatskih partnera, oslanja se na dvije tvrtke: Gumiimpex GRP, koja je zadužena za proizvodnju gumenih reciklata, i Beton Lučko, koja je zadužena za proizvodnju barijera RUCONBAR, Slika 2.



**SI 2:** Pogon za recikliranje otpadnih guma (Gumiimpex GRP) / pogon za proizvodnju RUCONBAR panela (Beton Lučko)

RUCONBAR građevinski proizvod od betona sastavljen od apsorbirajućeg i nosivog sloja. Primjenom 40% gumenih granula dobivenih recikliranjem starih automobilskih guma u apsorbirajućem sloju, dobiven je proizvod koji predstavlja inovativno rješenje u području zaštite od buke, jedinstven na tržištu, Slika 3. Inovativnost rješenja odlikuje jedinstveni način izvedbe apsorbirajućeg sloja barijere. Ugradnjom gumenih granula dobivenih reciklažom otpadnih automobilskih guma i kamene sitneži određenog granulometrijskog sastava u betonsku mješavinu, proizvodi se sloj laganog poroznog betona optimalnih svojstava za apsorpciju buke od prometa.



**SI 3:** Poprečni presjek RUCONBAR barijere za zaštitu od buke

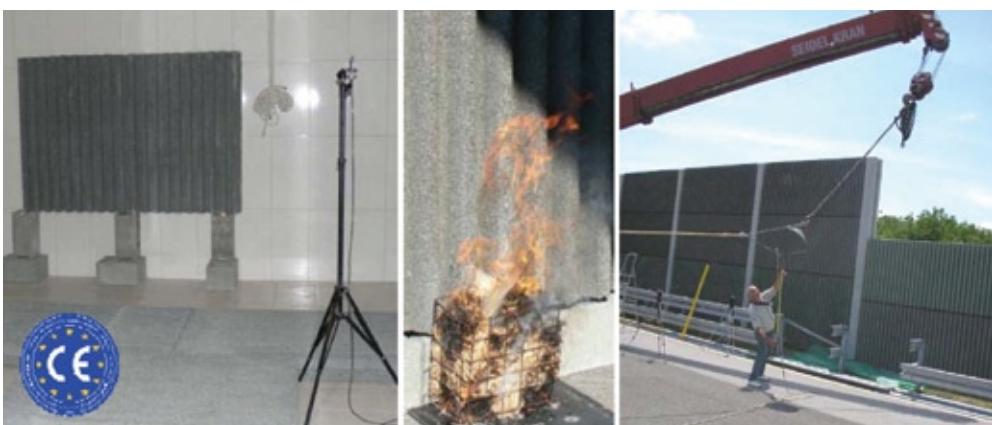
Primjenom RUCONBAR-a za izradu 1 km barijera visine 3 m, može se upotrijebiti 66.3 t recikliranog gumenog granulata dobivenog recikliranjem 7800 komada otpadnih guma, s obzirom da se recikliranjem iz gume dobije 75 % gumenog granulata.

Glavne ekološke koristi RUCONBARA su:

- smanjenje emisije stakleničkih plinova za 31% u odnosu na slična rješenja na tržištu;
- smanjenje iskorištavanja neobnovljivih izvora i zaštita prirodnog krajolika;
- recikliranje otpadnih automobilskih guma;
- efikasna dugotrajna zaštita od buke okoliša gdje su barijere primijenjene.

Proizvod je u potpunosti ispitana prema važećim standardima za građevinske proizvode te je za njegovu uporabu dobiven europski certifikat (CE) za primjenu na prometnoj infrastrukturi. Proizvod je također zaštićen patentnom prijavom pod registarskim brojem P20100483A (PCT/HR2014/000014).

Kako bi se ocijenila sposobnost inovativnog materijala korištenog za pripremu RUCONBAR-a za apsorpciju zvuka, provedena su istraživanja na laboratorijskim i realnim uzorcima površine 10.0 m<sup>2</sup> u ječnoj komori u skladu s normama HRN EN ISO 354:2004 i HRN EN 1793-1:1999. Na osnovi dobivenih rezultata barijera RUCONBAR svrstana je u razred A3 zvučne apsorpcije na temelju jednobrojne vrijednosti zvučne apsorpcije  $DL\alpha = 8,7 \text{ dB}$  [7]. Osim izuzetno dobrih i konkurentnih svojstava zvučne apsorpcije, barijera RUCONBAR ima poboljšana i ostala značajna svojstva poput otpornosti na smrzavanje i odmrzavanje i vatrootpornost. Sve ključne karakteristike proizvoda ispitane su i potvrđene od strane prijavljenog tijela te je za proizvod izdan znak sukladnosti CE (Conformite Europeenne) od strane neovisnog prijavljenog tijela (NoBo), Slika 4.



**Sl 4:** Ispitivanja zvučne apsorpcije, vatrootpornosti te opasnost od padajućih krhotina

Za svoju inovativnost RUCONBAR je zaslužio niz nagrada i priznanja:

- Nagrada GREENOVATION za najbolju tehnologiju zelenog gospodarstva, 2012.
- ARCA PRIX AWARD, međunarodna izložba inovacija "ARCA 2012", Zagreb, 2012.
- Graditeljska nagrada CEMEX u kategoriji održive gradnje, za projekt: Zaštita od buke naselja Scott kod naplatnih kućica za most Krk, 2015.
- Posebno priznanje Ministarstva znanosti i obrazovanja Rumunjske za visoku znanstvenu razinu inovacije, Ženeva, Švicarska, 2016.
- Zlatna medalja s posebnom pohvalom žirija na sajmu inovacija "Geneva Inventions", Ženeva, Švicarska, 2016.
- Zlatna medalja s posebnom pohvalom žirija na sajmu inovacija "INNOVA 2016", Brisel, Belgija, 2016.
- Srebrna medalja na sajmu inovacija "Silicon Valley International Invention Festival 2018", Santa Clara, Kalifornija, SAD, 2018.
- Kristalni globus – godišnja nagrada "IRF Global Road Achievement Award 2018" u kategoriji istraživanja, Las Vegas, SAD, 2018.
- RailTech nagrada za inovacije u kategoriji „Infrastruktura“ na stručnom sajmu i konferenciji RailTech Europe 2019, Utrecht, Nizozemska, 2019.

### 3. Primjena RUCONBAR barijera

Prva primjena ovih inovativnih barijera za zaštitu od buke izvedena je 2014. godine na dionici državne ceste u blizini naplatnih postaja za otok Krk gdje je dokazana praktična primjena ovog inovativnog proizvoda, Slika 5. Zanimljivo je napomenuti



**Sl 5:** Prva primjena RUCONBAR 2014. u blizini naplatnih postaja mosta za otok Krk

kako je barijera na ovoj lokaciji pod ekstremnim vremenskim uvjetima (udara vjetra te agresivnog slanog okoliša) te kroz ovih 6 godina primjene unatoč značajnom opterećenju od ekstremnog djelovanja vjetra i soli (bura rekordne brzine od 224 km/h zabilježena 2015. na Krčkom mostu) nisu uočeni nikakav mehanički nedostatci ili znakovi koroziskog djelovanja.

Dug i izazovan put od ideje, do konačnog proizvoda, te konačno šire primjene proizvoda u inženjerskoj praksi za RUCONBAR traje punih 10 godina. Veliki napor uloženi su u promociju te dokazivanje inovativnosti i tehničke sposobnosti RUCONBAR barijera kako bi našle svoje mjesto u standardnoj inženjerskoj praksi i postale prvi izbor projektantima, izvođačima i investorima u području cestovne i željezničke infrastrukture. RUCONBAR je iz tog razloga predstavljen na sajmovima inovacija i novih proizvoda širom svijeta te je dobio veliki broj nagrada i priznanja kao i najviša gospodarska priznanja u Republici Hrvatskoj.

### **3.1 RUCONBAR na željezničkoj infrastrukturi**

U 2019. godini ostvaruje se ključna prekretnica za inovativne ekološke barijere RUCONBAR jer svjedočimo široku primjeni barijera ugrađenih na cestovnoj i željezničkoj infrastrukturi. Naime, upravo te godine dovršen je prvi projekt ugradnje barijera za zaštitu od buke na nekoj željezničkoj pruzi u Republici Hrvatskoj - upravo primjenom RUCONBAR barijera, na dionicama Ličke pruge ( $1011\text{ m}^2$  barijera). Primjena proizvoda realizirana je zaštitom od buke sa željeznica na željezničkoj pruzi OŠTARIJE-KNIN-SPLIT u Hrvatskoj. Na poddionici Perušić Gračac izgrađeno je ukupno 5 zidova ukupne površine apsorbirajućih panela  $1011\text{ m}^2$ . Ovaj projekt je značajan zbog toga što se prvi puta u Republici Hrvatskoj primjenjuju barijere za zaštitu od buke na nekoj dionici željezničke pruge, Slike 6 i 7. Tim projektom HŽ Infrastruktura čini prvi korak u smjeru snažne i sveobuhvatne Europske inicijative o smanjenju emisije buke od prometa.

RUCONBAR barijere idealne su za primjenu upravo na željezničkoj infrastrukturi jer su proizvedeni kao monolitni armiranobetonski paneli sa velikom otpornošću na dinamičke udare tlaka zraka pri prolasku željezničkih vozila većom brzinom (propisano normom EN 16727-2-1:2018). Način ugradnje RUCONBAR barijera pogodan je za instalaciju panela sa željezničkih vozila što je ključno na područjima nepristupačnog terena kroz kakva željeznička pruga često prolazi. Normativni okvir provedbe ispitivanja je primjena normi:

- HRN DIN 45642:2005 – Mjerenje buke prometa,
- HRN ISO 1996-1:2016 – Akustika – Opisivanje i mjerenje buke okoliša – 1.dio:Osnovne veličine i postupci;

- HRN EN ISO 3095:2013 – Akustika – Željeznički sustav – Mjerenje buke koju proizvode željeznička vozila.



**SI 6:** Proces ugradnje panela RUCONBAR na Ličkoj pruzi

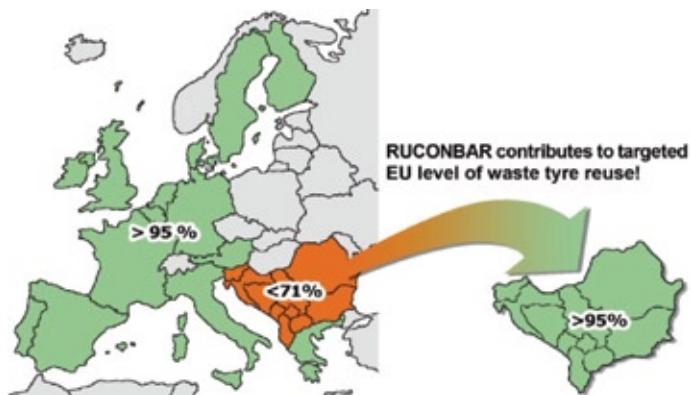


**SI 7:** Izgrađena barijera RUCONBAR u blizini kolodvora Gospic

2019. godine izvedena su opsežna mjerenja razina buke od željezničkog prometa na dionicama Ličke pruge gdje su primijenjene RUCONBAR barijere, te je ustanovljena in-situ vrijednost razine izloženosti buci od željezničkog prometa. Prilikom mjerjenja pri prolasku putničkog vlaka, razlika zabilježene buke je preko 4 dB manja na području gdje je postavljena barijera u odnosu na mjerno mjesto na kojem nema barijere. Razlike u mjerenu buke pri prolasku teretnog vlaka na mjernom mjestu sa i bez barijere su još veće te je na mjestu primjene barijere buka reducirana preko 9 dB. Zaključno, razine buke izmjerene iza barijera do 10 dB su manje u odnosu na razine buke izmjerene na dionicama gdje barijere nisu primijenjene, čime je dokazana učinkovitost izведенog rješenja.

### 3.2 RUCONBAR izvan granica RH

Drugi ključni događaj za proizvod RUCONBAR u 2019. godini, plasman je ovog proizvoda, rezultata napora isključivo hrvatskih znanstvenika i poduzetnika, na strano tržište. Time je postignut jedan od ključnih ciljeva RUCONBAR projekta, a to je europska dodana vrijednost podizanjem stope recikliranja otpadnih automobilskih guma s ciljem očuvana okoliša, Slika 8.



Sl. 8. Jedan od glavnih ciljeva projekta - podizanje ukupne stope recikliranja automobilskih guma

RUCONBAR barijere primijenjene su na dionici obilaznice grada Bitole u Sjevernoj Makedoniji. Na dionici su primijenjene barijere ravnog apsorbirajućeg sloja sa utisnutim logotipom, što dokazuje i raznolike mogućnosti arhitektonskog oblikovanja barijera, Slike 9 i 10. Na obilaznici je ugrađeno ukupno 2448 m<sup>2</sup> panela za zaštitu od buke tipa RUCONBAR.



Sl. 9: Proizvodnja i ugradnja zidova za zaštitu od buke na obilaznici Bitole u Sjevernoj Makedoniji



**Sl 10:** Konačan izgled izvedenih zidova za zaštitu od buke tipa RUCONBAR na obilaznici Bitole

Za proizvodnju RUCONBAR barijera u 2019. godini iskorišteno je 58 t gumenih granula dobivenih reciklažom 9200 otpadnih automobilskih guma. Time je ostvaren trojaki ekološki učinak ovog inovativnog proizvoda kroz recikliranje otpadnih guma, zaštitu od buke te smanjenje stakleničkih plinova. Također su ostvareni dugoročni ciljevi primjene proizvoda na željezničkoj infrastrukturi te izvoza proizvoda na strana tržišta.

## 4. Zaključak

Jednostavna izvedba čini apsorbirajuće betonske barijere vrlo praktičnim za primjenu kako uz nove dionice autoceste tako i uz postojeće prometnice. Posebnu primjenu ova vrsta barijera može naći i u urbanim sredinama gdje do izražaja dolazi jednostavnost i brzina izgradnje. Primjena betonskih zidova za izvođenje zaštite od buke je vrlo praktična kako iz estetskih tako i ekonomskih te graditeljskih razloga. Korištenje produkata reciklaže otpadnih automobilskih guma u apsorpcijskom sloju barijere pomaže očuvanju okoliša rješavajući problem odlaganja automobilskih guma, trošenja prirodnih resursa, a u usporedbi sa sličnim rješenjima smanjuje emisije CO<sub>2</sub> u okoliš i samu cijenu gotove barijere. Ove prednosti uvidjela je i EACI komisija (European Agency for Competitiveness and Innovation) te je projekt RUCONBAR prihvaćen za financiranje kroz sustav EU fondova putem natječaja ECO-Innovation 2010. Proizvod je nakon temeljitih ispitivanja i certificiranja (CE znak) zaživio u standardnoj inženjerskoj praksi u Hrvatskoj, te se također uspješno plasira na strana tržišta. O inovativnom rješenju svjedoči i niz prestižnih nagrada i priznanja ovom jedinstvenom građevinskom proizvodu.

## 5. Literatura

- [1] Kotzen B., English C.: Environmental noise barriers - a guide to their acoustic and visual design, Taylor & Francis, New York, 2009.
- [2] Mehta, P.: "Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development". Concrete International, 24 (7), 23-28, 2002.
- [3] Biliškov, H.: Optimizacija betona s recikliranom gumom /diplomski rad. Zagreb: Građevinski fakultet, (2009) 120 str. Voditelj: Bjegović, Dubravka.
- [4] Lakušić, S.; Bjegović, D.; Marijana, S.: Primjena reciklirane gume na prometnicama, Prometnice - Nove tehnologije i materijali, (ur. S. Lakušić), Zagreb, Građevinski fakultet, Zavod za prometnice, 2010, str. 7-46.
- [5] Bjegović, D., Lakušić, S., Serdar, M., & Baričević, A.: Properties of concrete with components from waste tyre recycling, 6th Central European Congress on Concrete Engineering (CCC 2010), Mariánské Lázně, Czech Republic, pp.134-140, 30. September – 01. October 2010.
- [6] Bjegović, D., Lakušić, S., Serdar, M., Opačak, K.: Primjena reciklirane gume u graditeljstvu, iNDiS 2009, Novi Sad, 2009.
- [7] Baričević, A. ., Lakušić, S., Bjegović, D., Serdar, M. (2013). Special purpose concrete products from waste tyre recyclates, GRAĐEVINAR, 65 (9), 793-801, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.821.2013>

# Zagreb 21-CTT: Novi sustav pričvršćenja tramvajskog kolosijeka

Stjepan Lakušić<sup>1</sup>, Ivo Haladin, Katarina Vranešić

<sup>1</sup> član suradnik HATZ-a u Odjelu građevinarstva i geodezije

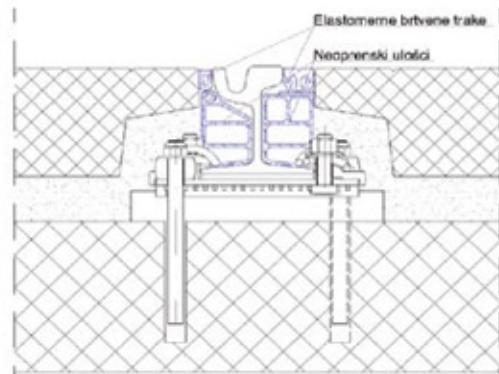
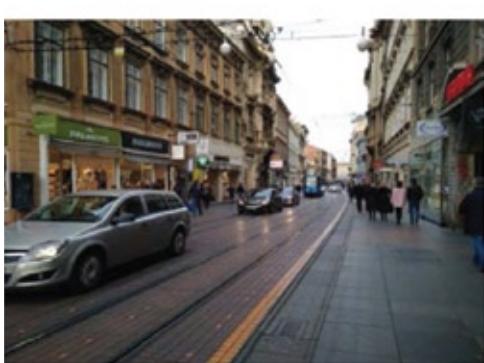
**Sažetak:** Tramvajski kolosijeci u Gradu Zagrebu izloženi su iznimnom prometnom opterećenju koje je jedno od najvećih u Europi. Kako bi se produžio životni vijek tramvajskih kolosiječnih konstrukcija te kako bi se odgovorilo zahtjevima za jednostavnom i ekonomičnom ugradnjom, smanjenjem širenja buke i vibracija te povećanjem otpornosti na lutajuće struje, na Građevinskom fakultetu u Zagrebu razvijen je novi sustav pričvršćenja tramvajskog kolosijeka pod nazivom Zagreb 21-CTT. Navedeni sustav bazira se na dosadašnjim tehnologijama ugradnje uz primjenu vulkaniziranih čeličnih komponenti pričvršćenja čime je postignuta izolacija između pojedinih elemenata. Kako bi se u cijelosti provjerile sve performanse novo razvijenog sustava pričvršćenja, tijekom 2014. godine provedena je ugradnja na ispitnoj dionici u Savskoj cesti u Zagrebu. Za potrebe praćenja ponašanja i stanja kolosijeka izvedenog s novim sustavom pričvršćenja, ispitna dionica je opremljena uređajima za provedbu monitoringa. U radu je dan prikaz sustava pričvršćenja Zagreb 1-CTT te njegove glavne karakteristike na temelju rezultata ispitivanja. Navedeni sustav pričvršćenja je na međunarodnoj izložbi inovacija ARCA 2015 nagrađen srebrnom medaljom

**Ključne riječi:** tramvajski kolosijek, infrastruktura, buka, vibracije, lutajuće struje

## 1. Uvod

Širenjem urbanih sredina potreba za gradskim prijevozom postaje sve veća, a tračnički sustavi, zbog mogućnosti prijevoza velikog broja putnika, postaju sve češći oblik javnog prijevoza u urbanim sredinama. Do kraja 2018. godine laka gradska željeznica i tramvajski promet glavni su oblik prijevoza u 389 gradova širom svijeta [1]. S obzirom na velika prometna opterećenja koja trpi tračnička infrastruktura, zahtjevi koji se postavljaju na kolosijek postaju sve veći, a kako bi se mogli zadovoljiti neizbjježno je pribjegavati novim tehnologijama i rješenjima.

Primjer tračničke infrastrukture s vrlo velikim prometnim opterećenjem jest i tramvajski kolosijek u gradu Zagrebu koji je, zbog velikih frekvencija tramvajskog prometa, izložen jednom od najvećih prometnih opterećenja u Europi [2]. Zbog velike frekvencije prometa, na tračničkoj infrastrukturi u Zagrebu sve češći problem predstavlja visoka razina buke i vibracija, kao i lutajućih struje uslijed prolaska tramvajskoga vozila, naročito kada se uzme u obzir da je 46% pruge smješteno u zoni cestovne prometnice, u neposrednoj blizini zgrada (udaljenost manja od 7 metara) [3][4]. Ukoliko se kolosijeci nalaze u zoni cestovne prometnice zatvoreni su asfaltom, armiranobetonskim pločama ili na neki drugi način te se nazivaju ugrađeni kolosijeci. U gradu Zagrebu kod ugrađenih kolosijeka izolacija tračnice ostvaruje se elastomernim ulošcima na vratu tračnice, a brtvljenje između tračnica i pokrovnih ploča upotrebom elastomernih traka za brtvljenje [5]. S obzirom da se po ugrađenim kolosijecima odvija i promet cestovnih vozila, tijekom eksploracije dolazi do oštećenja armiranobetonskih ploča, propadanja neoprenskih uložaka uz vrat tračnice te ispadanja elastomernih brtvenih traka. Ovakva oštećenja rezultiraju povećavanjem buke i vibracija te prodiranjem vode u kolosijek, čime se stvaraju pogodniji uvjeti za koroziju i lutajuće struje. Primjer tramvajskog kolosijeka u zoni cestovne prometnice, smještenog u neposrednoj blizini zgrade prikazan je na slici 1.

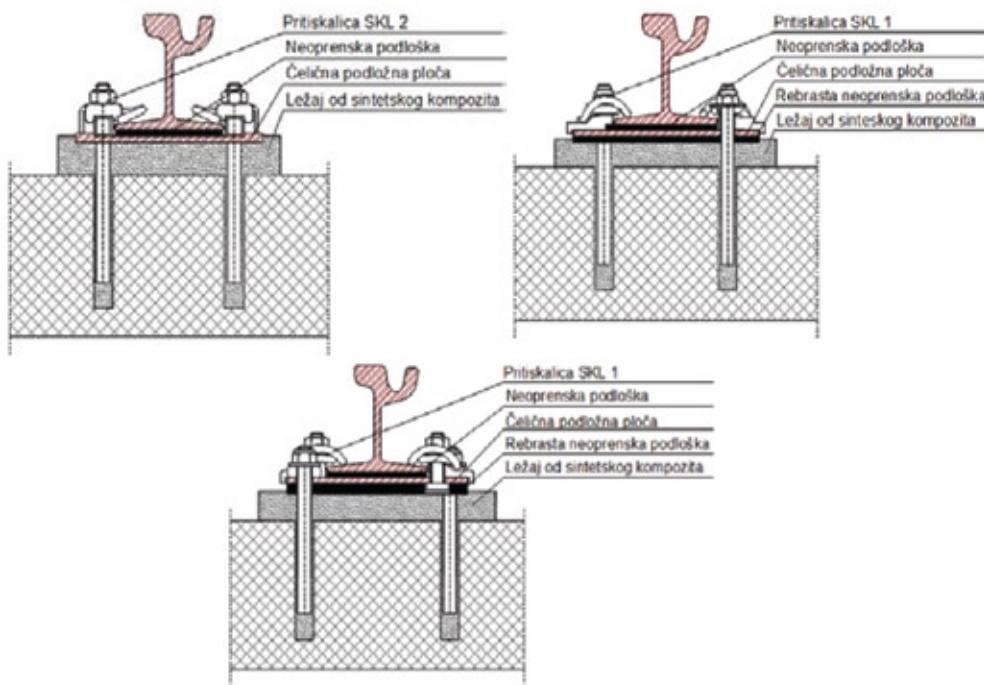


Slika 1: Tramvajski kolosijek u zoni cestovne prometnice, smješten u neposrednoj blizini zgrade [5]

## 2. Postojeći sustavi pričvršćenja na tramvajskome kolosijeku u gradu Zagrebu

Primarna uloga sustava pričvršćenja tračnica jest pozicioniranje i fiksiranje tračnica te prijenos opterećenja na donji ustroj kolosijeka. Tip i karakteristike pričvrsnog pribora ovise o potrebnoj elastičnosti kolosijeka, planiranom prometnom opterećenju, kao i tipu tračnice. Na tramvajskoj infrastrukturi u gradu Zagrebu koriste se žljebaste tračnice koje su diskretno oslonjene i pričvršćene za podlogu [6]. Na svakih metar

tračnice su oslonjene na ležajeve koji su izvedeni na betonskoj podlozi. Na svakome ležajnom mjestu tračnica je preko neoprenskoga podloška položena na čeličnu podložnu ploču koja se dalje oslanja na ležaj od sintetskoga kompozita, a tračnica je za podložnu ploču pričvršćena korištenjem direktnoga ili indirektnoga sustava pričvršćenja [7]. Kod direktnoga sustava tračnica je pričvršćena uz pomoć pritiskalice i sidrenoga vijka koji ujedno pričvršćuje čeličnu podložnu ploču za podlogu, a kod indirektnoga sustava pričvršćenje tračnice omogućeno je pritiskalicom i T-vijkom koji je donjim dijelom pričvršćen za podložnu ploču, a sidreni je vijak odvojen i pomoću njega se ostvaruje jedino pričvršćenje čelične ploče za podlogu [7]. Direktni sustavi pričvršćenja koji se koriste u Zagrebu su jednostruko elastični sustav pričvršćenja „ZG 3/2“ te sustav pričvršćenja povećane elastičnosti „PPE“. Indirektni sustav koji je u primjerni jest dvostruko elastični sustav pričvršćenja „DEPP“. Pojednostavljeni poprečni presjeci navedenih sustava prikazani su na slici 2.



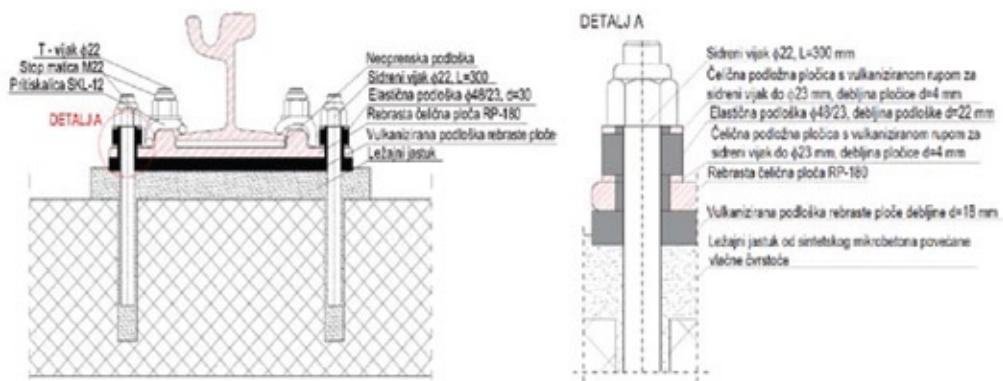
SI 2. Poprečni presjeci sustava pričvršćenja u gradu Zagrebu, a) ZG 3/2, b) PPE, c) DEPP [5]

S obzirom na visoke razine buke i vibracija koje su zabilježene na dionicama tramvajskog kolosijeka s opisanim sustavima pričvršćenja, kako bi se produžio životni vijek tramvajskih kolosiječnih konstrukcija i odgovorilo zahtjevima za jednostavnom i ekonomičnom ugradnjom, smanjilo širenje buke i vibracija te smanjilo štetno djelovanje lutajućih struja, na Građevinskom fakultetu u Zagrebu razvijen je novi sustav pričvršćenja pod nazivom Zagreb 21 – CTT.

### 3. Razvijanje novog sustava pričvršćenja na tramvajskome kolosijeku u gradu Zagrebu – Zagreb 21-CTT

#### 3.1. Opis sustava pričvršćenja Zagreb 21-CTT

CTT je skraćeni naziv za "Classic Tram Track", što znači da se po tradiciji odnosi na zagrebačko iskustvo jer je ovaj sustav pričvršćenja nastao kao nadogradnja postojećih sustava. Kod ovog je sustava, kao i kod sustava koji su u upotrebi u Zagrebu, tračnica diskretno oslonjena i pričvršćena na razmaku od jedan metar. Na svakom je ležajnome mjestu tračnica oslonjena preko neoprenske podloške debljine 10 mm na rebrastu čeličnu podložnu ploču. Čelična podložna ploča dobivena je od valjanog profila čelika, a na nju je s donje strane vulkanizirana elastična podloška kako bi se dobio dodatan stupanj elastičnosti pričvršćenja. Čelična podložna ploča je svojim elastičnim dijelom uronjena u ležajni jastuk koji je izrađen na betonskoj podlozi. Na taj je način ostvarena dvostruka elastičnost. Na čeličnoj su ploči vulkanizirani također i provrti za sidrene vijke. Pričvršćenje tračnica za podložnu ploču ostvareno je T-vijcima i SKL-12 pritiskalicama, a sidrenje ploče ostvaruje se neovisno preko dva sidrena vijka [8]. Elastične podloške za sidrene vijke posebno su projektirane za ovaj sustav, čime je, osim dodatne elastičnosti ostvarila potpuna izolacija sidrenoga vijka te je spriječen kontakt između vijka i čelične podložne ploče i osiguran veći električni otpor. Na slici 3 prikazan je poprečni presjek Zagreb 21-CTT sustava pričvršćenja.



SI 3. Zagreb 21-CTT sustav pričvršćenja kolosijeka

Bez obzira što ovaj sustav predstavlja svojevrsnu nadogradnju postojećih sustava, tijekom njegovog razvoja provedene su brojne varijante i preinake, a u cilju predviđanja detalja sustava, izrađeni su 3D modeli, kao i fizički modeli u stvarnom mjerilu.

### 3.2. Ugradnja sustava na pokusnoj dionici tramvajskog kolosijeka

U kolovozu 2014. godine, Zagreb 21-CTT sustav pričvršćenja ugrađen je na testnoj dionici tramvajskoga kolosijeka u Savskoj cesti u gradu Zagrebu. Na duljini od 55 m izведен je referenti sustav pričvršćenja PPE, a zatim na duljini od 60 m novi sustav pričvršćenja Zagreb 21 – CTT. U svrhu praćenje ponašanja i stanja kolosijeka, ispitna dionica je opremljena i uređajima za provedbu monitoringa. Oni se sastoje od senzora za mjerjenje naprezanja i deformacija, akcelerometara i mikrofona za mjerjenje buke i vibracija, a omogućeno je i mjerjenje lutajućih struja. Na slici 4 je prikazan izvedeni sustav na ispitnoj dionici.



Sl 4. Zagreb 21-CTT pričvršno mjesto prije fiksiranja sidrenoga vijka u beton

Ispod nožice te na vrat tračnice postavljaju se neoprenski ulošci kao što je slučaj i kod ostalih sustava pričvršćenja. Također, zatvaranje kolosijeka sa sustavnom pričvršćenja Zagreb 21-CTT ostvaruje se jednako kao i kod ostalih sustava (armiranobetonske ploče, betonska ispuna sa završnim asfaltnim slojem i sl.). Na slici 5 prikazano je izvođenje opločenja kolosijeka na ispitnoj dionici s armiranobetonским pločama.



Sl 5. Izrada opločenja kolosijeka na ispitnoj dionici, Savska cesta

Nakon ugradnje armiranobetonskih ploča, reške između betonskih ploča i reške između ploča i rubnjaka popunjavaju se posebnim sitnozrnim mortom. Brtljenje spoja betonskih ploča za opločenje kolosijeka i tračnice, umjesto traka za brtljenje koje su inače u primjeni na kolosijeku u Zagrebu, izvodi se upotrebom materijala za zapunjavanje koji se s jedne strane veže na tračnicu, a s druge strane na armiranobetonsku ploču. Na taj se način sprječava prodiranje vode u kolosijek, zbog čega je djelovanje elektrokemijske korozije i lutajućih struja smanjeno.

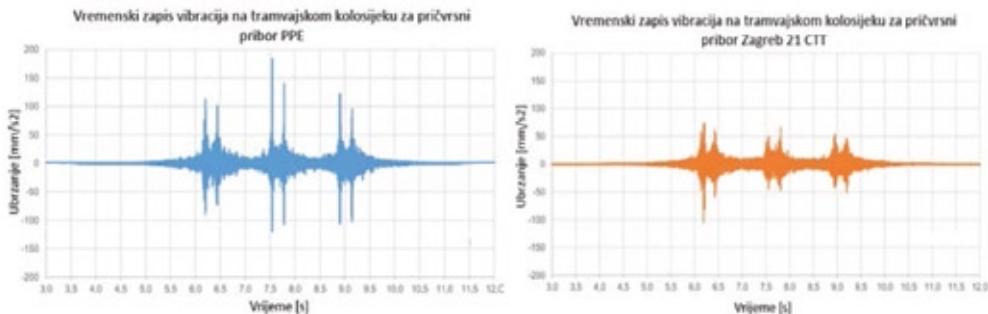
Kod ugradnje elastomernog materijala potrebno je voditi računa o tome da se smjesa ravnomjerno nanosi u predviđenu rešku kako bi se spriječilo procjeđivanje smjese u donje slojeve konstrukcije i zaštitili elementi konstrukcije na koje se sredstvo ne nаноси (vozna površina tračnica i gornja površina betonske ploča. Na slici 6 prikazana je ugradnja materijala za zapunjavanje.



**Sl 6.** Ugradnja materijala za zapunjavanje umjesto traka za brtljene

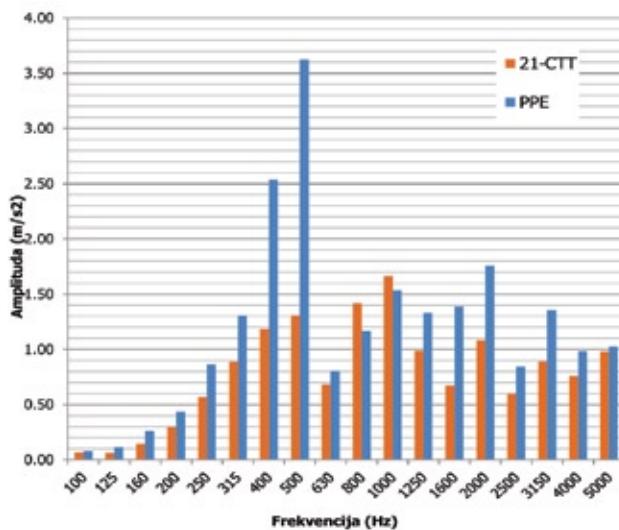
## 4. Provedba ispitivanja i diskusija

U prvoj fazi ispitivanja izvršena su mjerena vibracija pri prolasku ispitnog vozila. Mjerenja su vršena u noćnim satima, uz korištenje određenog tramvaja TMK 2266 pri konstantnoj brzini kao izvora pobude, kako bi se eliminirali vanjski utjecaji. Pomoću akcelerometara mjereno je vertikalno i horizontalno ubrzanje tračnica. Pričvršćenje akcelerometara omogućeno je pomoću magneta, a pristup tračnici pomoću okna koje je prilikom rekonstrukcije ugrađeno uz tračnicu [9]. Vibracije je prouzrokovalo tramvajsko vozilo koje se kretalo konstantnom brzinom od 15 km/h i 30 km/h. Vremenski zapis vibracija na kolosijeku prikazan je na slici 8 za pričvrsni pribor PPE te na slici 7 za pričvrsni pribor Zagreb 21 CTT.



**SI 7.** Izmjerene vibracije - referentni sustav PPE (lijevo) i Zagreb 21 CTT (desno)[9]

Zabilježeni su znatno bolji rezultati u odnosu na standardni sustav pričvršćenja (PPE) koji je u uporabi na tramvajskoj infrastrukturi u Zagrebu. Kod standardnog PPE sustava pričvršćenja izmjerene su visoke razine vibracija koje je prouzrokovao tramvaj prilikom prometovanja, a novim je sustavom ostvareno smanjenje ekvivalentne razine vibracija od 3 dB u usporedbi sa PPE sustavom koje je uzrokovao tramvaj vozeći brzinom od 30 km/h. Usporedba izmjerениh razina vibracija u frekventnom području prikazana je na slici 8. Smanjenjem visokofrekventnih vibracija tračnica (u rasponu od 100 Hz do 5000 Hz), što je dokazano ovim ispitivanjima, smanjuje se emisija buke koju emitira kolosijek pri prolasku tramvajskih vozila.



**SI 8.** Razine vibracija u frekventnom području od 100 HZ do 5000 Hz koje utječu na stvaranje buke [9]

Kao što je već ranije navedeno, sustav pričvršćenja Zagreb 21 CTT, zbog bolje izoliranosti elemenata pričvršćenja odlikuje veću vrijednost električnog otpora, zbog

čega su smanjene vrijednosti lutajućih struja. Detaljna učinkovitost na djelovanje lutajućih struja i usporedba sa ZG 3/2, PPE i DEPP sustavima pričvršćenja trenutno je u fazi ispitivanja na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu dok su prethodna ispitivanja utjecaja lutajućih struja provedena na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.



**SI 9.** Provedba ispitivanja utjecaja lutajućih struja na sustav pričvršćenja tračnica

Inovativnost Zagreb 21-CTT sustava za pričvršćenje tramvajskog kolosijeka koji ima odlike smanjenja vibracija te povećanja otpornosti na lutajuće struje, potvrđena je na 14. međunarodnoj izložbi inovacija ARCA 2016, gdje je inovacija nagrađena zlatnom medaljom, sl. 10.



**SI 10.** Zlatna medalja na izložbi inovacija ARCA 2016 za inovaciju Zagreb 21-CTT

## 5. Zaključak

U tablici 1 prikazana su svojstva novog sustava pričvršćenja Zagreb 21 CTT u usporedbi sa standardnim sustavom koji se sada primjenjuje u gradu Zagrebu. Pokazano je da su novim sustavnom pričvršćenja, zbog korištenja standardnog željezničkog materijala koji postiže nisku tržišnu cijenu uslijed serijske proizvodnje, smanjeni troškovi proizvodnje. Također, zbog bolje izolacije, ostvarena je veća zaštita od lutajućih struja, smanjena je razina buke i vibracija, uz jednake mjere održavanje kakve su se i do sada provodile na tramvajskoj infrastrukturi.

**Tablica 1.** Usporedba svojstva dionice Zagreb 21 CTT obzirom na referentnu dionicu [10]

Svojstvo	Zagreb 21-CTT
Brzina ugradnje	=
Cijena	+
Zaštita od lutajućih struja	++
Održavanje	=
Trajinost	+
Širenje vibracija	+
Širenje buke	+
= svojstvo slično referentnoj dionici PPE	
+ pozitivna promjena u odnosu na referentnu dionicu PPE	

U ovom radu je prikazan novi sustav pričvršćenja Zagreb 21 – CTT koji je ugrađen na probnoj dionici u Savskoj cesti u Zagrebu tokom 2014. godine. Nakon eksploatacije, usporedili su se rezultati s referentnim sustavom PPE. Novo razvijenim sustavom poboljšana je i trajnost kolosiječne konstrukcije te smanjeno širenje vibracija i buke. Ispitivanjima koja su trenutno u fazi provedbe dokazuje se znatno veća zaštita od lutajućih struja u odnosu na referentni sustav.

Sudeći po rezultatima, radi se o sustavu pričvršćenja koji će na tramvajskim kolosijecima u Zagrebu naći sve veću primjenu, što će rezultirati duljim životnim vijekom tramvajskih pruga, a samim time i manjim troškovima održavanja.

## 6. Literatura

- [1] UITP, “The Global Tram and Light Rail Landscape - Statistics Brief,” no. October, pp. 1–8, 2019, [Online]. Available: [https://cms UITP.org/wp-content/uploads/2020/09/Statistics-Brief-World-LRT\\_web.pdf](https://cms UITP.org/wp-content/uploads/2020/09/Statistics-Brief-World-LRT_web.pdf).

- [2] Lakušić S., Haladin, I., Vranešić, K.: Zagreb 21-CTT: novi sustav pričvršćenja kolosijeka za smanjenje vibracija te povećanje otpornosti na lutajuće struje, Automation in transportation, Krapina, str. 1-4, 2016.
- [3] Unapređenje javnog prijevoza putnika u gradu Zagrebu s naglaskom na tramvajski i autobusni prijevoz, Okrugli Stol, Zagreb, 25.9.2013.
- [4] Lakušić, S., Haladin, I., Vranešić, K.: Tračnička infrastruktura u potresom pogodjenim područjima, Građevinar, 72 (2020) 10, pp. 905–922, DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.2967.2020>
- [5] Vranešić, K., Lakušić, S., Serdar, M.: Korozija i lutajuće struje na tračničkoj infrastrukturni u urbanoj sredini, Građevinar 72 (2020) 7, pp. 593–606, 2020, DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.2909.2020>
- [6] Haladin, I., Lakušić, S., Ahac, M.: Vibro-acoustic performance of newly designed tram track structures, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, doi:10.1088/1757-899X/236/1/012046
- [7] Vranešić, K., Lakušić, S.: Smanjivanje djelovanja lutajućih struja na kolosiječne konstrukcije, Peti skup mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti - ZAJEDNIČKI TEMELJI 17, Rijeka, 2017, pp. 47–53.
- [8] Lakušić, S., Haladin, I., Škare, L.: Novi sustavi pričvršćenja kolosijeka na tramvajskim prugama u Zagrebu, Dani prometnica 2015 Kvaliteta prometne infrastrukture - ključ razvoja gospodarstva, 2015, pp. 39-60.
- [9] Lakušić, S., Haladin, I., Košćak, J.: Izvještaj o kontroli stanja gornjeg ustroja kolosijeka na ispitnoj dionici tramvajske pruge na Savskoj ulici, Zagreb, 2015.

# Digitalizacija poduzeća – priprema za digitalnu ekonomiju EU i 4. Industrijsku revoluciju

Niko Majdandžić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> član emeritus HATZ-a u Odjelu informacijskih sustava

**Sažetak:** Prateći rastući utjecaj ITC na razvoj gospodarstva i cjelokupnog društva, i zemlje EU definirale su svoje programe razvoja ITC u cilju stvaranja zajedničkog informacijskog društva (e-2005., i-2010., i digitalna agenda za Europu 2020). U sadržaju tih programa definirani su i daljnji zadaci na razvoju ERP sustava u kojima značajno mjesto zauzimaju inovacije u integraciji različitih ITC proizvoda i ERP sustava, čime se smanjuju vremena pripreme i ciklus proizvodnje. Pored rješenja koja, uglavnom za svoje proizvode, nude vodeći svjetski proizvođači ERP sustava (SAP, Peoplesoft, Oracle, Lawson, Microsoft...) u ovom radu opisani su i inovativni doprinosi hrvatskih informaticara na digitalnoj transformaciji integracijom PDM-ERP, CAD/CAM-ERP, Planning-ERP i Excel-ERP ostvareni u poduzećima Hrvatske, Bosne i Hercegovine i Austrije. Na taj je način pored znanstvenog doprinosa razvoju ITC, ostvarena je i praktična pomoć u pripremi poduzeća za digitalno društvo EU i 4.industrijsku revoluciju

**Ključne riječi:** ERP sustavi, digitalna poduzeća, 4.Industriska revolucija

## 1. Uvod

Toliko smo radikalno izmijenili svoju okolinu da se moramo sami izmijeniti kako bi u njoj, takvoj novoj, opstali....

*Norbert Wiener*

Najava 4. Industrijske revolucije predviđa drastičnu promjenu ljudske svakodnevni- ce, društvenih procesa i gospodarstva, definirajući poduzeća budućnosti prilagođena pojedinačnoj tražnji kupaca. Značaj promjena i prognozu očekivanja najavio je Klaus Schwab predsjednik Svjetskog gospodarskog foruma u Davosu, koji je napisao i poklonio sudionicima knjigu „Četvrta industrijska revolucija“, prognozirajući razvoj drugačiji od svega što je čovječanstvo do sada doživjelo. Značaj digitalizacije za zemlje EU ogleda se i u posebnom samitu premijera država u Talinu 2017. godine posvećenom digitalnoj budućnosti EU. Tom prilikom je Angela Merkel istakla da EU

mora ostati u vrhu rezultata digitalizacije društva i ekonomije. Značaj digitalizacije istaknula je kao jedan od tri najvažnija cilja i Bugarska kao novi predsjedavajući EU. Predsjednik EU komisije Jose Manuel Barroso je još 2006 izjavio: „Dok se u zadnjih 10 godina proizvodnja u EU kontinuirano usporava, u istom se razdoblju u SAD-u ona gotovo udvostručila. Ovdje se ne radi samo o gospodarskoj konkurentnosti, ovdje je riječ o onome što mi želimo od budućnosti: o tome da želimo da našoj djeci bude bolje nego što je bilo nama, o tome da sami sebi želimo osigurati komfornu mirovinu i socijalno sigurnu Europu. Zbog svih tih razloga moramo implementirati efektivnu i inovativnu ICT strategiju – na lokalnoj, nacionalnoj kao i europskoj razini.“ Nakon epidemije korona virusa u 2020. su čelnici EU planirali izdvajanje 750 milijardi eura kao pomoć u transformaciji gospodarstva kako bi postala zelena i digitalna te osiguralo nove oblike rasta, povećalo koheziju i otpornost EU.

Razvojni procesi koji obilježavaju 4. Industrijsku revoluciju mogu se podijeliti na:

- Zajedničke razvojne ITC komponente (cloud computing, big data, mobilne aplikacije, internet of things, social works, dron, 5G mreža)
- Razvojne inovativne tehničko-tehnološke procese pripreme i proizvodnje.

U Razvojne inovativne tehničko-tehnološke procese pripreme i proizvodnje pripadaju:

- Automatizacija
- Robotizacija
- Aditivna proizvodnja
- Pametni proizvodni elementi
- Novi materijali
- Umjetna inteligencija
- Digitalizacija poduzeća.

Prateći trendove i rezultate 4. Industrijske revolucije pojedine razvojno orijentirane institucije i privatna poduzeća i kod nas, ostvarili su značajne rezultate u pojedinim segmentima pripreme za pametne tvornice kao cilja Industrije 4.0. Biti će navedeni pojedini primjeri ostvarenih rješenja u domenu digitalizacije poduzeća prema saznanjima ili i sudjelovanju autora u projektima tvrtke Informatički inženjerинг – ININ d.o.o iz Slavonskog Broda.

## **2. Primjeri doprinosa hrvatskih znanstvenika i stručnjaka u razvoju ERP sustava za digitalna poduzeća**

Pored značajnih doprinosa u robotici (FSB, Centar kompetencije za robotiku HGK, FER, ICENT), mobilnim aplikacijama koje su uspješno osvojile i svjetska tržišta, automatizaciji i razvoju aditivne proizvodnje (FSB Centar za aditivne tehnologije,

poduzeća za usluge 3D printanja) u Hrvatskoj postoje određeni doprinosi ostvareni i u razvoju ERP sustava za potrebe digitalne ekonomije i izgradnje digitalnog poduzeća.

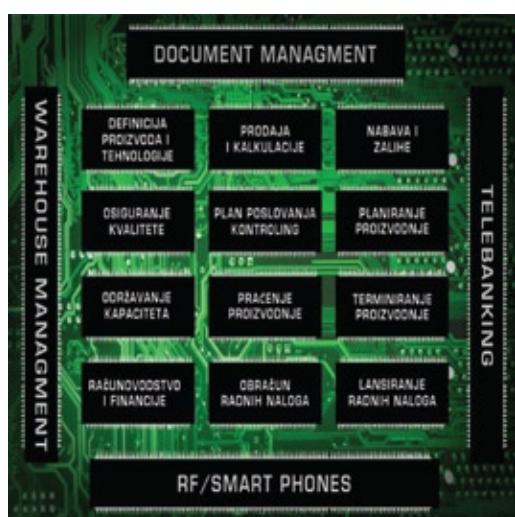
Digitalno poduzeće predstavlja tako informatički organizirano poslovanje i proizvodnju, u kojima su sve informacije dostupne u elektroničkom obliku, s bilo kojeg mesta u poduzeću, u bilo koje vrijeme, uz direktnu razmjenu elektronskih podataka sa poslovnim partnerima, državnim institucijama i bankama uz automatizaciju integriranih poslovnih procesa u virtualnom svijetu [1]. Od početka razvoja digitalnih poduzeća interes i ulaganja u razvoj rastu eksponencijalno. Digitalizacija predstavlja proces prelaska iz analognog u digitalni oblik rada u poduzeću.

Razlikujemo internu i eksternu digitalizaciju. Interna digitalizacija sadrži:

- prijenos analognih procesa u digitalne (ostvarivanje digitalne komunikacije među odjelima, među zaposlenicima, strojeva sa strojevima, zaposlenika sa strojevima)
- pretvaranje papirnate dokumentacije u digitalne zapise
- ostvarenu integraciju primijenjenih programskih sustava i ERP.

Eksterna digitalizacija sadrži:

- digitalno povezivanje poduzeća sa poduzećem – B2B
- poduzeća sa državnim tijelima – B2G
- poduzeća sa kupcima i dobavljačima – B2C
- poduzeća sa komorama, finansijskim i obrazovnim ustanovama.



**Slika 1**  
Struktura podsustava ERPINS sustava

Proces prelaska iz klasičnog u digitalni oblik rada u poduzeću nazivamo digitalnom transformacijom.

Pored vodećih svjetskih ERP sustava (SAP, BaaN, EFAS, GEMMS, JBA, System 21, PRMS CA, Scala) na Austrijskom, Hrvatskom i tržištu Bosne i Hercegovine prisutna je svojim rješenjima u integraciji IT proizvoda u ERP sustav i razvoju digitalne proizvodnje tvrtka Informatički inženjeri – ININ d.o.o. iz Slavonskog Broda, s ERP sustavom ERPINS i inačicama za drvnu, građevinsku, prehrambenu, metaluršku, metalnu i elektro industriju čija je struktura prikazana na slici 1 [2].

U razvoju ERP sustava za digitalna poduzeća jednu od najvažnijih doprinosa predstavljaju inovacije u integraciji različitih ITC proizvoda u ERP sustav, čime se smanjuju vremena pripreme i organiziranja proizvodnje i cjelokupnog poslovanja. Ove inovacije se mogu svrstati u sljedeće skupine [3]:

- integracija podataka
- integracija PDM-ERP
- integracija tehničkih proračuna u ERP sustav
- integracija CAM-ERP
- integracija EXCEL-ERP
- integracija planiranja i terminiranja i ERP.

ERP sustav SAPS/4 HANA tvrtke SAP predstavlja inteligentni ERP sustav za digitalni svijet koji kombinira naprednu tehnologiju, integrira ITC programske sustave i time podržava digitalne procese.

## 2.1. Integracija podataka

Na današnjoj razini ERP sustava prisutan je proces integracije podataka organiziranih u skladišta podataka i novih modela i metoda za analizu podataka i proračun očekivanih trendova poslovanja, gotovih specijaliziranih programskih sustava za dubinske analize poslovanja (Rudarenje podataka-Data Mining, Analitičko procesiranje-ON line analytical-OLAP) i ERP sustava kao i poslovnih i pripremnih procesa u poduzeću, u cilju povećanja učinkovitosti ERP sustava, smanjenje vremena u prijenosu podataka između sustava i stvaranje prepostavki za razvoj digitalnih poduzeća ili digitalizacije rada povezanih procesa.

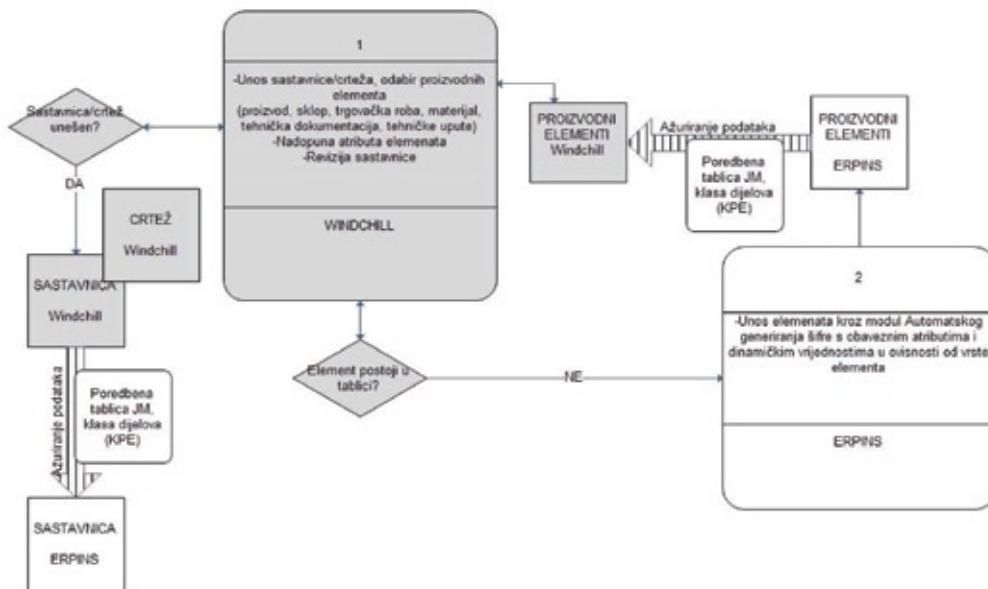
## 2.2 Integracija PDM-ERP

Sustav za upravljanje podacima o proizvodu (Product Data Management-PDM) služi konstruktorima za upravljanje s podacima (modelima, crtežima, dokumentima). Dio tehničke dokumentacije je i sastavnica proizvoda koja pokreće pripremu i proizvodnju u poduzeću. Pored proizvođača ERP sustava koji ugrađuju i integriraju PDM sustave u svoje ERP proizvode postoje i IT tvrtke koje razvijaju integraciju CAD sustava i ERP sustava različitih proizvođača [4].

Na slici 2 prikazana je shema integracije PDM i ERP sustavima razvijena za integraciju Windchill – ERP a ostvarena je u poduzeću Končar mjerni transformatori d.d. (renomirani EU proizvođač i sa tvornicom u Kini) u sljedećim koracima:

- definiranje atributa njihovih oblika i formata za prijenos iz Windchill u ERP

- korištenje zajedničkih šifri iz šifarnika u ERP sustavu kao i dodjeljivanje novih šifri
- priprema za prijenosa uz dijagnostiku ispravnosti
- dopuna atributima koji su potrebni za proizvodnju (generiranje proizvodne iz konstrukcijske sastavnice)
- prijenos strukture i proizvodnih elemenata iz Windchill u ERP
- automatski proračun tehnoloških vremena za proizvodne faze.



Slika 2 Shema integracije Windchil-ERP

## 2.3. Integracija tehničkih proračuna u ERP sustav

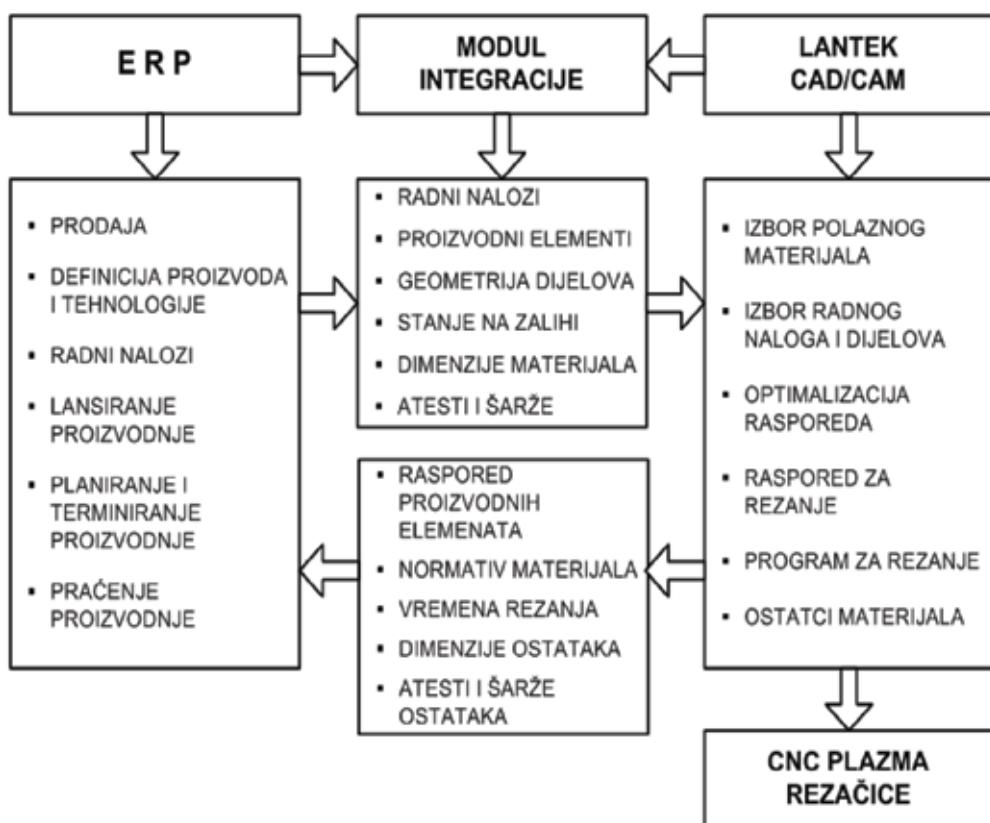
Prilikom projektiranja proizvoda moguće je nakon unosa zahtijevanih karakteristika proizvoda i izbora materijala, obaviti proračun, provjeriti ostvarene tehničke zahtjeve i popuniti u bazi podataka podatke o proizvodu, normativu i upotrijebljenom materijalu.

Primjer predstavlja unos zahtjeva za proizvod –oprugu u poduzeću ESCO d.o.o., u dobivanju podataka o proizvodu nakon proračuna te automatskog prijenosa podataka o proizvodu u bazu podataka o proizvodu. Integracija definiranja proizvoda (proračun- izbor materijala-crtež) uz unos tehnologije i brza izrada kalkulacije, omogućili su brzi odgovor na upit kupca a inovativna vlastita rješenja automata i integriranje

tehnoloških operacija izrade i toplinske obrade za izradu opruga, omogućili su poduzeću osvajanje 30% EU tržišta dvokrakih opruga.

## 2.4. Integracija CAM-ERP

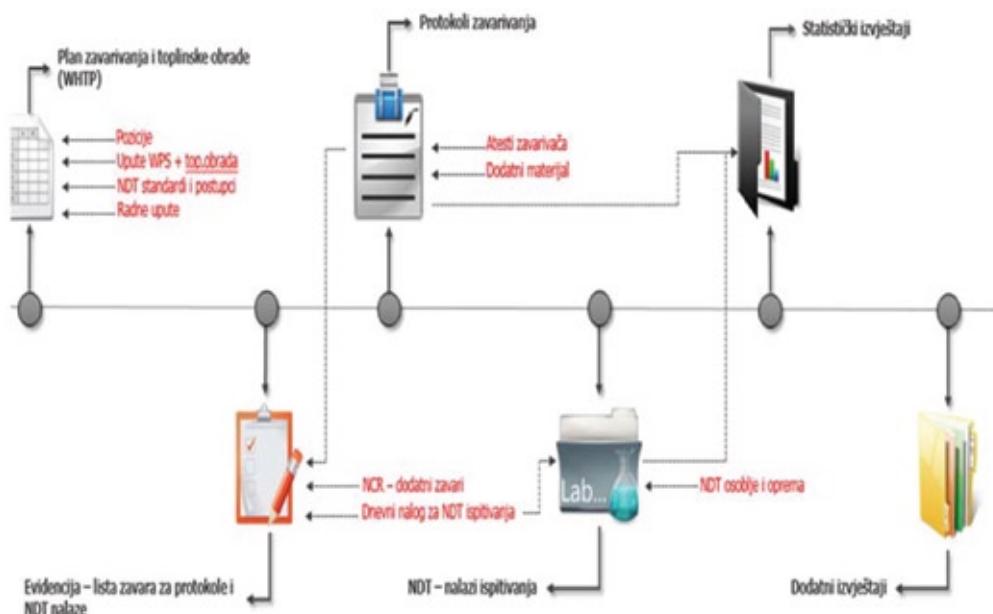
U poduzećima proizvodnje energetske i industrijske opreme značajnu proizvodnu operaciju predstavlja rezanje proizvodnih elemenata iz zajedničkog polaznog materijala, najčešće tabli limova. Razvijeni su programski sustavi koji optimiziraju raspored u cilju najboljeg iskorištenja materijala kao i izradu programa za rezanje na plazma ili plinskim CNC rezačicama. U nekoliko naših poduzeća primijenjen je sustav Lantek CAD/CAM tvrtke Lantek iz Španjolske. Rješenje integracije Lantek i ERP, čime se smanjuje ručni unos ostvareno je u poduzeću Končar metalne konstrukcije d.d. prema slici 3.



Slika 3 Shema integracije Lantek CAD/CAM i ERP

Za potrebe integracije sudionika procesa zavarivanja (projektni biro, tehnologija zavarivanja, osiguranje kvalitete-ne razorna ispitivanja, praćenje proizvodnje) uključivo praćenje atesta zavarivača i atesta postupaka, razvijen je sustav izrade plana zavarivanja za potrebe ĐĐ Proizvodnja energetske opreme d.d. (jedan od najvećih proizvođača tlačnih dijelova i opreme kotla komora) prema modelu na slici 4.

