Godišnjak 2021

Akademija tehničkih znanosti Hrvatske

Doprinos članova Akademije

razvoju sustava znanstveno-nastavnih institucija

AKADEMIJA TEHNIČKIH ZNANOSTI HRVATSKE

GODIŠNJAK 2021.
AKADEMIJE TEHNIČKIH ZNANOSTI HRVATSKE

Izdavač i nakladnik:
Akademija tehničkih znanosti Hrvatske,
Kačićeva 28, 10000 Zagreb, Hrvatska

Glavni i odgovorni urednik:
Prof. dr. sc. Vladimir Andročec
predsjednik Akademije tehničkih znanosti Hrvatske

Urednici:
Prof. dr. sc. Vladimir Mrša, glavni tajnik HATZ-a
Prof. dr. sc. Dubravko Rogale, dopredsjednik HATZ-a

Suradnice:
Tanja Miškić Rogić, univ. spec. oec., poslovna tajnica HATZ-a
Adrijana Pavičić, ekon. teh., administrativna referentica

Dizajn naslovnice:
Izv. prof. dr. sc. Jana Žiljak Gršić, mag. design.

Naslovnica je izvedena u
INFRAREDESIGN® tehnologiji

ISSN 1332-3482
Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske 2021.
God. Akad. teh. zn. Hr. 2021.

Grafički urednik:
Doc.dr.sc. Denis Jurečić, dipl. inž.

Priprema za tisak:
Minerva Graphica d.o.o.

Tisak:
Tiskara Zelina d.o.o., Zelina

Naklada:
300 knjiga

Izjava o dozvoli za korištenje:
"Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske 2021." vlasništvo je Akademije tehničkih znanosti Hrvatske. Radovi, tekstovi, slike, grafikoni, tablice i drugi podaci ne smiju se kopirati, distribuirati niti koristiti u publikacijama koje nisu akademske i znanstvene, bilo u pisanom ili u elektroničkom obliku, u cijelosti ili djelomično, osim uz izričitu dozvolu Akademije tehničkih znanosti Hrvatske.
Akademija tehničkih znanosti Hrvatske dopušta korištenje radova, tekstova, slika, grafikona, tablica i drugih podataka isključivo u akademske i znanstvene svrhe.

Napomena:
Tekstovi radova autora prikazani su prema dostavljenom izvorniku.

AKADEMIJA TEHNIČKIH ZNANOSTI HRVATSKE

God. Akad. teh. zn. Hr. 2021 ISSN 1332-3482

GODIŠNJAK 2021. AKADEMIJE TEHNIČKIH ZNANOSTI HRVATSKE

CAETS

Euro-CASE

Zagreb, 2022.

Sadržaj

Uvodna riječ 1
Andročec, V.

Riječ urednika, ... 3
Mrša, V., Rogale, D.

Radovi članova Akademije

Projekt INFRA FGAG 7
Jajac, N., Torić, N., Tušek D.

Zavod za namještaj i drvo u graditeljstvu i Laboratorij za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta (LIN) 16
Jirouš-Rajković, V.

Istraživačko-edukacijsko središte Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu smješteno u Zadru 24
Dragović-Uzelac, V., Pedisić, S., Mrša, V.

AURALAB – Auralizacijski laboratorij Zavoda za elektroakustiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu 40
Jambrošić, K., Horvat M., Siniša Fajt, S.

Laboratorij za određivanja svojstava kompleksnih materijala akustičkim metodama – LOSKSAM 56
Petošić, A., Franček, P., Fajt, S.

Laboratorij za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 66
Zrinjski, M., Barković, Đ., Baričević, S.

Katedra za instrumentalnu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 79
Zrinjski, M., Tupek, A., Matika, K.

Razvoj Centra za istraživanje i razvoj sigurnog i održivog izgrađenog okoliša Građevinskog fakulteta u Zagrebu 89
Lakušić, S., Štirmer, N.

Osnivanje laboratorija za mjerenje kakvoće zraka i oborina u RHMZ-u 104
Bolanča, Z.

Osnivanje Laboratorija za ekologiju pri GRF-u Sveučilišta u Zagrebu 120
Bolanča, Z.

Primjena metode za odvajanje frakcija iz papirne pulpe 137
Bolanča Mirković, I.

O Zavodu za primijenjeno računarstvo na Sveučilištu u Zagrebu Fakultetu elektrotehnike i računarstva 147
Kalpić, D., Baranović, M., Mornar, V., Fertalj K.

Znanstveni centar izvrsnosti za znanost o podatcima i kooperativne sustave 161
Lončarić, S., Petrović, I.

Centar za umjetnu inteligenciju FER-a 172
Lončarić, S.

Centar izvrsnosti za računalni vid 182
Lončarić, S., Bogdan, S., Gajski, D., Grgić, M., Grgić, S., Ivanjko, E., Jerbić, B., Kalafatić, Z., Kovačić, Z., Krtalić, A., Mandić, L., Pandžić, I. S., Pernar, R., Petković, T., Petrović, I., Pribanić, T., Ribarić, S., Damir Seršić, D., Subašić, M., Šegvić, S.

Razvoj distribuiranog računarstva u Centru za informatiku i računarstvo IRB-a 201
Skala, K.

Laboratorij za automatiku i mjerenja (LAM) na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije 214
Bolf, N.

Ovlašteni laboratoriji odsjeka Aeronautike na Fakultetu prometnih znanosti 225
Novak, D.

Podzemni istraživački poligon Rudnik sv. Barbara 236
Kujundžić, T., Klanfar, M., Veinović, Ž.

Centar za ljevarstvo – SIMET kao temelj razvoja metalske industrije Republike Hrvatske 249
Zovko Brodarac, Z., Unkić, F., Srečec, Lj., Filipović, A.

Virtulab – Integrirani laboratorij za primarne i sekundarne sirovine 265
Borojević Šoštarić, S., Rogošić, M., Petrović, I., Zovko-Brodarac, Z., Šantek, B.

Osnivanje i razvoj laboratorija za mehaniku tla na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu 280
Kovačević Zelić, B., Oršulić, E.

Miniranje u laboratorijima Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta 293
Dobrilović, M., Bohanek, V., Škrlec, V.

Znanstveno-razvojni centri Sveučilišta u Rijeci kao primjer dobre prakse poticanja interdisciplinarnih aktivnosti i projekata 306
Zelenika, S., Jakominić Marot, N.

Centar za istraživanje požara otvorenog prostora Split 321
Stipaničev, D.

CRTA - Regionalni centar izvrsnosti za robotske tehnologije 338
Jerbić, B.

Uloga inovacijskog centra Nikola Tesla u unaprjeđenju primijenjenog istraživanja i razvoja tehnologija 347
Perić, N.

Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku 373
Petrović, I., Seder, M., Marković, I.

Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja LARICS 394
Kovačić, Z., Bogdan, S., Petrović, T., Orsag, M.

Laboratorij za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina 404
Pribanić, T.

LARES – Laboratorij za sustave obnovljivih izvora energije 413
Vašak, M., Perić, N., Baotić, M., Ban, Ž.

Uspostava i ustrojstvo Laboratorija za termoizolacijska svojstva odjeće 428
Firšt Rogale, S., Rogale, D.

Uspostava i razvoj Laboratorija za računalnu konstrukciju odjeće na Tekstilno-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu 441
Petrak, S., i Rogale, D.

Laboratorij za procesne parametre odjevnog inženjerstva 459
Rogale, D., Firšt Rogale, S.

Laboratorij za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja 473
Flinčec Grgac, S., Tarbuk, A., Dekanić, T., Pušić, T.

Laboratorij za napredne materijale i napredne tehnologije 480
Bischof, S., Pušić, T., Kovačević, Z.

Pregled

Pregled aktivnosti Akademije tehničke znanosti Hrvatske u 2021. godini 487
Miškić Rogić, T.

Autorski indeks 497

Uvodna riječ

Poštovani čitatelju,

Akademija tehničkih znanosti Hrvatske već niz godina izdaje svoj Godišnjak u kojem obrađuje aktualne teme vezane uz istraživanja i publiciranje radova svojih članova kako bi ostao trajni trag aktivnosti članova a time i Akademije. Isto tako Godišnjak sadrži i opis glavnih aktivnosti koje se provode unutar Akademije ili u suradnji s drugim znanstvenim ili gospodarskim subjektima što je jedna od značajnih zadaća Akademije.

Današnja znanost se razvija kroz eksperimentalne i teorijske metode istraživanja posebno sličnih rezultata koji se često trebaju višestruko dokazivati odnosno potvrditi te danas sustav istraživanja „teorija, eksperiment, teorija..“ često je jedini način validacije novih saznanja.

Veliki broj naših članova su voditelji ili sudionici projekata u području laboratorijskih eksperimentalnih istraživanja ili modeliranja koja zahtijevaju razvijene eksperimentalne, računalne i hibridne metode.

Stoga smo ove godine pokušali animirati naše članove da prikažu rad i razvoj raznih oblika ustrojbenih istraživačkih jedinica u svojim matičnim ili suradnim institucijama koje se bave naprednim istraživanjima.

Na naš poziv odazvao se veliki broj naših članova te smo u konačnici dobili 36 izrazito kvalitetnih radova s preko 90 autora odnosno koautora.

Čitajući ove radove stječu se redom dojmovi o izvrsnosti i kvaliteti istraživačkih centara u našoj znanosti.

Urednici Godišnjaka prof. dr. sc. Dubravko Rogale, dopredsjednik Akademije, i prof. dr. sc. Vladimir Mrša, glavni tajnik Akademije, su kao urednici u pripremi, tehničkoj

obradi i detaljnoj kontroli te štampanju uložili značajan trud kako bi dobili kvalitetan i za povijest vrijedan dokument na čemu im se zahvaljujem. Posebna zahvala prof. dr. sc. Jani Žiljak Gršić na grafičkom uređenju uvijek prepoznatljivog omota.

Vjerujem da ćete čitajući dobiti niz korisnih podataka o znanstvenim aktivnostima naših članova ali i uvid u mogućnosti istraživanja u hrvatskom znanstvenom prostoru.

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

Riječ urednika

Kao urednici Godišnjaka 2021. Akademije tehničkih znanosti Hrvatske izražavamo veliko zadovoljstvo odzivom naših članova na temu doprinosa razvoju i osnivanju znanstveno-nastavnih institucija, poglavito laboratorija. Na poziv Akademije odazvao se velik broj naših članova s ukupno 36 radova s opisima i slikovnim materijalima što svjedoči o svekolikom iznimnom doprinosu koji su dali u svom životnom stvaralaštvu uključujući i dio vezan uz temu Godišnjaka.

Članovi Akademije su poticanjem i radom na razvoju istraživačkih kapaciteta, opisanim u svojim radovima u Godišnjaku, dali doprinos razvoju i osuvremenjivanju istraživačka infrastruktura u Republici Hrvatskoj, što uključuje nabavu i instaliranje znanstveno-istraživačke opreme, prostor i istraživačke timove kojima se služi znanstvena zajednica za provođenje istraživanja. Osim znanstvenih istraživanja, uspostava opisanih cjelina često je višefunkcionalna pa može ujedno poslužiti i za izvođenje kvalitetne visokoškolske izobrazbe i kao mjesto izvođenja istraživanja za potrebe hrvatske privrede i transfera novog znanja u industriju. Uz to, izvrstan istraživački potencijal omogućuje znatno lakše uključivanje u nacionalne i velike međunarodne kolaboracijske istraživačke programe, a nerijetko predstavlja nužnu opremu centara vrsnog znanja, odnosno formiranje centara izvrsnosti i kompetencijskih centara i mreža. Sve to olakšava primjenu europskih modela povezanosti s istraživačkim i inovacijskim infrastrukturama drugih europskih zemalja.

Valja pritom istaknuti i mogućnosti ostvarivanja inovacija i patenata u spomenutim ustrojbenim jedinicama što smo već opisali u jednom od ranijih tematskih izdanja Godišnjaka Akademije.

Na kraju, kao urednici, članovima Akademije izražavamo i svoju zadivljenost kvalitetom osmišljavanja te opsegom zalaganja tijekom uspostave spomenutih ustrojbenih jedinica, marom pri njihovoj realizaciji i funkcionalnosti. Vrijedilo je prikupiti i objaviti, vrlo kvalitetne, radove o tom dijelu životnog stvaralaštva naših članova i time ih dostojno obilježiti i spasiti od zaborava objavom u Godišnjaku Akademije.

Urednici Godišnjaka:

Prof. dr. sc. *Vladimir Mrša* Prof. dr. sc. *Dubravko Rogale*

Radovi članova Akademije

Projekt INFRA FGAG

Nikša Jajac[1], Neno Torić[2], Darovan Tušek[3]

[1] Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, niksa.jajac@gradst.hr

[2] Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, neno.toric@gradst.hr

[3] redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, darovan.tusek@gradst.hr

Sažetak: *U radu je prikazan sažetak ciljeva i učinaka projekta INFRA FGAG: "Implementacijom suvremene znanstveno-istraživačke infrastrukture na FGAG do pametne specijalizacije u zelenoj i energetski učinkovitoj gradnji" (KK.01.1.1.02.0027) kojeg je provelo Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije a isti je vezan za sveobuhvatno jačanje postojeće i uvođenje nove znanstveno-istraživačke infrastrukture te provođenje organizacijske reforme znanstveno-istraživačke djelatnosti Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije.*

Ključne riječi: *Organizacijska reforma, znanstveno-istraživačka infrastruktura, laboratoriji, oprema*

1. Uvod

Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu (FGAG Split) je krajem rujna 2021. godine završio projekt "Implementacijom suvremene znanstveno-istraživačke infrastrukture na FGAG do pametne specijalizacije u zelenoj i energetski učinkovitoj gradnji" (KK.01.1.1.02.0027) koji je započeo u drugoj polovini 2018. godine. Projekt je financiran iz bespovratnih sredstava Europskog fonda za regionalni razvoj, u sklopu Poziva na dostavu projektnih prijedloga „Ulaganje u organizacijsku reformu i infrastrukturu u sektoru istraživanja, razvoja i inovacija" u okviru Operativnog programa „Konkurentnost i kohezija 2014.-2020.". Riječ je o projektu ukupne vrijednosti 84.513.801,36 HRK od kojih se 82.772.609,88 HRK financira nepovratnim sredstvima iz prethodno navedenih EU izvora.

Navedeni projekt rezultirao je brojnim učincima među kojima su najznačajniji:

- uspostava Laboratorija FGAG-a – jačanjem postojeće i uvođenjem nove znanstveno-istraživačke infrastrukture

- organizacijska reforma znanstveno-istraživačke djelatnosti – uvođenjem novih i transformacijom postojećih ustrojstvenih jedinica uz oblikovanje novih procesa i uloga unutar uspostavljene matrične organizacijske strukture

- uspostava jedinstvenog ureda za istraživanje i razvoj te upravljanje znanstveno-istraživačkim kapacitetima

- unaprjeđenje znanstvenih istraživanja koja rezultiraju većim brojem publikacija u bazi Web of Science te većim brojem znanstvenih suradnji sa znanstveno-istraživačkim organizacijama i gospodarskim subjektima u RH i EU

- unaprjeđenje vidljivosti i prepoznatljivosti znanstveno-istraživačke djelatnosti FGAG-a, a čime se unaprjeđuje sektor istraživanja, razvoja i inovacija.

2. Nova znanstveno-istraživačka infrastruktura

Navedenim projektom stvoreni su preduvjeti za ostvarenje konkurentnosti naših znanstvenika, posebno mladih, s kolegama unutar europskog istraživačkog prostora, a time i cijelog Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, kao i Sveučilišta u Splitu.

Laboratorij FGAG ustrojstvena je jedinica Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu uspostavljena radi unaprjeđenja znanstveno-istraživačkog rada i sastoji se od jedanaest specijaliziranih laboratorijskih jedinica (SLJ):

SLJ - Geotehnički laboratorij
SLJ - Hidrotehnički laboratorij
SLJ - Laboratorij za materijale
SLJ - Laboratorij za potresna ispitivanja
SLJ - Laboratorij za konstrukcije
SLJ - Laboratorij za numerička modeliranja
SLJ - Laboratorij za geografske informacijske sustave i modeliranje podrške odlučivanju

SLJ – Laboratorij za geodeziju i geoinformatiku
SLJ - Laboratorij za implementaciju suvremenih tehnologija u arhitekturi
SLJ - Laboratorij za prometnice
SLJ - Mjerna stanica za energiju vjetra

SLJ - Geotehnički laboratorij

SLJ - Hidrotehnički laboratorij

SLJ - Laboratorij za materijale

SLJ - Laboratorij za potresna ispitivanja

SLJ - Laboratorij za konstrukcije

SLJ - Laboratorij za numerička modeliranja

SLJ - Laboratorij za geografske informacijske sustave
i modeliranje podrške odlučivanju

SLJ - Laboratorij za geodeziju i geoinformatiku

SLJ - Laboratorij za implementaciju suvremenih tehnologija u arhitekturi

SLJ - Laboratorij za prometnice

SLJ - Mjerna stanica za energiju vjetra

Slika 1: Fotografije novopremljenih SLJ FGAG

Devet od jedanaest SLJ Laboratorija FGAG nalazi se u fakultetskoj zgradi u Kampusu Sveučilišta u Splitu, dok se dva nalaze u rekonstruiranom i dograđenom objektu u Žrnovnici.

Laboratorij za potresna ispitivanja i novoizgrađeni Hidrotehnički laboratorij u Žrnovnici

Kako bi se stvorio prostorni okvir za provođenje ciljanih učinaka bilo je nužno provesti rekonstrukciju zgrade FGAG-a u Splitu te rekonstrukciju i dogradnju zgrade u Žrnovnici, za što je priprema projektno-tehničke dokumentacije počela 2015. godine.

U zgradi na splitskom Kampusu su prostori za rad adaptirani u svrhu podizanja standarda opremljenosti, reorganizacije pojedinih laboratorija te dovođenja novih

i unapređivanja postojećih infrastrukturnih sustava čime se osigurani specifični zahtjevi neophodni za funkcioniranje laboratorija, a dodatno su izvedeni i radovi na podizanju energetske učinkovitosti. Postojeća hala Laboratorija za potresna ispitivanja u Žrnovnici je također rekonstruirana i energetski obnovljena te je dograđena nova zgrada Hidrotehničkog laboratorija, čime je stvoren jedinstveni funkcionalni i urbanistički sklop. Glavni projektanti koji su vodili izradu projektno-tehničke dokumentacije za građenje i opremanje su arhitekti dr. sc. Hrvoje Bartulović (za zgradu u Splitu) i dr. sc. Dujmo Žižić (za zgradu u Žrnovnici).

3. Organizacijska reforma

Organizacijska reforma ostvarena je uspostavom novoga organizacijskog ustrojstva zasnovanog na suvremenom, projektno orijentiranom pristupu kombiniranom s temeljnim i tradicijskim funkcijama FGAG-a u realizaciji njegove znanstvenoistraživačke djelatnosti. Organizacijsko ustrojstvo znanstveno-istraživačke djelatnosti određuju:

1) ustrojstvene jedinice – 11 znanstveno-istraživačkih i umjetničkih logičkih cjelina (ZIU LC)
2) Ured za istraživanje i razvoj te objedinjeno upravljanje istraživačko razvojnim kapacitetima (UIR) i Laboratorij FGAG
3) znanstveno-istraživački i umjetnički projekti (ZIU projekti) s odgovarajućim projektnim aktivnostima

ZIU projekti predstavljaju osnovu konkurentnog razvoja znanstveno-istraživačke djelatnosti temeljenu na korištenju resursa Laboratorija FGAG-a i omogućenom fleksibilnom znanstveno-istraživačkom radu projektnih timova unutar ZIU LC radi ostvarenja postavljenih strateških ciljeva FGAG-a.

Popis aktivnih ZIU LC na FGAG-u:

ZIU LC za istraživanja u geotehnici

ZIU LC za istraživanja u hidrotehnici

ZIU LC za istraživanja materijala

ZIU LC za istraživanja u području potresnih ispitivanja

ZIU LC za istraživanja konstrukcija

ZIU LC za istraživanja u području numeričkog modeliranja

ZIU LC za istraživanja GIS-a i modeliranja podrške odlučivanju

ZIU LC za istraživanja u geodeziji i geoinformatici

ZIU LC za istraživanja i implementaciju suvremenih tehnologija u arhitekturi

ZIU LC za istraživanja u području projektiranja prometnica i upravljanja cestovnom infrastrukturom

ZIU LC za istraživanja energije vjetra

Osnovne karakteristike ZIU projekata su postojanje zadanih ciljeva, projektnih aktivnosti (koje i same mogu biti projekti - podprojekti), financijskih, ljudskih i materijalnih resursa i vremenskog/dinamičkog plana provedbe ZIU projekata. Interdisciplinarnost se pritom ostvaruje sudjelovanjem djelatnika različitih tematskih specijalizacija (kako po područjima tako i po poljima znanosti u radu jedne ili više ZIU LC odnosno jednog ili više ZIU projekta. Osim toga tu su i djelatnici zaposleni isključivo na projektima- projektnim aktivnostima ZIU projekta i drugim projektima koje provodi Fakultet (čije je financiranje različito od izvora financiranja zaposlenika na neodređeno tj. koji se ne nalaze u središnjem registru zaposlenika RH) kao i zaposlenici suradnih institucija, tvrtki i pojedinci koji provode znanstvena istraživanja (temeljem ugovora o suradnji u znanstveno-istraživačkom radu s Fakultetom) u više znanstvenih područja i/ili polja od zajedničkog interesa, a u okviru pojedine istraživačkih tema kojima je posvećen pojedini ZIU projekt.

4. Zaključak

Projekt INFRA FGAG uspješno je završen krajem rujna 2021. godine s pozitivnom financijskom bilancom. Uspješnim završetkom projekta unaprjeđena je konkurentnost znanstveno-istraživačkog osoblja FGAG s drugim postojećim znanstvenim timovima i grupama unutar hrvatskog i europskog istraživačkog prostora. Također, uz pomoć nove znanstveno-istraživačke infrastrukture olakšano je sudjelovanje znanstveno-istraživačkih grupa FGAG u budućem projektno orijentiranom znanstvenom radu. Sve navedeno postignuto je vlastitim snagama, a stečeno iskustvo jamac je daljnjeg uspješnog razvoja znanstveno-istraživačke djelatnosti i infrastrukture u području graditeljstva Splita, Dalmacije i Republike Hrvatske.

Zavod za namještaj i drvo u graditeljstvu i Laboratorij za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta (LIN)

Vlatka Jirouš-Rajković[1]

[1] redovita članica HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, vjirous@sumfak.hr

Sažetak: *U radu je opisan razvoj današnjeg Zavoda za namještaj i drvo u graditeljstvu i razvoj Laboratorija za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta (LIN) koji je jedan od dva akreditirana laboratorija koji djeluju u okviru Zavoda. Prof. dr. sc. Ljuljka, emeritus Odjela bioprocesnog inženjerstva HATZ-a osnivač je današnjeg Zavoda za namještaj i drvo u graditeljstvo koji je nekoliko puta tijekom razvoja mijenjao ime prilagođavajući ga ili statutarnim propisima ili djelatnostima rada Zavoda. Prof. Ljuljka je također jedan od idejnih začetnika, suosnivač i voditelj razvoja Laboratorija za ispitivanje kvalitete namještaja pri Institutu za drvo Zagreb, koji se prestankom rada Instituta 1991. godine preselio na Šumarski fakultet u Zagrebu u tadašnju Katedru za finalnu obradu drva. U radu je opisana današnja znanstvena i stručna djelatnost Zavoda te današnje aktivnosti Laboratorija za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta (LIN).*

Ključne riječi: *Zavod za namještaj i drvo u graditeljstvu, Laboratorij za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta, prof. dr.sc. Boris Ljuljka, professor emeritus.*

1. Uvod

Zavod za namještaj i drvo u graditeljstvu jedan je od pet zavoda Drvnotehnološkog odsjeka Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije. Idejni začetnik i osnivač ovog Zavoda je prof. dr. sc. Boris Ljuljka, professor emeritus i član emeritus Odjela bioprocesnog inženjerstva Akademije tehničkih znanosti Hrvatske. Danas je to brojem zaposlenih članova najveći zavod Drvnotehnološkog odsjeka. Zavod ima 19 djelatnika od kojih su 12 nastavnici, administrativna suradnica, stručni suradnik, tri asistenta na projektima, laborant i spremačica.

Temeljne grupe predmeta koje Zavod obuhvaća su:

- Konstruiranje i oblikovanje namještaja i proizvoda od drva,
- Drvo u graditeljstvu
- Finalna i površinska obrada drva [1].

U okviru Zavoda djeluju dva akreditirana laboratorija:
Laboratorij za drvo u graditeljstvu (LDG) koji je osnovan 2005. godine velikim zalaganjem i entuzijazmom prof. dr. sc. Hrvoja Turkulina i Laboratorij za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta (LIN) koji je osnovan zahvaljujući viziji i velikom zalaganju prof. dr. sc. Borisa Ljuljke. Razvoju ovog Laboratorija u značajnoj je mjerio doprinio i prof. dr. sc. Ivica Grbac, redoviti član Akademije tehničkih znanosti Hrvatske. U ovom radu bit će prikazan kratki pregled razvoja Zavoda za namještaj i drvo u graditeljstvo i Laboratorija za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta koji djeluje u okviru Zavoda (slika 1).

Slika 1: Laboratorij za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta (LIN)

2. Povijest Zavoda za namještaj i drvo u graditeljstvu

Nastavni, znanstveni i stručni rad iz područja konstrukcija proizvoda od drva i tehnologije proizvodnje namještaja prije osnivanja ovoga zavoda 1980. godine odvijao se u okviru Katedre za mehaničku preradu drva na Drvnotehnološkom odsjeku Šumarskoga fakulteta. Budući da se u to vrijeme razvojem finalizacije u drvnoindustrijskim

tvrtkama pojavila potreba uvođenja većeg broja kolegija vezanih za finalnu obradu drva u školovanju diplomiranih inženjera drvne industrije, pojavila se i potreba za osnivanjem zasebne katedre. Iako je postupak osnivanja Katedre za finalnu obradu drva pokrenut 3. studenog 1978. i njen osnutak bio naveden u Statutu Fakulteta iz 1978., Katedra je zbog nekih otpora zaživjela tek 1980. godine [2]. Prvi predstojnik Katedre za finalnu obradu drva bio je dr. sc. Boris Ljuljka, tada u zvanju izvanrednoga profesora, a uz njega su te 1980. godine bila samo još dva stalno zaposlena suradnika. U nastavi su pomagali i honorarni nastavnici, većinom iz Instituta za drvo i diplomirani inženjeri iz Industrogradnje. U godinama koje slijede Katedra doživljava intenzivan razvoj svojih stručnih i znanstvenoistraživačkih kapaciteta. U razdoblju do 1995. godine kada je Katedra preimenovana u Zavod za konstrukcije i tehnologiju proizvoda od drva, još je zaposleno četvero mladih asistenata. Godine 2005. godine Zavod mijenja naziv u Zavod za namještaj i drvne proizvode. Novim Statutom Fakulteta iz 2021. godine kojim je i Šumarski fakultet preimenovan u Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zavod za namještaj i drvne proizvode mijenja naziv u Zavod za namještaj i drvo u graditeljstvo. Prof. Ljuljka predstojik je ovog Zavoda od njegovog osnutka do 2002. godine kada odlazi u mirovinu. Te godine predstojništvo preuzima prof. dr. sc. Ivica Grbac, a odlaskom prof. Grbca u mirovinu 2020. godine predstojnica Zavoda je autorica ovog članka, također članica Odjela bioprocesnog inženjerstva HATZ-a prof. dr. sc. Vlatka Jirouš-Rajković.

2.1. Zavod za namještaj i drvo u graditeljstvu danas

Profesori i njihovi suradnici na Zavodu nositelji su 35 obveznih i izbornih predmeta, od kojih je 8 na preddiplomskom studiju drvne tehnologije, 15 na diplomskim studijima, 7 na stručnom studiju i 5 na doktorskom studiju. U znanstvenom radu bave se istraživanjima iz područja tehnologije proizvodnje namještaja i proizvoda za graditeljstvo, površinske obrade i lijepljenja, konstruiranja i oblikovanja namještaja te istraživanjem zdravog spavanja i sjedenja. Istraživanja obuhvaćaju rotacijsko zavarivanje masivnog drva i drvnih ploča, problematiku kvašenja i površinske energije drva, optimizaciju konstrukcijskih i lijepljenih spojeva drva, modifikacije površine drva, oblikovanje i udobnost uredskog i školskog namještaja za sjedenje, aktivacijske spektre u fotodegradaciji drva, postojanost nanopremaza na modificiranome i nemodificiranome drvu, postojanost drva i drvnih proizvoda, kao i razvoj metoda ispitivanja kvalitete drvnih proizvoda. U razdoblju od 1998. godine do danas uspješno je provedeno 17 znanstvenih projekata [2].