Razvijeni su i različiti modeli za brzu ili automatsku izradu tehnoloških postupaka proizvodnje (automatska izrada CNC programa za rezanje prema parametarskim predlošcima za rezanja dijelova vagona u ĐĐ Tvorница šinskih vozila, automatska izrada parametarski definiranih dijelova za bušotinske glave za klasične i CNC strojeve, određivanje tehnoloških parametara prema kemijskom sastavu jezgri u Končar merni transformatori d.d.)



Slika 4 Sustav upravljanja procesom zavarivanja

## 2.5. Integracija EXCEL-ERP

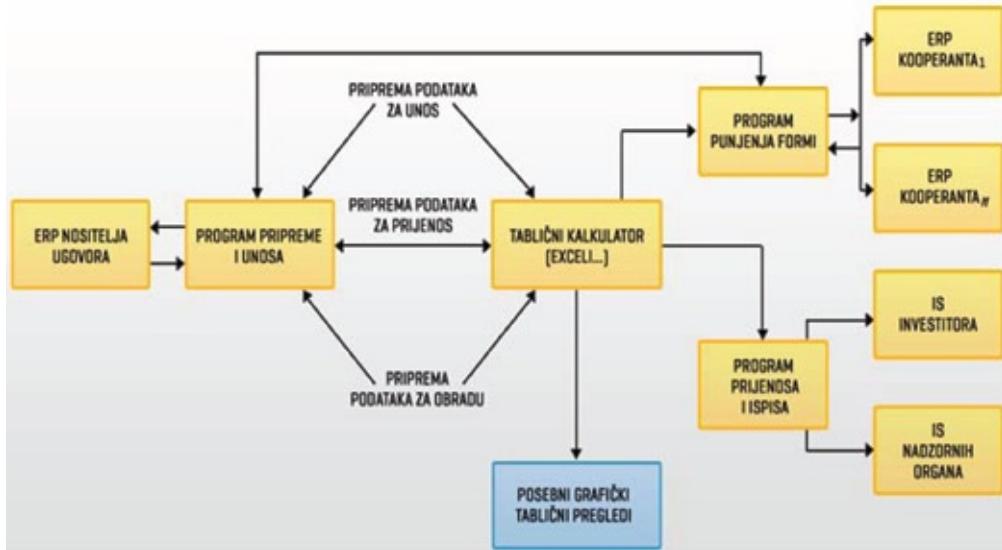
U poduzećima projektnog tipa pa čak i u poduzećima projektnog i proizvodnog tipa postoji potreba direktnog prebacivanja iz EXCEL formiranog dokumenta (sastavnica, transportna sastavnica, plan zavarivanja, toplinske obrade i ispitivanja) u ERP sustav kao i iz ERP sustava u EXCEL dokument.

Pored navike rada u EXCEL-u, postoje i praktične potrebe: kupac šalje definiranje zahtjeva u EXCEL tablici kao i komunikaciju ostvarenih projektnih ili konstrukcijskih

rješenja u EXCEL-u, a prilikom rada kooperacije na dokumentu nositelja posla potrebno je „učitati“ njegov dokument iz EXCEL dokumenta u zajedničku sastavnicu u ERP sustavu nositelja.

Integracija se obavlja (primjer NEXUS d.o.o) na slijedeći način slika 5:

- izrada formi za unos u tabličnom obliku koji simulira unos u EXCEL tablice zbog navike na takav način unosa u tehničkim uredima
- prijenos podataka iz ERP u EXCEL
- Prijenos podataka iz EXCEL u ERP.



Slika 5 Integracija EXCEL-ERP

## 2.6. Integracija sustava planiranja i terminiranja i ERP

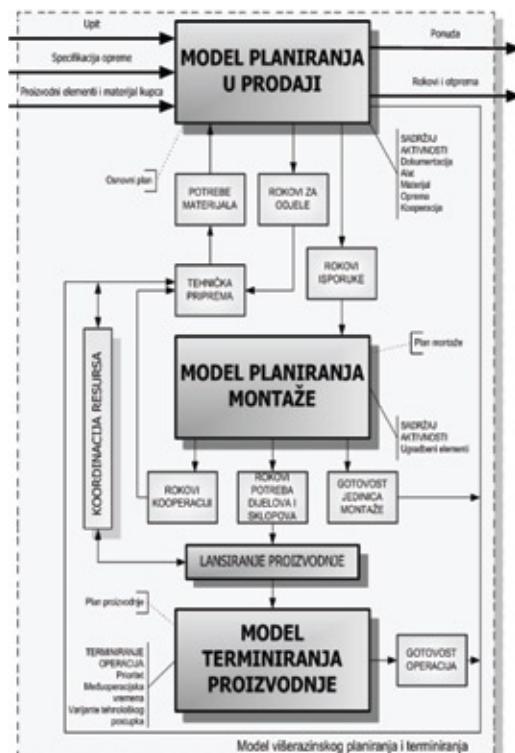
Planiranje i terminiranje su najznačajniji alati u ERP sustavu koji omogućavaju ispunjenje ugovorenih rokova. Planiranje definiramo kao raspoređivanje aktivnosti određene duljinom trajanja, potrebnim resursima i izvršiteljima a terminiranje kao raspoređivanja faza ili tehnoloških operacija na raspoložive proizvodne kapacitete s izračunatim vremenom iz radnog naloga i tehnoloških postupaka. U digitalnom poduzeću sustav planiranja se koristi za simuliranje tražene proizvodnje i usluga, provjeru i rezervaciju resursa (simuliranje stvarnog rada u virtualnom obliku u "dvojniku" poduzeća).

Pored sustava planiranja (PRIMAVERA, Ms Project, Preactor FCS200, Bitrix 24, Quantiq, pc/MRP,...) postoji danas u svijetu i veći broj uspješno primijenjenih

modela za terminiranje (Quick Schedule, Taylor Scheduler, The Planer, Job Time) koji se koriste u pojedinim granama industrije, te se uz određene dorade pokušavaju primijeniti u ERP sustavima pojedinih poduzeća.

Osnovni nedostaci primjene ovih sustava koji samostalno rade bez integracije u ERP sustav u integriranim procesima digitalnih poduzeća su:

- sve promjene u resursima se moraju ponovo unositi, a već se evidentiraju u ERP sustavu u procesu ažuriranja
- izlazni rezultati sustava planiranja i terminiranja ne mogu se koristiti direktno u ERP sustavu (za dinamički obračun i praćenje rezultata poslovanja, utjecaja rebalansa na rokove, korekcije plana nabave)
- nije omogućena integracija planiranja i terminiranja (rokovi potreba iz planiranja su traženi rokovi gotovosti za terminiranje)
- prijava gotovosti operacija (na upisnim mjestima i bar kod čitačima) obavlja se u ERP sustavu te nije integrirana u prikaz gotovosti aktivnosti planiranja
- nije moguća izrada planova u virtualnom procesu digitalnih poduzeća u cilju uočavanja stanja i potreba resursa.



Slika 6 Model višerazinskog planiranja

Sustav višerazinskog planiranja i terminiranja integriran u ERP sustav značajno smanjuje vrijeme potrebno za izradu planova i rebalans plana. U različitim inačicama primjenjen je u Končar mjerni transformatori d.o.o., Aluminij d.d. Mostar za peći za lijevanje, ĐD Proizvodnja energetske opreme d.o.o. plan rada biroa) Osnovni cilj višerazinskog planiranja predstavlja integracija planiranja i terminiranja s ERP sustavom u cilju direktnog korištenja resursa iz ERP sustava kao što je prikazano na sl. 6.

Sustav sadrži tri povezane razine planiranja i terminiranja [5]:

- Osnovni plan aktivnosti odjela pripreme i proizvodnje
- Plan montaže ili faza proizvodnje
- Termin plan proizvodnih kapaciteta.

U osnovnom planu (prva razina planiranja) definiraju se zadaci odjela prodaje, razvoja, konstrukcije, tehnologije, priprema proizvodnje, nabave, osiguranja kvalitete i proizvodnje na realizaciji ugovora ili/ i radnog naloga. Pored trajanja i veza aktivnosti (preklop, zazor ili nastavak na početak ili kraj neke od prethodnih aktivnosti) aktivnostima se pridružuju potrebni resursi za obavljanje: nositelji i izvršitelji kao i potrebna dokumentacija, alati, materijali, standardni elementi i jedinice montaže.

Prijavom gotovosti izvršitelja omogućuje se kontrola planiranih rokova te rebalans plana koji pokazuje u slučajevima kašnjenja pojedinih izvršitelja odnosno aktivnosti, koliko se može očekivati ukupno kašnjenje plana u cilju poduzimanja korektivnih akcija na saniranju kašnjenja.

Praćenje plana obavlja se prijavom gotovosti aktivnosti od strane nositelja. Opcijom rebalans plana dobije se nova verzija plana s prikazom očekivanih rokova na preostalim aktivnostima i time pomicanje planiranog roka završetka plana. Na taj način se omogućuju pravovremene korekcije trajanja preostalih aktivnosti angažiranjem dodatnih kapaciteta ili paralelnim obavljanjem pojedinih aktivnosti.

Drugu razinu predstavlja planiranje ili terminiranje aktivnosti montaže ili faza proizvodnje skupine proizvodnih elemenata, sastava ili/i ispitivanja. Planiraju se i raspoređuju aktivnosti koje predstavljaju tehnološke operacije uz definiranje potrebnih kapaciteta i ugradbenih jedinica. Raspoređivanje aktivnosti moguće je obaviti na dva načina. Po prvom načinu aktivnosti se raspoređuju provjerom resursa i kapaciteta, unatrag od datuma završetka aktivnosti proizvodnje, montaže i ispitivanja u osnovnom planu prema tehnološki predviđenim vremenima trajanja, a ukoliko se raspored ne obavi do datuma početka u osnovnom planu, povećava se angažman kapaciteta ili se pomiče datum završetka.

Drugu razinu predstavlja planiranje ili terminiranje aktivnosti montaže ili faza proizvodnje skupine proizvodnih elemenata, sastava ili/i ispitivanja. Planiraju se i raspoređuju aktivnosti koje predstavljaju tehnološke operacije uz definiranje potrebnih kapaciteta i ugradbenih jedinica. Raspoređivanje aktivnosti moguće je obaviti na dva načina. Po prvom načinu aktivnosti se raspoređuju provjerom resursa i kapaciteta, unatrag od datuma završetka aktivnosti proizvodnje, montaže i ispitivanja u osnovnom planu prema tehnološki predviđenim vremenima trajanja, a ukoliko se raspored ne obavi do datuma početka u osnovnom planu, povećava se angažman kapaciteta ili se pomiče datum završetka.

Na trećoj razini polazi se od potreba ugradbenih jedinica (sklopova-S, dijelova-D i standardnih elemenata-T) na operaciji sastava (nalaze se u tehnološkim operacijama sastava), te terminiranjem unatrag izrade svih potrebnih ugradbenih jedinica iz vlastite proizvodnje, odnosno dobivanjem rokova potrebe za tuđe gotove proizvode

i operacija na kooperaciji. Ukoliko se ne terminira niti planira sastav ili montaža, obavlja se terminiranje izrade dijelova i sklopova prema prioritetima radnih naloga i hijerarhijskim razinama sklopova i dijelova. Ukoliko se terminira proizvodnja bez plana montaže sustav radi terminiranje prema ugovorenim rokovima unazad prema potrebama operacija po prioritetu i raspoloživim strojnim i ručnim radnim mjestima.

### **3. Prijedlog daljeg razvoja ERP sustava za digitalizaciju gospodarstva**

Evidentan je dolazak 4. Industrijske revolucije i potrebno je prilagoditi se zahtjevima koje postavlja digitalni način poslovnog komuniciranja. U protivnom biti ćemo prisiljeni kupovati i prilagođavati rješenja iz razvijenih zemalja. Moguća su dva pravca vlastitog razvoja:

- Daljnji razvoj već postojećih rješenja ostvarenih u pojedinim našim poduzećima
- Primjena ostvarenih rezultata u tvrtkama EU.

Pored već ostvarenih rezultata u našim poduzećima postavljaju se slijedeći novi zadaci za razvoj digitalizirane pripreme i proizvodnje:

- Razvoj modela automatske izrade tehnologija za proizvode metalne i elektro-industrije za univerzalne proizvodne kapacitete, tehnologije zavarivanja kao i programa za robote, obradne centre i CNC strojeve te lasersko i rezanje vodenim mlazom
- Razviti model distribucije proizvodne dokumentacije (crteži, radni postupci, radni listovi) u digitalnom obliku na proizvodna radna mjesta
- Razviti model prijave gotovosti operacija i gotove količine direktno računalom upravljanju strojeva i proizvodnih linija
- Model dnevnog plana dopuniti s digitalnim zadacima za provjeru i dopremu alata, dokumentacije i materijala prema terminiranim rokovima izrade operacija
- Ugraditi model WMS (Warehouse Management System) u ERP te omogućiti praćenje sljedivosti prema novim standardima pojedinih grana industrije (tračnička vozila, automobilska industrija, energetska, prehrambena i kemijska postrojenja)
- U sustav višerazinskog kapaciteta uključiti kapacitete s posebnim modelom definiranja raspoloživosti (AKZ zaštita, toplinska obrada, zavarivanje, NDT ispitivanje, lijevanje, kovanje)
- Razviti model integriranja aditivne proizvodnje (3D printer) u ERP.

Na slici 7 prikazana je mogućnost razvoja i uvođenja digitaliziranog radnog mesta u proizvodnji (montaža, sastav).



Slika 7 Digitalizirano radno mjesto montaže

## 5. Zaključak

Moderno tržište zahtjeva fleksibilnu proizvodnju, s kratkim vremenom isporuke, niskim troškovima i u zadovoljavajućoj kvaliteti, te brzom usvajanju proizvodnje novog ili rekonstruiranog postojećeg proizvoda, prilagođenog pojedinačnim zahtjevima kupaca. Ovi zahtjevi doveli su do razvoja novih tehnologija, integracija procesa i digitalizaciju proizvodnje koji revolucionarno mijenjaju proizvodne procese i život svakog čovjeka. Pored ostalih ITC proizvoda razvijenih za dobrobit društva i svakog čovjeka značajnu ulogu imaju ERP sustavi koji integriraju postojeće ITC proizvode i omogućuju digitalizaciju pripremnih i proizvodnih procesa kao i digitalnu komunikaciju među poslovnim partnerima. U tijeku pripreme za uključivanje u digitalnu ekonomiju EU, nažalost se kod nas polazi od elektroničkog poslovanja, digitalizacije procesa u turizmu, zdravstvu, bankarskom poslovanju i obrazovanju dok se digitalizaciji procesa kao pripreme proizvodnih tvrtki posvećuje manja pažnja.

## Literatura

- [1] Balić, J., Majdandžić, N. (2008). Digit@l F@ctory, *DAAAM Publishing series-Manufacturing technology*, Vienne, 2008.
- [2] ININ, 2020. Izvor [www.inin.hr](http://www.inin.hr) (datum zadnjeg pristupa 10.12.2020.)
- [3] Majdandžić, N. (2009). ERP sustavi – od integracije podataka do integracije procesa, 8. Europska konferencija o poslovnim procesima BPC- 010., travanj 2010., Zagreb.
- [4] QBuild CAD ERP integration, 2017. Izvor: <https://www.qbuildsoftware.com/cadlink/> (Datum zadnjeg pristupa, 02.02.2019.)
- [5] Majdandžić, N. (2004.) Izgradnja informacijskih sustava proizvodnih poduzeća, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2004.

# **Modernizacija stručnog studijskog programa za obrazovanje inženjera motornih vozila**

Dinko Mikulić<sup>1</sup>, Andrija Šaban, Diana Milčić

<sup>1</sup> član suradnik HATZ-a u Odjelu sustava i kibernetike

**Sažetak:** U sektoru strojarstva, područje motornih vozila je iznimno propulzivna djelatnost. Zanimanje inženjera motornih vozila čini skup poslova koji su svojim sadržajem tehnološki srođni i povezani i koji će društvu biti potrebni u budućnosti za stvaranje nove vrijednosti. U okviru projekta KOZMOK izveden je standard zanimanja inženjera održavanja motornih vozila koji se temelji se na povezivanosti obrazovanja i tržišta rada. U cilju stručnog obrazovanja inženjera motornih vozila provedena je modernizacija preddiplomskog stručnog studija motornih vozila. Uvedeni su inovativni predmeti: Električna i hibridna vozila, Ispitivanje motornih vozila, Konstruiranje pomoći računala i Komunikacijske vještine, koji donose nove ishode i kompetencije studenata. Studenti će stjecati primijenjena znanja i vještine s naglaskom na održavanje ispravnosti motornih vozila. Takav studijski program je jamčište uspjeha završenih studenata na tržištu rada.

**Ključne riječi:** inženjer motornih vozila, preddiplomski stručni studij, studijski program motorna vozila, inovativni predmeti, održavanje i ispitivanje motornih vozila

## **1. Uvod**

Zadaća visokih škola i veleučilišta je stručno visoko obrazovanje i stručna djelatnost u skladu s potrebama zajednice u kojoj djeluju. Održivost zajednice ovisi o stvaranju novih vrijednosti. Na području stručnog obrazovanja inženjera budućnosti stvaranje novih vrijednosti temelji se na studijskim programima. Uvođenje nečeg boljeg koje donosi nove tehnologije, unaprjeđenje starog ili druga preobrazba u obrazovanju je inovativni proces koji stvara novu vrijednost.

Predmet ovog članka je prikaz modernizacije preddiplomskog studija iz motornih vozila na temelju studijskog programa preddiplomskog stručnog studija *Održavanje motornih vozila*. Provedeno je istraživanje studijskih programa srodnih studija kako u zemlji tako i u zemljama regije te članicama EU na osnovu čega je izrađen *Elaborat izmjena i dopuna studijskog programa* [1]. Dijelovi članka čine izvod iz spomenutog elaborata i izvod iz projekta KOZMOK o izradi standarda zanimanja [2]. Jedno i drugo istraživanje doprinijelo je cijelovitosti modernizacije studijskog programa motornih vozila.

Sukladno strategiji Veleučilišta Velika Gorica 2016-2020 [3] Veleučilište je izradilo Elaborat izmjena i dopuna studijskog programa *Održavanje motornih vozila*. Najprije je provedena SWOT analiza studijskog programa, rasprava po svim pitanjima *prednosti, nedostataka, prijetnji i prilika*, zapažanja studenata, mišljenja poslodavaca i alumnija od strane sustava kvalitete [4]. Unesene izmjene i dopune usmjerene su na usavršavanje postojećeg studijskog programa, sukladno *Postupku izmjena i dopuna studijskog programa, Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske (2012)*.

Najvažnije je bilo otkloniti slabosti koje su prepoznate kao - usko postavljen studij isključivo samo na područje održavanja motornih vozila, smanjena fleksibilnost završenih studenata na tržištu rada te nevidljivost u *Erasmus* (slika 1). Kao takav nije bio atraktivan u privlačenju domaćih i stranih studenata. Uvođenje nedostajućih modernih predmeta koje donose nove ishode učenja i koji pružaju ispunjavanje sklonosti pojedinih studenata, primjerice stjecanje znanja i vještina iz hibridnih i električnih vozila i CAD-a je prilika za privlačenjem većeg broja studenata.



SI 1: Studijska radionica u Škoda Auto University (program Erasmus+) [6]

Na studijski program motornih vozila upisuju se završeni učenici srednjih četverogodišnjih programa strukovnog obrazovanja, najviše tehničkih srednjih škola strojar-skog usmjerenja, sljedećih zanimanja:

- tehničar za vozila i vozna sredstva
- tehničar za mehatroniku
- strojarski tehničar
- računalni tehničar u strojarstvu.

Upisom na studij motornih vozila učenici mogu nastaviti slijedno stručno obrazova-nje za zanimanje inženjera motornih vozila, čije su kompetencije: vođenje sustava održavanja motornih vozila, organizacija procesa održavanja i ispitivanja motornih vozila, primjena tehnologije održavanja motornih vozila, primjena računalne potpore razvoju motornih vozila, kontrola ispravnosti motornih vozila, i primjena logističke potpore.

Na temelju elaborirane argumentacije izmjena i dopuna studijskog programa [1], Agencija za znanost i visoko obrazovanje i Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske odobrili su novi univerzalni naziv studija *Motorna vozila*. Univer-zalni naziv *Motorna vozila* je lako prepoznatljiv domaćim i stranim studentima te kao takav ponuđen i na engleskom jeziku. Sukladno standardu kvalifikacije EKO i HKO 6 razine završeni polaznici dobivaju zvanje uz naznaku struke, stručni prvostupnik (baccalaureus) inženjer motornih vozila.

Zanimanje inženjera motornih vozila čini skup poslova koji su svojim sadržajem tehnološki srodni i povezani i koji će društvu biti potrebni biti potrebni u budućnosti za stvaranje nove vrijednosti. Na studiju *Motorna vozila* studenti će stjecati primije-njena znanja i vještine s naglaskom na održavanje njihove ispravnosti.

## 2. Trend razvoja motornih vozila

Razvojem e-mobilnosti u sljedećem desetljeću očekuju se tri najveće transformacije auto mobilnosti: promjena prema elektrifikaciji, porastu autonomne vožnje, potpori mobilnog servisa i sličnih usluga.

Indikatori razvoja motornih vozila su nove platforme električnih i hibridnih vozila [7, 8]. Tržište nagovještava brzi prijelaz na „pametne automobile“ tj. primjenu umjet-ne inteligencije na motorna vozila. Električni automobili s baterijama (EV) i hibridni električni automobili (HEV) te njihov dizajn dobivaju sve veći značaj. Može se predvidjeti da će buduća autonomna vozila imati dominantan utjecaj na promet i kvalitetu života, a to znači i na edukaciju inženjera motornih vozila. Smatra se da će

pametni automobili doprinijeti smanjenju onečišćenja okoliša, prometnih nezgoda i troškova.

Također, još puno godina proizvodit će se i koristiti klasični automobili koje će pogoniti klipni motori na benzinsko i dizelsko gorivo, koji će zadovoljavati ekološke standarde, ali će njihov udio u ukupnom broju stalno opadati. U razvoju vozila veliki značaj daje se sigurnosti putnika u automobilu. Kako bi se putnicima u slučaju sudara mogla pružiti najveća zaštita, razvija se proaktivni sustav za zaštitu putnika koji prepoznaje vrstu i jačinu sudara i prilagodava djelovanje zaštitnih sredstava za zaštitu putnika. U okviru aktivnog i pasivnog sustava sigurnosti djeluje autonomni sustav kočenja (AEB), sustav zračnih jastuka i sigurnosnih pojaseva, ESC-sustav stabilnosti, i drugo. Time se smanjuju opasnosti od ozljeda u frontalnim, bočnim ili stražnjim sudarima te kod prevrtanja vozila.

Motorna vozila su popravljava tehnička sredstva. Da bi bila pouzdana motorna vozila treba održavati tijekom životnog vijeka. Prodajno servisni centri (PSC) prodaju vozila, drže postprodaju i mobilni servis. Postprodaja je ključna za stvaranje dodane vrijednosti: *auto serviseri, proizvođači i distributeri rezervnih dijelova, proizvođači dijagnostičke opreme i alata te izdavači tehničkih informacija*. Stoga se postprodaji poklanja velika pozornost. Na polju auto servisiranja dostupni će biti ovlašteni serviseri i neovisni serviseri, te ostali serviseri registriranog obrta.

### 3. Istraživanje srodnih studijskih programa

Elaborirani i analizirani su srodnii studijski programi motornih vozila na veleučilištima i visokim školama; zemljama u regiji, te usporedivi studijski programi koji se izvode u zemljama članicama Europske unije. Stručni studijski programi koji su vezani uz znanstveno polje strojarstva u R. Hrvatskoj, izvode se na tri veleučilišta, te na dvije visoko-tehničke škole, u trajanju 6 semestra, odnosno 3 godine. U kategoriji državnih ustanova to su: *Tehničko veleučilište u Zagrebu, Veleučilište u Slavonskom Brodu, Veleučilište u Karlovcu, Visoka škola Bjelovar, Visoko tehničko-poslovna škola Pula*, a u kategoriji privatnih ustanova: *VERN Zagreb i Veleučilište Velika Gorica*. Dominiraju studijski programi *Strojarstvo i Mehatronika*, koji izravno ne obrazuju inženjere motornih vozila, tj. nema stručno orijentiranih studijskih programa motorna vozila. Usporedivi strani studij je *University of applied science F. H. Joanneum* (Graz, Austrija) gdje se izvodi preddiplomski stručni studij *Automotive Engineering*. Identificiran je samo jedan stručni studij (Klaipeda, Litva) sličan starom nazivu: *Technical Maintenance of Cars* [1].

Na sveučilišnoj razini na *Fakultetu strojarstva i brodogradnje* u Zagrebu, na konstrukcijskom smjeru izvodi se sveučilišni preddiplomski studijski program, usmjerenje *Motori i vozila* (7 semestara, 210 ECTS), kojim se stječe akademski

naziv sveučilišni prvostupnik (*baccalaureus*) inženjer motora i vozila (*univ bacc. ing. mech.*). Završeni studenti mogu nastaviti na diplomskom studiju koji traje 3 semestra, kojim se stječe akademski naziv magistar ing. strojarstva (*mag. ing. mech.*) usmjerenje motori i vozila (300 ECTS).

Na preddiplomskoj razini studenti stječu znanja i vještine kako teorijske tako i praktične koje su potrebne za detaljnu statičku i dinamičku analizu i sintezu mehaničkih konstrukcija, analizu naprezanja i konstrukcijsko oblikovanje komponenata, metodičko konstruiranje, razradu i primjenu računalnih metoda proračuna što pruža razvojno istraživačke kompetencije. Osim toga, studenti dobivaju znanja iz numeričkih metoda i eksperimentalne analize naprezanja, što zahtjeva vrijeme od 7 semestara.

Na Mašinskom fakultetu u Sarajevu (F. Bosna i Hercegovina) izvodi se sličan prediplomski studijski program usmjerena Motori i vozila, ali koji traje 6 semestara. Kao i kod FSB, izučavaju se znanstveno - stručne discipline konstrukcije motora i motornih vozila. I ciklus u trajanju od 6 semestara, kojim se stiče akademski naziv inženjer mašinstva (Bachelor, BSc.). II ciklus u trajanju od 4 semestra, kojim se stiče akademski naziv diplomirani inženjer mašinstva (Master of Science, MSc.).

Na Mašinskom fakultetu u Beogradu (R. Srbija) na studiju Mašinsko inženjerstvo, izvodi se prediplomski studijski program - usmjerena Motorna vozila koji traje 6 semestara. Student stječe zvanje – inženjer mašinstva (B.Sc. Bachelor of Science), usmjerena Motorna vozila. Studenti mogu upisati još dvije godine (4 semestra - 120 ESPB) i stječu zvanje – diplomirani inženjer mašinstva (M.Sc. Master of Science), smjer Motorna vozila.

*Fakultet za strojništvo Univerze v Ljubljani* (R. Slovenija) izvodi preddiplomski stručni i univerzitetski studij „*Strojarstvo*“ u trajanju 6 semestra (180 ECTS). *Študij 1:* Visokošolski strokovni šudijski program Strojništvo - projektno aplikativni program. Univerzitetni šudijski program Strojništvo - razvojno raziskovalni program. *Študij 2:* Magistarski šudijski program Strojništvo - Razvojno raziskovalni program, 4 sem. (120 ECTS)

Dakle, na sveučilišnoj razini studenti usmjerena *Motorna vozila* na preddiplomskom studiju u trajanju od 6 semestara stječu šire i korjenito gradivo kako bi mogli razvijati nove tehnologije. Sveučilišni preddiplomski studij je razvojno istraživačkog karaktera, a veleučilišni projektno aplikativnog karaktera. Prema tome, i jedan i drugi studij nemaju jednak cilj, pa nema potrebe za teretom uspoređivanja i konkurencije.

Stručni studij *Motorna vozila* na Veleučilištu Velika Gorica u neposrednoj suradnji s gospodarstvom (*Centar za vozila Hrvatske*) i tehnološkim centrima (*TEC Tokić*) i drugim ustanovama i tvrtkama (*DOK-ING, Auto Hrvatska Automobili*) osigurava pripremu inženjera za rješavanje problematike motornih vozila (slika 2). Studij omogućuje brzo i efikasno uključenje na tržište rada i radno mjesto ili studiranjem iz

radnog odnosa, pruža kontinuirano usavršavanje. Stručno aplikativni karakter studija *Motorna vozila* po tome se razlikuje od sveučilišnog preddiplomskog studija.

## 4. Moderni studijski program *Motorna vozila*

Uvođenje novog kao posljedica nove tehnologije te unaprjeđenje starog ili druga preobrazba u obrazovanju je inovativni proces koji stvara novu vrijednost, kako kod obveznih tako i kod izbornih predmeta. Obvezni predmeti osiguravaju konkurentnost, atraktivnost i vidljivost predloženog studijskog programa, a izborni predmeti pružaju fleksibilnost osobnog izbora sukladno sklonostima studenata, što je posebice važno za izvanredne studente (studiranjem iz radnog odnosa).

Uvedeni su sljedeći inovativni predmeti:

- ▶ Električna i hibridna vozila
- ▶ Ispitivanje motornih vozila
- ▶ Konstruiranje pomoću računala
- ▶ Komunikacijske vještine.

Razmatrane su moguće teme studijskog programa, obvezne ili izborne koje su potrebne za modernizaciju studija, a vezane za električnu i hibridnu tehnologiju vozila (*Nekonvencionalni pogoni vozila*, *Elektromotorni pogoni*, *Elektromotori i uređaji*, *Mehatronički sustavi*, ...). Ove teme sadrži predmet *Električna i hibridna vozila*. Korištenje i servisiranje električnih i hibridnih vozila zahtjeva stjecanje znanja i vještina iz predmeta *Električna i hibridna vozila* i *Ispitivanje motornih vozila*. Osim toga verificirani su predmeti konstruiranje pomoću računala (3D CAD i uređaji za brzu



SI 2: Nastava u IT učionici Veleučilišta Velika Gorica [6]

izradu dijelova). *Konstruiranje pomoću računala* je važno za razvoj i izradu tehničke dokumentacije i neophodan za studente koji se odluče za tržište rada u segmentu konstruiranja i potpore proizvodnji i održavanju. U predmetu *Komunikacijske vještine* studenti će stjecati potrebne verbalne i neverbalne komunikacijske vještine kao nužne vještine u informacijsko - komunikacijskom društvu i tržištu rada.

Studijski program sa svim obveznim i izbornim predmetima, satima nastave i vježbi te ECTS bodova prikazan je u Tablici 1 i Tablici 2.

**Tablica 1:** Studijski program Motorna vozila [1]

I. semestar	P	V	ECTS
Elektrotehnika I	2	2	4
Engleski jezik I	1	1	2
Fizika	2	1	4
Kemija	2	1	4
Informatika I	2	2	4
Matematika I	2	2	5
Tehničko crtanje i računalna grafika	2	1	4
<i>Izborni predmet A1</i>	2	0	3
II. semestar	P	V	ECTS
Mehanika	2	2	5
Engleski jezik II	1	1	2
Čvrstoća konstrukcija	2	1	4
Elementi konstrukcija	2	2	5
Mjerenja u strojarstvu	2	1	3
Matematika II	2	2	4
Materijali i toplinska obrada	2	1	3
Termodinamika	2	1	4
III. semestar	P	V	ECTS
Električna i elektronička oprema	2	1	5
Engleski jezik III	1	1	2
Motori	3	1	6
Motorna vozila	3	1	6
Osiguravanje i kontrola kvalitete	2	0	3
Osnove tehničke sigurnosti	2	1	4
Pogonska goriva i maziva	2	1	4

IV. semestar	P	V	ECTS
Električna i hibridna vozila	2	1	5
Hidraulika i pneumatika	2	1	5
Osnove automatskog upravljanja	2	1	5
Menadžment i poduzetništvo	2	1	5
<i>Izborni predmet A2</i>	2	1	5
<i>Izborni predmet A3</i>	2	1	5
V. semestar	P	V	ECTS
Održavanje vozila	2	2	5
Ispitivanje motornih vozila	2	1	5
Stručna praksa	0	15	20
VI. semestar	P	V	ECTS
Organizacija servisa	2	1	5
<i>Izborni predmet A4</i>	2	1	5
Završni rad	0	5	20

**Tablica 2:** Izborni predmeti

Izbor	Izborni predmeti	P	V	ECTS
A1	Osnove ekologije	2	0	3
	Psihologija stresa	2	0	3
A2	Konstruiranje pomoću računala	2	1	5
	Proizvodne tehnologije	2	1	5
A3	Gradivinski strojevi	2	1	5
	Vozila posebne namjene	2	1	5
A4	Logističko inženjerstvo	2	1	5
	Komunikacijske vještine	2	1	5

## 4.1 Kompetencije završenih studenata

Završeni studenti dobivaju potrebna stručna znanja i vještine za vođenje sustava održavanja motornih vozila i konstrukcijsku pripremu dijelova. Znanje je skup stečenih i povezanih informacija. Vještine čine skup primijenjenih znanja u rješavanju problema. One mogu biti spoznajne (logičko i kreativno razmišljanje), psihomotoričke

(fizička spremnost te upotreba metoda, instrumenata, alata i materijala) i socijalne (stvaranje i razvijanje međuljudskih odnosa).

Kako preddiplomski studij priprema prvostupnika za širi spektar različitih poslova, u tom kontekstu inženjer motornih vozila treba posjedovati kompetencije šireg spektra od planiranja i organiziranja održavanja motornih vozila, sudjelovanja u tehničkoj potpori procesa održavanja, korištenja aplikativnih programa vođenja i upravljanja u procesu održavanja, primjenjivanja procedura kontrole ispravnosti vozila do sudjelovanja u sastavljanju programa obuke djelatnika.

Cjelokupna metodologija izvođenja kompetencija [5], provedena je u postupku projekta KOZMOK [2], koji se temelji se na povezivanju obrazovanja s potrebama tržišta rada. Elementi tog projekta su:

1. *Unapređenje studijskih programa utemeljenih na standardima zanimanja i standardima kvalifikacija*
2. *Unapređenje postupaka osiguravanja kvalitete visokog obrazovanja*
3. *Unapređenje nastavne djelatnosti u visokom obrazovanju*
4. *Promidžba i vidljivost*

Temeljem provedenih anketa i analiza, definiran je popis ključnih poslova inženjera motornih vozila. Osim skupova stručnih kompetencija povezanih sa svakim od skupova ključnih poslova polazi se od pretpostavke da je posjedovanje općih ili generičkih kompetencija primjenjivih u različitom profesionalnom okruženju preduvjet za uspješno stjecanje specifičnih kompetencija, koje su objedinjene i sistematizirane u skupove stručnih kompetencija, Tablica 3. Za svaki od navedenih poslova definirana su potrebna znanja i vještine koji su nakon provedenog istraživanja sistematizirani.

**Tablica 3:** Popis općih i skup stručnih kompetencija inženjera motornih vozila

Opće ili generičke kompetencije	Skup stručnih kompetencija
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Komunicirati na materinskom jeziku</li> <li>2. Komunicirati na stranom jeziku</li> <li>3. Primjenjivati opće komunikacijske i prezentacijske vještine</li> <li>4. Primjenjivati osnovne vještine u znanosti</li> <li>5. Služiti se digitalnim resursima</li> <li>6. Upravljati vremenom i vlastitim učenjem</li> <li>7. Upravljati timom</li> <li>8. Primjenjivati interpersonalne i građanske vještine</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planiranje, organiziranje i vođenje sustava održavanja</li> <li>2. Logistička potpora u procesu održavanja motornih vozila</li> <li>3. Provedba i kontrola tehnologije održavanja motornih vozila</li> <li>4. Komunikacija u procesu održavanja motornih vozila</li> <li>5. Primjena informacijske tehnologije u procesu održavanja motornih vozila</li> <li>6. Primjena propisa u procesu održavanja motornih vozila.</li> </ol>

## 4.2 Standard zanimanja inženjera motornih vozila

Standard zanimanja je popis svih poslova koje pojedinac obavlja u određenom zanimanju i popis kompetencija potrebnih za njihovo uspješno obavljanje. Standardi zanimanja ne postoje samo u Republici Hrvatskoj. To je alat koji se koristi u mnogim zemljama Europe, i šire. Namjena standarda zanimanja je široka ali najviše vodi kvalifikaciji i zapošljavanju.. Institucije obrazovanja prilagođavaju svoje studijske programe u skladu sa standardima zanimanja.

Na temelju provedene metodologije izrade standarda zanimanja, sukladno izvedenom projektu KOZMOK, u Registar Hrvatskoga kvalifikacijskog okvira upisan je standard zanimanja „Inženjer održavanja motornih vozila“. Završeni studenti preddiplomskog stručnog studija mogu se pozivati na utvrđeni popis svih poslova koje pojedinac obavlja u tom zanimanju i popis kompetencija potrebnih za njihovo uspješno obavljanje.

Inženjer motornih vozila upravlja održavanjem motornih vozila (slika 3). Planira i organizira održavanje motornih vozila. Upravlja timom zaposlenika, koordinira proces održavanja, surađuje u nabavi rezervnih dijelova, vodi administrativnu u tehnološku dokumentaciju i vodi brigu o edukaciji servisnih djelatnika. Nadzire provedbu kvalitete izvedenih radova od strane mehaničara i poslovođa, te unaprjeđuje radni proces. Komunicira sa strankama, određuje termine i priprema radne naloge za održavanje. Inženjer motornih vozila obavlja poslove u zatvorenom prostoru, kojeg karakterizira povremenim rad u smjenama. Čimbenici rizika su: visoka i niska temperatura, vlažnost, buka i vibracije, opasne kemikalije, umjetna rasvjeta, dugotrajno sjedenje, dugotrajno stajanje.



SI 3: Dijagnostika motora [6]

Prema ključnim poslovima inženjera motornih vozila, izrađen je popis pojedinačnih stručnih kompetencija, Tablica 4.

**Tablica 4:** Popis stručnih kompetencija na radnom mjestu inženjera motornih vozila

Skup stručnih kompetencija	Popis pripadajućih pojedinačnih kompetencija potrebnih za rad na jednom ili više radnih mjestu
Planiranje, organiziranje i vođenje sustava održavanja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planirati i organizirati proces održavanja motornih vozila, kotačnih i gusjeničnih vozila (cestovna vozila, vojna vozila, građevinski strojevi)</li> <li>• Uskladivati planove sa strategijom razvoja organizacije održavanja motornih vozila (auto servisi, remontne organizacije, servisno prodajni centri, radionice, pogoni...)</li> <li>• Uskladivati organizaciju radnog procesa održavanja (tvrtke/poduzeća, odjela, radnog mjestu)</li> <li>• Analizirati postojeće stanje procesa održavanja motornih vozila, otkrivanje kritičnih mesta i predložiti promjene u organizaciji održavanja</li> <li>• Koordinirati poslove, nadzirati rokove i kvalitetu održavanja motornih vozila u cilju zadovoljstva kupca</li> <li>• Kontrolirati izvršenje radnog naloga i status održavanja pojedinog vozila u realnom vremenu</li> <li>• Sastavljati programe poboljšavanja u procesu održavanja motornih vozila</li> <li>• Primjenjivati metodologiju kontinuiranih poboljšavanja korištenjem suvremenih metoda</li> </ul>
Logistička potpora u procesu održavanja motornih vozila	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sudjelovati u tehničkoj potpori procesa održavanja motornih vozila</li> <li>• Upravljati zalihami rezervnih dijelova u održavanju motornih vozila</li> <li>• Osiguravati kontinuitet opskrbe materijala i rezervnih dijelova u održavanju motornih vozila</li> <li>• Kontrolirati razinu zaliha u vremenskom periodu (sigurnosna i signalna zaliha)</li> <li>• Pripremiti potrebnu tehničku dokumentaciju praćenja troškova izrade, skladištenja i izdavanja</li> <li>• Osigurati alat i dijagnostičku opremu u procesu održavanja motornih vozila</li> <li>• Sastavljati programe obuke djelatnika na održavanju motornih vozila</li> <li>• Provoditi izobrazbu djelatnika za održavanje motornih vozila prema programu proizvođača motornih vozila (certifikat marke)</li> <li>• Provoditi internu izobrazbu djelatnika neophodne za provedbu održavanja (performanse motornih vozila)</li> <li>• Provoditi obuku djelatnika iz poznavanja principa rada pojedinih sklopova vozila</li> <li>• Provoditi obuku djelatnika o načinu korištenja dijagnostičke opreme</li> </ul>
Provjeda i kontrola tehnologije održavanja motornih vozila	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provjeravati provedbu tehnologije održavanja motornih vozila i kvalitetu izvedenih radova</li> <li>• Poznavati radni proces preventivnog i korektivnog održavanja te održavanja po stanju motornih vozila</li> <li>• Odabratи, kontrolirati i ispravno primijeniti alat svih vrsta (standardne alete, tipizirane alete i specijalne alete za održavanje) propisane od strane proizvođača motornih vozila</li> <li>• Poznavati tehnološki proces za izradu dijelova, njihovu montažu, podešavanje i ispitivanje vozila</li> <li>• Pripremati konstrukcijsku i tehnološku dokumentaciju zamjenskih dijelova i sklopova u održavanju specijalnih i radnih vozila</li> </ul>

Skup stručnih kompetencija	Popis pripadajućih pojedinačnih kompetencija potrebnih za rad na jednom ili više radnih mjestu
Provedba i kontrola tehnologije održavanja motornih vozila	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razraditi konstrukcijsku dokumentaciju kao tehnošku pripremu za izradu dijelova i sklopova u proizvodnji.</li> <li>• Poznavati procedure i način utvrđivanja tehničkog stanja ispravnosti motornog vozila u procesu održavanja</li> <li>• Poznavati propisane parametre provjere tehničkog stanja ispravnosti motornog vozila</li> <li>• Primjenjivati procedure utvrđivanja kontrole kvalitete izvedenih radova (procedure i propisane postupke sustava kvalitete održavanja, check liste)</li> <li>• Odabrat i primijeniti računalnu dijagnostičku opremu za kontrolu pojedinih sklopova motornog vozila</li> <li>• Koordinirati otklanjanje nedostataka izvršenih radova</li> <li>• Primjenjivati specifične tehnologije održavanja vojnih vozila i građevinskih strojeva s aspekta reparature istrošenih dijelova</li> <li>• Koristiti standardne procedure ispitivanja ispravnosti vozila</li> <li>• Izraditi izvješće o praćenju kontrole kvalitete održavanja</li> </ul>
Komunikacija u procesu održavanja motornih vozila	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primijeniti odgovarajući način komuniciranja sa sudionicima u procesu održavanja vozila na hrvatskom jeziku</li> <li>• Informirati sudionike održavanja o poslovima i rokovima izvršavanja poslova</li> <li>• Koordinirati i razvijati suradnju, timski rad i partnerstvo u procesu održavanja motornih vozila</li> <li>• Poštivati organizacijska pravila unutar sustava (pravilnici, postupci, procedure, upute, dokumenti) i formalne odnose (ovlasti, odgovornosti, uloge, zadaci)</li> <li>• Koristiti stručnu terminologiju iz područja motornih vozila</li> <li>• Analizirati i prezentirati rezultate održavanja motornih vozila na temelju uredno vodene radne dokumentacije</li> <li>• Poznavati strani jezik u govoru i pismu</li> <li>• Samostalno koristiti stručnu literaturu na hrvatskom i stranom jeziku iz motornih vozila</li> <li>• Primjenjivati računalnu grafičku komunikaciju (CAD, skice, sheme, crteže i dr.) u razvoju procesa održavanja motornih vozila</li> <li>• Koristiti aplikativne programe za kreiranje radne dokumentacije u procesu održavanja motornih vozila</li> <li>• Pripremati tehnošku dokumentaciju za praćenje procesa održavanja motornih vozila pomoću računala ili koristiti programske pakete sustava upravljanja održavanjem</li> </ul>
Primjena informacijske tehnologije u procesu održavanja motornih vozila	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prikupljati informacije o utrošenom materijalu, vremenu i fakturiranju (vezivanje dokumenata uz radni nalog, ...)</li> <li>• Upravljati tehničkom dokumentacijom (upravljanje zapisima o izvedenim radovima održavanja, označavanje, čuvanje/arhiviranje, dostupnost, ažuriranje)</li> <li>• Koristiti u obuci djelatnika aplikativne programe vizualizacije složenih radnji održavanja primjenom virtualne stvarnosti</li> <li>• Izabirati i nabavljati rezervne dijelove potrebne za održavanje motornih vozila uz korištenje aplikativnog softvera proizvođača vozila</li> </ul>

Skup stručnih kompetencija	Popis pripadajućih pojedinačnih kompetencija potrebnih za rad na jednom ili više radnih mjestu
Primjena propisa u procesu održavanja motornih vozila	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primjenjivati propise zaštite na radu pri održavanju motornih vozila</li> <li>• Primjenjivati propise zaštite okoliša</li> <li>• Pridržavati se normi, smjernica, odredbi i obveza koje je propisao zakonodavac, proizvođač ili distributer vezano uz područje osiguranja kvalitete izvršenja radova održavanja motornih vozila</li> <li>• Kontinuirano pratiti i primjenjivati norme održavanja i ispitivanja te preporuke proizvođača motornih vozila</li> <li>• Osigurati uvjete za rad na siguran način pri održavanju i ispitivanju vozila</li> <li>• Koristiti propisana i zajednička sredstva za zaštitu na rad i zaštitu od požara na ispravan način</li> <li>• Koristiti alate i uređaje na propisani način pri održavanju vozila, uvažavajući specifične opasnosti i preporuke</li> <li>• Prepoznati opasnosti i moguće ozljede pri radu sa strojevima i opremom (opasnosti visokog napona, kemijske štetnosti, fizičkih opterećenja)</li> <li>• Primijeniti mjere zaštite okoliša u području održavanja motornih vozila sukladno euro normama</li> <li>• Izraditi plan kontrole provođenja mjera zaštite okoliša i zaštite zdravlja djelatnika na održavanju motornih vozila</li> <li>• Nadzirati skupljanje posebne kategorije otpada (skupljanje otpadnih guma, akumulatora, ulja, i otpadnih vozila)</li> </ul>

U Registrar Hrvatskoga kvalifikacijskog okvira upisan je standard zanimanja „Inženjer održavanja motornih vozila“. Standard zanimanja omogućuje da zainteresirana institucija obrazovanja može usklađivati svoje studijske programe i tako obrazovati inženjere za održavanje motornih vozila. Na temelju standarda zanimanja slijedi upis standarda kvalifikacije koji je također važan kako za društvo tako i za pojedinca jer omogućuje reguliranje profesije.

## 5. Prostorni, nastavni i studentski resursi

Cjelokupna nastava izvodi se u sjedištu Veleučilišta Velika Gorica. Dio vježbi izvodi se u nastavnim bazama institucija i tvrtki s kojima Veleučilište kontinuirano surađuje. Također, stručna praksa odvija se u gospodarstvu, kod poslodavaca koji se bave razvojem, održavanjem i ispitivanjem vozila (*primjerice, Auto Hrvatska d.o.o., DOK-ING d.o.o., Centar za vozila Hrvatske d.d.*).

Infrastruktura za izvođenje nastave na Veleučilištu Velika Gorica, raspoloživa IT oprema, nastavno osoblje i suradnja s institucijama i tvrtkama iz privatnog i javnog sektora, omogućuju sigurnu provedbu studijskog programa *Motorna vozila*.

Kvaliteta i uspješnost izvedbe studijskog programa proizlazi iz kontinuiranog praćenja i anketiranja studenata, nastavnika, nastavnih predmeta, anketiranju poslodavaca

o zadovoljstvu studentima na stručnoj praksi i anketiranja alumnija. Raspoloživi resursi veleučilišta u potpunosti osiguravaju godišnji upis 30 redovnih i 30 izvanrednih studenata. Završetkom preddiplomskog stručnog studija *Motorna vozila*, studenti mogu upisom na specijalistički diplomska stručna studija *Logistički menadžment* nastaviti slijedno stručno obrazovanje u zanimanju *stručni specijalist inženjer logistike*. ili na drugim visokoškolskim ustanovama u Republici Hrvatskoj i inozemstvu.

## 6. Zaključak

Na području stručnog obrazovanja inženjera budućnosti stvaranje novih vrijednosti temelji se na studijskim programima. Uvođenje nečeg boljeg koje donosi nove tehnologije, unapređenje starog ili druga preobrazba u obrazovanju je inovativni proces koji stvara novu vrijednost.

Zanimanje inženjera motornih vozila čini skup poslova koji su svojim sadržajem tehnološki srodni i povezani i koji će društvu biti potrebni dugo godina i stvarati nove vrijednosti. Priprema inženjera za takve stručne poslove pripada stručnom studijskom programu. U području motornih vozila, korištenje hibridnih i električnih vozila stvara rastuću potražnju za radnim mjestima i porast broja zaposlenih Studenti stječu primijenjena znanja i vještine s naglaskom na održavanje motornih vozila. Tako je modernizirani studijski program jamac uspjeha završenih studenata na tržištu rada.

## Literatura

- [1] *Izmjene i dopune studijskog programa preddiplomskog stručnog studija Održavanje motornih vozila*, Elaborat projekta, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, (2019)
- [2] *Projekt KOZMOK - krzni menadžment, optometrija, održavanje zrakoplova i motornih vozila - okvir kvalifikacija*. Evropski socijalni fond, operativni program „Učinkoviti ljudski potencijali 2014.-2020. Stručna skupina 2, Velika Gorica, (2020)
- [3] *Strategija Veleučilišta Velika Gorica 2016-2020*, Velika Gorica, (2016)
- [4] *Izvješće o unutarnjoj prosudbi sustava za osiguravanje kvalitete visokog obrazovanja na Veleučilištu Velika Gorica*, Stručno vijeće, Velika Gorica, (2020)
- [5] *Metodologija za izradu standarda zanimanja*, Ministarstvo rada i mirovinskog sustava Zagreb, (2019)
- [6] *Motorna vozila. Atraktivni stručni studij na Veleučilištu Velika Gorica, Brošura*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica (2020)
- [7] Mikulić, D.: *Motorna vozila, teorija kretanja i konstrukcija*, Veleučilište Velika Gorica, ISBN 978-953-7716-89-9, Velika Gorica, (2020) str. 13-22
- [8] Mikulić, D.; Rauker, J.; Šaban, A. & Katana, B.: *Karakteristike automobila budućnosti u kontekstu razvoja sigurnosti prometa*, *Zbornik, 13. Znanstveno-stručna konferencija "Dani kriznog upravljanja"*, Toth, Ivan (ur.). str. 294-309, Veleučilište Velika Gorica: 21-23.04.2020., Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, (2020)

# Primjena Bluetooth detektora u analizi prometnog toka i anomalija izazvanih pandemijom CoVID-19

Mario Muštra<sup>1</sup>, Niko Jelušić, Dominik Cvetek

<sup>1</sup> suradnik Akademije tehničkih znanosti Hrvatske u Odjelu komunikacijskih sustava, zaposlen na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

**Sažetak:** *Bluetooth detektori prometnog toka su uređaji koji služe za prikupljanje informacija o kretanju vozila i pješaka kroz prometnu mrežu. Omogućavaju detekciju i praćenje vozila i pješaka koji posjeduju neki aktivni Bluetooth uređaj. Zbog načina rada postiže se visok stupanj anonimnosti prikupljenih podataka. U radu je prikazan sustav za detekciju vozila i određivanje vremena putovanja temeljen na Bluetooth i radarskom detektoru, pomoći kojeg je moguće dobivanje statistički utemeljene informacije o broju vozila i drugih sudionika u prometu. Razmotrena je značajnost Bluetooth signala kao markera pri određivanju stanja prometne mreže i prikazani su statistički pokazatelji koji omogućavaju određivanje parametara prometnog toka. Prikazani su rezultati za jednu mjernu lokaciju u gradu Zagrebu tijekom 2019. i 2020. godine iz kojih je vidljiv utjecaj pandemije CoVID-19 na prometno opterećenje, uz dodatne specifičnosti uzrokovane potresom koji je pogodio zagrebačko područje u ožujku 2020. godine.*

**Ključne riječi:** *Bluetooth detektor, radarski detektor, prometni tok, CoVID-19.*

## 1. Uvod

Prometno zagušenje predstavlja sve veći problem s kojim se susreću svi, od prometnih planera i ljudi zaduženih za upravljanje prometnim tokom, do prosječnih građana koji su korisnici prometnog sustava. S obzirom na porast učestalosti zagušenja, pokušavaju se pronaći različiti načini za njegovo smanjivanje i izbjegavanje. U većini velikih gradova u svijetu, mobilnost stanovnika je, uslijed zagušenja, narušena i velik napor se ulaže u redukciju tog problema. Pojava zagušenja karakterizirana je manjim brzinama kretanja vozila, duljim vremenima putovanja do nekog odredišta, nesigurnosti dolaska u očekivano vrijeme i dugim redovima čekanja [1]. Zagušenje

je problem koji se može sagledavati kao nelinearna funkcija, pri čemu se nelinearnost očituje u tome da približavanjem maksimalnom kapacitetu neke prometnice, mala pozitivna promjena volumena prometa uzrokuje mnogo značajnija prometna zagušenja [2]. Uobičajeno je da se takva zagušenja u gradovima događaju periodički, posebice s periodom od jednog dana, gdje na povećanje zagušenja najviše utječu migracije stanovnika povezane s dolascima na posao i odlascima s posla. Osim dnevnih periodičkih migracija, važno je napomenuti kako postoje i tjedne ili godišnje migracije, često povezane s dobom godine i sličnim rasporedom godišnjih odmora, odnosno trajanjem školskih godina. Uslijed periodičkih zagušenja, dolazi do pojave tzv. uskih grla, čija zajednička osobina je postojanje veće potražnje od raspoloživih resursa, odnosno kapaciteta prometnice. Razlozi njihove pojave ne moraju nužno biti samo povećanje potražnje za kapacitetom uslijed potrebe za migracijom, nego razlog može biti i loše optimiran signalni plan semafora. U posljednje vrijeme, posebno razvojem metoda strojnog učenja i dubinske analize podataka, razvijen je velik broj metoda koje koriste različite ulazne parametre za predviđanje prometnog toka [3], [4], što pokazuje interes istraživačke zajednice za rješavanje ovog problema. Neperiodička zagušenja, s druge strane, mogu imati mnogo izvora, pretežno slučajne naravi, poput prometnih nesreća, kvarova na vozilima, popravaka prometnica ili posebnih događaja koji uzrokuju promjenu odvijanja prometa na nekoj prometnoj površini [5]. U neperiodička zagušenja možemo ubrojiti i ona koja nastaju uslijed djelovanja prirodnih katastrofa, poput potresa. Analizom ponašanja prometa u takvim slučajevima dolazimo do ključnih pokazatelja sposobnosti prometne mreže da omogući kvalitetno odvijanje prometa. Lin i sur. [6] analizirali su regionalni prometni tok u visoko naseљenom području prilikom požara. U svom radu razvili su matematički model, koji su provjerili eksperimentalnom analizom uporabom simulacijskog programa VISSIM, i kojim su željeli utvrditi duljinu trajanja pojedinih uzoraka prometnog toka kojim se može dobro opisati zagušenje uslijed iznenadne katastrofe. Othman i Hamid [7] analizirali su utjecaj poplave na izbor puta, tj. rute, kojom bi se trebao odvijati promet. Uporabom geografskih informacijskih sustava (GIS) i mogućnosti da u njima zapisani entiteti sadrže prostorne i atributne informacije, simulirali su sustav odgovora na poplavu u vidu evakuacijskog plana. Shao i sur. [8] predložili su metodu za optimizaciju prometa u urbanoj prometnoj mreži, nakon što se dogodi nepredviđena katastrofa, s ciljem boljeg iskorištenja kapaciteta prometne mreže zbog novonastalih promjena. Fan i Tangqing [9] te Design i sur. [10] bavili su se analizom i optimizacijom prometa u slučaju potresa i potrebe za djelovanjem različitih hitnih službi. Zbog potrebe za žurnim djelovanjem i panike koja se stvara kod opće populacije, dolazi do velikih zagušenja koja onemogućavaju pravovremen i kvalitetan rad službi koje se moraju naći na terenu u trenucima neposredno nakon potresa. Pristup kojim se takav problem može ublažiti je razvoj posebno dizajniranog upravljanja u incidentnim situacijama, što uključuje tehnološki razvoj samog upravljačkog sustava te protokole postupanja u incidentnim situacijama. Pandemija CoVID-19, uzrokovanja koronavirusom SARS-CoV-2, može se u nekom dijelu promatrati kao prirodna katastrofa, ali obilježja prometnog toka uslijed te katastrofe su posve drugačija od uobičajenih za

katastrofe. Sve zemlje u svijetu predložile su uvođenje različitih mjeru za suzbijanje širenja virusa, koje su se kroz vrijeme pandemije mijenjale i utjecale na vrlo veliku fluktuaciju u prometnom opterećenju, kako urbanih, tako i ruralnih te magistralnih prometnica. Posljedično ograničenju kretanja, značajno su smanjena zagušenja zbog smanjenja broja vozila. Analitička kompanija INRIX provela je analizu kretanja u vrijeme pandemije CoVID-19 u SAD-u te su naveli kako je došlo do smanjenja prometa osobnih vozila za 46%, dok je pad teretnog prometa iznosio 13% [11].

U ovom radu prikazan je postupak izrade i specifikacija kombiniranog detektora prometnog toka, koji se sastoji od detektora Bluetooth signala i radarskog detektora koji omogućavaju detekciju vozila, njihove brzine i identiteta koji nije poveziv sa stvarnim identitetom osobe ili putnika koji posjeduje neki Bluetooth uređaj. Posebna analiza prometnih parametara data je za vrijeme neposredno nakon potresa koji je pogodio zagrebačko područje 22. ožujka 2020. godine. Prikazane su brzina i volumen prometa iz kojih je vidljivo vrlo značajno povećanje volumena i smanjenje brzine uzrokovano panikom i napuštanjem domova velikog broja ljudi te straha koji je rezultirao da se mnogi bolje osjećaju u vozilima kojima su pokušali napustiti sami centar grada. Prikupljanje podataka o prometnim tokovima, u ovakvim posebnim situacijama, dragocjeno je sa stajališta razvoja samih upravljačkih sustava te razvoja protokola upravljanja u incidentnim situacijama.

Rad je podijeljen u 5 poglavlja, od kojih u drugom poglavlju donosimo konstrukciju i specifikaciju detektora te sposobnosti statističke analize uporabom tog detektora. Treće poglavlje donosi analizu prometnog toka i udjela vozila koja posjeduju Bluetooth uređaj u ukupnom broju uzorkovanih vozila. Četvrti poglavlje prikazuje analizu prometnog toka uslijed pandemije CoVID-19 i potresa koji je pogodio zagrebačko područje u proljeće 2020. godine. Peto poglavlje donosi zaključke i smjernice za buduće istraživanje.

## 2. Dizajn detektorskog sustava prometnog toka

Detektor prometnog toka sastoji se od detektora Bluetooth signala i radarskog detektora te autonomnog sustava napajanja koji omogućava postavljanje detektora nezavisno od elektroenergetske infrastrukture. U ovom poglavlju bit će prikazane pojedine komponente sustava.

### 2.1 Bluetooth detektor

Kod detektora prometala, možemo izdvojiti dvije osnovne kategorije, u pogledu informacija koje detektor pruža korisniku, a to su detektori koji mogu samo detektirati

prometalo i detektori koji pružaju dodatne informacije na osnovi kojih se prometalo može identificirati. Bluetooth detektori omogućuju upravo tu dodatnu funkciju, a to je jednoznačna identifikacija detektiranog uređaja, bez zadiranja u privatnost korisnika, odnosno izravne detekcije identiteta. Za prikupljanje podataka korištenih u ovom radu, postavljeni su Bluetooth detektori proizvođača Trafficnow, DeepBlue Model R, slika 1.



**Slika 1:** Bluetooth detektor,  
Trafficnow DeepBlue  
Model R.

Navedeni uređaj omogućava detekciju Bluetooth uređaja koji se nalaze u njegovom detekcijskom području, koje ovisi o snazi samih uređaja, vremenskim uvjetima i dijagramu zračenja korištenih antena. Osim Bluetooth signala, uređaj može detektirati i signal lokalnih bežičnih mreža (Wi-Fi), te ima ugrađene module za samolociranje putem GPS-a i komunikaciju putem 2G/3G mobilne mreže. Identifikacija detektiranog uređaja ostvaruje se čitanjem MAC-(*Media Access Control*) adrese koja je jedinstvena za svaki uređaj opremljen Bluetooth primopredajnikom. MAC adresa sastoji se od 48 bitova na osnovi kojih je moguće identificirati proizvođača uređaja i tako dobiti dodatne informacije o detektiranom uređaju. Velika prednost ovakve detekcije je mogućnost praćenja kretanja uređaja u slučaju da je na nekom području instalirana mreža ovakvih detektorova. Takvi podaci omogućavaju stvaranje izvorišno-odredišnih matriča, koje su ključne za dobivanje informacije o odvijanju prometa na promatranom području. Primjer podataka prikupljenih ovim detektorom prikazan je tablicom 1.

**Tablica 1:** Primjer zapisa prikupljenih Bluetooth detektorom

Vremenska oznaka	MAC adresa	Priča MAC adresa	Tip uređaja	RSSI, [dBm]
1552565883	48:A9:D2:EF:9C:98	48:A9:D2	340408	-84
...				
1568632271	00:07:80:0A:F8:D3	00:07:80	001F00	-27
1568646506	FC:19:10:AA:27:A3	FC:19:10	5A0204	-88
1568672331	9C:8D:7C:C0:55:1C	9C:8D:7C	340408	-62

## 2.2 Radarski detektor

Radarski detektori tipa FMCW (*Frequency Modulated Continuous Wave*), tj. detektori koji koriste frekvencijski modulirani signal s kontinuiranim zračenjem, omogućavaju prikupljanje podataka o brzini vozila, volumenu prometnog toka te klasifikaciju vozila. U ovom istraživanju korišteni su detektori su proizvođača Houston Radar, model Speedlane, slika 2.



Slika 2: Radarski detektor, Houston Radar Speedlane.

Navedeni radarski detektor radi u Ka frekvencijskom području, oko frekvencije od 24 GHz, a detekcija se obavlja pomoću dvostrukog dvodimenzijskog antenskog niza, postavljenog pri lijevom i desnom rubu detektora, slika 3. Ovakvo izvedeni detektor omogućava ne samo detekciju vozila na principu promjene u odjeku odaslanog signala, nego i detekciju duljine te brzine vozila, zbog postajanja dva odašiljačko-prijamnička dijela. Osim toga, moguća je i detekcija smjera u kojem vozilo putuje te konfiguriranje detekcijskih zona do 8 prometnih traka ako je omogućena dovoljna visina i udaljenost od ruba prometnice za postavljane.

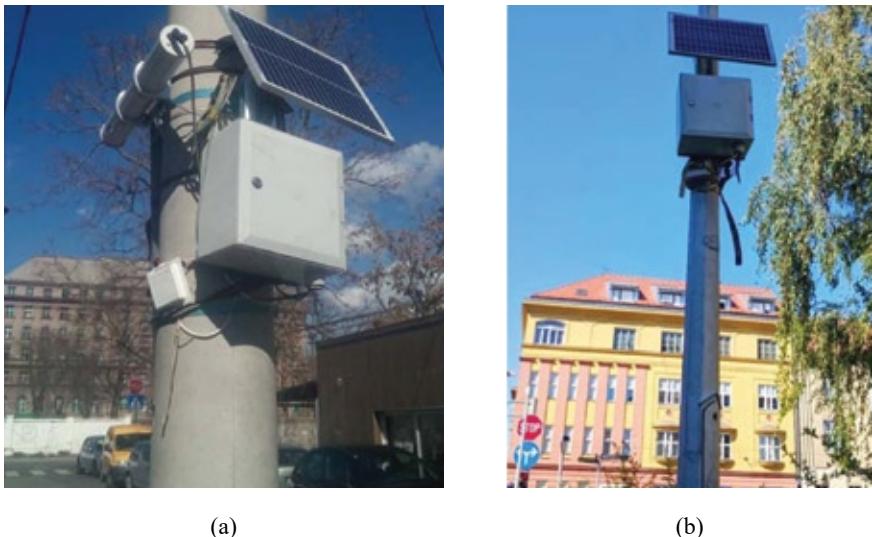


Slika 3: Antenski niz radarskog detektora Houston Radar Speedlane, (c) Houston Radar LLC.

## 2.3 Detektorski sustav

Do sada navedeni detektori vozila i uređaja koriste potpuno različite tehnologije detekcije i pružaju različitu vrstu informacije. Kombinacijom dobivenih informacija moguće je ostvariti vrlo napredan sustav, koji nam može dati vrijedne informacije o prometnom toku, vrsti vozila i donekle navikama sudionika u prometu za korišteњe pojedine tehnologije. Objedinjavanjem Bluetooth i radarskog detektora možemo dobiti informaciju o protoku vozila, klasifikaciji s obzirom na gabarite i trenutačnoj

brzini vozila, udjelu prometala opremljenih uređajem koji koristi Bluetooth te vremenu putovanja između dviju točaka u prometnoj mreži na kojima se nalaze Bluetooth detektori. Kako bi sustav bio funkcionalan tijekom cijelog dana i svaki dan u tjednu, potrebno mu je osigurati napajanje, koje može biti izvedeno spajanjem na elektroenergetsku mrežu ili, kao u navedenom slučaju, neovisno. Neovisno napajanje sastoji se od fotonaponskog sustava, tj. fotonaponskog panela, kojim se puni akumulatorska baterija preko kontrolera za regulaciju napona. Takav sustav, ako je ispravno dimenzioniran, može pružiti potpunu autonomiju za višemjesečni rad. Navedeni sustav postavljen je u Zagrebu na Miramarskoj cesti s jedne i druge strane podvožnjaka, pri čemu je sustav s južne strane podvožnjaka opremljen Bluetooth i radarskim detektrom, slika 4 (a), a sa sjeverne strane podvožnjaka samo Bluetooth detektorom, slika 4 (b), opisanima u ovom poglavlju.

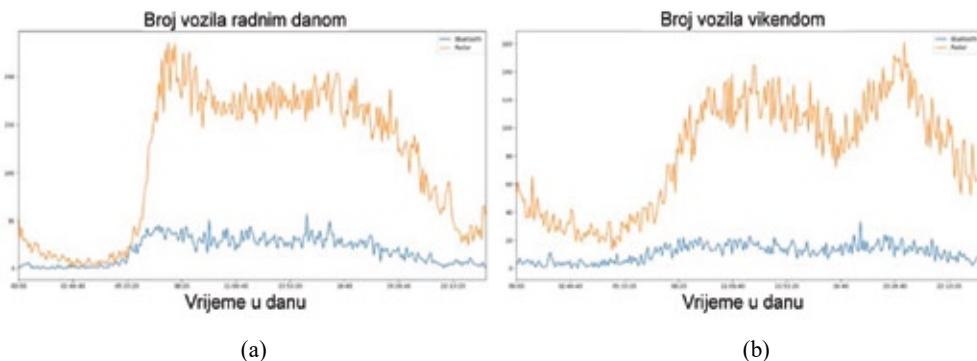


**Slika 4:** (a) Bluetooth i radarski detektor postavljen u Miramarskoj cesti u Zagrebu južno od podvožnjaka; (b) Bluetooth detektor postavljen u Miramarskoj cesti u Zagrebu, sjeverno od podvožnjaka.

### 3. Analiza udjela vozila koja posjeduju aktivan Bluetooth uređaj i prometnog toka

U prethodnom poglavlju opisan detektorski sustav, koji se sastoji od radarskog i Bluetooth detektora, omogućava detekciju vozila mjeranjem odjeka signala od refleksivnog (metalnog) objekta te detekciju Bluetooth uređaja. Ova sposobnost je iznimno važna jer omogućava dobivanje informacije o statističkoj značajnosti Bluetooth signala kao markera za određivanje parametara prometnog toka [13]. Važno je napomenuti kako Bluetooth detektor ne može razlikovati stacionarni i pokretni

izvor signala te pješake od vozila, što ga čini donekle neprikladnim za ovu primjenu, detekcije u urbanom području, jer je obilježje urbanog prometa upravo mješavina različitih tipova vozila i pješaka. Kako bismo izdvojili detekcije isključivo vozila, koja jesu ili nisu opremljena aktivnim Bluetooth uređajem, bilo je potrebno postaviti još jedan Bluetooth detektor na bliskoj lokaciji, ali dovoljno dalekoj, kako Bluetooth detektori ne bi istovremeno detektirali isti Bluetooth uređaj, tj. da im se detekcijske zone ne preklapaju. Takva konfiguracija detektora pomaže pri naknadnom filtriranju podataka tj. omogućava "uklanjanje" uređaja koja se ne nalaze u vozilima, npr. pješaka koji se kreću sporije od kretanja na prometnici. Mjerjenje kojim smo dobili udio vozila opremljenih Bluetooth uređajem u ukupnom broju vozila provedeno je u ožujku 2019. godine i dalo je rezultat od 12,19% vozila koja imaju uključen Bluetooth uređaj tijekom radnih dana i 10,00% vozila tijekom vikenda. Rezultat detekcija radara i Bluetooth uređaja prema 15-minutnim intervalima za ta dva slučaja prikazan je slikama 5 (a) i 5 (b), [12].



**Slika 5:** (a) Broj detektiranih vozila Bluetooth (plavo) i radarskim (narančasto) detektorom za tipični radni dan u 15-minutnim intervalima; (b) Broj detektiranih vozila Bluetooth (plavo) i radarskim (narančasto) detektorom za tipični dan vikenda u 15-minutnim intervalima.

### 3.1 Uporaba Bluetooth detektora kao točkastog detektora

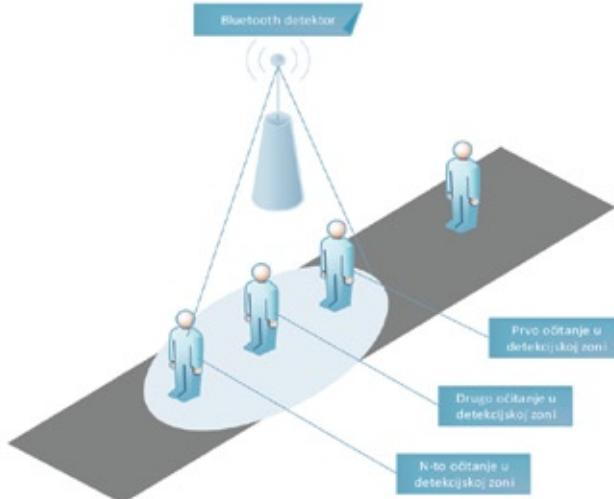
Analizom udjela vozila opremljenih aktivnim Bluetooth uređajem, može se zaključiti kako se dobivaju podaci koji su stabilni u vremenu i kao takvi su dobar pokazatelj stanja prometne mreže, odnosno dijela prometne mreže koji promatramo. Bluetooth detektori su učinkoviti ako ih je postavljeno mnogo jer omogućavaju računanje vremena putovanja između različitih točaka u prometnoj mreži. Kako bi ispitali mogućnost uporabe Bluetooth detektora kao točkastog detektora, kojim možemo definirati prometno zagušenje, potrebno je uvesti pojam vremena zadržavanja u detekcijskoj zoni.

$$T_z = T_{\text{postjedna detekcija}} - T_{\text{prva detekcija}} \text{ [s]}, \quad (1)$$

gdje je  $T_z$  vrijeme zadržavanja u detekcijskoj zoni, a jednako je razlici vremena u kojem su se dogodile posljednja i prva detekcija, slika 6. Osnovni prometni parametri kojima opisujemo prometni tok su volumen i zauzeće, pri čemu volumen definiramo kao:

$$q_T = \int_0^T q(t) \text{ [vozila/h]}, \quad (2)$$

pri čemu je  $q_T$  je volumen, odnosno ukupni broj vozila koji prolazi presjekom prometnice u definiranom vremenskom intervalu.



**Slika 6:** Primjer višestrukih detekcija pješaka ili sporog vozila u detekcijskog zoni Bluetooth detektora.

Zauzeće se definira kao dio vremena u kojem se na detekcijskoj zoni nalazi vozilo u odnosu na definirani vremenski interval, i vrijedi slijedeći izraz:

$$OCC = \frac{\sum tocc_i}{T}, \quad (3)$$

gdje je  $OCC$  zauzeće,  $tocc_i$  je zauzeće uzrokovano  $i$ -tim vozilom, a  $T$  je definirani vremenski interval. Ako ovu jednadžbu prilagodimo za uporabu s Bluetooth detektrom i parametrima koje možemo mjeriti, dobivamo:

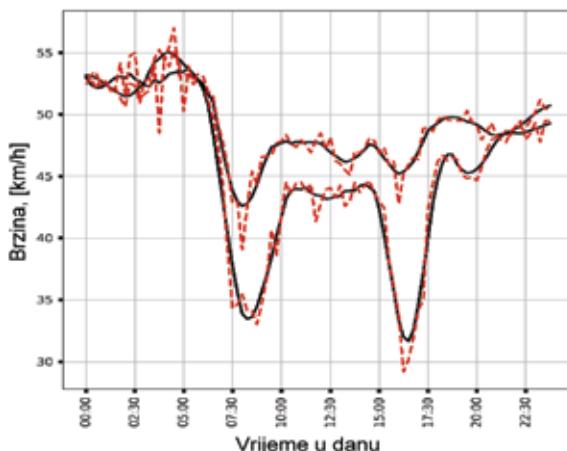
$$T_z = tocc_i = \frac{L_i + L_D}{v_i} \text{ [s]}, \quad (4)$$

gdje je  $L_i$  duljina  $i$ -toga vozila,  $L_D$  duljina detekcijske zone, a  $v_i$  brzina  $i$ -toga vozila. Srednju brzinu možemo izraziti kao:

$$\bar{v}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \text{ [m/s]}. \quad (5)$$

### 3.2 Analiza prometnog toka uporabom Bluetooth detektora

Uporabom navedenih jednadžbi, dobivamo tzv. profile brzina koji pokazuju fluktuaciju u ostvarenoj brzini na nekom segmentu prometnice u vremenu. Vrijeme promatranja za dobivanje pojedinog usrednjjenog uzorka može biti proizvoljno pa se tako često koriste 5- i 15-minutni intervali. Primjer takvog profila brzina za prometnicu u gradu Zagrebu, posebno za ljetni period (gornja krivulja) i ostatak godine (donja krivulja) prikazan je slikom 7. Navedeni grafikon dobro prikazuje očekivano prometno opterećenje, koje rezultira manjim prosječnim brzinama, i možemo reći kako odgovara za velik dio prometnika u gradu Zagrebu i generalno urbanim mjestima s većom gustoćom naseljenosti.



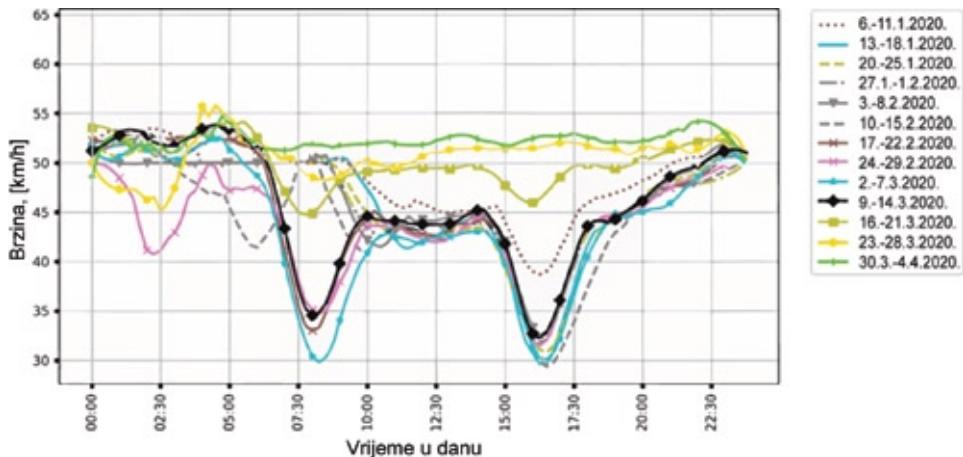
**Slika 7:** Primjer razlike u prosječnoj ostvarenoj brzini za ljetne mjesecе i ostatak godine u gradu Zagrebu, crvena krivulja pokazuje sirove podatke, a crna usrednjene.

U jutarnjim i popodnevnim satima dolazi do značajnog usporena izazvanog povećanom prometnom potražnjom zbog lokalnih migracija vezanih uz obavljanje posla. To je vrlo izraženo tijekom skoro cijele godine, izuzev u periodu kad većina stanovništva koristi godišnje odmore, a možemo reći da je to posebno izraženo od 15. srpnja do 15. kolovoza, kako ilustrira gornja krivulja grafikona sa slike 7.

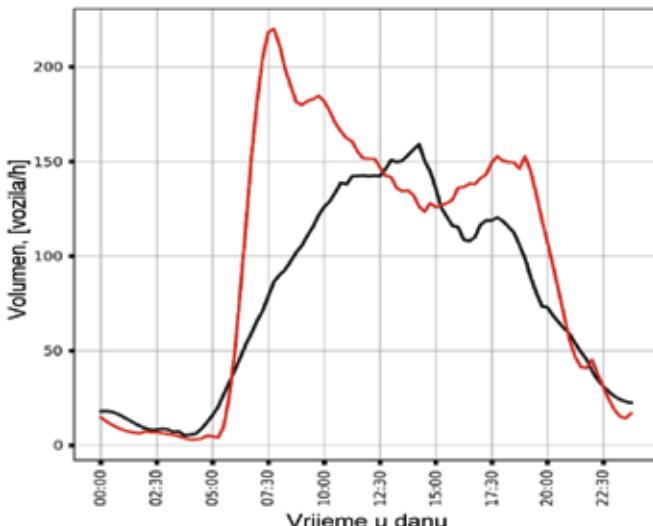
### 4. Analiza prometnog toka uslijed pandemije CoVID-19 i potresa

Postupnim uvođenjem ograničavanja kretanja i obustave obavljanja velikog broja djelatnosti, koje se počelo događati sredinom ožujka 2020. godine, a izazvanog širenjem bolesti CoVID-19, očekivano je bilo kako će se prometna potražnja smanjiti, a

time i dnevna fluktuacija prosječne brzine. Rezultat mjerena radarskim detektorom postavljenim na Miramarskoj cesti u Zagrebu, za period od siječnja do travnja 2020. godine, prikazan je slikom 8. Iz slike 8 vidljivo je kako su predviđanja smanjenja fluktuacije u brzini uslijed dnevnih migracija dobra, jer u periodu od sredine ožujka do kraja mjerena, odnosno sredine travnja, odstupanja između maksimalne i minimalne brzine gotovo ne postoje, tj. manja su od 5 km/h. Iz toga možemo zaključiti kako je volumen prometa manji ili graničan volumenu koji je ostvariv s obzirom na kapacitet prometnice bez smanjenja protoka.



**Slika 8:** Kretanje prosječne brzine usrednjene kroz 15-minutne intervale za period od siječnja do travnja 2020. godine.



**Slika 9:** Volumen prometa iskazan u broju vozila po satu na dan potresa (crvena krivulja) i dan prije potresa (crna krivulja).

Potres, koji je pogodio Zagreb i zagrebačko područje 22. ožujka 2020. godine, uzrokovao je značajno povećanje broja vozila koja su se našla na prometnici u to vrijeme. Rezultat je to panike i želje velikog broja stanovnika za odlaskom iz grada i životnih prostora, posebice u centru grada. Na slici 9 prikazan je utjecaj potresa na volumen prometa, izmјeren ranije opisanim detektorskim sustavom, postavljenim na Miramarškoj cesti u Zagrebu, gdje crvena krivulja pokazuje volumen prometa na dan potresa, a crna krivulja pokazuje volumen prometa dan prije potresa.

Kako je i vidljivo iz slike 9, unatoč tome što se potres dogodio u nedjelju, kad je očekivano još promet slabijeg intenziteta, zbog minimalnog broja poslovnih migracija, ukupni broj vozila koja su prošla ispred detektora Miramarškom cestom bio je iznimno velik i ostvareno zagušenje je jednako onom radnim danom u vrijeme jutarnjeg zagušenja, oko 8:00 sati, kako je vidljivo iz slike 5 (a). Umjesto očekivanih 50-ak vozila po satu, u to vrijeme cestovnim segmentom prolazilo je preko 200 vozila po satu.

Ovakvo ponašanje ljudi je očekivano i nije ga moguće sprječiti, kako su naveli mnogi autori radova navedenih u uvodnom poglavlju, ali postoje načini kako smanjiti potencijalne posljedice sličnih zagušenja putem upravljanja u incidentnim situacijama. Gledajući situacije u Zagrebu, razvoj i unapređenje prometne upravljačke infrastrukture, uključujući naravno centar za nadzor i upravljanje prometom, trebali bi biti jedan od prioriteta. Uporaba Bluetooth detektora, a posebno ako se kombiniraju s radarskim detektorima, postavljeni u dovoljnoj gustoći na gradskoj prometnoj mreži, omogućava dobru "sliku" prometnih tokova, a time osigurava temelje za suvremene načine automatskog upravljanja prometom, kojima bi se ublažila zagušenja. Nadalje, dovoljna gustoća Bluetooth detektora, omogućava stvaranje polazišno-odredišnih matrica, danas posebno poželjnih podataka o prometnim tokovima. Podaci dobiveni takvim detektorskim sustavima u incidentnim situacijama mogu biti korišteni za određivanje lokacije incidenta, za upravljanje signalizacijom, za upućivanje žurnih službi te za razne druge potrebne operacije.

## 5. Zaključci i smjernice istraživanja

U ovom radu prikazana su istraživanja o mogućnosti uporabe komunikacijske tehnologije za prikupljanje i analizu prometnih parametara. Može se zaključiti kako Bluetooth tehnologija omogućava, neinvazivno u pogledu privatnosti, prikupljanje podataka o kretanju korisnika te zauzeću prometnica. Unatoč relativno malom udjelu vozila opremljenih aktivnim Bluetooth uređajem u ukupnom broju vozila, moguće je prilično točno zaključiti kakvo je stanje prometnog toka na pojedinom mjernom

mjestu kroz vrijeme zadržavanja detektiranog Bluetooth uređaja u detekcijskoj zoni. Na osnovi detekcije jedinstvenog obilježja svakog uređaja, MAC adrese, moguće je pratiti kretanje uređaja u mreži osjetila (detektora), mjeriti vremena putovanja i stvarati polazišno-odredišne matrice. Na osnovi takve "slike" prometnih tokova, može se procijeniti gdje dolazi do potrebe za intervencijama, bilo u smislu infrastrukturnih zahvata ili načina upravljanja primjerice, automatsko predlaganje alternativnih ruta putem promjenjivih prometnih znakova ili telekomunikacijskim sustavom.

Složenim sustavom, koji omogućava istovremenu uporabu Bluetooth i radarskog detektora, analizirali smo odstupanja u prometnom toku za vrijeme dvaju vrlo značajnih, ali s prometnog stajališta, posve različitih događaja: pandemije CoVID-19 i značajnog potresa. Prikazani rezultati potvrđuju očekivanja i pokazuju kako je zatvaranje uzrokovanim pokušajem sprječavanja pandemije CoVID-19 utjecalo na prometnu sliku u centru Zagreba u smislu značajnog smanjenja opterećenja prometnica i smanjenja vremena putovanja u satima jutarnjeg i popodnevnog vršnog opterećenja. S druge strane, kratkotrajna katastrofa uzrokovana potresom, stvorila je velika prometna opterećenja, koja je vrlo teško izbjegći jer spadaju u nepredvidiva, ali se uporabom modernih komunikacijskih tehnologija usmјerenih ka detekciji kretanja korisnika može značajno smanjiti negativan utjecaj takvih katastrofa na prometna zagušenja.

Budućnost istraživanja u ovom području trebala bi biti vezana uz integraciju detektora prometnog toka te rješenja koja koriste komunikacijske tehnologije poput Bluetootha, bežičnih lokalnih mreža i mobilnih mreža vodeći pri tome naravno računa o privatnosti korisnika. Podaci dobiveni takvim integriranim sustavima dragocjeni su u automatskom upravljanju prometom, pri planiranju prometne infrastrukture, u upravljanju u incidentnim situacijama te raznim drugim suvremenim uslugama u prometu.

## Literatura

- [1] Falcocchio, J. C. & Levinson, H. S.: *Road Traffic Congestion: A Concise Guide*, Springer Tracts Transp. Traffic, (2015)
- [2] Litman, T.: Transportation Cost and Benefit Analysis II - Congestion costs, *Victoria Transp. Policy Inst.*, (2016)
- [3] Pan, Z.; Liang, Y.; Wang, W.; Yu, Y.; Zheng, Y. & Zhang, J.: Urban traffic prediction from spatio-temporal data using deep meta learning, *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, str. 1720-1730, (2019), doi: 10.1145/3292500.3330884.
- [4] Guo, K.; Hu, Y.; Qian, Z.; Liu, H.; Zhang, K.; Sun, Y.; Gao, J. & Yin, B.: Optimized Graph Convolution Recurrent Neural Network for Traffic Prediction, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, (2020), str. 1-12, doi: 10.1109/tits.2019.2963722.

- [5] Anbaroğlu, B.; Cheng, T. & Heydecker, B.: Non-recurrent traffic congestion detection on heterogeneous urban road networks, *Transp. A Transp. Sci.*, Vol. 11, izd. 9, str. 754-771, listopad (2015), doi: 10.1080/23249935.2015.1087229.
- [6] Lin, C.; Yu, Y. & Wu, D.: Traffic Flow Catastrophe Border Identification for Urban High-Density Area Based on Cusp Catastrophe Theory: A Case Study under Sudden Fire Disaster, *Appl. Sci.*, Vol. 10, izd. 9, (2020)
- [7] Othman, M. H. & Hamid, A. H. A.: Impact of Flooding on Traffic Route Choices, *SHS Web of Conferences*, EDP Sci., Vol. 2, str. 1-9, (2014)
- [8] Shao, Z.; Ma, Z.; Liu, S. & Lv, T.: Optimization of a Traffic Control Scheme for a Post-Disaster Urban Road Network, *Sustainability*, Vol. 10, izd. 68, (2018), doi: 10.3390/su10010068.
- [9] Fan, L. & Tangqing, L.: Study on Optimization of Earthquake Transportation Emergency Management, *Proc. 7th Int. Conf. Innov. Manag.*, str. 1858-1863, (2010)
- [10] Design, L.; Otsuka, R. P.; Work, D. B. & Song, J.: Estimating post-disaster traffic conditions using real-time data streams, *Structure and Infrastructure Engineering 12*, Vol. 8, (2016), str. 904-917, doi: 10.1080/15732479.2015.1054293.
- [11] Pishue, B.: COVID-19's Impact on Freight: An Analysis of Long-Haul Freight Movement During a Pandemic, *INRIX Research*, (2020)
- [12] Cvetek, D.; Bojić, V.; Jelušić, N. & Muštra, M.: Initial Bluetooth Probe Vehicle Penetration Rate Analysis: a Case Study in the City of Zagreb, *International Scientific Conference: Science and Traffic Development: Next Generation Transport Industry Innovations*, (2019)
- [13] Cvetek, D.; Muštra, M.; Jelušić, N. & Abramović, B.: Traffic Flow Forecasting at Micro-Locations in Urban Network using Bluetooth Detector, *Proceedings Elmar - International Symposium Electronics in Marine*, str. 57-60, (2020), doi: 10.1109/ELMAR49956.2020.9219023.

# **SafeTRAM<sup>1</sup> - Sustav za upozorenje na opasnost frontalnog sudara za urbana tračnička vozila**

Ivan Marković<sup>2</sup>, Igor Cvišić<sup>2</sup>, Juraj Peršić<sup>2</sup>, Marin Oršić<sup>2</sup>, Siniša Šegvić<sup>2</sup>,  
Ivan Petrović<sup>2,3</sup>, Josip Babić<sup>4</sup>, Andrija Eršek<sup>4</sup>, Tomislav Gavran<sup>4</sup>,  
Zlatka Tečec Ribarić<sup>4</sup>

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

<sup>3</sup> redoviti član HATZ-a u Odjelu sustava i kibernetike

<sup>4</sup> Končar – Institut za elektrotehniku d.d.

**Sažetak:** Povećanjem broja, ali i raznolikošću sudionika, svakodnevni promet postaje sve složeniji. Iz toga se razloga u moderna vozila ugrađuju sustavi za pomoći vozaču radi povećanja sigurnosti i/ili komfora voženje. Tračnička vozila predstavljaju zanimljivu primjenu za takve sustave, jer u mnogim gradovima sudjeluju izravno u prometu, a posljedice uzrokovane njihovim sudjelovanjem u sudaru mogu biti vrlo ozbiljne, čak i za same putnike koji često stoje tijekom vožnje. Iz toga bi razloga tračnička vozila imala veliku korist od primjene sustava za pomoći vozaču. Međutim, za razliku od cestovnih vozila, tračnička vozila ne mogu zaobilaziti prepreke jer je njihova putanja zadana tračnicama. U ovome članku predstavljamo istraživanje provedeno u sklopu projekta SafeTRAM kojemu je cilj bio razvoj sustava koji upozorava vozača o mogućem frontalnom sudaru korištenjem fuzije informacija iz heterogenih senzora postavljenih na električni tramvaj. U radu su korišteni sljedeći senzori: stereo kamera, inercijska mjerna jedinica, GPS te automobilski radar. Pomoću navedenih senzora moguće je graditi kartu tračničkih trasa tramvaja te estimacijom brzine tramvaja predvidjeti njegovu trajektoriju izravno na tračnicama. Također, korištenjem kamere moguće je raditi semantičku segmentaciju scene, a radarskim senzorom pratiti gibajuće objekte. Kako bi se provelo testiranje svih vrsta pristupa, snimljen je skup podataka u Zagrebu kroz nekoliko vožnji električnim tramvajem ZET-a u suradnji s Končar Električnim vozilima d.d.

**Ključne riječi:** sustavi pomoći vozaču, sustav za upozorenje na opasnost sudara, vizualna odometrija, semantička segmentacija, električni tramvaj

---

<sup>1</sup> Projekt SafeTram - Sustav za povećanje sigurnosti vožnje javnog urbanog tračničkog prometa financiran je sredstvima Europskog fonda za regionalni razvoj, MIS kod projekta: KK.01.2.1.01.0022. Projekt su realizirali Končar – Institut za elektrotehniku d.d. (nositelj projekta) i Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

## 1. Uvod

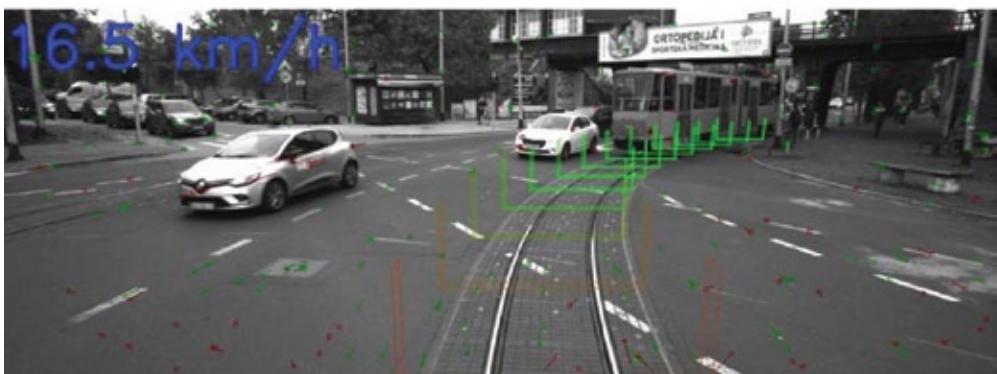
Zadatak je sustava SafeTRAM, koji se opisuje u ovome radu, predviđanje potencijalnih frontalnih sudara s objektima na tračnicama kako bi se moglo pravovremeno izdati upozorenje vozaču tramvaja. Za tu svrhu sustav treba biti opremljen percepcijskim senzorima čije će podatke kontinuirano obrađivati i analizirati te na temelju toga procjenjivati potencijalnu opasnost sudara. Osim percepcijskih senzora, sustav bi trebao biti opremljen i senzorima poput inercijske mjerne jedinice (IMU) i GPS-a kako bi se što točnije mogla predvidjeti trajektorija tramvaja. Od percepcijskih senzora najzastupljeniji su u ovakvim primjenama kamere, radari i laserski senzori udaljenosti. Za upozoravanje na opasnost frontalnog sudara ipak se najčešće koriste kamere i radari, dok su laserski senzori češći kod sustava s višom razinom autonomije. Kamere se mogu koristiti i u stereo postavu koji pruža mogućnost procjene vlastitoga gibanja te dubine iz stereo slika. Stereo postav kamera u fuziji s radarskim senzorom daje bogatu mogućnost analize stanja okoline u smjeru gibanja tramvaja.

Tramvaj, kao gradsko vozilo, specifičan je po tome što ima ograničeno kretanje; međutim, za razliku od automobila, masa i tromost znatno su mu veći, a treba imati na umu i činjenicu da putnici u tramvaju mogu stajati tijekom vožnje. Iz toga se razloga sustav upozorenja na opasnost frontalnog sudara u projektu SafeTRAM razmatrao kao sustav upozorenja vozaču koji bi temeljem svoga iskustva i procjene stanja u prometu trebao odlučivati o načinu zaustavljanja tramvaja. Također, takav sustav bi trebao uzeti u obzir i odnos prema samome vozaču; primjerice prečesta upozorenja mogu dovesti do toga da se vozač prestane obazirati na sustav [1]. Nadalje, tramvaj u gradskim središtima uglavnom nije izoliran od drugog prometa te se na tračnicama mogu očekivati razni sudionici, od automobila, drugih tramvaja, kamiona, pa sve do pješaka i biciklista. To svakako postavlja mnoge izazove na sustav upozorenja na opasnost frontalnog sudara.

Konkretno, u sklopu projekta SafeTRAM korišteni su sljedeći senzori: IMU, GPS senzor, stereo monokromatska kamera, automobilski radar i kamera u boji. IMU mjeri ubrzanja i kutne brzine tramvaja za potrebe procjene vlastitog gibanja tramvaja, a GPS omogućuje poznavanje globalne lokacije tramvaja. Međutim, mjerenja GPS-a nisu dovoljno precizna da bi se predikcija trajektorije tramvaja mogla pouzdano odrediti. Stoga smo u sklopu projekta odlučili izvesti fuziju mjerenja IMU-a i GPS-a sa slikama iz stereo monokromatskih kamera. Tom kombinacijom dobiva se dubinska slika iz koje je moguće izračunavati tzv. vizualno-inercijsku odometriju. Drugim riječima, iz stereo slike i IMU-a moguće je procijeniti relativni pomak tramvaja te izračunati brzine pomoću kojih se može odrediti projekcija trajektorije gibanja tramvaja točnije nego samo GPS-om. Kombinacijom vizulano inercijske odometrije i GPS-a dobivamo preciznije globalnu lokaciju tramvaja i procjenu linearnih i kutnih brzina.

Predikcija trajektorije vozila obično se provodi pod pretpostavkom da će se vozilo nastaviti gibati trenutačnom brzinom; međutim, tramvaj ima ograničenje gibanja po

tračnicama te ne može, kao automobil, izvesti bilo koji putanju. Ta činjenica, uz poznatu globalnu lokalizaciju tramvaja, omogućuje izgradnju karte tramvajskih trasa te projiciranje trajektorije tramvaja izravno na tračnice. Tako dobivena predikcija trajektorije tramvaja omogućuje smanjenje broja lažnih upozorenja vozaču koja bi se, primjerice, pojavila pod pretpostavkom pravocrtnog gibanja tramvaja unatoč poznavanju da tračnice skreću. Ilustracija ovakvog slučaja prikazana je na Slici 1 iz koje možemo vidjeti da bi algoritam bez poznavanja trase gibanja tramvaja i projiciranja trajektorija na nju mogao zaključiti da postoji opasnost od sudara s vozilom koje dolazi iz suprotnoga smjera.



Slika 1: Predviđanje trajektorije tramvaja na tračnice

Osim vlastitoga gibanja, sustav za upozorenje na opasnost frontalnog sudara treba mjeriti i stanje prepreka u svojoj okolini. Za tu su svrhu predviđeni vizualni senzori (stereo kamera i kamera u boji) te automobilski radar. Zadatak je radara detekcija i estimacija brzina objekata u njegovu vidnom polju. Radar dobro detektira prepreke kao što su automobili, kamioni, tramvaji i ostala slična vozila s jakim metalnim tragom, a slabije detektiraju pješake, bicikliste i motocikliste. Stoga je njegova glavna svrha detekcija i estimacija brzina vozila u smjeru vožnje i neposredno ispred tramvaja. Iz mjerenih brzina vozila mogu se predvidjeti njihove trajektorije koje se kasnije uspoređuju s predviđenom trajektorijom samoga tramvaja. Podaci s kamere u boji koriste se za semantičku segmentaciju scene, tj. za klasifikaciju i detekciju objekata od interesa, kao što su pješaci, automobili i biciklisti, primjenom metoda dubokog učenja. Detektirani se objekti mogu se pratiti kroz vrijeme, to jest može se estimirati njihova brzina te predviđati njihove buduće trajektorije i uspoređivati s trajektorijom tramvaja.

Za potrebe razvoja sustava za upozorenje na opasnost frontalnog sudara bilo je potrebno postaviti sve senzore na električni tramvaj, umjeriti ih te snimiti eksperimentalne scene u relevantnom okruženju. U nastavku članka opisujemo eksperimentalni postav i akviziciju podataka, umjeravanje kamera i radarskog senzora, stereo vizualnu

odometriju za estimaciju trajektorije tramvaja i izgradnju karte, semantičku segmentaciju za tumačenje scene te algoritam za detekciju frontalnog sudara.

## 2. Akvizicija skupa podataka električnim tramvajem

Akvizicija skupova podataka za evaluaciju razvijenih algoritama provedena je u dnevnim i noćnim uvjetima vožnje tramvaja u Zagrebu. Na tramvaj su bili postavljeni sljedeći senzori: tri kamere (dvije monokromatske za stereo vizualnu odometriju i jedna kamera u boji za semantičku segmentaciju), 3 radara (u eksperimentima je korišten samo srednji automobilski dalekometni radar), IMU i GPS. Montaža senzora prikazana je na Slici 2. Kako se može vidjeti na slici, kamere i IMU s GPS-om postavljeni su na vrh vjetrobranskog stakla s unutarnje strane, kako ne bi bili izloženi vanjskim vremenskim uvjetima. To je postavilo novi izazov na sliku iz kamera zbog refleksije od vjetrobranskog stakla. Prvo je postavljeno sjenilo ispod kamera, ali je pri orientaciji prema suncu odblijesak od aluminijskih nosača dominirao slikom. Kako bi se taj problem uklonio u potpunosti, postavljanje su optičke zamke oko svake kamere što je omogućilo akviziciju slike bez refleksija i u dnevnim i noćnim uvjetima. Na Slici 2 može se vidjeti i položaj radara koji su bili montirani iznad prednjega branika s dalekometnim radarem u sredini, dok su radari srednjeg dometa postavljeni bočno. S obzirom da smo se ograničili na upozorenje vozača od mogućeg frontalnog sudara s objektima, podaci s bočnih radara nisu korišteni u provedenim eksperimentima. Podaci s kamera, IMU-a i GPS snimani su na računalo putem USB sabirnice, a podaci s radara preko CAN sabirnice. Slika 3 prikazuje primjer scene iz noćnog i dnevnog skupa podataka. Ukupno je snimljeno 290 minuta vožnje, odnosno 14.8 TB podataka.



**SI 2:** Prikaz montaže senzora na tramvaj TMK 2300 (uz pomoć kolega iz Končar Električnih vozila d.d.)

### 3. Umjeravanje senzorskog sustava

Umjeravanje sustava stereo kamera i radara obavlja se u dva koraka. Prvo se umjerava stereo par kamera s ciljem određivanja intrinzičnih parametara svake kamere te međusobnih ekstrinzičnih parametara (relativne transformacije između kamera), a potom se umjeravanjem određuju ekstrinzični parametri između radara i kamera.

#### 3.1 Umjeravanje kamera

Umjeravanje kamera neophodan je uvjet za ispravno geometrijsko tumačenje slika. U kontekstu stereo vizualnog sustava, potrebno je odrediti intrinzične parametre svake pojedine te njihov relativni odnos u prostoru, tj. ekstrinzične parametre. U tu svrhu, koristili smo programski paket Kalibr [2] zasnovan na meti sačinjenoj od mreže markera. S obzirom na karakteristike odabrane leće i kamere, intrinzični parametri kamere opisani su *pinhole* modelom te radijalno-tangencijalnom distorzijom. Kamere smo umjeravali prije svake vožnje tramvaja pomicajući metu ispred tramvaja u trajanju 1-2 minute. Procedura umjeravanja prikazna je na Slici 4.



SI 3: Primjeri scene iz noćnog (gore) i dnevнog skupa podataka

### 3.2 Umjeravanje radara i kamera

U svrhu ekstrinzičnog umjeravanja radara i kamera razvili smo novu metodu zasnovanu na meti za umjeravanje [3]. Predložena metoda uključuje posebnu izvedbu mete za umjeravanje, registraciju korespondencija te optimizaciju u dva koraka. Metoda zahtijeva snimanje mete na otvorenom s dovoljno slobodnog prostora oko mete, kako bi se smanjili utjecaji lažnih mjerjenja radara, višestruke propagacije signala i sl. Metu je potrebno snimiti na različitim udaljenostima (2-10 m) u području gdje se vidna polja kamere i radara preklapaju. Umjeravanje se izvršava prije same vožnje, a procedura je također prikazana na Slici 4.

## 4. Lokalizacija i predviđanje trajektorije tramvaja

Kao što smo već napisali u uvodu, poznavanje lokacije tramvaja potrebno je za uspješno predviđanje njegove trajektorije. Pod lokalizacijom tramvaja podrazumijevamo određivanje njegova relativnog pomaka, estimaciju njegove kutne i linearne brzine te fuziju tih informacija s GPS podacima za određivanje apsolutne (globalne) lokacije tramvaja i izgradnju karte trasa.



Slika 4: Primjer umjeravanja kamera (lijevo) te radara i kamere

Modul za relativnu lokalizaciju zasniva se na načelu vizualne odometrije potpomođnute inercijskim mjerenjima, a modul za apsolutnu lokalizaciju na načelu fuzije relativne lokalizacije i GPS mjerjenja proširenim Kalmanovim filtrom. Modul za relativnu lokalizaciju određuje translacijski i rotacijski pomak u odnosu na početnu točku gibanja tramvaja. Nedostatak je relativne lokalizacije stalni rast lokalizacijske pogreške tijekom vremena, dok je njezina glavna prednost vrlo visoka preciznost lokalizacije u kraćim vremenskim intervalima koju smo postigli primjenom vlastitog algoritma vizualne odometrije na sekvencu slika iz monokromatskog stereo para kamera [4] koja je već nekoliko godina najtočnija vizualna metoda odometrije na javnom skupu podataka KITTI na kojem istraživači iz cijelog svijeta evaluiraju svoje algoritme [5].

Apsolutna lokalizacija jednostavnim očitanjem GPS mjerena ima visoku nesigurnost određivanja i pozicije i orientacije. Primjerice, uzastopna očitanja GPS lokacije s GPS uređaja koji miruje mogu se razlikovati i po nekoliko desetaka metara. Međutim, prednost korištenja GPS mjerena je dvostruka. Prvo, GPS daje absolutnu lokaciju na geografskoj karti, u obliku geografske dužine i širine, što je informacija koja je korisna i za širi spektar primjena. Drugo, za razliku od relativne lokalizacije, pogreška GPS mjerena dugoročno ne raste, odnosno nije ovisna o prijeđenom putu, već o konfiguraciji satelita, reflektirajućih objekata u okolini i vremenskim prilikama. Cilj je razvoja algoritma fuzije iskorištavanje dobrih svojstava modula relativne lokalizacije s dobrim svojstvima GPS senzora u lokalizacijski modul koji daje absolutnu lokaciju tramvaja sa znatno manjom nesigurnošću nego sami GPS uređaj. Algoritam fuzije realiziran je proširenim Kalmanovim filtrom u kojem se relativni pomak odometrije koristi za predikciju lokacije, a GPS mjerena za njezinu korekciju. Stanje Kalmanova filtra čine geografska dužina i širina, azimut te linearna i kutna brzina u dvodimenzionalnom koordinatnom sustavu.

Prednost predloženog sustava ilustrirana je na Slici 5 gdje se može vidjeti putanja tramvaja prilikom zaokreta oko Kvaternikovog trga. Crvena linija prikazuje putanju dobivenu čistim očitanjima iz IMU i GPS uređaja, dok plava linija prikazuje putanju estimiranu fuzijom GPS-a i vizualne inercijalne odometrije primjenom proširenoga Kalmanova filtra. Lako je uočljivo veliko odstupanje lokacija tramvaja koje daje GPS od stvarnih lokacija, dok razvijeni algoritam fuzije daje lokacije koje se dobro slažu sa stvarnim lokacijama (plava linija poklapa se s trasom tramvajskih tračnica).

Kako smo u uvodu spomenuli, posebnost je tramvaja i drugih tračničkih vozila u odnosu na cestovna vozila vrlo ograničeno područje kretanja. Iz perspektive sustava za pomoć vozaču to ograničenje donosi i neke prednosti. Prvo, relativno je jednostavno održavati, nadograđivati i koristiti cjelokupnu kartu prostora u kojem se tramvaj može naći. Drugo, još važnije, kretanje je tramvaja uzastopno ponavljajuće pa se putanja tramvaja može predvidjeti, a karta se u svakoj vožnji tramvaja može obnavljati i poboljšavati.



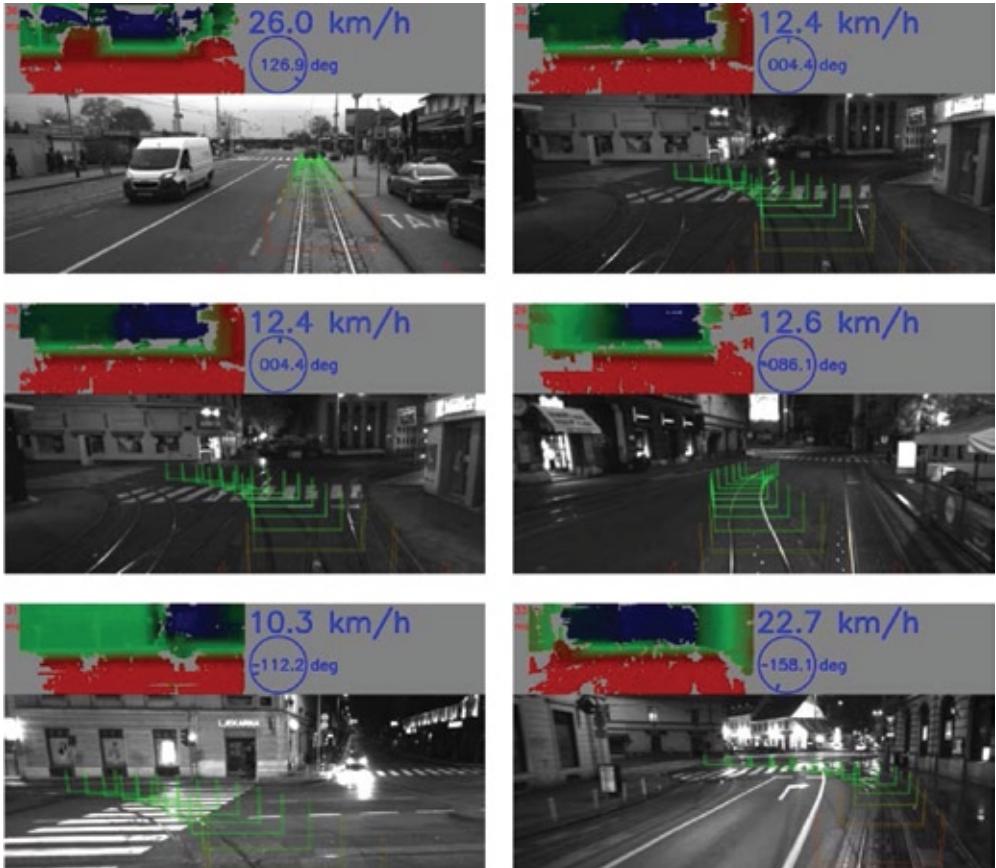
**Sl 5:** Putanja tramvaja prilikom zaokreta oko Kvaternikovog trga. Crvena putanja prikazuje rezultat iz IMU i GPS uređaja, dok je plava rezultat algoritma fuzije s vizualno inercijalnom odometrijom

Razvijeni programski modul kartiranja prostora stvara i svakom novom vožnjom tramvaja po istoj trasi poboljšava kartu tramvajskih tračnica (nažalost, zbog ograničenog broja raspoloživih vožnji u eksperimentima, nije bilo moguće proći istu trasu više puta). Karta je predstavljena nizom povezanih točaka u dvodimenzionalnom prostoru s pripadajućom geografskom dužinom i širinom te orijentacijom pruge. Prilikom puštanja sustava u rad u novome okruženju nije potrebnom imati na raspaganju nikakvu inicijalnu kartu prostora, nego se ona snimi u prvom prolazu tramvaja tračnicama. Snimljena karta tračnica, uz poznatu lokaciju tramvaja, omogućuje predikciju trajektorije tramvaja. Trajektorijom tramvaja smatramo putanju tramvaja koja u svakoj točki putanje ima definiran vremenski trenutak u kojem se tramvaj mora nalaziti, odnosno to je putanja koja uz lokacijske informacije sadrži i informaciju o brzinama tramvaja. Predikcija trajektorije tramvaja računa se primjenom modela konstantne brzine na predviđenu putanju tramvaja određenu segmentom tračnica neposredno ispred njega. Slika 6 prikazuje nekoliko primjera predikcije trajektorije putanjom izgrađene karte i modelom konstantne brzine sedam (7) sekundi unaprijed, dobivenih iz snimljenih podatkovnih skupova. Virtualni markeri postavljeni su u razmacima od pola sekunde.

## 5. Semantička segmentacija scene

Potencijal informacija koje daju kamere dodatno se može iskoristiti primjenom semantičke segmentacije scene dubokim neuronskim mrežama. Cilj modela semantičke segmentacije jest svakom pikselu ulazne slike dodijeliti semantičku oznaku iz predodređenog skupa, npr. automobil, pješak, cesta, nebo, vegetacija i sl. Semantička se segmentacija radi na slici u boji. U takvoj kameri senzor prikuplja crvenu, zelenu i plavu komponentu dolazećeg svjetla korištenjem zasebnih filtera boje za svaku komponentu.

To se može napraviti korištenjem zasebnih senzorskih ravnina za svaku komponentu. Međutim, to nije uobičajeno u modernim senzorima iz razloga što je proizvodnja takvog senzora skupa. Umjesto toga koristi se jedna senzorska ravnina koja filtrira različite komponente boje u uzorcima koji su poznati pod nazivom Bayerov filter. Uzorak se sastoji od 50% zelene, 25% crvene i 25% plave boje. Podaci sa senzora spremaju se u monokromatsku sliku (1 kanal po pikselu) formata PNG. Kako bi se moglo pročitati RGB vrijednosti, potrebno je napraviti demosaicing. Svaki piksel drži pravu vrijednost za jednu od komponenata boje dok je ostale vrijednosti potrebno interpolirati na temelju susjednih piksela. Postoji više mogućih Bayerovih filtera i interpolacijskih postupaka koji su dostupni u modernim bibliotekama za računalni vid.



SI 6: Primjeri predikcije trajektorije tramvaja na tračnice

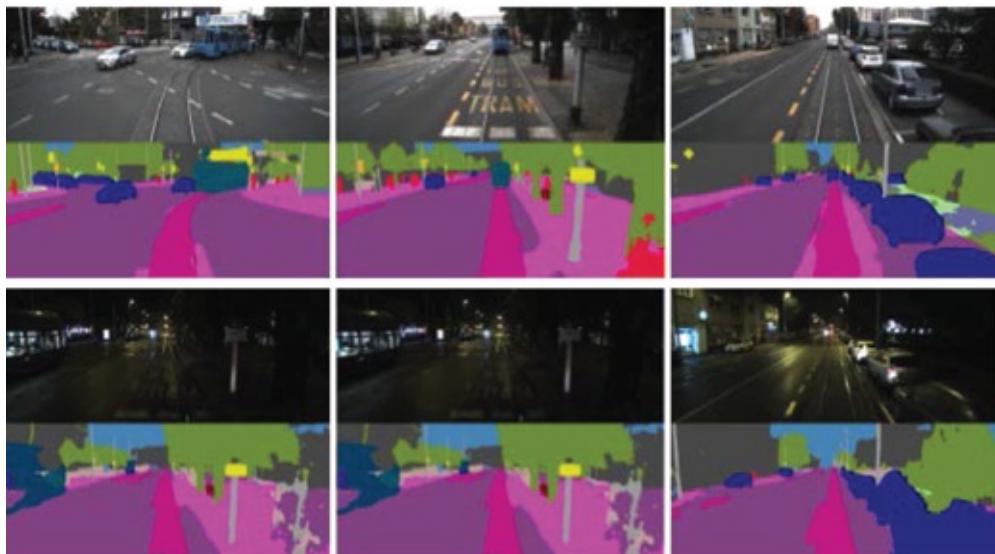
cesta	pločnik	zgrada	zid	ograda	stup	semafor	prometni znak	vegetacija	zemlja
nebo	osoba	biciklist	automobil	kamion	autobus	tramvaj	motocikl	bicikl	tračnice

SI 7: Razredi i odgovarajuće boje za vizualizaciju korišteni u semantičkoj segmentaciji

Sustav za vizualno raspoznavanje koji se primjenjuje u tračničkom okruženju morao bi sadržavati klasu "tračnice" na svom izlazu. Veliki podatkovni skupovi poput Mapillary Vistas [6] ne sadrže dovoljnju količinu slika koje prikazuju tračnice. Međutim, Vistas je koristan za učenje modela zbog svoje raznolikosti i veličine. Stoga je neuronski model treniran istovremeno na podatkovnim skupovima Vistas i RailSem [7]. RailSem je javno dostupan podatkovni skup koji sadrži slike snimljene iz vlakova i tramvaja. S obzirom da u okviru snimanja u Zagrebu nije provedeno označavanje podataka za semantičku segmentaciju, definiran je skup razreda koji

je prikidan za učenje na drugim podatkovnim skupovima. Skup razreda prikazan na Slici 7 definiram je u dva jednostavna koraka. Četiri razreda iz RailSem-a koji odgovaraju dijelovima tračnica spojeni su u zajednički razred. Nadalje, preostali Vistas i RailSem razredi preslikani su u jedan od 19 razreda iz skupa Cityscapes [8]. Kako bi se postigla što bolja segmentacijska točnost, korišten je jednorazinski model koji koristi točniji koder DenseNet-161. Za efikasno memorjsko zauzeće korišteno je spremanje aktivacija gusto povezanih slojeva prilikom unazadnog prolaza [9].

Slike 8 i 9 ilustriraju osjetljivost segmentacije modela na različite vremenske uvjete i osvjetljenje. Slika 8 prikazuje iste scene snimljene tijekom dana i noći. Izlazi modela prikazani su za ulazne slike. Svaki stupac uspoređuje segmentaciju istog dijela scene. Prvi stupac pokazuje da noćni uvjeti značajno degradiraju segmentacijsku točnost u pikselima tramvaja. Srednji stupac prikazuje da tamni dijelovi slike zbunjuju model. Zadnji stupac prikazuje da je model sposoban pronalaziti sitne pješake tijekom noći. Primjeri pokazuju smanjenje segmentacijske točnosti na tramvajima i podeksponiranim dijelovima scene (kojih u noćnim snimkama ima mnogo). Nadalje, uslijed spore brzine zatvarača kamere dolazi do zamućenja slike pokretom i posljedično loše segmentacije. Primjerice, taj se efekt događa kod gibajućih objekata ili u čitavoj sceni prilikom kretanja kamere. Slika 9 uspoređuje segmentacijske izlaze na istim lokacijama tijekom sunčanoga i oblačnoga vremena. Ti primjeri pokazuju kako preeksponiranost uslijed visokog dinamičkog raspona u sceni utječe na segmentacijsku performansu. Nadalje, odbljesci sunca, koji se zbivaju prilikom izravnog osvjetljenja leće kamere, mogu značajno utjecati na segmentaciju. To je najbolje prikazano u zadnjem stupcu, gdje isti autobus ima različite segmentacije na izlazu modela.



**Sl 8:** Kvalitativna usporedba točnosti modela tijekom dana i noći



**SI 9:** Kvalitativna usporedba točnosti modela prilikom sunčanog i oblačnog vremena

## 6. Praćenje gibajućih objekata i predikcija sudara

### 6.1 Praćenje gibajućih objekata radarom

Automobilski radari, kao mjerjenja mogu dati tzv. listu detekcija ili listu praćenih objekata na temelju tih detekcija algoritmom implementiranim izravno u sklopolju radara. Detekcije su obrađena mjerena radara koja sadrže informacije iz samo jednog vremenskog očitanja, pri čemu se svaku detekciju opisuju njezina udaljenost, azimut, radikalna brzina određena pomoću Dopplerovog efekta te radarski presjek (*engl. radar cross section*) - mjera vidljivosti detektirane mete. Budući da radari svoja mjerena zasnivaju na obradbi informacija iz svega nekoliko antena za odašiljanje i primanje signala, njihova razlučivost i preciznost znatno su niže nego kod senzora poput lasera i kamera. Uz to, česte su pojave lažnih detekcija, izostanka detekcija te detekcija nastalih stapanjem više različitih objekata. Stoga je detekcije potrebno vremenski filtrirati praćenjem gibajućih objekata kako bi se mjerena radara mogla iskoristiti u predikciji sudara. Problem praćenja više gibajućih objekata može biti računski zahtjevan, ali unatoč tome mnogi proizvođači uz osnovnu obradbu radarskih očitanja daju i osnovno praćenje u ugradbenom računalu radara. Time radar generira listu praćenih objekata, pri čemu svaki element ima svoj jedinstveni identifikacijski broj, poziciju/brzinu/ubrzanje objekta u 2D prostoru te klasifikacijske zastavice o pouzdanosti, stacionaranosti i sl.

Ne temelju analize rada korištenog dalekometnog radara (koji kao ulazne parametre zahtijeva i linearne i kutne brzine tramvaja) odredili smo situacije u kojima sustav može izdati sigurnosna upozorenja isključivo zasnovana na podacima iz radara te IMU i GPS sustava. Estimacija brzina objekata koju daje radar, a koja je nužna u

predviđanju trajektorija tih objekata u svrhu predviđanja sudara, pokazala se nepouzdanom u određenim slučajevima. Naime, radar estimira brzinu na temelju mjerena radijalne brzine te promjene pozicije objekta između dvaju očitanja. Niska preciznost i razlučivost radara u mjerenu kuta te učestalost pojave lažnih mjerena, rezultiraju pogreškom u estimaciji brzine objekata. Primjerice, estimacija brzine vegetacije uz tračnice vrlo je često znatno veća od nule. Budući da radar nema dovoljno informacija da bi mogao zaključiti da se radi o vegetaciji, moguće je pogrešno zaključiti kako će vegetacija ući u putanju tramvaja. Iz toga smo razloga iskoristili smo klasifikaciju radarom estimiranih objekata na gibajuće i stacionarne. Na taj je način moguće razdvojiti trake estimiranih objekata koje su znatno pouzdanije od ostalih traka. Time smo riješili veliki broj lažnih predviđanja sudara, ali i ograničili osnovni sustav na analizu gibanja isključivo drugih gibajućih vozila u prometu. U predloženom rješenju, dinamički model ljudi nije izvediv jer ih radar klasificira kao stacionarne objekte zbog sporog gibanja. Nadalje, analizom postojećeg rješenja, uočili smo da sustav nepouzdanije estimira smjer brzina vozila u susjednom traku koja voze u suprotnome smjeru. Naime, pogreška estimacije njihove lateralne brzine dovodi do pogrešne predikcije njihove trajektorije. Stoga, dinamički model vozila iz suprotnog traka nije moguće koristiti, već ih se tretira kao statičke objekte. Drugim riječima, informacija iz radara korisna je isključivo za vozila koja se nalaze na tračnicama ispred tramvaja.

S obzirom na navedene razloge, praćenje objekata i predikcija sudara pomoću rada- ra može predvidjeti nekoliko situacija. Dinamički model i predviđanje trajektorije vozila koriste se isključivo za vozila koja voze po tračnicama u istome smjeru kao i tramvaj. S druge strane, vozila koja se ne nalaze na tračnicama, tretiraju se kao stacio-narni objekti. Kod predviđanja sudara sa stacionarnim objektima, koristi se isključivo dinamički model gibanja tramvaja.