Stručna djelatnost Zavoda temelji se na radu dva akreditirana laboratorija u kojima se ispituju drvni podni elementi i mjerodavna fizička svojstva drva, ljepila i sustavi površinske obrade za drvene podove; kvaliteta namještaja i dijelova za namještaj, površinska obrada, boje i lakovi, dječja igrališta i oprema. Organiziraju se stručne

radionice i seminari te izdaje stručna literatura. Održavaju se tehničke konzultacije i postoji mogućnost zajedničkog uvođenja tvorničke kontrole u proizvodnji podnih obloga. Rade se ekspertize u području drvnih proizvoda za graditeljstvo i namještaja. Članovi Zavoda sudjeluju u radu tehničkih odbora u Hrvatskom zavodu za norme. Objavljeno je više od stotinu stručnih radova u stručnim časopisima, kao i pet stručnih brošura iz opsega djelatnosti Zavoda u razdoblju od 1998. godine do danas. Članovi Zavoda imaju dobru međunarodnu suradnju s nizom institucija kao što su: Institut für Holzforschung iz Münchena, Oddelek za lesarstvo Biotehiške fakultete iz Ljubljane, EMPA institut iz Švicarske, Building Research Establishment iz Velike Britanije, Institute of Wood Science iz Soprona, Mendel University iz Brna, Czech University of Life Sciences iz Praga, Faculty of Forestry and Wood Technology iz Poznańa i dr.

3. Razvoj Laboratorija za ispitivanje namještaja

Razvojem proizvodnje namještaja i stupnjem finalizacije proizvoda u bivšoj državi pojavila se potreba uspostave sustava ispitivanja kvalitete gotovih proizvoda. Još davne 1975. godine prof. Ljuljka započeo je rad na projektiranju i osnivanju Laboratorija za ispitivanje kvalitete namještaja zajedno sa suradnicima iz tadašnjeg Instituta za drvo. Jedna od pripremnih radnji za uspostavu Laboratorija bila je i izrada normi za ispitivanje kvalitete namještaja s definiranjem minimalnih uvjeta kvalitete (tadašnje JUS norme). Prof. Ljuljka je kao član Tehničkog odbora za namještaj pri asocijaciji drvne industrije Hrvatske i sudionik u radu Komisije za namještaj u ISO TC-136 sudjelovao u izradi nacionalnih normi i 1978. dobio za taj rad i zahvalnicu od Saveznog zavoda za standardizaciju. Tijekom 1977. godine, suradnjom Šumarskog fakulteta, Instituta za drvo i Udruženja drvne industrije u okviru Finalnog odjela Instituta za drvo osnovan je Laboratorij za ispitivanje kvalitete namještaja. Laboratorij je bio opremljen u to vrijeme najmodernijim uređajima za utvrđivanje faktora kvalitete i prikladnosti konstrukcije namještaja [3]. Bio je opremeljen s dva stroja za ispitivanje stolica, jednim strojem za ojastučeni namještaj (tapecirani), jednim strojem za korpusni namještaj i jednim strojem za ispitivanje ladica. Neki su uređaji bili razvijeni u suradnji sa stručnjacima za elektroniku i automatizaciju iz Končara. U planu je bilo i instaliranje stroja za ispitivanje kreveta, čime bi se omogućilo ispitivanje kvalitete svih vrsta namještaja. U to je vrijeme kapacitet uređaja za ispitivanje mogao u cjelosti zadovoljiti potrebe ispitivanja svih finalnih pogona SR Hrvatske. Uspostavom Laboratorija stvoreni su preduvjeti za proizvodnju kvalitetnih finalnih proizvoda koji će biti bolje prihvaćeni ne samo na domaćem već i stranom tržištu na kojem je kvaliteta, uz cijenu jedan od odlučujućih faktora plasmana proizvoda. Laboratorij je bio ovlašten od nadležnih institucija (Privredne komore, Tržne inspekcije i Zavoda za standardizaciju) za ispitivanje namještaja u skladu s postojećim normama. Laboratorij za ispitivanje kvalitete namještaja se prestankom rada Instituta za drvo 1991. godine

premješta na Katedru za finalnu obradu drva (današnji Zavod za namještaj i drvo u graditeljstvo). Na Katedri za finalnu obradu drva se od 1982. godine u interdisciplinarnoj suradnji s Institutom za spavanje Kliničke bolnice Vrapče razvija istraživanje optimalnih konstrukcija ležaja na temelju psiholoških, somnoloških i mehaničkih ispitivanja spavača i ležaja te se osniva Laboratorij za ispitivanje kreveta. Prelaskom Laboratorija za ispitivanje kvalitete namještaja na Šumarski fakultet dva se laboratorija objedinjuju u Laboratorij za ispitivanje namještaja i dijelova za namještaj (LIN). Voditelj laboratorija bio je prof. dr. sc. Boris Ljuljka sve do njegovog umirovljenja 2002. godine kada ga nasljeđuje prof. dr. sc. Ivica Grbac. U skladu s Pravilnikom o obvezatnom ispitivanju namještaja i dijelova za namještaj (NN 63/95) Laboratorij je 1995. bio ovlašten za ispitivanje namještaja prema tada vežećih 40 normi i propisa [4]. U siječnju 2002. Laboratorij je dobio novo ovlaštenje od Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo čime je potvrđena potreba za takvom vrstom kontrole proizvoda na tržištu koje je postajalo sve konkurentnije svojim cijenama, ali na žalost sve slabijom kvalitetom proizvoda. U tom periodu u LIN su uložena znatna sredstva za modernizaciju postojeće opreme i nabavu nove. Nabavljena su četiri multifunkcionalna uređaja za ispitivanje različitih vrsta namještaja čija je specifičnost njihova fleksibilnost i mogućnost programiranja za svaku traženu metodu unutar fizičkih mogućnosti uređaja (4). U lipnju 2013. godine prestaje važiti Pravilnik o obvezatom ispitivanju namještaja i dijelova za namještaj i Laboratorij nastavlja svoj rad na regionalnom i zahtijevnom europskom tržištu. Svoju prvu potvrdu o akreditaciji Laboratorij za ispitivanje namještaja i dijelova za namještaj dobiva 17. listopada 2011. od Hrvatske akreditacijske agencije kojom se utvrđuje da je, prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025, osposobljen za ispitivanje namještaja i određenih svojstava boja i lakova. Tada je prema HRN EN-u bilo akreditirano 28 normi/metoda koje obuhvaćaju ispitivanja izdržljivosti, trajnosti, stabilnosti i dimenzija različitih vrsta namještaja (školskih i drugih vrsta stolica, ormara, uredskih i kućnih stolova, kreveta, ležaja-madraca i dr.) te ispitivanje otpornosti i sjaja površina namještaja. Značajan doprinos razvoju LIN-a dao je i prof. dr. sc. Grbac koji se izuzetno angažirao u procesu osuvremenjivanja opreme i nabave novih uređaja za laboratorij kao i za prostorno proširenje i laboratorija i današnjeg Zavoda za namještaj i drvo u graditeljstvu. Prof. dr. sc. Grbac bio je voditelj Laboratorija od 2002. godine do njegovog umirovljenja 2020. godine. Prilikom zadnje promjene Statuta Fakulteta laboratorij mijenja naziv u Laboratorij za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta.

3.1. Laboratorij za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta danas

Prema najnovijoj potvrdi Hrvatske akreditacijske agencije broj 1338 (od 15. listopada 2021.) LIN je osposobljeni ispitni laboratorij prema normi HRN EN ISO/IEC 17025:2017 u području ispitivanja namještaja, premaza i dijelova za namještaj, dječ-

jih igrališta i opreme. Akreditirano je 49 metoda ispitivanja koje se mogu pronaći u prilogu potvrde Hrvatske akreditacijske agencije broj 1338 na https://www.sumfak.unizg.hr/hr/strucni-rad-i-usluge/laboratoriji-drvnotehnoloskog-odsjeka/laboratorij-za-ispitivanje-namjestaja-i-opreme-djecjih-igralista/akreditirane-metode/

LIN je laboratorij koji je prvi u Hrvatskoj akreditiran za ispitivanje sprava za dječja igrališta (slika 2), a u okviru svoje djelatnosti provodi i post-instalacijske nadzore dječjih igrališta, opreme i igrališnih površina [5].

Slika 2: Ispitivanje sprava za dječja igrališta

Ispitivanja prema akreditiranim metodama provode se na suvremenim, računalno upravljanim i kontroliranim uređajima koji zadovoljavaju zahtjeve europskih normi. Laboratorij raspolaže specifičnim uređajima (slika 3) za ispitivanje izdržljivosti, čvrstoće i trajnosti raznih vrsta namještaja (stolice, stolovi, madraci, kreveti, dječji kreveti, ormari i dr.) te opremom za ispitivanje površinskih svojstava namještaja (sjaj, boja, otpornost površina na toplinu, habanje i tekućine, elastičnost, tvrdoća, adhezija i debljina filma laka). Kontinuirano se radi na modernizaciji opreme i zadovoljavanju svih zahtjeva postavljenih u novim izdanjima normi. Treba istaknuti da je 2016. godine u suradnji s ispitivačima i tadašnjim voditeljem akreditiranog Laboratorija za ispitivanje namještaja i dijelova za namještaj prof. Grbcem projektiran, razvijen i proizveden uređaj za ispitivanje pokretnih dijelova namještaja (slika 4) te je patentiran kao inovacija Šumarskoga fakulteta. Ovaj je uređaj nakon niza nagrada (u Zagrebu, ARCA 2016 – zlatna medalja, u Bruxellesu, Innova 2016 – srebrna medalja) dobio srebrnu medalju na svjetskoj izložbi inovacija Geneva inventions 2017. Osim ispitivanja u akreditiranom području i izvan njega, LIN obavlja znanstvenoistraživačku i stručnu djelatnost. Studentima se na primjerima rada Laboratorija približa-

va problematika kvalitete namještaja i razvija svijest o važnosti ispitivanja kvalitete proizvoda. U sklopu znanstvnoistraživačkog rada i rada sa studentima razvijaju se i ispituju nove konstrukcije, te se pomaže drvnom sektoru u razvoju novih proizvoda i kontroli kvalitete u procesu proizvodnje. LIN je član međunarodne europske udruge institucija koje se bave ispitivanjem i istraživanjem kvalitete namještaja EURIFI, čime je stekao pravo na ravnopravnu suradnju u ispitivanju i istraživanju kvalitete namještaja za sve zemlje članice. Član je i udruge hrvatskih laboratorija CROLAB, čiji je cilj udruživanje hrvatskih ispitnih, mjeriteljskih i analitičkih laboratorija radi unapređenja sustava kvalitete laboratorija te lakšeg pridruživanja europskom tržištu iskorištavanjem zajedničkih potencijala [4]. U Laboratoriju danas radi šest stručnih djelatnika, od koji su četvero doktori znanosti. Voditelj LIN-a je izv. prof. dr. sc. Zoran Vlaović.

Slika 3: Uređaj za ispitivanje dimenzija uredskih stolica

Slika 4: Ispitivanje ladica nagrađenim uređajem za ispitivanje pokretnih dijelova namještaja

4. Zaključak

Od Katedre za finalnu obradu drva koja je pri svom osnutku 1980. godine imala tri stalno zaposlena djelatnika izrastao je Zavod za namještaj i drvo u graditeljstvu koji je danas po broju djelatnika najveći zavod Drvnotehnološkog odsjeka Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije. Laboratorij za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta kao jedan od dva akreditirana laboratorija u Zavodu razvijao se zajedno sa Zavodom i stalno prilagođavao potrebama struke te je svoju djelatnost osim ispitiva-

nja namještaja, dijelova za namještaj i premaza proširio i na ispitivanje opreme dječjih igrališta. Suradnjom s proizvođačima namještaja i opreme u razvoju proizvoda djelatnici Laboratorija stalno rade i na povećanju osviještenosti o potrebi ispitivanja kvalitete proizvoda. Laboratorij će dugoročno nastaviti s proširenjem akreditiranih metoda, edukacijom kadrova i radom na razvoju novih metoda i uređaja za ispitivanje različitih vrsta namještaja, dijelova za namještaja i opreme kako bi ostao konkurentan na zahtijevnom europskom tržištu.

Literatura

[1] Božić, N.: 120 godina Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 9789532920581, Zagreb, (2018)

[2] Ljuljka, B: Zavod za konstrukcije i tehnologiju proizvoda od drva, U Pola stoljeća drvnotehnološke nastave, Šumarski fakulet, 953-6307-30-8, Zagreb, (1998), str. 231-254

[3] Gregić, M.: Trideset godina rada Instituta za drvo u Zagrebu (1949-1979), Drvna industrija, 30 (1979) Br.11-12, str. 321-339, ISSN 0012-6772

[4] Vlaović, Z.: Laboratorij za ispitivanje namještaja i dijelova za namještaj-novoakreditirani laboratorij Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Drvna industrija, 62 (2011) Br.4, str.315-318, ISSN 0012-6772

[5] Vlaović, Z. Laboratorij za ispitivanje namještaja i opreme dječjih igrališta (LIN), Dostupan na https://www.sumfak.unizg.hr/hr/strucni-rad-i-usluge/laboratoriji-drvnotehnoloskog-odsjeka/laboratorij-za-ispitivanje-namjestaja-i-opreme-djecjih-igralista/Pristupljeno: 2022-01-22

Istraživačko-edukacijsko središte Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu smješteno u Zadru

Verica Dragović-Uzelac[1], Sandra Pedisić[2] i Vladimir Mrša[3]

[1] član suradnik, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu
[2] Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu
[3] redoviti član, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Sažetak: *Godine 2006. osnovano je u okviru Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu Međunarodno edukacijsko-istraživačko središte locirano u zgradi Fakulteta u Zadru. Za stavljanje u funkciju prostora koji je u to vrijeme bio devastiran i praktički neupotrebljiv osigurana su sredstva uz značajnu participaciju Grada Zadra i Zadarske županije čime je omogućena izgradnja i opremanje laboratorija. Od 2010. godine u Centru se kontinuirano i sustavno provode brojne znanstveno-istraživačke aktivnosti koje obuhvaćaju implementaciju različitih kategorija projekata financiranih iz nacionalnih izvora te najvećim dijelom iz fondova EU. Uspješnom implementacijom projekata ojačan je znanstveno-istraživački kapacitet Centra te infrastruktura kroz nabavu sofisticirane tehnološke te analitičke opreme i laboratorijskih uređaja. Također, u Centru se provode i istraživanja vezana uz izradu završnih, diplomskih i doktorskih radova te surednja s gospodarstvom.*

Ključne riječi: *prehrambena tehnologija, analitika prehrambenih proizvoda, istraživačko središte, Prehrambeno-biotehnološki fakultet.*

1. Uvod

Prehrambeno-biotehnološki fakultet (PBF) kao jedna od sastavnica Sveučilišta u Zagrebu započeo je samostalno djelovanje 1980. godine razdvajanjem Tehnološkog fakulteta na današnji Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije i Prehrambeno-biotehnološki fakultet. PBF organizira i izvodi nastavu na tri preddiplomska studija, Prehrambena tehnologija, Biotehnologija i Nutricionizam, kao i pet diplom-

skih studija (Prehrambeno inženjerstvo, Upravljanje sigurnošću hrane, Bioprocesno inženjerstvo, Molekularna biotehnologija i Nutricionizam). Uz to, na fakultetu se izvode i dva poslijediplomska specijalistička studija Upravljanje hranom i Kvaliteta i sigurnost hrane, a PBF sudjeluje i u izvođenju sveučilišnog interdisciplinarnog specijalističkog studija Intelektualno vlasništvo. Konačno, PBF izvodi i doktorski studij Biotehnologija i bioprocesno inženjerstvo, prehrambena tehnologija i nutricionizam. Kroz znanstveno-obrazovni ciklus PBF školuje visokoobrazovane kadrove za rad u gospodarskim subjektima prvenstveno prehrambene i farmaceutske industrije, znanstveno-istraživačke i strukovne institucije, kao i za različite savjetodavne i stručne službe. Osnovna područja djelovanja PBFa su proizvodnja, prerada, skladištenje, kontrola kvalitete prehrambenih proizvoda i općenito ekspertiza u području prehrambenih tehnologija uključujući i zbrinjavanje tehnološkog otpada i otpadnih voda prehrambene industrije. Nadalje, Zavodi i Laboratoriji PBFa bave se istraživanjima i razvojem širokog raspona biotehnoloških procesa, od klasičnih fermentativnih tehnologija i bioprocesnog inženjerstva do suvremenih postupaka razvoja kemijskih i biokemijskih entiteta s biološkim djelovanjem. Također, djelatnici PBFa bave se i različitim aspektima nutricionizma, posebno kakvoćom prehrane i kontrolom kvalitete hrane. Posebna organizacijska jedinica PBFa je Centar za kontrolu namirnica koji visokostručnim aktivnostima pruža usluge analize prehrambenih proizvoda i kontrole kvalitete. Poseban interes Fakulteta je dakle sveukupni razvoj struke i u tom smislu disperzija obrazovanja i znanstveno-stručnih aktivnosti vezanih uz proizvodnju hrane u drugim hrvatskim centrima pa su tako nastavnici PBFa odigrali odlučujuću ulogu u formiranju Prehrambeno-tehnološkog fakulteta u Osijeku početkom sedamdesetih godina prošlog stoljeća, a pomažu i u izvođenju nastave i organizacijskim poslovima i na drugim hrvatskim visokim učilištima koji imaju studijske programe sličnog profila. Tako se i uspostava jedne znanstveno-nastavne jedinice u zgradi PBFa u Zadru nametnula kao mogućnost širenja suradnje sa Sveučilištem u Zadru, lokalnom samoupravom i gospodarstvenicima zadarskog kraja i kao prilika da se kroz takove suradnje proširi djelokrug aktivnosti Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta.

2. Ideja osnivanja Međunarodnog edukacijsko-istraživačkog središta PBFa u Zadru

Edukacijsko-istraživačko središte Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu, locirano u Zadru, osnovano je u razdoblju od 2005. do 2008. godine. Bilo je to za sva hrvatska sveučilišta burno razdoblje prelaska na nove tzv. „bolonjske“ programe što je na svim fakultetima, pa i PBFu iziskivalo značajne napore i nastavnika i nenastavnog osoblja, ali je ujedno bila i prilika da se uvođenjem adekvatnih promjena unaprijede znanstveno-nastavni procesi i općenito kvaliteta studija. Reforma visokoškolskog sustava u Republici Hrvatskoj poduzimala se između osta-

lih razloga i zbog spoznaje da postojeći oblici nastave na visokim učilištima nisu zadovoljavali sve izraženije i različitije potrebe poslodavaca. Stoga su se uvodili novi suvremeniji studiji, a postojeći su se modernizirali implementacijom novih modula koji su pratili diversifikaciju znanstvenih spoznaja u pojedinim područjima. Poseban naglasak stavljan je na osposobljenost studenata za razliku od dotadašnjih studija koji su bili usmjereni prvenstveno na stjecanje znanja. Evidentan problem tadašnjeg modela studiranja bio je teško snalaženje studenata na svojim prvim radnim mjestima jer veliki broj njih, iako su vladali zadovoljavajućim stručnim znanjem, nisu stekli adekvatne kompetencije, teško su primjenjivali znanje u praksi i zahtijevali su relativno dugo razdoblje prilagodbe praktičnim uvjetima koje su nalazili kod poslodavca. Osim toga, formalno obrazovanje stručnjaka završavalo je stjecanjem diplome i izlaskom iz sustava visokog obrazovanja. Za većinu visokoškolski obrazovanog kadra time je završavalo njihovo školovanje iako su na svojim radnim mjestima bili suočeni sa stalnim i brzim razvojem tehnologija, novom metodologijom, nužnim razvojem novih proizvoda ili usluga itd. Upravo zato novi model visokoškolskog obrazovanja predviđao je veći broj razina visokog obrazovanja od kojih je zadnji, četvrti ciklus namijenjen cjeloživotnom obrazovanju i odnosi se na različite oblike doškolovanja i dodatnog osposobljavanja kadrova koji su već završili svoje formalno obrazovanje na sveučilištima. Cjeloživotno obrazovanje posebno je značajno za kadrove tehnoloških profila jer upravo u području tehnologija svjedočimo izuzetno brzom i raznolikom razvoju, a samo industrija koja posjeduje i vlada najnovijim tehnologijama može na globalnom tržištu biti konkurentna.

Novi obrazovni ciklusi zahtijevaju i nove oblike i način ustroja nastave. U tu svrhu pristupilo se revitalizaciji zgrade Prehrambeno biotehnološkog fakulteta u Zadarskoj četvrti Borik, a osnovna ideja sastojala se u formiranju međunarodnog edukacijsko-istraživačkog centra u kojem bi bili zastupljeni neki od aktuelnih segmenata nastave i istraživanja koja se provode na Fakultetu u Zagrebu, a koja su od posebnog interesa za mediteranski pojas i posebno, širu regiju Zadar. Prostor u zgardi PBFa u Zadru podijeljen je u osnovi na dva dijela. U prvom dijelu osmišljeni su i opremljeni laboratoriji čiji je sadržaj prilagođen stručnom i znanstveno-istraživačkom radu, a drugi dio namijenjen je stanovanju studenata i njihovih voditelja, odnosno dijela polaznika ili predavača na kursevima.

Vrlo konkretan interes za ovu ideju iskazalo je od samog početka i nekoliko tadašnjih međunarodnih partnera PBFa među kojima Politeque Montpellier, Universite Montpellier 2, te sveučilišta u Sevilli i Palermu. Tako su se stekli preduvjeti da planirani centar bude međunarodnog karaktera i da u njegovom opremanju, kao i kasnijim djelatnostima sudjeluju i suradne institucije drugih zemalja. Politeque Montpellier jedno je od vodećih europskih visokih učilišta u područjima prehrambene tehnologije i tehnologije vode pa je u tom pogledu idealno komplementirao djelatnosti PBFa u Zagrebu što je i rezultiralo višegodišnjom suradnjom između dvije institucije.Tako-

đer su se već tada planirali i dodatni pregovori s više europskih sveučilišta i instituta iz zemalja s razvijenom znanošću o marikulturama. Osim stranih sveučilišta u projekt se vrlo aktivno uključilo i Sveučilište u Zadru koje je bilo neposreno zainteresirano za suradnju kako u različitim istraživačkim projektima, tako i u izvođenju zajedničkih studija.

Prvi idejni plan osnivanja Središta u Zadru izrađen je u ožujku 2005. godine i sadržavao je uz opis prostora i osnovne ideje i mjere koje bi se trebale poduzeti da se prostor dovede u funkcionalno stanje. Ideja je izložena predstavnicima Grada Zadra i Zadarske županije i odmah naišla na potporu i suglasnost da se i Grad i Županija uključe aktivno u njenu realizaciju. U siječnju 2006. godine izrađen je izvedbeni plan u kojem su dogovorene aktivnosti bile detaljno razrađene što je omogućilo i izradu financijske konstrukcije uređenja prostora. Dana 23. studenog 2006. potpisan je Sporazum o osnivanju i početku rada Međunarodnog edukacijsko-istraživačkog središta u Zadru između Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta u Zagrebu, Grada Zadra, Sveučilišta u Zadru, Zadarske županije i Županijske komore Zadar u kojem je definirano da će Grad Zadar i Zadarska županija investirati ukupno 930.000,00 kn u uređenje prostora (620.000,00 kn Grad i 310.000,00 kn Županija) u prizemlju i suterenu zgrade u kojima su smješteni laboratoriji i predavaonica. Županijaska komora obvezala se putem svojih članica osigurati 1,064.000,00 kn za uređenje i opremanje podrumske etaže u kojoj će biti smješten Laboratorij za prehrambene tehnologije. Također, predviđene su i glavne znanstvene i znanstveno-nastavne aktivnosti koje bi se u novouređenom prostoru izvodile. Treba naglasiti da dio tih aktivnosti nije nikada zaživio u praksi već se namjena laboratorija i ostalog prostora prilagođavao dobivenim projektima i istraživanjima koja su se u okviru tih projekata izvodila. Temeljem Sporazuma formiran je Savjet središta od po jednog predstavnika svakog potpisnika a za predsjednika Savjeta izabran je prof. dr. sc. Vladimir Mrša. Uloga Savjeta bila je koordinacija svih aktivnosti vezanih uz uređenje, opremanje i početak rada Središta.

Slika 1: Prostor Međunarodnog edukacijsko-istraživačkog središta prije uređenja

3. Prostor i oprema Međunarodnog edukacijsko-istraživačkog - središta PBFa u Zadru

Zgrada Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta nalazi se na vrlo atraktivnoj lokaciji na adresi Prolaz Petra Kasandrića 6, u grdaskoj četvrti Borik, pedesetak metara od mora. Do zgrade vodi cesta dovoljno široka za transport opreme kamionom, a do ulaza u suterenski prostor vodi rampa kao kamionski pristup do dvokrilnih vrta dovoljne veličine za prolaz kamiona. Ovakva organizacija prostora omogućuje jednostavno opremanje prostora poluindustrijskom opremom, a praktična je i za redovito djelovanje središta. Zgrada se sastoji od 1242 m^2 korisne površine od čega je 857 m^2 u vlasništvu PBFa. Prostor je raspoređen u tri etaže - suteren, te prvi i drugi kat. Treba napomenuti da prostor od Domovinskog rata nije bio u funkciji i da je bio građevinski u vrlo lošem stanju i funkcionalno neupotrebljiv pa je za njegovo vraćanje u funkciju trebalo poduzeti značajne građevinske radove. Ti su radovi financirani dijelom od sredstava PBFa, a dijelom sredstvima koje su osigurali Grad Zadar i Zadarska županija.

Slika 2: Položaj zgrade u kojoj se nalazi Međunarodno edukacijsko-istraživačko središte PBFa

Prva faza građevinskih radova na uređenju prizemlja i suterena započela je u srpnju 2007. i dovršena u listopadu iste godine čime je prvi dio prostora uređen i stavljen u funkciju.

U opremanju prostora laboratorijskom i drugom opremom sudjelovao je Prehrambeno-biotehnološki fakultet, a u rujnu 2007. godine potpisan je sporazum s tvrtkom Gentius, d.o.o. kojoj je stavljen na raspolaganje dio prostora, a koja je za uzvrat Središtu stavila na raspolaganje najsuvremeniju opremu za molekulsku dijagnostiku za

potrebe nastave i znanstveno-istraživačkog rada Središta. Daljnje opremanje prostora slijedilo je potrebe konkretnih projekata koji su se u Središtu provodili.

4. Znanstveno-istraživačke aktivnosti Centra

Od 2010. godine u Centru se kontinuirano i sustavno provode brojne znanstveno-istraživačke aktivnosti koje obuhvaćaju implementaciju različitih kategorija projekata financiranih iz nacionalnih izvora te najvećim dijelom iz fondova EU. Uspješnom implementacijom projekata ojačan je znanstveno-istraživački kapacitet Centra te infrastruktura kroz nabavu sofisticirane tehnološke te analitičke opreme i laboratorijskih uređaja. Osim znanstveno-istraživačkih aktivnosti koje se provode u okviru projekata u Centru se provode i istraživanja vezana uz izradu završnih, diplomskih i doktorskih radova te surednja s gospodarstvom.

U nastavku je kronološki naveden popis projekata koji su proteklih 12 godina uspješno implementirani te kratki opis istraživanja:

1. Sour cherry Marasca (Prunus cerasus var. Marasca) as an ingredient for functional food; IPA Component IIIC Regional Competitiveness Operational Programme, 2007-2011; Science and Innovation Investment Fund; (2010-2012.)-voditeljica: prof.dr.sc. Verica Dragović-Uzelac; budžet: 496.800,00 eura.

Navedeni projekt od iznimne je važnosti za jačanje znanstveno-istraživačkog kapaciteta i razvoj Centra, ali i cijelog fakulteta. Financiran je iz fondova EU, a značajan dio sredstava utrošen je za kupnju nove opreme i sofisticiranih analitičkih uređaja čime su se stvorili preduvjeti za provođenje vrhunskih istraživanja u području prehrambene tehnologije i biotehnologije u korak s europskim i svjetskim trendovima.