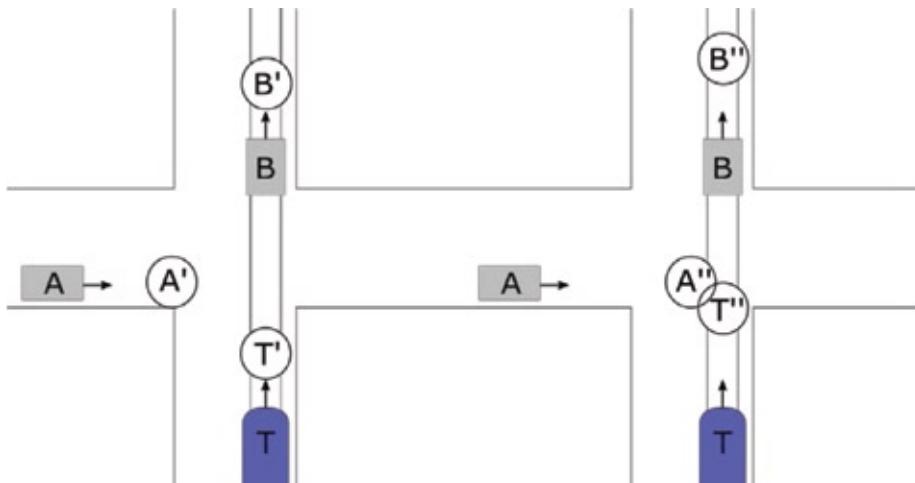
## 6.2 Algoritam predikcije sudara

Predikcija sudara zasniva se na predikciji gibanja tramvaja te na predikciji gibanja drugih objekata. Budući da su situacije u urbanom prometu vrlo dinamične s veli-kim brojem sudionika, potrebno je za reprezentaciju objekata koristiti što učinko-vitiju predikciju. Iz toga se razloga razmatrani algoritam predikcije sudara zasniva na reprezentaciji objekata kružnicama. Ovisno o njihovoj duljini, objekti mogu biti opisani jednom kružnicom ili s više njih. Predikcija buduće pozicije objekata i tram-vaja uzorkovana je s vremenom  $\Delta t = 0.5$  s. Za sve diskrete trenutke u budućnosti razmatramo mogućnost sudara tramvaja sa svim drugim objektima u prometu tako da promatramo odnos odgovarajućih parova kružnica  $K_1 (X_1, Y_1, R_1)$  i  $K_2 (X_2, Y_2, R_2)$ . Ako se kružnice sijeku, tj. ako zadovoljavaju sljedeći uvjet:

$$\sqrt{((X_1-X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2)} \leq R_1 + R_2,$$

previđamo sudar te sustav u tom slučaju izdaje upozorenje vozaču.

Ilustracija rada algoritma predikcije sudara dana je na Slici 10, koja prikazuje križanje na kojem se susreću vozila A i B te tramvaj T. Predikcije njihovih pozicija dane su za dva diskretna trenutka,  $t'$  (1s) i  $t''$  (2s). U trenutku  $t'$ , buduća pozicija tramvaja (prikazana samo jednom kružnicom radi preglednosti) ne preklapa se niti s jednom kružnicom drugih sudionika u prometu te sustav ne izdaje upozorenje. S druge strane, u trenutku  $t''$ , kružnica T'' preklapa se s kružnicom A'' te sustav izdaje upozorenje.



**Sl 10:** Primjeri detekcije sudara metodom presjeka kružnica

## 7. Zaključak

U ovom je radu predstavljen sustav pomoći vozaču tramvaja razvijen u okviru projekta SafeTRAM. Glavna je zadaća sustava upozoravati vozača tramvaja na opasnost od frontalnog sudara, za što je potrebno kvalitetno projicirati u budućnost moguće trajektorije tramvaja i ostalih sudionika u prometu. Za tu je svrhu tramvaj opremljen sljedećim senzorima: stereo monokromatska kamera, kamera u boji, prednji dalekometni radar, IMU te GPS.

Za razliku od cestovnih vozila kod koji se buduće trajektorije mogu odrediti na temelju informacija o kutovima zakreta kotača, kod tračničkih su vozila buduće trajektorije određene položajem tračnicama. Primjerice, netom prije skretanja tračnica, mjerena pozicije tramvaja pokazuju samo translacijsku brzinu u smjeru gibanja te bi bez poznавanja točne lokacije tramvaja na tračnicama i trase algoritam procjene trajektorije mogao samo zaključiti da će se tramvaj nastaviti givati ravno. Iz toga razloga algoritmi upozorenja o opasnosti sudara moraju uključivati projekciju gibanja tramvaja na tračnicama, iako bi estimacija translacijske brzine trebala biti dovoljna za projekciju trajektorije na trasama bez skretanja. Naravno, pitanje je kako kvalitetno

razlučiti jesu li tračnice ispred tramvaja pravocrtne ili skreću? U ovome članku smo se fokusirali na lokalizaciju tramvaja na temelju prethodno izgrađene karte trasa kojima se tramvaj giba primjenom fuzije informacija iz kamere, inercijske mjerne jedinice i GPS-a. Na taj način tramvaj uvjek može znati gdje se točno nalazi te projicirati svoju trajektoriju na tračnice. Izazov je izgradnja kvalitetne karte trasa te što sustav može raditi jedino nakon što se karta izgradi, odnosno potreban je barem jedan prolaz tramvaja kroz trasu. Alternativni pristup uključuje detekciju tračnica u slici (tračnice su bile jedna od klase semantičke segmentacije) iz koje se može izravno procijeniti gdje će se tramvaj gibati. Prednost je toga pristupa što može raditi bez prethodne izgradnje karte, a nedostaci su što se tračnica ne može detektirati kada nije jasno vidljiva u slici, primjerice kada su druga vozila neposredno ispred tramvaja, postoji prirodni pokrov preko tračnica, sunce se snažno reflektira od tračnica te dovodi te segmente slike u zasićenje ili je presloženo detektirati tračnice na tračničkim raskrižjima. Neovisno o korištenju informacije o tračnicama za procjenu trajektorije, prvo je svakako nužno dobro estimirati translacijsku i rotacijsku brzinu tramvaja, što se može raditi pomoću inercijske mjerne jedinice i GPS-a, vizualne stereo odometrije te kombinacije navedenih senzora.

Za procjenu trajektorije gibanja drugih sudionika u prometu nužno je koristiti percepcijske senzore. Mi smo koristili vizujske senzore i radar. Glavna je funkcija rada detekcija objekata sa snažnim metalnim tragom, a u nekim se slučajevima može detektirati i ljude, ali s manjom pouzdanošću. Kamere mogu pružati informacije o drugim sudionicima u prometu na više načina, a u ovom je radu obrađena semantička segmentacija dubokim neuronskim mrežama. Za pristupe zasnovane na dubokim neuronskim mrežama potrebno je imati i specijalnu sklopovsku podršku, poput grafičkih kartica. Naravno, uz mjerena iz kamera, objekte je potrebno i pratiti kroz vrijeme da bi se estimirale njihove brzine i mogle predvidjeti njihove trajektorije. U usporedbi s radarem, pješaci se mogu znatno pouzdanoje detektirati vizualnim senzorima.

## Literatura

- [1] Kochenderfer, M.; Decision Making under Uncertainty, MIT Lincoln Laboratory, ISBN: 9780262029254, Lexington, USA, (2015)
- [2] Rehder, J. & Nikolic, J. & Schneider, T. & Hinzman, T. & Siegwart R.: Extending kalibr: Calibrating the extrinsics of multiple IMUs and of individual axes, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), str. 4304-4311, Stockholm, Švedska, (2016)
- [3] Peršić, J. & Marković, I. & Petrović, I.: Extrinsic 6DoF Calibration of a Radar-LiDAR-Camera System Enhanced by Radar Cross Section Estimates Evaluation, Robotics and Autonomous Systems, 114 (2019), str. 217-230, ISSN: 0921-8890
- [4] Cvišić, I. & Ćesić, J. & Marković, I. & Petrović, I.: SOFT-SLAM: Computationally Efficient Stereo Visual SLAM for Autonomous UAVs, Journal of Field Robotics, 35 (2019) 4, str. 578-595, ISSN: 1556-4967

- [5] [http://www.cvlibs.net/datasets/kitti/eval\\_odometry.php](http://www.cvlibs.net/datasets/kitti/eval_odometry.php) Pristupljeno: 2021-02-02
- [6] Neuhold, G. & Ollmann, T. & Rota Bulo, S. & Kortschieder, P.: The Mapillary Vistas dataset for semantic understanding of street scenes, International Conference on Computer Vision (ICCV), Venecija, Italija, (2017)
- [7] Zendel, O. & Murschitz, M. & Zeilinger, M. & Steininger, D. & Abbasi, S. & Beleznai, C.: Railsem19: A dataset for semantic rail scene understanding, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops, Long Beach, USA, (2019)
- [8] Cordts, M. & Omran, M. & Ramos, S. & Rehfeld, T. & Entweiler, M. & Benenson, R. & Franke, U. & Roth, S. & Schiele, B.: The Cityscapes dataset for semantic urban scene understanding, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, USA, 2016
- [9] Krešo, I. & Krapac, J. & Šegvić, S.: Efficient ladder-style DenseNets for semantic segmentation of large images, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, (2020), ISSN: 1524-9050

# **Uvođenje računalnih sustava za pripremu i praćenje proizvodnje u hrvatsku odjevnu industriju**

Dubravko Rogale<sup>1</sup>, Darko Ujević<sup>2</sup>

<sup>1</sup> redoviti član HATZ-a u Odjelu tekstilne tehnologije

<sup>2</sup> redoviti član HATZ-a u Odjelu tekstilne tehnologije

**Sažetak:** Prikazan je početak i prvo uvođenje računalnih sustava za pripremu proizvodnje i praćenje proizvodnje u Hrvatske tvornice odjeće ranih 1990-tih godina u doba promjene društvenog uređenja, rata u Hrvatskoj, loše provodene privatizacije i nedostatka poduzetničke klime, odlaska školovanog tehničkog osoblja, gubitaka tradicionalnih tržišta i pojave novih konkurenata. Da se očuva konkurentска sposobnost valjalo je smanjiti cijenu rada kroz skraćenja vremena izrade, organiziranost tehničke pripreme i proizvodnje, bolju koordiniranost i praćenje proizvodnje i učinka. Rješenje je nađeno u primjeni PC računala, sučelju Windows, umrežavanju računala, primjeni bar kodova i autorskim rješenjima programskih paketa po radnim mjestima, tehnološkim potrebama i potrebama povezivanja s drugim računalnim sustavima. Autorska rješenja instalirana su u brojnim tvornicama odjeće i obrazovnim institucijama što je pomoglo opstanku hrvatske odjevne industrije, primjeni informatike i prvih računalnih mreža koje su kasnije postale temeljem uvođenja CIM konceptcije.

**Ključne riječi:** Hrvatska odjevna industrija, računalni sustavi i mreže, tehnička dokumentacija, praćenje proizvodnje i učinka

## **1. Uvod**

Početak 1990-tih godina bio je vrlo kritičan za hrvatsku odjevnu industriju. Tada je u zemlji došlo do vrlo značajnih promjena koje su bile popraćene i brojnim promjenama u svijetu i svjetskoj odjevnoj industriji. U to doba je u Hrvatskoj odjevna industrija zapošljavala preko sto tisuća radnika, u što nisu ubrojeni ljudi koji su neizravno živjeli od te industrije (trgovci materijalom i odjećom, serviseri strojeva i opreme, prijevoznici, uvozno-izvozne agencije, dobavljači energetika i dr.). K tome

je odjevna industrija u to vrijeme bila i jedan od najvećih izvoznika na zapadna tržišta prihodujući devizna sredstva nasušno potrebna za osamostaljivanje Hrvatske.

Na žalost, država tada (kao i sada) nije pridavala važniji značaj hrvatskoj odjevnoj industriji jer su na scenu došli novi nadobudni ministri koji su na najvećim skupovima otvoreno govorili da tekstil i odjeća, i općenito industrijska proizvodnja, nisu grane na kojima bi Hrvatska gradila svoju budućnost već da se treba okrenuti uslugama kao prioritetu na kojima će država postati novom Švicarskom. To su praktički u istom tjednu doznali strani kupci odjeće proizvedene u Hrvatskoj srušivši cijenu rada i tražeći alternativne proizvođače. Tada je došla i promjena društvenog sustava, iz samoupravnog socijalizma prešlo se u kapitalizam, najrigidnijeg izrabiljivačkog tipa. U takvoj atmosferi došlo je i do nikad objašnjene privatizacije kad su tvornice predavane u vlasništvo tehnički, tehnološki i menadžerski nepismenim ljudima koji su ih ubrzo upropastili i rasprodali stečene vrijednosti. Prvo su rasprodavali trgovine poduzeća, jednu po jednu, jer su tako mogli najbrže uprihoditi poklonjeno bogatstvo, a potom su uslijedila otpuštanja zaposlenika. Pri tome su prvo stradavali obrazovani stručnjaci, tehnolozi, jer su oni, u primitivnim mozgovima novih vlasnika, predstavljali samo parazite koji ništa ne rade. Ostali su proizvodni radnici koji se nisu mogli nositi s proizvodnim izazovima, padala je kvaliteta proizvedene odjeće i izgubila tržišta. Nakon toga uslijedilo je otpuštanje radnika i rasprodaja strojeva i nekretnina. Na taj način uništeno je i nestalo na desetke dobrih tvornica odjeće.

Rat u Hrvatskoj uzrokovao je potpunu devastaciju i nestanak mnogih tvornica odjeće koje su se našle na okupiranom području. I one tvornice koje su bile blizu prvih crta bojišnice ostale su bez posla, što zbog čestih uzbuna i napada, a često i zbog straha kupaca da ne izgube uloženi kapital zbog ratnih djelovanja.

Oni koji su opstali unatoč svima nevoljama, suočeni su s drugim dodatnim izazovima. Padom komunizma u istočnoj Europi iznenada su se otvorila nova tržišta, koja doduše u početku nisu imala dovoljna tehnološka znanja i opremu, ali su to brzo nadoknađivala postajući sve većom konkurencijom. Tako se istodobno s otvaranjem zemalja istočne Europe, počela se na tržištima javljati i Kina, a osobito zemlje jugoistočne Azije koje su s vrlo malim nadnicama značajno rušile cijenu proizvodnje odjeće.

Hrvatsku odjevnu industriju u takvom ozračju spašavala je jedino blizina zapadnih tržišta, pojava QR i JIT strategija, renome kvalitetnih proizvođača odjeće, kultura rada i poštivanje proizvodnih rokova, iznimna kvaliteta proizvedene odjeće, izvrsna opremljenost, stručni kadar te uspostavljeni prijateljski odnosi s dugogodišnjim lojalnim kupcima odjeće. Bez obzira na to, hrvatski proizvođači odjeće bili su izloženi stalnom pritisku smanjenja cijena pa je jedini izlaz bio u održavanju kvalitete uz povećanu produktivnost i smanjenje ukupnog vremena izrade. Takvo što je bilo

moguće samo uvođenjem računalnih sustava za cjelovitu pripremu proizvodnje, izradu tehničke dokumentacije i praćenje proizvodnje u hrvatsku odjevnu industriju koji tada nisu postojali, a značajno su nedostajali.

## 2. Stanje i početna iskustva

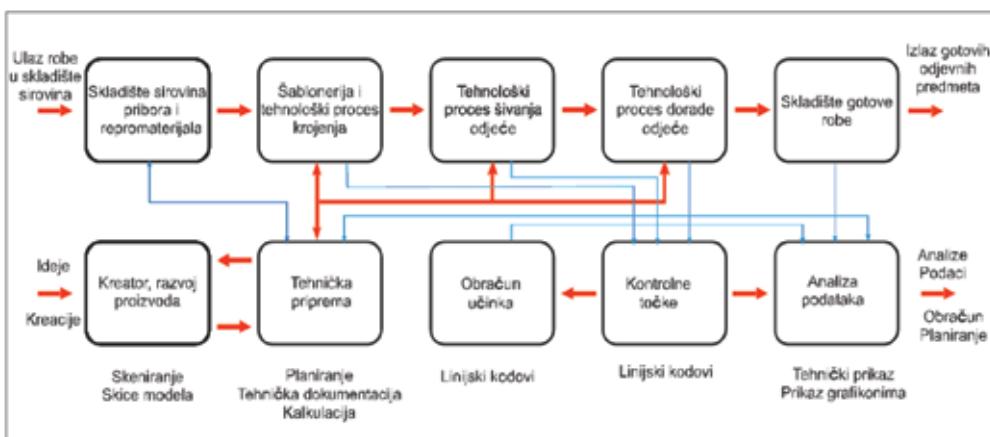
Strukovna javnost osjećala je da se dio rješenja može temeljiti na sveobuhvatnoj primjeni računala i informatičkih tehnologija te je pažljivo pratila efekte prvog pokušaja uvođenja računalne pripreme proizvodnje, izrade tehničke dokumentacije i praćenje proizvodnje. Na to se odlučila jedna eminentna tvornica ženske odjeće iz Hrvatskog zagorja koja je nabavila vrlo skupo main-frame računalo vrlo poznatog svjetskog proizvođača i njegov programski paket. Sličan sustav je već bio instaliran u jednoj zagrebačkoj vrlo velikoj i uspješnoj tvornici elektroničkih uređaja. Prema svim dostupnim podacima tamo je polučio izvrsne rezultate, međutim programska rješenja su bila potpuno neprimjerena potrebama tvornice odjeće i nikad nisu proradila za potrebe odjevne industrije. To je bio poticaj autorima, koji su izvrsno znali stanje u hrvatskoj odjevnoj industriji, da načine vlastita programska rješenja, računalne konfiguracije te da osmisle potrebne podatkovne baze, grafička sučelja i računalne mreže primjerene specifičnim potrebama naših tvornica.

Početkom 1990-tih godina počeo se, uz nedaće navedene u uvodnom dijelu, osjećati i utjecaj modnog dizajna koji je nazočan i danas. Utjecaj modnog dizajna ponajviše se ogleda u malim proizvodnim serijama, kratkim vremenima izrade, visokoj kvaliteti izrade odjeće, teškoćama primjene novih materijala i načina izrade odjevnih predmeta, u problemima organizacije proizvodnje, primjenama novih znanja i teškoćama u tehničkoj pripremi. Male količine odjevnih predmeta u radnom nalogu, a veliki broj boja i desena te disperzija odjevnih veličina, znatno produžuju vrijeme izrade tehničke dokumentacije vezane uz radni nalog. Ako se uzme u obzir da pojedine tvornice dnevno obrađuju više radnih naloga (veće i do desetak radnih naloga) za koje valja izraditi cjelovitu dokumentaciju, vidljivo je da izrada tehničke dokumentacije, praćenje i analiza proizvodnje, u uvjetima koje diktira suvremeni modni dizajn, predstavlja jedan od najsloženijih problema današnje odjevne industrije, početkom 1990-tih godina predstavlja je novinu i nepoznanicu.

Izrada tehničke dokumentacije, organizacija i analiza proizvodnje zaokupljala je naj-sposobniji kadar tehničke pripreme. S obzirom na smanjenje broja stručnih ljudi u tehničkim pripremama, postojeći ljudski potencijal nije više mogao fizički izraditi cjelovitu dokumentaciju. Zbog toga se, gotovo u pravilu, s procesom proizvodnje odjeće započinjalo s nedostatnom dokumentacijom, a nije bila rijetkost da se s proizvodnjom moralo započeti, a da tehnička dokumentacija nije niti izrađena.

S druge strane, visokostručni kadar neinventivno je koristio velik dio radnog vremena na rutinske poslove izrade tehničke dokumentacije, praćenje i analizu proizvodnje što se svodilo na česta prepisivanja istih ili sličnih podataka, a rijetko na istinski kreativan rad u kojem se oplodaju tehnološka i tehnička znanja te iskustvo stručnih ljudi tehničke pripreme. Zato je jedini izlaz bio u što bržem opremanju računalima s ciljem da rutinske radove tehničke pripreme preuzmu računala, time smanje angažman stručnih ljudi i oslobođe im dovoljno vremena za kreativni i inovativan angažman koji istinski unapređuje proizvodne procese.

Autori su odmah u početku postavili shematski prikaz ključnih dijelova tehnološkog procesa proizvodnje odjeće na kojima će se temeljiti radne cjeline i mjesta gdje će biti instalirana računala i računalna mreža, sl. 1.



**Sl 1:** Shematski prikaz karakterističnih tehnoloških radnih cjelina primjerenoj uvođenju računalne podrške proizvodnji odjeće

Stoga je autorski tim definirao minimalan broj neizostavnih i najvažnijih radnih mjesta u prikazanom sustavu [1]:

- radno mjesto likovnog kreatora odjeće i tehničkog projektanta odjeće,
- radno mjesto u skladištu sirovina i pribora te radno mjesto u skladištu gotove robe,
- radno mjesto u konstrukcijskoj pripremi,
- radna mjesta u tehnološkoj i operativnoj pripremi,
- radna mjesta u tehnološkim procesima šivanja i dorade odjeće,
- radno mjesto za obračun učinka te
- radno mjesto za analizu podataka.

Analizom rada kojeg je autorski tim godinama analizirao tijekom višednevnih konsultantskih posjeta tvornicama odjeće diljem Hrvatske uočene su brojne slabosti

konvencionalnog načina vođenja tehnoloških procesa koje su bile temelj za brojna poboljšanja i značajne inovacije.

Autori su uveli svoja nova programska rješenja i umrežene računalne sustave u sljedeće hrvatske tvornice odjeće: **Slavonija** dd. Osijek, **Virovitičanka** dd. Virovitica, **Pearl** doo. Požeški Brešovac, **Zlata** dd. Nova Gradiška, **Orljava** dd. Požega, **Sloga** dd. Požega, **Kotka** dd. Krapina, **Endi International** dd. Zagreb, **Arena** dd. Pula, **MTČ**, pogon Štrigova, **Krateks** dd. Krapina, **Gerok** dd. Đakovo.

Slična programska rješenja i računala autori su uveli po simboličnoj cijeni troška izrade u velike hrvatske tekstilne školske centre (tada veliki školski tekstilni centri s vise odjeljenja i usmjerenja): **Osijek**, **Zabok**, **Duga Resa**, **Varaždin**, **Pula**, **Zagreb** i **Zadar**, potom na **Veleučilište Karlovac**/ Duga Resa, a kao donaciju na **Tekstilno-tehnološki fakultet**, Zagreb i **3. Vinkovačkoj srednjoj školi** koja je imala u sastavu i tekstilni odjel.

Pri tome valja istaknuti nekoliko važnih stvari. Iz prikaza tvornica u kojima su instalirana originalna softverska rješenja vidljivo je da su brojna poduzeća bila na području neposrednih ratnih zbivanja i da se do nekih nije moglo stići na izravan način s obzirom da je Zapadna Slavonija bila dijelom okupirana, a cestovni i željeznički pravci blokirani (predio Okučana). Stoga se dugotrajno i tegobno putovalo zaobilazno, često i preko planina u zimskim uvjetima makadamskim putevima, uz prometne i opasnosti vojnog djelovanja.

Valja istaknuti i još jednu činjenicu koja je znatno otežavala uvođenje računalnih sustava i programa u hrvatsku odjevnu industriju, a to je da su autori za svaki privredni subjekt morali izraditi posebno programsko rješenje, primjereno zatećenoj organizacijskoj strukturi i navikama u svakoj tvornici. To je značajno otežavalo i produljivalo implementaciju, ali je zato uvođenje radnika u rad sustava bilo nevjerojatno kratko. Radnici su i dalje radili načinom kojeg su znali i koji je bio specifičan za svaku tvornicu odjeće, ali rad se odvijao primjenom računala, znatno brže i točnije. Stoga je svaka implementacija bila brza, jednostavna i rado prihvaćena od radnika i tehologa.

Računalna mreža temeljila se na na tada modernoj Ethernet mreži, isprva realiziranoj s koaksijalnim, a kasnije na UTP kablovima, na način da su sva radna mjesta imala ravnopravan status. Ta mreža pokazala sa izvrsnom u odjevnoj tehnologiji i nikad nije stvarala probleme u komunikaciji radnih mjesta u sustavu.

### **3. Primjeri postavljenih radnih mjesta i izrade tehničke dokumentacije**

Pokazalo se da računalno bazirane tehnologije ili tehnologije podržane računalom znatno mijenjaju tehnološki profil proizvodnje odjeće. Informatizacija uspješno rje-

šava probleme efikasnosti proizvodnje odjeće. U Hrvatskoj je informatizacija načinila kvalitetan skok proizvodnog procesa (projektiranje, modeliranje, kontrola procesa, upravljanje, lansiranje modela, primjenu kontrolnih točaka praćenja proizvodnje, efikasnost rada i obračun rada još u pogonu, implementaciju proizvodnih rezultata, brzinu odlučivanja, preglednost, uštedu materijala i repromaterijala, isplativost investicija u roku od 6 mjeseci). Pri tome je osnovni uvjet postignuti ekonomičnost novih tehnoloških rješenja u okviru jednog poslovnog sustava, što se izražava kroz proizvodne troškove, odnosno cijenu proizvoda.

Mjerenjima učinkovitosti uvođenja računalnih sustava i programa po zamislima autora utvrđeno je da se postiže porast kvalitete proizvoda oko dva puta, produktivnost kapitalne opreme se poveća oko dva puta kod manje složenih proizvoda, odnosno do pet puta za tehnološki vrlo složene proizvode. Također, pouzdanost i nadzor procesa znatno je poboljšana, a sposobnost i produktivnost inženjera u tehnološkoj, operativnoj i konstrukcijskoj pripremi i analizi procesa i sistema poraste od tri do čak 28 puta (npr. u slučaju izrade planova tehnoloških procesa) ovisno o stupnju educiranosti, itd.

Sustav rada računalno tehnoloških programa za pripremu i praćenje proizvodnje odjeće temelje se na modulima skladišta sirovina, konstrukcijske pripreme, operativne i tehnološke pripreme, obračuna u pogonu, linijskog zapisa, skladišta gotovih proizvoda, te sustavnoj i trenutnoj analizi s pregledima izvršenja.

### **3.1. Elementi modula konstrukcijske pripreme**

Elementi modula konstrukcijske pripreme sastoje se od više elemenata:

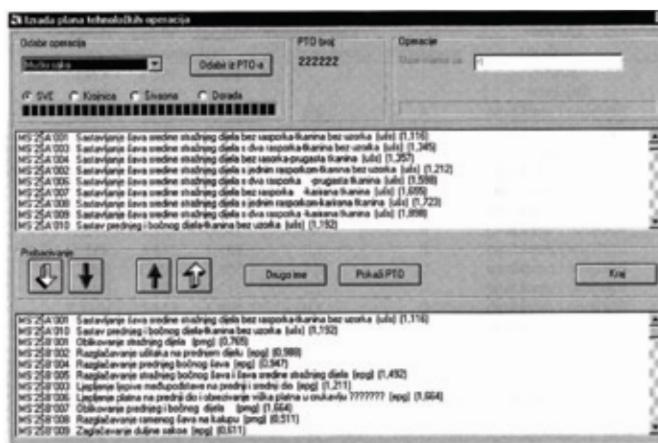
- liste kupaca - upisuju se kupci odnosno poslovni partneri za koje se izrađuju odjekni predmeti, ovaj dio se koristi radi kasnijeg lakšeg pregleda i analize proizvodnog procesa vezanog uz pojedinog kupca,
- liste modela - sadrži opis pojedinih modela, razrađen po elementima i navodima specifičnosti za pojedini element,
- radni list modela - objedinjuje podatke o kupcu i modelu,
- naloga komercijalne službe - sadrži podatke o rokovima izrade pojedinih modela za poznatog kupca, razradu modela po osnovnim materijalima i veličinama s pripadajućim utrošcima osnovnog materijala za određenu odjeknu veličinu, te račun prosječnog utroška osnovnog materijala iz zadanih utrošaka po veličinama i zadanog broja komada po veličinama,
- karte boja - dokument koji se nastavlja na nalog komercijalne službe, a sadrži listu pomoćnog materijala i pribora vezanog uz model u nalogu komercijalne službe,
- sastavnice materijala (normativ) – dokument koji se veže na kartu boja, a u kojem se upisuje utrošak pomoćnog materijala i pribora za jedinicu proizvoda,

- radnog naloga - dokument kojim od proizvodnje zahtijeva izradu određenog proizvoda u zadanim veličinama i količinama, a gdje su objedinjeni podaci iz naloga komercijalne službe, karte boja i sastavnice,
- sastavnica potrebnog materijala – dokument koji se izvodi iz radnog naloga, a sadrži listu osnovnih materijala i pribora sa pripadajućim količinama potrebnih za izvršenje radnog naloga, i proslijeduje se u skladište osnovnog materijala i pribora.
- izdatnice osnovnog materijala i pribora – dokument koji se izrađuje se na temelju sastavnice, a na čijoj osnovi se određeni materijal prenosi iz skladišta osnovnog materijala i pribora u radne jedinice koje su ujedno i mjesta utroška materijala,
- povratnice osnovnog materijala i pribora i predatnica gotove robe – dokumenti koji se kreiraju nakon završetka proizvodnog procesa. Povratnica osnovnog materijala i pribora vraća eventualni ostatak materijala i pribora u pripadajuće skladište, a predatnica gotove robe prenosi gotov odjevni predmet u skladište gotovih proizvoda.

### 3.2. Elementi modula tehnološke i operativne pripreme

Temelj ovih priprema su katalozi tehnoloških operacija rada koje su podijeljene po odredištima i grupama. Tehnološka operacija sadrži podatak o kategoriji rada, sredstvu rada, trajanju i norma komadima za zadanu satnicu.

Prema zahtjevu radnog naloga izrađuje se plan operacija rada koji sadrži dio operacija iz kataloga operacija koje su potrebne za izradu zadanog modela, sl. 2.. Operacije u planu su posložene redoslijedom izvršavanja u proizvodnom procesu.



Sl 2: Prikaz zaslona računalnog monitora pri interaktivnoj izradi plana tehnoloških operacija

Autori su utvrdili da se za izradu planova tehnoloških operacija troši najviše vremena jer se nazivi i drugi podaci iz kataloga tehnoloških operacija doslovno prepisuju jedna po jedna. To kod složenijih odjevnih predmeta, za čiju izradu je potrebno izvesti u projektu od 200 do 300 operacija, izaziva zamjetan utrošak vremena uz česte pogreške pri prijepisu vremena izvođenja što pak uzrokuje pogreške izračuna za kalkulacije cijena i izračuna pri određivanju parametara tehnološkog procesa proizvodnje.

Na sl. 2 se vidi prihvatljivost primjene vizualne prezentacije podataka u ondašnjim Windows sučeljima. U gornjem dijelu zaslona vidljiv je postojeći katalog tehnoloških operacija. Izabrana operacija iz kataloga označi se mišem i jednostavno prebaciti u donji dio zaslona gdje se izrađuje plan tehnoloških operacija. Postoji i opcija da se slični planovi operacija za modele odjevnih predmeta koji se malo razlikuju jednostavno modifcira tako da se u skupu od 200 operacija, desetak nepotrebnih operacija izbaci i ubaci desetak potrebnih operacija, pri čemu nije potrebno dirati stotine drugih zapisa. Prema iskustvima koji su stečeni projektom uvođenja računalnih sustava ovo je bilo radno mjestom na kojem se rad ubrzao (skoro nevjerojatnih) 28 puta u jednoj tvornici ženske gornje odjeće u Zapadnoj Slavoniji.

Istodobno se s odabirom tehnoloških operacija izvodi rekapitulacija vremena izvođenja po vrstama strojeva i rekapitulacija vremena po tehnološkim fazama što se računalnom mrežom transferira na druga radna mjesta za ekonomski kalkulacije i uspostave tehnoloških procesa proizvodnje određenog modela odjevnog predmeta. Gotov plan tehnoloških operacija se potom otiskuje na računalnom tiskalu, sl. 3.

Plan tehnoloških operacija		Stavka	NBS Vrijeme	NBS Vrijeme (NBS)
Kode	Stavka grupe	Opis	Sred. radna vrijeme (avg)	NBS Vrijeme (NBS)
201	2	Zaglavljivanje i zaglavljivanje u pojedinim i zaglavljavanje po mreži (avg)	375	32,00
202	2	Zaglavljivanje kočica (avg)	382	347,00
203	2	Oblikovanje kočica (avg) u svrduši stručnjeg dijela „Oblik i pojedinačno“ (avg) (187)	384	347,00
204	2	Sortirajući stručnjeg dijela radnje po svrdli i izradci nepotrebiti (avg) (avg) (149)	384	347,00
205	2	Raspolaživoči svrdli stručnjeg dijela rukovo i međučlanje mrežnog (avg) (149)	321	28,00
206	1	Sortirajući stručnjek (avg) (149)	321	28,00
207	1	Štampanje kočica (avg) (44)	321	28,00
208	2	Raspolaživoči kočica (avg) (106)	255	20,00
209	1	Hajdanje mrežnog na desni kočici (avg) (50)	540	50,00
210	1	zadnjeg pojedinačno (avg) (279)	252	20,00
211	1	oblikovanje pojedinačno i sortiranje pojedinačno, izraditi vježbice i mrežnog	329	28,00
212	2	zadnjeg pojedinačno (avg) (128)	209	18,00
213	2	zaglavljivanje pojedinačno (avg) (22)	529	45,00
214	2	štampati pojedinačno (avg) (113)	235	11,50
215	1	izradci raspisi (avg) (33)	206	11,00
216	3	zadnjeg pojedinačno (avg) (20)	771	22,00

Sl 3: Prikaz otisnutog plana tehnoloških operacija

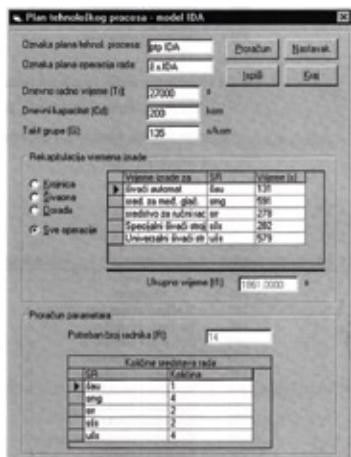
Nakon plana operacija izrađuje se dokument plana tehnološkog procesa u kojem se operacije iz plana operacija raspoređuju po radnim mjestima s ciljem da se dobije optimalno opterećenje i iskoristivost radnih mesta, sl. 4. Izrada plana tehnološkog

procesa je također znatno pojednostavljena i ubrzana interaktivnim radom i izračunom svih parametra još u tijeku grupiranja operacija po vrstama strojeva i prema izračunatom taktu grupe.

Dokument evidencija izvršenog rada pridružuje djelatniku operacije rada koje su izvršene u toku radnog dana i broj izrađenih komada navedene operacije.

Iz evidencije izvršenog rada dobivaju se pregledi: izvršenje radnih naloga, izvršenje operacija rada, izvršenje radnih jedinica i kumulativ po radnim nalogu, a dodatkom evidencije izostanaka i pregled izvršenja djelatnika kroz zadani period, te obračun rada istog.

Dosadašnja iskustva dokazuju da računalni sustav pokazuje optimalne rezultate umrežavanjem najmanje sedam PC računala na različitim radnim mjestima u jedinstvenu Ethernet mrežu. Sustav sačinjavaju računala instalirana na radnim mjestima kreatora koji razvija odjevni predmet, u skladištu materijala i gotove robe, radno mjesto u konstrukcijskoj pripremi, barem jedno radno mjesto u tehnološkoj pripremi, u tehnološkom procesu šivanja i doradbe odjeće, na obračunu učinka i za analizu proizvodnje na temelju svih prikupljenih podataka. Navedeni sustav može egzistirati u tzv. ravnopravnoj peer-to-peer mreži ili tzv. client/server konfiguraciji ako se želi ići na postupna proširenja i povećanja broja računalnih radnih mjesta u umreženom računalnom sustavu.



**SI 4:** Prikaz zaslona računalnog monitora pri interaktivnoj izradi plana tehnoloških

### 3.3. Karakteristična radna mjesta za računalnu potporu

Rješenja rade pod operativnim sustavima s izraženim grafičkim mogućnostima, a koriste posebno organizirane baze i skupine podataka, pripadajuće programske pakete i module uz primjenu tehnikе linijskih kodova [2].

### *3.3.1 Radno mjesto kreatora i razvoja odjevnog predmeta*

Ovo radno mjesto je opremljeno PC računalom koje uz uobičajenu opremu ima i profesionalni grafički monitor, grafički tablet, skener i tiskalo u boji te programe za crtanje pa prije svega koristi dizajneru za razvoj kreacija. Uz to, na ovom se radnom mjestu mogu preuzimati gotovi crteži pristigli uz tehničku dokumentaciju od kupca, izrađivati opis odjevnog predmeta i plan tehnoloških operacija potrebnih za njegovu proizvodnju, plan potreba za materijalima te izrađivati pretkalkulacija cijene koštaja odjevnog predmeta. Načinjeni ili preuzeti crteži, izrađeni opisi i planovi tehnoloških operacija kao i kalkulacije mogu se, putem mreže, prenositi do drugih radnih mesta u tehnološkoj i konstrukcijskoj pripremi i izravno unositi u dokumente.

### *3.3.2. Radno mjesto u skladištu sirovina i gotove robe*

Radno mjesto u skladištu sirovina i gotove robe ima zadatak evidentiranja stanja u ulaznom skladištu osnovnog i pomoćnog materijala te pribora i u izlaznom skladištu gotove robe prema kupcima i radnim nalozima (ako je način isporuke tako organiziran). Na ovom radnom mjestu se održava baza podataka o materijalnom stanju na skladištu, omogućavaju se potrebna pretraživanja baze, sačinjavanje i ispis skladišnih dokumenata (primke, povratnice, popratnice, zahtjevnice i sl.), izvođenje inventure stanja skladišta na određeni dan, na kraju godine i sl. Ovo radno mjesto ima posebno značenje kad se zaključe potrebni zahtjevi za materijalom tijekom izrade određenog radnog naloga u tehnološkoj pripremi. Tada se na upit s tog radnog mjeseta, putem mreže, pretraži stanje potrebnih materijala, daje potvrda o nazočnosti i dovoljnim količinama potrebnih materijala i ispisuje posebna lista o materijalima koji nedostaju ili ih nema dovoljno.

### *3.3.3. Radno mjesto u konstrukcijskoj pripremi*

Služi za razradu sustava oznaka odjevnih veličina odjevnih predmeta koji će se proizvoditi u pojedinim radnim nalozima prema kupcima i njihovim zemljama te kontrolu (ako je utrošak određen od strane kupca) ili definiranje utrošaka materijala (ako utrošak nije određen) po pojedinim odjevnim veličinama. Tu se izrađuje i tzv. kartica osnovnog i pomoćnog materijala odnosno pribora te plan krojenja.

### *3.3.4. Radna mjesta u tehnološkoj i operativnoj pripremi*

Namijenjena su samostalnom radu na odvojenim nalozima ili simultanom radu na jednom radnom nalogu kad to nalaže hitnost posla. Tu se otvaraju radni nalozi i upisuju opći podaci vezani uz radni nalog. Potom se izrađuje tablica zastupljenosti odjevnih predmeta spram oznaka odjevnih veličina i desena materijala. U tu svrhu se putem mreže koriste već razrađeni sustavi odjevnih veličina prema zahtjevima naručioца te utrošci materijala prema odjevnim veličinama, sl. 5.

Razrađa veličina radnog naloga															
Dodaj vrsnu dezena		Pregled		Kraj											
Osn.mat.	Šir.mat.	Utr.mat.	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	Utr.mat.	Uk.zad.	Uk.iskr.
		Glat materijal	122	125	130	135	140	143	147	150	155	160			
		-/-													
		-/-													
Deseni/boja	Tehnički nalog														
2645/018	094-0		13	6	10	5	8		16				79.99	58	
2708/017			5	22	10								103.26	75	
2801/637			2	10	10		10	9	4	2	10	5	87.19	62	
2902/642			10			20		40	20	10			140.80	100	
2903/618			20	16			5		10	20	13		116.25	84	
2904/229			20	18		10		12					77.56	60	
2900/684	094-1		2	16					22				54.78	40	
2901/428	094-2		10	20	16	19	10	14	17	40			209.08	146	
2901/648			16	16	15	10	8	14	16				131.07	95	
Utr.mat.			71.98	151.25	80.60	95.85	68.60	144.43	133.77	121.50	124.00	8.00	999.98		

Sl 5: Prikaz zaslona računalnog monitora pri razradi odjevnih veličina

Rezultat rada su i automatski utvrđene ukupne potrebe za materijalima i to prema desenima i odjevnim veličinama kao i specifikacija broja odjevnih predmeta po određenim bojama i veličinama (i sve to u vrijeme kad su tablični kalkulatori bili još u povojima). Razrađeni deseni materijala se potom koriste za razradu potreba za osnovnim i pomoćnim materijalom te priborom, a potom se također automatski izračunavaju ukupne potrebe za materijalima, izrađuje tzv. karta boja i izvodi se potrebna kontrola nazočnosti materijala u skladištu. Također se tiskaju svi potrebni dokumenti za sve tehnološke procese proizvodnje odjeće te za skladišta materijala. Na ovim radnim mjestima se održavaju sve važnije baze podataka pa tako i složen katalog tehnoloških operacija. U slučaju da u tvornici odjeće postoji služba studija rada, katalog operacija može biti na posebnom radnom mjestu na kojem će se održavati i mijenjati katalog, odnosno specifična baza podataka, u skladu s utvrđenim normama proizvodnje.

### 3.3.5. Radna mjesta u tehnološkim procesima šivanja i doradbe odjeće

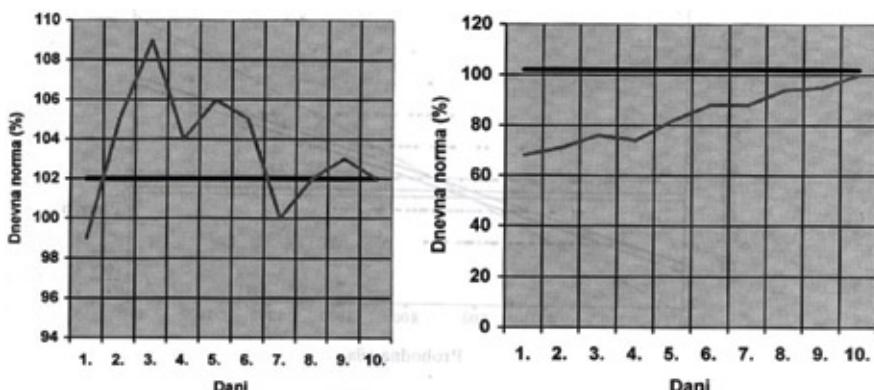
Ova radna mjesta se koriste na kritičnim mjestima u proizvodnji, a služe za unos podataka o stanju tehnološkog procesa. Praćenje proizvodnje može se provesti i na samo pojedinim tzv. kontrolnim točkama postavljenim na manjem broju karakterističnih radnih mjesta koja su bitna za proizvodni proces. Praćenje proizvodnje može se obaviti unosom podataka o protoku odjevnih predmeta logističkim (ručnim) unosom podataka putem tipkovnica ili automatskim unosom podataka primjenom tehnike linijskih kodova. Primjena tehnike linijskih kodova omogućava gotovo trenutan unos podataka u računalne sustave tako da je moguće postići gotovo istovremen uvid u realno stanje proizvodnje. Ti se podaci kasnije koriste na radnim mjestima za analizu podataka i za donošenje odluka o intervencijama u proizvodnom procesu.

### 3.3.6. Radno mjesto za obračun učinka

Automatizirana računalna evidencija učinka obavlja se prikupljanjem evidencijskih obrazaca s nalijepljenim naljepnicama na kojima je otisnut linijski kod i skupina alfanumeričkih podataka koji se odnose na tehnološke operacije i radne naloge. Uz svaki proizvodni svežanj na radno mjesto dolazi i popratni karton s ljepivim etiketama s linijskim kodom na kojem su kodirani podaci oznake radnog naloga, broj svežnja, i redni broj tehnološke operacije. Na vrhu evidencijskog obrasca nalijepljena je oznaka s kodiranim matičnim brojem radnika, njegovim imenom i prezimenom te oznakom radne jedinice u kojoj radi. Nakon izvođenja svih operacija u svežnju, radnik uzima naljepnicu i lijepi je na svoj evidencijski obrazac. Na kraju radnog dana na njegovom evidencijskom obrascu nalaziti će se sve etikete svih svežnjeva na kojima je spomenuti radnik izvodio tehnološke operacije proizvodnje odjeće. Odlaskom s radnog mjeseca radnik svoj evidencijski obrazac predaje radniku koji izvodi obračun učinka (evidentičaru ili tzv. poenteru) koji će dostavljene podatke unijeti u računalni sustav primjenom laserskih skenirajućih čitala linijskih kodova. Kod ovog postupka ne postoji mogućnost lažnog prijavljivanja većeg broja izvedenih operacija niti operacija koje ne postoje u izvođenim radnim nalozima. Ovo radno mjesto i način rada detaljnije su opisani u sljedećoj točki ovog udžbenika.

### 3.3.7. Radno mjesto za analizu podataka

Primjenom različitih računalnih modula se umreženi računalni sustav može iskoristiti za praćenje i analizu dnevnog izvršenja proizvodnje, kao i za praćenje stanja proizvodnje spram određenih radnih naloga. Dio podataka se može koristiti za izradu dnevnog obračuna proizvodnje, a drugi dio za prikaz stanja izvedenih tehnoloških operacija u radnom nalogu, odnosno stanje proizvodnje spram radnog naloga, dnevna norma po radniku ili izvršenja pri uvježbavanju novog radnika, sl. 6.



Sl 6: Prikaz izvršenja dnevnih normi radnika ili radne jedinice (lijevo) i dijagram izvršenja radnika pri izvođenju nove tehnološke operacije (desno)

Prikaz stanja izvedenih tehnoloških operacija u određenom radnom nalogu može biti izvedeno grafičkim prikazom duljina koje su u razmjeru prema izvedenom broju tehnoloških operacija i broja odjevnih predmeta koji se proizvode u radnom nalogu, apsolutnim brojem izvedenih operacija i postotnim udjelom. Ovaj prikaz se pojavljuje na PC računalu glavnog tehnologa.

Na temelju prikazanih podataka se može izvesti uvid u trenutno stanje proizvodnje, analiza stanja, mjesta nastanka uskih grla i donositi više operativnih zaključaka s kojima se može pozitivno utjecati na daljnji tijek proizvodnje odjeće.

## 4. RAČUNALNI OBRAČUN UČINKA I ANALIZA PROIZVODNJE

Obilježje ondašnjih (a i današnjih) radnih naloga je da su vrlo maleni, a u njima vlada obilje boja, desena, materijala i odjevnih veličina. Tijekom proizvodnje najjednostavnijih odjevnih predmeta treba izvesti više od desetak tehnoloških operacija proizvodnje odjeće, za složenije i nekoliko desetaka, a za najsloženije i više od stotine tehnoloških operacija. Za svaku tehnološku operaciju karakteristično je da joj je pridružen i podatak o normiranom vremenu izrade i tzv. kategorija rada koja se odnosi na stupnjevanje grupa složenosti izvođenja operacije.

Svi ti podaci se nužno evidentiraju tijekom obračuna učinka proizvodnih radnika, pa ako prosječna radna jedinica od nekoliko desetaka radnika dnevno radi na barem dva ili više radnih naloga tijekom dnevnog radnog vremena može se zaključiti da radnik koji radi na evidenciji i obračunu radnih učinaka mora dnevno obraditi više stotina (pa i više od tisuće) raznih skupina zapisa. Tijekom obrade učinka za svakog radnika iz radne jedinice mora se uzeti njegov evidencijski karton ili bilježnica te po pojedinim radnim nalozima pročitati zapis oznake ili naziva tehnološke operacije, provjeriti da li se ta operacija uistinu izvodi u tom nalogu, pronaći njeno vrijeme izvođenja i kategoriju rada iz plana tehnoloških operacija pridruženih tom radnom nalogu ili iz kataloga tehnoloških operacija te izvesti specifične računske operacije obračuna učinka uzimajući pri tome i prijavljen broj izvedenih tehnoloških operacija. Prijavljen broj tehnoloških operacija valja stalno uspoređivati s brojem odjevnih predmeta u radnom nalogu kako ne bi došlo do razlike između prijavljenih i izvedenih tehnoloških operacija. Iz omjera suma vremena izrade svih evidentiranih tehnoloških operacija nekog radnika u jednom radnom danu i iznosa dnevnog radnog vremena izračunava se i dnevno izvršenje norme radnika. Osim toga, svaka tvornica odjeće izrađuje još i neke dodatne specifične prikaze potrebne za analizu praćenja učinka.

Evidencija učinka (izvedenog rada) izvodila se u spomenutim projektima na više načina, ovisno o stupnju razrađenosti konvencionalnog načina obračuna učinka, odnosno razine i razgranatosti računalnih sustava [3], pa postoji:

- konvencionalna računalna naknadna evidencija učinka pri čemu se koriste uobičajeni evidencijski kartoni ili bilježnice (evidencijski obrasci) koje radnici predaju nakon radnog vremena, a unos podataka u računalni sustav obavlja radnik zadužen za obračun učinka nakon radnog vremena radne jedinice, sl. 7.

## Konvencionalni računalni naknadni unos učinka

Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"> <li>Koriste se uobičajeni evidencijski kartoni ili bilježnice</li> <li>Radnici ih predaju nakon radnog vremena</li> <li>Unos obavlja radnik zadužen za obračun učinka nakon radnog vremena RJ</li> </ul>	Korištenje računala Gubitak vremena proizvodnih radnika
	Jednom unijeti podaci – trajno ostaju – mogućnost analize Računalni unos tek nakon radnog vremena
	Ispis evidencijskih, obračunskih i analitičkih lista Unos podataka tipkovnicom

SI 7: Konvencionalni naknadni računalni unos učinka: prednosti i nedostaci

- automatizirana računalna naknadna evidencija učinka pri čemu se koriste posebni evidencijski kartoni s ljepivim naljepnicama linijskih kodova koje radnici također predaju nakon radnog vremena, a i unos podataka se automatizirano obavlja nakon radnog vremena, sl. 8 i

## Automatizirani računalni naknadni unos učinka

Prednosti	Nedostaci
Vrlo brz, lagan i točan upis pomoći linijskih kodova (10-ak s)	Računalni unos tek nakon radnog vremena
Nema mogućnosti upisa krivih podataka	Posebni programski moduli
Gubitak vremena proizvodnih radnika minimalan (lijepljenje naljepnica na evidencijski karton)	
Mogućnost analize	



SI 8: Automatizirani naknadni računalni unos učinka: prednosti i nedostaci

- automatizirana računalna evidencija učinka s istodobnim praćenjem proizvodnje pri čemu se koriste pojednostavljeni evidencijski kartoni i tehnika linijskih kodova, a unos podataka se odvija odmah po izvedenom nizu tehnoloških operacija, sl. 9.

## Automatizirani računalni unos učinka s istodobnim praćenjem proizvodnje

Prednosti	Nedostaci
Proizvodni radnici ne izvode evidenciju učinka i ukida se RM za radnika za obračun učinka	Potreba bolje tehnološke pripreme radnih naloga (raspis proizvodnih partija i tiskanje popratnih kartona)
Pojednostavljeni unosni kartoni i tehnika linijskih kodova	Veće opterećenje manipulanta na MFT
Obračun – istodobno s obavljenjem TO na svežnju izradaka	
Mogućnost analize	
Umreženi računalni sustav – praćenje realne proizvodnje	
Unos podataka – odmah nakon izvedbe niza TOPO – unosi manipulant na MFT	

SI 9: Automatizirani naknadni računalni unos učinka: prednosti i nedostaci

Podatke unosi manipulant na sustavu međufaznoga transportiranja. Na taj način se u tzv. realnom vremenu odvija promptni obračun učinka i istodobno se ostvaruje realni uvid u trenutno stanje proizvodnje. Zbog ondašnje skupoće sustava za čitanje linijskih kodova i potrebe njihovog instaliranja na više radnih mesta, ovaj sustav primijenjen je samo u jednoj tvornici pletene odjeće u Istočnoj Slavoniji.

Kontrola i djelomična obrada podataka potrebna za obračun učinka započinje već tijekom postupka čitanja (dekodiranja sadržaja) linijskih kodova ili ručnog upisa podataka s evidencijskih obrazaca i traje, radi učinkovitosti postupka, usporedno s unosom podataka.

Tijekom unosa podataka čitalima linijskih kodova se najprije čita linijski kod s ko-diranom oznakom matičnog broja radnika. Potom se iz baze podataka proizvodnih radnika, na temelju matičnog broja, isčitava ime i prezime radnika te njegova pripadnost radnoj jedinici, a zatim se ti podaci ispisuju i kontroliraju na zaslonu monitora. Unositelj podataka potom kontrolira ispravnost identifikacije radnika usporedbom računalnog ispisa na monitoru i zapisa imena i prezimena radnika isписаног ispod zapisa linijskog koda na naljepnici evidencijskog obrasca.

Nakon identifikacije radnika započinje čitanje niza naljepnica s linijskim kodovima. Svaki zapis linijskog koda, odmah se po čitanju, automatski dijeli na tri segmenta:

- oznaku radnog naloga i godinu proizvodnje,
- oznaku svežnja i
- redni broj tehnološke operacije prema planu tehnoloških operacija.

Isti podaci se mogu unijeti na kombiniran ili logistički način.

Računalo, nakon izведенog unosa podataka, prema oznaci radnog naloga otvara bazu podataka radnih naloga po vrstama odjevnih predmeta i u njoj pronalazi oznaku

plana tehnoloških operacija koji je pridružen tom radnom nalogu kao i broj odjevnih predmeta koji će se proizvoditi po tom nalogu. Potom otvara bazu podataka planova tehnoloških operacija i u njoj čita vrijeme izrade jedinice proizvoda, a također čita i kategoriju rada.

Taj postupak tijekom kombiniranog ili logističkog načina unosa podataka znači i automatsku kontrolu pripadnosti operacije radnom nalogu tako da nije moguće prijaviti izvođenje nepostojećih tehnoloških operacija koje se ne izvode u pojedinom radnom nalogu.

Nadalje, prema dekodiranoj oznaci svežnja, pronalazi se broj dijelova odjevnog predmeta u tom svežnju. Time se ima pročitan i pripremljen podatak potreban za množenje broja izvedenih operacija koji će se kasnije koristiti tijekom obračuna učinka ili prikaza trenutnog stanja proizvodnje. Također se obavlja i istovremena kontrola da li broj prijavljenih izvedenih tehnoloških operacija premašuje broj odjevnih predmeta u radnom nalogu.

Podaci iz baze učinaka se mogu koristiti za različite proračune i analize [4]. Tako se na temelju upisanih učinaka može izračunati dnevno izvršenje norme radnika na način da se izračunaju pripadni ostvareni norma sati rada radnika (množenjem broja izradaka s normiranim vremenom izratka), a potom se izvede dijeljenje vremena nazočnosti radnika na poslu s ostvarenim norma satima. Na sličan način se izračunava mjesечно izvršenje norme (dijeljenjem sati rada radnika tijekom mjeseca s ostvarenim norma satima tijekom mjeseca).

Analiza i ispis obračuna te trajno pohranjivanje se izvodi za:

- dnevni obračun učinka pojedinog radnika,
- mjesecni obračun učinka za pojedinog radnika,
- dnevni obračun po radnim jedinicama,
- mjesecni obračun po radnim jedinicama,
- dnevni obračun po radnom nalogu i
- završni obračun učinka po radnom nalogu nakon njegovog zaključenja.

Svi navedeni obračuni izvode se potpuno automatski, točno i vrlo brzo, a njihov prikaz može se izvesti na zaslonima monitora ili otisnuti na tiskalu.

## 5. ZAKLJUČCI

Uvođenje računalnih sustava za pripremu i praćenje proizvodnje u hrvatsku odjevnu industriju potrajalo je od 1990. do 2000. godine, skoro jedno desetljeće. U tom raz-

doblju razvijen je projekt uvođenja računala primjeren potrebama isključivo hrvatske odjevne industrije. Svaki programski paket i računalna konfiguracija izvedeni su prema načinima rada i uobičajenim organizacijskim postavkama specifičnim za svaku tvornicu odjeće, što je autorima znatno otežalo izradu programskih paketa ali je ubrzano implementaciju sustava. Radnici i tehnolozi su brzo prihvatali računalni sustav jer su prepoznавali poznate metode i organizaciju rada, tako je uvođenje sustava u puni rad trajalo iznimno kratko, oko tjedan dana.

Uvođenje računalnih sustava za pripremu i praćenje proizvodnje znatno je skratilo vrijeme izrade odjeće što se brzo odrazilo na konkurentnost tvornica koje su se u ono doba ohrabrike na novi tehnološki iskorak, a sve je to utjecalo i na ukupnu konkurentnost hrvatske odjevne industrije te na kvalitetu srednjoškolske i visokoškolske (veleučilišne i sveučilišne) nastave u Hrvatskoj. Uštede, s obzirom na smanjenje vremena proizvodnje, su bile takve da se sustav u pravilu otplatio za manje od šest mjeseci rada.

Uvođenje računala i računalnih mreža u ondašnje doba u tehnološke procese proizvodnje odjeće zacijelo je otvorilo put kasnjem uvođenju CIM koncepcije u odjevnu industriju Hrvatske, tako da je ona danas (s 580 aktivnih poduzeća i s tendencijom rasta tog broja) značajna i moderno opremljena proizvodna grana, okrenuta pretežito izvozu.

## Literatura

- [1] Rogale, D., Hudec, G., Ujević, D. & Hudec K.: Računalna izrada tehnološke dokumentacije i praćenje proizvodnje u odjevnoj industriji, *Tekstil*, **43**. (1995.) 5, 224-228, ISSN 0492-5882
- [2] Rogale, D., Ujević, D. & Rasinec, N.: Nove metode računalnog unošenja i obračuna učinka u odjevnoj industriji, *Tekstil*, **46**. (1997.) 4, str. 212-218, ISSN 0492-5882
- [3] Rogale, D., Ujević, D., Firšt Rogale, S. & Hrastinski, M.: *Procesi proizvodnje odjeće*, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 978-953-7105-32-7, Zagreb, (2011.)
- [4] Rogale, D., Firšt Rogale, S., Dragčević, Z. & Ujević D.: Nove tehnologije i inovacije u svrsi opstanka i razvoja odjevne industrije, *Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske 2016*, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, ISBN 978-953-7076-27-6, Zagreb (2017.), str. 291-314,

# Tendencije razvoja znanstveno-stručnog savjetovanja tekstilna znanost i gospodarstvo

Darko Ujević<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet (e-mail: [darko.ujevic@ttf.hr](mailto:darko.ujevic@ttf.hr))

<sup>2</sup> redoviti član HATZ-a u Odjelu tekstilne tehnologije

**Sažetak:** *U radu je na konkretnoj i realnoj osnovi opisana ideja, realizacije kao i rezultati međusobne suradnje znanstvenika, brojnih stručnjaka i gospodarstvenika sa svrhom jačanja konkurenčne sposobnosti i tekstilnog gospodarstva. Prikazan je mogući način objedinjavanja svih čimbenika na intelektualnom i gospodarskom planu i prioritetnim razvojnim područjima unutar i kroz međunarodnu suradnju kroz znanstveno-stručna savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo. Ukratko je opisan put od idejnih zamisli do realizacije. Postavljeni su kriteriji i prepoznavljivost za danas i sutra, kada je evidentno potrebno poticati razvoj znanstvenih potencija primjenjivijih u gospodarstvu kao preduvjeta uspješnosti na tržištu. Danas je evidentno da je tekstil postao iznimski čimbenik globalnog čovječanstva.*

**Ključne riječi:** tekstil, koža, obuća, modni dizajn, tekstilna znanost i gospodarstvo, uloga znanosti u razvoju proizvoda

**Sažetak:** *The paper describes on a concrete and realistic basis the idea, realization and results of mutual cooperation of scientists, numerous experts and businessmen with the aim of strengthening competitiveness and textile economy. A possible way of combining all factors in the intellectual and economic field and priority development areas within and through international cooperation through scientific and professional consulting Textile Science and Economy is presented. The path from conceptual ideas to realization is briefly described. Criteria and recognition have been set for today and tomorrow when it is evidently necessary to encourage the development of scientific potentials more applicable in the economy and success in the market. Today, it is evident that textiles have become a remarkable factor of global humanity.*

**Ključne riječi:** textile, leather, footwear, fashion design, textile science and economy, the role of science in product development

## 1. Uvod

Stručna i praktična iskustva zasigurno su jedan od temeljnih znanstvenih izazova. Kontinuirana suradnja znanstvenika, stručnjaka različitih profila, uključenih u jedan ili više razvojnih ciljeva te stručnjaka s praktičnim znanjem u gospodarstvu, nameće se kao nužnost u dinamičnim okruženjima proizvodnje, prodaje u sektoru tekstila, odjeće, obuće, kože i proizvoda od kože, zaštitne odjeće, dizajna i modne odjeće na domaćem, europskom i svjetskom tržištu. Posebno istaknuti faktor u okruženju je područje kvalitetnih i razvojnih istraživanja s praktičnom primjenom u smjeru gospodarstva te unutar njega. Stoga se može istaknuti koliko je važna sinergija akademskih aktivno intelektualnih i gospodarskih proizvodnih strategija te međusobno povezanih potencijala s ciljem zajedničke realizacije znanstveno-stručnih projekata i stvaranju inovativnih proizvoda dodane vrijednosti. Ovakav sinergijski učinak predstavlja izuzetno dobre preduvjete za pozicioniranje na tržištu.

Postupak, procedura i realizacija stručnog i znanstvenog problema podrazumijeva niz međusobno povezanih čimbenika kao što su:

- analiza postojećeg stanja,
- vizija strateškog razvoja,
- organizacija unutarnjih čimbenika,
- fleksibilnost,
- odabir najpovoljnije metode i tehnologije,
- znanje stručnjaka implementirano u timskom radu,
- usvajanja novih racionalnijih metoda i sofisticiranih tehnologija te njihovih implementacija i
- priprema za dobro pozicioniranje na vrlo zahtjevnom domaćem i međunarodnom tržištu.

Nekoliko navedenih čimbenika bili su ključne ideje prema ostvarenju iznimno zahtjevnih uvjeta koji je NATO pakt (1970-ih godina) postavio za izradu odjevnih predmeta u tvornici trikotaže Pionirka d.d., (poslije Trimont d.d.) iz Imotskog. Za navedenu trikotažnu tvornicu to je predstavljalo veliki stručni i tehnološko-organizacijski izazov, od razvoja kvalitativnog desno-desnog pletiva preko zahtjevnog SMB bojadisanja, stabilizacije dimenzije, izrade svih zahtjevnih specijalnih šivanih šavova te ostalih tehnika spajanja na specijalnim šivačim strojevima. U vrlo kratkom vremenskom razdoblju bilo je neophodno ospozobiti ljudske i tehnološke resurse za kvalitativnu i kvantitativnu isporuku na tržište vrlo zahtjevnog naručitelju. Cjeloviti proces proizvodnje kontinuirano su nadzirali kontrolori kvalitete čiji je nalogodavac bio naručitelj. Najveću pozornost tvrtka Pionirka usmjerila je na proizvodnju vrlo zahtjevnog proizvoda tzv. gumi - lastic (+/- 10% skupljanja) kojeg je trebalo dodatno stabilizirati kako bi tijekom procesa proizvodnje i uporabe zadržao navedena svoj-

stva. Uz iznimno veliko zalaganje stručnjaka i tehnologa tvrtka Pionirka je uspjela u izradi zahtjevnog proizvoda koji je nakon određenog vremena postao jedan od važnijih izvoznih proizvoda. Uz navedeni proizvod koji je zahtijevao veliku usredotočenost stručnjaka te veliku implementaciju višegodišnje stečenog znanja i iskustva, bilo je potrebno zadovoljiti i neke druge uvjete naručitelja pri isporuci i pakiranju gotovih trikotažnih proizvoda. Tvrta je i drugi izazov riješila uz iznimno zalaganje stručnog tima. Primjer tvrtke Pionirka je naveden kao dobar primjer fleksibilnosti, vizije strateškog razvoja, učinkovite organizacije unutarnjih čimbenika te povoljnog odabira metode rada i tehnologije izrade. Znanje stručnjaka i tehnologa implementirano je u timskom radu gdje su usvojene nove metode rada, čime se tvrtka pozicionirala na vrlo zahtjevnom domaćem i međunarodnom tržištu [1].

Kroz cijeloviti proces proizvodnje, od ideje do realizacije proizvoda i plasiranja na tržište, iznimno je značajno na svim razinama načiniti objektivno vrednovanje stručne, znanstvene, organizacijske, gospodarske i društvene vrijednosti doprinosa pojedinih sudionika u procesu. U bilo kojem obliku organizacije provođenja određenih projekata, organizacije savjetovanja i sličnih aktivnosti, ključnu ulogu imaju pojedinci koji udruženi u timove daju puni veći doprinos te učinkovitije i brže ostvarivanje zadatah ciljeva [1, 2].

Generator razvoja gospodarskih grana i potencijala uvijek je bilo znanje i spremnost na njegovu implementaciju.

U tom smjeru su 2007. godine krenula promišljanje na koji način Tekstilno-tehnološki fakultet, kao znanstvena institucija Sveučilišta u Zagrebu, može kroz prikaz i predstavljanje svojih znanstvenih i umjetničkih potencijala doprinijeti unapređivanju znanja, tehnologije i inovacija u gospodarskom sektoru tekstila, odjeće, obuće i modnog dizajna. Na Sveučilištu u Zagrebu Tekstilno-tehnološkom fakultetu kao jedinoj znanstveno-istraživačkoj instituciji za područje tekstila, kože i obuće u Republici Hrvatskoj, nalazi se najveća koncentracija znanstvenika i istraživača iz područja tekstilne tehnologije i modnog dizajna s visokovrijednom znanstveno-istraživačkom opremom koja može odgovoriti na upite gospodarskih subjekata u svakom trenutku. Dugi niz godina se promišljalo na koji način ostvariti sinergiju s gospodarstvenicima. Nekada se povezivanje gospodarstvenika i znanstveno-istraživačke institucije odvijalo preko Zagrebačkog velesajma koji je organizirao Intertekstil – međunarodni sajam tekstila i pratećih industrija, koji se nažalost već dugi niz godina ne organizira.

## **2. Znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo (TZG)**

Činjenica da u RH postoje velika, srednja i mala poduzeća u sektoru tekstila, odjeće, modnog dizajna, proizvoda od kože, zaštitne obuće i odjeće, koji predstavljaju i daju

značajan ekonomski i socijalni doprinos, kao i razgovori s predstavnicima gospodarstva, bila je pokretač o povezivanju gospodarstva sa znanstveno-visokoobrazovnom institucijom. Vrlo su rijetki gospodarstvenici koji posjeduju primjerene istraživačke i razvojne potencijale i znanstveno-istraživačku opremu. Smatralo se kako se kroz zajedničku suradnju može realizirati niz novih vidljivih i prepoznatljivih rezultata na tržištu. Ovaj sinergijski učinak bi trebao doprinijeti razvoju i implementaciji proizvoda s dodanom vrijednošću kroz zajedničke znanstveno-stručne projekte. Preko transfera tehnologija uz primjenu postojeće tehnologije na novim ili unaprijeđenim proizvodima s nizom novih inovativnih rješenja mogu se postići povoljniji tržišni i znanstveni rezultati.

Svaka ideja treba biti vidljiva, jasna i prepoznatljiva svakom sudioniku u procesu stvaranja. Način izlaganja ideje treba imati svoj pristup, djelokrug djelovanja, subjekti koji su ili se žele uključiti u razvoj i realizaciju ideje, koju je potrebno generirati i dati odgovor što se točno od nje očekuje u kraćem ili dužem razdoblju. Polazna ideja za navedeno savjetovanje je bila da se na jednom mjestu poput znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo objedine svi akademsko znanstveni potencijali Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i proizvodno-gospodarskih subjekata, koji počivaju na intelektualnim i razvojnim područjima, kako bi se u toj sinergiji prepoznao sveukupni potencijal znanosti i gospodarstva [3].

Idejni začetnik i glavni organizator prof. dr. sc. Darko Ujević sa svojim timom uspijeva početkom 2008. godine organizirati prvo znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo (TZG), koje se kontinuirano održava već 13 godina uzastopno, s osnovnim ciljem povezivanja znanstveno-istraživačkih mogućnosti Tekstilno-tehnološkog fakulteta i hrvatskog tekstilnog gospodarstva. Na svakom

savjetovanju (osim 7. TZG 2014) izdan je zbornik radova u kojem su objavljeni recenzirani znanstveni i stručni radovi po sekcijama. Slika 1. prikazuje prvi Zbornik radova koji je objavljen 26. siječnja 2008. godine.



**Slika 1.**  
Zbornik radova, TZG, 2008. [4]

Podršku savjetovanju su pružili mnoge institucije poput Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, Znanstvenog vijeća za tehnološki razvoj, Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa, Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva, Hrvatske gospodarske komore, Hrvatske udruge poslodavaca, Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, Fonda za zaštitu okoliša i Hrvatskog inženjerskog saveza tekstilaca. Od svih navedenih institucija TZG savjetovanju su prisustvovali njihovi predstavnici kao i mnogi predstavnici gospodarskih

subjekata. Tako velikim odazivom bila je potvrđena činjenica o potrebi organizacije ovakvog oblika savjetovanja što je bilo na veliku čast cijelokupnom Organizacijskom odboru kojeg su sačinjavali djelatnici Tekstilno-tehnološkog fakulteta i predstavnici gospodarstvenika. Također je veliku zahvalu zaslužio i Znanstveni odbor koji je za-služan za recenziranje i publiciranje znanstvenih i stručnih radova u Zborniku radova savjetovanja.

Od siječnja 2008. godine do rujna 2020. godine uspješno je održano svih 13 znanstveno-stručnih savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo, s tim da su 2010., 2011., 2012., 2019., i 2020. godine održana međunarodna znanstveno-stručna savjetovanja.

## **2.1 Znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo - TZG (2008.-2020.)**

**Prvo savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo održano je 26. siječnja 2008. godine** koje je Tekstilno-tehnološki fakultet (TTF) Sveučilišta u Zagrebu organizirao s ciljem učvršćivanja ili uspostavljanja novih veza između akademske institucije i gospodarstva. Savjetovanje se direktno uklapa u Strateški okvir za razvoj 2006.-2013. g. u kojem se ističe spoj znanosti i gospodarstva kao ključni dio. Savjetovanje je pokrenuto na inicijativu tadašnjeg dekana prof. dr. sc. Darka Ujevića, nastojeći spojiti poduzetništvo sa znanstvenicima i stručnjacima te time pridonijeti inicijativi gospodarstva temeljena na znanju. Novi uvjeti poslovanja, stvoreni primjenom informatičkih tehnologija i globalizacijom tržišta, zahtijevaju zapošljavanje kadrova najvišeg stupnja obrazovanja i najtalentiranijih u organizaciji i vođenju poduzeća s ciljem izgradnje konkurentske prednosti. Ovim savjetovanjem Tekstilno-tehnološki fakultet je, kao zasad jedina znanstvena institucija u Hrvatskoj u području tekstila, odjeće i obuće, nastojao predočiti gospodarskom sektoru svoja dosadašnja isku-stva i kompetencije u području obrazovanja i znanosti. Također se nastojalo okupiti predstavnike nadležnih ministarstava (Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva) i gospodarskih udruženja (Hrvatska gospodarska komora, Hrvatska udruga poslodavaca, Hrvatska obrtnička komora) te predstaviti njihove inicijative (projekte, klastere) u području tekstila, odjeće i obuće. Savjetovanje je prvenstveno bilo namijenjeno malim i srednjim poduzećima (MSP-a). U plenarnom predavanju nastojalo se ukratko predočiti smjernice Europe-ske tehnološke platforme za budućnost tekstila i odjeće u koju su djelatnici TTF-a uključeni i aktivno su pridonijeli svojim radom u pojedinim tematskim ekspertnim skupinama stvaranju Strategije istraživanja i razvoja (Strategic Research Agenda) do 2020.g. Sekcija pozvanih predavanja okupila je vodeće znanstvenike i stručnjake iz industrije koji su u svojim segmentima prikazali svoj doprinos Razvojnoj strategiji Republike Hrvatske, dok su u poster sekcijsi prikazani znanstveni i stručni radovi

znanstvenika s Tekstilno-tehnološkog fakulteta te je predstavljeno nekoliko organizacijskih jedinica (CTD, STEP i AMCA TTF-a) [5].

**Drugo znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo (TZG) održano je 23. siječnja 2009. godine.** Uz nastavak trenda povezivanja hrvatskog poduzetništva sa znanstvenicima i stručnjacima za zajednički doprinos razvoju gospodarstva temeljenog na znanju, drugo Savjetovanje bilo je usmjereni i na poticanje suradnje sa EU, kao i na poticanje regionalne suradnje sa znanstvenicima, stručnjacima i gospodarstvenicima iz susjednih država. Izbor tema ovog Savjetovanja ukazuje na čvrstu opredijeljenost i usmjeravanje hrvatskog tekstilnog i odjevnog gospodarstva sukladno smjernicama europske tehnološko-razvojne platforme, te prema njezinim projektima u području tekstila i odjeće. Upravo u sklopu te platforme održano je predavanje s predstavljanjem Sedmog okvirnog programa europske unije s mogućnostima uključivanja hrvatskog tekstilnog i odjevnog gospodarstva. Nakon toga je predstavljen novi informatički projekt izrađen s ciljem okupljanja hrvatskih tekstilaca te fakultetski projekt cjeloživotnog obrazovanja. Prikazan je tehnološki razvoja Hrvatske u 21. stoljeću kao i struktura tekstilne industrije u BiH. Savjetovanju su prisustvovali znanstvenici i gospodarstvenici iz zemalja regije, čime je Savjetovanje potvrdilo međunarodni značaj i znanstveno-stručnu težinu. U Zborniku Savjetovanja su srednji, veliki i mali poduzetnici predstavili svoje robne marke, proizvodne rezultate i nove inicijative [6].

**Treće međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo održano je 22. siječnja 2010. godine,** koje se nastavlja na pozitivnim iskustvima stečenim na prethodnim savjetovanjima te potvrđuje nastojanja Tekstilno-tehnološkog fakulteta za produbljenjem i proširenjem povezivanja i okupljanja znanstvenika I gospodarstvenika iz područja tekstila, odjeće i obuće. Pokazalo se da je upravo povezivanje i zajedništvo na temeljima znanja i iskustva najbolji mogući put održivog razvoja tekstilnog gospodarstva. Savjetovanje je održano u razdoblju teške gospodarske situacije odnosno recesije koja je zahvatila cijeli svijet, uključujući i Hrvatsku i sve zemlje regije. Recessija je imala značajan negativan utjecaj na tekstilno gospodarstvo koje je već bilo oslabljeno globalnim ekonomskim turbulencijama. Savjetovanje je bilo sufinancirano sredstvima EU projekta FP7-REGPOT- 2008-1: T-Pot, čiji je jedan od ciljeva bio sinergija gospodarstva i znanosti s naglaskom na značajnije korištenje znanstveno-istraživačkih resursa (R&D) u funkciji unapređenja i razvoja proizvodnje. Po prvi puta je organiziran Okrugli stol na kojem su gospodarstvenici i ostali sudionici imali mogućnost direktnog uključivanja u raspravu na temu pozicije EU i HR tekstilne industrije u globalnom okruženju. Gospodarstvenici su imali mogućnost razgovora o projektnim mogućnostima s potencijalnim partnerima iz Italije, Njemačke, Španjolske, Poljske, Mađarske i Slovenije koji su prezentirati svoja iskustva. Značajno je istaknuti plenarno predavanje koje je prikazalo primjer uspješnog malog i srednjeg poduzeća iz Europske unije [7].

**Četvrto međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo održano je 29. siječnja 2011. godine.** Unatoč teškoj recesijijskoj godini u gospodarstvu Hrvatske, Tekstilno-tehnološki fakultet je uspio u svom nastojanju da produbljuje i proširuje povezivanje i okupljanje znanstvenika i gospodarstvenika iz područja tekstila, odjeće i obuće. Tema savjetovanja vođena je idejom perspektive modnoga dizajna kao novoga kreativnoga identiteta te ju postavlja u središte promišljanja, kritičkog istraživanja interdisciplinarnoga područja suvremenih društvenih i humanističkih znanosti, interdisciplinarnoga područja umjetnosti i vizualnih komunikacija te tehničkih znanosti u interakciji s društvenim akterima i gospodarskim subjektima. Implementacijom tematskih okvira Modnog dizajna i društvenih komunikacija, Vizualnog identiteta u suvremenoj modi, Tehnoloških inovacija u tekstilstvu, Dizajna i održivog razvoja nastoji pridonijeti dalnjim istraživanjima i evaluaciji dizajna u okviru svjetskih trendova. Znanstveno-stručno savjetovanje imalo je karakter multidisciplinarnoga foruma koji je okupio kompetentne istraživače, sveučilišne profesore, umjetnike i modne dizajnere, stručnjake za vizualne komunikacije i marketing te predstavnike tekstilne i modne industrije u raspravi oko strategije promjene značenja i funkcije modnoga dizajna u 21. stoljeću u Hrvatskoj i u svijetu. Plenarno predavanje ukazalo je na mogućnosti za hrvatsko tekstilno i odjevno gospodarstvo na planu razvoja modnoga dizajna kao novoga kreativnoga identiteta. Također i na ovom Savjetovanju su se odazvali znanstvenici i gospodarstvenici iz svijeta što potvrđuje njegov međunarodni značaj i ozbiljnost pristupa problematici. U sklopu Savjetovanja održan je i Okrugli stol na temu Društvo znanja i gospodarstvo iz područja tekstila, kože, obuće, galerije i dizajna, s osnovnim ciljem za stvaranje novog pristupa promjenama [8].

**5. međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo koje je održano 26. siječnja 2012.** Posebnost ovog Savjetovanja je uključivanje vrijednog suorganizatora Suvremena.hr, koji je svojim sudjelovanjem u pripremi, organizaciji, promoviranju i svim ostalim aktivnostima značajno pridonio brojnosti i kvaliteti izlagača radova te ukupnom uspjehu Savjetovanja, a ujedno i potvrdio dosiranje važnog cilja Savjetovanja - izravna suradnja i stručna povezanost tekstilne znanosti s gospodarstvom. Upravo je suorganizator dao svoj obol kod izbora teme panel diskusije: Novi izazovi u industriji i trgovini tekstila, odjeće, kože, galerije I obuće, čime je kvalitetno upotpunjeno težište Savjetovanja na procesno mehaničke i odjevne tehnologije. Jedno od uvodnih izlaganja na skupu je "Svjetska i europska tekstilna industrija u raljama krize i globalizacije" - koje prezentira predstavnik Udruženja tekstilne industrije iz EU, a uvodna tema panela je: "Super i hipermarketi kao suvremeni kanali distribucije tekstila, kože, obuće i galerije kao trend" čime se naglašava nužnost čvrste povezanosti tekstilne tehnologije i tekstilne proizvodnje s ekonomskim i trgovačkim aspektima suvremenog gospodarstva. Razumijevajući značaj i potrebu regionalne suradnje, na savjetovanje su se odazvali brojni znanstvenici i stručnjaci iz regije čiji su radovi također objavljeni u Zborniku, gdje su

predstavljene male i srednje tvrtke s vlastitim rezultatima, proizvodima, brendovima i novim inicijativama [9].

**6. znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo održano je 24. siječnja 2013. godine** s naglaskom na mlade ljude, studente TTF-a, ali i ostale studente. Želja Savjetovanja je bila ostvariti sinergijsko povezivanje resursa TTF-a, drugih fakulteta i udruge e-STUDENT, s gospodarskim subjektima, institucijama, poduzetničkim inkubatorima, bankama i tvrtkama koje nude komplementarne usluge i proizvode. Predstavljen je i izbor glavnih tema savjetovanja poput Potencijali TTF-a, Pogled gospodarstva na ulogu TTF-a u gospodarskim aktivnostima, Aspekti stranih ulaganja u hrvatski TOKGOI te izlaganje Strateški okviri i akcijski plan za sektore TOKGOI [10].

**7. znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo održano je 24. siječnja 2014. godine.** Glavni naglasak Savjetovanja je bio na tada najaktuálnijoj inicijativi u Republici Hrvatskoj - pametnoj specijalizaciji koja bi trebala do-prinijeti ne samo razvoju sektora tekstila, kože i obuće, nego i boljoj međusektorskoj suradnji [11].

**8. znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo održano je 26. siječnja 2015. godine** u suorganizaciji Klastera konkurentnosti industrije tekstila, kože i obuće, Klastera konkurentnosti obrambene industrije, Klastera konkurentnosti kreativne i kulturne industrije, pod naslovom "Funkcionalni materijali, odjeća, obuća i oprema" [12].

**9. znanstveno – stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo održano je 25. siječnja 2016. godine** u suorganizaciji Visoke škole za ekonomiju, poduzetništvo i upravljanje Nikola Šubić Zrinski i Hrvatskog klastera konkurentnosti industrije tekstila kože i obuće, pod naslovom Kreativni mikser [13].

**10. znanstveno – stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo održano je 24. siječnja 2017. godine** u suorganizaciji Hrvatskog klastera konkurentnosti industrije tekstila kože i obuće, pod naslovom Komplementarnost znanosti, tehnologije i dizajna [14].

**11. znanstveno – stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo održano je 24. siječnja 2018. godine** u suorganizaciji Hrvatskog klastera konkurentnosti industrije tekstila kože i obuće, pod naslovom Tekstil, koža i obuća – Sektor održivog razvoja u RH [15].

**12. međunarodno znanstveno – stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo održano je 23. i 24. siječnja 2019. godine** pod naslovom Francusko

– Hrvatski forum 2019. (12 th International Scientific – Professional Symposium Textile Science & Economy, French – Croatia Forum 2019) [16].

**13. međunarodno znanstveno – stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo održano je 18. septembra 2020. godine**, pod naslovom Kinesko – Hrvatski Forum 2020 (13th International Scientific – Professional Symposium Textile Science & Economy, Chinese-Croatian Forum 2020) u organizaciji Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta, a suorganizator savjetovanja je College of Textile and Clothing Engineering, Soochow Sveučilište iz Kine. Partner u pripremi savjetovanja bio je Konfucijev institut Sveučilišta u Zagrebu. Tema savjetovanja je bila Inovativnost, dizajn i digitalizacija u sektoru Tekstil i koža [17].

Održavanje navedenih znanstveno-stručnih TZG savjetovanja rezultiralo je kvalitetnijim povezivanjem znanstvenika i gospodarstvenika u obliku zajedničkog publiciranja radova, zajedničkih prijava EU projekata, zapošljavanje studenata pri završetku preddiplomski, diplomski ili stručni studija.

Navedene aktivnosti savjetovanja dovele su i do boljeg prepoznavanja te pozicioniranja Tekstilno-tehnološkog fakulteta na ustanovama u Republici Hrvatskoj, Europi i svijetu. Također je ostvarena vrlo iznimna suradnja s nekoliko značajnih gospodarstvenika kao što su Kotka d.d iz Krapine, Amadeus jeans d.o.o. iz Zagreba, Galeb d.d iz Omiša i Jadran tvornica čarapa d.d. iz Zagreba, koji su uložili vlastiti kapital za opremanje četiri predavaonice na Tekstilno-tehnološkom fakultetu u Zagrebu na lokaciji Prilaz baruna Filipovića 28 a, Slika 2 Ovaj vrijedan rezultat zasigurno je stečeno povjerenje između gospodarskih subjekata i Fakulteta, ali ujedno i zrelost i produktivnost buduće suradnje.

U znak zahvalnosti te četiri predavaonice na Tekstilno-tehnološkom fakultetu nose naziv tvrtki koje su financirale njihovo opremanje. Danas je iznimno lijepo čuti kako su studenti i nastavnici Tekstilno-tehnološkog fakulteta prihvatali nazine navedenih dvorane te se vrlo često spominju upravo te tvrtke Galeb d.d., Amadeus d.o.o., Kotka d.d. ili Jadran d.d., što je i bio cilj! Sinergija i povjerenje!.



Dvorana Jadran d.d. Zagreb

Dvorana Amadeus d.o.o. Zagreb

Dvorana Galeb d.d. Omiš

Dvorana Kotka d.d. Krapina

**Slika 2.** Novo uređene predavaonice na Tekstilno-tehnološkom fakultetu iz sredstava gospodarstvenika

### 3. Zaključak

Što prisnija i neposrednija suradnja znanstvenika, stručnjaka i gospodarstvenika danas je jedan od važnijih čimbenika u području razvoja prototipova, proizvoda i usluga, kao i proizvoda s dodanom vrijednošću. Posebice kada se zna da je tekstil svugdje prisutan u gotovo svim sektorima privređivanja. Da je osim zaštite i odijevanja, tekstil postao bitna komponenta koje utječu na opstojnost ljudske civilizacije. Tekstilno-tehnološki fakultet raspolaže s iznimno vrijednom znanstveno-istraživačkom opremom, dokazanim, motiviranim i propulzivnim znanstvenicima i stručnjacima koji zasigurno na prethodno spomenutom planu mogu dati iznimani doprinos. Cilj savjetovanja je dugoročna opstojnost te proširivanje organizacijskog razvoja znanstveno-stručnog savjetovanja. Tekstilna znanost i gospodarstvo u organizaciji Tekstilno-tehnološkog fakulteta u sinergiji s gospodarstvom i partnerskim institucijama iz zemlje i svijeta.

### 4. Literatura

- [1] Ujević, D.: *Projekcija razvoja tvornice trikotaže i konfekcije Pionirka Imotski*, DIATUS, Split, 1989.
- [2] Ujević, D.: Problematika i mogućnosti mjerjenja tehnoloških faktora šivanja pletene odjeće, *Tekstil*, 49. (2000), 5; str. 229-236, ISSN 0492-5882
- [3] *Monografija Sveučilišta u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, povodom 50 godina tekstilnog studija na Sveučilištu u Zagrebu i 20 godina Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu*, Ujević, D (ur.), Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 978-953-7105-40-2, Zagreb, 2011.
- [4] Ujević, D.: Osobne bilješke vezane za znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo (2008.-2012.)
- [5] Zbornik radova 1. Znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, 26. siječnja 2008, Zagreb, Hrvatska, ISBN 978-953-7105-23-5
- [6] Zbornik radova 2. Znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, 23. siječnja 2009, Zagreb, Hrvatska, ISBN 978-953-7105-27-3
- [7] Zbornik radova 3. međunarodnog znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, 22. siječnja 2010, Zagreb, Hrvatska, ISBN 978-953-7105-35-8
- [8] Zbornik radova 4. međunarodnog znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, 26. siječnja 2011, Zagreb, Hrvatska, ISBN 978-953-7105-39-6
- [9] Zbornik radova 5. međunarodnog znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, 26. siječnja 2012, Zagreb, Hrvatska, ISSN 1847-2877
- [10] Zbornik radova 6. znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, 24. siječnja 20013, Zagreb, Hrvatska, ISSN 1847-2877
- [11] Salopek Čubrić I.: Održano 7. znanstveno-stručno savjetovanje „Tekstilna znanost i gospodarstvo“ – TZG 2014., *Tekstil* (2014.), 63 (1-2) 59-60. ISSN 0492-5882
- [12] Zbornik radova 8. Znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, 26. siječnja 2015, Zagreb, Hrvatska, ISSN 1847-2877

- [13] Zbornik radova 9. Znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, 25. siječnja 2016, Zagreb, Hrvatska, ISSN 2584-6450 (on-line)
- [14] Zbornik radova 10. Znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, 24. siječnja 2017, Zagreb, Hrvatska, ISSN 2584-6450 (on-line)
- [15] Zbornik radova 11. Znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, 24. siječnja 2018, Zagreb, Hrvatska, ISSN 2584-6450 (on-line):
- [16] Book of proceedings 12<sup>th</sup> International Scientific-Professional Symposium Textile Science & Economy, January 23<sup>rd</sup> to 24<sup>th</sup>, 2019, Zagreb, Croatia, ISSN 2584-6450 (on-line)
- [17] Book of proceedings 13<sup>th</sup> International Scientific – Professional Symposium Textile Science & Economy, September 18<sup>th</sup> 2020, Zagreb, Croatia ISSN 2584 – 6450 (on-line)

# Mjerenje i analiza vibracija energetskih transformatora s ciljem smanjenja buke

Tomislav Bazina<sup>1,2,3</sup>, Ervin Kamenar<sup>1,2,3</sup>, Saša Zelenika<sup>1,2,3,5</sup>, Marko Perčić<sup>1,2,3</sup>, Željko Vrcan<sup>1</sup>, Branimir Ćučić<sup>4</sup> i Mislav Ilijašević<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Laboratorij za precizno inženjerstvo, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, Hrvatska

<sup>2</sup> Sveučilište u Rijeci, Centar za mikro- i nanoznanosti i tehnologije, Laboratorij za precizno inženjerstvo i tehnologiju mikro- i nanosustava, Radmile Matejčić 2, 51000 Rijeka, Hrvatska

<sup>3</sup> Sveučilište u Rijeci, Centar za umjetnu inteligenciju i kibernetičku sigurnost, Laboratorij za umjetnu inteligenciju u mehatronici, Radmile Matejčić 2, 51000 Rijeka, Hrvatska

<sup>5</sup> redoviti član HATZ-a u Odjelu strojarstva i brodogradnje

<sup>4</sup> Končar distributivni i specijalni transformatori d.d., Josipa Mokrovića 8, Zagreb, Hrvatska

**Sažetak:** Karakterizacija dinamičkog odziva je ključna pri analizi buke energetskih transformatora te određivanju mjera za minimizaciju buke. Nastajanje buke je uvjetovano međudjelovanjem uzbude jezgre i namotaja te prijenosom uzbude fluidom za hlađenje do oplate. Taj kompleksni mehanizam može se analizirati jedino naprednim numeričkim modelima temeljenim na mjerjenjima. U ovom se radu, kao izvanredan primjer prijenosa znanja, opisuje napredna vremenska i frekvencijska analiza vibracijskih učinaka temeljena na pažljivom planiranju eksperimentenata DoE metodama te opsežnim eksperimentalnim mjerjenjima dinamičkog odziva oplate energetskog transformatora tvrtke Končar D&ST d.d. provedenima koristeći beskontaktnu lasersku Doppler interferometrijsku metodu. Provedena analiza stvara preduvjete za razvoj modela koji će omogućiti unapređenje konstrukcije analiziranih kompleksnih sustava s ciljem smanjenja buke te daljnog zadovoljavanja sve strožih međunarodnih normi za energetske transformatore.

**Ključne riječi:** energetski transformatori, analiza buke, mjerenje i modeliranje

## 1. Uvod

Tvrtka Končar distributivni i specijalni transformatori d.d. (Končar D&ST) iz Zagreba jedna je od vodećih tvrtki u sektoru proizvodnje distributivnih, srednjih energet-

skih i specijalnih transformatora do 160 MVA i 170 kV koja svoje proizvode isporučuje diljem svijeta. Trendovi te novi EU i drugi međunarodni normativni zahtjevi nameću sve strože kriterije u pogledu dozvoljene razine buke takvih uređaja. Tvrta Končar D&ST se, stoga, snažno usmjerila na ulaganje resursa i znanja u kontinuirani razvoj i unapređenje svojih proizvoda [1]. Karakterizacija dinamičkih odziva je u tom kontekstu ključan aspekt u analizi razine buke energetskih transformatora jer sustavna mjerena, analiza i modeliranje vibracijskih odziva omogućavaju pronalaženje novih načina minimizacije buke.

Na tom je području istraživačka skupina koja djeluje u sklopu Laboratorija za precizno inženjerstvo Tehničkog fakulteta [2], ali i pri Centru za mikro- i nanoznanosti i tehnologije [3] te Centru za umjetnu inteligenciju i kibernetičku sigurnost [4] Sveučilišta u Rijeci [5], sredinom 2019. godine započela suradnju s tvrtkom Končar D&ST. Doista, uz postizanje navedenih tehničkih rezultata koji povoljno utječu na konkurenčnost proizvoda tvrtke Končar D&ST, kroz uspostavljenu suradnju sam Tehnički fakultet u Rijeci značajno promiće prijenos znanja i tehnologija prema gospodarstvu, što se ne samo uklapa u strateške prioritete Sveučilišta u Rijeci, nego daje i veliki doprinos područjima pametne specijalizacije Sveučilišta u Rijeci, ali i onima Republike Hrvatske i EU.

U sklopu zajedničkog rada Končar D&ST i Tehničkog fakulteta provode se, tako, napredne eksperimentalne i numeričke analize dinamičkog odziva različitih tipova energetskih transformatora s ciljem smanjivanja razine buke. Pritom se koriste napredne metode planiranja mjerena vibracija temeljene na *Design-of-Experiment* (DoE) algoritmima, specijalna hardverska i softverska oprema za beskontaktno mjereno vibracija dostupna u Laboratoriju za precizno inženjerstvo Tehničkog fakulteta u Rijeci [6], ali i resursi superračunala Bura dostupnog pri Centru za napredno računanje i modeliranje Sveučilišta u Rijeci [7]. Doista, nastajanje buke kod analiziranih uređaja je uvjetovano kompleksnim međudjelovanjem uzbude jezgre i namotaja te prijenosom uzbude kroz fluid za hlađenje do oplate transformatora, što je predmet intenzivnih recentnih znanstvenih istraživanja [8-10].

U sklopu suradnje Tehničkog fakulteta u Rijeci i tvrtke Končar D&ST do sada je uspješno provedeno više kampanja eksperimentalnih mjerena dinamičkog odziva na različitim tipovima transformatora u različitim režimima rada (kratki spoj i prazni hod) te pri različitim opterećenjima, odnosno različitim razinama magnetske indukcije. U novije se vrijeme provode i mjerena koja omogućavaju određivanje faktora prigušenja oplate kotlova različitih izvedbi transformatora. Na temelju dobivenih rezultata mjerena napravljene su sveobuhvatne analize u vremenskoj i frekvencijskoj domeni te su postavljeni temelji za dobivanje modela koji bi trebali omogućiti bolji uvid u mehanizam prijenosa vibracija, stvaranja buke koja je posljedica vibracija te, konačno, unapređenje konstrukcije energetskih transformatora s ciljem identifikacije načina minimizacije buke.

U ovom je radu opisan primjer vibracijske analize energetskog transformatora nazivne snage 90 MVA te nazivnog napona 33 kV. Analiza se temelji na opsežnim eksperimentalnim mjeranjima dinamičkog odziva oplate transformatora te posljedično provedenoj naprednoj vremenskoj i frekvencijskoj analizi rezultata vibracijskih odziva.

## 2. Mjerna oprema i analizirani sustav

Vibracijska analiza provedena je na oplati (plaštu) uljnog energetskog 90 MVA / 33 kV transformatora prikazanog na Slici 1. Mjerenja su provedena korištenjem be-skontaktnog laserskog Doppler vibrometra *Metrolaser Vibromet 500V* [11] te akvizicijske opreme tvrtke National Instruments. Budući da je kvadrat brzine direktni pokazatelj emitirane zvučne snage, u svim je mjeranjima kao mjerena veličina odbarana brzina odziva konstrukcije [10].



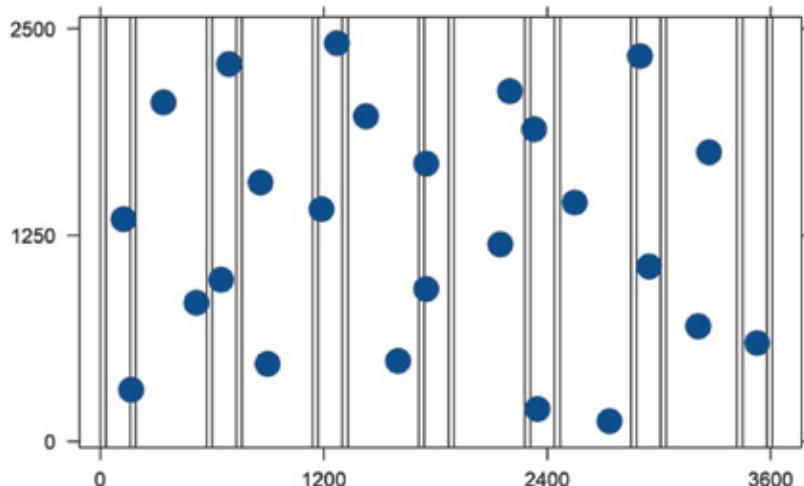
Sl 1: Analizirani transformator u tvrtki Končar D&ST d. d.

U sklopu mjerjenja analizirana je jedna strana oplate transformatora dimenzija 5x2.5 m u dva različita režima rada: u kratkom spoju te u praznom hodu. U svakom režimu rada provedena su po dva mjerena s različitim radnim parametrima (Tablica 1). Vodeći računa da su glavni izvori vibracija u kratkom spoju uzrokovani elektromagnetskim silama u namotajima, dok su vibracije u praznom hodu uzrokovane magnetostrikcijom i magnetnim silama u jezgri [12], prilikom testiranja u kratkom spoju transformator je analiziran pri 100 % i 80 % nazivnog opterećenja, dok su ispitivanja u praznom hodu provedena pri magnetskoj indukciji od 1.6 T i 1.3 T.

**Tablica 1:** Promatrani režimi rada transformatora i odgovarajući radni parametri

Režim rada	Opterećenje [% nazivnog opterećenja]	Indukcija [T]
Kratki spoj	100	-
Kratki spoj	80	-
Prazni hod	-	1.6
Prazni hod	-	1.3

S obzirom na potrebnu reprezentativnost naknadne analize podataka, kao optimalan broj mjernih točaka u svakom režimu rada odabранo je 25 točaka, što je, s obzirom na razmatrane režime rada i radne parametre, rezultiralo s ukupno 100 mjernih točaka. Nakon pomnog razmatranja više različitih DoE metoda, optimalan raspored mjernih točaka određen je korištenjem *Latinized centroidal Voronoi tessellations* metode prema kojoj su točke pažljivo raspoređene po oplati transformatora kako bi se dobila maksimalna prostorna pokrivenost i mogućnost analize utjecaja ukruta na vibracijski odziv (Slika 2).

**Sl 2:** Raspored mjernih točaka na oplati transformatora

Mjereni uređaj je pritom u svim mjeranjima postavljen tako da je laserski snop okomit na oplatu transformatora, dok je udaljenost između uređaja i pojedine mjerne pozicije uvijek bila manja od 1 m. Uzimajući u obzir najvišu očekivanu frekvenciju odziva, dobar opis vršnih vrijednosti i prijelaza vibracijskih valova osigurani su postavljenjem frekvencije uzorkovanja uređaja na 20 kHz [10]. Za svaku mjeru točku izmjereno je oko 13 sekundi odziva, što je rezultiralo s više od 260 tisuća mjernih

podataka za svaku mjernu poziciju, odnosno, za sve mjerne pozicije u različitim režimima rada te s različitim radnim parametrima, ukupno s više od 26 milijuna podataka. Mjereni podaci su potom, pomoću kalibracijskih konstanti mjernog uređaja, preračunati u amplitudu brzina vibracijskog odziva.

### 3. Analiza mjerjenja i glavni rezultati

Količina eksperimentalno dobivenih rezultata mjerjenja otežava obradu podataka, ali omogućava vrlo detaljnu spektralnu analizu. Sve numeričke analize rezultata su, stoga, provedene koristeći resurse računala visokih performansi Bura dostupnog pri Centru za napredno računanje i modeliranje Sveučilišta u Rijeci [7]. Pri obradi i vizualizaciji podataka korišteni su, pak, programski jezik *R* te statistički programski paketi *Minitab* i *Excel*.

#### 3.1. Spektralna analiza

Prilikom analize podataka dobivenih mjeranjima, u prvom je koraku provedena frekvencijska analiza pomoću brze Fourierove transformacije koja je pokazala da se za ukupno 74 od 100 mjerne pozicija najveća amplituda vibracija javlja na frekvenciji 100 Hz, za 21 točku na 200 Hz te za 5 točaka na frekvenciji od 300 Hz. Kod svih mjerjenja u režimu kratkog spoja, najveće izmjerene amplitude vibracija su upravo na 100 Hz, dok su na ostalim frekvencijama amplitude vibracija zanemarive. Uočeno je, također, da su najveće amplitude na frekvenciji 100 Hz u režimu kratkog spoja lokalizirane oko jedne dominantne mjerne pozicije (pri 100 % opterećenja najveća amplituda je tu oko 9.000  $\mu\text{m/s}$  a na 80 % opterećenja je najveća amplituda oko 6.500  $\mu\text{m/s}$ ). U režimu praznog hoda su, pak, mjerena pokazala trend pada amplituda na frekvenciji od 100 Hz, dok amplitude signala rastu na frekvencijama od 200 i 300 Hz.

#### 3.2. Provjera stacionaranosti i korelacijska analiza u vremenskoj domeni

U nastavku rada provedena je analiza rezultata mjerjenja u vremenskoj domeni, te su provedeni i proračuni standardnih pokazatelja kao što su minimalna i maksimalna vrijednost signala, te *peak-to-peak* i efektivne vrijednosti (*root mean square* - RMS) amplituda dinamičkih vremenskih odziva. Dobivene vrijednosti su pokazale da su RMS i peak-to-peak pokazatelji značajno veći u režimu kratkog spoja u usporedbi s onima u praznom hodu, dok dobivene vrijednosti u oba režima rada padaju za

približno 50 % kada se napon odnosno indukcija smanje na 80 % nazivnih vrijednosti. U Tablici 2 su, u obliku prosječnih vrijednosti u svih 25 mjernih točaka, prikazane vrijednosti navedenih pokazatelja u razmatranim režimima rada.

**Tablica 2:** Prosječni pokazatelji vibracijskog odziva u vremenskoj domeni

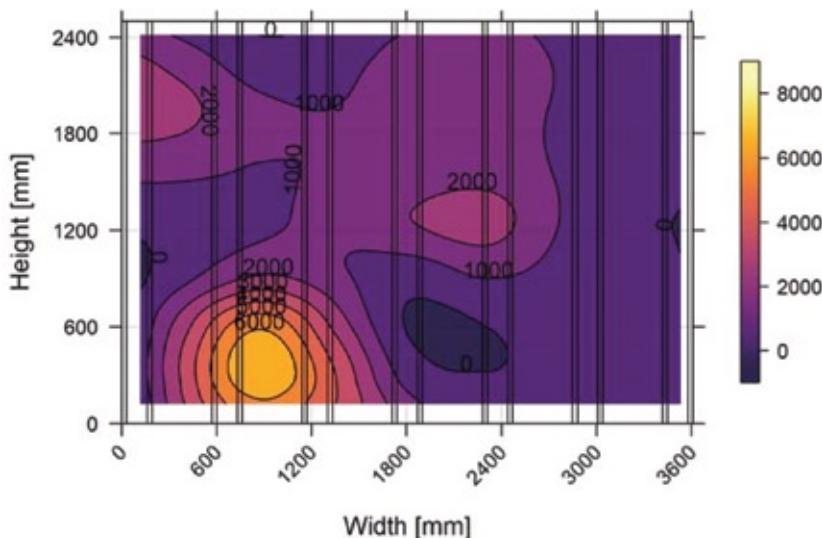
<b>Režim rada</b>	<b>Prosječna amplituda brzina [<math>\mu\text{m/s}</math>]</b>	
	<b>RMS</b>	<b>peak-to-peak</b>
Kratki spoj (100%)	1178	4602
Kratki spoj (80%)	668	2343
Prazni hod (1.6 T)	243	1242
Prazni hod (1.3 T)	101	662

Provadena je i analiza stacionarnosti spektra vibracija [13], izvršena na način da se izlazna amplituda brzina svake mjerne točke u svakom režimu rada podijeli na 100 segmenta (svaki segment veličine  $\sim 2.600$  izmjerениh podataka), te se u svakom segmentu izračunaju RMS i prosječna RMS vrijednost. Pokazano je tako da su u gotovo svim točkama i režimima rada maksimalna odstupanja unutar  $\pm 5\%$ , uz nekoliko iznimaka gdje je još uvek odstupanje ograničeno na  $\pm 10\%$ , te se može zaključiti da su vibracije stacionarne.

Provadena je, naposljetku, i autokorelacijska te međukorelacijska analiza u svakoj mjernejtočki i u različitim režimima rada. Uzimajući u obzir najbolje vremensko poravnanje, odnosno maksimalni koeficijent međukorelacije između dva mjerena, zaključeno je da su, između mjerena provedenih tijekom rada transformatora u raznovrsnim režimima rada (kratki spoj – prazni hod), u pravilu prisutne niske korelacije. Zaključeno je, također, da je korelacija pri radu transformatora u kratkom spoju vrlo visoka, uz par izuzetaka, dok je između mjerena provedenih u praznom hodu prisutna mala korelacija (veliko rasipanje). Korelacija se, stoga, u prosjeku može smatrati umjerenom.

### 3.3. Utjecaj geometrije oplate na frekvencijski spektar vibracija

Da bi se procijenio utjecaj geometrije kotla na dinamički odziv, izračunate su srednje vrijednosti amplituda i pripadajuće RMS vrijednosti na 100, 200 i 300 Hz, i to posebno za mjerne točke koje se nalaze na ukrutama kotla i one koje su na neukrućenim dijelovima kotla. Analiza je, kao što je i očekivano, pokazala da su u svim režimima rada amplitude vibracija u prosjeku statistički značajno niže kod mjernih točaka koje se nalaze na ukrutama u odnosu na amplitude vibracija mjernih točaka koje se nalaze na dijelu oplate transformatora bez ukruta.



Slika 3: Raspodjela amplituda vibracija u režimu rada kratki spoj (100 % opterećenja)

### 3.4. Modeliranje vibracijskog odziva oplate

Da bi se, napoljetku, odredila raspodjela vibracija po površini oplate transformatora za sve promatrane režime rada i najznačajnije frekvencije, provedeno je modeliranje *Kirigin metodom* [14] za koju je utvrđeno da omogućava dobivanje najboljeg uvida u raspodjelu amplitude brzina po površini ploče na oplati transformatora. Primjer tako dobivenog grafičkog prikaza RMS vibracija za najznačajniju frekvenciju (100 Hz) u režimu kratkog spoja (100 % opterećenja) dan je na Slici 3. Moguće je tu, osjenčano žutom bojom, uočiti najveće amplitude vibracija u prethodno spomenutoj dominantnoj točki. Ovako provedena analiza je općenito pokazala da su vršne vrijednosti vibracija na različitim frekvencijama konzistentne kroz različite režime rada. Amplitude u dominantnoj točki su najveće na svim frekvencijama u režimu kratkog spoja, iako se one nešto smanjuju s manjim opterećenjem i prelaskom u režim praznog hoda.

## 4. Zaključak

U ovom radu opisan je primjer detaljne analize dinamičkih odziva energetskog transformatora u sklopu uspješne suradnje Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci i tvrtke Končar D&ST iz Zagreba. Suradnja između istraživačke skupine Tehničkog

fakulteta u Rijeci i tvrtke Končar D&ST temelji se na eksperimentalnim mjerjenjima najnaprednijom mjernom opremom uz planiranje eksperimenata DoE metodama, obradi prikupljenih podataka naprednom statističkom analizom te naprednom modeliraju vibracija energetskih transformatora na superračunalu, a s glavnim ciljem detekcije glavnih izvora vibracija te smanjivanja njihovog intenziteta radi konstantnog unapređivanja krajnjeg isporučenog proizvoda. U radu je, tako, provedena opsežna analiza vibracijskih odziva energetskog transformatora nazivne snage 90 MVA te nazivnog napona 33 kV. Optimalno planiranje eksperimenta korištenjem napredne DoE metode je pritom ključno za dobivanje pouzdanih i reprezentativnih rezultata mjerjenja. Na temelju provedenih strukturiranih mjerena, zaključeno je da je dominantna frekvencija vibracija pri radu transformatora u kratkom spoju na 100 Hz (iako u praznom hodu opada njena dominacija). Doista, u 74 od 100 provedenih mjerena se upravo na toj frekvenciji javlja najviša vršna vrijednost amplitude brzine vibracija. Najviše amplitude na navedenoj frekvenciji su lokalizirane oko jedne (dominantne) mjerne točke. U istoj mjernoj točki su izmjerene vibracije visoko međukorelirane kroz sve režime rada. Ukrute na oplati pokazuju značajan pozitivan učinak na redukciju amplituda vibracija.

Dobiveni rezultati stvaraju preduvjete za iterativno ugađanje ponašanja transformatora uvezši u obzir interakciju jezgre, namotaja i fluida te, konačno, dobivanje odgovarajućih numeričkih modela analiziranih kompleksnih pojava koji će omogućiti unapređenje konstrukcije transformatora s ciljem smanjenja buke te daljnog zadovoljavanja sve strožih međunarodnih normi u pogledu njihove buke.

S obzirom na ostvarene rezultate, kojima je tvrtka Končar D&ST izuzetno zadovoljna, a koji zasigurno predstavljaju izuzetan primjer poslovne suradnje s evidentnim prijenosom znanja, i to ne samo sa Sveučilišta u Rijeci prema privredi nego i, povrtno, iz privrede prema Sveučilištu u Rijeci, suradnja na opisanom području rada se, stoga, nastavlja analizom dinamičkih odziva i prigušenja drugih tipova energetskih transformatora. Uspješnom odvijanju aktivnosti uvelike i dalje doprinose vrijedni infrastrukturni resursi, znanja i ekspertize prisutni na Sveučilištu u Rijeci kojima se značajno unapređuje konkurentnost privrede RH, ali je važno istaknuti i da mjerjenjima prisustvuju te u njihovom provođenju sudjeluju i studenti završnih godina diplomskog studija strojarstva Tehničkog fakulteta u Rijeci, čime se njihove kompetencije jačaju praktičnim znanjima te, još značajnije, u direktnoj komunikaciji i interakciji sa stručnjacima iz gospodarskog sektora.

Kroz sve te aktivnosti daje se, stoga, značajan doprinos strateškim prioritetima Sveučilišta u Rijeci i Tehničkog fakulteta, te posebno područjima pametne specijalizacije Sveučilišta u Rijeci, Republike Hrvatske (posebno kroz „prevladavanje rascjepkanosti inovacijskog lanca vrijednosti i jaza između znanstveno-istraživačkog i poslovnog sektora“) i EU.

## Zahvale

Opisani rad u potpunosti je financirala tvrtka Končar D&ST.

## Literatura

- [1] Končar D&ST, dostupno na <http://www.koncar-dst.hr/hr/> - pristupljeno: 2021-01-05
- [2] Precision Engineering Laboratory, dostupno na <http://precenglab.riteh.uniri.hr/> - pristupljeno: 2021-01-05
- [3] Sveučilište u Rijeci, Centar za mikro- i nanoznanosti i tehnologije, dostupno na <http://nanori.uniri.hr/> - pristupljeno: 2021-01-05
- [4] Sveučilište u Rijeci, Centar za umjetnu inteligenciju i kibernetičku sigurnost, dostupno na <https://airi.uniri.hr/> - pristupljeno: 2021-01-05
- [5] Sveučilište u Rijeci, dostupno na <https://uniri.hr/> - pristupljeno: 2021-01-05
- [6] Precision Engineering Laboratory, Equipment @RiTeh, dostupno na <http://precenglab.riteh.uniri.hr/category/lab-equipment/> - pristupljeno: 2021-01-05
- [7] Sveučilište u Rijeci, Centar za napredno računanje i modeliranje, dostupno na <https://cnrm.uniri.hr/hr/bura/> - pristupljeno: 2021-01-05
- [8] Coutinho, C. et al.: Dynamic Response of Power Transformer Tanks, *Zbornik IEEE 9<sup>th</sup> Power, Instrumentation and Measurement Meeting (EPIM)*, str. 1-6, Salto, Urugvaj (2018)
- [9] Jingzhu, H. et al.: Electromagnetic vibration noise analysis of transformer windings and core, *IET Electric Power Applications*, Vol. 10 (2016) Br. 4, str. 251-257
- [10] Kozupa, M. & Kmita, G.: Investigation on noise radiation to structure vibration correlation in vibroacoustic of transformer. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 3 (2014), str. 160-164
- [11] Precision Engineering Laboratory, Equipment @RiTeh: Metrolaser Vibromet 500V Laser Doppler Vibrometer, dostupno na <http://precenglab.riteh.uniri.hr/metrolaser-vibromet-500v-laserski-doppler-vibrometar/> - pristupljeno: 2021-01-05
- [12] Hong, K.; Huang, H. & Zhou, J.: Winding Condition Assessment of Power Transformers Based on Vibration Correlation, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 30 (2014) Br. 4, str. 1735-1742.
- [13] Brandt, A.: Noise and Vibration Analysis: *Signal Analysis and Experimental Procedures*, John Wiley and Sons, ISBN: 978-0-470-74644-8, Chichester (West Sussex, UK), (2011)
- [14] Stein, M. L.: *Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging*, Springer, ISBN: 978-1-4612-7166-6, New York (NY, USA), (2012)

# Razvoj procesa kompostiranja biorazgradive frakcije komunalnog otpada u laboratorijskom mjerilu

Tea Sokač, Anita Šalić, Dajana Kučić Grgić, Monika Šabić Runjavec,  
Marijana Vidaković, Marija Vuković Domanovac, Bruno Zelić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> redoviti član HATZ-a u Odjelu kemijiskog inženjerstva, autor za korespondenciju

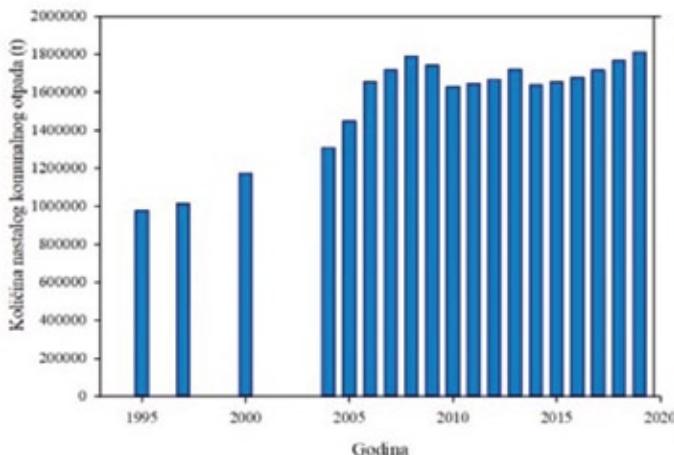
**Sažetak:** Porast stanovništva i ubrzana industrijalizacija svakodnevno dovode do nastanka velikih količina otpada čije zbrinjavanje predstavlja ekološki i ekonomski problem. Veliki udio otpada na odlagalištima čini biorazgradivi otpad, a kao prihvatljiv način zbrinjavanja takvog otpada smatra se proces kompostiranja. Kompostiranje je proces razgradnje organskih tvari pomoći mikroorganizama u aerobnim uvjetima pri čemu kao produkt nastaje kompost, prirodan i koristan dodatak tlu. U ovom radu prikazani su rezultati provedbe procesa kompostiranja biorazgradive frakcije komunalnog otpada u laboratorijskom mjerilu na način da je proveden proces kompostiranja bez i proces kompostiranja s bioaugmentacijom, odnosno uz dodatak mikroorganizama izoliranih tijekom provedbe samog procesa kompostiranja. Tijekom procesa kompostiranja praćene su karakteristične procesne veličine poput C/N omjera, pH-vrijednosti, sadržaja vlage i hlapive tvari, a biorazgradnja je praćena i preko sastava eluata što je omogućilo usporedbu provedenih procesa. Postavljen je i matematički model procesa kompostiranja, a rezultati simulacije matematičkog modela procesa upotrijebljeni su za optimizaciju procesnih uvjeta.

**Ključne riječi:** kompostiranje, biorazgradivi otpad, bioaugmentacija, matematički model

## 1. Uvod

Porast stanovništva i razvoj industrije svakodnevno dovode do nastajanja velikih količina otpada što postaje jedan od ključnih ekoloških problema današnjice. Stvaranjem sve većih količina otpada čovjek narušava prirodnu ravnotežu, stoga je rješavanje problema otpada jedan od prioriteta u smanjenju onečišćenja okoliša. Količina

otpada koji nastaje ovisi o razvijenosti pojedine zemlje pa su tako količine otpada u razvijenim zemljama daleko veće nego u zemljama u razvoju [1]. Republika Hrvatska također bilježi stalni rast količine komunalnog otpada (Slika 1), a raste i specifična količina komunalnog otpada izražena po stanovniku. Posljednjih šest godina količina nastalog komunalnog otpada je u stalnom porastu, a u 2019. godini ona je iznosila 444 kg/stanovniku [2].



Sl 1: Količina nastalog komunalnog otpada u RH u razdoblju 1995. – 2019. [2]

Veliki udio komunalnog otpada čini biootpad tj. kuhinjski otpad kojega čine ostaci voća i povrća te vrtni otpad [3]. Prema Izvješću o komunalnom otpadu [2], procijenjene količine nastalog biootpada u komunalnom otpadu ne mijenjaju se značajno od 2012. godine te u prosjeku iznose oko 530.000 t godišnje. Biootpad dodatno opterećuje odlagališta jer organski dio otpada sadrži i vlagu koja tijekom vremena reagira s ostalim dijelom odloženog otpada, a osim toga, pojavljuju se i drugi štetni utjecaji na okoliš. Najznačajniji su nastanak procjedne vode i plinova zbog različitih fizikalnih, kemijskih i mikrobioloških procesa koji se odvijaju u odloženom otpadu [3]. Procjedne vode predstavljaju rizik za okoliš i zdravlje čovjeka jer mogu sadžavati veliki broj opasnih spojeva poput aromata, halogeniranih spojeva, pesticida, teških metala i fenola. [4]. Pravilno gospodarenje otpadom ključ je budućeg suočavanja s problemom odlaganja otpada pri čemu je glavni cilj izbjegavanje odlaganja otpada na odlagališta. Metode obrade komunalnog otpada s minimalnim utjecajem na okoliš koje posljednjih godina privlače posebnu pažnju su prije svih piroliza, kompostiranje i anaerobna digestija [5]. Kompostiranje se smatra ekološki prihvatljivim načinom zbrinjavanja biorazgradivog otpada te se ovaj proces intenzivno primjenjuje u razvijenim zemljama. Pojam kompostiranje dolazi od latinske riječi *compostum* što u prijevodu znači mješavina, a odnosi se na raznolikost supstrata koji se kompostira [6]. Kompostiranje je biološki proces pretvorbe organskih tvari u aerobnim uvjetima

u stabilan produkt uz oslobođanje plinova (ugljikov dioksid i amonijak), topline i vode. Kao glavni produkt dobiva se kompost koji se može upotrijebiti kao gnojivo [7]. Kako bi proces kompostiranja bio uspješan, potrebno je zadovoljiti određene fizikalno-kemijske i mikrobiološke karakteristike, odnosno provoditi proces pri pogodnim procesnim uvjetima s obzirom na pH-vrijednost, sadržaj vlage, protok zraka i veličinu čestica kompostnog materijala [6]. Proces kompostiranja može se pospješiti bioaugmentacijom, odnosno inokulacijom mikroorganizama koji ubrzavaju proces biorazgradnje [8].

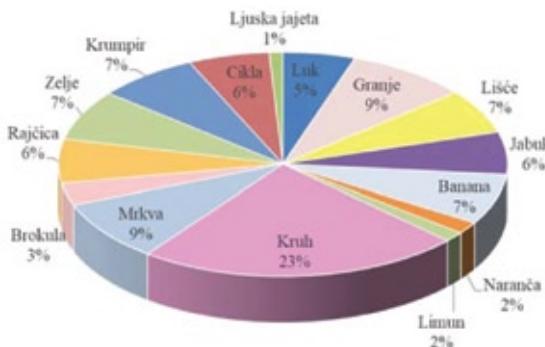
Razvoj svakog procesa, pa tako i procesa kompostiranja, zahtjeva vrijeme, radnu snagu i sredstva. Posljednjih godina matematičko modeliranje preuzima vodeću ulogu u razvoju procesa. Glavna zadaća modeliranja je dizajniranje pokusa čime se omogućuje da se sati provedeni u laboratoriju zamijene brzim računalnim simulacijama s ciljem predviđanja tijeka procesa i njegove optimizacije [9,10].

Cilj ovog rada je razvoj procesa kompostiranja biorazgradivog komunalnog otpada i njegova opitomizacija. Provedena su dva različita procesa kompostiranja: proces kompostiranja bez bioaugmentacije i proces s bioaugmentacijom. Iz kompostnog materijala procesa kompostiranja bez bioaugmentacije izolirane su i pobliže identificirane prisutne mikrobne kulture te su iste korištene za pripremu suspenzije koja je raspršena u supstrat namijenjenom za provedbu procesa kompostiranja s bioaugmentacijom. Razvijen je matematički model procesa kompostiranja te su procijenjeni kinetički parametri modela iz rezultata procesa kompostiranja bez i s bioaugmentacijom. Kako bi se ispitala valjanost matematičkog modela procesa, proveden je nezavisni proces kompostiranja s bioaugmentacijom. Pokazano je dobro slaganje rezultata simulacije matematičkog modela procesa s rezultatima pokusa te je matematički model upotrijebljen za optimizaciju procesa. Za optimizaciju je korišten Box-Behnken dizajn pokusa te su na taj način određeni optimalni početni uvjeti procesa kompostiranja bez bioaugmentacije i procesa kompostiranja s bioaugmentacijom.

## 2. Materijali i metode

### 2.1. Biorazgradivi otpad

Biootpad namijenjen kompostiranju sadrži biorazgradive komponente koje svakodnevno nastaju u kućanstvu ili se ubrajaju u vrtni otpad. Sastav supstrata korištenog za kompostiranje u ovom istraživanju prikazan je na Slici 2. Grančice su dodane kao strukturni materijal zbog boljeg prijenosa kisika kroz kompostni materijal. Supstrati su usitnjeni na veličinu čestica od 1 cm radi brže razgradnje te je pripremljena homogena mješavina kompostnog materijala. Supstrat korišten u procesu kompostiranja bez bioaugmentacije i procesu kompostiranja s bioaugmentacijom bio je približno istog sastava.