U okviru projekta 2013. godine osnovan je Laboratorij za procese sušenja i praćenje stabilnosti biološki aktivnih spojeva. Važnost projekta je i u ostvarivanju povezanosti sa tijelima lokalne uprave i samouprave, malim i srednjim poduzećima te društvenom zajednicom u cjelini. Ovaj projekt je zahvaljujući predanom radu svih suradnika ostvario iznimne rezultate te je uvršten u Strategiju pametne specijalizacije RH 2016-2020. kao pozitivan primjer kolaborativnih istraživačko-razvojnih projekata. Ministarstvo regionalnog razvoja i fondova Europske unije je također prepoznalo važnost ovog projekta na nacionalnoj razini te mu je za uspješnu implementaciju 7. lipnja 2013. godine dodijelilo Certifikat za najuspješniji lokalni projekt u Republici Hrvatskoj 2010.-2012. Također, iz rezultata istraživanja provedenih u okviru ovog ovog projekta proizašlo je 8 znanstvenih radova objavljenih u visoko rangiranim časopisima te su obranjena 2 doktorata.

Slika 3: Laboratorij za procese sušenja i praćenje stabilnosti biološki aktivnih spojeva

Slika 4: Prerada plodova višnje Maraske liofilizacijom te proizvodnja praha soka višnje Maraske

Navedeni projekt bio je svojevrsni zamašnjak u sustavnom provođenju interdisciplinarnih istraživanja te baza za znanstveno istraživačke aktivnosti koje su uslijedile narednih godina pa sve do danas. Tijekom implementacije projekta kontinuirano su provođene radionice i edukacija ciljnih skupina te je ostvarena izvrsna suradnja s malim i srednjim te velikim poduzećima poput Maraska d.d. Jamnica d.d., Agrokor group, Čokolada Vitlov, OPG "Babac Damjanić", Viro plus, tijelima lokalne uprave

i samouprave, poljoprivrednom savjetodavnom službom, gradom Zzadrom te Zadarskom županijom. Budući je bio jedan od prvih projekata financiranih iz fondova EU te se bavio višnjom Maraskom kao autohtonom sortom čiji potencijal nije dovoljno prepoznat i iskorišten, pobudio je velik interes javnosti što je medijski bilo izvrsno popraćeno, a što je značajno doprinjelo promidžbi cijelog fakulteta.

Slika 5: Održavanje radionica i medijsko predstavljanje projekta

2. Processing Raw Materials into Excellent and Sustainable End products while Remaining Fresh (call identifier FP7-KBBE-2009-3), (2010.-2014.)-voditeljica: prof.dr.sc. Draženka Komes; budžet PBF-a kao partnera: 179.297,00 eura

Projekt je bio fokusiran na razvoj novih tehnika konzerviranja krutih namirnica (zamrznute, sušene i pakirane) s ciljem produženja roka trajnosti i zadovoljavanja sve zahtjevnijih potreba tržišta i potrošača. Istraživan je utjecaj tri inovativne tehnike na očuvanje kvalitete selektiranih namirnica te utjecaj njihovih kombiniranih djelovanja na učinkovitije održavanje kvalitete i svježine proizvoda (nutritivne vrijednosti, okusa). Dio istraživačkih aktivnosti primarno vezanih za određivanje različitih skupina bioaktivnih molekula, u selektiranim svježim vrstama voća i povrća, provodio se u Centru i to na uređajima koji su nabavljeni sredstvima prethodno navedenog projekta.

3. "Primjena inovativnih tehnologija u izolaciji bioakivnih spojeva iz organskog otpada u proizvodnji vina", Strukturni fondovi EU u sklopu programa 2007.-2013./ Poziv: „Jačanje kapaciteta za istraživanje, razvoj i inovacije", RC.2.2.08. (2014-2016)-voditeljica: prof.dr.sc. Verica Dragović-Uzelac; budžet: 4.222.196,00 kn.

Projekt je provođen u suradnji sa poduzećem Agrolaguna d.d. iz Poreča, a cilj istraživanja bio je unaprijediti konvencionalne i razviti napredne ekološki prihvatljivije tehnologije iskorištavanja organskog otpada od proizvodnje vina te jačanje povezanosti između znanstvenog i poslovnog sektora. Kao rezultat provedenih istraživanja publicirana su 4 znanstvena rada, a dobiveni rezultati predstavljaju značajan doprinos u području valorizacije nusproizvoda prehrambene industrije naročito uz primjenu naprednih tehnika ekstrakcije koje omogućavaju provođenje postupaka uz smanjen udio organskih otapala, kraće vrijeme ekstrakcije i time indirekno smanjen štetni utjecaj na okoliš.

Navedeni projekt je nominiran za dodjelu priznanja RegioStars 2016, te je u konačnici odabran kao jedan od pet najuspješnije provedenih projekata iz kategorije „Sustainable Growth“ „Operatinal Programme Regional Competitiveness 2007-2013. Call: „Sthrengthening capacities for research, development and innovation“ (Bruxelles, Belgija).

Slika 6: Priznanje RegioStars 2016 za projekt “Primjena inovativnih tehnologija u izolaciji bioakivnih spojeva iz organskog otpada u proizvodnji vina”

4. Projekt BEE Promoted /Promocija pčelarstva, IPA prekogranični program Hrvatska – Bosna i Hercegovina 2007-2013- voditeljica: prof.dr.sc. Nada Vahčić, budžet: 649.509,62 eura

Projekt „Promocija Pčelarstva“ provodio se od 20.12.2014. do 19.12.2016. godine na području Zadarske županije, Unsko-sanskog kantona te Općine Posušje. Partneri na projektu na području Hrvatske su bili Prehrambeno-biotehnološki fakultet - Centar Zadar, Zadarska županija, Agencija za razvoj Zadarske županije ZADRA NOVA i Udruga pčelara „Dalmatinka“, a na području BIH Veterinarski zavod

Bihać, Razvojna agencija Unsko-sanskog kantona i Udruga pčelara „IVA“. Projekt je doprinio općem cilj IPA prekograničnog Programa Hrvatska-Bosna i Hercegovina osnivanjem prekograničnih mreža i partnerstva te razvojem zajedničkih prekograničnih aktivnosti u cilju revitalizacije gospodarstva, zaštite prirode i okoliša te povećanja socijalne kohezije Programskog područja te je izuzetno značajan za regionalni razvoj obje države kao i prekograničnu suradnju između institucija partnera u ovom projektu. Kroz podršku malim i srednjim poduzećima i njihovoj promociji u proizvodnji meda i ostalih pčelinjih proizvoda projekt „Promocija pčelarstva” doprinio je integraciji gospodarstva u pograničnim područjima.

5. Application of innovative technologies for production of plant extracts as ingredients for functional food - (IT-PE-FF), (2014-2018), HRZZ, voditeljica: prof. dr.sc. Verica Dragović-Uzelac; budžet: 968.000,00 kn.

U okviru projekta istraživan je sastav bioaktivnih spojeva (npr. polifenoli, karotenoidi, organosumporni spojevi) selektiranih vrsta ljekovitog bilja koji mogu utjecati na nutritivna, kemijska, mikrobiološka i senzorska svojstva prehrambenih proizvoda, te potencijalne pozitivne učinke na zdravlje (npr. smanjenje rizika od kardiovaskularnih oboljenja, dijabetesa, pretilosti, hipertenzije). Za izolaciju bioaktivnih spojeva i proizvodnju biljnih ekstrakata primjenjivane su različite inovativne tehnike ekstrakcije (npr. ekstrakcija potpomognuta mikrovalnom, ultrazvukom i visokim tlakom), a antioksidatvno djelovanje ekstrakata određivano je primjenom različitih metoda. Istraživanja su provođena u suradnji s partner institucijama Prirodoslovno matematičkim te Agronomskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu, a najveći dio istraživanja zahvaljujući opremi nabavljenoj većim dijelom sredstvima projekata financiranih iz fondova EU provođen je u Centru Zadar. Sa Prirodoslovno matematičkim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu, Zavodom za animalnu fiziologiju, određivani su antiproliferativni učinci na tumorske stanice i moguća zaštitna uloga od oksidacije lipida (uključujući antioksidativno djelovanje), a učinkovitost ekstrakta ljekovitog bilja ispitivana je na životinjskim modelima s fokusom na određivanje biološke dostupnosti; apsorpcije; antioksidativnog djelovanja; te mogućnosti primjene u razvoju funkcionalnih proizvoda. Iz rezultata istraživanja provođenih u okviru ovog projekta ukupno je proizašlo 9 publikacija u visokorangiranim časopisima te su uspješno obranjena 2 doktorata.

6. Innovative techniques in potato minimal processing (Solanum tuberosum) and its safety after preparation (2017-2021), HRZZ, voditeljica: prof. dr. sc. Branka Levaj; budžet: 951.000,00 kn.

Tijekom projekta istraživao se kemijski sastav različitih sorata krumpira i njegove promjene tijekom prerade u minimalno procesirani krumpir kao i tijekom skladištenja. Tijekom prerade korištena su sredstava protiv posmeđivanja i/ili netoplinske teh-

nologije (ultrazvuk visokog intenziteta, visoki hidrostatski pritiska i ultraljubičasto svjetlo) u svrhu produljenja trajnosti proizvoda. Nadalje, istraživao se sastav krumpira nakon termičkog tretmana (pripreme za jelo), posebice u svrhu praćenja udjela nepoželjnih policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAH) te akrilamida koji nastaje tijekom prženja i pečenja. Osim navedenog te osnovnih fizikalno-kemijskih svojstava krumpira (npr. boja, tekstura) bilo prije ili nakon prerade te termičkog tretmana određivao se sastav fenolnih spojeva i pojedinačnih šećera, a također iI senzorska svojstva. Određivanje akrilamida, fenolnih spojeva I pojedinačnih šećera provođen je u Centru Zadar zahvaljujući opremi nabavljenoj najvećim dijelom sredstvima projekata financiranih iz fondova EU, a koja se tamo nalazi. Iz istraživanja provedenih u okviru ovog projekta proizašlo je 9 publikacija u visokorangiranim časopisima, te 2 a2 i 3 a3 rada kao i više diplomskih i završnih radova, te jedan doktorski rad.

7. High Hydrostatic Pressure Processing of Functional Fruit and Vegetable Juices (IP-2016-06-4006),(2017-2021), HRZZ, voditelj: prof.dr.sc. Damir Ježek; budžet: 999.000,00 kn

U okviru projekta fokus je bio na primjeni novih tehnika poput visokog hidrostatskog tlaka (VHT) o očuvanju bioaktivnih spojeva, uz zadržavanje poželjnih senzorskih svojstava te mikrobiološke stabilnosti tijekom skladištenja. Istraživan je biološki potencijal različitih vrsta voća i povrća s krajnjim ciljem formuliranja voćnih ili povrtnih sokova i smoothija koji će sadržavati visok i izbalansiran udio bioaktivnih spojeva, dobrih senzorskih svojstava te veće stabilnosti tijekom skladištenja. Dio istraživanja koja su se odnosila na određivanje sastava i udjela bioaktivnih spojeva u sirovinama, sokovima i smoothijima primjenom HPLC s PDA, FD i RI detektorima te LC-MS/MS provođen je u Centru Zadar.

Aktivni projekti i istraživanja koja se u okviru istih provode navedeni su u nastavku:

8. CENTRE OF EXCELLENCE FOR MARINE BIOPROSPECTING- „Bio-Prospecting Jadranskog mora“- suradnik-voditelj radnog paketa Phase 2: Identification, extraction, optimization and purification of biomolecules, (2017.-2022), Operativni program „Konkurentnost i kohezija 2014.-2020.Poziv: „Vrhunska istraživanja Znanstvenih centara izvrsnosti. Voditelj: Dr.sc. Rozelindra Čož-Rakovac; budžet: 37.775.735,86 kuna

Navedeni projekt provodi se u suradnji s Institutom Ruđer Bošković koji je ujedno i nositelj projekta, a PBF je uključen kao partner i to kroz 3 radna paketa odnosno 3 istraživačka tima kojima koordiniraju prof.dr.sc. Verica Dragović-Uzelac, prof.dr.sc. Antonio Starčević te prof.dr.sc. Božidar Šantek. U okviru ovog projekta provode se vrhunska istraživanja u području biotehnologije mora, koja uključuju primjenu

bioloških znanja i najsuvremenijih tehnika u istraživanju morskog okoliša i njegovih bioloških komponenti, bilo kao izvora ciljanih biotehnoloških proizvoda i njihove primjene: novi enzimi (bio-katalizatori), proteini i peptidi, sekundarni metaboliti, polisaharidi (bakterije, morske alge), masne kiseline i lipidi (alge). Iako su bogatstvo i raznolikost morskih sustava dobro poznati, njihova dostupnost i iskorištavanje u Hrvatskoj do sada je bila vrlo ograničena te je dosadašnji istraživački rad na hrvatskim morskim resursima bio ograničen kroz nekoliko odvojenih međunarodnih projekata. Na razini cijelog projekta do sada je objavljeno 55 radova, a istraživački timovi s PBF-a su pridonjeli s 20 znanstvenih radova. Na razini cijelog projekta zaposleno je 10 doktoranada i 10 poslijedoktoranada.

9. Bioaktivne molekule ljekovitog bilja kao prirodni antioksidansi, mikrobiocidi i konzervansi; EU strukturni fondovi Ulaganje u sklopu poziva Znanost i inovacije – Prvi poziv; Operativni program Konkurentnost i kohezija 2014.-2020./ Science and Innovations Investment Fund-first call; Operational programme Competitiveness and Cohesion 2014-2020, KK.01.1.1.04.0093; voditeljica: prof.dr.sc. Verica Dragović-Uzelac; budžet: 7.194.652,18 kuna

Projekt je interdisiplinarnog karaktera te se provodi u suradnji s Prirodoslovno matematičkim i Farmaceutsko biokemijskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu. Specifični ciljevi projekta su definiranje optimalnih uvjeta proizvodnje i enkapsulacije biljnih ekstrakata i eteričnih ulja selektiranih vrsta bilja (npr. mirta, lovor, pasji trn, tršlja, kadulja, list masline) te određivanje utjecaja njihovih bioaktivnih molekula na oksidacijski stres i modulaciju crijevne mikroflore u poticanju i održavanju zdravog gastrintestinalnog sustava i mikrobne homeostaze. Krajnji cilj projekta je primjena biljnih ekstrakata i eteričnih ulja u proizvodnji funkcionalnih proizvoda, dodataka prehrani te prirodnih konzervansa. Implementacija ovog projekta pozitivno utječe na razvoj i izgradnju IRI sektora kroz interdisciplinarnu integraciju i jačanje znanstveno-istraživačkog kapaciteta znanstvenih institucija uključenih u provedbu te razvoju koncepta primjene bioaktivnih molekula u prehrambenoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji. Iz dosada provedenih istraživanja objavljeno je ukupno 8 radova u visokorangiranim časopisima te je u fazi izrade 5 doktorata.

10. Izolacija i enkapsulacija bioaktivnih molekula samonikle i kultivirane koprive i komorača i učinci na fiziologiju organizma (PlantBioPower), (2018-2022), HRZZ, voditeljica: prof.dr.sc. Verica Dragović-Uzelac; budžet: 1.500.000,00 kn

U okviru ovog projekta provode se istraživanja kojima je cilj: definirati biološki potencijal samonikle koprive i komorača s različitih prirodna staništa te utvrditi utjecaj ishrane i agrotehničkih mjera na biosintezu bioaktivnih molekula tijekom vegetacije; optimirati postupake proizvodnje biljnih ekstrakata i eteričnih ulja te postupake enkapsulacije; (iii) odrediti djelovanje bioaktivnih molekula koprive i komorača u

prisutnosti mikotoksina na endogene probiotičke bakterije kolona, enzimsku aktivnost mikrobioma te posljedični tkivni i sistemski antioksidativni, antigenotoksični, metabolički, transkripcijski, upalni i imunosni odgovor domaćina; (iv) iznaći funkcionalne sastojake kao alternativni, ne-farmaceutski pristup u održavanju zdravlja i dobrobiti crijeva kroz promicanje crijevne mikrobne homeostaze. Projekt se provodi u suradnji s Prirodoslovno matematičkim i Agronomskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu te Institutom za poljoprivredu i turizam u Poreču. Iz do sada provedenih istraživanja objavljeno je 7 radova u visokorangiranim časopisima, a u postupku izrade su 4 doktorata.

11. Bioaktivni spojevi odabranih mediteranskih biljaka i njihovi učinci na mikrobiotu crijeva, Bilateralni hrvatsko-kineski znanstveno-istraživački projekt, (2019-2023) MZO; voditeljica: doc. dr.sc. Sandra Pedisić; budžet: 60.000,00 kn

Ciljevi ovog znanstveno-istraživačkog projekta su definirati biološki potencijal odabranih mediteranskih biljaka, optimizacija ekstrakcije i proizvodnje ekstrakata mediteranskih biljaka te određivanje učinka bioaktivnih spojeva odabranih mediteranskih biljaka na mikrobiotu crijeva

12. Improving storability and nutritional quality of fruits and vegetables by postharvest irradiation with light wavelengths from 250 nm - 590 nm (2020-2022), MZO, bilateralni projekt Hrvatska-Slovenija, voditeljica s hrvatske strane prof. dr. sc. Branka Levaj; budžet: 4.000,00 eura.

Tijekom projekta provode se istraživanja utjecaja zračenja svjetlosti različitih vrsta valnih duljina na kvalitetu voća i povrća (ViP) obzirom da svjetlo ima značajan utjecaj na fiziološke i biokemijske promjene ViP kako prije tako i poslije berbe što može rezultirati produljenom trajnosti. U tu svrhu istražuje se i sinergijski učinak eteričnih ulja biljaka. Prate se osnovna fizikalno-kemijska svojstava ViP (npr. boja, tekstura) te sastav fenolnih spojeva i antioksidacijski kapacitet, te također senzorska svojstva. Određivanje sastava fenolnih spojeva iI antioksidacijskih svojstava provodi se u Centru Zadar zahvaljujući opremi koja se tamo nalazi, a nabavljena je sredstvima projekata financiranih iz fondova EU.

Osim znanstveno-istraživačkih projekata u Centru su provođene i brojne suradnje s gospodarstvom od kojih su značajnije suradnja s Podravka d.d., Maraska d.d., Biofracta d.o.o., BioPlanet d.o.o. kao i sa Zadarskom županijom, Splitsko-dalmatinskom i Dubrovačko-nertevanskom županijom.

Posebna važnost znastveno-istraživačkih aktivnosti i projekata koji se kontinuirano i sustavno provode u Centru je da su izvrsna podloga za učinkovitiju integraciju hrvatskih znanstvenika u europski istraživački prostor, ulaganje u obrazovanje mladih

istraživača te da pridonose unaprijeđenju učinkovitosti, djelotvornosti i izvrsnosti javnog istraživačkog sustava.

3. Zaključak

Formiranje Međunarodnog istraživačko-edukacijskog središta u Zadru omogućilo je provođenje istraživanja u okviru niza nacionalnih i međunarodnih istraživačkih projekata. Na taj način proširena je ekspertiza Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, ostvarena su značajna financijska sredstva kojima je nabavljena najsuvremenija tehnološka i analitička oprema, a omogućena je i edukacija diplomanada i doktoranada najmodernijim eksperimentalnim tehnikama. Na taj način prošireni su istraživački kapaciteti Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta i omogućeno intenziviranje međunarodne suradnje i procesa internacionalizacije Fakulteta.

Literatura-popis najznačajnijih radova objavljenih ka rezultat navedenih projekata

[1] Dobroslavić, E.; Repajić, M.; Dragović-Uzelac, V. & Elez Garofulić, I. (2022) Isolation of Laurus nobilis leaf polyphenols: A review on current techniques and future perspectives. Foods, 11(2), 235. https://doi:10.3390/foods11020235

[2] Repajić, M.; Cegledi, E.; Zorić, Z.; Pedisić, S.; Elez Garofulić, I.; Radman, S.; Palčić, I. & Dragović-Uzelac, V. (2021) Bioactive Compounds in Wild Nettle (Urtica dioica L.) Leaves and Stalks: Polyphenols and Pigments upon Seasonal and Habitat Variations. Foods, 10(1), 190; https://doi.org/10.3390/foods10010190

[3] Elez Garofulić, I.; Malin, V.; Repajić, M.; Zorić, Z.; Pedisić, S.; Sterniša, M.; Smole Možina, S. & Dragović-Uzelac, V. (2021) Phenolic profile, antioxidant capacity and antimicrobial activity of nettle leaves extracts obtained by advanced extraction techniques. Molecules, 26(20), 6153. https://doi:10.3390/molecules26206153

[4] Balbino, S.; Repajić, M.; Obranović, M.; Medved, A.M.; Tonković, P. & Dragović-Uzelac, V. (2021) Characterization of lipid fraction of Apiaceae family seed spices: Impact of species and extraction method. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 25, 100326. https://doi:10.1016/j.jarmap.2021.100326

[5] Repajić, M.; Cegledi, E.; Zorić, Z.; Pedisić, S.; Elez Garofulić, I; Radman, S.; Palčić, I. & Dragović-Uzelac, V. (2021) Bioactive Compounds in Wild Nettle (Urtica dioica L.) Leaves and Stalks: Polyphenols and Pigments upon Seasonal and Habitat Variations. Foods, 10(1), 190. https://doi:10.3390/foods10010190

[6] Dobrinčić, A.; Pedisić, S; Zorić, Z.; Jurin, M.; Roje, M.; R.; Čož-Rakovac, R. & Dragović-Uzelac, V. (2021) Microwave Assisted Extraction and Pressurized Liquid Extraction of Sulfated Polysaccharides from Fucus virsoides and Cystoseira barbata// Foods, (10) 7; 1481 https://doi.org/10.3390/foods10071481

[7] Jurić, S.; Jurić, M.; Król-Kilińska, Ż.; Vlahoviček-Kahlina, K.; Vinceković, M.; Dragović-Uzelac, V. & Donsì, F. (2021) Sources, stability, encapsulation and application of

natural pigments in foods // Food Reviews International https://doi:10.1080/87559129.2020.1837862

[8] Jackson, P.; Guadalupe Rivera Ferre, M.; Candel, J.; Davies, A.; Derani, C.; de Vries, H.; Dragović-Uzelac, V.; Håkon Hoel, A.; Holm, L.; Mathijs, E.; Morone, P.; Penker, M.; Śpiewak, R.; Termeer, K. & Thøgersen, J. (2021) Food as a commodity, human right or common good. Nature Food (2), 132; https://doi.org/10.1038/s43016-021-00245-5

[9] Crnić, I.; Frančić, T.; Dragičević, P.; Balta, V.; Dragović-Uzelac, V.; Đikić, D. & Landeka Jurčević, I. (2021) Blackthorn Flower Extract Impact on Glycaemic Homeostasis in Normoglycaemic and Alloxan-Induced Hyperglycaemic C57BL/6 Mice; Food Technology and Biotechnology, 59 (3), 349-359; https://doi.org/10.17113/ftb.59.03.21.7057

[10] Pelaić, Z.; Ćošić, Z.; Pedisić, S.; Repajić, M.; Zorić, Z. & Levaj, B. (2021) Effect of UV-C Irradiation, Storage and Subsequent Cooking on Chemical Constituents of Fresh-Cut Potatoes. Foods 10, 1698, https://DOI:10.3390/foods 10081698

[11] Dite Hunjek, D.; Pelaić, Z.; Čošić, Z.; Pedisić, S.; Repajić, M. & Levaj, B. (2021). Chemical constituents of fresh-cut potato as affected by cultivar, age, storage, and cooking. Journal of Food Science, 86(5), 1656-1671. https://DOI:10.1111/1750-3841.15712

[12] Gong, Y.; Ma, Y.; Chi-Keung Cheung P.; You, L.; Liao, L.; Pedisić, S. & Kulikouskaya, V. (2021) Structural characteristics and anti-inflammatory activity of UV/H2O2-treated algal sulfated polysaccharide from Gracilaria lemaneiformis. Food Chem Toxicol.; 152, 112157. https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112157

[13] Han, R.; Ma, Y.; Xiao, J.; You, L.; Pedisić, S. & Liao, L. (2021) The possible mechanism of the protective effect of a sulfated polysaccharide from Gracilaria Lemaneiformis against colitis induced by dextran sulfate sodium in mice. Food Chem Toxicol.; 149:112001. https://doi:10.1016/j.fct.2021.112001

[14] Dobrinčić, A.; Balbino, S.; Zorić, Z.; Pedisić, S.; Bursać Kovačević, D.; Elez Garofulić, I. & Dragović-Uzelac, V. (2020) Advanced Technologies for the Extraction of Marine Brown Algal Polysaccharides. Marine Drugs, 18(3), 168. https://DOI:10.3390/md18030168

[15] Dobrinčić, A.; Repajić, M.; Elez Garofulić, I.; Tuđen, L.; Dragović-Uzelac, V. & Levaj, B. (2020) Comparison of Different Extraction Methods for the Recovery of Olive Leaves Polyphenols. Processes 8(9), 1008. https://DOI:10.3390/pr8091008

[16] Elez Garofulić, I.; Kruk, V.; Martić, A.; Martić, I.; Zorić, Z.; Pedisić, S.; Dragović, S. & Dragović-Uzelac, V. (2020) Evaluation of Polyphenolic Profile and Antioxidant Activity of Pistacia lentiscus L. Leaves and Fruit Extract Obtained by Optimized Microwave-Assisted Extraction. Foods, 9(11), 1556; https://doi.org/10.3390/foods9111556

[17] Dragović, S.; Dragović-Uzelac, V.; Pedisić, S.; Čošić, Z.; Friščić, M.; Elez Garofulić, I. & Zorić, Z. (2020) The Mastic Tree (Pistacia lentiscus L.) Leaves as Source of BACs: Effect of Growing Location, Phenological Stage and Extraction Solvent on Phenolic Content, Food Technology and Biotechnology 58 (3) https://doi.org/10.17113/ftb.58.03.20.6662

[18] Kurek, M.; Elez Garofulic, I.; BakicTranfić, M.; Scetar, M.; Dragović- Uzelac, V. & Galic, K. (2018) Development and evaluationof a novel antioxidantand pH indicator film based on chitosan and foodwaste sources of antioxidants, Food Hydrocolloids, 84, 238-246; https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.050

[19] Bursać Kovačević, D.; Barba, F.J.; Granato, D.; Galanakis, C.M.; Herceg, Z.; Dragović-Uzelac, V. & Putnik, P. (2018) Pressurized Hot Water Extraction (PHWE) for the green recovery of bioactive compounds and steviol glycosides from Stevia rebaudiana Bertoni Leaves. Food Chemistry, 254 (2018), 150-157. https://DOI:10.1016/j.foodchem.2018.01.192

[20] Elez Garofulić, I.; Zorić, Z.; Pedisić, S. & Dragović-Uzelac, V. (2017) Retention of polyphenols in encapsulated sour cherry juice in dependence of drying temperature and wall material. LWT - Food Science and Technology. 83, 110-117. https://DOI:10.1016/j.lwt.2017.05.017

[21] Zorić, Z.; Pelaić, Z.; Pedisić, S.; Elez Garofulić, I.; Bursać Kovačević, D. & Dragović-Uzelac, V. (2017) Effect of Storage Conditions oh Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Spray Dried Sour Cherry Powder. LWT - Food Science and Technology. 79, 251-259., https://DOI:10.1016/j.lwt.2017.01.049

AURALAB – Auralizacijski laboratorij Zavoda za elektroakustiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu

Kristian Jambrošić[1], Marko Horvat[1] i Siniša Fajt[2]

[1] Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu

[2] Redoviti član, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu

Sažetak: *Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu (FER) prije desetak je godina započeo s uspostavljanjem istraživačkih laboratorija radi bržeg i fokusiranog razvoja istraživačke djelatnosti i obrazovanja unutar specifičnih specijalizacija [1]. Potaknut sve bržim rastom i razvojem područja snimanja, obrade i reprodukcije zvuka u sustavima prostornog zvuka, istraživački tim sastavljen od članova Zavoda za elektroakustiku 2012. je godine odlučio osnovati Auralizacijski laboratorij (skraćeno AURALAB). Od samog početka ulažu se veliki napori u nabavu opreme i razvoj svih potrebnih alata za uspješnu implementaciju i auralizacije, i to korištenjem klasične reprodukcije prostornog zvuka pomoću slušalica sa i bez praćenja položaja glave, kao i pomoću sustava zvučnika. Potencijal ovog laboratorija u istraživačkim, nastavnim i stručnim djelatnostima je velik, a ovaj članak opisuje dosadašnja postignuća i mogućnosti koje laboratorij pruža istraživačkom timu, svom fakultetu kao i sveukupnoj akademskoj zajednici.*

Ključne riječi: *Auralizacija, zvučna polja, sustavi za reprodukciju zvuka, binauralni sustavi.*

1. Uvod

Iz šture definicije akustike kao znanosti o zvuku teško je iščitati značaj koji ova grana fizike ima na sveukupnu djelatnost i život ljudi. Sluh je vrlo kompleksno osjetilo koje je ključno za verbalnu komunikaciju, a istodobno pomaže čovjeku spoznati i razumjeti svoju okolinu. Stoga je važno razumjeti fizikalne osnove nastanka i širenja zvuka te interakcije zvučnog vala s okolinom u kojoj se širi, ali i psihoakustičke značajke zvuka koje utječu na njegovu percepciju i spoznaju zvučne okoline. Za potonji aspekt razumijevanja zvuka ključno je područje auralizacije.

1.1. Akustički komfor i akustika prostora

Čovjek u svom životu prirodno stremi osjećaju ugode prilikom boravka u nekom prostoru. Pritom je važno zadovoljiti različite elemente koji utječu na osjet ugode - od vizualno privlačnog interijera, rasvjete, temperature zraka, mirisa, ergonomije stolaca na kojima se sjedi, općeg psihofizičkog stanja ljudi, kao i mnoge druge. Jedan od ključnih čimbenika koji utječe na osjet ugode u prostoru svakako je akustički komfor, odnosno ukupna akustička kvaliteta nekog prostora. Karakteriziramo je akustikom prostora koju projektiramo ovisno o njegovoj namjeni, razinom unutarnje buke te razinom vanjske buke koja je usko povezana s kvalitetom zvučne izolacije prostora. Prostor koji se diči visokom razinom akustičkog komfora odlikuje se dobrom zvučnom izolacijom od okolnih prostora, niskom razinom buke te akustikom prostora prikladnom za određenu namjenu [2, 3].

Iako postoje vrlo jasne preporuke, smjernice i norme kojima su propisane vrijednosti ili rasponi vrijednosti različitih parametara prostorne akustike kojih se treba držati kako bi se korisnici prostora osjećali ugodno i komforno u akustičkom smislu, u praksi su prostorije u novoizgrađenim objektima često neadekvatno akustički dizajnirane s obzirom na svoju namjenu, ili se akustici prostora u fazi dizajna uopće ne posvećuje pozornost. Kolokvijalno rečeno, "akustika" tih prostorija se ne može smatrati dobrom. Iako se akustika kao znanost temelji na fizikalnim zakonima, stručnjacima iz područja akustike nerijetko je teško prenijeti važnost primjene akustičke obrade investitorima i naručiteljima koji ne posjeduju znanje potrebno za razumijevanje stručnih termina i tumačenje numeričkih vrijednosti akustičkih parametara. Zato je vrlo važno pronaći intuitivno i jednostavno rješenje kojim će na razumljiv način biti moguće prenijeti informacije i protumačiti važnost prostorne akustike. Jedno takvo rješenje svakako je auralizacija.

1.2. Buka u okolišu

Buka u okolišu na različite načine utječe na život i zdravlje ljudi [4]. Utjecaj buke na zdravlje primarno se ogleda u promjenama i umanjenju funkcionalnosti sluha. Kratkotrajno izlaganje buci dovodi do privremenog smanjenja osjetljivosti sluha od kojega se uho može oporaviti. Izloženost buci visokog intenziteta i dovoljno dugog trajanja izaziva trajno smanjenje osjetljivosti sluha i tinitus. Osim oštećenja sluha, utjecaj buke na zdravlje čovjeka manifestira se nizom sekundarnih štetnih posljedica kao što je razvoj kardiovaskularnih bolesti, zatajenje srca i bubrega, trajno oštećenje glasa, pogoršanje mentalnog zdravlja, povećanje stresa i napetosti, štetne promjene endokrinog sustava, smanjenje radne produktivnosti i koncentracije, nesanica i kronični umor.

Dobro poznavanje uzročno-posljedične veze između buke i štetnih fizioloških i psiholoških posljedica koje ona ima na zdravlje čovjeka ključno je za sprečavanje ili barem ublažavanje tih posljedica. Zbog toga su ispitivanja koja uključuju slušne testove sa stvarnim ispitanicima i dalje nezaobilazna u istraživanju buke, njezinog širenja i mogućnosti zaštite, kao što je vidljivo na slici 1. I u ovom se slučaju auralizacija nameće kao jedan od bitnih i ujedno vrlo korisnih i praktičnih alata za provedbu ovakvih ispitivanja.

Slika 1: Tri principa zaštite od prevelikih razina buke

2. Auralizacija

Auralizacija se često koristi u akustici, baš kao što se vizualizacija koristi u arhitekturi ne bi li se investitorima lakše pojasnila zamisao i vizija te konačni izgled neke građevine. Najvažnija primjena i ujedno glavni zadatak auralizacije jest vjerno reproducirati snimljen zvučni sadržaj neke stvarne okoline ili sintetizirani zvučni sadržaj neke virtualne okoline koja će se tek realizirati. Pritom se u tako nastaloj zvučnoj slici zadržava informacija i o zvučnom sadržaju i o smjeru dolaska zvuka. Reprodukcija zvuka provodi se u kontroliranim, laboratorijskim uvjetima pomoću zvučnika ili slušalica [5]. Auralizacija otvara neslućene mogućnosti u području subjektivnog vrednovanja široke lepeze akustičkih pojava i fenomena.

Matematička pozadina različitih tehnika auralizacije detaljno je pojašnjena u znanstvenoj literaturi [6]. Svim postojećim tehnikama auralizacije koje su implementirane u komercijalnim računalnim programima zajednička je uporaba geometrijskog mo-

dela prostora kao ulaznog podatka za proces auralizacije. Zvučni val promatra se u domeni geometrijske akustike, pri čemu je ovakav pristup egzaktan samo u području srednjih i visokih frekvencija te u velikim prostorijama. Na niskim frekvencijama, posebno u malim prostorijama, primjećuje se veliki utjecaj vlastitih modova prostorije koje je potrebno proračunati korištenjem numeričkih metoda simulacije kao što su metode rubnih ili konačnih elemenata. Takve su metode znatno zahtjevnije što se tiče procesorske snage računala u odnosu na standardne, statističke metode proračuna. Zbog toga se one još uvijek ne mogu upotrebljavati kao brzi alat za akustički proračun različitih modela prostorija te za auralizaciju zvučnih polja.

2.1. Model prostora

Kako bismo auralizacijom stvorili vjernu reprodukciju zvučnog polja kakvo bi postojalo u zatvorenom ili (polu)otvorenom prostoru koji auraliziramo, nužno je što bolje opisati akustička svojstva samog prostora. U tu je svrhu potrebno izraditi geometrijski model koji uključuje sve značajke ploha koje omeđuju prostor. Pritom se naglasak stavlja na frekvencijski ovisne koeficijente apsorpcije materijala koji čine pojedine plohe, ali i koeficijente raspršenja zvuka, a ponekad i koeficijente transmisije zvuka kroz granične površine u susjedne prostore, pri čemu su i oni frekvencijski ovisni. Nadalje, potrebno je poznavati značajke izvora zvuka i prijamnika, prvenstveno njihov položaj, usmjerenost i međusobnu orijentaciju. Za proračun impulsnog odziva prostorije uz navedene ulazne podatke obično se upotrebljava hibridni model za točkasti izvor zvuka, tj. rane zrcalne refleksije izračunavaju se korištenjem metode zrcalnih izvora (engl. Image Source Method), a kasne refleksije korištenjem algoritma praćenja zraka (engl. Raytracing Algorithm). Uz to, potrebno je uključiti i algoritam koji simulira raspršenje zvuka na svim rubovima ploha prostorije (engl. Sound Scattering). Osim ovakvih razmjerno jednostavnih simulacija postoje i složenije simulacije koje se koriste za zvučne izvore koji se ne mogu prikazati kao točkasti izvori, već se ponašaju kao linijski ili čak površinski izvori. Takav je primjer prozor u prostoriji koji prenosi zvuk iz vanjskog prostora cijelom svojom površinom.

2.1. Zvučno polje sa zadržanim prostornim značajkama

Osnovni rezultat simulacije akustike u prostoriji je impulsni odziv. Za potrebe izračuna bitnih akustičkih parametara prostora dovoljno je naći impulsni odziv u nekoj točci prostora za neusmjereni prijamnik zvuka (npr. mikrofon). U takvom impulsnom odzivu nalazi se potpuna informacija o odzivu prostora vezana uz energetski sadržaj tog odziva, no informacija o smjeru dolaska zvuka (direktnog zvuka i pojedinih refleksija) ne postoji. Za potrebe auralizacije ključno je imati obje opisane informacije

kako bi se dojam boravka u prostoru mogao vjerno rekonstruirati. Naime, u stvarnom prostoru osoba je okružena zvukom koji, osim iz smjera izvora zvuka, do nje dolazi u obliku brojnih refleksija od ploha prostorije iz svih mogućih smjerova, omogućujući time doživljaj zvuka u sve tri dimenzije prostora. Slušni sustav čovjeka omogućava nam ispravnu lokalizaciju izvora zvuka, tj. čovjek će biti u stanju odrediti smjer dolaska zvučnih izvora iz okolnog prostora u odnosu na svoj položaj i orijentaciju u prostoru. Binauralna tehnologija snimanja, sinteze i reprodukcije zvuka omogućava nam zadržavanje te informacije u snimljenom i/ili sintetiziranom audio materijalu. U tom se slučaju ne izračunava jednokanalni impulsni odziv zvuka za neusmjereni prijemnik, već je potrebno naći binauralni impulsni odziv prostorije (engl. Binaural Room Impulse Response, BRIR) kod kojeg se impulsni odziv izračunava zasebno za lijevo i desno uho slušatelja kao prijamnika zvuka, uzimajući u obzir položaj i orijentaciju glave. Takvim se izračunom zapravo dobiva par impulsnih odziva koje smatramo binauralnim impulsnim odzivom. Binauralni impulsni odziv jako ovisi o lokaciji izvora i prijamnika zvuka u prostoriji, kao i njihovim orijentacijama, pa svi ti parametri jako utječu na konačni rezultat auralizacije.

Proširenje jednokanalnog impulsnog odziva na binauralni zahtjeva samo još jedan dodatni audio kanal, što zahtjeve na opremu čini sasvim jednakima onima koji se postavljaju za obradu i reprodukciju standardnog stereo signala. Vjernost reprodukcije binauralnog zvuka dobivenog ovakvim jednostavnim metodama auralizacije uvelike je narušena time što je binauralni prijamnik statičan i ne prati položaj glave stvarnog slušatelja prilikom reprodukcije. Naime, ljudi su navikli pomicati glavu prilikom slušanja, a upravo ti pomaci su ključni za ispravnu lokalizaciju izvora zvuka. Auralizacija pri kojoj je binauralni prijemnik statičan nerijetko dovodi do pojave tzv. konusa konfuzije (engl. Cone of Confusion), zbog koje pri slušanju dobivenog binauralnog materijala slušatelj na koncu sasvim pogrešno lokalizira zvučni izvor. Zbog toga je uključivanje sustava za praćenje položaja glave ključno za postizanje vjerne reprodukcije zvuka u postupku binauralne auralizacije u smislu ispravne lokalizacije izvora zvuka. Binauralni impulsni odziv izračunava se na temelju tzv. prijenosnih funkcija glave (engl. Head Related Transfer Functions, HRTF) koje pokazuju kako će zvuk biti filtriran pri dolasku na bubnjić uha ovisno o smjeru dolaska zvuka. Točan oblik HRTF funkcija specifičan je za svaku osobu jer ovisi o veličini i obliku glave, vrata, torza i ušne školjke, te se u tom smislu govori o vlastitim prijenosnim funkcijama glave slušatelja [7, 8]. S obzirom na to da je proces mjerenja vlastitih prijenosnih funkcija glave tehnološki kompleksan i kao takav je dostupan tek nekolicini specijaliziranih istraživačkih institucija, pri binauralnoj se auralizaciji koriste generičke prijenosne funkcije glave izmjerene na antropološki prosječnoj osobi. Razlika između generičkih i vlastitih prijenosnih funkcija glave važan je čimbenik koji utječe na točnost i vjernost auraliziranog binauralnog zvuka. Posljednji izazov u ovom procesu je i ispravna ekvalizacija slušalica kako bi se sustav prilagodio svim vrstama otvorenih i zatvorenih slušalica. Problem ispravne kalibracije sustava za reprodukciju još

je složeniji ako se reprodukcija zvuka provodi na sustavu za reprodukciju baziranom na zvučnicima [9].

Osim binauralne tehnologije postoje i drugi sustavi auralizacije koji zvuk reproduciraju putem zvučnika. Njihova zajednička prednost u odnosu na binauralni sustav je što slušatelj ne mora nositi slušalice, i što je načelno povećano područje precizne lokalizacije izvora zvuka (engl. Sweet Spot). Ovakvi sustavi dozvoljavaju pomicanje glave slušatelja bez pogoršanja ili gubitka lokalizacije izvora, tj. zvučna slika je stabilna i ne pomiče se s glavom kao što je slučaj kod binauralne tehnologije bez praćenja položaja glave. S druge strane, gotovo je nemoguće postići vjernu reprodukciju zvučnih izvora blizu glave korištenjem isključivo zvučnika za reprodukciju zvuka.

3. Auralizacijski laboratorij

Prije tridesetak godina, mjerenje i analiza akustičkih veličina na Zavodu za elektroakustiku FER-a ulazi u novu eru. Kvalitativni pomak u tehničkom je smislu ostvaren zahvaljujući novim digitalnim mjernim sustavima koji su omogućavali prikaz rezultata u realnom vremenu. Razvojem računalnih procesora, procesorska snaga računala konačno je omogućila prelazak iz domene analize u realnom vremenu u domenu sinteze akustičkog okruženja, tj. u sintezu virtualnih zvučnih polja u realnom vremenu, što je jedan od preduvjeta uspješne auralizacije.

Tijekom 2011. i 2012. godine poduzeti su konstrukcijski zahvati u sklopu kojih je zvučno izolirana i akustički obrađena prostorija za slušanje Auralizacijskog laboratorija. U njoj je postavljen 16-kanalni sustav za reprodukciju zvuka temeljen na zvučnicima u tzv. konfiguraciji 4-8-4, tj. osam zvučnika pravilno je raspoređeno na kružnici u horizontalnoj ravnini s centrom u točki slušanja, a po četiri dodatna postavljena su ispod i iznad razine slušanja. Time je dobiven sustav za reprodukciju prostornog zvuka sa zvučnicima raspoređenim na sferi s centrom u točki slušanja. Ovakav sustav može se koristiti za implementaciju različitih sustava za reprodukciju zvuka, od mono, stereo i okružujućih sustava (engl. Surround Sound), do homogenih audio sustava kao što su VBAP (engl. Vector-Based Amplitude Panning) i Ambisonics. Upravo potonji se u posljednjih nekoliko godina nametnuo kao glavni sustav za reprodukciju zvuka sa zadržanim prostornim informacijama (engl. Spatial Sound). Sustav Ambisonics pogodan je ne samo kao sustav za vjernu reprodukciju snimki zvučnih okoliša (engl. Soundscape), već i za najrazličitija ispitivanja u kojima se od ispitanika traži ocjena niza subjektivnih parametara koji se koriste u vrednovanju ugode ili smetnje koju izazivaju zvučni izvori različitog frekvencijskog sastava i razina. Ovakva analiza percepcije zvuka prati recentne znanstvene trendove određivanja zvučnih smetnji, ne samo u kvantitativnom smislu (razina zvučnog tlaka), nego i u kvalitativnom (kognitivnom) vrednovanju zvuka kao podražaja. U Republici Hrvat-

skoj ne postoji sličan istraživački laboratorij koji nudi ovakvu razinu fleksibilnosti prilagodbe različitim sustavima reprodukcije zvuka.

Prostorija za slušanje u kojoj se provode ispitivanja percepcije zvuka izgrađena je po principu "kutija u kutiji", prema ilustraciji na slici 2. Kako bi se postigla poboljšana zvučna izolacija od buke koja dolazi iz drugih prostora laboratorija i same zgrade, ali i od buke prometa prometnica u neposrednoj blizini, prostorija slušaonice je dodatno izolirana laganim dvostrukim zidom od gipskartonskih ploča s ispunom od mineralne vune. Pri tome je izveden elastični dosjed svih ploča na postojeću konstrukciju zgrade radi smanjenja prijenosa vibracija. Na isti način je i spušteni strop izrađen od gipskartonskih ploča elastično ovješen na postojeću armiranobetonsku ploču stropa.

Slika 2: Tlocrt Auralizacijskog laboratorija - prostorija za slušanje u lijevom dijelu izgrađena je po principu "kutija u kutiji"

Poboljšanje zvučne izolacije postignuto je i plivajućim podom. Pri njegovoj su izvedbi na postojeće kamene ploče izravno vezane s armiranobetonskom konstrukcijom zgrade položene elastične antivibracijske poliuretanske pločice. Na njih je položen sloj OSB ploča na koji je konačno izlivena betonska ploča plivajućeg poda. Nakon sušenja, na betonsku je ploču položen tepison kao hodna ploha prostorije za slušanje. Cijeli sustav poda proračunat je kao sustav masa-opruga kako bi vlastita frekvencija rezonancije poda bila što niža i tako maksimalno smanjila buku koja se u obliku vibracija širi zgradom, ali i buku u laboratoriju uzrokovanu vibracijama vanjskih izvora kao što su, primjerice, tramvaji. Ključne faze izrade plivajućeg poda prikazane su na fotografijama na slici 3. Izgradnja slušaonice zaključena je ugradnjom akustičkih vrata s povećanom zvučnom izolacijom između slušaonice i radnog prostora laboratorija.

Zidovi i strop slušaonice akustički su obrađeni pomoću zvukoupojnih ploča od poliuretanske pjene, montiranim na razmaku od 5 cm od tvrdih ploha radi postizanja učinkovite apsorpcije zvuka i u području niskih frekvencija. Na ovaj je način postignuto prosječno vrijeme odjeka na srednjim frekvencijama od 0,1 s. Time su ostvareni uvjeti za preciznu reprodukciju zvučnih polja u procesu auralizacije pri kojoj sama prostorija vrlo malo utječe na zvučnu sliku koju stvaraju zvučnici.

Zvučnici u prostoriji za slušanje montirani su na posebno dizajniranom sustavu pomičnih držača, što omogućava jednostavnu promjenu konfiguracije, odnosno položaja zvučnika ukoliko je to potrebno. Radi postizanja visoke vjernosti reprodukcije zvuka, izvornih 16 zvučnika su aktivnim dvostazni zvučnici koji se upotrebljavaju u tonskim studijima. Naknadno su dodana i dva zvučnika specijalizirana za kvalitetnu reprodukciju niskih frekvencija, kao i LCD ekran koji omogućava prikaz vizualne pobude za potrebe audio-vizualnih ispitivanja te upravljanje sustavom izravno iz prostora slušaonice. Potpuno dovršena slušaonica u svom trenutnom stanju prikazana je na slici 4.

Slika 3: Hodna ploha slušaonice laboratorija povećane zvučne izolacije: lijevo - antivibracijske podložne pločice, desno - betonski plivajući pod

Slika 4: Unutrašnjost prostorije za slušna ispitivanja Auralizacijskog laboratorija

Ovakvim dizajnom laboratorija prosječna pozadinska buka u unutrašnjosti slušaonice smanjena je na razinu praga čujnosti, kao što pokazuje slika 5 [10], pa se laboratorij može upotrebljavati i za ispitivanje percepcije vrlo tihih zvukova. Primjer takvih ispitivanja je subjektivno vrednovanje kvalitete zvučne izolacije stambenih prostora od tipične buke koja dolazi iz susjednih stanova, buke instalacija i opreme u zgradi te vanjske buke.

Slika 5: Prosječna razina pozadinske buke u ovisnosti o frekvenciji u prostoru slušaonice prije i nakon implementacije akustičke obrade i mjera zaštite od buke

Aktualne članove laboratorija s doktorandima kao i trenutno aktivne istraživačke i stručne projekte koji se provode u sklopu laboratorija moguće je pronaći na njegovim mrežnim stranicama https://auralab.fer.hr/.

3.1. Istraživačka djelatnost

Oprema i organizacija laboratorija omogućuje znanstveno-istraživačke aktivnosti u sljedećim područjima: sustavi za reprodukciju zvuka koji nadilaze stereo, i to u domeni analize i sinteze; optimiranje algoritama za višekanalnu reprodukciju zvuka (Ambisonics 1., 2. i 3. reda, Ambiophonics, VBAP, stereo, surround, binauralna reprodukcija) na različitim hardverskim i softverskim platformama (Windows, Linux, macOS); lokalizacija izvora zvuka; subjektivna ispitivanja zvučnih okolina; percepcija buke ovisno o izvoru i smjeru dolaska zvuka; audio u sustavima virtualne stvarnosti u sprezi sa sustavima za praćenje pokreta glave; optimiranje zatvorenih i poluotvorenih prostora radi postizanja optimalne akustičke slike.

Važan korak u razvoju laboratorija je i povezivanje s drugim znanstvenim disciplinama, poglavito u područjima kao što su računalni vid, arhitektura i graditeljstvo, psihologija i glazbena umjetnost.

Uspostavljene su veze sa znanstvenicima iz Europe i svijeta, što je potvrda aktualnosti istraživanja koja se provode u laboratoriju. Članovi laboratorija tako surađuju kroz niz znanstvenih projekata financiranim od strane Europske komisije (Horizon, Eramus+, COST), Hrvatske zaklade za znanost i drugih linija financiranja s istraživačima iz mnogih sveučilišta i istraživačkih institucija, kao što su: RWTH Aachen, Institut für Technische Akustik (Njemačka), KU Leuven, Acoustics and Thermal Physics Section, (Belgija), Hochschule für Musik Detmold, Erich-Thienhaus-Institut (Njemačka), HEAD acoustics GmbH, Herzogenrath (Njemačka), Slovak University of Technology, Dep. of Building Constructions, Bratislava (Slovačka), Harbin Institue of Technology (Kina), University College London (Velika Britanija), University Gent University, Department of Information Technology, Research Group Acoustics, Gent (Belgija), Technologisches Gewerbemuseum, Beč (Austrija), Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani (Slovenija).

Auralizacijski laboratorij pridonosi suradnji unutar institucije i povećava njezinu prepoznatljivost unutar Sveučilišta u Zagrebu, ali i u međunarodnim znanstvenim krugovima u ovom području znanosti.

3.2. Obrazovna djelatnost

Obrazovna djelatnost laboratorija obuhvaća rad sa studentima na različitim predmetima i projektima na preddiplomskoj i diplomskoj razini studija kroz teme koje pokrivaju nastavnici članovi laboratorija. Upravo je specifičnost opreme vezane uz laboratorij ključ za njegovo uključivanje u nastavni proces na svim predmetima aktualnih FER3 preddiplomskih i diplomskih studija koji se dotiču područja akustike prostora, buke, simulacije i mjerenja zvučnih polja, psihoakustike te audio tehnologija.

Veći broj završnih, diplomskih i specijalističkih radova napravljen je na temelju istraživanja koja su provedena u Auralizacijskom laboratoriju, a osobito su značajna istraživanja koja su provedena ili se trenutno provode u okviru više doktorskih disertacija.

3.3. Stručna djelatnost

Stručna djelatnost Auralizacijskog laboratorija odvija se kroz suradnju s gospodarstvom, uglavnom putem izrade projekata i elaborata prostorne akustike različitih razina složenosti. Trajna suradnja u području istraživanja ostvarena je kroz razvoj

akustičkih elemenata usklađenih s interijerskim rješenjima. Osim toga, često se koristi mogućnost sinteze i auralizacije zvučnog polja za prostore koji su tek u fazi projektiranja, i to pri prezentaciji projekata akustičke obrade izvođačima i krajnjim korisnicima. Tako je u posljednjih nekoliko godina izrađeno niz stručnih projekata za naručitelje iz zemlje i inozemstva, kao što su Muzička akademija Zagreb, Koncertna dvorana Vatroslava Lisinskog Zagreb, Hrvatski dom Split, Kulturni centar Osijek, Končar transformatori Zagreb, Muzej suvremene umjetnosti Zagreb, Zagrebački velesajam, Provia Ljubljana, i mnoge druge.

4. Primjeri auralizacije u praksi

Primjena auralizacije proteže se na mnogo različitih područja te će u nastavku biti opisano nekoliko tipičnih primjera primjena ove tehnike u dosadašnjoj praksi Auralizacijskog laboratorija.

4.1. Slušni doživljaj akustike prostora koji još nisu izgrađeni

Auralizacija se često koristi u procesu dizajna akustički osjetljivih prostorija i zgrada te je kao vrlo koristan alat iskorištena pri izradi akustičkog projekta nove zgrade Muzičke akademije Sveučilišta u Zagrebu. U 2015. godini svi odsjeci akademije po prvi su put uselili u jedinstvenu zgradu koja se sastoji od gotovo 11.900 m^2 bruto površine, odnosno oko 8.850 m^2 neto površine. Osim odsjeka Akademije, u zgradu je smještena i administracija institucije, knjižnica, glazbene vježbaonice, kao i tri koncertne dvorane. Zgrada je izgrađena na devet katova, od čega su dva podzemna.

Projektnim je zadatkom definirana akustička obrada stotinu prostorija s obzirom na njihovu primarnu namjenu, tj. izvođenje glazbe. U to se ubrajaju vježbaonice za glazbenike, učionice, dvije male i jedna veća koncertna dvorana. Glavni parametar prostorne akustike kojim se definiraju optimalni akustički uvjeti u prostoru je vrijeme odjeka. Iako postoje načelne preporuke vremena odjeka u frekvencijskom području od 125 Hz do 4000 Hz, glazbenici i profesori na Akademiji konzultirani su u procesu akustičkog dizajna, vezano uz optimalno vrijeme odjeka u pojedinim prostorijama. Naime, numeričke vrijednosti vremena odjeka laicima ne pružaju dovoljno informacija o tome jesu li te vrijednosti uistinu prikladne za određeni tip i veličinu prostorije. Dodatne zahtjeve na akustičke uvjete postavili su sami nastavnici u smislu tipa glazbenih instrumenata na kojima će se u pojedinim prostorijama izvoditi glazba, no nije im bilo moguće takve zahtjeve izraziti brojkama, tj. vrijednostima vremena odjeka. Jaz između akustičara i glazbenika prevladan je uporabom auralizacije. Kao primjer, definirana je ogledna prostorija koja je onda modelirana u računalnom programu za simulaciju prostorne akustike. Definirano je nekoliko scenarija koji su se međusobno razlikovali po količini unesene akustičke obrade u obliku akustičkih elemenata koji

upijaju i raspršuju zvuk. Time su u svakom scenariju postignuti određeni akustički uvjeti u prostoriji opisani odgovarajućom vrijednošću vremena odjeka. Za svaki od tih scenarija provedena je auralizacija uz nekoliko različitih glazbenih instrumenata kao izvora zvuka. Auralizirani zvučni zapisi reproducirani su nastavnicima Muzičke akademije pomoću sustava Ambisonics Auralizacijskog laboratorija [11] te su oni na temelju odslušanog odlučili kakve akustičke uvjete u prostoru žele za pojedine tipove glazbala.

Na slici 6 vidljiv je trodimenzionalni žičani model ogledne prostorije (vježbaonice) s naznačenim pozicijama slušatelja (plava točka) i glazbenika (crvena točka), kao i mogućim pozicijama akustičkih elemenata na zidovima i stropu prostorije (kvadratni elementi dimenzija 60 x 60 cm). Uz to, prikazano je vrijeme odjeka u prostoriji za različite razine predložene akustičke obrade. Konkretan zaključak koji je donesen bio je to da će u vježbaonicama s klavirima idealni akustički uvjeti biti postignuti uz akustičku obradu razine 3, u vježbaonicama za gudače i flaute potrebna je obrada razine 4, u individualnim vježbaonicama s klavirom obrada razine 5, a u individualnim vježbaonicama bez klavira obrada razine 6. Time su nedvojbeno potvrđeni osnovni principi dizajna akustike prostora prema kojima optimalni akustički uvjeti u prostoriji ovise o njenoj veličini i namjeni, o broju glazbenika, kao i o vrsti izvora zvuka, tj. glazbala koja se koriste u prostoriji.

Slika 6: Lijevo - 3D žičani model primjera vježbaonice u kojoj su simulirane različite razine akustičke obrade; desno - izračunano vrijeme odjeka u vježbaonici za šest različitih razina akustičke obrade

4.2. Akustička mjerenja i auralizacija

U dizajnu nekog prostora može doći do pogrešaka koje utječu na ukupni akustički komfor u tom prostoru, najčešće zbog toga što se akustici prostora ne posvećuje dovoljno pozornosti. Te se pogreške vrlo lako detektiraju boravkom u prostoru i slušanjem ili mjerenjem akustičkog odziva prostorije. Auralizacija omogućuje otkrivanje takvih pogrešaka u fazi dizajna prostora, a svakako prije početka izgradnje, jer se

model prostora i simulacija akustičkih uvjeta u njemu mogu izraditi čim su poznati oblik i veličina prostorije, materijali završne obrade i, barem načelno, oprema prostorije (predviđeni namještaj i sl.).