Sl 2: Sastav supstrata korištenog u procesu kompostiranja bez bioaugmentacije i procesu kompostiranja s bioaugmentacijom

## 2.2. Reaktorski sustav

Procesi kompostiranja bez bioaugmentacije i s bioaugmentacijom provedeni su u adijabatskom reaktoru volumena  $10 \text{ dm}^3$  (unutarnjeg promjera,  $d = 212 \text{ mm}$  i visine,  $h = 300 \text{ mm}$ ). Shematski prikaz reaktorskog sustava prikazan je na Slici 3. Procesi kompostiranja bez bioaugmentacije i s bioaugmentacijom provedeni su uz inicijalnu masu supstrata od približno 2,5 kg, a supstrat je postavljen na rešetkasti nosač unutar reaktora. Procesi su provedeni pri protoku zraka od  $0,5356 \text{ dm}^3/\text{dan}$  (protok zraka je reguliran rotometrom (1-800-323-4340, Cole-Parmer, USA)). Na izlazu iz reaktora sakupljeni su kondenzat i plinovi koji nastaju tijekom procesa kompostiranja (ugljikov dioksid i amonijak). Količina nastalog ugljikovog dioksida određena je posredno, apsorpcijom u  $1 \text{ mol}/\text{dm}^3$  otopini natrijevog hidroksida, dok je količina nastalog



Sl 3: Shematski prikaz reaktorskog sustava za kompostiranje biorazgradivog otpada:  
 1 - reaktor;  
 2 - vaga;  
 3 - kompresor;  
 4 - temperaturni senzor;  
 5 - računalo za pohranu podataka;  
 6 - boca za sakupljanje kondenzata;  
 7 - boca s natrijevim hidroksidom za sakupljanje ugljikovog dioksida;  
 8 - boca s bornom kiselinom za sakupljanje amonijaka

amonijaka određena posredno, apsorpcijom u 4% bornoj kiselini. Temperatura je praćena pomoću temperaturnog senzora (AM1660, Cole-Parmer, USA) postavljenog u sredinu reaktora, a vrijednosti temperature pohranjene su na računalu posredstvom programskog paketa Lab View (National Instruments, USA). Svi procesi provedeni su u trajanju od 14 dana.

## 2.3. Fizikalno-kemijska i mikrobiološka analiza kompostnog materijala

Tijekom 14 dana provedbe procesa kompostiranja, uzimani su uzorci iz reaktora kemijski čistom i sterlinom žlicom, a svaka analiza radila se u najmanje 2 paralelna uzorka. Prije uzimanja uzorka, određena je masa supstrata u reaktoru. Za određivanje sadržaja vlage i organske tvari u uzorcima korištena je gravimetrijska metoda. Udio vlage određen je sušenjem uzorka u sušioniku (Sterimatic ST-11, Instrumentaria, Hrvatska) na 105 °C tijekom 2 sata, a udio organske (hlapije) tvari spaljivanjem uzorka u mufolnoj peći (Eshterm, Hrvatska) na 550 °C tijekom 2 sata [11]. Dušik po Kjeldahlu [12] određen je pomoću jedinice za raščinjavanje i jedinice za destilaciju (Kjeltec 2001, Foss, USA).

Ukupan broj živih stanica bakterija i gljiva određen je prema standardnoj metodi [13]. Pripremljena su različita razrijedenja, otpipetirana su u Petrijeve zdjelice te je sadržaj prekriven odgovarajućom hranjivom podlogom (hranjivi agar za bakterije te sladni agar za gljive). Petrijeve zdjelice su potom inkubirane u termostatu (Binder GmbH, Njemačka) na 37 °C i 50 °C tijekom 24 - 48 h za uzgoj mezofilnih i termofilnih bakterija, te na 28 °C i 50 °C tijekom 3 - 5 dana za uzgoj mezofilnih i termofilnih gljiva. Izrasle kolonije mikroorganizama su prebrojane nakon inkubacije te je rezultat izražen kao ukupan broj kolonija po gramu suhog supstrata [13]. Kolonije izrasle u Petrijevim zdjelicama tijekom procesa kompostiranja bez bioaugmentacije korištene su za pripremu suspenzije za inokulaciju procesa kompostiranja s bioaugmentacijom. Konkretno, najčešće zastupljene kolonije izrasle tijekom procesa kompostiranja bez bioaugmentacije su izolirane radi provođenja mikrobioloških testova i pobliže identifikacije. S ovim kolonijama je pripremljena suspenzija mikroorganizama optičke gustoće od 1,73 (izmjereno pri  $\lambda = 600$  nm na spektrofotometru (Hach DR/2400, HACH, USA)). Pripremljeno je 30 mL suspenzije mikroorganizama koja je raspršena po 2,5 kg supstrata predviđenog za kompostiranje u procesu kompostiranja s bioaugmentacijom.

## 2.4. Analiza eluata

Eluat je pripremljen prema standardnoj metodi [14]. Za određivanje pH-vrijednosti, vodljivosti i koncentracije otopljenog kisika korišten je multimetar (Multi 340i,

WTW, Njemačka). Postupak određivanja kemijske potrošnje kisika (KPK) temeljio se na reakciji oksidacije organskih tvari u uzorku s kalijevim bikromatom u sumporno kiselom mediju uz živin sulfat kao katalizator. Analiza je provedena u zatvorenim kivetama, kuhanjem tijekom 2 sata u bloku za digestiju pri temperaturi 150 °C, a količina utrošenog kalijevog bikromata mjerena je spektrofotometrom (Hach DR/2400, HACH, USA) pri  $\lambda = 670$  nm te je izražena kao ekvivalent kisika koji je proporcionalan utrošku kalijevog bikromata (mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>). Boja (color Pt-Co) je također određena spektrofotometrijski pri  $\lambda = 465$  nm. Ukupna čvrsta tvar (TS) određena je gravimetrijskom analizom. Biokemijska potrošnja kisika određena je metodom po Winkleru [15].

## 2.5. Razvoj matematičkog modela procesa kompostiranja

Pri postavljanju matematičkog modela procesa kompostiranja u obzir su uzete sljedeće pretpostavke [16,17]:

- proces je adijabatski što je ostvareno dobrom izolacijom reaktora;
- protok zraka je konstantan tijekom cijelog procesa;
- zrak koji ulazi u reaktor ima isti parcijalni tlak vodene pare kao i plin na izlazu iz reaktora;
- brzina kompostiranja je formalno izražena kao brzina prijelaza početne mase suhog supstrata u kompost ne uzimajući pri tome u obzir sadržaj vlage,  $r_s = f(w_s, T)$ ;
- ukupna masa supstrata unesenog u reaktor se ne mijenja tijekom procesa;
- brzina razgradnje (oksidacije) je spora reakcija te se može pretpostaviti kako je jednaka na bilo kojem mjestu unutar reaktora.

Uvezši u obzir navedene pretpostavke matematičkog modela procesa kompostiranja, bilanca tvari poprima sljedeći oblik [16,17]:

$$r_s = -\frac{dw_s}{dt} = -\frac{dm_s}{dt} \cdot \frac{1}{m_0} \quad (1)$$

Bilanca energije uzima u obzir da je proces adijabatski te je prikazana sljedećom jednadžbom [16,17]:

$$m_0 \cdot c_{ps} \frac{dT}{dt} = (-\Delta H_i) \cdot m_0 \cdot k_0 \cdot (1,066^{T-20} - 1,21^{T-60}) - \rho_z \cdot Q_v \cdot c_{pz} \cdot (T - T_u) \quad (2)$$

Funkcijska zavisnost brzine reakcije o svim veličinama stanja je nepoznata, ali se može opisati sljedećim, jednostavnim kinetičkim modelom [16]:

$$r_s = k(T) \cdot w_s^n \quad (3)$$

gdje je  $k$  konstanta ovisna o temperaturi koja se može definirati sljedećim izrazom [16]:

$$k(T) = k_0 \cdot [1,1066^{T-20} - 1,21^{T-60}] \quad (4)$$

Navedene jednadžbe čine osnovni matematički model procesa kompostiranja. Kako bi se model mogao primjeniti i usporediti s eksperimentalnim podacima, potrebno je poznavati i parametre navedene u Tablici 1.

**Tablica 1:** Parametri matematičkog modela procesa kompostiranja

Parametar	Kompostiranje bez bioaugmentacije	Kompostiranje s bioaugmentacijom	Kompostiranje s bioaugmentacijom (validacija modela)
Masa vlažnog supstrata u reaktoru, $m_0$ (kg)	2,496	2,500	1,500
Ulagana temperatura, $T_U$ (°C)	19,836	19,266	22,970
Udio suhe tvari, $w_s$ (% (w/w))	29	36	35
Specifični toplinski kapacitet organske tvari, $c_{ps}$ (kJ/kg K) [18]	1,3	1,3	1,3
Gustoća zraka, $\rho_z$ , (kg/m <sup>3</sup> ) [17]	1,3	1,3	1,3
Protok zraka, $q_v$ (m <sup>3</sup> /dan)	0,53569	0,53569	0,53569
Toplinski kapacitet zraka, $c_{pz}$ (kJ/kg K) [17]	1,01	1,01	1,01

### 3. Rezultati

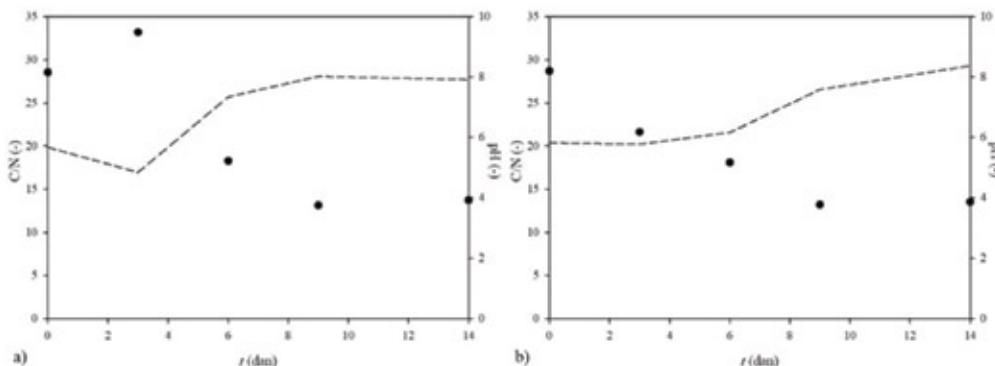
#### 3.1. Proces kompostiranja

Provedena su dva različita procesa kompostiranja, proces kompostiranja bez bioaugmentacije i proces kompostiranja s bioaugmentacijom, odnosno uz dodatak izoliranih mikroorganizama iz prvog procesa kompostiranja. Cilj bioaugmentacije je brže postizanje termofilne faze u kojoj se odvija najveći dio razgradnje kompostnog materijala te posljedično ubrzanje procesa kompostiranja. Tijekom provedbe oba procesa kompostiranja primjećena je promjena u strukturi materijala. Organske tvari su razgrađene dok lišće i grančice nisu u potpunosti razgrađene zbog prisutnosti lignoceluloznih vlakana koja ih čine otopornijima na mikrobiološku aktivnost. Neki fizikalni i

kemijski pokazatelji karakteristika kompostnog materijala tijekom provedbe procesa kompostiranja su prikazani u Tablici 2 i na Slici 4.

**Tablica 2:** Sadržaj vlage i udio organske tvari na početku i kraju procesa kompostiranja bez i s bioaugmentacijom

	Kompostiranje bez bioaugmentacije		Kompostiranje s bioaugmentacijom	
	0. dan	14. dan	0. dan	14. dan
Sadržaj vlage (%)	71,19	71,61	63,51	63,58
Udio hlapive tvari (%)	85,57	76,65	91,36	83,82

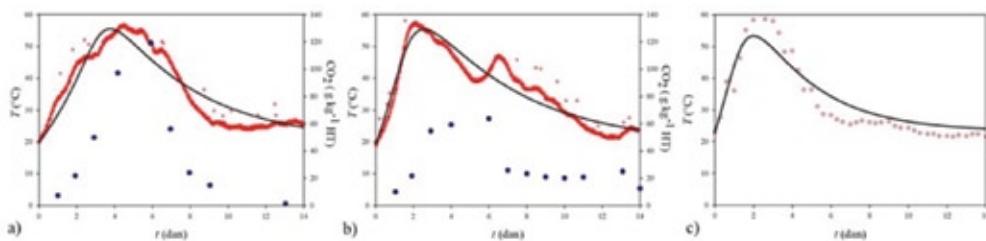


**Sl 4:** Promjena C/N omjera i pH-vrijednosti supstrata tijekom: a) procesa kompostiranja bez bioaugmentacije; b) procesa kompostiranja s bioaugmentacijom (● C/N omjer; --- pH-vrijednost)

Sadržaj vlage smatra se jednim od važnijih parametara procesa kompostiranja jer utječe na brzinu prodiranja kisika, mikrobiološku aktivnost i temperaturu procesa [19]. Prema dostupnim podatcima optimalan sadržaj vlage kompostnog materijala je oko 50-60% [19]. Iz podataka prikazanih u Tablici 2 vidljivo je da je vrijednost sadržaja vlage nešto veća u procesu kompostiranja bez bioaugmentacije dok je u procesu s bioaugmentacijom ona blizu optimalne vrijednosti. Također, sadržaj vlage se nije značajno promijenio tijekom procesa što ukazuje na to da je potrebno provesti dodatne postupke obrade ovako nastalog komposta prije njegove daljnje primjene u poljoprivredi. Tijekom uobičajenog procesa kompostiranja i procesa s bioaugmentacijom udio organske tvari se smanjuje (Tablica 2), a indikator za to je C/N omjer (Slika 4). Kao što je vidljivo na Slici 4, udio ugljika se smanjuje u oba procesa pri čemu dio organskog ugljika prelazi u ugljikov dioksid [19]. Optimalni C/N omjer na početku procesa kompostiranja bi trebao iznositi približno 25-30:1 [20] što je zabilježeno u oba procesa. Osim spomenutih promjena, u oba procesa primjećena je i značajna promjena pH-vrijednosti (Slika 4). pH-vrijednost je bitan procesni parametar

jer utječe na mikrobiološku aktivnost [19,20]. U početnim fazama provedbe procesa kompostiranja, pH-vrijednost je u blago kiselom području što je posljedica nastajanja ogranskih kiselina, a tijekom ostalih faza provedbe procesa dolazi do raspada organskih kiselina što se očituje porastom pH-vrijednosti [20].

Temperatura se smatra najvažnijim procesnim parametrom preko kojeg se može pratiti uspješnost procesa kompostiranja [19-21]. Promjena temperature utječe na brzinu procesa kompostiranja i važna je za nastanak stabilnog produkta (komposta) [21]. Tijekom procesa kompostiranja, izmjenjuje se nekoliko temperaturnih faza: mezofilna, termofilna, druga mezofilna (faza hlađenja) i faza zrenja [19]. Na Slici 5 prikazana je usporedba rezultata pokusa i rezultata simulacije matematičkog modela procesa kompostiranja bez i s bioaugmentacijom na primjeru promjene temperature i specifične mase nastalog ugljikovog dioksida.

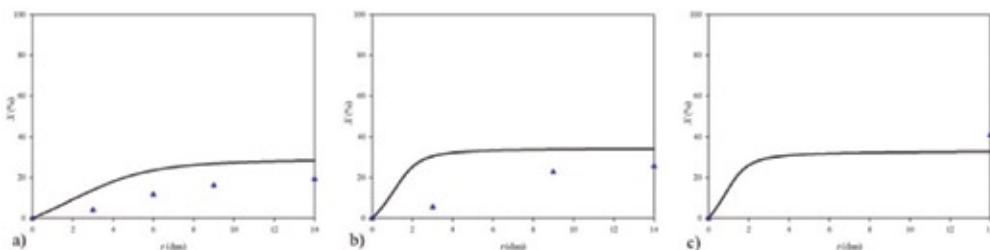


**Sl. 5:** Usporedba rezultata pokusa i rezultata simulacije matematičkog modela procesa kompostiranja na primjeru promjene temperature i specifične mase nastalog ugljikovog dioksida;  
 a) proces kompostiranja bez bioaugmentacije; b) proces kompostiranja s bioaugmentacijom;  
 c) neovisni proces s bioaugmentacijom korišten za validaciju matematičkog modela procesa  
 (○ temperatura, ● ugljikov dioksid, — matematički model procesa)

Na Slici 5 vidljive su prve tri temperaturne faze procesa kompostiranja, dok je za postizanje posljednje faze, faze zrenja, proces kompostiranja potrebno provoditi dulje vrijeme. Na početku procesa kompostiranja bez i procesa kompostiranja s bioaugmentacijom (Slike 5a i 5b) temperatura je iznosila 19 °C. Zbog intenzivne razgradnje otpada, temperatura počinje rasti te praktički nakon prvog dana započinje termofilna faza. U procesu s bioaugmentacijom temperatura od 45 °C je postignuta već na kraju prvog dana provedbe procesa te u usporedbi s početkom termofilne faze procesa bez bioaugmentacije ona nastupa prije. U oba ova procesa maksimalna temperatura nije prelazila 65 °C čime je izbjegnuta denaturacija proteina i uništavanje mikrobioloske kulture. Osim praćenja temperature, tijekom procesa kompostiranja sakupljan je kondenzat te je praćen nastanak plinova, ugljikovog dioksida (Slike 5a i 5b) i amonijaka. Na početku procesa nastaje značajna količina ugljikovog dioksida kao rezultat intenzivne mikrobiološke aktivnosti. U ovoj fazi procesa mikroorganizmi razgrađuju jednostavne spojeve, nakon čega se razgrađuju kompleksnije molekule zbog čega se proces razgradnje usporava što posljedično rezultira manjom količinom nastalog

ugljikovog dioksida. Iz rezultata (Slike 5a i 5b) je vidljivo da promjena temperature i promjena specifične mase ugljikovog dioksida imaju isti trend. Osim ugljikovog dioksida, tijekom procesa kompostiranja često nastaje i amonijak. Taj plin nastaje kao rezultat mikrobiološke razgradnje supstrata bogatog dušikovim spojevima. Za nastajanje amonijaka proces je potrebno provoditi duže pri čemu pH-vrijednost mora biti u području 8 - 8,5 [6,22]. Kako ta pH-vrijednost (Slika 4) nije postignuta u ovim procesima nije došlo ni do detekcije amonijaka.

Procesi kompostiranja su karakterizirani i pomoću konverzije, a na Slici 6 prikazana je usporedba eksperimentalnih rezultata i rezultata simulacije matematičkog modela procesa na primjeru konverzije. Nešto veće vrijednosti konverzije postignute su u procesima provedenim s bioaugmentacijom (Slike 6b i 6c).



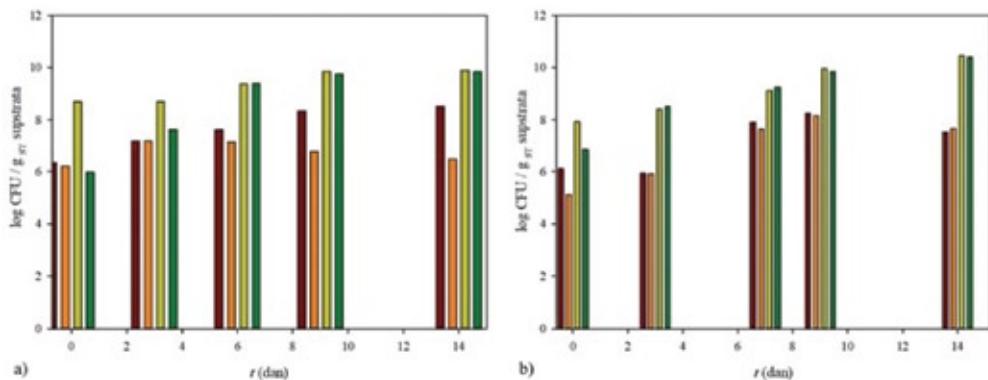
**Slika 6:** Usporedba rezultata pokusa i rezultata simulacije matematičkog modela procesa kompostiranja na primjeru promjene konverzije; a) proces kompostiranja bez bioaugmentacije; b) proces kompostiranja s bioaugmentacijom; c) neovisni proces s bioaugmentacijom korišten za validaciju matematičkog modela procesa (▲ konverzija, — matematički model)

### 3.2. Mikrobiološka analiza kompostnog materijala

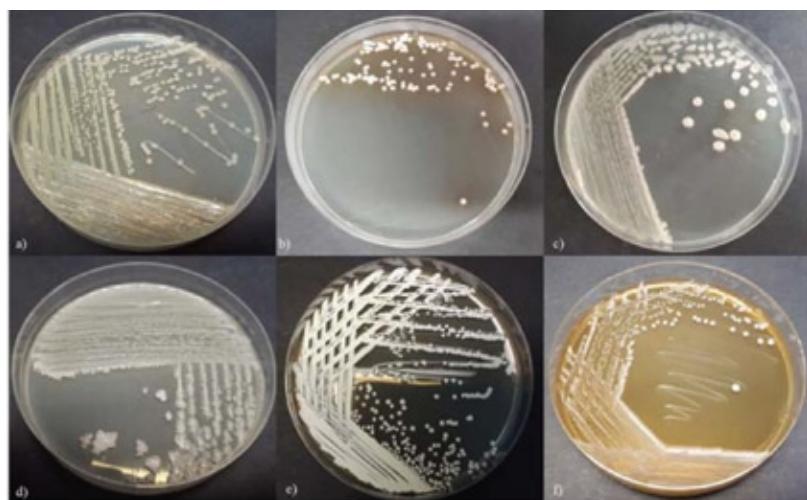
U procesu kompostiranja glavnu ulogu imaju mikroorganizmi koji razgrađuju prisutne organske tvari. Tijekom procesa kompostiranja prevladava izmjena termofilnih i mezofilnih mikroorganizama ovisno o temperaturnim fazama u kojima se kompostni materijal nalazi. Rezultati analize mikrobnih kultura tijekom procesa kompostiranja bez i s bioaugmentacijom prikazani su na Slici 7.

Na početku procesa, kada je temperatura bila približno  $19^{\circ}\text{C}$ , prevladavaju mezofilne bakterije i gljive (veća je zastupljenost kvasaca nego pljesni). Nastupanjem termofilne faze (temperature veće od  $45^{\circ}\text{C}$ ) prevladavaju termofilni mikroorganizmi pri čemu je u ovoj fazi procesa veća zastupljenost pljesni. Završetkom termofilne faze i padom temperature (Slika 6) prevladavaju mezofilni mikroorganizmi te je ponovno veća zastupljenost kvasaca. Osim toga, može se uočiti da je brojnost mezofilnih i termofilnih bakterija podjednaka, a razlog tome je što neke bakterije stvaraju endospore

koje omogućuju preživljavanje na visokim temperaturama. Promjena pH-vrijednosti iz blago kiselog u blago lužnato (Slika 4) pogoduje rastu bakterija. Kako je ranije spomenuto, iz procesa kompostiranja provedenog bez bioaugmentacije izolirani su efektivni mikroorganizmi na kojima su provedeni mikrobiološki testovi u svrhu njihove identifikacije. Potom su korišteni za pripremu suspenzije za inokulaciju u procesu s bioaugmentacijom. Izolirani efektivni mikroorganizmi iz procesa kompostiranja na odgovarajućim hranjivim podlogama prikazani su na Slici 8.



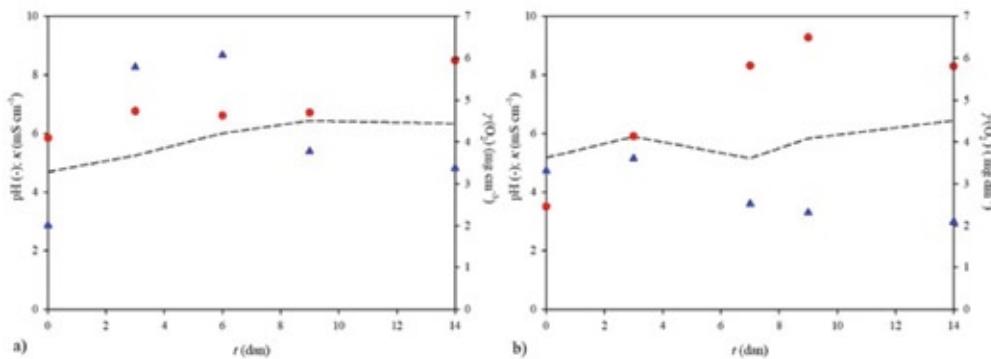
**SI 7:** Promjena logaritamske vrijednost CFU tijekom procesa kompostiranja:  
a) proces kompostiranja bez bioaugmentacije; b) proces kompostiranja s bioaugmentacijom  
(mesofilne gljive, termofilne gljive, mezofilne bakterije, termofilne bakterije)



**SI 8:** Izolirani efektivni mikroorganizmi korišteni u procesu kompostiranja  
s bioaugmentacijom (bakterije: a) *Sphingobacterium spiritivorum*; b) *Streptomyces* sp.;  
c) *Bacillus subtilis*; d) *Bacillus licheniformis*; e) *Nocardiopsis alba*;  
kvasac: f) *Kluyveromyces marxianus*)

### 3.3. Analiza eluata

Procjedne vode su jedna od najznačajnijih negativnih posljedica razgradnje otpada. U ovom istraživanju učinkovitost biorazgradnje je praćena i preko eluata, odnosno laboratorijske simulacije procjedne vode. Rezultati analize eluata procesa kompostiranja bez bioaugmentacije i procesa s bioaugmentacijom prikazani su na Slici 9 i u Tablici 3.



**Sl 9:** Rezultati analize eluata procesa kompostiranja; a) bez bioaugmentacije; b) s bioaugmentacijom  
--- pH-vrijednost; ● električna vodljivost; ▲ masena koncentracija kisika)

**Tablica 3:** Boja (Pt-Co), BPK<sub>5</sub>/KPK i TS na početku i kraju procesa kompostiranja provedenih bez i s bioaugmentacijom

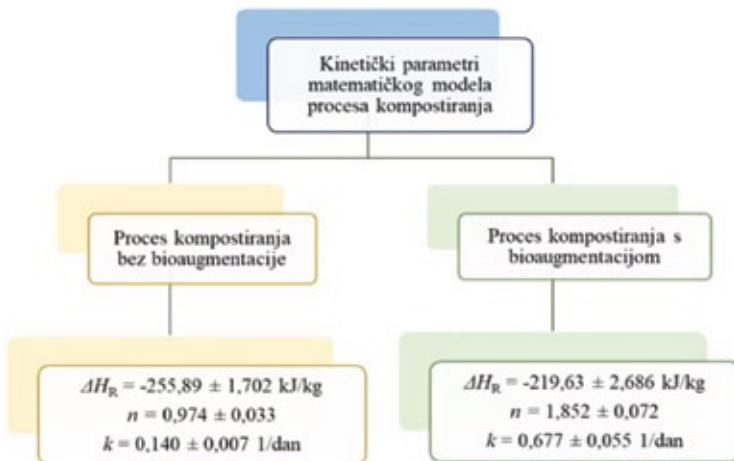
	Proces kompostiranja bez bioaugmentacije		Proces kompostiranja s bioaugmentacijom	
	0. dan	14. dan	0. dan	14. dan
Boja (Pt-Co)	490	3527	320	3160
BPK <sub>5</sub> /KPK (-)	0,87	0,50	0,79	0,52
TS (g/dm <sup>3</sup> )	17,98	13,47	11,79	11,72

Kao što je vidljivo, pH-vrijednost eluata (Slika 9) slijedi trend promjene pH-vrijednosti kompostne mase u reaktoru (Slika 4), odnosno raste tijekom procesa kompostiranja. Na početku procesa pH-vrijednost eluata je u blago kiselom području te se s vremenom povećava ostajući u blago lužnatom području što je posljedica smanjenja koncentracije organskih kiselina koje razgrađuju mikroorganizmi [23]. Vrijednost električne vodljivosti raste tijekom procesa zbog oslobođanja fosfornih i amonijevih soli [24]. Masena koncentracija otopljenog kisika povezana je s aktivnošću aerobnih mikroorganizama [25]. Kao posljedica povećane aktivnosti mikroorganizama dolazi do smanjenja koncentracije otopljenog kisika (Slika 9). Vizualnom metodom određena

je i boja eluata koja se tijekom pokusa mijenja iz svjetlo žute u tamno smeđu. Tamanija boja eluata se može povezati s nastankom huminskih i fulvinskih spojeva [26]. Osim toga, boja je određena i spektrofotometrijskom metodom (boja Pt-Co) koja je pokazala znatno povećanje vrijednosti obojenja na kraju procesa u odnosu na vrijednosti izmjerene na početku procesa (Tablica 3). Općenito, BPK<sub>S</sub>/KPK omjer ukazuje na prisutnost organske komponente u eluatu. Manji omjer označuje smanjenje koncentracije organske tvari što znači kako eluat nije pogodan za biološku obradu [23]. Ukupna čvrsta tvar (TS) u početku provedbe procesa kompostiranja raste, a u kasnijim fazama provedbe procesa počinje padati, što je posljedica aktivnosti mikroorganizama, odnosno razgradnje kompostnog materijala pri čemu dio kompostnog materijala prelazi u neku drugu fazu (npr. plinovitu) [27].

### 3.4. Procjena kinetičkih parametara matematičkog modela procesa kompostiranja

Jedan od ciljeva ovog rada je optimizacija procesa kompostiranja pomoću rezultata simulacija matematičkog modela procesa. Prije optimizacije potrebno je procijeniti kinetičke parametre matematičkog modela procesa (reakcijska entalpija,  $\Delta H_R$ , red reakcije,  $n$  i specifična brzina,  $k_0$ ). Parametri matematičkog modela procesa procijenjeni su nelinearnom regresijom iz rezultata procesa kompostiranja bez bioaugmentacije i procesa kompostiranja s bioaugmentacijom korištenjem dinamičke promjene temperature i konverzije (Slike 5a i 5b) uz primjenu ostalih parametara matematičkog modela procesa kompostiranja (Tablica 1) i uz korištenje jednadžbi 1. – 4. matematičkog modela procesa. Vrijednosti kinetičkih parametara matematičkog modela procesa prikazane su na Slici 10.



**Sl 10:** Vrijednosti kinetičkih parametara matematičkog modela procesa kompostiranja

Usporedbom procijenjenih parametara za proces kompostiranja bez bioaugmentacije i proces s bioaugmentacijom, vidljivo je da je reakcijska entalpija približno jednaka. Proces kompostiranja je egzoterman proces što znači kako se toplina tijekom procesa oslobađa te stoga vrijednost reakcijske entalpije ima negativan predznak (Slika 10). Razlika između procesa kompostiranja bez bioaugmentacije i procesa kompostiranja s bioaugmentacijom se može uočiti u vrijednosti specifične brzine gdje je ta vrijednost skoro pet puta veća u procesu s bioaugmentacijom. Upravo ta veća vrijednost specifične brzine potvrđuje kako bioaugmentacija ubrzava proces kompostiranja.

Usporedba rezultata simulacije matematičkog modela procesa i eksperimentalnih rezultata prikazana je na Slikama 5 i 6. Može se uočiti dobro slaganje rezultata pokusa i rezultata dobivenih simulacijama matematičkog modela procesa. Kako je prethodno navedeno, veće vrijednosti konverzije dobivene su za procese provedene s bioaugmentacijom, a maksimalne vrijednosti konverzije u tim procesima (Slike 6a i 6b) su postignute već u drugom danu provedbe procesa kompostiranja. Za razliku od procesa s bioaugmentacijom u procesu kompostiranja bez bioaugmentacije maksimalna vrijednost konverzije postignuta je tek u šestom danu što je u skladu s manjim vrijednostima kinetičkog parametra specifične brzine.

Kako bi se potvrdila valjanost modela, proveden je nezavisni pokus kompostiranja s bioaugmentacijom pri drugačijim početnim uvjetima (Tablica 1). Kako je pokazano dobro slaganje eksperimentalnih rezultata s rezultatima simulacije matematičkog modela procesa (Slika 5c) potvrđena je valjanost matematičkog modela procesa koji se dalje koristio za optimizaciju uvjeta provedbe procesa kompostiranja.

### 3.5. Optimizacija procesa kompostiranja

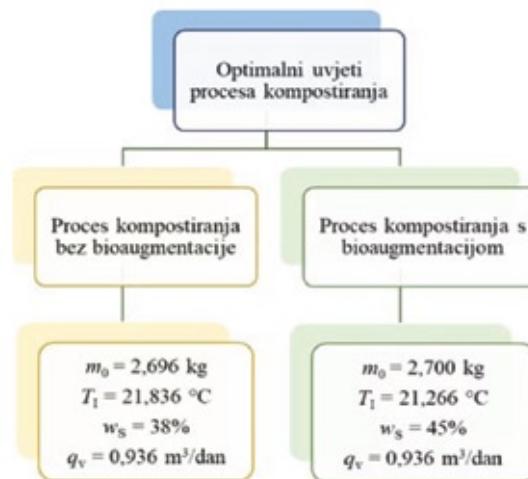
Za optimizaciju procesa kompostiranja korišten je Box-Behnken dizajn pokusa koji uzima u obzir utjecaj više procesnih parametara. U okviru ovog istraživanja ispitani je utjecaj temperature na ulazu u reaktor ( $T_1, X_1$ ), protoka zraka ( $q_v, X_2$ ), početne mase supstrata ( $m_0, X_3$ ) i udjela suhe tvari ( $w_s, X_4$ ) na temperaturu kompostne mase procesa kompostiranja bez bioaugmentacije ( $Y_1$ ) i procesa s bioaugmentacijom ( $Y_2$ ). Za projekciju nezavisnih varijabli izabran je kvadratni model. Kao odzivna funkcija dobivena je ovisnost temperature kompostne mase o analiziranim procesnim parametrima i njihovom međusobnom odnosu što je prikazano jednadžbom 5 za proces kompostiranja bez bioaugmentacije i jednadžbom 6 za proces kompostiranja s bioaugmentacijom.

$$Y_1 = 31,775 + 3,169 \cdot X_1 - 0,066 \cdot X_1^2 - 28,093 \cdot X_2 - 10,541 \cdot X_2^2 + 1,745 \cdot X_3 - 0,031 \cdot X_3^2 + 3,389 \cdot X_4 - 0,153 \cdot X_4^2 + 0,018 \cdot X_1X_2 - 0,019 \cdot X_1X_3 + 0,279 \cdot X_1X_4 - 1,334 \cdot X_2X_3 - 8,954 \cdot X_2X_4 + 0,491 \cdot X_3X_4 \quad (5)$$

$$Y_2 = 31,386 + 3,605 \cdot X_1 - 0,027 \cdot X_1^2 - 29,067 \cdot X_2 - 11,157 \cdot X_2^2 + 1,750 \cdot X_3 - 0,0165 \cdot X_3^2 + 2,269 \cdot X_4 - 0,234 \cdot X_4^2 + 0,082 \cdot X_1X_2 - 0,0217 \cdot X_1X_3 + 0,152 \cdot X_1X_4 - 1,448 \cdot X_2X_3 - 7,392 \cdot X_2X_4 + 0,359 \cdot X_3X_4 \quad (6)$$

Dobiveni rezultati (zacrnjenje vrijednosti u jednadžbama 5 i 6) pokazuju da protok zraka ( $q_v$ ) ima značajan negativan utjecaj na temperaturu kompostne mase, dok su utjecaji temperature zraka na ulazu u reaktor ( $T_i$ ) i udjela suhe tvari ( $w_s$ ) pozitivni, ali ne toliko značajni. Početna masa supstrata ( $m_0$ ) ima zanemariv, pozitivan utjecaj na temperaturu kompostne mase. S obzirom na međusobne utjecaje optimiranih procesnih veličina, rezultati pokazuju da odnos protoka zraka ( $q_v$ ) i udjela suhe tvari ( $w_s$ ) imaju značajan, negativan utjecaj na temperaturu kompostne mase za razliku od odnosa protoka zraka ( $q_v$ ) i mase supstrata ( $m_0$ ) te mase supstrata ( $m_0$ ) i udjela suhe tvari ( $w_s$ ) koji imaju zanemariv utjecaj na temperaturu kompostne mase.

Valjanost kvadratnog modela (jednadžbe 5 i 6) ispitana je rezidualnom analizom. Na temelju ove analize pokazano je da predloženi kvadratni model s odabranim procesnim parametrima dobro opisuje proces kompostiranja te se može primjeniti za optimizaciju procesa. Na Slici 11 prikazani su optimalni procesni uvjeti procesa kompostiranja bez bioaugmentacije i procesa s bioaugmentacijom.

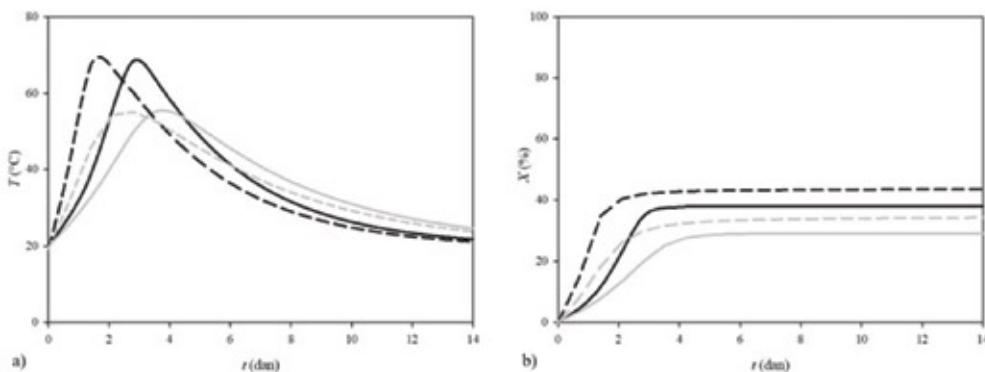


Slika 11: Optimalni uvjeti procesa kompostiranja bez bioaugmentacije i procesa s bioaugmentacijom

Nakon definiranja optimalnih uvjeta procesa kompostiranja bez bioaugmentacije i procesa s bioaugmentacijom, provedene su simulacije matematičkog modela procesa s inicijalnim vrijednostima procesnih parametara te s onima dobivenim optimizacijom procesa (Slika 12).

Simulacijom provedenom pri optimalnim uvjetima postižu se veće maksimalne temperature (Slika 12a) i veće konverzije (Slika 12b) što je isključivo posljedica većeg protoka zraka korištenog u simulacijama procesa kompostiranja provedenog pri optimalnim uvjetima. Veća maksimalna temperatura ukazuje na veću aktivnost mikroorganizama što posljedično rezultira i većom konverzijom. U procesu s bioaugmentacijom maksimalna temperatura (Slika 12a) se postiže ranije što ukazuje na raniji

početak termofilne faze i veću brzinu razgradnje organskog materijala te posljedično rezultira najvećom konverzijom (Slika 12b).



**Sl 12:** Simulacija matematičkog modela procesa provedena s inicijalnim vrijednostima procesnih parametara (—) te s onima dobivenim optimizacijom procesa (—) na primjeru promjene  
a) temperature i b) konverzije, proces kompostiranja bez bioaugmentacije  
— (—) i proces kompostiranja s bioaugmentacijom (---)

## 4. Zaključak

Jedan od ekološki prihvatljivih načina zbrinjavanja biorazgradivog otpada je proces kompostiranja. U ovom radu provedene su dvije vrste procesa kompostiranja: proces kompostiranja bez bioaugmentacije i proces kompostiranja s bioaugmentacijom. Usapoređujući najvažnije procesne parametre na početku i na kraju procesa kompostiranja, može se zaključiti da su oba procesa uspješno provedena. Cilj bioaugmentacije je unaprijeđenje procesa kompostiranja kroz brže postizanje termofilne faze što je i postignuto u ovom istraživanju. Osim toga, maksimalna konverzija u procesu s bioaugmentacijom postignuta je u četvrtom danu, za razliku od procesa kompostiranja bez bioaugmentacije gdje je maksimalna konverzija postignuta tek u osmom danu provedbe pokusa.

Za proces kompostiranja bez bioaugmentacije i proces kompostiranja s bioaugmentacijom postavljen je matematički model. Iz rezultata pokusa procijenjeni su kinetički parametri za oba procesa, a potvrda valjanosti modela provedena je usporedbom rezultata simulacije matematičkog modela procesa s neovisnim rezultatima procesa kompostiranja (s bioaugmentacijom) provedenog pri različitim početnim uvjetima. Optimizacija procesnih uvjeta provedena je pomoću rezultata simulacije validiranog matematičkog modela procesa korištenjem Box-Behnken dizajna pokusa. Optimizacijom je pokazano kako ulazni protok zraka imaju značajan utjecaj na proces, odnosno pri većim ulaznim protocima zraka brže se postiže termofilna faza i ostvaruju veću maksimalnu temperaturu kompostne mase što rezultira bržom razgradnjom prisutnih organskih tvari i većom konverzijom.

## 5. Literatura

- [1] Kalambura, S.; Racz, A.; Jovičić, N. & Toth, M.: Percepcija problema, mogućnosti i navika odvojenog prikupljanja otpada, *Socijalna ekologija*, 25 (2016) 3., str. 271-287, ISSN 1849-0360
- [2] Puntarić, E.; Kušević-Vukšić, M.; Kufrin, J.; Marić, T. & Požgaj Đ.: Izvješće o komunalnom otpadu za 2019. godinu, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, 2019.
- [3] Yang, F.; Li, Y.; Han, Y.; Qian, W.; Li, G. & Luo, W.: Performance of mature compost to control gaseous emissions in kitchen waste composting, *Science of the Total Environment*, 657 (2019) str. 262-269, ISSN 0048-9697
- [4] Naveen, B.P.; Mahapatra, D.M.; Sitharam, T.G.; Sivapullaiah, P.V. & Ramachandra, T.V.: Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate, *Environmental Pollution* 220 (2017) str. 1-12, ISSN 0269-7491
- [5] Williams, P. T.: Other waste treatment technologies: pyrolysis, gasification, combined pyrolysis-gasification, composting, aerobic digestion u *Waste Treatment and disposal*, John Wiley and Sons, ISBN 0-470-84912-6, UK, (2005), str. 325
- [6] Kučić Grgić, D.; Brški, F.; Ocelić Bulatović, V.; Vuković Domanovac, M.; Domanovac, T., Šabić Runjavec, M.; Miloloža, M. & Cvetnić, M.: Kompostiranje agroindustrijskog otpada, biootpada i biorazgradljivog komunalnog otpada u adjabatskom reaktoru, *Kemija u industriji* 68 (2019) 9-10., str. 381-388, ISSN 1334-9090
- [7] Bueno, P.; Tapias, R.; Lopez, F. & Diaz M. J.: Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting, *Bioresource Technology* 99 (2008) str. 5069-5077, ISSN 0960-8524
- [8] Wu, Y.; Chen, Y.; Shaaban, M.; Zhu, D.; Hu, C.; Chen, Z. & Wang, Y.: Evaluation of microbial inoculants pretreatment in straw and manure co-composting process enhancement, *Journal of Cleaner Production* 239 (2019) 118078, ISSN 0959-6526
- [9] Čosić, I.; Vuković, M.; Gomzi, Z. & Briški, F.: Comparison of various kinetic models for batch biodegradation of leachate from tobacco waste composting, *Revista de Chmie* 63 (2012) 9., str. 967-971, ISSN 2668-8212
- [10] Petric, I. & Mustafić, N.: Dynamic modelling the composting process of the mixture of poultry manure and wheat straw, *Journal of Environmental Management* 161 (2015) str. 392-401, ISSN 0301-4797
- [11] Önorm S 2023, Analytical Methods and quality Control for Wastecompost, Austrian Standardization Institute, Vienna, 1986
- [12] Bremner, J.M.: Nitrogen-total, U Sparks, D. L.; Page, A. L.; Helmke, P. A.; Loepert, R. H.; Soltanpour, P. N.; Tabatabai, M. A.; Johnston, C. T. & Sumner, M. E.: *Methods of soil analysis, Part 3 – chemical methods*, Soil Science Society of America, SAD (1996), str. 1089-1108
- [13] Briški, F.; Gomzi, Z.; Hargas, N. & Vuković, M.: Aerobic composting of tobacco solid waste, *Acta Chimica Slovenica* 50 (2003) str. 715-729, ISSN 1580-3155
- [14] EN 12457 – 4:2002, Characterization of waste – Leaching; Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges – Part 4: One – stage batch test at a liquid to solids ration of 10 L/kg for materials with particle size below 10 (without or with size reduction), European Committee for Standardization, 2002
- [15] APHA, Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater, 19th Edn., American Public Health Association, Washington, USA, 2012
- [16] Briški, F.; Gomzi, Z.; Hublin, A. & Vuković, M.: Aerobno kompostiranje otpadaka voća i povrća: modeliranje procesa, *Kemija u industriji* 52 (2003) 3., str. 95-102, ISSN 1334-9090

- [17] Briški, F.; Horgas, N.; Vuković, M. & Gomzi, Z.: Aerobic composting of tobacco industry solid waste- simulation of the process, *Clean Technologies and Environmental Policy* 5 (2003) str. 295-301, ISSN 1618-954X
- [18] Petric, I. & Selimbašić, V.: Development and validation of mathematical model for aerobic composting process, *Chemical Engineering Journal* 139 (2008) str. 304-317, ISSN 1385-8947
- [19] Onwosi, C.O.; Igbokwe, V.C.; Odimba, J.N.; Eke, I.E.; Nwankwoala, M.O.; Iroh, I.N. & Ezeogu L.I.: Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects, *Journal of Environmental Management* 190 (2017) str. 140-157, ISSN 0301-4797
- [20] Diaz, L.F. & Savage G.M.: Factors that affect the process, U Diaz, L.F.; de Bertoldi, M.; Bidlingmaier, W. & Stentiford E., *Compost science and technology*, Elsevier, ISBN 9780080439600, Amsterdam, (2007), str. 54-57
- [21] Marešova, K. & Kollarova, M.: Influence of compost covers on the efficiency of biowaste composting process, *Waste Management* 30 (2010) str. 2469-2474, ISSN 0956-053X
- [22] Kučić, D. & Briški F.: Emission of gases during composting of solid waste, *Kemija u industriji* 66 (2017) 9-10, str. 467-474, ISSN 1334-9090
- [23] Hussein, M.; Yoneda, K.; Zaki, Z.M.; Othman, N.A. & Amir, A.: Leachate characterizations and pollution indices of active and closed unlined landfills in Malaysia, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 12 (2020) 100232, ISSN 2215-1532
- [24] Quasim, W.; Moon, B.E.; Okyere, F.G.; Khan, F.; Nafees, M. & Kim, H.T.: Influence of aeration rate and reactor shape on the composting of poultry manure and sawdust, *Journal of the Air and Waste Management Association* 69 (2019) str. 633-645, ISSN 1096-2247
- [25] Jimenez, E.I. & Garcia, V.P.: Evaluation of city refuse compost maturity: a review, *Biological wastes* 27 (1989) str. 115-142, ISSN 0269-7483
- [26] Roy, D.; Azais, A.; Benkaraache, S.; Drogui, P. & Tyagi, R.D.: Composting leachate: characterization, treatment and future perspectives, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 17 (2018) str. 323-349, ISSN 1572-9826
- [27] Chung, Y.C. & Neethling, J.B.: Microbial Activity Measurements for Anaerobic Sludge Digestion, *Journal Water Pollution Control Federation* 61 (1989) str. 343-349, ISSN 0043-1303

## Zahvala

Ovaj rad financiran je sredstvima Europskog fonda za regionalni razvoj u okviru projekta Razvoj Tehnix pogona za bioreaktorsko kompostiranje biorazgradivog komunalnog otpada (KK.01.2.1.01)

# Ispitivanje i analiza duljine olimpijskog bazena

Mladen Zrinjski<sup>1,2</sup>, Đuro Barković<sup>2</sup>, Kristina Matika<sup>2</sup>

<sup>1</sup> član suradnik HATZ-a u Odjelu građevinarstva i geodezije, [mladen.zrinjski@geof.unizg.hr](mailto:mladen.zrinjski@geof.unizg.hr)

<sup>2</sup> Geodetski fakultet – Sveučilište u Zagrebu, [djuro.barkovic@geof.unizg.hr](mailto:djuro.barkovic@geof.unizg.hr)

<sup>2</sup> Geodetski fakultet – Sveučilište u Zagrebu, [kristina.matika@geof.unizg.hr](mailto:kristina.matika@geof.unizg.hr)

**Sažetak:** U radu je analizirano ispitivanje duljine olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice u Zagrebu. Geodetska izmjera duljina 10 plivačkih staza bazena obavljena je ručnim laserskim daljinomjerom. Računskom obradom ustanovljeno je da su duljine plivačkih staza unutar dopuštenih odstupanja od dimenzija koje je propisala Međunarodna plivačka federacija. Prema postignutoj relativnoj točnosti mjerjenja, obavljena mjerjenja mogu se razvrstati u kategoriju preciznog mjerjenja duljina. Iskazan je odnos točnosti mjerjenja duljina bazena i vremena na plivačkim natjecanjima. Ustanovljeno je da maksimalno dopušteno odstupanje od propisanih duljina bazena nema utjecaj na rezultate koje ostvare plivači na natjecanjima.

**Ključne riječi:** olimpijski bazen, precizno mjerjenje duljina, ručni laserski daljinomjer, relativna točnost

## 1. Uvod

S obzirom na princip i fizikalnu osnovu na kojima je zasnovano mjerjenje duljina, razlikuju se tri osnovna načina mjerjenja: mehaničko, optičko i elektroničko [1]. U ovom radu prikazano je ispitivanje duljina 10 uzdužnih plivačkih staza olimpijskog bazena duljine 50 m u bazenskom kompleksu Svetice u Zagrebu te analiza statističkih parametara mjernih rezultata.

Plivački klub Natator osnovala je hrvatska paraolimpijka Ana Sršen 2003. godine, a glavni cilj bio je stvoriti klub jednakih mogućnosti za sve osobe koje žele plivati. Kako bi rezultati koje ostvare plivači u Zagrebu, u olimpijskom bazenu u bazenskom

kompleksu Svetice, mogli ući na svjetsku i europsku rang listu, cilj tog kluba bio je ulazak u kalendar natjecanja Svjetske paraplavicačke organizacije (engl. *World Para Swimming – WPS*). Uvjet za ulazak u kalendar natjecanja je da olimpijski bazen, tj. duljine plivačkih staza moraju biti umjerene i imati certifikat o dimenzijama Državnog zavoda za mjeriteljstvo [2]. Na zahtjev plivačkog kluba Natator u Zagrebu, Laboratorij za mjerjenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu obavio je mjerjenje duljina staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice u Zagrebu (slika 1). Autori ovog rada nisu mogli pronaći ni jedan objavljeni rad iz područja umjeravanja duljina plivačkih staza olimpijskih bazena.

Iz povijesti je poznato da je čovjek od davnina koristio različite tehnike plivanja kao način prelaska vodenih prepreka. Kao sport, plivanje je u programu Olimpijskih igara od prvih modernih igara 1896. u Ateni, a u programu Paraolimpijskih igara od 1960. održanih u Rimu. Međunarodna plivačka federacija (fr. *Fédération Internationale de Natation – FINA*) zadužena je za organizaciju međunarodnih sportskih natjecanja na vodi, među kojima je i plivanje [3]. Njezin cilj bio je uspostava jedinstvenih pravila za plivanje, ronjenje i vaterpolo koja će se primjenjivati na Olimpijskim i Paraolimpijskim igrama te drugim međunarodnim natjecanjima. FINA je za te potrebe objavila Pravila za bazene i opremu (engl. *The Facilities Rules*) [4]. Jedna od stavki su dimenzije plivačkih bazena i dopuštena odstupanja od propisanih dimenzija.

Prema Pravilima FINA-e standardnim olimpijskim bazenom smatra se bazen duljine 50 m i širine 25 m. Ukoliko se na startnoj i/ili na okretišnoj strani koriste posebne dodirne ploče – senzori, koji služe za kontrolu okreta i mjerjenje vremena, a čija debljina iznosi 10 mm, bazen mora biti takve duljine da udaljenost između tih dviju ploča bude 50,000 m. Dopuštena su odstupanja od nominalne duljine, tako da minimalna duljina olimpijskog bazena iznosi 50,020 m, a maksimalna 50,030 m. Broj plivačkih staza u bazenu ovisi o vrsti natjecanja, tako je za potrebe održavanja Olimpijskih igara potrebno osigurati osam staza (1 – 8), a za potrebe održavanja Svjetskih prvenstava 10 staza (0 – 9) [4].



Sli. 1: Olimpijski bazen u bazenskom kompleksu Svetice [5]

## 2. Obavljena mjerena

Geodetska izmjera duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice obavljena je u dvije serije mjerena ručnim laserskim daljinomjerom Leica DISTO S910 [6]. Preliminarna mjerena čine prvu seriju mjerena obavljenu 8. veljače 2019. godine. Podaci druge serije mjerena, koja je obavljena 1. travnja 2019. godine, u cijelosti su prikazani i analizirani u ovom radu. Mjereni su i atmosferski parametri meteorološkim mjernim uređajem Lufft XA1000 [7] s preciznom temperaturnom i higrometarskom sondom Lufft 8130.TFF [8]. Ručni laserski daljinomjer umjeren je u Nacionalnom laboratoriju za duljinu na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Kao rezultat umjeravanja ručnoga laserskog daljinomjera dobivena je vrijednost proširene mjerne nesigurnosti 0,2 mm uz faktor proširenja  $k = 2$  i vjerojatnost 95,4%.

Mjerenje je obavljeno u bazenu s djelomično ispraznjrenom vodom za potrebe umjeravanja, u vrijeme bez prisutnosti korisnika bazena, tj. plivača. Svaka staza bazena (0 – 9) mjerena je tri puta. Izmjera je obavljena bez postavljenih posebnih dodirnih ploča – senzora, koji služe za kontrolu okreta i mjerjenje vremena, a čija debljina iznosi 10 mm. U tablici 1 prikazani su podaci mjerena koja su obavljena 1. travnja 2019. godine.

Izmjerene vrijednosti duljina popravljene su za adicijsku korekciju te za standardno odstupanje 0,4 mm, koje je određeno umjeravanjem ručnoga laserskog daljinomjera na duljini 50 m. Na temelju korigiranih vrijednosti duljina plivačkih staza, običnom aritmetičkom sredinom određena je srednja vrijednost i pripadajuće standardno odstupanje za svaku stazu pojedinačno. Izračunata su i odstupanja srednje vrijednosti duljine pojedine plivačke staze od minimalne vrijednosti duljine bazena 50,020 m, koja je propisana Pravilima FINA-e.

**Tablica 1:** Podaci mjerena duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice

Oznaka plivačke staze	Izmjerena vrijednost [m]	Korigirana vrijednost [m]	Srednja vrijednost [m]	Standardno odstupanje [mm]	Odstupanje srednje vrijednosti duljine od 50,020 m [mm]
0	50,0385	50,0285	50,02853	0,06	8,53
	50,0386	50,0286			
	50,0385	50,0285			
1	50,0348	50,0248	50,02443	0,32	4,43
	50,0342	50,0242			
	50,0343	50,0243			

2	50,0286	50,0282	50,02823	0,25	8,23
	50,0289	50,0285			
	50,0284	50,0280			
3	50,0265	50,0261	50,02577	0,31	5,77
	50,0261	50,0257			
	50,0259	50,0255			
4	50,0247	50,0243	50,02410	0,35	4,10
	50,0247	50,0243			
	50,0241	50,0237			
5	50,0295	50,0291	50,02913	0,25	9,13
	50,0298	50,0294			
	50,0293	50,0289			
6	50,0289	50,0285	50,02883	0,31	8,83
	50,0295	50,0291			
	50,0293	50,0289			
7	50,0340	50,0240	50,02417	0,15	4,17
	50,0343	50,0243			
	50,0342	50,0242			
8	50,0312	50,0260	50,02587	0,42	5,87
	50,0306	50,0254			
	50,0314	50,0262			
9	50,0396	50,0296	50,02953	0,12	9,53
	50,0394	50,0294			
	50,0396	50,0296			

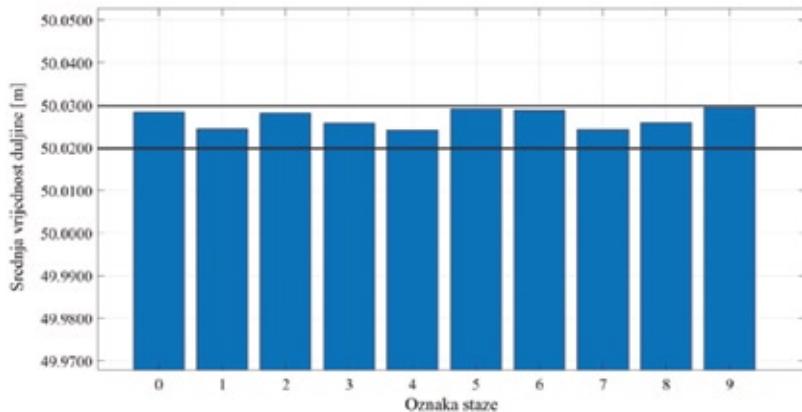
### 3. Analiza dobivenih rezultata

Iz podataka dobivenih računskom obradom izmjerениh duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice određena je srednja vrijednost svake staze bazena (slika 2) i odgovarajuće standardno odstupanje (slika 3). Srednje vrijednosti duljina plivačkih staza bazena nalaze se unutar dopuštene minimalne i maksimalne duljine propisane Pravilima FINA-e. Srednja vrijednost duljine svih 10 plivačkih staza iznosi 50,0269 m, a njezino standardno odstupanje 0,25 mm (tablica 2).

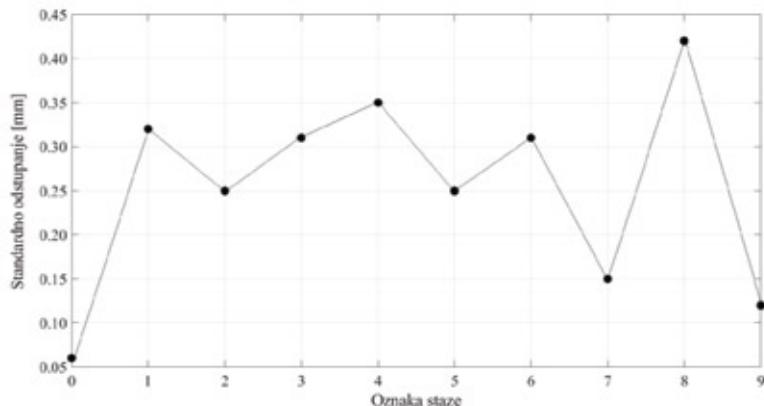
**Tablica 2:** Srednja vrijednost duljine olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice i njezino standardno odstupanje

Parametar	Vrijednost
Srednja vrijednost duljine bazena	50,0269 m
Standardno odstupanje srednje vrijednosti duljine bazena	0,25 mm

Pri mjerenuju duljine olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice postignuta je relativna točnost mjerenuja 1 : 200 108, što ulazi u kategoriju preciznog mjerenuja duljina. Sukladno geodetskoj klasifikaciji duljina prema relativnoj točnosti mjerenuja, u precizna mjerenuja duljina ubrajuju se ona mjerenuja u kojima je postignuta relativna točnost od  $10^{-6}$  do  $10^{-5}$  [9].



**Sl. 2:** Srednje vrijednosti duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice



**Sl. 3:** Standardna odstupanja srednjih vrijednosti duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice

Geodetska mjerena i opažanja su empirijske vrijednosti koje su pogodne za statističku analizu, iako se u većini slučajeva radi o manjem obimu podataka. Statistička analiza obavlja se u svrhu objektivnog i točnijeg razumijevanja te prezentiranja rezultata geodetskih mjerena. Statistički testovi se u geodeziji najčešće koriste u svrhu provjere kvalitete nekog mjerena ili rezultata računske obrade mjerena.

Statističkim testiranjem također je moguće obaviti i usporedbu parametara dva osnovna skupa te se tako mogu uspoređivati pretpostavljene aritmetičke sredine ili varijance dva skupa. Budući da su obavljene dvije serije mjerena duljine bazena, izračunata su standardna odstupanja za svaku seriju mjerena te je na temelju tih podataka obavljen statistički test dvaju standardnih odstupanja razdioba vjerojatnosti, poznat pod nazivom Fisherov test.

Iz dvaju statističkih skupova koji su distribuirani po normalnoj razdiobi odabran je po jedan uzorak. Na osnovi tih uzoraka određena su standardna odstupanja statističkih skupova  $s_1$  i  $s_2$  uz broj prekobrojnih mjerena  $f_1$  i  $f_2$ . Testom je potrebno utvrditi imaju li ti skupovi isto standardno odstupanje. U tu svrhu postavljaju se nulta i alternativna hipoteza [10]:

$$H_0 : \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 1, \quad (1)$$

$$H_a : \frac{\sigma_1}{\sigma_2} > 1. \quad (2)$$

Hipoteza  $H_0$  se može testirati na osnovi uzorka pomoću test statistike  $F$ , koja sadrži varijance uzoraka  $s_1^2$  i  $s_2^2$  distribuirane po Fisherovoj razdiobi [10]:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}. \quad (3)$$

Hipoteza  $H_0$  se prihvaca ako vrijednost omjera varijanci  $s_1^2 / s_2^2$  izračunatih iz uzoraka zadovoljava uvjet [10]:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} < F_{f_1; f_2; 1-\alpha}. \quad (4)$$

Fraktila  $F_{f_1; f_2; 1-\alpha}$  za određeni nivo signifikantnosti  $\alpha$  uzima se iz statističkih tablica [11]. Ako varijance uzoraka  $s_1^2$  i  $s_2^2$  imaju različitu vrijednost, pri računanju test statistike  $F$  u brojnik se treba uvrstiti veća varijanca jer brojevi prekobrojnih mjerena ne mogu mijenjati redoslijed.