Općenito govoreći, vrijednosti parametara prostorne akustike dobra su indikacija akustičke kvalitete prostorije, no često ih mogu protumačiti jedino stručnjaci akustičari. Laicima poput investitora, pa čak i stručnjaka iz drugih područja, parametri prostorne akustike i njihove vrijednosti bit će nerazumljivi te će kao takvi predstavljati nedovoljno čvrst argument u prilog nužnosti akustičke obrade ili renovacije neke prostorije. Zbog toga je izmjerene podatke moguće i potrebno prikazati na vizualno razumljiv način. Primjerice, promjene vrijednosti nekog parametra na površini koju zauzima auditorij mogu se prikazati pomoću standardnog raspona boja, kao što je prikazano na primjeru na slici 7, pri čemu hladne boje redovito označavaju niske, a tople visoke vrijednosti nekog parametra, odnosno lošije ili bolje akustičke uvjete na nekom mjestu u auditoriju. Najuvjerljivija se ilustracija nekog problema u akustici prostora dobiva upravo auralizacijom koja omogućava da se navedeni problem predstavi, iskusi i doživi upravo osjetilom sluha kao konačnim i najvišim sucem. Idealno je kombinirati oba pristupa - i vizualizaciju ključnih akustičkih parametara, i auralizaciju prostora, kako bi se svim zainteresiranim osobama moglo prikazati zašto je neki prostor potrebno akustički projektirati ili renovirati.

Slika 7: Lijevo - Velika koncertna dvorana Vatroslava Lisinskog; desno - prostorna raspodjela vrijednosti mjerenog parametra indeksa binauralne kvalitete u dvorani (BQI) prikazana na tlocrtu dvorane

4.3. Auralizacija i psihoakustička ispitivanja

U području psihoakustike u prošlosti je provedeno izuzetno mnogo ispitivanja percepcije zvuka u ovisnosti o sadržaju i položaju izvora zvuka. Klasični pristup provedbi takvih istraživanja zahtijevao je fizičku prisutnost izvora zvuka na mjestu ispitiva-

nja, ili je njihov položaj simuliran postavljanjem zvučnika na mjesta koja odgovaraju zahtijevanim pozicijama zvučnih izvora.

Korištenjem sustava za reprodukciju prostornog zvuka, zvučni izvori oko slušatelja, definiraju se kao tzv. virtualni ili fantomski izvori zvuka (engl. Phantom Source), koji se općenito nalaze negdje između zvučnika koji čine sustav za reprodukciju zvuka. Samim time, njihov je virtualni položaj potrebno rekonstruirati pomoću zvuka koji emitiraju pojedini zvučnici na zadanim pozicijama u sustavu i koji se u točki slušanja stapa u jedinstvenu zvučnu sliku. Kvaliteta opisane rekonstrukcije, a time i točnost i stabilnost lokalizacije virtualnih izvora, ovisi o tipu i karakteristikama sustava za reprodukciju zvuka. Zbog toga je sva klasična psihoakustička ispitivanja lokalizacije izvora zvuka potrebno ponoviti uporabom suvremenih sustava za reprodukciju kako bi se odredilo koji sustavi su optimalni za određene primjene poput budućih sustava audio produkcije, audia u računalnim igrama, sustavima virtualne stvarnosti, itd.

Primjerice, u Laboratoriju je provedeno istraživanje kojim se ispitao utjecaj vrste izvora zvuka, zadanog položaja izvora, tj. smjera dolaska zvuka, i razine kompleksnosti (reda) sustava baziranog na Ambisonics kodiranju i dekodiranju na točnost i preciznost lokalizacije izvora zvuka [12]. Jedan od rezultata prikazan je na slici 8. Vidljivo je da se uz viši red sustava postiže preciznija lokalizacija izvora zvuka u smislu manjeg rasipanja odstupanja percipiranog smjera dolaska zvuka od stvarnog smjera. Stoga bi sustave za reprodukciju zvuka koji se baziraju na Ambisonics tehnologiji, a upotrebljavaju se u auralizaciji, načelno trebalo dizajnirati sa što većim redom (razinom kompleksnosti), imajući u vidu tehnička i financijska ograničenja.

Slika 8: Lijevo - shematski prikaz položaja zvučnika (zeleno) i položaja virtualnih izvora (plavo) definiranih za potrebe slušnog ispitivanja točnosti lokalizacije; desno - pogreška lokalizacije u ovisnosti o redu (razini kompleksnosti) Ambisonics sustava za reprodukciju

5. Zaključak

Auralizacija se u posljednjih desetak godina nametnula kao jedna od ključnih tehnologija u velikom broju akustičkih disciplina u kojima je važna ljudska percepcija zvuka. Porastom računalne snage povećao se i broj aplikacija računalne sinteze zvuka uz zadržane prostorne informacije, čime je omogućeno stvaranje što vjernijeg prikaza trodimenzionalnog zvučnog polja na sustavima baziranim na zvučnicima ili slušalicama. Pritom su i sada ključne tehnologije koje se vežu uz auralizaciju. Tipični primjer su moderne računalne igre i aplikacije u sustavima virtualne i proširene stvarnosti. Kako bi se mogla provoditi istraživanja u ovom području, bitno je imati potrebne materijalne resurse - fizičku i programsku opremu pomoću kojih je moguće provoditi istraživanja i slušna ispitivanja u području auralizacije. Zbog toga je i osnovan AURALAB, odnosno Auralizacijski laboratorij Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu koji se već pokazao ključnim alatom i resursom pri provedbi mnogih znanstvenih i stručnih ispitivanja u području auralizacije i prostornog zvuka. Želja članova istraživačkog tima svakako je nastaviti s razvojem ovog područja, ali i približiti već stečena saznanja, kao i mogućnosti samog laboratorija širem krugu znanstvene zajednice.

Literatura

[1] Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva: Istraživački laboratoriji, Dostupan na https://www.fer.unizg.hr/istrazivanje/istrazivacki_laboratoriji Pristupljeno: 2022-01-04

[2] Sound Matters. How to achieve acoustic comfort in the contemporary office, U.S. General Services Administration, Public Buildings Service, (2011)

[3] PBS-P100. Facilities Standards for the Public Buildings Service, U.S. General Services Administration, Public Buildings Service, (2015)

[4] Environmental Noise Guidelines for the European Region, World Health Organisation, Regional Office for Europe (2018)

[5] Vorländer, M.: Auralization, Springer, Berlin, ISBN 978-3030512019, (2008)

[6] Christensen, C. L.: ODEON Room Acoustics Software, Version 16, User Manual for Basics, Industrial, Auditorium and Combined Editions, Odeon A/S, Lyngby, (2020)

[7] Jambrošić, K.: Auralization as a Tool for the Acoustic Design of Spaces, Proceedings of the 7th AAAA Congress on Sound and Vibration with Exhibition, Čudina, M. (ur.), 87-100, Ljubljana, Slovenian Acoustical Society, (2016)

[8] Jambrošić, K.; Horvat, M.; Kisić, D.; Oberman, T.: Speaker Discrimination in Multisource Environments Auralized in Real Rooms, Akustika, 37 (2020), 20-28, doi:1036336/akustika20203719

[9] Kudrna, N.; Jambrošić, K.; Planinec, V.: Loudspeaker Equalization in Real-Life Multichannel Environments, The 9th Congress of the Alps Adria Acoustics Association – Con-

ference Proceedings, Mesterházy, B.; Márkus, M. (ur.), 181-190, Budimpešta, Optikai, Akusztikai, Film- és Színháztechnikai Tudományos Egyesület, (2021)

[10] Horvat, M.; Jambrošić, K.; Domitrović, H.: Construction of an auralization laboratory based on multichannel loudspeaker system, Proceedings of the International Conference on Acoustics AIA-DAGA 2013, 2356-2359, Berlin, German Acoustical Society (DEGA), (2013)

[11] Jambrošić, K.: Auralization as a Tool for the Acoustic Design of Spaces, Proceedings of the 7th AAAA Congress on Sound and Vibration with Exhibition, Čudina, M. (ur.), 87-100, Ljubljana, Slovenian Acoustical Society, (2016)

[12] Horvat, M.; Anzulović, F.; Kisić, D.; Jambrošić, K.: The accuracy and precision of localization of instruments and vocals found in a typical pop or rock band in an ambisonics-based virtual environment, Proceedings of e-Forum Acusticum 2020, Parizet, E.; Becot, F.-X. (ur.), 2841-2847, Lyon, Universite Lyon, (2020)

Laboratorij za određivanja svojstava kompleksnih materijala akustičkim metodama - LOSKSAM

Antonio Petošić[1], Petar Franček[1] i Siniša Fajt[2]

[1] Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, antonio.petosic@fer.hr

[1] Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, petar.francek@fer.hr

[2] redoviti član Akademije, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, sinisa.fajt@fer.hr

Sažetak: *U radu će se opisati rad Istraživačkog laboratorija za određivanja svojstava kompleksnih materijala akustičkim metodama-LOSKSAM osnovanog u sklopu Zavoda za elektroakustiku, Fakulteta elektrotehnike i računarstva, Sveučilišta u Zagrebu. U LOSKSAM-u se provodi karakterizacija elektroakustičkih i ultrazvučnih pretvarača i, kao i pripadajućih elektroničkih i akustičkih komponenata. Razvijaju se sonde za bio-medicinsko djelovanje (terapija, kirurgija) kao i za nedestruktivno ispitivanje materijala. Obavljaju se mjerenja isijane ultrazvučne snage u realnom okruženju, detekcija pojave kavitacije kod ultrazvučnih mjerenja, njeno korištenje u kirurške svrhe te kalibracija svih vrsta elektroakustičkih pretvarača i mjerenja na akustičkim elementima i sustavima.*

Ključne riječi: *akustičke metode, svojstva materijala i akustičkih elemenata, medicinski i industrijski ultrazvuk, elektroakustički pretvarači.*

1. Uvod

Osnovno područje rada Laboratorija za određivanje svojstava kompleksnih materijala akustičkim metodama(LOSKASAM-a) usmjereno je na: određivanje svojstava parametara različitih aktivnih i pasivnih materijala u biomedicini, prehrambenoj industriji, procesnoj industriji i proizvodnji akustičkih uređaja. Istraživački laboratorij LOSKSAM je osnovan 2015. godine i voditelj mu je prof. dr. sc. Antonio Petošić. Članovi laboratorija su: dr. sc. Petar Franček, dr. sc. Mia Suhanek, dr. sc. Sanja Grubeša, prof. dr. sc. Ivan Đurek, prof. dr. sc. Kristian Jambrošić

Stvaranje novih materijala s poboljšanim svojstvima u akustičkim primjenama (smanjene brzine širenja vala, povećano gušenje u čujnom frekvencijskom području, smanjenje koeficijenta refleksije u svrhu akustičke nevidljivosti, predstavlja nove izazove u svjetskoj znanosti. Osnovna svrha istraživačkog laboratorija LOSKSAM [1] je konstrukcija novih materijala s akustičkim svojstvima koja ih čine prikladnim za uporabu u spomenute svrhe i mjerenje osnovnih fizikalnih svojstava tih materijala te njihova puna karakterizacija.

Također važan dio djelatnosti laboratorija je razvoj novih mjernih sustava i procedura ključan za precizno određivanje svojstava kompleksnih aktivnih i pasivnih materijala koji se pojavljuju u elektroakustičkim sustavima i pretvaračima.

Akustički pretvarači i sustavi karakterizirani u Laboratoriju uvelike se koriste u različitim područjima kao što su: terapijske, kirurške i dijagnostičke primjene u medicini, nedestruktivno testiranje (NDT) materijala, ultrazvučno čišćenje u industriji i tretiranje različitih tvari u kemijskim procesima.

U čujnom i ultrazvučnom frekvencijskom području izazovi s kojima se laboratorij susreće predstavljaju novi materijali čija je debljina puno manja od valne duljine upadnog zvučnog vala. Kada se ultrazvučni val širi kroz takve materijale, postiže se veliko gušenje, a time i bolja izolacijska i apsoprcijska svojstva takvog materijala.

U ultrazvučnom frekvencijskom području izazov predstavljaju novi piezoelektrični materijali izrađeni u nanotehnologiji koji omogućuju izradu manjih nizova pretvarača za primjene u terapiji, dijagnostici i kirurgiji s povećanim koeficijentom elektroakustičkog iskorištenja.

Određivanje svojstava kompleksnih materijala i sustava za primjene u akustici jedna je od mnogobrojnih aktivnosti Laboratorija koja zauzima sve istaknutije mjesto u ukupnom znanstvenom i stručnom djelovanju Laboratorija. S tehničke strane, kvalitativni pomak ostvaren je zahvaljujući novim mjernim sustavima koji omogućavaju obradu i prikaz rezultata mjerenja u realnom vremenu. Uspješnom prijavom na uspostavni istraživački projekt Hrvatske zaklade za znanost 2014. i Projekte MZOŠ-a 2007. godine, ostvareni su preduvjeti za proširenje stečenih znanja otvaranjem prema komplementarnim istraživačkim grupama u Europi i svijetu. Ovo povezivanje ubrzo je rezultiralo uključivanjem u međunarodne znanstvene projekte te nešto kasnije razmjenom znanstvenih boravaka istraživača i doktoranada.

Uspostavljene veze sa znanstvenicima iz Europe i ostatka svijeta (prof. dr. sc. Dragan Damjanović iz Ceramics Lab-a EPFL-Švicarska, prof. dr. sc. Nazanin Bassiri Gharb iz School of Mechanical Engineering, Georgia Tech-Sjedinjene Američke Države, dr. sc. Stefan Radel iz Vienna Institute of Technology - Austrija, prof. dr. sc.

Joshua Reiss iz Queen Mary University London-Ujedinjeno Kraljevstvo) potvrda su aktualnosti istraživanja i razine dosega koje je ostvario Laboratorij. Laboratorij sudjeluje u istraživačkim aktivnostima i prijavama u stručnim projektima s hrvatskim institucijama (INETEC d.o.o., PROKLIMA d.o.o., KLIMAOPREMA d.o.o.) te vanjskim institucijama ALNOR Ltd. Poljska.

U kontekstu dosadašnjih ostvarenja i sadašnjih istraživanja Laboratorij za određivanje svojstava kompleksnih struktura akustičkim metodama pridonosi suradnji unutar institucije Sveučilišta u Zagrebu i predstavlja pozitivni pomak prema podizanju prepoznatljivosti u međunarodnim znanstvenim krugovima u ovom području istraživanja.

2. Područje djelovanja LOSKSAM-a

Područja djelovanja LOSKSAM-a se može pojednostavljeno prikazati kao istraživačka, nastavna i stručna.

2.1. Istraživačka djelatnost

Istraživačka djelatnost LOSKSAM-a obuhvaća sljedeće aktivnosti: znanstveno-istraživački rad na području akustičke karakterizacije materijala te karakterizacije elektroakustičkih pretvarača u različitim uvjetima pobude. Primijećeno je da ponašanje materijala (perforirani elementi u prostorijama, aktivni i pasivni slojevi materijala u ultrazvučnim pretvaračima) jako ovisi o razini i vrsti pobude (impulsna i kontinuirana). Uređaji i sustavi projektiraju se na osnovi mjerenja u laboratorijskim uvjetima pri malim razinama pobudnih signala zanemarujući nelinearnosti, dok se u stvarnosti ponašanje pretvarača mijenja ovisno o vrsti akustičkog polja kojima se materijali i uzorci tretiraju.

2.1.1. Optimizacija pobude piezokeramičkih ultrazvučnih pretvarača

U okviru ovog istraživanja izrađen je doktorski rad dr. sc. Petra Frančeka pod nazivom: ‘’Optimizacija pobude piezokeramičkih ultrazvučnih pretvarača u promijenjivim nelinearnim i termodinamičkim uvjetima rada’’ [2]. U dodatku doktorskog istraživanja je objavljen rad u časopisu u kojemu se pronalazi optimalno rješenje za oblik i trajanja pobudnog impulsa za detekciju objekata kod nedestruktivnog testiranja materijala [2, 3]. Mjerni sustav realiziran u okviru ovog područja istraživačkog laboratorija je prikazan na slici 1.

Slika 1: Prikaz mjernog sustava za optimizaciju pobude pretvarača za nedestruktivno testiranje materijala [1]

Na slici 1. lijevo je prikazan mjerni sustav koji impedancijskom spektroskopijom određuje ulaznu električnu impedanciju pretvarača s opteretnim medijem kojim se precizno određuje frekvencija serijske i paralelne električne rezonancije mjernog sustava. Na slici 1. desno je prikazan sustav koji optimizira duljinu i oblik pobudnog impulsa za detektiranje pukotina u testnom uzorku materijala.

Pravilno određivanje svojstava kompleksnih materijala pri akustičkim primjenama ključno je za konstrukciju novih materijala (nanomaterijali, zrnate strukture s proizvoljno generiranom rešetkom sastavnih elemenata) sa željenim svojstvima vezanim uz propagaciju infrazvučnih, zvučnih i ultrazvučnih valova.

Cilj istraživačkog laboratorija je bolje definirati svojstva materijala kojima se može manipulirati u svrhu postizanja poboljšane propagacije zvuka i ultrazvuka kroz same materijale, te na temelju tih saznanja dati temelj za proizvodnju novih materijala koji će se primjenjivati u čujnom i ultrazvučnom frekvencijskom području. Osobita pažnja se posvećuje tretiranju uzoraka piezokeramičkih materijala s različitim vrstama signala s obzirom na akustičku snagu i frekvencijsko područje. Prikaz mjernog sustava za karakterizaciju piezokeramičkih uzoraka koji se uporabljaju u različitim vrstama ultrazvučnih pretvarača je prikazan na slici 2. Slika 2. prikazuje mjernu opremu laboratorija koja se koristi u elektromehaničkoj karakterizaciji piezokeramičkih elemenata. Slika 3. prikazuje mjerni hidrofon, senzor pomaka i senzor temperature u okolini piezokeramičkog elementa kao i temperaturnu raspodjelu na površini piezokeramičkog uzorka tijekom provođenja eksperimenta. Slika 4. prikazuje nadomjesni model ultrazvučnog pretvarača s titrajućim masama.

Slika 2: Mjerni sustav za elektromehanički i akustičku karakterizaciju piezokeramičkog elementa

Slika 3: Prikaz elektromehaničke i temperaturne karakterizacije piezokeramičkog elementa

Slika 4: Prikaz nadomjesnog modela ultrazvučnog pretvarača pomoću titrajućih masa

2.1.2 Projekt tretiranja namirnica visokointenzitetnim ultrazvukom

Tijekom rada ultrazvučnog laboratorija napravljena je detaljna analiza utjecaja visokointenzitetnog ultrazvučnog polja na namirnice (voda, mlijeko, sok) te je objavljen rad u časopisu Ultrasonics Sonochemistry [5]. Napravljena je analiza utjecaja amplitude zvučnog tlaka na tretiranje prehrambenih namirnica u suradnji s Prehrambeno-biotehnološkim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu prema mjernom sustavu na slici 5. Slika 5. prikazuje mjerne uređaje potrebne za tretiranje različitih prehrambenih materijala u sonorekatoru.

Slika 5: Prikaz mjernog sustava za tretiranje namirnica u malom sonoreaktoru

U svrhu poboljšanja kemijskih procesa u proizvodnji maslina i tretiranju otpadnih voda prema slici 6. obavljena je električna, mehanička i akustička karakterizacija komercijalnih i vlastito razvijenih uređaja s različitim prehrambenim uzorcima.

Slika 6: Prijedlog optimizacije kemijskih procesa primjenom ultrazvuka optimirane frekvencije i snage pobude s obzirom na karakteristike opteretnog medija

2.1.3 Projekt optimizacije pobude za tretiranje algi na brodovima

U sklopu projekta i suradnje s gospodarstvom napravljena je optimizacija pobudne frekvencije i snage za tretiranje algi na brodovima u Jadranskom moru prema slici 7 i 8. Na slici 7. prikazano je mjerenje pomaka vrha komercijalnog pretvarača koji se koristi za tretiranje algi na brodovima a slika 8. prikazuje signale napona, struje i pomaka dobivenih optimizacijom.

Slika 7: Mjerenje pomaka vrha pretvarača koji se koristi u tretiranju algi na brodovima

Slika 8: Optimizirani signali napona, struje i pomaka na vrhu pretvarača u svrhu tretiranja algi

2.2. Nastavna djelatnost

Obrazovna djelatnost laboratorija uključuje rad na studentskim projektima na preddiplomskoj i diplomskoj razini kroz teme koje pokrivaju nastavnici i članovi laboratorija te predmete u okviru kojih se predaju teme povezane s djelatnostima laboratorija (Elektroakustika1, Prijenos zvuka, Analiza i sinteza audiosignala, Ultrazvuk u medicini i industriji, Biomedicinska elektroakustika, Modeliranje u akustici). Naglasak je stavljen na izradi završnih, diplomskih i specijalističkih radova, pri čemu se posebna važnost pridaje tome da teme radova budu povezane s istraživanjima Laboratorija. Do sada su potencijali predloženog laboratorija iskorišteni prilikom izrade 10 završnih i 5 diplomskih radova pod vodstvom voditelja laboratorija. Oprema nabavljena za potrebe istraživanja i saznanja prikupljena u istraživačkom procesu u okviru laboratorija se koristi u pokaznim i redovitim laboratorijskim vježbama iz predmeta na preddiplomskoj i diplomskoj razini studija, konkretno Elektroakustika1, Prijenos zvuka, Ultrazvuk u medicini i tehnici te Ultrazvučni sustavi. Prikaz pojave akustičke levitacije koji se prikazuje u sklopu vježba iz predmeta Elektroakustika1 i na danima otvorenih vrata je prikazan na slici

Slika 9: Prikaz mjernog postava za demonstraciju akustičke levitacije

2.3 Stručna djelatnost

Stručna djelatnost odvija se kroz suradnju s gospodarstvom (INETEC d.o.o., PROKLIMA d.o.o., Brodarski Institut d.o.o., ALNOR Ltd.- Poland) na području istraživačke djelatnosti, kao i kroz izradu akustičkih projekata različitih razina složenosti.

Trajna suradnja u području istraživanja ostvarena je kroz razvoj metoda za karakterizaciju elektroakustičkih pretvarača za upotrebu u nedestruktivnom testiranju materijala, razvoju ultrazvučnih pretvarača s većim koeficijentima iskorištenja te izradi akustičkih elemenata za zaštitu od buke u sustavima klimatizacije i ventilacije.

S partnerima iz gospodarstva članovi laboratorija sudjelovali su u razvoju mjernih metoda za određivanje svojstava piezokeramičkih elemenata u pretvaračima za primjene u industrijskoj dijagnostici te medicinskih ultrazvučnih pretvarača. Razvijene su mjerne metode za električnu, mehaničku i akustičku karakterizaciju pretvarača te za karakterizaciju akustičkih materijala u različitim uvjetima pobude (Kundtova cijev, difuzno polje). U suradnji s PROKLIMA d.o.o. su razvijene mjerne metode za određivanje akustičkih parametara kućišta, velikih klima komora i akustičkih parametara prigušivača klima komora. U predloženim rješenjima su se koristili klasični materijali i materijali s modificiranom strukturom koji su pokazali bolja izolacijska i zvukoupojna svojstva. Slika 10. prikazuje mjerni sustava za određivanje unesenog i prenesenog prigušenja kulisnih prigušivača.

Slika 10: Mjerni sustav za određivanje unesenog i prenesenog prigušenja kulisnih prigušivača

3. Zaključak

U ovome radu su prikazane osnovne aktivnosti laboratorija LOSKSAM-a. Iz priloženog je jasno da osnivanje ovoga laboratorija ne bi bilo moguće bez financiranja Hrvatske zaklade za znanost HRZZ - Uspostavni istraživački projekt vezan za naziv laboratorija [7]. Uspostava LOSKSAM-a dosada je omogućila u suradnji s gospodarstvom osim teoretsko znanstvenih rješenja realizaciju niz praktičnih i stručnih projekata. Početno financiranje HRZZ omogućilo je nabavku nužne mjerno ispitne opreme, dok daljnji znanstveno istraživački rad i suradnja s gospodarstvom te novi domaći i međunarodni znanstveno istraživački projekti morat će omogućiti nabavku novije i modernije mjerne opreme čiji se razvoj odvija velikom brzinom. Osim toga Sveučilište u Zagrebu, a posebno njezina domicilna sastavnica LOSKSAM-a Fakultet elektrotehnike i računarstva morat će omogućiti nove posebne laboratorijske prostore nužne za daljnja znanstvena istraživanja koja će služiti za povećanje međunarodne prepoznatljivosti, te edukaciju na preddiplomskoj, diplomskoj i postdiplomskoj razini.

Literatura

[1] https://ultrasnon.fer.hr/ultrasnon/research_lab

[2] Petar Franček: Optimizacija pobude piezokeramičkih ultrazvučnih pretvarača u promijenjivim nelinearnim i termodinamičkim uvjetima rada, doktorski rad 2021.

[3] Franček, Petar; Petošić, Antonio; Budimir, Marko; Hrabar, Ivan: Electrical resonance/antiresonance characterization of NDT transducer and possible optimization of impulse excitation signals width and their types // NDT & E international, 106 (2019), 23-41 doi:10.1016/j.ndteint.2019.05.005

[4] Petošić, Antonio; Franček, Petar; Mamić, Ana; Vejić, Petar; Volarić, Davor; Budimir, Marko

[5] Electromechanical and acoustical characterization of piezoceramic elements and NDT ultrasound transducers by using different types of excitation signals // NDT in Progress 2017 / Diederichs, Rolf ; Ginzel, Edward (ur.). Prag, Češka Republika: NDT.net - The Web's Largest Portal of Nondestructive Testing (NDT), 2018. str. 1-10

[6] Petošić, Antonio; Horvat, Marko; Režek Jambrak, Anet: Electromechanical, acoustical and thermodynamical characterization of a low-frequency sonotrode- type transducer in a small sonoreactor at different excitation levels and loading conditions // Ultrasonics sonochemistry, 39 (2017), 219-232 doi:10.1016/j.ultsonch.2017.04.026

[7] Ultrazvučni sustav za određivanje kompleksnih materijala u nelinearnim uvjetima pobude (HRZZ 4996)

Laboratorij za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Mladen Zrinjski[1], Đuro Barković[2], Sergej Baričević[3]

[1] član suradnik HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, mladen.zrinjski@geof.unizg.hr

[2] Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, djuro.barkovic@geof.unizg.hr

[3] Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, sergej.baricevic@geof.unizg.hr

Sažetak: *: Laboratorij za mjerenja i mjernu tehniku jedna je od ustrojbenih jedinica Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. U Laboratoriju se razvijaju nove mjerne metode i uređaji za ispitivanje i umjeravanje geodetskih instrumenata i pribora u skladu s međunarodnim i nacionalnim normama. U Laboratoriju se obavlja nastavna, znanstveno-istraživačka i stručna djelatnost. U radu su opisane dvije doktorske disertacije i dva diplomska rada koji su izrađeni u Laboratoriju, a koji pobliže ističu izazove znanstveno-istraživačkog rada. Opisan je jedan doktorski rad koji je u završnoj fazi izrade, kako bi se prikazao razvoj Laboratorija u predstojećem razdoblju.*

Ključne riječi: *Laboratorij za mjerenja i mjernu tehniku, kalibracijska baza, komparator, precizni elektrooptički daljinomjer, GPS.*

1. Uvod

Razvoj Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku, kao zasebne ustrojbene jedinice Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, započeo je 1964. godine na prijedlog profesora Dušana Benčića. Daljnji veliki doprinos razvoju Laboratorija dao je profesor Nikola Solarić.

2. Komparacija nivelmanskih letava pomoću inkrementalne mjerne letve

U okviru znanstvenog istraživanja u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Đuro Barković izradio je doktorsku disertaciju *Komparacija nivelmanskih letava pomoću inkrementalne mjerne letve*, koju je obranio 2002. godine.

U doktorskoj disertaciji dan je prikaz umjeravanja pomoću vlastito izrađenog komparatora u koji je ugrađena inkrementalna mjerna letva kao normalna mjera ili etalon. Umjeravanjem se utvrđuju odstupanja pojedinih vrijednosti mjernog uređaja od stvarnih ili nominalnih vrijednosti. Pomoću tih odstupanja moguće je popraviti mjerenu vrijednost i time povećati točnost mjerenja.