U tablici 3 prikazani su ulazni parametri za provođenje Fisherovog testa te je izračunata test statistika i fraktila. Fraktila  $F_{29; 29; 0,95}$  je očitana iz statističkih tablica uz nivo signifikantnosti  $\alpha=0,05$  [11]. Statističkim testom se ispituje nulta hipoteza te

se ovisno o rezultatima statističkog testa prihvaća ili odbija nulta hipoteza, odnosno odbija ili prihvaća alternativna hipoteza. Prema podacima u tablici 3, prihvaća se nulta hipoteza uz vjerojatnost 95%. Prihvaćanje nulte hipoteze znači da empirijska standardna odstupanja dviju neovisnih serija mjerjenja pripadaju istom uzorku, odnosno da je postignuta ista mjerna nesigurnost mjerjenja duljina.

**Tablica 3:** Parametri statističkog testa dvaju standardnih odstupanja razdioba vjerojatnosti

Parametar	Vrijednost
Standardno odstupanje srednje vrijednosti duljine u 1. seriji mjerjenja, $s_1$	0,25 mm
Standardno odstupanje srednje vrijednosti duljine u 2. seriji mjerjenja, $s_2$	0,25 mm
Broj prekobrojnih mjerjenja u 1. seriji mjerjenja, $f_1$	29
Broj prekobrojnih mjerjenja u 2. seriji mjerjenja, $f_2$	29
Test statistika, $F$	1,00
Fraktila, $F_{29;29;0,95}$	1,86
<b>Prihvaća se nulta hipoteza <math>H_0</math></b>	

## 4. Odnos točnosti mjerjenja duljine i vremena

Tehnologija mjerjenja vremena na sportskim natjecanjima ključan je dio natjecanja, a daleko je napredovala od sredine 20. stoljeća do danas. Osnovna jedinica za vrijeme je sekunda. Sekunda je trajanje 9 192 631 770 perioda onog zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinih razina osnovnog stanja cezija 133 [12].

Danas se za potrebe preciznog mjerjenja vremena na sportskim natjecanjima koriste visokotehnološki uređaji, uključujući *high-speed* kamere, elektroničke dodirne ploče, infracrvene zrake, radioodašiljače i slično. Zahvaljujući naprednoj tehnologiji, satovi na plivačkim natjecanjima mogu mjeriti vrijeme s točnošću 10–6 sekunde, ali većina sportskih federacija, kao što je i FINA, imaju tendenciju prikaza vremena na stotinku sekunde [13], [14]. Razlog tome je nedovoljna preciznost izvedbe bazena ili staza za utrku. Izvedba bazena trebala bi biti na razini milimetra kako bi se vrijeme natjecatelja imalo smisla iskazivati na tisućinku sekunde. Bazen bi trebao biti izgrađen potpuno simetrično tako da svaka plivačka staza ima istu duljinu na milimetar. Danas su bazeni uobičajeno građeni tako da je razlika u duljini plivačkih staza bazena unutar centimetra koliko je i dopušteno službenim pravilnicima.

Pravilima FINA-e definirana je dopuštena razlika u duljini bazena u iznosu od jednog centimetra. Moguće je razmotriti koliko to maksimalno dopušteno odstupanje ima utjecaj na vrijeme koje ostvare plivači na natjecanjima. Ukoliko se u izračun kao referentno vrijeme i disciplina uzme svjetski rekord u plivanju slobodnim stilom na 50 m u kategoriji muških natjecatelja, koji iznosi 20,91 s, proizlazi da je plivaču pri tom rezultatu za preplivati 1 cm duljine bazena potrebno 0,004 s (tablica 4). Budući da je riječ o četiri tisućinke sekunde, a vrijeme se na natjecanjima iskazuje na stotinku sekunde, proizlazi zaključak da taj jedan centimetar razlike u duljini bazena nema utjecaj na vrijeme koje ostvare plivači.

Postavi li se uvjet da se vrijeme na natjecanjima u plivanju iskazuje na tisućinku sekunde, bazen je građevinski potrebno realizirati s točnošću od milimetra. U tablici 4 izračunat je utjecaj točnosti mjerjenja vremena na određivanje duljine bazena čime je potvrđena prethodna misao. Kada bi se vrijeme na natjecanjima u plivanju iskazivalo na tisućinku sekunde, razlika u duljinama staza bazena ne bi smjela biti veća od 2,4 mm ukoliko se u izračun uzme svjetski rekord u plivanju slobodnim stilom na 50 m u kategoriji muških natjecatelja, koji iznosi 20,91 s (tablica 4). S obzirom da se može očekivati poboljšanje svjetskog rekorda u plivanju, u budućnosti treba razmišljati da se kriteriji i dopuštena odstupanja za izgradnju bazena postrože, a time i poveća točnost mjerjenja vremena na tisućinku sekunde.

**Tablica 4:** Odnos točnosti mjerjenja duljine i vremena

<b>Svjetski rekord na 50 m: 20,91 s (slobodni stil, muškarci)</b>	
<b>Duljina / vrijeme</b>	
1 cm	0,00418 s
1 mm	0,00042 s
<b>Vrijeme / duljina</b>	
0,01 s	2,391 cm
0,001 s	2,39 mm

## 5. Zaključak

Geodetskom izmjerom i statističkom analizom duljina plivačkih staza olimpijskog bazena u bazenskom kompleksu Svetice utvrđeno je da je duljina bazena unutar dopuštenog odstupanja kojeg je propisala Međunarodna plivačka federacija. Izrađeno je izvješće o ispitivanju duljine bazena u svrhu izdavanja certifikata o dimenzijama Državnog zavoda za mjeriteljstvo kako bi rezultati koje ostvare plivači u tom bazenu mogli ući na svjetsku i europsku rang listu.

Sukladno dopuštenim odstupanjima od propisanih dimenzija u Pravilima FINA-e, duljine plivačkih bazena se mogu maksimalno razlikovati za jedan centimetar. Prema izračunu u ovom radu dobiveno je da 1 cm duljine bazena, za svjetski rekord u plivanju slobodnim stilom na 50 m u kategoriji muških natjecatelja od 20,91 s, vremenski iznosi 0,004 s. To znači da ukoliko je bazen izrađen sukladno Pravilima ta razlika u duljinama plivačkih staza neće imati utjecaj na vrijeme koje plivači ostvare na natjecanjima.

Ukoliko se postavi uvjet da se vrijeme na natjecanjima u plivanju iskazuje na tisućinku sekunde, izvedba bazena trebala bi biti na razini milimetra, što predstavlja poseban zahtjev za građevinske i geodetske inženjere. Mjerjenje duljina je danas u geodeziji najsloženije i najzahtjevnije područje po broju i različitosti konstrukcija instrumenata, posebno zbog razvoja elektroničkih daljinomjera. Prilikom preciznog mjerjenja duljina elektrooptičkim daljinomjerima vrlo je važno što točnije izmjeriti atmosferske parametre zraka kroz koji prolazi elektromagnetski val jer je mjerene duljine potrebno korigirati za utjecaj različitih pogrešaka, korekcija i redukcija. Više o preciznom mjerenu duljina u vidu razmatranja pogrešaka mjerena, korekcija i redukcija pri preciznom mjerenu duljina za potrebe budućih mjerena kada se kriteriji iskazivanja vremena na sportskim natjecanjima postrože, može se pročitati u [9], [15], [16], [17].

## Literatura

- [1] Benčić, D.: *Geodetski instrumenti*, Školska knjiga, Zagreb, (1990).
- [2] Državni zavod za mjeriteljstvo, *Dostupno na:* <https://dzm.gov.hr/>, *Pristupljeno:* 2021-01-14.
- [3] International Swimming Federation, *Dostupno na:* <http://www.fina.org/content/overview-and-history>, *Pristupljeno:* 2021-01-14.
- [4] FINA: *Facilities Rules 2017 – 2021*, International Swimming Federation, Lausanne, Switzerland, (2017).
- [5] Bazenski kompleks Svetice, *Dostupno na:* <https://www.sportskiobjekti.hr/default.aspx?id=7200>, *Pristupljeno:* 2021-01-18.
- [6] Leica DISTO S910, *Dostupno na:* <https://leica-geosystems.com/products/disto-and-leica-lino/leica-disto-packages/leica-disto-s910-pro-pack>, *Pristupljeno:* 2021-01-18.
- [7] Lufft XA1000, *Dostupno na:* <https://www.lufft.com/download/manual-lufft-handheld-xa1000-xp200-xp400-en/>, *Pristupljeno:* 2021-01-18.
- [8] Lufft T/H sonda 8130.TFF, *Dostupno na:* <https://www.lufft.com/products/accessories-310/temperature-humidity-sensor-for-reference-measurements-1881/productAction/outputAsPdf/>, *Pristupljeno:* 2021-01-18.
- [9] Benčić, D.; Solarić, N.: *Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici*, Školska knjiga, Zagreb, (2008).
- [10] Feil, L.: *Teorija pogrešaka i račun izjednačenja – drugi dio*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (1990).

- [11] Pavlić, I.: *Statistička teorija i primjena*, Tehnička knjiga, Zagreb, (1970).
- [12] BIPM – Bureau International des Poids et Mesures: *The International System of Units (SI)*, 9th Edition of the SI Brochure, International Bureau of Weights and Measures, Saint-Cloud, France, (2019).
- [13] OMEGA, *Dostupno na:* <https://www.omegawatches.com/planet-omega/sport/olympic-games>, *Pristupljeno:* 2021-01-20.
- [14] Technology's Touch: How a Photo Finish in the Olympic Pool Gets Resolved, *Dostupno na:* <https://olympics.time.com/2012/07/27/technologys-touch-how-a-photo-finish-in-the-olympic-pool-gets-resolved/>, *Pristupljeno:* 2021-01-20.
- [15] Zrinjski, M.: *Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a*, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2010).
- [16] Barković, Đ.; Zrinjski, M.; Baričević, S.: Automatizacija ispitivanja preciznosti elektrooptičkih daljinomjera na kalibracijskoj bazi, *Geodetski list*, **70** (2016) 4, 311-336.
- [17] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Baričević, S.: Precise Determination of Calibration Baseline Distances, *Journal of Surveying Engineering*, 145 (2019) 4, 1-9.

# Ispitivanje i analiza preciznosti optičkog nivela

Mladen Zrinjski<sup>1,2</sup>, Đuro Barković<sup>2</sup>, Antonio Tupek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> član suradnik HATZ-a u Odjelu građevinarstva i geodezije, [mladen.zrinjski@geof.unizg.hr](mailto:mladen.zrinjski@geof.unizg.hr)

<sup>2</sup> Geodetski fakultet – Sveučilište u Zagrebu, [djuro.barkovic@geof.unizg.hr](mailto:djuro.barkovic@geof.unizg.hr)

<sup>2</sup> Geodetski fakultet – Sveučilište u Zagrebu, [antonio.tupek@geof.unizg.hr](mailto:antonio.tupek@geof.unizg.hr)

**Sažetak:** Određivanje visina metodom geometrijskog nivelmana spada u najpreciznija geodetska mjerena. U radu je dan pregled hrvatskih norma iz područja geodetskih i mjernih instrumenata. Detaljno je opisan postupak ispitivanja preciznosti optičkog nivela prema potpunom testu norme HRN ISO 17123-2:2004. Za obradu podataka mjerena i analizu mjernih rezultata primijenjen je program Nivelir ISO.

**Ključne riječi:** preciznost, precizni optički niveler, standardno odstupanje, norma

## 1. Uvod

Današnja tehnologija izrade geodetskih instrumenata i pribora za mjerjenje osnovnih veličina u geodeziji (duljina i kut) dosegnula je zavidnu razinu. U području geometrijskog nivelmana, kao najpreciznije metode određivanja ortometrijskih visina točaka, suvremenim preciznim nivelirom (optičkim ili digitalnim) može se očitati najmanji podatak na invarnoj nivelmanskoj letvi s mjernom nesigurnošću od 0,01 mm. Kako podatak očitan preciznim nivelirom na invarnoj nivelmanskoj letvi ne bi bio opterećen pogreškama, potrebno je ispitati tri uvjeta nivela (posebno glavni uvjet) te preciznost nivela u terenskim uvjetima. Ispitivanje preciznosti optičkog nivela obavljeno je za potrebe privatnog naručitelja.

## 2. Pregled hrvatskih norma iz područja geodetskih instrumenata

Postupak ispitivanja preciznosti geodetskih i mjernih instrumenta dan je skupom međunarodnih norma osnovne oznake ISO 17123, odnosno hrvatskih norma HRN ISO 17123. U tablici 1 dan je pregled hrvatskih norma za ispitivanje i umjeravanje geodetskih mjerila osnovne oznake HRN ISO 17123 [1].

**Tablica 1:** Pregled hrvatskih norma osnovne oznake HRN ISO 17123

Oznaka norme	Naziv hrvatske norme
HRN ISO 17123-1:2014	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 1. dio: Teorija (ISO 17123-1:2014)
HRN ISO 17123-2:2004	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 2. dio: Niveliri (ISO 17123-2:2001)
HRN ISO 17123-3:2004	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 3. dio: Teodoliti (ISO 17123-3:2001)
HRN ISO 17123-4:2014	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 4. dio: Elektrooptički daljinomjeri (EDM instrumenti) (ISO 17123-4:2012)
HRN ISO 17123-5:2018	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 5. dio: Geodetske mjerne stanice (ISO 17123-5:2018)
HRN ISO 17123-6:2014	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 6. dio: Rotirajući laseri (ISO 17123-6:2012)
HRN ISO 17123-7:2008	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 7. dio: Optički viskovi (ISO 17123-7:2005)
HRN ISO 17123-8:2015	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 8. dio: GNSS terenski kinematički mjerni sustavi u realnom vremenu (RTK) (ISO 17123-8:2015)
HRN ISO 17123-9:2020	Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 9. dio: Terestrički laserski skeneri (ISO 17123-9:2018)

### 3. Norma HRN ISO 17123-2:2004

Ispitivanje preciznosti nivelira provodi se prema normi HRN ISO 17123-2:2004 [2]. U toj normi opisana su dva različita načina ispitivanja preciznosti nivelira, a to su jednostavni i potpuni test. Za precizna geodetska mjerena preporuča se provesti potpuni test. Uz ta dva testa, u normi su opisana i tri statistička testa koja se uglavnom preporučuju uz potpuni test. Slijedi detaljan prikaz terenskog postupka ispitivanja preciznosti nivelira prema potpunom testu te su dani matematički izrazi koji se koriste u numeričkoj obradi mjernih podataka.

#### 3.1. Testno polje

Kako bi se smanjio utjecaj refrakcije, ispitivanje treba provesti na horizontalnom terenu. Nivelir treba zakloniti suncobranom kako bi tijekom mjerena bio zaštićen od izravnih sunčevih zraka. Dvije visinske dobro definirane točke (A i B) treba postaviti na udaljenost od približno  $\Delta=60$  m. Nivelir se postavi približno na sredinu između točaka A i B ( $\Delta / 2 = 30 \pm 3$  m) kako bi se smanjili utjecaj refrakcije i pogreška vizurne osi.

#### 3.2. Mjerena

Prije početka mjerena nivelir treba ostaviti da se aklimatizira na temperaturu okoline. Za to je potrebno vrijeme od oko  $2 \text{ min} / ^\circ\text{C}$  temperaturne razlike. Osim toga, prije mjerena treba ispitati pogrešku vizurne osi (glavni uvjet nivelira). Treba obaviti dva seta mjerena. Prvi set mjerena sastoji se od 20 parova očitanja, pri čemu jedan par čine dva očitanja: zadnje očitanje letve  $x_{A,j}$  na točki A i prednje očitanje letve  $x_{B,j}$  na točki B, ( $j=1, \dots, 20$ ). Između svakog para očitanja potrebno je malo promijeniti visinu i položaj nivelira. Nakon prvih 10 parova očitanja ( $x_{A,1}, x_{B,1}, \dots, x_{A,10}, x_{B,10}$ ), zamijeni se redoslijed zadnjeg i prednjeg očitanja te se izvede drugih 10 parova očitanja ( $x_{B,11}, x_{A,11}, \dots, x_{B,20}, x_{A,20}$ ). Za drugi set mjerena, letve na točkama A i B zamijene mjesta. Cijeli postupak mjerena obavlja se na isti način kao i u prvom setu, te ga čini prvih 10 parova očitanja ( $x_{A,21}, x_{B,21}, \dots, x_{A,30}, x_{B,30}$ ) i drugih 10 parova očitanja ( $x_{B,31}, x_{A,31}, \dots, x_{B,40}, x_{A,40}$ ).

#### 3.3. Računanje

Empirijsko standardno odstupanje vrijedi za visinsku razliku na duljini od 60 m [2]:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{V}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{38}} \quad (1)$$

gdje su:

$r_j$  – rezidual odgovarajuće mjerene visinske razlike

$v$  – broj stupnjeva slobode,  $v=2 \cdot (20-1)=38$ .

Empirijsko standardno odstupanje za 1 km obostranog (dvostrukog) niveliranja  $s_{\text{ISO-LEV}}$  računa se prema izrazu [2]:

$$s_{\text{ISO-LEV}} = \frac{s}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{1000 \text{ m}}{60 \text{ m}}} \approx 2,89 \cdot s \quad (2)$$

### 3.4. Statistički testovi

Statistički testovi preporučuju se samo za ispitivanje prema potpunom testu. Za interpretaciju rezultata u statističkim se testovima koristi:

- empirijsko standardno odstupanje  $s$  visinske razlike mjerene na testnom području
- razlika  $\delta$  pogrešaka nule letve za par nivelmanskih letvi i njezino empirijsko standardno odstupanje  $s_\delta$ ,

kako bi se dobili odgovori na sljedeća pitanja (tablica 2):

- a) Je li izračunato empirijsko standardno odstupanje  $s_{\text{ISO-LEV}}$  manje od odgovarajuće vrijednosti  $\sigma$  koja je deklarirana od proizvođača instrumenta?
- b) Pripadaju li dva empirijska standardna odstupanja  $s_{\text{ISO-LEV}}$  i  $\tilde{s}_{\text{ISO-LEV}}$ , određena iz dvije različite serije mjerjenja, istom uzorku pod pretpostavkom da obje serije imaju isti broj stupnjeva slobode  $v$ ?

Empirijska standardna odstupanja  $s_{\text{ISO-LEV}}$  i  $\tilde{s}_{\text{ISO-LEV}}$  mogu se dobiti:

- iz dvije serije mjerjenja s istim instrumentom, ali s različitim opažaćima
- iz dvije serije mjerjenja s istim instrumentom u različito vrijeme
- iz dvije serije mjerjenja s različitim instrumentima.

- c) Je li razlika  $\delta$  pogrešaka nule letve za par nivelmanskih letvi jednaka nuli?

Za testove koji slijede, razina je pouzdanosti  $\alpha - 1 = 0,95$  i broj stupnjeva slobode  $v = 38$ .

**Tablica 2:** Statistički testovi

Pitanje	Nulta hipoteza	Alternativna hipoteza
a)	$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
b)	$\sigma = \tilde{\sigma}$	$\sigma \neq \tilde{\sigma}$
c)	$\delta = 0$	$\delta \neq 0$

**Pitanje a)**

Nulta se hipoteza prihvaca ako je  $s \leq \sigma$ , tj. ako je zadovoljeno [2]:

$$s_{\text{ISO-LEV}} \leq 1,19 \cdot \sigma \quad (3)$$

U suprotnome prihvaca se alternativna hipoteza.

### Pitanje b)

Za dvije razlicite serije mjeranja, test pokazuje pripadaju li empirijska standardna odstupanja  $s_{\text{ISO-LEV}}$  i  $\tilde{s}_{\text{ISO-LEV}}$  istom uzorku. Nulta hipoteza  $\sigma = \tilde{\sigma}$  prihvaca se ako je zadovoljeno [2]:

$$0,52 \leq \frac{s_{\text{ISO-LEV}}^2}{\tilde{s}_{\text{ISO-LEV}}^2} \leq 1,91 \quad (4)$$

U suprotnome prihvaca se alternativna hipoteza.

### Pitanje c)

Nulta hipoteza  $\delta = 0$  prihvaca se ako je zadovoljeno [2]:

$$|\delta| \leq 0,64 \cdot s \quad (5)$$

U suprotnome prihvaca se alternativna hipoteza.

Broj stupnjeva slobode  $v$  te odgovarajuće fraktile  $x_{1-\alpha}^2(v)$ ,  $F_{1-\alpha/2}(v, v)$  i  $t_{1-\alpha/2}(v)$  podložni su promjenama ako se analizira broj mjerena razlicit od broja navedenog u ovom radu. Fraktile  $x_{1-\alpha}^2(v)$ ,  $F_{1-\alpha/2}(v, v)$  i  $t_{1-\alpha/2}(v)$ , uz odabrani nivo signifikantnosti  $\alpha = 0,05$ , uzimaju se iz statistickih tablica [3], [4].

## 4. Ispitivanje preciznosti nivelira Leica NA2

Ispitivanje preciznosti optickog nivelira Leica NA2 s planparalelnom pločom provedeno je prema pravilima i uputama navedenim u normi HRN ISO 17123-2:2004. Prema tehnickoj specifikaciji nivelir Leica NA2 s planparalelnom pločom ima deklarirano standardno odstupanje za 1 km obostranog (dvostrukog) niveliranja do 0,3 mm [5]. Prvu seriju mjeranja obavio je opažač Mladen Zrinjski 20. svibnja 2020. u dvořištu Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (tablica 3), a drugu seriju mjeranja opažač Đuro Barković istoga dana na istome mjestu (tablica 4). U tablici 5 prikazani su rezultati statistickog testiranja za tri statisticka testa. Za ispitivanje preciznosti nivelira prema toj normi primijenjen je program Nivelir\_ISO [6].

**Tablica 3:** Ispitivanje preciznosti nivela prema potpunom testu  
– prva serija mjerena

Potpuni test za niveliere prema normi HRN ISO 17123-2:2004 (prva serija mjerena)

Mjerenja obavio:	Mladen Zrinjski	Tip i serijski broj instrumenta:	Leica NA2, SNo. 5048229								
Datum mjerena:	20.5.2020.	Vremenske prilike:	vetro, 17°C								
Prvi set mjerena											
Broj mjerena $j$	Očitanje zadnje lete $x_{A,j}$ [mm]	Očitanje prednje lete $x_{B,j}$ [mm]	Visinska razlika $d_j$ [mm]								
			Rezidual $r_j$ [mm]								
			Kvadrat reziduala $r_j^2$ [mm <sup>2</sup> ]								
1	3471,1	3682,5	-211,4	-0,11	0,0132	21	3412,0	3623,4	-211,4	-0,18	0,0306
2	3471,3	3682,5	-211,5	-0,02	0,0002	22	3411,8	3623,4	-211,6	0,02	0,0005
3	3468,5	3680,0	-211,5	-0,02	0,0002	23	3410,9	3622,5	-211,6	0,02	0,0006
4	3470,0	3681,5	-211,5	-0,02	0,0002	24	3411,2	3622,8	-211,6	0,03	0,0006
5	3470,8	3682,3	-211,5	-0,02	0,0002	25	3411,7	3623,3	-211,6	0,03	0,0006
6	3471,0	3682,3	-211,3	-0,21	0,0462	26	3412,2	3623,8	-211,6	0,03	0,0006
7	3468,7	3680,2	-211,5	-0,02	0,0002	27	3413,2	3624,8	-211,6	0,03	0,0006
8	3468,5	3680,0	-211,5	-0,02	0,0002	28	3413,1	3624,6	-211,5	-0,08	0,0056
9	3468,8	3680,4	-211,6	0,08	0,0072	29	3412,4	3624,0	-211,6	0,02	0,0006
10	3469,7	3681,1	-211,4	-0,11	0,0132	30	3411,5	3623,0	-211,5	-0,08	0,0056
11	3469,9	3681,3	-211,4	-0,11	0,0132	31	3411,7	3623,2	-211,5	-0,08	0,0056
12	3470,0	3681,5	-211,5	-0,02	0,0002	32	3411,1	3622,7	-211,6	0,02	0,0006
13	3470,8	3682,4	-211,6	0,08	0,0072	33	3411,0	3622,5	-211,6	-0,08	0,0056
14	3471,1	3682,7	-211,6	0,08	0,0072	34	3412,3	3623,8	-211,5	-0,08	0,0056
15	3470,0	3681,6	-211,8	0,29	0,0812	35	3412,1	3623,9	-211,8	0,23	0,0506
16	3469,7	3681,3	-211,6	0,09	0,0072	36	3411,7	3623,3	-211,6	0,03	0,0006
17	3469,3	3681,0	-211,7	0,18	0,0342	37	3411,5	3623,1	-211,6	0,02	0,0006
18	3469,7	3681,2	-211,5	-0,02	0,0002	38	3411,6	3623,1	-211,5	-0,08	0,0056
19	3468,5	3680,0	-211,5	-0,02	0,0002	39	3411,9	3623,6	-211,7	0,12	0,0156
20	3469,5	3680,9	-211,4	-0,11	0,0132	40	3413,7	3625,3	-211,6	0,03	0,0006
$\Sigma$	69396,9	73627,2	-4230,3	0,00	0,2455	$\Sigma$	68238,6	72470,1	-4231,5	0,00	0,1375
Aritmetička sredina visinskih razlika prvog seta mjerena, $\bar{d}_1$											
$\bar{d}_1 = -211,52 \text{ mm}$											
Kontrole za prvi set mjerena:											
Aritmetička sredina visinskih razlika drugog seta mjerena, $\bar{d}_2$											
$\bar{d}_2 = -211,58 \text{ mm}$											
$\Sigma d_{A,j} - \Sigma d_{B,j} = \Sigma d$											
$\Sigma d_j = 0$											
Razlika aritmetičkih sredina											
0,06 mm											
Suma kvadrata reziduala obojih seta mjerena											
0,38 mm <sup>2</sup>											
Kontrole za drugi set mjerena:											
Broj stupnjeva slobode											
38											
$\Sigma d_{A,j} - \Sigma d_{B,j} = \Sigma d$											
$\Sigma d_j = 0$											
Empiriski standardno odstupanje, $s$											
0,10 mm											
$s \times 2,89 = 0,29 \text{ mm}$											

**Tablica 4:** Ispitivanje preciznosti nivela prema potpunom testu  
– druga serija mjerena

Potpuni test za niveliere prema normi HRN ISO 17123-2:2004 (druga serija mjerena)

Mjerenja obavio:	Duro Barković	Tip i serijski broj instrumenta:	Leica NA2, SNo. 5048229								
Datum mjerena:	20.5.2020.	Vremenske prilike:	vetro, 18°C								
Prvi set mjerena											
Broj mjerena $j$	Očitanje zadnje lete $x_{A,j}$ [mm]	Očitanje prednje lete $x_{B,j}$ [mm]	Visinska razlika $d_j$ [mm]								
			Rezidual $r_j$ [mm]								
			Kvadrat reziduala $r_j^2$ [mm <sup>2</sup> ]								
1	3410,0	3623,5	-213,5	-0,01	0,0001	21	3430,1	3643,5	-213,4	-0,09	0,0081
2	3409,5	3623,1	-213,6	0,09	0,0081	22	3429,6	3643,1	-213,5	0,01	0,0001
3	3410,2	3623,7	-213,5	-0,01	0,0001	23	3431,0	3644,5	-213,5	0,01	0,0001
4	3411,1	3624,5	-213,4	-0,11	0,0121	24	3430,5	3643,9	-213,4	-0,09	0,0081
5	3410,3	3624,0	-213,7	0,19	0,0361	25	3430,9	3644,4	-213,5	0,01	0,0001
6	3409,4	3622,8	-213,4	-0,11	0,0121	26	3431,1	3644,7	-213,6	0,11	0,0121
7	3410,3	3623,9	-213,6	0,09	0,0081	27	3432,2	3645,8	-213,6	0,11	0,0121
8	3409,3	3622,6	-213,3	-0,21	0,0441	28	3430,6	3643,9	-213,3	-0,19	0,0361
9	3411,0	3624,6	-213,6	0,09	0,0081	29	3429,7	3643,1	-213,4	-0,09	0,0081
10	3411,2	3624,0	-213,4	-0,11	0,0121	30	3430,5	3644,1	-213,6	0,11	0,0121
11	3411,1	3624,6	-213,5	-0,01	0,0001	31	3431,0	3644,5	-213,5	0,01	0,0001
12	3410,0	3623,6	-213,6	0,09	0,0081	32	3431,2	3644,7	-213,5	0,01	0,0001
13	3410,6	3624,0	-213,4	-0,11	0,0121	33	3430,2	3643,6	-213,4	-0,09	0,0081
14	3410,3	3623,8	-213,5	-0,01	0,0001	34	3431,1	3644,5	-213,4	-0,09	0,0081
15	3409,8	3623,5	-213,7	0,19	0,0361	35	3429,5	3643,1	-213,6	0,11	0,0121
16	3409,9	3623,4	-213,5	-0,01	0,0001	36	3430,5	3643,9	-213,4	-0,09	0,0081
17	3410,4	3623,9	-213,5	-0,01	0,0001	37	3431,0	3644,6	-213,6	0,11	0,0121
18	3411,5	3624,9	-213,4	-0,11	0,0121	38	3431,4	3644,9	-213,5	0,01	0,0001
19	3411,2	3624,7	-213,5	-0,01	0,0001	39	3430,4	3643,8	-213,4	-0,09	0,0081
20	3411,1	3624,7	-213,6	0,09	0,0081	40	3429,9	3643,6	-213,7	0,21	0,0441
$\Sigma$	68208,2	72478,4	-4270,2	0,00	0,2180	$\Sigma$	68612,4	72882,2	-4269,8	0,00	0,1980

Aritmetička sredina visinskih razlika prvog seta mjeranja,	$\bar{d}_1$	-213,51 mm	Kontrole za prvi set mjeranja:
Aritmetička sredina visinskih razlika drugog seta mjeranja,	$\bar{d}_2$	-213,49 mm	$\Sigma d_{A_1} - \Sigma d_{B_1} = \Sigma d_1$
Razlika aritmetičkih sredina		-0,02 mm	$\Sigma r_1 = 0$
Suma kvadrata reziduala oba seta mjeranja		0,42 mm <sup>2</sup>	Kontrole za drugi set mjeranja:
Broj stupnjeva slobode		38	$\Sigma d_{A_2} - \Sigma d_{B_2} = \Sigma d_2$
Empirijsko standardno odstupanje, $s$		0,10 mm	$\Sigma r_2 = 0$
Emp. stand. odstupanje za 1 km dvostrukog niveliiranja, $s_{ISO-LEV}$		$s \times 2,89$	0,30 mm

Tablica 5: Rezultati statističkog testiranja za tri statistička testa

**Statistički testovi****Test br. 1.**

Test usporedbe izračunatog empirijskog standardnog odstupanja ( $s$ ) i odgovarajuće vrijednosti ( $\sigma$ ) deklarirane od strane proizvođača instrumenta.

Hipoteze:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ):  $s \leq \sigma$

Alternativna hipoteza ( $H_1$ ):  $s > \sigma$

Odabrani nivo signifikantnosti  $\alpha = 0,05$ .

**Prva serija mjerena**:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za 1 km dvostrukog niveliiranja,  $s_{ISO-LEV}$

0,29 mm

Teorijska vrijednost odstupanja dana od proizvođača,  $\sigma$

0,30 mm

Uz 95% vjerojatnost: Test se prihvaca, tj. izračunato empirijsko standardno odstupanje manje je od deklarirane teorijske vrijednosti. Mjerenja su obavljena s predviđenom točnosti.

**Druga serija mjerena**:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za 1 km dvostrukog niveliiranja,  $s_{ISO-LEV}$

0,30 mm

Teorijska vrijednost odstupanja dana od proizvođača,  $\sigma$

0,30 mm

Uz 95% vjerojatnost: Test se prihvaca, tj. izračunato empirijsko standardno odstupanje manje je od deklarirane teorijske vrijednosti. Mjerenja su obavljena s predviđenom točnosti.

**Test br. 2.**

Test usporede dvaju empirijskih standardnih odstupanja ( $s$  i  $\hat{s}$ ), dobivenih iz različitih mjerena s istim brojem stupnjeva slobode.

Hipoteze:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ):  $s = \hat{s}$

Alternativna hipoteza ( $H_1$ ):  $s \neq \hat{s}$

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za prvu seriju mjerena,  $s_{ISO-LEV}$

0,29 mm

Izračunato empirijsko standardno odstupanje za drugu seriju mjerena,  $\hat{s}_{ISO-LEV}$

0,30 mm

Granice obostranog testa:  $0,52 \leq s^2/\hat{s}^2 \leq 1,91$

Omjer kvadrata empirijskih standardnih odstupanja,  $s^2/\hat{s}^2$

0,92 mm

Uz 95% vjerojatnost:

Test se prihvaca, tj. empirijska standardna odstupanja potjeću iz istog uzorka.

**Test br. 3.**

Test usporede aritmetičkih sredina visinskih razlika dvaju setova mjerena.

Hipoteze:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ):  $\delta = 0$

Alternativna hipoteza ( $H_1$ ):  $\delta \neq 0$

Odabrani nivo signifikantnosti  $\alpha = 0,05$ .

Prva serija mjerena:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje,  $s$

0,10 mm

Apsolutna vrijednost razlike aritmetičkih sredina

0,06 mm

Uz 95% vjerojatnost:

Test se prihvata, tj. razlika pogrešaka nula letvi, za par letvi, jednaka je nuli.

Druga serija mjerena:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje,  $s$

0,10 mm

Apsolutna vrijednost razlike aritmetičkih sredina

0,02 mm

Uz 95% vjerojatnost:

Test se prihvata, tj. razlika pogrešaka nula letvi, za par letvi, jednaka je nuli.

## 5. Zaključak

Određivanje visina metodom geometrijskog nivelmana spada u najpreciznija geodetska mjerena. Svako pojedino mjerjenje opterećeno je pogreškama iz velikog broja različitih izvora. Međutim, gotovo sve navedene pogreške mogu se ispitivanjem i rektifikacijom instrumenta, izborom najpovoljnijih vanjskih uvjeta rada, odabirom doba dana i godine te metodom mjerena gotovo u potpunosti eliminirati [7], [8], [6]. Kako bi se osigurala velika preciznost u geometrijskom nivelmanu, važno je ispitati ispravnost preciznog nivela, koji se koristi u mjerenjima.

Prije i nakon obavljenih mjerena treba ispitati ispravnost nivela, posebno njegov glavni uvjet. Ispitivanje preciznosti nivela potrebno je provesti, prije i nakon mjerena, prema potpunom testu norme HRN ISO 17123-2:2004. Za ispitivanje preciznosti nivela prema toj normi primijenjen je program Nivelir\_ISO. Kao ulazne vrijednosti upišu se podaci mjerena, a kao izlazne vrijednosti dobiju se ocjena točnosti ispitivanja nivela te podaci statističkog testiranja za tri statistička testa.

Rezultati ispitivanja pokazuju da je precizni optički niveler Leica NA2 ispravan i zadovoljava točnost potrebnu za mjerena u preciznom nivelmanu visoke točnosti ili drugim preciznim geodetskim mjerenjima.

## Literatura

- [1] Hrvatski zavod za norme, *Dostupno na: https://www.hzn.hr/*, Pristupljeno: 2021-01-25.
- [2] HRN ISO 17123-2:2004 – Optika i optički instrumenti – Terenski postupci za ispitivanje geodetskih instrumenata i instrumenata izmjere – 2. dio: Niveliri (ISO 17123-2:2001).
- [3] Pavlić, I.: *Statistička teorija i primjena*, Tehnička knjiga, Zagreb, (1970).

- [4] Feil, L.: *Teorija pogrešaka i račun izjednačenja – drugi dio*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (1990).
- [5] Leica: *Leica NA2/NAK2*, User Manual, Leica Geosystems AG, Heerbrugg, (1999).
- [6] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Razumović, I.: Automatizacija ispitivanja preciznosti nivelira i umjeđuvanja invarnih nivelmanskih letvi, *Geodetski list*, **64** (2010) 4, 279-296.
- [7] Benčić, D.; Solarić, N.: *Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici*, Školska knjiga, Zagreb, (2008).
- [8] Zrinjski, M.: *Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a*, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2010).

# Softverska podrška za obradu podataka geodetskih mjerena

Mladen Zrinjski<sup>1,2</sup>, Kristina Matika<sup>2</sup>, Marija Stojnović<sup>3</sup>

<sup>1</sup> član suradnik HATZ-a u Odjelu građevinarstva i geodezije, [mladen.zrinjski@geof.unizg.hr](mailto:mladen.zrinjski@geof.unizg.hr)

<sup>2</sup> Geodetski fakultet – Sveučilište u Zagrebu, [kristina.matika@geof.unizg.hr](mailto:kristina.matika@geof.unizg.hr)

<sup>3</sup> Odvodnja d.d. Darda, [marija.stojnovic@odvodnja-darda.hr](mailto:marija.stojnovic@odvodnja-darda.hr)

**Sažetak:** U Republici Hrvatskoj uveden je 2010. godine jedinstveni koordinatni sustav poprečne Mercatorove projekcije Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 (HTRS96/TM). Dotadašnja dva sustava zamijenjeni su jednim, sa srednjim meridijanom  $16^{\circ} 30'$ . Zbog svojstva poprečne konformne cilindrične projekcije, problem linearne deformacije dolazi do izražaja na rubnim dijelovima projekcije. Udaljavanjem od srednjeg meridijana raste linearna deformacija koja prelazi dopuštenu vrijednost (1 dm/l km). U ovome radu objašnjena je problematika redukcija i korekcija mjereneih duljina s fizičke površine Zemlje u ravninu projekcije HTRS96/TM. Prikazani algoritam za izračun redukcija i korekcija upotrijebljen je u izradi računalnog programa ReducDist. Kód za navedeni računalni program napisan je u programskom jeziku C# korištenjem razvojnog okruženja .NET framework i softvera za razvoj Windows aplikacija Visual Studio.

**Ključne riječi:** mjerena duljina, redukcije i korekcije, linearna deformacija, HTRS96/TM, ReducDist

## 1. Uvod

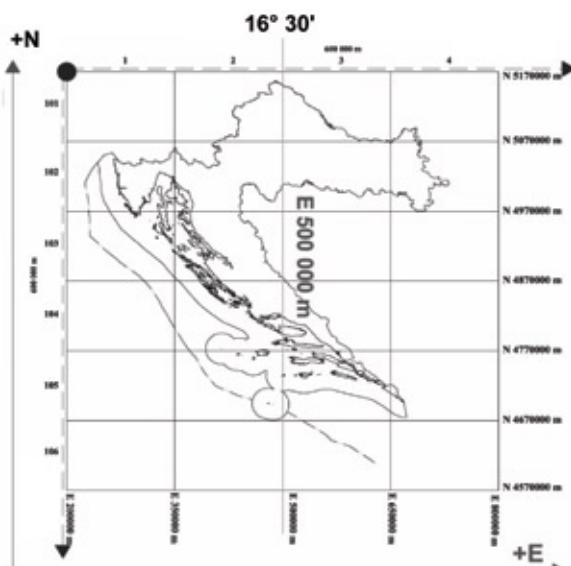
Mjerenja duljina izvode se na fizičkoj površini Zemlje, a računanja različitih geodetskih zadataka najčešće u ravnini projekcije HTRS96/TM. Uvođenjem novoga koordinatnog sustava poprečne Mercatorove projekcije HTRS96/TM, pojavio se problem nedopuštenih linearnih deformacija na približno pola teritorija Republike Hrvatske. Stoga je duljine mjerene na fizičkoj površini Zemlje potrebno prije daljnje primjene preračunati u duljine u ravnini projekcije HTRS96/TM. U ovom radu prikazan je

softverski paket, koji je izrađen za izračun redukcija i korekcija duljina s fizičke površine Zemlje u ravnninu projekcije HTRS96/TM. Softver je nastao kao podrška privatnim korisnicima za obradu podataka geodetskih mjerjenja.

## 2. HTRS96/TM

Dana 4. kolovoza 2004. godine donesena je Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske [1], [2], a koja je u punoj primjeni od 1. siječnja 2010. Na temelju ove Odluke, referentnim koordinatnim sustavom za Republiku Hrvatsku postaje Europski terestrički referentni sustav za epohu 1989.0 (ETRS89), a za službeni matematički model koristi se Geodetski referentni sustav 1980 (GRS80). Definiciji novoga položajnog referentnog koordinatnog sustava podjednako pridonosi 78 osnovnih trajno stabiliziranih geodetskih točaka čije su koordinate određene u ETRS89. Taj referentni sustav dobiva naziv Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1995.55, tj. HTRS96. Epoha se odnosi na srednju godinu provedenih GPS mjernih kampanji u razdoblju od 1994. do 1996. godine, u kojima su određene koordinate tih 78 točaka u ETRS89.

Nakon ispitivanja i prijedloga pojedinih kartografskih projekcija, za novu projekciju za potrebe katastra i detaljne državne topografske kartografije odabранa je poprečna Mercatorova projekcija (TM), što je drugi naziv za Gauss-Krügerovu projekciju. Razlika u odnosu na prethodnu kartografsku projekciju je što cijelo područje Republike Hrvatske obuhvaća jedan koordinatni sustav sa srednjim meridijanom  $16^{\circ} 30'$  i linearnim mjerilom 0,9999 uzduž njega [3].



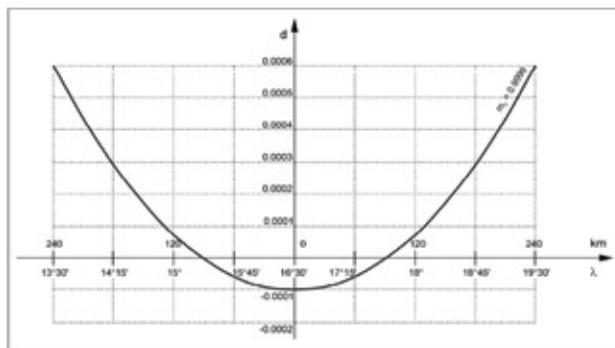
**Sl. 1:** Koordinatni sustav u ravnnini projekcije HTRS96/TM [3]

Najveća prednost nove projekcije je prijelaz s dva koordinatna sustava na jedan koordinatni sustav bez podjela teritorija Republike Hrvatske na zone, čime se postiže jednoobraznost računanja te transformacija između zona postaje nepotrebna [4]. Zbog maksimalne moguće deformacije od 1 dm po 1 km, pri upotrebi nove projekcije potrebno je uvesti odgovarajuće popravke zbog deformacija na udaljenostima većim od 127 km od središnjeg meridijana [3]. Navedena projekcija temelji se na elipsoidu GRS80 kojim je definiran i HTRS96 te dobiva oznaku HTRS96/TM, a za koordinate u ravnini projekcije uvedene su označke  $E$  (easting) i  $N$  (northing) (slika 1).

Transverse Mercator Projection je konformna poprečna cilindrična projekcija elipsoida u ravninu, koja je zadana uvjetima [3]:

1. projekcija je konformna
2. srednji meridijan preslikava se u pravoj veličini ili je mjerilo na njemu konstantno
3. os  $N = x$  pravokutnoga koordinatnog sustava poklapa se sa slikom srednjeg meridijana.

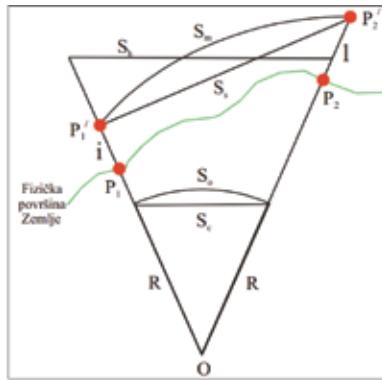
Veličina linearnih deformacija u HTRS96/TM ovisi o udaljenosti od srednjeg meridijana (slika 2). U područjima do 127 km istočno i zapadno od srednjeg meridijana linearne deformacije su unutar dopuštenog odstupanja (1 dm/1 km) te se mogu potpuno zanemariti. U područjima koja su udaljenija od 127 km od srednjeg meridijana istočno i zapadno, potrebno je izračunati utjecaj linearne deformacije na mjerene duljine.



Sl. 2: Raspodjela linearnih deformacija u HTRS96/TM [3]

### 3. Redukcija duljina

Duljine mjerene na fizičkoj površini Zemlje potrebno je reducirati na plohu kojom se aproksimira oblik i dimenzija Zemlje, odnosno u ravninu projekcije (slika 3). U nastavku je dan prikaz formula za računanje redukcija i korekcija mjerene duljine s fizičke površine Zemlje u ravninu projekcije HTRS96/TM.



Sl. 3: Redukcija duljine s fizičke površine Zemlje na plohu elipsoida [5]

Duljina zakrivljene putanje signala računa se prema izrazu [5]:

$$S_m = S_{mj} - \frac{S_{mj}^3}{12R^2} (k - k^2), \quad (1)$$

gdje su:

$S_{mj}$  – mjerena duljina

$S_m$  – mjerena duljina korigirana za atmosfersku korekciju

$k = 0,13$  – koeficijent refrakcije

$R$  – srednji polumjer zakrivljenosti između točaka mjerena.

Duljina tetine između točaka na fizičkoj površini Zemlje,  $S_s$ , računa se prema izrazu [5]:

$$S_s = S_m - \frac{S_m^3}{24R^2} k^2. \quad (2)$$

Prema [6] razlika između zakrivljene prostorne duljine,  $S_m$ , i tetine između točaka na fizičkoj površini Zemlje,  $S_s$ , iznosi 0,1 mm za duljine od 15 km, pa se ova redukcija može zanemariti u svakodnevnim geodetskim radovima.

Duljina tetine na elipsoidu,  $S_c$ , računa se prema izrazu [6], [7]:

$$S_c = \sqrt{\frac{S_s^2 - (h_2 - h_1)^2}{\left(1 + \frac{h_1}{R}\right)\left(1 + \frac{h_2}{R}\right)}}, \quad (3)$$

gdje su  $h_1$  i  $h_2$  elipsoidne visine krajnjih točaka duljine.

Za računanja ove redukcije potrebno je poznавање visine iznad elipsoida  $h$ . Kako se u Republici Hrvatskoj koriste normalne ortometrijske visine  $H$  (visine u odnosu na

246 Zrinjski, M., Matika, K. i Stojnović, M.: Softverska podrška za obradu podataka geodetskih mjerena plohu geoida), potrebno je poznavati vrijednost geoidne undulacije  $N$  za stajališnu i vizurnu točku kako bi se mogli napisati sljedeći izrazi:

$$h_1 = H_1 + N_1, \quad h_2 = H_2 + N_2.$$

Redukcija s tetine,  $S_c$ , na duljinu luka normalnog presjeka na elipsoidu,  $S_0$ , računa se prema izrazu [5]:

$$S_0 = S_c + \frac{S_c^3}{24R^2}. \quad (4)$$

Razlika između duljine geodetske linije,  $S$ , i duljine luka normalnog presjeka na elipsoidu,  $S_0$ , je mala veličina na duljinama do 1000 km, pa se može napisati:

$$S \approx S_0.$$

Konačno, duljina u ravnini projekcije HTRS96/TM,  $D$ , računa se prema izrazu [7]:

$$D = S \left[ 1 + \frac{1}{2N_m^2} (1 + \eta_m^2) \bar{E}_m^2 + \frac{1}{24N_m^4} (1 + 6\eta_m^2) \bar{E}_m^4 + \frac{1}{720N_m^6} \bar{E}_m^6 + \frac{1}{24N_m^4} (1 + 2t_m^2 \eta_m^2) \bar{E}_m^2 \Delta \bar{N}^2 + \right. \\ \left. + \frac{1}{3N_m^3} t_m^2 (-\eta_m^2 - \eta_m^4) \bar{E}_m \Delta \bar{N} \Delta \bar{E} + \left( \frac{1}{24N_m^2} (1 + \eta_m^2) + \frac{1}{48N_m^4} (-3 - 2\eta_m^2) \Delta \bar{E}_m^2 \right) \Delta \bar{E}^2 + \right. \\ \left. + \frac{1}{1440N_m^4} \Delta \bar{N}^2 \Delta \bar{E}^2 - \frac{1}{1152N_m^4} \Delta \bar{E}^4 \right] \quad (5)$$

gdje su:

$N_m$  – polumjer zakrivljenosti prvog vertikala

$\bar{E}_m$  – srednja vrijednost nereduciranih koordinata easting

$\Delta \bar{E}$ ,  $\Delta \bar{N}$  – koordinatne razlike nereduciranih koordinata

$\eta_m$ ,  $t_m$  – pomoćne veličine,

a matematički izrazi za navedene veličine dane su u [7].

## 4. Računalni program *ReducDist*

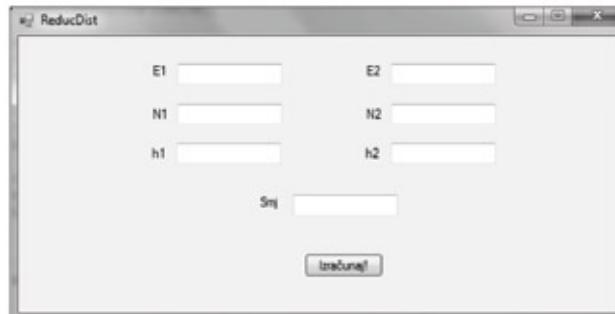
Za potrebe računanja redukcija i korekcija mjerenih duljina s fizičke površine Zemlje u ravninu projekcije HTRS96/TM izrađen je računalni program *ReducDist* [8]. Programski kód za navedeni računalni program napisan je u programskom jeziku C# korištenjem razvojnog okruženja .NET framework i softvera za razvoj Windows aplikacija *Visual Studio*. Na slici 4 prikazan je prozor za unos podataka, pri čemu su:

E1, N1, E2, N2 – reducirane koordinate u ravnini projekcije HTRS96/TM

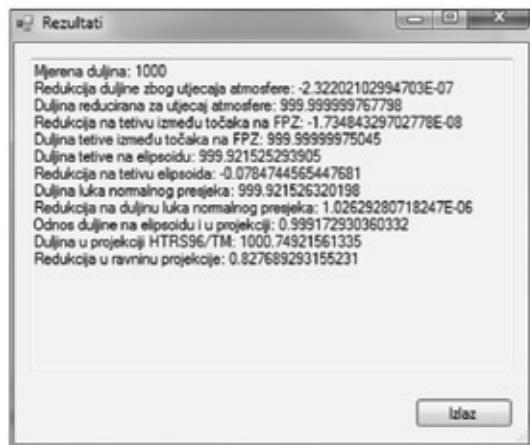
h1, h2 – elipsoidne visine

$S_{mj}$  – duljina mjerena na fizičkoj površini Zemlje.

Na slici 5 prikazan je prozor s izračunatim vrijednostima redukcija i korekcije te duljine u ravnini projekcije HTRS96/TM. To su dva osnovna prozora računalnog programa *ReducDist*.



Sl. 4: Prozor za unos podataka



Sl. 5: Prozor s izračunatim vrijednostima redukcija, korekcija i duljine u HTRS96/TM

## 5. Zaključak

Od 2010. godine u Republici Hrvatskoj u primjeni je jedinstveni Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 poprečne Mercatorove projekcije (HTRS96/TM). Srednji meridijan je  $16^{\circ} 30'$ , a linearno mjerilo na njemu je 0,9999. Udaljavanjem od srednjeg meridijana raste linearna deformacija, koja na udaljenostima većim od 127 km od srednjeg meridijana prelazi dopuštenu vrijednost od 1 dm/1 km.

Sve duljine mjere se na fizičkoj površini Zemlje, a računanja se najčešće provode u ravnini projekcije HTRS96/TM. Stoga je potrebno izračunati redukcije i korekcije mjereneih duljina s fizičke površine Zemlje u ravninu projekcije HTRS96/TM.

U tu je svrhu izrađen računalni program *ReducDist*, u koji se unose ulazne vrijednosti: reducirane koordinate u ravnini projekcije HTRS96/TM i elipsoidne visine krajnjih točaka duljine te duljina mjerena na fizičkoj površini Zemlje. Izlazne vrijednosti su izračunate redukcije i korekcije te duljina u ravnini projekcije HTRS96/TM.

## Literatura

- [1] Hrvatski sabor: Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, *Narodne novine*, 110/04, Zagreb, (2004).
- [2] Hrvatski sabor: Ispravak Odluke o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, *Narodne novine*, 117/04, Zagreb, (2004).
- [3] Francula, N.: *Kartografske projekcije*, interna skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2004).
- [4] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Puklavec, I.: Software Support for Helmert's Transformation of Coordinates, *Conference Proceedings, Volume II – 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014*, STEF92 Technology Ltd., Sofia, 443-450, (2014).
- [5] Bašić, T.: *Državna izmjera*, interna skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2000).
- [6] Torge, W.: *Geodesy*, Walter de Gruyter, Berlin, New York, (2001).
- [7] Rezo, M.: *Ravninska geodezija – zbirka zadataka*, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin, (2013).
- [8] Herent, M.: *Računalna podrška za obradu podataka geodetskih mjerena*, diplomska rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2015).

# **Dealing with Challenges of the European Energy Transition**

**Suočavanje s izazovima europske energetske tranzicije**

Vladimir Andročec; Nikola Čavlina; Neven Duić; Slavko Krajcar; Vladimir Mrša;  
Zdravko Terze

Akademija tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ)

**Sažetak:** U radu se daje osvrt na konferenciju pod naslovom *Dealing with Challenges of the European Energy Transition* (hrv. *Suočavanje s izazovima europske energetske tranzicije*) koja je u online obliku održana 20. studenog 2020. godine u organizaciji Akademije tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ) i Euro-CASE-a iz Pariza.

Održiva proizvodnja i uporaba energije jedan su od najvažnijih izazova 21. stoljeća. Pružanje sigurne opskrbe čistom, konkurentnom i pristupačnom energijom za sve postavlja složena tehnička, ekonomski, socijalna i politička pitanja koja se moraju riješiti kako bi se osigurao održivi razvoj. Na konferenciji Euro-CASE 2020 razmatrani su gore navedeni izazovi povezani s europskom energetskom tranzicijom.

**Summary:** The paper provides an overview of the conference entitled *Dealing with Challenges of the European Energy Transition* (hrv. *Suočavanje s izazovima europske energetske tranzicije*) held online on November 20, 2020, organized by the Croatian Academy of Technical Sciences (HATZ) and Euro-CASE from Paris.

Sustainable energy generation and use are one of the most important challenges of the 21<sup>st</sup> century. Providing a secure supply of clean, competitive and affordable energy for all raises complex technical, economic, social and political issues that need to be addressed to ensure sustainable development. The Euro-CASE 2020 conference discussed the above challenges related to the European energy transition.

## 1. Uvod

Održiva proizvodnja i uporaba energije izazova su 21. stoljeća. Pružanje sigurne opskrbe čistom, konkurentnom i pristupačnom energijom za sve postavlja složena tehnička, ekonomska, socijalna i politička pitanja koja se moraju riješiti kako bi se osigurao održivi razvoj. Na konferenciji Euro-CASE 2020 razmatrani su gore navedeni izazovi povezani s europskom energetskom tranzicijom.

U radu se daje osvrt na konferenciju *Dealing with Challenges of the European Energy Transition* (hrv. Suočavanje s izazovima europske energetske tranzicije) održanom u online obliku 20. studenog 2020. godine u organizaciji Akademije tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ) i Euro-CASE-a iz Pariza.

**Euro-CASE** (*European Council of Academies of Applied Sciences, Technologies and Engineering*) neprofitno je udruženje nacionalnih akademija inženjerstva, primijenjenih znanosti i tehnologije iz 23 europske zemlje sa sjedištem u Parizu. Euro-CASE je osnovan 1992. godine i ima neizravan pristup prema šest tisuća iskusnih inženjera eksperata za neovisne savjete s jasnom europskom dimenzijom. Misija Euro-CASE-a je slijediti, poticati i održavati izvrsnost u području inženjerstva, primijenjenih znanosti i tehnologije za dobrobit građana Europe.

Godišnja Euro-CASE konferencija najznačajniji je stručni i politički forum, koju svake godine organizira neka od članice Euro-CASE-a. Na konferencijama se vodeći europski znanstvenici i stručnjaci okupljaju kako bi raspravljali o aktualnim inženjerskim pitanjima. Godišnjim konferencijama Euro-CASE želi imati vodeću ulogu u promicanju pozornosti i želi upućivati na potrebu izvrsnosti u primijenjenim znanostima i inženjerstvu, ali i na potrebe izvrsnosti u srodnim područjima koja su od ključne važnosti za budućnost Europe.

Prva je godišnja konferencija održana u Londonu 2008. godine. Od tada se redovito održava. Sljedeća godišnja konferencija održat će se 2021. godine ponovo u Velikoj Britaniji. Odabrane su teme Euro-CASE konferencija iz područja od danas najvećeg inženjerskog interesa kao što su inovacije, energija i inženjersko obrazovanje. Teme koje se razmatraju na godišnjim konferencijama pomažu formiranju Euro-CASE stajališta, odnosno platformi koje potom postaju javno dostupne.

**Akademija tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ)** ima želju biti vodeća kreativna i inovativna multidisciplinarna zajednica znanstvenika inženjerskih struka. HATZ želi vrsno i djelatno pridonositi razvoju tehničkih znanosti i prijenosu tehničkih znanja važnih za probitak i napredak hrvatskog gospodarstva i dobrobit ljudi, te zagovarati sigurnu i korisnu uporabu tehnologija, zaštitu okoliša i ljudi od njihove nepri-

kladne primjene, promicati profesionalizam i odgovorno ponašanje uz uvažavanje visokih etičkih normi.

Predsjednik HATZ-a Vladimir Andročec je, na sastanku Upravnog odbora Euro-CASE-a, u lipnju 2017. godine, predložio da se godišnja konferencija 2020. godine održi u Hrvatskoj. Prijedlog je prihvaćen. Energiju kao temu konferencije predložili su Vladimir Andročec predsjednik HATZ-a i Nikola Čavlina predsjedatelj Odbora za međunarodnu suradnju HATZ-a, na sastanku Upravnog odbora Euro-CASE-a u Parizu u svibnju 2019. godine. Na istom je sastanku tema konferencije prihvaćena. Uprava HATZ-a je potom imenovala Programsko organizacijski odbor konferencije u sastavu: **Nikola Čavlina**, predsjednik PO odbora; **Vladimir Andročec**, predsjednik HATZ-a; **Slavko Krajcar**, član Uprave HATZ-a; **Zdravko Terze**, dopredsjednik HATZ-a; **Neven Duić**, tajnik Odjela energijskih sustava HATZ-a; i **Vladimir Mrša**, glavni tajnik HATZ-a. Održavanje konferencije bilo je predviđeno za prvu polovicu 2020. godine, kada Republika Hrvatska predsjedava Europskim Vijećem. Planirani datum konferencije, 8. lipnja 2020. godine u Zagrebu, zbog pandemije pomaknut je za jesen 2020. godine. Konačan je datum izabran 20. studenoga 2020. godine, ali je zbog pandemije konferencija morala biti u *online* obliku. Uobičajeno su Euro-CASE konferencije trajale jedan dan s jutarnjim i popodnevnim sekcijama. Zbog *online* načina okupljanja sudionika konferencija je skraćena na ukupno tri sata bez pauza.

## Program konferencije Euro-CASE 2020

Euro-CASE 2020 konferencija *Dealing with Challenges of the European Energy Transition* podijeljena je u tri cjeline. U prvoj cjelini održani su pozdravni govori organizatora (HATZ-a i Euro-CASE-a) te Ministra znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske. Potom je slijedio rad u sekcijama. U prvoj su sekciji pod nazivom *Energy policies – Challenges and Opportunity for transformation* (hrv. Energetske politike - izazovi i mogućnosti za transformaciju) održana četiri pozvana predavanja. U drugoj je sekciji pod nazivom *Energy transition - Implementation, Economic Impact and Challenges* (hrv. Energetska tranzicija - provedba, ekonomski utjecaj izazovi) održano pet pozvanih predavanja. U trećoj sekciji održan je virtualni okrugli stol na kojem su sudjelovali svi pozvani predavači, a moderator je bio **Neven Duić**, član Programskog odbora. Konferenciju je moderirao **Slavko Krajcar**, član Programskog odbora.

## Pozdravni govor

**Nikola Čavlina**, predsjednik Programsko organizacijskog odbora pozdravio je sve prisutne. Kao uvod u temu konferencije dao je dva primjera iz samog početka razvoja

elektroenergetskog sustava i s time povezane izazove. Prvi je primjer iz SAD-a 1986. godine, projekt izgradnje hidroelektrane *Niagara Falls* i izgradnje izmjeničnog prijenosnog sustava do grada Buffala. Drugi je primjer iz Hrvatske 1985. godine, izgradnja HE Jaruga 1 na rijeci Krki i izmjeničnog prijenosnog sustava do Šibenika. Oba su projekta imali iste ciljeve, a to su: proizvodnja za to vrijeme velike količine električne energije i njen prijenos potrošačima. Izazov je bio naći konceptualno održiv projekt, koji mora biti tehnički izvediv i ekonomski prihvatljiv. Oba projekta su uspješno završena i predstavljaju miljokaze razvoja elektroenergetskog sustava. U oba se projekta jasno prepoznaju uloge i čimbenici: izumi Nikole Tesle, poduzetnici, industrija i investor. Danas 125 godina kasnije, električna je energija postala osnovna potreba u našem životu. Potrošnja električne energije neprestano raste. Zahtjevi za opskrbu električnom energijom postaju visoki: pouzdanost, sigurnost, pristupačnost i održivost. Pritisak na okoliš postaje značajan. U tim je okolnostima ambiciozan cilj, koji je postavljen u Europskoj energetskoj tranziciji, biti klimatski neutralan kontinent do 2050. godine postao naš okvir za djelovanje. Sada, izazovi više nisu samo tehnološki i ekonomski, već dodatno okolišni, socijalni, politički i pravni. Nema jedinstvenih rješenja, putevi do istog cilja mogu biti različiti. Nadamo se da će ova konferencija pomoći s nekim primjerima i razmišljanjima ići prema tom postavljenom cilju.