U uvodu disertacije istaknuta je važnost usporedbenih mjerenja, tj. ispitivanja i kontrole mjernih uređaja, osobito kada se njima koristimo u visoko točnim mjernim procesima. U geodeziji, geometrijski nivelman visoke točnosti je najtočnija metoda mjerenja visinskih razlika. Osnovni pribor koji se upotrebljava pri mjerenju tom metodom je: nivelir sa stativom i nivelmanske letve. Dakle, umjeravanjem se uspoređuju linearne vrijednosti pojedinih crtica invarne nivelmanske letve s inkrementalnom mjernom letvom kao etalonom.

U drugom poglavlju dane su definicije umjeravanja, komparatora i etalona s naglaskom na potrebu periodičnog ispitivanja i umjeravanja mjernih uređaja. U ovom slučaju to se odnosi na instrumente i pribor potreban za geometrijski nivelman visoke točnosti, a prije svega na nivelir i invarne nivelmanske letve.

Upravo je u trećem poglavlju opisana svrha i značaj geometrijskog nivelmana u globalnom i geodetskom smislu. Dan je pregled osnovnih tipova nivelira i detaljniji pregled nivelmanskih letava, s naglaskom na invarne nivelmanske letve. U posebnom potpoglavlju prikazane su pogreške koje nastaju pri niveliranju s posebnim osvrtom na pogrešku zbog neravnomjerno nanesene podjele i pogrešku promjene u duljini invarne trake nivelmanske letve, kao i uslijed utjecaja razlike temperatura pri mjerenju i umjeravanju. Tu je dan matematički izraz po kojem se računaju popravke za izmjerene vrijednosti. Popravke se računaju pomoću faktora mjerila m_0, određenoga umjeravanjem, i pomoću razlike u temperaturi pri mjerenju (na terenu) i temperature pri umjeravanju (u laboratoriju). Danim primjerom pokazano je da te popravke nisu zanemarivih vrijednosti. Na kraju ovog poglavlja dana je preporuka da se umjeravanje invarnih nivelmanskih letava provodi periodično (jednom godišnje) i prije svakoga većeg posla, posebno u radovima u kojima se zahtijeva visoka točnost mjerenja.

Povijesni pregled komparatora i metoda umjeravanja prikazan je u četvrtom poglavlju i to od najjednostavnijih i najstarijih komparatora poput invarnih šipki duljine 1 m

do najsuvremenijih komparatora na osnovi laserskih interferometara i inkrementalnih mjernih sustava. Detaljno je prikazana osnova rada induktivnog mjerača pomaka i laserskog Dopplerova interferometra.

Peto poglavlje obrađuje inkrementalni mjerni sustav jer je na toj osnovi izrađena inkrementalna mjerna letva koja je ugrađena kao etalon u novi komparator Geodetskog fakulteta. Iz opsežnog i detaljnog opisa te s mnoštvom grafičkih prikaza inkrementalnog mjernog sustava, vidi se da je ovaj mjerni sustav vrlo pouzdan, precizan i vrlo visoke točnosti, što pokazuje da je inkrementalna mjerna letva njemačke tvrtke Heidenhain, upotrijebljena kao etalon novog komparatora Geodetskog fakulteta, vrlo dobar izbor.

Opis razvoja i izrade novog komparatora Geodetskog fakulteta detaljno je prikazan u šestom poglavlju. Najprije se opisuje povijesni pregled razvoja i izrade novog komparatora, zatim slijedi prikaz izrade konstrukcije komparatora u nekoliko faza do konačnog prikaza gotovog komparatora s popisom glavnih dijelova (slika 1). U tom je poglavlju detaljno opisan svaki dio komparatora, a posebno oni dijelovi koji se neposredno upotrebljavaju u mjernom procesu, tj. pri umjeravanju. Na osnovi detaljnog opisa može se vidjeti da je izradi komparatora posvećena velika pozornost i stručnost tako da se novi komparator Geodetskog fakulteta odlikuje kvalitetom izabranih materijala, preciznom izradom i obradom pojedinih dijelova i cjelokupnom stabilnošću, što su osnovni preduvjeti za točnost umjeravanja.

U sedmom poglavlju dana je matematička osnova za obradu i izjednačenje izmjerenih vrijednosti. U tom su poglavlju prikazane osnovne formule za ocjenu preciznosti i točnosti izmjerenih podataka, a posebno je potpoglavlje posvećeno izvodu parametara za prikaz pravca prilagođenog skupu točaka ravnine te izvodu formula za ocjenu točnosti tih parametara.

Osmo poglavlje opisuje razvoj računalne podrške pri umjeravanju i obradi izmjerenih vrijednosti. Ta se podrška sastoji od vlastito razvijenog programa “KOMPA” pod okriljem Windows operativnog sustava, a pomoću objektno-orijentiranog programskog jezika Visual Basic 5.0 Professional. U tom se poglavlju detaljno prikazuju opis i osnove rada s programom “KOMPA”, a slike sa zaslona monitora zorno i sustavno vode korisnika i na jednostavan način mu otkrivaju njegove mogućnosti. U procesu umjeravanja opažač svu svoju koncentraciju usmjerava na viziranje, pomoću mikroskopa, na pojedine crtice podjele na invarnoj nivelmanskoj letvi, dok program “KOMPA”, nakon aktiviranja i unosa osnovnih podataka vezanih za letvu i temperaturu u prostoriji, vodi komparator i kontrolira cijeli mjerni postupak. Na kraju mjernog postupka programom “KOMPA” obrađuju se izmjerene vrijednosti i prikazuju na zaslonu monitora ili na papiru ispisom u obliku IZVJEŠĆA O KOMPARACIJI prema međunarodnoj normi ISO 12858-1 za invarne nivelmanske letve.

U devetom poglavlju, izvedena je obrada izmjerenih vrijednosti s primjenom statističkih testova. Na osnovi velikog broja mjerenja provedena je procjena standardnog odstupanja viziranja na pojedini rub crtice invarne nivelmanske letve za dva opažača, zatim su ta mjerenja podvrgnuta Pearsonovu testu x^2 radi utvrđivanja normalnosti razdiobe. Osim toga, pomoću standardnih odstupanja i x^2 testa testirana je jednakost tih mjerenja pomoću Fisherova F-testa. Statistički su obrađena mjerenja dobivena umjeravanjem jedne invarne nivelmanske letve. Iz deset kompariranih neovisnih podjela invarnih nivelmanskih letava, izračunato je srednje standardno odstupanje viziranja. U posebnom potpoglavlju dan je tablični prikaz rezultata umjeravanja sedam invarnih nivelmanskih letava dobivenih umjeravanjem u Zagrebu i Münchenu. Iz tih razlika izračunata je standardna mjerna nesigurnost mjerila m_0 podjele invarnih nivelmanskih letava, $u_{\Delta m_0}$ = 0,39 μm/m. Uzimajući u obzir mjernu nesigurnost etalona prema certifikatu $u_{(\mathrm{cert})}$ = 0,5 μm/m, prvotna procjena standardne mjerne nesigurnosti određivanja mjerila letve m_0 pomoću inkrementalne mjerne letve iznosi u_{m_0} = 0,63 μm/m [1].

Slika 1: Komparator Geodetskog fakulteta izrađen 2002. godine s popisom glavnih dijelova [1]

3. Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a

Na kalibracijskoj bazi i u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Mladen Zrinjski proveo je znanstveno istraživanje koje je rezultiralo izradom doktorske disertacije *Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a*, koju je obranio 2010. godine.

U disertaciji je dan pregled dosadašnjih radova i iskustava u Republici Hrvatskoj te u svijetu. Detaljno je opisana kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (slika 2) na kojoj su obavljena mjerenja. Naveden je popis najpoznatijih kalibracijskih baza sa stupovima u svijetu te je dana njihova duljina. U disertaciji su detaljno objašnjene pogreške daljinomjera koje utječu na precizno mjerenje duljina. Dan je prikaz korekcija i redukcija koje je potrebno uzeti u račun prilikom mjerenja duljina elektrooptičkim daljinomjerom na kalibracijskoj bazi. Objašnjen je utjecaj multipath efekta na GPS-mjerenja te su dani matematički izrazi za računanje *MP*1 i *MP2*. U disertaciji je dan teorijski prikaz ekscentriciteta faznog središta antene i njegove varijacije. Kako su sva GPS-mjerenja obavljena GPS-antenama Zephyr Geodetic, detaljno su objašnjena fizikalna svojstva i karakteristike te antene.

U drugom dijelu disertacije opisan je praktični dio rada. Za umjeravanje kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primijenjen je precizni elektrooptički daljinomjer Leica TCA2003 (slika 3). Duljine su mjerene u svim kombinacijama, sa stupova 0, 1, 2, 3, 5, 7 i 10 (3. kolovoza 2009.). Obavljena su i mjerenja duljina s pomoću posebno izrađenog nosača, kako bi se odredio utjecaj periodijske pogreške na svaku mjerenu duljinu. Atmosferski parametri mjereni su s pomoću dva senzora Vaisala WXT510, pri čemu je Vaisala 1 bio postavljen uz stup 0, a Vaisala 2 uz stup 10. Za automatizirano prikupljanje, pohranjivanje i obradu atmosferskih parametara, mjerenih senzorima Vaisala WXT510, razvijen je softver WeatherTransmitter. Izrađen je isključivo za potrebe ove disertacije i buduća umjeravanja na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta. Automatizirano mjerenje atmosferskih parametara i njihova obrada prilikom preciznog mjerenja duljina na kalibracijskoj bazi prvi je put primijenjeno u ovoj disertaciji.

Kao neovisna kontrola za umjeravanje kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primijenjena je relativna statička GPS-metoda (slika 4a). GPS-mjerenja obavljena su u 8 sesija po 24 sata, od 25. srpnja do 2. kolovoza 2009. Korištena su 4 prijamnika Trimble 5700 i 3 prijamnika Trimble R7 te 7 antena Zephyr Geodetic. U mjerenje je uključena i trigonometrijska točka I. reda Brusnik (slika 4b), kako bi se povećala duljina za ispitivanje GNSS-instrumenata. GPS-mjerenja na Brusniku su obavljena u prve dvije sesije, prijamnikom Trimble 5700 i antenom Zephyr Geodetic. U diserta-

ciji su dana dva izvješća o seizmičkim aktivnostima na području Republike Hrvatske, a koje su se dogodile za vrijeme GPS-mjerenja.

Za sve duljine izmjerene s pomoću TCA2003 izračunate su potrebne korekcije i redukcije. Za svaku mjerenu duljinu izračunata je periodijska pogreška te je uzeta u obzir prilikom izjednačenja. Izjednačenje duljina provedeno je s težinama mjerenja jednakima 1. Izjednačenjem je dobivena i vrijednost adicijske korekcije za sustav TCA2003+reflektor. U Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta provedeno je automatizirano umjeravanje frekvencmetra s pomoću GPS-signala i mjerenje frekvencije u elektrooptičkom daljinomjeru TCA2003. Za daljinomjer TCA2003 određena je multiplikacijska konstanta i s njome su pomnožene izračunate duljine raspona između stupova kalibracijske baze.

Ispitivanja utjecaja multipath efekta *MP*1 i *MP2* na GPS-mjerenja provedena su za sve točke (7 točaka kalibracijske baze, Brusnik i 4 CROPOS referentne stanice), u svim sesijama mjerenja, primjenom softvera TEQC. Najmanji utjecaj multipath efekta dobiven je za točke baze, što upućuje da se kalibracijska baza Geodetskog fakulteta nalazi na terenu i lokaciji pogodnima za GNSS-mjerenja. Za sve točke na kojima su obavljena mjerenja (i za sve sesije mjerenja), softverom TEQC provedeno je ispitivanje broja registriranih opažanja od ukupnog broja mogućih opažanja sa svih GPS-satelita. Obrada GPS-vektora provedena je softverom Trimble Total Control (TTC), v. 2.73. Pritom su upotrijebljene precizne efemeride, datoteke ionosfere i datoteke modela antena Zephyr Geodetic i Zephyr Geodetic 2 za CROPOS referentne stanice. Srednje vrijednosti duljina izračunate su iz 8 sesija po 24 sata. Koordinate stupova kalibracijske baze i Brusnika određene su primjenom CROPOS-a i njegova servisa GPPS. Za izjednačenje koordinata korištene su 4 referentne stanice CROPOS-a: Zabok, Bjelovar, Sisak i Karlovac. Izjednačenje je provedeno softverom Trimble Total Control, v. 2.73. Kao konačan rezultat dobivene su koordinate stupova kalibracijske baze i Brusnika u ETRS89, e=1989.0, službenom položajnom datumu Republike Hrvatske. U ovoj disertaciji prvi su put određene koordinate stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta u službenome nacionalnom datumu, primjenom CROPOS-a.

Dana je usporedba konačnih duljina između stupova kalibracijske baze, dobivenih elektrooptičkim daljinomjerom TCA2003 i GPS-om. Za sve duljine dobivene razlike manje su od 1 mm. Statističko testiranje srednjih vrijednosti duljina dvaju nizova mjerenja (GPS i TCA2003) provedeno je primjenom *t*-testa. Taj je test pokazao da oba niza mjerenja imaju iste srednje vrijednosti. U disertaciji je dana analiza pomaka stupova kalibracijske baze za razdoblje od 1996. do 2009. godine. Prikazana je procjena standardne mjerne nesigurnosti A i B vrste mjerenja duljine od 1000 m na kalibracijskoj bazi s pomoću TCA2003. Dan je pregled poželjnih daljnjih istraživanja na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta.

Poseban je doprinos ove disertacije u tome što je u njoj detaljno istraženo i potvrđeno da se za umjeravanje kalibracijske baze mogu primijeniti dvije potpuno neovisne metode: precizni elektrooptički daljinomjer i GPS (GNSS). To omogućuje da se u budućim umjeravanjima baze neće morati izvoditi često vrlo skupe međunarodne usporedbe između kalibracijskih baza. Tako umjerena kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu služi kao osnova za umjeravanje elektrooptičkih daljinomjera i GNSS-instrumenata (ali i drugih mjernih instrumenata i uređaja), što je i obveza prema zakonskim i podzakonskim propisima [2].

Slika 2: Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu [2]

Slika 3: Mjerenje duljina preciznim elektrooptičkim daljinomjerom Leica TCA2003 na kalibracijskoj bazi [2]

a)

b)

Slika 4: a) GPS mjerenja na kalibracijskoj bazi, b) GPS mjerenja na točki Brusnik [2]

4. Ispitivanje mjerne frekvencije elektrooptičkih daljinomjera

U Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta provedeno je znanstveno istraživanje u okviru kojega je studentica Martina Peša izradila diplomski rad *Ispitivanje mjerne frekvencije elektrooptičkih daljinomjera*, koji je obranila 2011. godine. Mentori diplomskog rada bili su Đuro Barković i Mladen Zrinjski.

U diplomskom radu detaljno je opisan razvoj i princip rada elektrooptičkih daljinomjera, pogreške koje nastaju pri elektrooptičkom mjerenju duljina te ukupna točnost elektrooptičkih daljinomjera. Kako bi se povećala preciznost mjerenja duljina, potrebno je redovito ispitati mjernu frekvenciju elektrooptičkog daljinomjera. Prikazan je postupak izmjere frekvencije elektrooptičkih faznih daljinomjera Leica TC1800 i Leica TCA2003 te pritom primijenjenog sustava uređaja.

Slika 5: Promjene mjernih frekvencija daljinomjera Leica TC1800 i Leica TCA2003 u ovisnosti o vremenu i temperaturi zraka [3]

Mjerenje frekvencije obavljeno je na sljedećim temperaturama zraka:

- Leica TC1800: 14,6 °C, 21,2 °C i 31,8 °C
- Leica TCA2003: 13,2 °C, 21,0 °C i 29,8 °C

Mjerenje frekvencije obavljeno je pomoću sustava uređaja i softvera: fotodiode koja infra-zračenje pretvara u električni impuls, PLL sklopa koji omogućuje da se s njega kontinuirano dobivaju signali za mjerenje frekvencije, osciloskopa na kojem je potrebno dobiti sinusni oblik signala, frekvencmetra koji mjeri frekvenciju daljinomjera te softvera Agilent IntuiLink Counter koji obavlja registraciju mjerenih podataka u računalo.

Svakom daljinomjeru je nakon uključivanja potrebno određeno vrijeme za stabilizaciju frekvencije. Vrijeme stabilizacije frekvencije važno je za precizna mjerenja milimetarske točnosti te je potrebno pričekati da to vrijeme nakon uključivanja instrumenta prođe prije startanja mjerenja. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da to vrijeme stabilizacije za daljinomjer Leica TC1800 iznosi približno 15 minuta, a za Leicu TCA2003 približno 5 minuta (slika 5). Možemo uočiti da su raspon i standardno odstupanje mjerne frekvencije više nego dvostruko manji za daljinomjer Leica TCA2003 u odnosu na Leicu TC1800, što ukazuje na veću stabilnost frekvencije daljinomjera Leica TCA2003. Vidljiv je i utjecaj temperature na način da je frekvencija pri niskoj temperaturi najveća, dok se povećanjem temperature ona smanjuje te se najteže stabilizira pri najvišoj temperaturi. Uspoređujući temperaturu i standardno odstupanje, možemo primijetiti da s porastom temperature raste i vrijednost standardnog odstupanja mjerne frekvencije [3].

5. Softverska podrška pri ispitivanju i umjeravanju geodetskih instrumenata prema nacionalnim normama

U Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta provedeno je znanstveno istraživanje u okviru kojega je student Dino Udovičić izradio diplomski rad *Softverska podrška pri ispitivanju i umjeravanju geodetskih instrumenata prema nacionalnim normama*, koji je obranio 2013. godine. Mentori diplomskog rada bili su Đuro Barković i Mladen Zrinjski.

Nacionalnim normama za ispitivanje i umjeravanje geodetskih instrumenata propisuju se postupci ispitivanja, umjeravanja te iskazivanja rezultata mjerenja s procjenom mjerne nesigurnosti. Ispitivanje preciznosti nivelira provodi se prema normi HRN ISO 17123-2, teodolita prema normi HRN ISO 17123-3, a GNSS RTK mjernog sustava prema HRN ISO 17123-8. Kao softverska podrška ispitivanju i umjeravanju

geodetskih instrumenata prema navedenim normama izrađen je računalni program GeodISO (slika 6) korištenjem modernoga programskog jezika C#. U ovoj softverskoj aplikaciji mogu se obraditi mjerenja, provesti statistički testovi i dobiti izvješće u formi, koja je u skladu s normama osnovne oznake HRN ISO 17123 [4].

Slika 6: Računalni program GeodISO [4]

6. Razvoj metode umjeravanja geodetskih linearnih mjerila

U Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta asistent Sergej Baričević, mag. ing. geod. et geoinf., provodi znanstveno istraživanje u okviru prijavljene teme doktorskog rada *Razvoj metode umjeravanja geodetskih linearnih mjerila*. Mentor teme doktorskog rada je prof. dr. sc. Đuro Barković.

U okviru ovoga doktorskog rada automatizirat će se postupak umjeravanja, kojim će se u cijelosti eliminirati utjecaj osobnih pogrešaka opažača jer će se očitanje pojedinih crtica podjele na geodetskom linearnom mjerilu izvoditi pomoću CCD kamere koja će se također pomicati automatski pomoću servomotora. Takav potpuno novi sustav umjeravanja, kojim će se zamijeniti analogni način očitanja pojedinačnih crtica podjele s CCD kamerom na motoriziranim kolicima i u kojem će se postupak mjerenja, obrade i analize podataka mjerenja te prikaza konačnih rezultata u potpunosti automatizirati, zahtijeva samostalnu izradu sveobuhvatnoga računalnog programa. Nakon izrade automatiziranog sustava umjeravanja, provest će se istraživanje može li takav automatizirani komparator (slika 7) dati točnije rezultate mjerenja uz manju mjernu nesigurnost od dosadašnje metode umjeravanja. Važno je naglasiti da za izra-

du tog sustava neće biti korištena gotova komercijalna rješenja, već će se pojedine komponente ugrađivati u sustav, a samostalno kreiran računalni program bit će otvorenog koda. Navedeno istraživanje je u završnoj fazi izrade, koje bi trebalo rezultirati obranom doktorskog rada Sergeja Baričevića tijekom 2022. godine.

Slika 7: Komparator Geodetskog fakulteta s izmijenjenim dijelovima
(1 – kolica sa servomotorom, 2 – kamera s CCD senzorom, 3 – telecentrični objektiv, 4 – upravljačko računalo, 5 – serversko računalo) [5]

7. Zaključak

Razvoj Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu traje u kontinuitetu gotovo punih šezdeset godina. U Laboratoriju se obavlja nastavna, znanstveno-istraživačka i stručna djelatnost. U Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku razvijaju se nove mjerne metode i uređaji za ispitivanje i umjeravanje geodetskih instrumenata i drugih mjernih senzora u skladu s međunarodnim i nacionalnim normama. Znanstveno-istraživački rad, koji se odvija u okviru Laboratorija, pridonosi stalnom razvoju i unapređenju nastavne i stručne djelatnosti.

Literatura

[1] Barković, Đ.: *Komparacija nivelmanskih letava pomoću inkrementalne mjerne letve, doktorska disertacija*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2002).

[2] Zrinjski, M.: *Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a, doktorska disertacija*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2010).

[3] Peša, M.: *Ispitivanje mjerne frekvencije elektrooptičkih daljinomjera*, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2011).

[4] Udovičić, D.: *Softverska podrška pri ispitivanju i umjeravanju geodetskih instrumenata prema nacionalnim normama*, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2013).

[5] Baričević, S.; Barković, Đ.; Zrinjski, M.: *Umjeravanje preciznih nivelmanskih letvi*, Geodetski list, 75 (2021) 2, 169-188.

Katedra za instrumentalnu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Mladen Zrinjski[1], Antonio Tupek[2], Kristina Matika[3]

[1] član suradnik HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, mladen.zrinjski@geof.unizg.hr

[2] Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, antonio.tupek@geof.unizg.hr

[3] Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, kristina.matika@geof.unizg.hr

Sažetak: *Katedra za instrumentalnu tehniku jedna je od 14 katedri Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Na Katedri za instrumentalnu tehniku izvodi se nastavna, znanstvena i stručna djelatnost iz područja geodetskih mjernih instrumenata, metoda terenskih i laboratorijskih mjerenja, preciznih geodetskih mjerenja, izmjere zemljišta te ispitivanja i umjeravanja geodetskih mjerila. Na Katedri su zaposleni jedan redoviti profesor i troje asistenata. S pogledom usmjerenim u budućnost opisana su dva doktorska rada koja su u poodmakloj fazi istraživanja, a koja predstavljaju temelj za daljnji razvoj Katedre za instrumentalnu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.*

Ključne riječi: *Katedra za instrumentalnu tehniku, precizna geodetska mjerenja, geodetska mjerna stanica, UAS, GNSS.*

1. Uvod

Katedra za instrumentalnu tehniku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu osnovana je 2005. godine kada je uspostavljen novi ustroj prema Statutu Fakulteta. Osnovna djelatnost Katedre za instrumentalnu tehniku je nastava iz područja geodetskih mjernih instrumenata, metoda terenskih i laboratorijskih mjerenja, preciznih geodetskih mjerenja, izmjere zemljišta te ispitivanja i umjeravanja geodetskih instrumenata i drugih mjernih senzora. Pored nastavne djelatnosti, na Katedri se obavlja znanstvena i stručna djelatnost.

2. Djelatnici

Na Katedri za instrumentalnu tehniku trenutno su zaposleni:

- prof. dr. sc. Mladen Zrinjski, (od 2017.)
- Antonio Tupek, mag. ing. geod. et geoinf., asistent, (od. 2018.)
- Kristina Matika, mag. ing. geod. et geoinf., asistentica, (od. 2018.)
- Krunoslav Špoljar, mag. ing. geod. et geoinf., asistent, (od. 2021.)

Djelatnici koji su bili zaposleni na Katedri za instrumentalnu tehniku od njezina osnutka:

- izv. prof. dr. sc. Brankica Cigrovski-Detelić, (od 2005. do 2017.), u mirovini
- izv. prof. dr. sc. Zlatko Lasić, (od 2005. do 2014.), u mirovini
- dr. sc. Marko Šljivarić, (od 2005. do 2013.), viši asistent, istek ugovora o radu
- Marina Gudelj, mag. ing. geod. et geoinf., asistentica, (od. 2018. do 2021.), sporazumni raskid ugovora o radu
- Goran Jurakić, mag. ing. geod. et geoinf., asistent, (od. 2013. do 2018.), sporazumni raskid ugovora o radu

Pročelnik Katedre za instrumentalnu tehniku je prof. dr. sc. Mladen Zrinjski od ak. god. 2017./2018. Izv. prof. dr. sc. Zlatko Lasić bio je pročelnik Katedre od ak. god. 2005./2006. do 2013./2014., a izv. prof. dr. sc. Brankica Cigrovski-Detelić u razdoblju od ak. god. 2014./2015. do 2016./2017. Mladen Zrinjski, Antonio Tupek i Kristina Matika članovi su Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta. Djelatnici Katedre sudjeluju u radu različitih fakultetskih tijela. Mladen Zrinjski obnašao je dužnost prodekana za nastavu i studente Geodetskog fakulteta u mandatnom razdoblju ak. god. 2015./2016. i 2016./2017. Izv. prof. dr. sc. Brankica Cigrovski-Detelić u razdoblju od ak. god. 2013./2014. do 2016./2017. bila je voditeljica Odbora za diplomske i završne ispite. U mandatnom razdoblju ak. god. 2015./2016. i 2016./2017. Mladen Zrinjski bio je voditelj Odbora za nastavu, a od 2017./2018. član je Odbora za znanost. Od ak. god. 2019./2020. Mladen Zrinjski predstojnik je Zavoda za primijenjenu geodeziju, a od ak. god. 2017./2018. zamjenika je voditelja Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku. Kristina Matika članica je Odbora za znanost te Ureda za međunarodnu suradnju i znanstvene projekte Geodetskog fakulteta od ak. god. 2021./2022.

Antonio Tupek član je prosudbenog povjerenstava za Državno natjecanje učenika strukovnih škola – WorldSkills Croatia od 2021. godine, koje organizira i provodi Agencija za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih.

Također, djelatnici Katedre aktivno sudjeluju u radu Tehničkog odbora – TO 172 pri Hrvatskom zavodu za norme (HZN).

3. Nastavna djelatnost

Djelatnici Katedre za instrumentalnu tehniku održavaju nastavu iz sljedećih kolegija na Geodetskom fakultetu:

Preddiplomski studij

- Geodetski instrumenti (1. semestar, obavezni kolegij)
- *Terenska mjerenja* (2. semestar, obavezni kolegij)
- Izmjera zemljišta (2. semestar, obavezni kolegij)
- Topografija (3. semestar, izborni kolegij)
- Stručna praksa (5. semestar, obavezni kolegij)
- Stručni projekt (5. semestar, obavezni kolegij)
- Praktični rad s geodetskim instrumentima (5. semestar, izborni kolegij)
- Završni ispit (6. semestar, obavezni kolegij)

Diplomski studij

- Primjena laserskih uređaja (2. semestar, izborni kolegij)
- Geodezija u geoznanostima (2. semestar, izborni kolegij)
- Precizna geodetska mjerenja (2. semestar, izborni kolegij)
- Utjecaj atmosferskih uvjeta mjerenja na optičku funkciju dalekozora teodolita (3. semestar, izborni kolegij)
- Četverodimenzionalna geodezija (3. semestar, izborni kolegij)
- Diplomski rad (4. semestar, obavezni kolegij)

Poslijediplomski doktorski studij

- Automatizacija mjernog postupka u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta (1. i 2. semestar, izborni kolegij)

Pored nastavne djelatnosti na Geodetskom fakultetu, djelatnici Katedre za instrumentalnu tehniku održavaju nastavu i na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu i Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Mostaru.

Za potrebe redovitog održavanja nastave objavljen je sveučilišni priručnik Terenska mjerenja (Manualia Universitatis studiorum Zagrabiensis), autori Đuro Barković i Mladen Zrinjski, 2020. godina.

Na Katedri za instrumentalnu tehniku izrađeno je više od 100 diplomskih radova, u okviru kojih su obavljena terenska i/ili laboratorijska mjerenja kao izvorni doprinos studenata.

Na Katedri za instrumentalnu tehniku izrađeni su studentski radovi za koje su studenti osvojili Rektorovu nagradu Sveučilišta u Zagrebu:

- Krunoslav Špoljar: Softverska podrška za obradu geodetskih mjerenja, mentor: Mladen Zrinjski, 2021. godina.
- Ivana Ćosić, Josip Ćurin: Određivanje i analiza visinskih pomaka nivelmanske mreže u središtu Zagreba, mentor: Mladen Zrinjski, 2021. godina.
- Marina Gudelj: Analiza urbanizacije grada Splita, mentori: Mladen Zrinjski, Mateo Gašparović, 2017. godina.