**Vladimir Andročec**, predsjednik Akademije tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ-a), istaknuo je u svom pozdravnom govoru kako energija, kao temeljni resurs naših života, zauzima posebno mjesto te da je njezina proizvodnja i uporaba jedan od inženjerskih izazova u budućem tehnološki razvijenijem svijetu. HATZ stoga posebnu pažnju posvećuje energiji kao izazovu u inženjerstvu. Već niz godina članovi HATZ-a nastupaju i organiziraju brojne skupove na tu temu, posebno kako bi u našoj zemlji pomoći njenu prihvatljivu proizvodnju i korištenje te što bržu tranziciju prema održivosti. Jedan je to od razloga da je za ovogodišnju konferenciju *Euro-CASE 2020* u Zagrebu predložena tema *Dealing with Challenges of the European Energy Transition* koja je bila sa zadovoljstvom prihvaćena od strane Euro-CASE Board-a smatrajući da je ona važna i za cijelu Europu posebno kroz nastojanje Europske komisije da se što brže prelazi na obnovljive izvore energije u ekološki prihvatljivijem svijetu. Na kraju, u ime HATZ-a kao domaćina ove konferencije, i svoje osobno, posebno je zahvalio svim predavačima na odazivu i trudu da sudjeluju svojim interesantnim prilozima čime su dali poseban doprinos kvaliteti i uspjehu konferencije, te povećanoj vidljivosti Akademije tehničkih znanosti Hrvatske u zemlji i svijetu.

U ime Euro-CASE-a konferenciju je pozdravila i **Tuula Teeri**, potpredsjednica Euro-CASE-a i predsjednica Kraljevske švedske akademije inženjerskih znanosti. Tuula Teeri, na početku je istakla veliku zahvalnost organizatoru i ostalim domaćinima, Ministarstvima i sponzorima, na trudu koji su uložili u organizaciji Konferencije u ovim zahtjevnim vremenima. Nadalje je naglasila važnost znanosti kao poluge donositeljima politika što se posebno može vidjeti u ovo vrijeme pandemije CoVid-19.

Istakla je značenje Euro-CASE-a i njenih 23 članice u donošenju politika kako na nacionalnoj razini tako i na EU razini putem *science advice mechanism-a*. Istakla je nadalje važnost SAPEA konzorcija, o kojem će se razgovarati na konferenciji, u ostvarenju energetske tranzicije, a sve poradi sprječavanja neželjenih klimatskih promjena kojeg smo danas svjedoci. Predsjednica Tuula Teeri osvrnula se i na značenje Švedske akademije inženjerskih znanosti. Naglasila je da je to prva akademija na svijetu iz područja inženjerskih znanosti koja ove godine slavi 100 obljetnicu postojanja. Dotakla se je potom uloge Švedske akademije u energetskoj tranziciji Švedske, ali i šire. Tuula Teeri je potom naglasila važnost kolaboracije na europskoj razini u svim pitanjima našeg razvoja, a čija se važnost može posebice vidjeti u vrijeme današnje pandamije. Rekla je na kraju da Euro-CASE sa svojim članicama može znatno doprinijeti održanju konkurentnosti EU, održanju naše industrije, održanju i poticanju našeg razvoja kao i poboljšanju našeg društvenog bogatstva.

Prije otvaranja konferencije Euro-CASE 2020 skupu se obratio i Ministar znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske, **Radovan Fuchs**. U nadahnutom je govoru govorio o rezultatima našeg predsjedanja na čelu Europskog vijeća. Istaknuo je da je unatoč ograničenom gostoprimgstvu predsjedanje ipak, prema ocjeni svih sudionika, bilo uspješno. Kratko je predstavio i zemlju domaćin i naš glavni grad. Sudionicima je ukratko prenio da dolaze u zemlju u kojoj je rođen Nikola Tesla, koja je imala prvi elektroenergetski sustav u svijetu (HE Krka i Šibenik, 1895.), koja se među prvima udružila u drugu proizvođača i distributera u Europi (udruženje UNIPEDE (danasa Euroelectric), 1925.) i istaknuo još niz povijesnih događanja koje su ostvarili hrvatski građani, a dobrobit su danas za cijelo čovječanstvo. Kratko se osvrnuo i na značenje znanosti i visoke naobrazbe u Hrvatskoj te o planovima u svezi s time. Ministar je nadalje govorio o Akademijama i njihovom značenju te o njihovom položaju u Hrvatskoj. Dotaknuo se ukratko i o Europskom obrazovnom i znanstvenom prostoru i položaju Hrvatske nakon pristupanju EU. Naglasio je i važnost modela *triple helix* (suradnja akademija-gospodarstvo-Vlada) za boljite društva kao cjeline. Nekoliko je riječi kazao i o EU fondu *New generation* na koji smo kao zemlja članica ponosni jer je Hrvatska prepoznata u svim svojim nastojanjima. Udio ulaganja u zeleno gospodarstvo te istraživanje i razvoj unutar tog fonda je posebice naglasio. Na kraju je kazao da je ova konferencija iznimno važna i da se održava u pravom trenutku jer su klimatske promjene stvarnost, a znamo da je energetska tranzicija jedan od alata za smanjenje otiska na okoliš. Hrvatska u tome slijedi, a možda i predvodi, sva EU htijenja, naglasio je na kraju. Riječima: „Dragi sudionici konferencije, hvala na pozornosti i ovime otvaram konferenciju *Dealing with Challenges of the European Energy Transition*. Želim vam uspješan rad u #novim okolnostima, a na žalost vam ne mogu kazati i riječi ugodan boravak u Zagrebu u Hrvatskoj. No pozivam vas da to učinite nekom drugom prigodom“, otvorio je konferenciju Euro-CASE 2020.

## **Prva sekcija: *Energetske politike - izazovi i prilike za transformaciju***

### ***Euro-CASE energetska platforma***

Početkom 2019. godine Euro-CASE objavila je izvještaj o "Energetskoj tranziciji u Europi". Izvješće ispituje ciljeve i instrumente za smanjenje smanjenja emisije CO<sub>2</sub> za 40% do 2030. godine, te informira o proizvodnji i potrošnji energije. Širok je raspon situacija, to se vidi na primjeru sedam zemalja koje su članice Euro-CASE-a. Ciljevi su zajednički, ali putevi su različiti. Paralelno s tim, Euro-CASE izdao je dokument u kojem se naglašava potreba za sustavnim i sveobuhvatnim pristupom energetici u Europi, uključujući i socijalne aspekte. Dokument je služio je kao temelj za pokretanje radne skupine u ožujku 2020. godine, putem Europskog znanstvenog savjetodavnog mehanizma/SAPEA.

Predavači: Eloy Alvarez Pelegry i Yves Caristan

**Eloy Alvarez Pelegry** generalni je tajnik Kraljevske inženjerske akademije u Španjolskoj i član energetske platforme Euro-CASE. Doktorat rудarstva ostvario je na Visokoj tehničkoj školi za rudarstvo, Tehničkog sveučilišta u Madridu (ETSIMM). Također je diplomirao ekonomiju na Sveučilištu Complutense (UCM) i diplomirao poslovne studije na London School of Economics. Njegova je karijera posvećena području energije. Ima dugu izvršnu karijeru u Union Fenosa Group gdje je bio zamjenik generalnog direktora za okoliš, istraživanje i razvoj i glavni tajnik u UFGasu. Također je radio za Electra de Viesgo i Enagas. Imao je paralelnu karijeru u akademском području, kao direktor katedre za energiju na Sveučilištu Deusto i izvanredni profesor na ETSIMM-u i UCM-u. Autor je i koautor raznih knjiga i brojnih članaka o energetskim pitanjima.

**Yves Caristan** diplomirao je na Ecole Normale Supérieure u Parizu, doktorat geofizike na MIT-u i francuski doktorat iz fizike na Sveučilištu u Grenobleu. 1981. godine pridružio se Francuskoj komisiji za atomsku energiju. 1996. postao je voditeljem Odjela za praćenje okoliša. Od 1999. do 2004. godine bio je generalni direktor Francuskog geološkog zavoda. 2005. godine imenovan je direktorom Odjela za fizičke znanosti pri CEA-i i direktorom Istraživačkog centra Saclay. Od 2013. godine član je Francuske nacionalne tehnološke akademije i glavni tajnik Euro-CASE-a.

### ***Ostvarivanje zelenog plana: EU akcije i prioriteti***

Europski zeleni plan je strategija rasta za rješavanje klimatskih i ekoloških izazova. Njegova je misija postati prvi klimatski neutralni kontinent do 2050. godine. U tu

svrhu Europska komisija predložila je sveobuhvatan paket za energetsku učinkovitost, povećanje udjela obnovljivih izvora energije, promicanje integracije energetskog sustava i poticanje istraživanja i inovacija. Ovaj paket uključuje promjene u zakonodavnom okviru, kao i nekoliko poticajnih mjera, posebno višegodišnji finansijski okvir 2021. - 2027. godine i instrument oporavka EU sljedeće generacije koji pruža priliku za potporu energetskoj tranziciji. Ključni čimbenik uspjeha u ovom pothvatu bit će mobilizacija svih tržišnih aktera.

Predavač: Vincent Berrutto

**Vincent Berrutto** voditelj je odjela za Inovacije, čiste tehnologije i konkurentnost pri Generalnoj upravi za energetiku Europske komisije (DG ENERGY). Njegov odjel želi potaknuti istraživanje, inovacije i konkurentnost u tehnologijama čiste energije, s dugoročnim ciljem dekarbonizacije Europe do 2050. godine. Prije toga, Vincent Berrutto bio je na čelu odjela zadužene za energetsku učinkovitost u Izvršnoj agenciji za male i srednje velika poduzeća (EASME). Prije toga bavio se i pitanjima održive energije u drugim službama Europske komisije, kao i u francuskoj vladi. Doktor je znanosti s više od 25 godina profesionalnog iskustva.

## Energetska strategija Republike Hrvatske

U Energetskom sustavu u Hrvatskoj u posljednjih nekoliko godina napravljen je značajan pomak prema čistoj energiji i dekarbonizaciji. Nova energetska strategija, koja je usvojena u veljači 2020. godine, jasno pokazuje poticaj obnovljivoj energiji u sljedećih deset godina. Do 2030. godine planira se doseći više od 2.400 MW energije vjetra i sunca, što će povećati udio obnovljive energije na 36,4% OIE u bruto potrošnji energije. Strategija također promiče mjere energetske učinkovitosti i komercijalizacije novih tehnologija. Bit će nadopunjena dokumentom pod nazivom Nulti scenarij Hrvatske kao dio hrvatske strategije nulte emisije koji će se izraditi kako bi se potaknula potpuna dekarbonizacija hrvatskog gospodarstva do 2050. godine. Drugi strateški dokument, Nacionalni energetski i klimatski plan (NECP) sadrži 102 mjere povezane sa svih pet stupova energetske unije (energetska sigurnost, integrirano energetsко tržište, energetska učinkovitost, dekarbonizacija i istraživanje, inovacije i konkurentnost). Dekarbonizacija je prikazana sa 65 mjera. NECP je u potpunosti uskladen s novom Energetskom strategijom i EC Zelenim planom. Može se zaključiti da je nova energetska strategija Hrvatske u potpunosti u skladu s novom zelenom politikom EU i bit će jedna glavnih stupova dekarbonizirane ekonomije u Hrvatskoj.

Predavač: Ivo Milatić

**Ivo Milatić** diplomirao je ekonomiju na Ekonomskom fakultetu u Splitu 1992. godine. Po završetku osnovao je vlastitu tvrtku u kojoj je radio do 1997. godine kada

je postao gradonačelnik Jelse. 2000. godine postao je pomoćnik ministra u Ministarstvu javnih radova, obnove i gradnje, koje je obnašao do 2004. godine. 2005. godine po drugi put je postao gradonačelnik Jelse. Bio je pomoćnik ministra za strateške robne zalihe u Ministarstvu gospodarstva od 2012. do 2017. godine kada je postao državni tajnik energetike u Ministarstvu energetike i zaštite okoliša. 2020. godine postao je državni tajnik energetike u Ministarstvu ekonomskog i održivog razvoja.

## Opcije za buduće sustave mobilnosti

Dok rasprava o klimatskim promjenama i sadržaju CO<sub>2</sub> u atmosferi upravlja međunarodnim politikama, na vidiku se već nazire čimbenik: iscrpljivanje fosilnih resursa i njegove posljedice. U svjetlu stvarnih brojeva istaknute su alternativne opcije poput elektro mobilnosti na bazi baterije ili vodika kao medija za pohranu. O tim se mogućnostima razgovaralo o stvarnom razvoju, izazovima i prilikama, a dane su i smjernice za postupanje s raspoloživim resursima u budućnosti.

Predavač: Maksimilian Fichtner

**Maximilian Fichtner** ravnatelj je na Helmholtz-Institutu Ulm (HIU) za skladištenje elektrokemijske energije, profesor za kemiju krutine na Sveučilištu u Ulmu i voditelj odsjeka Energetski materijali na Institutu za nanotehnologiju, Karlsruhe Institute of Technology. Znanstveni je direktor CELEST-a (Centra za elektrokemijsko skladištenje energije Ulm-Karlsruhe) i glasnogovornik Njemačkog klastera izvrsnosti za istraživanje baterija pod nazivom „Skladištenje energije izvan litija (POLiS)“, s oko 100 zaposlenika. Također je član temeljnog tima nadolazeće Europske inicijative za velika istraživanja, nazvane „BATERIJA2030 +“. Trenutno se zanima za pitanja resursa i održivosti, novih načela za skladištenje energije te sintezu i istraživanje srodnih materijala za skladištenje. Autor je i koautor više od 350 istraživačkih, konferencijskih radova i poglavlja u knjigama, 20 prijava patenata i urednik knjige o magnezijevim baterijama.

## Druga sekcija: Energetska tranzicija - Provedba, ekonomski utjecaj izazovi

### ***Energetska učinkovitost, ključna dimenzija energetske unije: perspektiva provedbe***

EU je još 2008. godine usvojio energetsku politiku poznatu kao “20:20:20 do 2020”. Dodatno se toj politici dodao kredo „Energetska učinkovitost na prvom mjestu“. Naucene lekcije iz dosadašnjeg razdoblja postale su još važnije u kontekstu novog cilja

za poboljšanje energetske učinkovitosti od 32,5% do 2030. godine. Sve to postaje još važnije u kontekstu novog cilja koji je EU proklamirala, a taj je da 2050. godine postane ugljično neutralna. Energetska učinkovitost i dalje igra važnu ulogu u borbi protiv klimatskih promjena. Da bi se provele ove politike i postigli zadani ciljevi, desetljeće 2020.-2030. mora biti desetljeće snažnog djelovanja. Ako se nastavi s uobičajenim poslovanjem (tzv. BAU), ciljevi neće biti postignuti. Koje su naše mogućnosti? U ovom trenutku još imamo više pitanja nego odgovora, ali ovo putovanje treba započeti hrabro i nastaviti s kredom „Energetska učinkovitost prvo“. Energetska učinkovitost u Europi: „Gorivo je koje još čeka na polijetanje!“

Predavač: Željko Tomšić

**Željko Tomšić** radi kao redoviti profesor na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu na Zavodu za visoki napon i energetiku. Od 2004. do 2008. godine bio je pomoćnik ministra za energetiku i rudarstvo u Ministarstvu gospodarstva, rada i poduzetništva Republike Hrvatske. Od 2008. do 2009. godine bio je član uprave Hrvatske elektroprivrede d.d. Znanstvena su mu istraživanja usmjerena ka energetskim politikama i energetskim strategijama, ekologiji i energiji, modeliranju i analizi energetskih tržišta i tržišta emisijama te energetskom managementu. Koautor je dviju sveučilišnih knjiga. Objavio je više od 100 radova u časopisima i zbornicima konferencija, te je koautor više od 50 znanstvenih i stručnih studija. Redoviti je član Hrvatske akademije tehničkih znanosti te član Znanstvenog vijeća HAZU-a za ekonomiju nafte i plina i energiju.

## Slovenska energetska tranzicija – pogled Inženjerske akademije Slovenije (IAS)

Dan je pregled trenutnog stanja energetske tranzicije u Sloveniji. Ukazano je na nedostatak konvergencije zbog kašnjenja sustavnih mjera i instrumenata koji predstavljaju prepreke za uspjeh energetske tranzicije. Izneseno je stajalište IAS-a o slovenskoj energetskoj tranziciji do 2030. godine i pogled prema 2050. IAS daljnji razvoj energetskog sustava vidi kao dio sveobuhvatnih društveno-ekonomskih politika razvoja. Za postizanje strateških ciljeva u vremenskom horizontu energetske tranzicije predlaže se multikriterijsko planiranje na dvije razine. Na prvoj se razini predlaže razmatranje osam kriterija, a na drugoj tri aspekta energetskog planiranja (izvori, pretvorba i upotreba) uz neke dodatne specifične ciljeve. U izlaganju su dani neki IAS stavovi, ali i neki prijedlozi za ostvarenje ciljeva.

Predavač: Zoran Marinšek

**Zoran Marinšek** diplomirao je i doktorirao na Sveučilištu u Ljubljani. Suosnivač je INEA d.o.o., prve *spin-off* tvrtke Instituta Jožef Štefan, gdje je bio prvi izvršni

direktor. Suautor je brojnih inovacija (10), tehničkih poboljšanja u području tehnologije upravljanja procesima, prepoznatih i s nekoliko nagrada (4), uključujući i koautora nagrade za najbolji poster na Svjetskom forumu pametnih mreža 2013. godine. Njegov je sadašnji fokus vezan za upravljanje i trgovanje energetskim fleksibilnostima protrošača u pametnim mrežama. Sudjelovao je u brojnim istraživačkim i razvojnim projektima FP i H2020. Zoran je član Slovenske inženjerske akademije. Godine 2014./15. bio je njezin potpredsjednik, a trenutno je predsjednik njene energetske platforme. Od 2018. godine je član Upravljačkog odbora energetske platforme EuroCASE-a.

## **Uloga malih i srednjih poduzeća u energetskoj tranziciji**

Mala i srednja poduzeća (MSP, engl. SME) predstavljaju 99% svih poduzeća u EU. Europskim energetskim sektorom desetljećima su dominirali vertikalno integrirani divovi, obično u javnom vlasništvu. Liberalizacija tržišta, nova regulativa i prijelaz na obnovljivu/održivu energiju pružili su nove mogućnosti malim i srednjim poduzećima. Svojim jednostavnim/brzim donošenjem odluka, mala i srednja poduzeća su idealno pozicionirana da ostvare brzi tehnološki napredak uz stalno mijenjanje regulatornog i tržišnog okruženja energetske tranzicije. Sve je to malim i srednjim poduzećima omogućilo napredak brži od napretka postojećih konzervativnim poduzećima. Rekordi poduzeća ENCRO d.o.o. u Hrvatskoj (ostvareno 140 MW vjetra, 500 MW pripremljenih projekata vjetrene energije i 500 MW pripremljenih projekata solarne energije) pokazuju kako mala i srednja poduzeća mogu biti važan čimbenik u energetskoj tranziciji na tržištu koje je donedavno bilo zatvoreno za sve sudionike, osim javnih vertikalno integriranih kompanija.

Predavač: Ante Ćurković

**Ante Ćurković** diplomirao je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, gdje je i doktorirao. Radio je u Končar d.d. u sektoru za proizvodnju i razvoj električnih generatora, a zatim i kao direktor u Končar - tvornica malih kućanskih aparata. Godine 1991. počeo je raditi u Ministarstvu industrije Republike Hrvatske kao savjetnik ministra. Nakon dvije godine prelazi u HEP d.d. kao član Uprave. Od godine 2010. radi u privatnoj tvrtki Porzana d.o.o. Bavi se razvojem i provedbom projekata korištenja obnovljivih izvora energije, modelima financiranja projekata, planiranjem investicija i planiranjem poslovnog razvoja. Honorarni je nastavnik na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.

## **Energetska tranzicija - utjecaj na ekonomiju**

Gospodarski rast zasnovan na fosilnim gorivima ide k svom kraju. Traže se novi modeli ekonomskog rasta i razvoja temeljenim na obnovljivoj energiji i modelima s

električnom energijom kao dominantnim oblikom u finalnoj potrošnji energije. Tranzicija energetskog sektora u velikoj se mjeri odnosi na povećanje energetske učinkovitosti s najvećim izazovom u energetskoj obnovi zgrada, što je ujedno i prilika za jači angažman građevinskog sektora i razvoj inovativnih proizvoda i usluga. Sljedeća važna komponenta tranzicije energetskog sektora je obnovljiva energija, čiji se puni potencijal može očekivati na nacionalnoj razini novim tržišno orijentiranim politikama. Posljedica je toga, novi model tržišta energije, nove uloge za potrošače energije i sve veća važnost distribuirane proizvodnje energije, što će sve imati značajan utjecaj na gospodarstvo.

Predavač: Tomislav Radoš

**Tomislav Radoš** doktorirao je 2009. godine na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Nakon godina rada u privatnom sektoru, 2008. godine je osnovao svoju tvrtku Strategic Plan d.o.o. koja djeluje u polju razvoja projekata obnovljivih izvora energije. Završivši obrazovni program IMD Poslovne škole za vođenje digitalne poslovne transformacije, bio je vodeći autor i koordinator radne skupine za izradu Industrijske strategije Republike Hrvatske 2014.-2020. Godine 2014. bio je pomoćnik ministra gospodarstva zadužen za industriju, investicije i EU programe. Od 2015. godine potpredsjednik je Hrvatske gospodarske komore, odgovoran za industriju, energiju i zaštitu okoliša, provedbu EU projekata i digitalnu transformaciju Komore.

## Izazovi s kojima se suočavaju elektroenergetske kompanije

Predavanje je dalo pregled glavnih izazova s kojima se suočavaju današnja elektroenergetske kompanije. Predavanje je imalo tri cjeline. (i) Globalni izazovi, (ii) lokalni izazovi i (iii) očekivanja finansijskog tržišta. Prvi dio raspravljao je o digitalnoj transformaciji kao globalnom izazovu broj jedan. Energija 4.0 termin je koji se koristi za opisivanje budućih očekivanja od elektroenergetskih objekata kao odgovor na stalne rastuće tehnološke zahtjeve? Odgovor na zahtjev za poboljšanjem učinkovitosti jedinice i istodobno povećana elastičnost mogao bi se naći u strojnem učenju i umjetnoj inteligenciji kao odgovor na optimalno donošenje odluka i povećanu fleksibilnost. Jedan od glavnih ciljeva ne samo budućnosti, već čak i današnjih inženjera, je naučiti kako i zatim transformirati napredak u analitici u sprovedive akcije utemeljene na činjenicama i podacima. Svekolika digitalna transformacija mora biti podržane i snažnom kibersigurnošću kako bi se kvalitetno implementirao novi tehnološki ekosustav. Globalni cilj smanjenja emisije CO<sub>2</sub> vrši pritisak na zeleni lanac vrijednosti i održivi sustav logistike. Jedno od rješenja za postizanje održivog sustava mogao bi biti model poslovanja usmjerenog na klijenta, a koji se temelji na modelima usluga i pametnim gradovima. Drugi dio prezentacije sažeo je ključne izazove na hrvatskom

tržištu električnom energijom. Ciljevi klimatskih promjena dio su globalne priče o zelenoj energiji EU projekta „*The green deal*“. Glavni stupovi zelene strategije su promjena strukture proizvodnih kapaciteta s više instaliranih kapaciteta u obnovljivim izvorima energije, smanjenje otiska CO<sub>2</sub> i poboljšana energetska učinkovitost. Ciljevi 36,4% udjela obnovljive energije, smanjenje emisije stakleničkih plinova CO<sub>2</sub> za 40% u odnosu na razinu iz 1990. godine i poboljšanje energetske učinkovitosti najmanje za 32,5% naša su zadaća. Izazovi integracije obnovljivih izvora energije u sustav prisutni su u Hrvatskoj, ali i u ostatku Europe. Također, očekuje se da će tehnološki izazovi u prometu biti vidljiviji u narednim godinama s povećanim brojem električnih vozila. Treći dio prezentacije raspravljao je o ključnim razmatranjima finansijskog tržišta. Procjena klimatskog rizika kao dijela politika rizika, potražnja za tzv. ESG proizvodima sa strane investitora i sveukupnoj rastućoj važnosti ESG domena putem tržišta kapitala. Broj ESG-a i ukupnih zelenih proizvoda povećava se zbog povećanog interesa s finansijskih tržišta ubrzanih situacijom u COVID-u tijekom 2020. godine kada se broj održivih proizvoda realizirao na tržištima kapitala. Održiva ekonomija mogla bi biti novi imperativ.

Predavač: Marko Ćosić

**Marko Ćosić** diplomirao je 2004. godine na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na smjeru makroekonomije. Postdiplomski studij iz korporativnih finančija završio 2008. godine, Specijalistički studij ekonomске diplomacije završio je 2012. godine na Diplomatskoj akademiji Ministarstva vanjskih i europskih poslova i *Harvard Business School*. 2018. godine završio Global Executive MBA program na poslovnoj školi INSEAD, Pariz - Singapur. Od 2005. do 2007. savjetnik je u Agenciji za promicanje ulaganja i izvoza Vlade Republike Hrvatske, te projektni partner na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu. Od 2008. do 2012. godine izvršni je direktor u Korlea Invest u Hrvatskoj, a od 2010. do 2012. godine direktor za jugoistočnu Europu zadužen za razvoj, trgovinu energijom, međusobnu trgovinu robama i ulaganja u proizvodne kapacitete. Od 2012. do 2017. godine generalni je direktor Proenergy Grupe zadužen za poslovanje u Hrvatskoj, Sloveniji, Bosni i Hercegovini, Srbiji i Makedoniji. Gost je predavač na Ekonomskom fakultetu u Zagrebu na programima Tržište električnom energijom i Energetska ekonomija gdje je upisao i doktorski studij 2012. godine. Ima više radova objavljenih u međunarodnim časopisima. Uz to, školovao se u britanskim obrazovnim institucijama u području plina.

## Okrugli stol za obje sekcije konferencije

Moderator je Okruglog stola bio Neven Duić (P). Skraćeni sadržaj Okruglog stola slijedi u nastavku.

P: Tranzicija će utjecati na mnoge tvrtke i zemlje, ali s druge strane možemo vidjeti na tržištu tvrtke poput DONG-a koji je rano ušao u obnovljive izvore sada napreduju na tržištima, dok tvrtke poput Exxonmobile-a padaju na tržišta. Nije li to signal za ubrzanje prijelaza?

**Álvarez Pelegry:** Sve su tvrtke poslale svoje planove Europskoj komisiji za razdoblje 2021.-2030. godine, što znači da sve tvrtke reagiraju na energetsku tranziciju. Električna energija će igrati glavnu ulogu u budućnosti, a ugljikovodične će tvrtke pokušati iskoristiti infrastrukturu za vodik i druge obnovljive plinove.

P: Prema Globalnom atlasu vjetra, 10% kopna u Sloveniji ima vjetrove veće od sedam metara u sekundi na visini od 100 metara. To neće biti dovoljno za 100% obnovljive izvore u Sloveniji, ali rekli ste da u Sloveniji nema puno vjetra. Posljednji veliki energetski projekt za Sloveniju bila je termoelektrana na ugljen Šoštanj s ogromnim troškovima. Kako planirate izvesti izgradnju nuklearne elektrane koja je pet ili deset puta skuplja od vjetra ili sunca?

**Zoran Marinšek:** Sve se opcije trebaju uzeti u obzir i usporediti ih višekriterijski, i tako doći do optimalne pozicije za energetsku tranziciju, a ne uzimati u obzir samo tehnologije koje mogu dati samo parcijalna rješenja.

P: Hrvatska ima izvrsni obnovljivi potencijal, proširila je IT sektor, ima vrlo snažne inovacije u baterijama, e-brodove. Kako to iskoristiti i potaknuti u istraživanje i razvoj? Možda nam nedostaje hrabrosti?

**Tomislav Radoš:** Nacionalno vijeća za inovacije razgovara o nedostatku motivacije za ulaganje u istraživanje i razvoj, a ključni je zaključak da tvrtke nemaju vremena za povrat investicije u istraživanje i razvoj. Zašto je to tako? U nekim sektorima očekujemo visoku dobit u prve dvije ili tri godine. Nažalost, u ovom segmentu to nije slučaj. S druge strane, trebali bismo biti optimistični jer smo u zadnjih sedam godina povećali udio ulaganja u istraživanje i razvoj s 0,8 na 1,2 % BDP-a, a prema trenutnim strateškim dokumentima plan nam je da u sljedećih sedam godina ta brojka bude 2 %. Čvrsto vjerujem da ćemo to postići i da će najveći dio ovog ulaganja u istraživanje i razvoj biti u sektoru obnovljivih izvora energije i digitalnoj transformaciji i digitalizaciji.

P: Direktiva traži da energetske tvrtke smanjuju emisije ugljičnog dioksida za jedan posto godišnje, što bi trebalo imati ogroman utjecaj, ali mi to ne provodimo. Je li smo se izgubili u prijevodu?

**Željko Tomšić:** Teško je reći koji je razlog, ali s druge strane sada kada imamo ugrozu od COVID-19 teško je nešto ozbiljnije poduzimati. Gledajući našu elektroprivre-

du, ima puno starih elektrana i moći će se učinit napredak čak i bez puno napora. Problem s energetskom učinkovitošću je u drugim energetskim sektorima. Sada u mnogim slučajevima imamo financijska sredstva za ulaganje, no postoje neki drugi problemi u vezi s financijama, te je vrlo upitno kako će se ta obveza ispuniti.

**Dragutin Domitrović:** U izvještaju o prijenosu energije u Europi geotermalna energija nije izričito spomenuta, postoje različita mjesta na koja se odnosi daljinsko grijanje i mogućnost fosilnih goriva i obnovljivih izvora u grijanju i hlađenju. Panonska nizina bogata je geotermalnom energijom, posebno onom koja je savršena za daljinsko grijanje, ali je za sada u konkurenciji s plinom ipak skuplja.

P: Koja je uloga nuklearne energije u energetskoj tranziciji?

**Željko Tomšić:** Dva su pitanja u svezi s nuklearnom energijom. Prvo je protivljenje javnosti, a drugo je složeno financiranje. Ne slažem se da je deset puta skuplja od sunca. Problem je što nuklearna energija nije prepoznata kao održiva, zelena opcija u Europskom zelenom planom, ali je zato nuklearni vodik prepozнат kao zelena opcija. Plinski i nuklearni lobi su pokušali ući u zeleni plan. Postoje neke ideje o malim mobilnim reaktorima koji bi mogli riješiti problem isplativosti, ali teško je pronaći financiranje. Vjerljivo je da Europa ostati na razini koju imamo. Čujemo u komunikaciji da čak i oni koji nisu za nuklearnu opciju kažu da bez nuklearne energije ne možemo postići neutralnost ugljika.

**Nikola Čavlina:** Nuklearna energija nije zabranjena opcija. Ostavljeno je na izbor europskim zemljama, ako pronađu da je to dobar izbor za njih. Neke će zemlje nastaviti s korištenjem nuklearne energije. Kada govorimo o cilju „Neutralna Europa do 2050. godine“ ne kažemo da treba biti toliko obnovljivih izvora, već kažemo da želimo biti klimatski neutralni.

**Neven Duić:** Potpuno se slažem da je financiranje presudno i da bi se moglo riješiti malim reaktorima. No, postavlja se pitanje koliko su fleksibilni takvi reaktori. Nadalje, takav rad traži i mnogo više investicijske troškove u usporedbi s obnovljivim izvorima.

**David Timoney:** Ne bi li se odluke koje žele istinski poboljšati planet trebale temeljiti na sveobuhvatnoj procjeni životnog ciklusa koja uzima u obzir sve ugrađene količine? Postoji opasnost da će brza tranzicija zapravo kratkoročno povećati emisiju i da će se situacija još pogoršati. Možemo vidjeti da zemlje poput Danske i Njemačke brzo prolaze tranziciju i smanjuju emisije, no postoji argument da se dio proizvodnje prebacuje u Kinu i da se emisije samo premještaju.

**Yves Caristan:** Mislim da u osnovi danas nemamo silver bullet. Dakle, moramo imati sustavni pristup, a on uključuje životni ciklus materijala koji se koriste i u to nema sumnje. Sav sistemski pristup koji će se razviti uključivat će životni ciklus. Kad govorimo o dizalicama topline, koristi ćemo i zrak-zrak, ali i zemlja-vodu i razne druge. Što se tiče nuklearne energije, nuklearni otpad je veliki problem, bez njega bi to bila odlična opcija.

**Zoran Marinšek:** Mislim da su sva ta pitanja povezana samo s jednim pitanjem, a to je tko upravlja tranzicijom?

P: Može li netko komentirati kakav je status prepreka za postizanje energetske sigurnosti. Postoje li hitne radnje koje treba poduzeti? Energetska sigurnost opskrbe ima mnogo različitih razina i postoji problem Europske unije koja uvozi gotovo 60 posto svoje energije, tako da zapravo nije sigurna u svojim opskrbama energijom.

**Željko Tomšić:** Energetska sigurnost je prilično zanimljivo pitanje u EU, je li se odnosi na EU ili države članice. Ako sve zemlje ulože u dodatne kapacitete s velikom rezervom, koji ne rade, gubimo puno resursa.

P: G. Ćurković, koji je najbolji način za integraciju preživjelih obnovljivih izvora nakon što potpora prestane?

**Ante Ćurković:** Male ili srednje tvrtke nisu u stanju upravljati sustavom, premale su da bi bile vođe. Također, rekao je da je danas najvažniji faktor bankabilnost. Sve više i više malih ili srednjih tvrtki može sudjelovati u energetskoj tranziciji ako imaju sposobnost financiranja. Također, važno je uklapanje naših tranzicijskih ideja u bankarski sustav. Hrvatska mora ulagati danas, da sutra neće morati uvoziti električnu energiju.

## Zaključna razmatranja

Na konferenciji je bilo 170 registriranih sudionika, što je više od očekivanja. Od 23 nacionalne akademije koje čine Euro-CASE bili su *online* prisutni predsjednici ili zamjenici od dvadesetjedne akademije te veliki broj drugih članova.

Pohvale koje su pristigle nakon konferencije upućuju da je konferencija bila dobro organizirana i da je obuhvatila teme od Europskog interesa. Nakon online konferencije održan je sastanak Euro-CASE Upravnog odbora. Novoizabrana Euro-CASE-a potpredsjednica Tuula Teeri, čestitala je i zahvalila predstavnicima HATZ-a, a poseb-

no Vladimиру Andročecu, Nikoli Čavlini, Nevenu Duiću i Slavku Krajcaru, na organizaciji vrlo zanimljive godišnje konferencije Euro-CASE. Zahvalila je i Ministru Radovanu Fuchsu i državnom tajniku Ivi Milatiću na doprinisu konferenciji.

Također, može se kazati, da je konferencija Euro-CASE 2020 predstavila Hrvatsku kao članicu EU koja predvodi put Europske energetske tranzicije. Jedna pohvala možda opisuje atmosferu koja je vladala za vrijeme i nakon konferencije:

*„I would like thank you warmly for the organisation of the 2020 Euro-CASE Annual Conference in the Cyberspace from Zagreb and Paris despite the inconveniences due to the COVID Crisis. We were honoured to have the presence of Minister Fuchs and Secretary of State Milatić. The Conference was enlightened by very interesting speakers, and the moderators, Prof. Krajcar and Prof. Duić were very professional. The organization was perfect, and all of it went smoothly. It is only unfortunate that confinement has prevented us to be physical present in the nice city of Zagreb. But I am certain we will have other occasions. Yves Caristan, Euro-CASE Secretary General.”*

Ovim putem želimo zahvaliti Tuula Teeri, Euro-CASE potpredsjednici i predsjednici Kraljevske švedske akademije inženjerskih znanosti, na potpori i lijepim riječima na otvorenju konferencije. Ministru Radovanu Fuchsu na potpori konferenciji i iznimno sadržajnom pozdravnom govoru.

Posebno smo zahvalni pozvanim predavačima, ne samo na zanimljivim predavanjima, nego i na potpori i razumijevanju kada smo bili prisiljeni pomicati datume konferencije. To su prema redoslijedu prezentiranja: E. Álvarez Pelegry i Yves Caristan, Euro-CASE; Vincent Berrutto, European Commission Directorate General for Energy; Ivo Milatić, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja; Maximilian Fichtner, Helmholtz-Institute Ulm for Electrochemical Energy; Željko Tomšić, Sveučilište u Zagrebu, FER; Zoran Marinšek, IAS; Ante Ćurković, ENCRO; Tomislav Radoš, Hrvatska gospodarska komora; Marko Čosić, HEP.

Za profesionalno vođenje konferencije zahvalni smo majstoru ceremonije profesoru Slavku Krajcaru i moderatoru profesoru Nevenu Duiću.

Euro-CASE Pariz je tehnički vodio ZOOM konferenciju. Antoine Blonce i Nadia Pipunić imaju veliko hvala od nas. Hvala članovima HATZ Programskog i organizacijskog odbora, koji su od samog početka aktivno sudjelovali u osmišljavanju i realizaciji konferencije. Pohvale idu turističkoj agenciji ATI koje je vrlo profesionalno odredila svoj dio u organizaciji konferencije.

Program konferencije i sve prezentacije mogu se vidjeti na web stranici [www.euro-case2020.com](http://www.euro-case2020.com), kao i na stranici [www.hatz.hr/hr/euro-case-2020-annual-conference/](http://www.hatz.hr/hr/euro-case-2020-annual-conference/). Na tim se stranicama nalaze i video snimke cijele konferencije.

Na kraju veliko hvala sponzorima konferencije: Hrvatskoj elektroprivredi d.d. i Centru za vozila Hrvatske.





# **PREGLED AKTIVNOSTI AKADEMIJE TEHNIČKIH ZNANOSTI HRVATSKE U 2020. GODINI**

## **1. Osnovni podaci o Akademiji tehničkih znanosti Hrvatske**

Akademija tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ) osnovana je 19. siječnja 1993. godine pod nazivom Hrvatska akademija tehničkih znanosti kao organizacija koja okuplja renomirane domaće i inozemne znanstvenike. Danas HATZ okuplja više od 350 članova koji svojim radom i djelovanjem doprinose tehničkoj i biotehničkoj znanosti a samim time i hrvatskoj tehničkoj i industrijskoj baštini.

Kako bi radila na svom razvoju i napretku Akademija je 2000. godine postala ravnopravna članica *CAETS-a*, Međunarodnog vijeća akademija tehničkih znanosti i inženjerstva sa sjedištem u Williamsburgu, Virginiji, SAD-u, 2005. godine članica *Euro-CASE-a*, Europskog vijeća akademija primijenjenih znanosti, tehnologija i tehničkih znanosti sa sjedištem u Parizu, Francuskoj, EU te joj je 2009. godine dodijeljen status znanstvene organizacije u sustavu Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH.

## **2. Organizacija konferencije Euro-CASE 2020**

Akademija je bila aktivna na području međunarodne suradnje, posebno suradnje s *CAETS-om* i *Euro-CASE-om* kroz svoje članstvo u tim organizacijama i redovitim sudjelovanjem na on-line sastancima.

Akademija tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ), kao dugogodišnja članica *Euro-CASE-a*, održala je 20. studenog 2020. godine međunarodnu znanstveno-stručnu godišnju konferenciju *Euro-CASE 2020* pod naslovom „*Dealing with Challenges of the European Energy Transition*“.

Za potrebe organiziranja konferencije imenovan je Programsko-organizacijski odbor kojeg su činili: prof. dr. sc. Nikola Čavlina, predsjednik PO odbora; prof. dr. sc. Vladimir Andročec, predsjednik HATZ-a; prof. dr. sc. Slavko Krajcar, član Uprave HATZ-a; prof. dr. sc. Zdravko Terze, dopredsjednik HATZ-a; prof. dr. sc. Neven

Duić, tajnik Odjela energijskih sustava HATZ-a i prof. dr. sc. Vladimir Mrša, glavni tajnik HATZ-a.

Uobičajena jednodnevna *Euro-CASE* konferencija skraćena je na ukupno 3 sata predavanja i diskusija o temama vezanim uz energetiku. Konferencija je bila podijeljena na četiri djela: uvodni dio, prva sekcija, druga sekcija i vrijeme unutar kojeg su sudionici u pisanom obliku u okviru opcije chat mogli postaviti svoja pitanja. Nakon pozdravnih govora, u prvoj sekciji pod nazivom „*Energy Policies Challenges and Opportunity for Transformation*“ svoja predavanja održala su četiri pozvana predavača dok je u drugoj sekciji pod nazivom „*Implementation, Economic Impact and Challenges*“ bilo pet pozvanih govornika. Konferencija je završila pitanjima i odgovorima.

Konferenciju je pratilo 170 registriranih sudionika, što je premašilo očekivanja Uprave Akademije i Programsko-organizacijskog odbora. Od ukupno 23 nacionalne akademije koje čine *Euro-CASE*, konferenciju su pratili predsjednici ili zamjenici 21 akademije.

Pohvale koje su pristizale nakon konferencije bile su pokazatelj da je konferencija bila dobro organizirana i da je obuhvatila teme od Europskog interesa.

Program konferencije, prezentacije izabralih predavača, te snimke cijele konferencije mogu se vidjeti na web stranicama [www.euro-case2020.com](http://www.euro-case2020.com) i [www.hatz.hr](http://www.hatz.hr).



Sl. 6., 7., 8. i 9. Godišnja konferencija Euro-CASE 2020., 20. studenog 2020., Izvor: HATZ

### 3. Suorganizacija znanstvenih konferenciјa

Suradnjom Hrvatskog inženjerskog saveza i Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, 2. ožujka 2020. obilježen je po šesti put Dan inženjera Republike Hrvatske, jedan od najznačajnijih skupova tih dviju organizacija. Tema održanog Dana inženjera Republike Hrvatske 2020 bila je posvećena STEM-u, nedovoljno korištenom obrazovnom i razvojnom potencijalu hrvatskog društva. U uvodnom obraćanju skupu prof. dr. sc. Vladimir Andročec je istaknuo interes i doprinos HATZ-a inženjerstvu u Hrvatskoj općenito a posebno i kroz perspektivu tehnološke revolucije 4.0 dok je dipl. ing. grad. Zdravko Jurčec, predsjednik Hrvatskog inženjerskog saveza, govorio o politici kontinuiteta i dinamiziranja promicanja važnosti i etike inženjerskog poziva.

Skup su prigodno pozdravili u ime domaćina prof. dr. sc. Stjepan Lakušić, dekan Građevinskog fakulteta i izv. prof. dr. sc. Krunoslav Šmit, dekan Arhitektonskog fakulteta, izaslanik ministricе znanosti i obrazovanja glavni savjetnik ministricе dr. sc. Marko Košiček, državni tajnik Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja mr. sc. Željko Uhlić, u ime Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti i predsjednika HAZU-a akademika Velimira Neidhardta akademik Ignac Lovrek, tajnik razreda za tehničke znanosti HAZU-a, izaslanik prof. dr. sc. Damira Borasa, rektora Sveučilišta u Zagrebu prof. dr. sc. Miljenko Šimpraga, prorektor Sveučilišta u Zagrebu i izaslanica tadašnjeg gradonačelnika Grada Zagreba Milana Bandića, Sanja Jerković, dipl. arh., pročelnica Gradskog ureda za strategijsko planiranje i razvoj Grada.

Dana 4. lipnja 2020. godine održan je međunarodni skup pod nazivom Tiskarstvo&dizajn 2020. u suorganizaciji Centra za grafičko inženjerstvo HATZ-a koji je zbog epidemioloških mjera održan u hibridnom obliku. Mali broj sudionika pratio je skup uživo s Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu dok je veći dio sudionika pratio skup korištenjem ZOOM aplikacije.



Sl. 1. Dan inženjera RH, 2. ožujka 2020. Izvor: HATZ



**Sl. 2.** Sudjelovanje članova HATZ-a na Danu inženjera RH, 2. ožujka 2020.  
Izvor: HATZ



**Sl. 3.** Tiskarstvo & dizajn 2020., 4. lipnja 2020., Izvor: HATZ

### 3. Publicistička djelatnost

U 2020. godini Akademija je imala redovitu i aktivnu publicističku djelatnost. Otisnuto je pet brojeva biltena Engineering Power s gostujućim urednicima kako slijedi:

- Vol. 14(4) 2019 – gost urednik: prof. dr. sc. Tihomir Jukić s Arhitektonskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (<https://www.hatz.hr/hr/engineering-power-vol-144-2019/>);
- Vol. 15(1) 2020 – gost urednik: prof. dr. sc. Željko Domazet s Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu (<https://www.hatz.hr/hr/engineering-power-vol-151-2020/>);
- Vol. 15(2) 2020 – gost urednik: prof. dr. sc. Doris Novak s Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu (<https://www.hatz.hr/hr/engineering-power-vol-152-2020/>);
- Vol. 15(3) 2020 – gostujuća urednica: prof. dr. sc. Stela Jokić s Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta J. J. Strossmayer u Osijeku i dobitnica nagrade HATZ-a „Rikard Podhorsky“ za 2019. godinu (<https://www.hatz.hr/hr/engineering-power-vol-153-2020/>); te
- Vol. 15(4) 2020 – gostujući urednik: prof. dr. sc. Saša Zelenika s Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci (<https://www.hatz.hr/hr/engineering-power-vol-154-2020/>).

U svibnju 2020. godine otisnut je Godišnjak HATZ-a za 2019. godinu pod nazivom „Hrvatska tehnička i industrijska baština“. Na više od 500 stranica objavljeno je 26 radova sa saznanjima o našoj tehničkoj i industrijskoj baštini koju ne smijemo pustiti zaboravu.

Tehnička i industrijska baština Hrvatske svrstava se u kulturnu baštinu naše zemlje, a predstavlja dio velike i značajne baštine kojoj se dosad posvećivalo premalo pažnje. Naša je tehnička i industrijska baština preslabo vrednovana i u usporedbi s drugim razvijenim i europskim i svjetskim državama. U radu su opisani načini i značaj očuvanja tehničke i industrijske baštine u Hrvatskoj, zakonske odrednice i podjele te mogući razlozi zapostavljanja. Razmotrene su odrednice donesene Strategije za zaštitu kulturne baštine te značaj gradova s izraženom tehničkom povijesti u očuvanju tehničke i industrijske baštine kao i institucija poput muzeja s orijentacijom prema tehnički, Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža te Akademije tehničkih znanosti Hrvatske. Osim toga, istaknuti su i značajniji primjeri privatnih osoba koje kao entuzijasti u očuvanju tehničke i industrijske baštine formiraju i doniraju svoje prikupljene i restaurirane tehničke artefakte muzejima i lokalnoj zajednici.

Godišnjak HATZ-a objavljen je i na mrežnoj stranici Akademije a može se pročitati i na poveznici: <https://www.hatz.hr/hr/godisnjak-2019/>.

## 4. Upravljanje Akademijom

Neovisno o situaciji koja je zadesila Zagreb, Hrvatsku i svijet (uključujući i potres koji se dogodio u ožujku 2020. godine) sjednice Uprave HATZ-a su se održavale kontinuirano jednom do dva puta mjesečno.



Sl. 10. Godišnjak HATZ-a „Hrvatska tehnička i industrijska baština“ za 2019., Izvor: HATZ

Akademija tehničkih znanosti Hrvatske je u 2020. godini održala 15 sjednica Uprave, četiri sjednice Predsjedništva, te jednu elektroničku skupštinu. Sjednice Uprave održavale su se uz pridržavanje svih mjera HZZJ za sprječavanje širenja bolesti uzrokovane virusom SARS-CoV2.

Zapisnici održanih sjednica Uprave dostavljeni su na uvid članovima Predsjedništva u okviru materijala za svaku pojedinu sjednicu Predsjedništva HATZ-a.

U Zagrebu je 24. listopada 2020. godine u Velikoj dvorani AGG fakulteta Sveučilišta u Zagrebu održana svečana redovita 15. sjednica Predsjedništva Akademije tehničkih znanosti Hrvatske na kojoj su prisustvovali članovi Predsjedništva i dobitnici

diploma, nagrada, medalja i unaprjeđenja. Predsjednik Akademije, prof. dr. sc. Vladimir Andročec, je dodijelio diplome novim podupirućim članovima, novim redovitim članovima, novim članovima emeritusima, te dobitnicima nagrada i medalja, koje je prethodno potvrdila Skupština HATZ-a.



**Sl. 11, 12, 13 i 14.** Redovita 15. sjednica Predsjedništva HATZ-a održana uz pridržavanje svih epidemioloških uvjeta, 24. listopada 2020., Izvor: HATZ

## 5. Pokroviteljstva i sudjelovanje u skupovima od javnog interesa

Rad Akademije prepoznale su mnoge domaće i inozemne institucije što je vidljivo kroz veliki i rastući broj molbi za suradnjom i pokroviteljstvom, pozivima na organizaciju i suorganizaciju skupova kao i sudjelovanjima predstavnika i članova HATZ-a na skupovima i sastancima od javnog interesa te kroz gostovanje naših članova u medijima do razdoblja pandemije kada je, razumljivo, znatno smanjen broj pokroviteljstava i poziva na suradnju. Zbog situacije s širenjem korona virusa, koja je još uvijek aktualna, smanjen je broj održavanja skupova uz fizičku prisutnost delegata te je sve veći broj održavanja virtualnih konferencija i skupova.

Pristigle zamolbe za pokroviteljstvom nad skupovima u 2020. godini bile su sljedeće:

- Arhitektonski fakultet u Zagrebu, stručni skup "nZEB u praksi – Projektiranje zgrada prema nZEB standardima", 20. veljače 2020., AF u Zagrebu;
- FKIT, XIII. susreta mladih kemijskih inženjera i tehnologa, 20. veljače 2020. u Zagrebu;
- Tehnički muzej Nikola Tesla, međunarodni dan boja MDB 2020, Cjelodnevni program "Spektar", 20. ožujka 2020., Zagreb,;

- Sveučilište u Zagrebu tekstilno-tehnološki fakultet, 13. međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo 2020., TTF, Zagreb, 24. travnja 2020.;
- Tehnički muzej „Nikola Tesla“, Bruno Čalić, izložba pod radnim nazivom „Bruno Čalić – polivalentno stvaralaštvo znanstvenika, projektanta, izumitelja, pjesnika“, Zagreb, proljeće 2020.;
- Konferencija „*Baška GNSS Conference – Technologies, Techniques and Applications Across PNT*“, 17.-21. svibnja 2020., Baška, otok Krk;
- Građevinski fakultet, 6. međunarodna konferencija o cestovnoj i tračničkoj infrastrukturi (*6th International Conference on Road and Rail Infrastructure – CTRA 2020*), Pula, 20. - 22. svibnja 2020.;
- Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, konferencija „2. međunarodna studentska GREEN konferencija“, 21.-22. svibnja 2020., Osijek;
- Hrvatsko nuklearno društvo, konferencija 13. međunarodna konferencija „*International Conference of the Croatian Nuclear Society- Nuclear Option for CO<sub>2</sub> Free Energy Generation*“, 31. svibnja- 3. lipnja 2020., Zadar;
- Odjel elektrotehnike i elektronike HATZ-a, konferencija “*The 8th International Symposium on Applied Electromagnetics*”, 28. lipnja -1. srpnja 2020., Beli Manastir;
- Odbor za suradnju s gospodarstvom i regionalnu suradnju HATZ-a, ICENT, FER i HGK, okrugli stol „Umjetna inteligencija – percepcija i stvarnost“, HGK, Zagreb, 3. srpnja 2020.;
- 4. međunarodni energetski forum „Energija Mediterana 2020“, Split, 24. srpnja 2020.;
- 18. Ružičkini dani „Danas znanost – sutra industrija“, 16.-18. rujna 2020., Vukovar;
- 18. međunarodna znanstveno-stručna konferencija „*The Science and Development of Transport – Znanost i razvitak prometa – ZIRP 2020*“, 29.-30. rujna 2020., Šibenik;
- Odjel informacijskih sustava Akademije, Ljetna škola pod nazivom „*5th Int'l Summer School on Data Science*“, virtualno u rujnu 2020.;
- FERIT, konferencija *International Conference on Smart Systems and Technologies 2020* (SST 2020), Osijek, 14. - 16. listopada 2020.,
- Centar izvrnosti za računalni vid Sveučilišta u Zagrebu, godišnja radionica „*9th Croatian Computer Workshop*“, Odjel informacijskih sustava, virtualno u listopadu 2020.;
- Znanstveni centar izvrsnosti za znanost o podatcima i kooperativnim sustavima i Odjel informacijskih sustava Akademije, godišnja radionica „*5th Int'l Workshop on Data Science*“, studeni 2020.;

- Odjel sustava i kibernetike HATZ-a hackaton „*Brainhack Zagreb 2020*“, on-line putem platforme MS Teams, 12. prosinca 2020.;
- Hrvatsko ergonomsko društvo, međunarodna konferencija *ERGONOMICS 2020*, Zagreb, 2.-5. prosinca 2020.;
- Odbor za suradnju s gospodarstvom i regionalnu suradnju Akademije, ICENT, GHK i FER, okrugli stol „Reforme u visokom školstvu – nova radna mjesta u nepredvidivoj budućnosti“, *on-line*, 4. prosinca 2020.;
- Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, međunarodni znanstveni skup „*1<sup>st</sup> Croatian Conference on Earthquake Engineering – CroCEE 2021*“, Zagreb, 22.-24. ožujka 2021.

Pristigli pozivi za sudjelovanjem na skupovima i sastancima od javnog interesa bili su u 2020.:

- Odjel kemijskog inženjerstva HATZ-a u suradnji s Fakultetom kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, predavanje pod naslovom „*Plasmonic phenomena and photoelectron generation in Au/TiO<sub>2</sub> nanorod arrays for visible light harvesting*“ i predavanje „*Formation of a junction between TiO<sub>2</sub> and β-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to enable efficient visible-light harvesting in advanced oxidation processes for waste water treatment*“ 20. siječnja 2020.;
- TTF, Dana Fakulteta, 24. siječnja 2020., Zagreb;
- FKIT, predstavljanje knjige „Modeliranje u kemijskom inženjerstvu“, 4. veljače 2020., Zagreb. Autori knjige su prof. dr. sc. Zoran Gomzi, professor emeritus i umirovljeni prof. dr. sc. Želimir Kurtanjek, oboje u statusu emeritusa u okviru Odjela kemijskog inženjerstva Akademije tehničkih znanosti Hrvatske;
- Predstavljanje mogućnosti za uključivanje hrvatskog gospodarstva i znanosti u projekte EUMETSAT“, 13. veljače 2020, HGK, Zagreb;
- Hrvatski drvni klaster, 10. međunarodna energetska konferencija o biomasi i OIE, 24. veljače 2020., Zagreb;
- Predstavljanje novog vizualnog identiteta FER-a, 13. ožujka 2020., FER, Zagreb-otkazano;
- Dva predavanja u suorganizaciji Odjela komunikacijskih sustava („*CubeSats: Toy or Tool? – Commercial &Scientific Use Case Examples*“, „*CubeSats development in a University lab – lessons learned*“), 16.-17. ožujka 2020., FER, Zagreb;
- Dani e-infrastrukture – SRCE DEI 2020 i konferencija projekta HR-ZOO, 7.-8. travnja 2020., Zagreb;
- Odjel kemijskog inženjerstva HATZ-a, predavanje „*The Resource Gateway: Microfluidics and Requirements Engineering for Sustainable Space Materials Processing Systems*“, 3. lipnja 2020., FKIT, Zagreb;
- Komunal, konferencija „Klima i čista voda“, 26. lipnja 2020., Zagreb

- Dan Energetskog instituta Hrvoje Požar, 3. srpnja 2020., MSU Zagreb;
- Dan Fakulteta, Svečana sjednica Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 24. rujna 2020.; AGG Zagreb;
- 43. međunarodni skup za informacijsku, komunikacijsku i elektroničku tehnologiju, MIPRO 2020, 28. rujna – 2. listopada 2020.;
- Radionica „Kompostiranje danas – prezentacija pogona za bioreaktorsko kompostiranje biorazgradivog otpada u simuliranom okruženju“, 8. listopada 2020. Tehnix, Donji Kraljevec;
- Odjel komunikacijskih sustava, suorganizator predavanja „*Millimeter-Wave Antennas for Next Generation Telecommunications Networks*“, korištenjem platforme MS Teams, 21. listopada 2020.

Obavijesti o aktivnostima Akademije redovito se distribuiraju članovima elektroničkim putem i/ili objavlјivanjem na službenoj mrežnoj stranici HATZ-a (<https://www.hatz.hr/>). Također se distribuiraju i obavijesti o uspjesima i novostima članova Akademije kojima se izrazito ponosimo.

## 6. Obavijest o preminulim članovima u 2020. godini

Prisjećamo se s poštovanjem i zahvalnošću naših članova koji su preminuli u 2020. godini. Ostat će svima u trajnom sjećanju kao istaknuti hrvatski znanstvenici, sveučilišni profesori i članovi Akademije koji su svojim radom i zalaganjem doprinijeli radu Akademije i širenju tehničkih i biotehničkih znanosti u Hrvatskoj i svijetu.

Preminuli članovi Akademije tehničkih znanosti Hrvatske u 2020. su:

1. Prof. dr. sc. Marijan Bošnjak (11.2.2020.), član emeritus Akademije u Odjelu kemijskog inženjerstva;
2. Prof. dr. sc. Tomislav Lovrić, *professor emeritus* (2.3.2020.), član emeritus Akademije u Odjelu bioprocесnog inženjerstva;
3. Prof. dr. sc. Drago Katović, *professor emeritus* (28.3.2020.), član emeritus Akademije u Odjelu tekstilne tehnologije;
4. Akademik Božidar Liščić (19.4.2020.), član emeritus Akademije u Odjelu strojarstva i brodogradnje; te
5. Prof. dr. sc. Stanislav Sever (8.8.2020.), član emeritus Akademije u Odjelu bioprocесnog inženjerstva
6. Prof. dr. sc. Rudolf Lončarić (12.12.2020.), počasni član Akademije.

*Tanja Miškić Rogić*, univ. spec. oec.  
Poslovna tajnica HATZ-a



## **Autorski indeks**

Andročec, V., 1, 249

Babić, J., 153

Bagarić, M., 27

Banjad Pečur, I., 27

Barković, Đ., 223, 233

Bazina, T., 196

Beus, R., 82

Bišćan, M., 82

Bjegović D., 13, 27

Bonefačić, D., 42

Brkljač, B., 82

Carević I., 13, 27

Cerković, S., 13

Cvetek, D., 140

Cvišić, I., 153

Čavlina, N., 249

Ćućić, B., 196

Duić, N., 249

Eršek, A., 153

Fertalj, K., 57

Gaurina Srček, V., 71

Gavran, T., 153

Grubor M., 13,

Haladin I., 94, 104

Ilijašević, M., 196

Jelušić, N., 140

Kamenar, E., 196

Kmetić, I., 71

- Kniewald, Z., 71  
Krajcar, S., 249  
Kučić Grgić, D., 205  
Kuzle, I., 82  
Lakušić, S., 94, 104  
Majdandžić, N., 114  
Marković, I., 153,  
Matika, K., 223, 242  
Mikulić, D., 126  
Milašinović, B., 57  
Milčić, D., 126  
Milovanović, B., 27  
Miškić Rogić, T. 267  
Mišković T., 42  
Mrša, V., 249  
Muštra, M., 140  
Oršić, M., 153  
Perčić, M., 196  
Peršić, J., 153  
Petrović, I., 153  
Radošević, K., 71  
Rogale, D., 168  
Slivac, I., 71  
Sokač, T., 205  
Stojnović, M., 242  
Šaban, A., 126  
Šabić Runjavec, M., 205  
Šalić, A., 205  
Šegvić, S., 153  
Šimpraga, M., 3  
Štirmer, N., 13, 27  
Štor, A., 82  
Tečec Ribarić , Z., 153  
Terze, Z., 249  
Tupek, A., 233  
Ujević, D., 168, 185

- Vidaković, M., 205  
Vondra, B., 42  
Vranešić, K. 104  
Vrcan, Ž., 196  
Vuković Domanovac, M., 205  
Zelenika, S., 196  
Zelić, B., 205  
Zrinjski, M., 223, 233, 242

**A  
Hz**