Nagradu dekana Geodetskog fakulteta za najbolje studentske radove, koji su izrađeni na Katedri, osvojili su studenti:

- Ante Polović: Određivanje nagiba dimnjaka primjenom geodetske mjerne stanice i bespilotne letjelice, mentor: Mladen Zrinjski, 2019. godina.
- Iva Rajković: Prostorno-vremenska analiza stanja vegetacije opožarenog područja na otoku Braču, mentori: Mladen Zrinjski, Mateo Gašparović, 2018. godina.

4. Znanstvena djelatnost

Na Katedri za instrumentalnu tehniku obavlja se znanstvena djelatnost, koja rezultira objavom znanstvenih radova u međunarodnim i domaćim znanstvenim časopisima te u zbornicima znanstvenih konferencija.

Izdvajaju se najznačajniji radovi A-kategorije:

- Zrinjski, Mladen; Tupek, Antonio; Barković, Đuro; Polović, Ante.
  Industrial Masonry Chimney Geometry Analysis: A Total Station Based Evaluation of the Unmanned Aerial System Photogrammetry Approach. *Sensors*. 21 (2021), 18; 6265, 1-25 [1].
- Baričević, Sergej; Barković, Đuro; Zrinjski, Mladen.
  Umjeravanje preciznih nivelmanskih letvi. Geodetski list. 75 (98) (2021), 2; 169-188 [2].
- Zrinjski, Mladen; Barković, Đuro; Matika, Kristina.
  Precise Measurement and Analysis of the Olympic-size Swimming Pool Lanes Distance. Geodetski list. 75 (98) (2021), 1; 45-58 [3].
- Gašparović, Mateo; Zrinjski, Mladen; Barković, Đuro; Radočaj, Dorijan.
  An automatic method for weed mapping in oat fields based on UAV imagery. Computers and Electronics in Agriculture. 173 (2020), 6; 105385, 1-12 [4].
- Zrinjski, Mladen; Barković, Đuro; Baričević, Sergej.
  Precise Determination of Calibration Baseline Distances. Journal of Surveying Engineering. 145 (2019), 4; 05019005, 1-9 [5].

- Zrinjski, Mladen; Barković, Đuro; Tupek, Antonio; Polović, Ante.
  Ispitivanje i analiza vertikalnosti dimnjaka. Geodetski list. 73 (96) (2019), 3; 239-260 [6].
- Gašparović, Mateo; Zrinjski, Mladen; Gudelj, Marina.
  Automatic cost-effective method for land cover classification (ALCC). Computers, Environment and Urban Systems. 76 (2019), 4; 1-10 [7].
- Zrinjski, Mladen; Barković, Đuro; Gudelj, Marina.
  Ispitivanje i analiza kvalitete mjerenja rotirajućega laserskog sustava. Geodetski list. 73 (96) (2019), 2; 109-128 [8].
- Gašparović, Iva; Gašparović, Mateo; Medak, Damir; Zrinjski, Mladen.
  Analiza prostornih podataka o solarnom potencijalu za Hrvatsku. Geodetski list. 73 (96) (2019), 1; 25-44 [9].
- Zrinjski, Mladen; Barković, Đuro; Matika, Kristina.
  Razvoj i modernizacija GNSS-a. Geodetski list. 73 (96) (2019), 1; 45-65 [10].
- Gašparović, Mateo; Zrinjski, Mladen; Gudelj, Marina.
  Analiza urbanizacije grada Splita. Geodetski list. 71 (94) (2017), 3; 189-202 [11].

Posljednji rad koji su djelatnici Katedre za instrumentalnu tehniku objavili u renomiranom međunarodnom časopisu Sensors, a zorno prikazuje povezanost nastavne, znanstvene i stručne djelatnosti, jest: *Industrial Masonry Chimney Geometry Analysis: A Total Station Based Evaluation of the Unmanned Aerial System Photogrammetry Approach*. Monitoring i analiza prostornog nagiba visokog industrijskog dimnjaka ključni su iz aspekta njegove stabilnosti jer, u slučaju njegova neodržavanja, može predstavljati veliku potencijalnu opasnost za svoju okolinu. Različiti pristupi određivanju geometrijskih parametara dimnjaka, temeljeni na modernim tehnologijama, aktivno se primjenjuju. Međutim, provedeno je malo znanstvenih istraživanja o primjenjivosti fotogrametrijske izmjere, temeljene na sustavima bespilotnih zrakoplova, u svrhu monitoringa dimnjaka, a nedostaje i sveobuhvatna analiza s ustaljenim metodama. Stoga, ovo je istraživanje usmjereno na određivanje geometrijskih strukturnih parametara zidanog industrijskog dimnjaka u Dugoj Resi pri čemu su primijenjene dvije međusobno neovisne metode geodetske izmjere. Referentne vrijednosti geometrijskih parametara dimnjaka određene su na temelju preciznih mjerenja geodetskom mjernom stanicom. U odnosu na navedena referentna mjerenja evaluirana je primjenjivost fotogrametrijske izmjere temeljene na primjeni bespilotnog zrakoplova (UAS). Metodološki, referentne i testne vrijednosti geometrijskih strukturnih parametara dimnjaka određene su na temelju dvostrukog modeliranja njegove konstrukcije. U prvom koraku primijenjeno je eliptično regresijsko modeliranje dimnjaka u unaprijed definiranim horizontalnim presjecima. U drugom koraku, prostorna os dimnjaka modelirana je primjenom trodimenzionalne polinomne regresijske analize

kako bi se odredio nagib osi uzduž cijelog dimnjaka. U konačnici, strukturna stabilnost dimnjaka ispitana je na temelju iznosa nagiba njegove prostorne osi pri čemu je dopuštena vrijednost nagiba određena prema europskoj normi EN 1996-1-1:2005. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da se primjenom geodetske mjerne stanice postižu precizniji i točniji konačni rezultati, međutim, iako je određivanje geometrijskih strukturnih parametara dimnjaka fotogrametrijskom izmjerom temeljenoj na primjeni bespilotnog zrakoplova svakako moguće, velika se pozornost mora posvetiti točnosti generiranog oblaka točaka dimnjaka ako su potrebni rezultati visoke točnosti (slika 1) [1].

a) b)

Slika 1: a) Dimnjak u Dugoj Resi [6], b) 3D prikaz modeliranja osi dimnjaka (geodetska mjerna stanica – crveno, UAS – plavo) [1]

Područje primjene koje se najbrže razvija jesu globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) i satelitske tehnologije. Djelatnici Katedre za instrumentalnu tehniku objavili su u cijenjenom domaćem časopisu *Geodetski list* vrlo interesantan rad: *Razvoj i modernizacija GNSS-a*. Rad opisuje trenutačan status i planirani razvoj četiriju globalnih navigacijskih satelitskih sustava, američkoga GPS-a, ruskoga GLONASS-a,

europskog sustava Galileo i kineskog sustava BeiDou. Za svaki sustav iznesen je koncept, sažet kronološki pregled s ključnim povijesnim događajima koji su obilježili njihov razvoj, kao i ostvarenu i planiranu točnost apsolutnog pozicioniranja. Suvremenija tehnologija i novi civilni signali sustava Galileo i BeiDou potaknuli su GPS i GLONASS na modernizaciju. Pregledno su opisane glavne karakteristike modernizacije i poboljšanja koja one donose u pozicioniranju, navigaciji i određivanju vremena. Uz globalne sustave, Indija i Japan razvili su regionalne navigacijske satelitske sustave NavIC (IRNSS) i QZSS, kojih je koncept i razvoj također iznesen u ovom radu. Na kraju je dana usporedna analiza osnovnih parametara svih GNSS-a s osvrtom na njihovu nezaobilaznu primjenu u različitim aspektima ljudskog života (slika 2) [10].

Slika 2: Konstelacije GNSS-a [12]

Na Katedri za instrumentalnu tehniku u postupku su izrade četiri doktorska rada:

- Development of the Regional Ionospheric Model of Croatia, asistentice Kristine Matika
- Development of an Absolute GNSS Antenna Field Calibration Method, asistenta Antonija Tupeka
- Prostorno-vremensko modeliranje pomaka i deformacija hidroelektrana, doktoranda Dalibora Marinčića
- Geodetski pristup uređenju državne granice Republike Hrvatske i rješavanju graničnih sporova, doktorandice Elizabete Babić Sever

Djelatnici Katedre za instrumentalnu tehniku sudjeluju na znanstvenim i znanstveno-istraživačkim projektima, od kojih se izdvajaju:

- *Automatizacija mjernog postupka u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta*, voditelj: prof. dr. sc. Mladen Zrinjski, Potpora znanstvenom istraživanju, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, od 2016. godine, izvor financiranja: Sveučilište u Zagrebu.
- *Automatizacija mjernog postupka u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta*, voditelj: prof. dr. sc. Mladen Zrinjski, Interni znanstveni projekt, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, od 2016. godine, izvor financiranja: Geodetski fakultet.
- *Razvoj i izrada standarda zanimanja, kvalifikacija i studijskih programa u geodeziji i geoinformatici – LABIRINT* (UP.03.1.1.03.0012), voditelj: prof. dr. sc. Damir Medak, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 22.3.2019.–22.3.2022., Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske, Europski socijalni fond, Nastavnički projekt – Provedba HKO-a na razini visokog obrazovanja.
- *Laboratorijska znanstvena oprema*, voditelj: prof. dr. sc. Đuro Barković, Potpora znanstvenom istraživanju, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2013. godina, izvor financiranja: Sveučilište u Zagrebu.

5. Stručna djelatnost

Djelatnici Katedre za instrumentalnu tehniku sudjeluju na različitim stručnim projektima, od kojih su najznačajniji:

- Ispitivanje i umjeravanje geodetskih mjernih instrumenata i uređaja, različiti naručitelji
- Izrada softvera za obradu i analizu geodetskih mjerenja te za ispitivanje i analizu preciznosti geodetskih mjernih instrumenata, različiti naručitelji
- Određivanje dimenzija bazena HAPK Mladost – Zagreb, naručitelj: Hrvatski plivački savez
- Ispitivanje vertikalnosti dimnjaka u Pamučnoj industriji Duga Resa, osobni angažman djelatnika Katedre
- Određivanje dimenzija olimpijskog bazena Svetice – Zagreb, naručitelj: Plivački klub Natator (slika 3)
- Softver za mjerenje dometa projektila, naručitelj: Ministarstvo obrane Republike Hrvatske
- Kontrola geodetskih mjerenja i kreiranje baze podataka za potrebe “Hrvatskih autocesta”, naručitelj: Hrvatske autoceste d.o.o.

Slika 3: Olimpijski bazen u bazenskom kompleksu Svetice, Zagreb [3]

6. Zaključak

Na mladima svijet ostaje te treba promišljati kako im osigurati budućnost i uvjete za kvalitetan rad. Na Katedri za instrumentalnu tehniku asistenti Kristina Matika i Antonio Tupek intenzivno rade doktorske radove, a asistent Krunoslav Špoljar na početku je doktorskog studija.

Naziv teme doktorskog rada asistentice Kristine Matika, mag. ing. geod. et geoinf., glasi *Development of the Regional Ionospheric Model of Croatia*. Dominantan izvor pogrešaka u pozicioniranju globalnim navigacijskim satelitskim sustavima (GNSS) predstavlja ionosfera kao jedan od medija kroz koje satelitski signal prolazi na putu od satelita do prijamnika na Zemlji. Cilj je doktorskog rada razviti regionalni model ionosfere za potrebe modeliranja ionosferskog utjecaja u svrhu povećanja točnosti pozicioniranja GNSS-om. Za izradu modela koristit će se kontinuirana GNSS mjerenja prikupljena na umreženim permanentnim GNSS stanicama na području Hrvatske. Stanje u ionosferi ovisno je o dobu dana, godišnjem dobu, 11-godišnjem Sunčevu ciklusu, složenim procesima u međuplanetarnom prostoru i slično, što predstavlja dodatni izazov u modeliranju ionosfere. Zbog tih procesa kontinuirano praćenje stanja ionosfere te eliminacija utjecaja ionosfere na satelitski signal ključni su čimbenici za precizno pozicioniranje GNSS-om u geodeziji.

U okviru teme doktorskog rada asistenta Antonija Tupeka, mag. ing. geod. et geoinf., pod radnim naslovom *Development of an Absolute GNSS Antenna Field Calibration Method* u postupku je realizacija znanstvenog istraživanja u okviru kojeg će se razviti i validirati automatizirani terenski mjerni postupak, tj. metoda, modeliranja korekcije faznog središta preciznih GNSS antena. Pritom se ukupna korekcija faznog središta antene, koja utječe na pojedino fazno mjerenje, sastoji od ekscentriciteta

faznog središta i varijacije faznog središta. Razvijena metoda omogućavat će apsolutno određivanje modela faznog središta testne GNSS antene, odnosno njegovo određivanje potpuno neovisno o referentnoj GNSS anteni. Daljnja prednost metode sadržana je u tome da se temelji na prikupljanju stvarnih faznih mjerenja na terenu pod realnom satelitskom konstelacijom. Nadalje, razvijena metoda temeljit će se na primjeni industrijskog robota koji će omogućavati brzu, preciznu i točnu rotaciju antene po azimutu i elevaciji oko predefinirane fiksne točke u prostoru tijekom cijeloga terenskog postupka kalibracije. U konačnici, takav pristup kalibraciji omogućit će, između ostalog, i optimalno uzorkovanje cijele polutke antene, a uz naprednu naknadnu obradu prikupljenih sirovih faznih mjerenja, potencijalno će se eliminirati utjecaj multipatha.

Literatura

[1] Zrinjski, M.; Tupek, A.; Barković, Đ.; Polović, A.: Industrial Masonry Chimney Geometry Analysis: A Total Station Based Evaluation of the Unmanned Aerial System Photogrammetry Approach, Sensors, 21 (2021) 18, 6265, 1-25.

[2] Baričević, S.; Barković, Đ.; Zrinjski, M.: Umjeravanje preciznih nivelmanskih letvi, *Geodetski list*, 75 (2021) 2, 169-188.

[3] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Matika, K.: Precise Measurement and Analysis of the Olympic-size Swimming Pool Lanes Distance, *Geodetski list*, 75 (2021) 1, 45-58.

[4] Gašparović, M.; Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Radočaj, D.: An automatic method for weed mapping in oat fields based on UAV imagery, *Computers and Electronics in Agriculture*, 173 (2020) 6, 105385, 1-12.

[5] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Baričević, S.: Precise Determination of Calibration Baseline Distances, *Journal of Surveying Engineering*, 145 (2019) 4, 05019005, 1-9.

[6] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Tupek, A.; Polović, A.: Ispitivanje i analiza vertikalnosti dimnjaka, Geodetski list, 73 (2019) 3, 239-260.

[7] Gašparović, M.; Zrinjski, M.; Gudelj, M.: Automatic cost-effective method for land cover classification (ALCC), *Computers, Environment and Urban Systems*, 76 (2019) 4, 1-10.

[8] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Gudelj, M.: Ispitivanje i analiza kvalitete mjerenja rotirajućega laserskog sustava, *Geodetski list*, 73 (2019) 2, 109-128.

[9] Gašparović, I.; Gašparović, M.; Medak, D.; Zrinjski, M.: Analiza prostornih podataka o solarnom potencijalu za Hrvatsku, *Geodetski list*, 73 (2019) 1, 25-44.

[10] Zrinjski, M.; Barković, Đ.; Matika, K.: Razvoj i modernizacija GNSS-a, *Geodetski list*, 73 (2019) 1, 45-65.

[11] Gašparović, M.; Zrinjski, M.; Gudelj, M.: Analiza urbanizacije grada Splita, Geodetski list, 71 (2017) 3, 189-202.

[12] GNSS, *Dostupno na:* https://images.app.goo.gl/aBSCRY9zh1dmnGf3A, Pristupljeno: 2022-01-08.

Razvoj Centra za istraživanje i razvoj sigurnog i održivog izgrađenog okoliša Građevinskog fakulteta u Zagrebu

Stjepan Lakušić[1], Nina Štirmer[2]

[1] član suradnik Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, stjepan.lakusic@grad.unizg.hr

[2] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, nina.stirmer@grad.unizg.hr

Sažetak: *Građevinski fakultet pokrenuo je osnivanje centra izvrsnosti pod nazivom ''Centar za istraživanje i razvoj sigurnog i održivog izgrađenog okoliša" u Sveučilišnom kampusu Borongaj u Zagrebu. U Centru će se stvoriti uvjeti za znanstvena istraživanja u svim granama građevinarstva te će se omogućiti značajno poboljšanje znanstvenog i istraživačkog rada Građevinskog fakulteta. Isto tako, važnu kariku u razvoju građevinske struke i novih tehnologija te njihove primjene predstavlja suradnja fakulteta s gospodarstvom. Sudjelovanje u rješavanju najzahtjevnijih inženjerskih zadaća u građevinarstvu stvara uvjete za stjecanje novih stručnih znanja i iskustava koja se dalje prenose na studente te pružaju snažnu osnovu za prijenos inovativnih rješenja u građevinsku praksu.*

Ključne riječi: *Centar za istraživanje i razvoj, građevinarstvo, suradnja s gospodarstvom, inovacije, laboratoriji*

1. Uvod

Novi akcijski plan za kružno gospodarstvo za čišću i konkurentniju Europu [1] ističe da će Europska komisija pokrenuti novu sveobuhvatnu strategiju za održivi izgrađeni okoliš čime će se osigurati horizontalna usklađenost relevantnih područja politike kao što su klima, energetika i učinkovitost resursa, gospodarenje građevnim otpadom i otpadom od rušenja, pristupačnost, digitalizacija i vještine. Pri tome se osobito naglašava da će se promicati načela kružnosti tijekom životnog ciklusa zgrada uključujući uvođenje zahtjeva za reciklirani sadržaj određenih građevnih proizvoda, promicanje mjera za poboljšanje trajnosti i prilagodljivosti izgrađene imovine u skladu s načelima kružnog gospodarstva za projektiranje zgrada, integriranje procjene

životnog ciklusa u javnu nabavu i okvir EU-a za održivo financiranje, razmatranje revizije ciljeva oporabe materijala te promicanje inicijative za smanjenje prekrivanja tla, obnovu napuštenih ili neiskorištenih kontaminiranih industrijskih područja te povećanje sigurne, održive i kružne uporabe iskopanih tala.

Glavni strateški cilj Strategije poticanja inovacija Republike Hrvatske 2014. – 2020. [2] je povećanje razine konkurentnosti hrvatskog gospodarstva te povećanje društvene dobrobiti kao rezultata ulaganja u znanje, kreativnost i inovacije. U Strategiji se također navodi da je jedan od primarnih ciljeva kroz strategiju Europa 2020 [3] poticanje konkurentnosti gospodarstava i jačanje inovativnog potencijala i tehnološkog razvitka gospodarstva putem povezivanja sa sveučilištima i istražnim centrima radi komercijalizacije znanstvenih dostignuća. Prema inovacijskom pokazatelju EU-a, inovacijski lideri su Švedska, Finska i Danska [4], dok se Republika Hrvatska nalazi u grupi umjereno inovativnih zemalja (slika 1). U odnosu na 2012. godinu, Republika Hrvatska se 2019. godine poboljšala za 9,8 % bodova.

Slika 1: Inovacijski sustavi članica EU [4]

Kompozitni inovacijski indikator objedinjava 27 inovacijskih indikatora (tablica 1) kao što su: broj novih doktorata, stanovništvo između 25 i 34 godina koje završi tercijarnu edukaciju, cjeloživotno učenje, zajedničke međunarodne znanstvene publikacije, najcitiranije znanstvene publikacije, broj inozemnih doktoranada, raširenost širokopojasne mreže, tržišno usmjereno poduzetništvo i dr. [4, 5]. Indikatori su podijeljeni u 10 kategorija: ljudski resursi, atraktivni sustavi istraživanja, povoljna klima za inovacije, financije i podrška, ulaganja tvrtki, inovatori, povezivanja, intelektualno vlasništvo, učinak na zapošljavanje i učinak prodaje. Svaka bi zemlja trebala biti svjesna svojih snaga i slabosti u odnosu na ove indikatore te poduzeti aktivnosti kako bi se oni poboljšali. Prema posljednjim podacima, snage Republike Hrvatske su inovatori i investicije tvrtki, dok su slabosti intelektualno vlasništvo, učinak prodaje te financije i podrška.

Tablica 1: Kategorije inovacijskih indikatora

Ljudski resursi	**Inovatori**
Broj novih doktorata Stanovništvo između 25 i 34 godina koje završi tercijarnu edukaciju Cjeloživotno učenje	Inovatori proizvoda/procesa Organizacijski/marketinški inovatori Vlastite inovacije malih i srednjih poduzetnika
Atraktivni sustavi istraživanja	**Povezivanja**
Zajedničke međunarodne znanstvene publikacije Najcitiranije publikacije Broj inozemnih doktoranada	Suradnja inovativnih malih i srednjih poduzetnika s drugima Javno-privatne publikacije Privatna financiranja javnih institucija za istraživanje i razvoj
Povoljna klima za inovacije	**Intelektualno vlasništvo**
Raširenost širokopojasne mreže Tržišno usmjereno poduzetništvo	PCT* patentne prijave Prijave za zaštitni znak Prijave za zaštitu dizajna
Financije i podrška	**Učinak na zapošljavanje**
Javno ulaganje u istraživanje i razvoj Ulaganje rizičnog kapitala	Zapošljavanje u područjima suvremenih znanja Zapošljavanje u brzorastućim poduzećima i sektorima
Ulaganja tvrtki	**Učinak prodaje**
Troškovi za istraživanje i razvoj Ostali ne-inovacijski troškovi Poboljšanje vještina informacijskih i komunikacijskih tehnologija	Izvoz srednje i visoke tehnologije Izvoz usluga suvremenih znanja Prodaja novoga na tržištu & proizvoda tvrtke

*Patent Cooperation Treaty

Ulaganja u istraživanja i razvoj predstavljaju ključan faktor za pametan, održivi i uključiv rast . Implementacija novih ideja na tržište dovodi do kreiranja poslova, veće produktivnosti i učinkovitijeg korištenja resursa [6]. Istraživanjima se dolazi do inovacija koje su neophodne za društvene i okolišne izazove kao što su klimatske promjene i čista energija, sigurnost i aktivno i zdravo starenje. Broj patentnih prijava prikazuje mjeru inventivnosti zemalja, regija i tvrtki i ekonomskog iskorištavanja rezultata istraživanja (slika 2).

Slika 2: Broj patentnih prijava iz RH Europskom patentnom uredu [7]

Prema svjetskoj listi rangiranja sveučilišta koju objavljuje Center for World University Rankings (CWUR) [8], a koja je obuhvatila 19788 institucija, Sveučilište u Zagrebu zauzima 525. mjesto i time spada u 2,65 % najboljih svjetskih sveučilišta. CWUR u analizi koristi metodologiju koja se temelji na nekoliko pokazatelja. Kvaliteta obrazovanja mjeri se brojem bivših sveučilišnih studenata koji su osvojili visoka akademska priznanja u odnosu na veličinu sveučilišta, a zaposlenost bivših studenata mjeri se njihovim brojem na najvišim rukovodećim pozicijama u najvećim svjetskim kompanijama u odnosu na veličinu sveučilišta. Metodologija također uzima u obzir broj akademskih zaposlenika koji su osvojili velika akademska priznanja. Učinkovitost istraživanja mjeri se kroz ukupan broj istraživačkih radova, broj članaka objavljenih u visokokvalitetnim publikacijama i kroz analizu njihovog utjecaja te uzimanjem u obzir broja navoda visoko citiranih istraživačkih radova [9]. Među prvih 2000 sveučilišta, na popisu se nalaze još 3 hrvatska sveučilišta: Sveučilište u Splitu (766.), Sveučilište u Rijeci (1526.) i Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku (1959.). Razumljivo je da bi veća ulaganja u znanstveno-istraživački rad, uključujući i investiranje u infrastrukturnu obnovu znatno doprinijelo boljem pozicioniranju hrvatskih sveučilišta na svjetskim rang-listama. Slika 3 prikazuje usporedbu troškova za istraživanje i razvoj kao postotak bruto domaćeg proizvoda (BDP) EU i RH. Bitno je napomenuti da u realizaciji znanstvenih projekata Građevinski fakultet u Zagrebu uspješno surađuje s nekim od najboljih sveučilišta, odnosno fakulteta u svome području kao što su ETH Zurich (29.), University of Edinburgh (45.), École Polytechnique Fédérale de Lausanne (104.), Ghent University (121.), Technical University of Denmark (196.), University of Vienna (207.), Delft University of Technology (259.), Technical University of Berlin (370.), University of Ljubljana (374.), University of Oulu (446.), Technical University of Darmstadt (477.) i mnogim drugima.

Slika 3: Usporedba troškova za istraživanje i razvoj kao postotak BDP-a EU i RH [10]

2. Sektor građevinarstva

Građevinski sektor zauzima važno mjesto u europskom gospodarstvu, jer stvara oko 9 % BDP-a i oko 6 % zaposlenosti [11]. Zgrade, infrastruktura i građevni proizvodi imaju važan utjecaj na učinkovitost energije i resursa, borbu protiv klimatskih promjena i na okoliš općenito te utječu na potrebe za novim vještinama, proizvodima i tehnologijama. Građevinska industrija mijenja se brže nego ikada i nikada nije imala veću potrebu za inovativnim tehnologijama i procesima. Četvrta industrijska revolucija, Industrija 4.0, važan je čimbenik koji izravno utječe na konkurentnost i buduće potrebe za vještinama građevinskog sektora. Pojam "Industrija 4.0" odnosi se na nove proizvodne procese koji su djelomično ili potpuno automatizirani kroz tehnološke inovacije koje omogućuju strojevima u lancu vrijednosti da dijele informacije jedni s drugima na autonoman način. Pametne i inovativne 4.0 tehnologije omogućile bi građevinskom sektoru da gradi na brži i superiorniji način i uz manje troškove, uz maksimalno korištenje resursa i povećanje profitabilnosti.

Prema istraživanju Američke gospodarske komore [12], više od 60 % izvođača radova trenutno koristi jednu ili više naprednih tehnologija, dok ih 80 % planira koristiti u budućnosti, uključujući dronove, elektroničko označavanje opreme, proširenu i virtualnu stvarnost, automatiziranu opremu ili robote i drugo. U novijem izvješću [13], ističu se poteškoće s pronalaženjem stručno osposobljenih radnika u području građevinarstva te problemi s kašnjenjem radova zbog pandemije COVID-19. Više od 60 % tvrtki imalo je problema s cijenama i raspoloživosti građevnih proizvoda, s aspektima koji se tiču zdravlja i sigurnosti te smanjenim brojem projekata. Sve to ukazuje na nužnu potrebu za razvojem učinkovitijih tehnologija i procesa, digitalizacijom i cjeloživotnim obrazovanjem. Trendovi u građevinarstvu odnose se na [11]:

- nove metodologije mjerenja i prikupljanja podataka
- BIM metodologiju
- upravljanje projektima
- održivo upravljanje resursima
- kružnu ekonomiju: gospodarenje otpadom u građevinarstvu
- izazove klimatskih promjena u građevinarstvu: minimiziranje utjecaja radova, učinkovitost zgrada i ostalih građevina te održiviju prometnu infrastrukturu i planove mobilnosti.

BIM je postao glavni sustav za pohranu digitalnih informacija o građevinskim projektima. BIM je digitalni alat za integrirano projektiranje, modeliranje, planiranje i integriranu suradnju, koji sudionicima u gradnji pruža digitalni prikaz karakteristika građevine kroz njezin životni ciklus. Obično ga koriste arhitekti i građevinski inženjeri te povremeno izvođači dok je tijekom održavanja građevine primjena BIM-a još uvijek ograničena te se njegov potencijal ne koristi u potpunosti [14]. U novije vrijeme sve se više promovira implementacija BIM-a u građevinskim projektima, osobito financiranim javnim sredstvima. Tehnologije koje se mogu integrirati u BIM su one koje se odnose na prikupljanje terenskih podataka (3D skeneri, dronovi i dr.), 3D printeri i proširena stvarnost (engl. augmented reality). U sektoru građevinarstva također postoje mogućnosti sofisticirane automatizacije, implementacije senzora, nadzora i kontrole gradnje što znatno povećava potencijal primjene interneta stvari (IoT). U sektoru građevinarstva u budućnosti se očekuje sve veća primjena robota i autonomne opreme. Budući da je građevinska industrija jedna od najopasnijih industrija, glavni cilj će ovih tehnologija biti, osim povećanja produktivnosti, poboljšanje sigurnosti. Novi materijali te inovativni građevni proizvodi, tehnologije i sustavi također imaju značajnu ulogu u napretku građevinske industrije. Oni će omogućiti stvaranje održivijih, troškovno i ekološki prihvatljivijih i otpornijih građevina. Jedna od takvih tehnologija je i 3D printanje [15, 16] kojom se gradi automatiziranim strojevima sloj po sloj primjenom materijala kao što su polimeri, metali, beton i drugi. Primjenom 3D printanja smanjuje se otpad na gradilištu te troškovi transporta, a isto tako rješavaju se problemi nedostatka radnika. S druge strane, dronovi se već aktivno koriste u građevinarstvu i u posljednje vrijeme spadaju u jedan od najatraktivnijih trendova u građevinskom sektoru. Omogućuju točnu razmjenu podataka u stvarnom vremenu i prikupljanja trodimenzionalnih informacija (koje se mogu integrirati u BIM sustave).

U Republici Hrvatskoj se do 2030. godine očekuju znatna ulaganja u osuvremenjivanje hrvatske željezničke mreže (slika 4) pretežno sredstvima EU fondova, ali i sredstvima Svjetske banke, Europske banke za obnovu i razvoj te komercijalnim kreditima [17].

Slika 4: Modernizacija željezničke mreže u RH [18]

Glavni je cilj transformacije željezničkog sustava u Europskoj uniji osposobljavanje željeznice za ravnopravno i konkurentno sudjelovanje na cjelovitom europskom prometnom tržištu. Time bi se rasteretile ceste i postigli što veći učinci vezani uz uštedu energije i zaštitu okoliša. Ulaganja su usmjerena u obnovu i modernizaciju pruga i pružnih dionica, izgradnju novih pruga i kolosijeka, rekonstrukciju kolodvora, osiguranje željezničko-cestovnih prijelaza uređajima te elektrifikaciju. Dodatna su ulaganja neophodna i za povećanje sigurnosti željezničkog prometa, a to su sanacija usjeka, zamjena i obnova mostova i tunela, izgradnja propusta, zamjena skretnica, zamjena signalno-sigurnosnih i telekomunikacijskih uređaja i ostalo. Mreža se modernizira većinom na hrvatskom dijelu Mediteranskog koridora. Mediteranski koridor cestovni je i željeznički koridor čiji su sastavni dijelovi pravci Rijeka – Zagreb – Budimpešta i Zagreb – Zidani Most (Slovenija).

Podaci Državnog zavoda za statistiku [19], pokazuju da je prema kalendarski prilagođenim indeksima obujam građevinskih radova u listopadu 2021. u odnosu na listopad 2020. veći za 6,1 %. Nakon tri uzastopna mjeseca u kojima je smanjen obujam građevinskih radova (ožujak, travanj, svibanj 2020.) zbog pandemije bolesti COVID-19, u području građevinarstva ostvaren je njihov porast u sedamnaest uzastopnih mjeseci.

Broj izdanih građevinskih dozvola za zgrade u 2020. godini iznosio je 6775, a u posljednjih pet godina (2016. – 2020.) prosječno je godišnje izdano 6469 dozvola. Također, u posljednjih se pet godina uočava trend povećanja broja završenih zgrada u Republici Hrvatskoj (slika 5).

Slika 5: Završene zgrade u RH (izvor: Državni zavod za statistiku [20])

Suradnja Građevinskog fakulteta s gospodarstvom predstavlja važnu kariku u razvoju građevinske struke i novih tehnologija te njihovoj primjeni. Sudjelovanje u rješavanju najzahtjevnijih inženjerskih zadaća u građevinarstvu stvara uvjete za stjecanje novih znanja i iskustava koja se dalje prenose na studente. Znanja i kompetencije znanstvenika i istraživača fakulteta predstavljaju snažnu osnovu za sudjelovanje fakulteta u realizaciji građevinskih projekata. Shodno navedenom, Građevinski fakultet planira aktivno sudjelovati u realizaciji razvojnih građevinskih projekata šireg društvenog značaja (povezivanje s javnim poduzećima, nuđenje visokostručnih usluga u studijskom i projektnom procesu) te u razvoju građevinske industrije (povezivanje s razvojnim odjelima u gospodarstvu radi primjene rezultata istraživanja, informiranje stručne javnosti o postignutim rezultatima objavljivanjem rezultata istraživanja u znanstvenim i stručnim časopisima, organizacija i pokroviteljstvo nad znanstvenim i stručnim skupovima).

3. Razvoj centra za istraživanje i razvoj sigurnog i održivog izgrađenog okoliša Građevinskog fakulteta

Građevinski fakultet u Zagrebu najstarija je i po svojoj znanstvenoj i nastavnoj produkciji daleko najznačajnija znanstveno nastavna institucija u Republici Hrvatskoj, ali već dulje vrijeme ima ograničeni prostor za razvoj i dosezanje svojih punih potencijala. Znanstvena djelatnost Građevinskog fakulteta odvija se kroz različite aktivnosti koje uključuju poslijediplomske studije, rad na znanstveno-istraživačkim projektima,

objavljivanje znanstvenih radova i patentiranje te organizaciju znanstvenih skupova. Prepoznatljivost Građevinskog fakulteta vidljiva je u velikom broju znanstveno istraživačkih projekata koje vode ili na njima surađuju djelatnici fakulteta. Na fakultetu se u posljednje tri godine provodio niz projekata u okviru programa HORIZON 2020, ERASMUS+, Hrvatske zaklade za znanost te programa koji se financiraju putem strukturnih fondova, a za koje su nadležni Europski fond za regionalni razvoj, Ministarstvo znanosti i obrazovanja i Ministarstvo gospodarstva, poduzetništva i obrta Republike Hrvatske [21].

Ministarstvo znanosti i obrazovanja je 23. studenoga 2018. godine u okviru Europskog fonda za regionalni razvoj raspisalo javni poziv ''Priprema IRI infrastrukturnih projekata'' [22]. Na Poziv su se mogli prijaviti samo oni prijavitelji koji su ranije odabrani putem Javnog poziva za iskaz interesa za sudjelovanje u pred-odabiru za ispunjavanje kriterija za prijavu. Na listi potencijalnih prijavitelja bilo je ukupno 45 projekata, dok je nakon provedene evaluacije projekt Građevinskog fakulteta ''Centar za istraživanje i razvoj sigurnog i održivog izgrađenog okoliša'' prihvaćen za financiranje kao jedan od 10 projekata. Poziv na dostavu projektnih prijedloga organiziran je u sklopu Operativnoga programa ''Regionalna konkurentnost (OPRK) 2014. – 2020.'', u sklopu Prioritetne osi 1 ''Jačanje gospodarstva primjenom istraživanja i inovacija'', Specifičnoga cilja 1a1 ''Povećana sposobnost sektora za istraživanje, razvoj i inovacije (IRI) za provođenje istraživanja vrhunske kvalitete i zadovoljavanje potreba gospodarstva'', financiranog sredstvima EFRR-a [23]. Građevinskom fakultetu u Zagrebu dodijeljena su bespovratna sredstva u svrhu izrade projektne/tehničke dokumentacije za projekt Centra za istraživanje i razvoj sigurnog i održivog izgrađenog okoliša, za izradu studije izvedivosti s analizom troškova i koristi, upravljanja projektom te promidžbe i vidljivosti.

Projekt Centra u skladu je sa Strategijom Europe 2020 u pogledu razvojnih prioriteta pametnog, održivog i uključivog rasta budući da će njegove aktivnosti biti usmjerene na stvaranje, širenje i razmjenu znanja između Građevinskog fakulteta kao znanstveno-obrazovne institucije i gospodarstva, zatim na poticanje inovacijskih aktivnosti osobito u pogledu učinkovitijeg iskorištavanja materijalnih i nematerijalnih resursa u procesu građenja čime će doprinositi okolišno povoljnijoj i konkurentnijoj ekonomiji koja bi doprinijela većoj stopi zaposlenosti u području građevinarstva i općenito. Uspostava Centra u skladu je s Operativnim programom Konkurentnost i kohezija 2014.-2020., prioritetnom osi 1. Jačanje gospodarstva primjenom istraživanja i inovacija, konkretno s investicijskim prioritetom 1.a. Poboljšanje infrastrukture i kapaciteta za istraživanje i inovacije s ciljem razvijanja uspješnosti istraživanja i inovacija te promoviranje centara za kompetencije, posebno onih od europskog interesa, budući će se kroz njega stvoriti nova istraživačka infrastruktura koja će omogućiti povećanje razine znanstvenih ishoda te inovacija u građevinskom sektoru u Republici Hrvatskoj i šire.

3.1. Lokacija Centra

Centar će biti smješten u Sveučilišnom kampusu Borongaj u Zagrebu. Naime, Odlukom Vlade RH u listopadu 2006. godine, Vojarna Borongaj u Zagrebu prenijeta je u nadležnost Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa s ciljem razvoja Znanstveno-učilišnog kampusa za potrebe Sveučilišta u Zagrebu i drugih znanstvenih institucija te pripadajućih agencija. Nakon faze preuzimanja zgrada i temeljite adaptacije jednog broja njih za potrebe sveučilišne nastave i studentskog standarda te preseljenja triju sastavnica Sveučilišta u Zagrebu, Znanstveno-učilišni kampus na Borongaju otvoren je za javnost početkom akademske nastave 12. listopada 2007. godine [24]. Centar će se nakon izgradnje nalaziti na lokaciji postojeće građevine (slika 6) koja je bila izgrađena za potrebe vojnog skladišta (medicinske robe i opreme) u sklopu tadašnje vojarne na Borongaju. Građevina je već više od 20 godina napuštena i ne koristi se. Pregledom građevine dokazano je da nije moguća prenamjena zgrade već je nužno uklanjanje postojeće i izgradnja nove zgrade.

Slika 6: Lokacija zgrade Centra u okviru kampusa Borongaj

3.2. Ustrojstvo Centra

Istraživačke aktivnosti Centra bit će realizirane u skladu s tri prioritetna tematska područja Strategije pametne specijalizacije S3: energija i održivi okoliš, promet i mobilnost te sigurnost, te će biti snažno povezane s horizontalnim temama ključne razvojne tehnologije, KET i informacijske i komunikacijske tehnologije, ICT.

Cilj grupe istraživačkih jedinica koje pripadaju tematskom području „Energija i održivi okoliš“ je racionalna potrošnja energije u građevinarstvu, upravljanje vodnim

resursima, osiguranje pitke vode i zbrinjavanje otpadnih voda te razvoj naprednih građevinskih materijala s niskim životnim ciklusom ugljičnog dioksida. Predviđa se opremanje laboratorija koji će omogućiti provođenje kompleksnih istraživanja u području higrotermalnih svojstava materijala te zvučne izolacije, laboratorija za istraživanje i razvoj hidrotehničkih sustava, s naglaskom na korištenje vodenih snaga i gospodarenje gubitcima vode i razvoj naprednih metoda za tretman voda, te laboratorija za napredna ispitivanja strukture, trajnosti i održivosti građevinskih materijala na nanorazini, mikrorazini i makrorazini.

Ciljevi grupe istraživačkih jedinica koje pripadaju prioritetnom tematskom području „Promet i mobilnost“ su razvoj naprednih tehnologija i sustava za projektiranje, gradnju, održavanje, praćenje i planiranje održive, sigurne i učinkovite prometne infrastrukture. Predviđeno je opremanje laboratorija za istraživanje rješenja za željeznički, cestovni, zračni i podzemni promet, uključujući integralnu metodologiju plitkog i dubokog istraživanja tla i stijena te srodnih grana kao što su geologija, geodezija i okolišno inženjerstvo. Istraživačka jedinica unutar ove grupe usmjerena je na integrirano upravljanje u građevinarstvu.

Grupa istraživačkih jedinica koje pripadaju prioritetnom tematskom području „Sigurnost“ ima za cilj razvoj inovativnih konstruktivnih rješenja u projektiranju, izvedbi i održavanju, s naglaskom na utjecaj klimatskih promjena i izvanrednih katastrofa, poput potresa i požara na građevine. Predviđa se opremanje laboratorija zadnje generacije za ispitivanje elemenata u punoj veličini s potresnim stolom sa šest stupnjeva slobode, reaktivni sustav za prisilna ispitivanja i prateću opremu te opremom za ispitivanje ponašanja elemenata i materijala pri visokim temperaturama.

U centru je predviđeno i osnivanje Ureda za inovacije i znanstvene projekte i Ureda za industrijsko istraživanje i transfer tehnologije. Ured za inovacije i znanstvene projekte usmjeren je na istraživanja na razini tehnološke spremnosti (TRL - Technology readiness level) od 1-5, ima za cilj osiguravanje pomoći prilikom zaštite inovacija, nacionalne i međunarodne suradnje te osiguravanje prepoznatljivosti Centra na Europskom istraživačkom području. Ured za industrijsko istraživanje i transfer tehnologije usmjeren je na razinu tehnološke spremnosti TRL 5-9 te osigurava pomoć prilikom pregovaranja, komercijalizacije proizvoda i usluga zasnovanih na znanju i formiranju klastera s industrijskim partnerima sa svrhom zajedničkog nastupanja na domaćem i svjetskom tržištu.

Laboratoriji će biti opremljeni opremom koja će se koristiti za znanstvena istraživanja koje Građevinski fakultet provodi u suradnji s drugim znanstvenim ustanovama, za edukaciju studenata i provođenja redovnog programa nastave i za istraživanja u komercijalne (ekonomske) svrhe odnosno suradnju s gospodarstvom. Istraživanja će omogućiti pokretanje proizvodnje i širu primjenu novih vrsta građevinskih elemenata

i sustava, razvoj ekonomičnih, održivih i ekoloških rješenja u odnosu na primjenu drugih konstrukcijskih materijala te formiranje proračunskih modela za svakodnevnu primjenu kao i nadogradnju dosadašnje tehničke regulative iz područja planiranih istraživanja, pri čemu je neminovna suradnja s gospodarskim subjektima na području industrijske proizvodnje i na području implementacije novih saznanja u programske pakete. Također, novi sustavi visoke seizmičke i vatrootpornosti posebno će se razvijati s ciljem primjene kod objekata koji zahtijevaju visoku razinu otpornosti, gdje je nužna suradnja s državnim institucijama kao investitorima gradnje.

U Centru će se također stvoriti uvjeti za znanstvena istraživanja u području odvodnje i pročišćavanja oborinskih voda, erozivnog djelovanja toka u riječnim koritima, valne dinamike u generalnom procesu pronosa mikroplastike u morima, održive gradnje plaža te pročišćavanja otpadnih voda. U području željezničke infrastrukture provodit će se znanstvena i primijenjena istraživanja iz područja željezničkog gornjeg ustroja koja bi podrazumijevala primjenu novih tehnologija projektiranja, gradnje, održavanja, praćenja i planiranja željezničke infrastrukture. Bitno je napomenuti da u južnoj i istočnoj Europi ne postoji ovakav centar izvrsnosti. Planirano je da se u Centru provode i istraživanja kojima će se doći do novih spoznaja o racionalnim tehnologijama građenja, automatiziranim procesima praćenja i kontrole gradnje, izračuna količina izvedenih radova te s time u vezi povećane produktivnosti u izvedbi pojedinih građevinskih aktivnosti.

U okviru Istraživačkog centra za napredna ispitivanja materijala planira se osnivanje istraživačke skupine kao centra izvrsnosti za istraživanja, razumijevanje i korelaciju mikrostrukture i trajnosti materijala korištenjem naprednih analitičkih instrumentalnih metoda. Prema europskoj strategiji, istraživanje i razvoj novih i poboljšanih materijala ostat će ključni za postizanje ciljeva europske inovacijske politike, u skladu s europskom strategijom pametnog, održivog i uključivog rasta Europe 2020.

Slika 7: Planirani laboratoriji u okviru Centra

Uz sve to, obnovom zgrade Centra u razini zgrade gotovo nulte energije s ugrađenim različitim sustavima obnovljivih izvora energije poput fotonaponskih sustava, male vjetroelektrane, dizalica topline, mehaničke ventilacije s rekuperacijom, različiti sustavi grijanja i hlađenja u pojedinim dijelovima zgrade s istom namjenom, sustavi rasvjete unutarnjeg i vanjskog prostora, sustava automatizacije i prediktivnog upravljanja zgradom (pametna zgrada) omogućit će se testni poligon za različite sustave koji nasušno nedostaju u hrvatskom istraživačkom prostoru čime će se dodatno omogućiti nova suradnja ili proširenje postojeće suradnje s domaćom i stranom industrijom. Izgled budućeg Centra za istraživanje i razvoj sigurnog i održivog izgrađenog okoliša prikazan je na slici 8.

Slika 8: Izgled budućeg Centra za istraživanje i razvoj sigurnog i održivog izgrađenog okoliša

4. Zaključak

Centar za istraživanje i razvoj sigurnog i održivog izgrađenog okoliša će omogućiti značajno poboljšanje znanstvenog i istraživačkog rada Građevinskog fakulteta te će postati stožerni centar za istraživanje i razvoj sigurnog i održivog izgrađenog okoliša umrežen sa sličnim institucijama unutar Republike Hrvatske i EU. Pri tome, namjena infrastrukture neće biti isključivo vezana za znanstvena istraživanja koja će provoditi djelatnici Građevinskog fakulteta u sklopu novih doktorata, poslijedoktorskih usavršavanja te domaćih i europskih znanstveno-istraživačkih projekata, već i alat kojim će se znanstveni doprinosi jednostavnije implementirati u realni sektor kroz neekonomske suradnje s partnerima iz privrede i državne organizacije. Osnivanjem Centra će se postići kvalitetnije umrežavanje gospodarstva i akademske zajednice i omogućiti još plodonosnija suradnja u pogledu istraživanja, laboratorijskih ispitivanja te provedbe zahtjevnih projekata.

Centar će kroz svoje aktivnosti doprinositi povećanju inovacijske izvedbe Republike Hrvatske osobito u sektoru građevinarstva, povećanju udjela ulaganja poslovnog sektora u ukupnim ulaganjima u istraživanje i razvoj novih tehnologija, metoda i materijala u građevinarstvu, povećanju temeljnih i primijenjenih istraživanja u znanstveno-istraživačkom sektoru namijenjenih jačanju konkurentnosti gospodarstva te osobito građevinske gospodarske grane, te konačno, jačanju ljudskih kapaciteta za istraživanje, tehnološkom razvoju i inovacijama u području građevinarstva i općenito.

Zahvala

Projekt sufinancira Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj ''Centar za istraživanje i razvoj sigurnog i održivog izgrađenog okoliša'', referentni broj KK.01.1.1.09.0011

5. Literatura

[1] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A new Circular Economy Action Plan, For a cleaner and more competitive Europe, COM/2020/98 final, Brussels, 11.3.2020, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN

[2] Strategija poticanja inovacija Republike Hrvatske 2014. – 2020., Narodne novine 153/2014, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/434155.pdf

[3] Politike Europske unije, Europa 2020.: europska strategija rasta, Europska komisija, 2015, https://vlada.gov.hr/europa-2020/19454

[4] European innovation scoreboard 2020, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (European Commission), Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020, https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1457a9d4-084f-11eb-a511-01aa75ed71a1/language-en

[5] Janoskova, K.; Kral, P.: An In-Depth Analysis of the Summary Innovation Index in the V4 Countries. Journal of Competitiveness, 11(2), 68–83., 2019, https://doi.org/10.7441/joc.2019.02.05

[6] SDG 9 - Industry, innovation and infrastructure, Eurostat Statistics Explained, May 2021, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=SDG_9_-_Industry,_innovation_and_infrastructure#Industry.2C_innovation_and_infrastructure_in_the_EU:_overview_and_key_trends

[7] Patent applications to the European Patent Office, Eurostat, 20.4.2021, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_09_40/default/line?lang=en

[8] Global 2000 List by the Center for World University Rankings, 2021-22 Edition, Center for World University Rankings, https://cwur.org/2021-22.php

[9] Sveučilište u Zagrebu rangirano među 2,6 posto najboljih svjetskih sveučilišta, 12.6.2020., http://www.unizg.hr/nc/vijest/article/sveuciliste-u-zagrebu-rangirano-medu-26-posto-najboljih-svjetskih-sveucilista/

[10] Country's progress, Eurostat, https://ec.europa.eu/eurostat/web/science-technology-innovation/visualisations

[11] Akyazi, T.; Alvarez, I.; Alberdi, E.; Oyarbide-Zubillaga, A.; Goti, A.; Bayon, F.: Skills Needs of the Civil Engineering Sector in the European Union Countries: Current Situation and Future Trends, Applied Sciences 2020, 10(20), 7226; https://doi.org/10.3390/app10207226

[12] Q4 2019 Commercial Construction Index, USG Corporation + U.S. Chamber of Commerce, 2019, https://www.uschamber.com/assets/archived/images/cci_q4_2019_report_final.pdf

[13] Q4 2021, Commercial Construction Index, U.S. Chamber of Commerce, 2021, https://www.uschamber.com/assets/documents/Q4-2021-CCI-Report.pdf

[14] Ghaffarianhoseini, A.; Tookey, J.; Ghaffarianhoseini, A.; Naismith, N.; Azhar, S.; Efimova, O.; Raahemifar, K.: Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 75, August 2017, Pages 1046-1053, https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083

[15] Zhang, X., Li, M., Lim, J. H., Weng, Y., Tay, D. Y. W., Pham, H., & Pham, Q.-C.: Large-scale 3D printing by a team of mobile robots, Automation in Construction, 95, 98-106, 2018 doi:10.1016/j.autcon.2018.08.004

[16] Tay, Y. W. D.; Panda, B., Chandra Paul S.; Mohamed, N. N. A.; Tan M. J.; Leong, K. F.: 3D printing trends in building and construction industry: a review, Virtual and Physical Prototyping, 12:3, 261-276, 2017, https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724

[17] Željeznica za budućnost, Program obnove i modernizacije željezničke infrastrukture do 2030. godine, HŽ infrastruktura, 2020, https://www.hzinfra.hr/wp-content/uploads/2021/01/HZI-Zeljeznica-za-buducnost.pdf

[18] Modernizacija EU sredstvima, HŽ infrastruktura, https://www.hzinfra.hr/naslovna/odrzavanje-i-modernizacija/eu-projekti/

[19] Učinci pandemije bolesti COVID-19 na društveno-ekonomske pokazatelje, Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, https://www.dzs.hr/Hrv/Covid-19/gradevinarstvo.html

[20] Statistika u nizu - Građevinarstvo, https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/Pokazatelji/MSI%20GRADEVINARSTVO.xlsx

[21] Baza projekata, Sveučilište u Zagrebu građevinski fakultet, https://projekti.grad.hr/

[22] Priprema IRI infrastrukturnih projekata, https://strukturnifondovi.hr/en/natjecaji/priprema-iri-infrastrukturnih-projekata-2/

[23] Operativni program Konkurentnost i kohezija 2014.-2020., Europski strukturni i investicijski fondovi, http://arhiva.strukturnifondovi.hr/op-konkurentnost-i-kohezija-2014-2020-779

[24] Kampus Borongaj, program javnog natječaja za izradu idejnog urbanističko – arhitektonskog rješenja, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, listopad 2010.

Osnivanje laboratorija za mjerenje kakvoće zraka i oborina u RHMZ-u

Zdenka Bolanča

Emerita HATZ-a

Sažetak: *U radu se prikazuje kratka povijest, razlozi osnivanja i opremanja laboratorija za mjerenje kakvoće zraka i oborina u Republičkom hidrometeorološkom zavodu (RHMZ) u Zagrebu. Ta institucija početkom sedamdesetih godina donijela je odluku o osnivanju Sektora za meteorološka istraživanja, a jedan od ciljeva bio je praćenje kakvoće zraka i oborina te uspostava mreže stanica za sakupljanje uzoraka. U radu su opisane aktivnosti od početka pa približno do kraja sedamdesetih za vrijeme mog rada u toj instituciji. Izgradnja laboratorija započela je adaptacijom zapuštenih prostorija: Uvele su se prikladne električne, plinske i vodovodne instalacije te ventilacija, odabrani su aparati koji najbolje odgovaraju potrebama kemijske analize Lokacija stanica za sakupljanje uzoraka je trebala biti takova da na sastav uzorka ne utječu lokalni izvori emisije zagađivala, nego da uzorci registriraju samo promjene na širem regionalnom području (Lastovo,Puntijarka-Medvednica)). Podaci mjerenja trebali su poslužiti za međunarodnu razmjenu. U rezultatima istraživanja prikazuju se koncentracije zagađivala u zraku i oborini u funkciji meteoroloških čimbenika: vektorski srednjaci prizemnog vjetra, jačina vjetra, tipovi vremena (ciklona, bezgradijentsko polje zraka, dolina niskog tlaka, jugoistočno strujanje). Rezultati tih i drugih istraživanja objavljeni su u časopisima i prezentirani na znanstvenim skupovima. Prvi put je izrađena usporedna analiza zraka i oborina u Zagrebu u ovisnosti o meteorološkim parametrima, a projekt je sufinancirao Republički fond za naučni rad SR Hrvatske.*

Ključne riječi: *laboratorij RHMZ-a, regionalne postaje, kakvoća zraka, kakvoća oborina, meteorološki faktori*

1. Uvod

Ernst Häckel smatra se jednim od utemeljitelja ekologije, a 1866 godine postavio je osnove ekologije u domenu znanstvene discipline [1]. Sve do početka naglog industrijskog razvoja, urbanizacije i demografske ekspanzije, koje su se u različitim

zemljama dešavale u različito vrijeme mislilo se, da su resursi neograničeni, a onečišćenja iz antropogenih izvora nisu se smatrala posebnim problemom.

Porastom svih vidova čovjekove aktivnosti počinju se javljati prvi znaci upozorenja krize opstanka ekosustava. Ekološka istraživanja vremenom su sve prisutnija, pa ekologija postaje oko sedamdesetih godina prošlog stoljeća, interdisciplinarna znanost, sinteza brojnih disciplina: biokemije, kemijskog inženjerstva, botanike, zoologije, ekonomije, društvenih znanosti, meteorologije, hidrologije i nekih drugih [2].

Atmosfera posjeduje ogromni kapacitet, međutim zbog svoje dinamične prirode u izvjesnim meteorološkim situacijama, može djelovati na kvalitetu zraka, voda i tla. Na sudbinu u atmosferu emitiranih štetnih plinova i čestica aerosola utječe vjetar, temperatura, vertikalni temperaturni profil, oblaci, sunčevo zračenje i relativna vlaga [3]. Ti meteorološki čimbenici su pod utjecajem vremenskih sustava, velikih ili malih razmjera. Veliki sustavi su pod utjecajem visokog ili niskog tlaka, a mali su kontrolirani temperaturom tla i malim varijacijama tlaka.

Kakvoća zraka i oborina posljedica je emisije štetnih tvari iz raznovrsnih izvora. Antropogeni izvori zagađenja mogu se diskutirati kao stacionarni i mobilni, odnosno točkasti ili linijski [4].

U sustavu biljka/životinja/čovjek, najosjetljivija je biljka [5]. Sedamdesetih godina prvo je uočeno propadanje šuma Gorskog kotara, posebno jele i to sprečavanjem oblikovanja pupova na vršcima grančica, povećanim ugibanjem sadnica i oštećenjem i sušenjem krošnje. Kauzlarić je utvrdio da zbog emisije štetnih tvari, klimatskih i hidrogeoloških utjecaja, te daljinskog transporta zagađivala ciklonalnim aktivnostima na standardno definiranoj površini u četinarskoj šumi Gorskog kotara je oštećenih stabala bilo 30,1 % /stupanj oštećenja 2,3,4, dok je udjel zdravih stabala bio 35,6 %/stupanj [6]

U ovom radu prikazuje se povijest i razlozi osnivanja laboratorija za praćenje kakvoće zraka i oborina pri Republičkom hidrometeorološkom zavodu, Grič 3, Zagreb, sada Državnom hidrometeorološkom zavodu. Postaje za sakupljanje uzoraka zraka i oborina, od kojih neke imaju međunarodni karakter, postavljaju se na posebno odabranim lokacijama u okviru meteoroloških postaja za monitoring odnosno registraciju podataka koji opisuju stanje vremena.

2. Kratka povijest i razlozi osnivanja i opremanja laboratorija

Savjet radne zajednice Republičkog hidrometeorološkog zavoda 12. 07. 1968. godine odlučio je osnovati Sektor za meteorološka istraživanja. Cilj i razlozi osnivanja bili

su istraživanja u području: unapređenja praćenja klime i prognoze vremena, potreba društva i gospodarstva, sigurnosti i zaštite ljudi i imovine, klime i klimatskih promjena, energetike, prometa, prostornog planiranja i graditeljstva, kakvoće zraka i oborina, poljoprivrede i šumarstva, zdravlja rekreacije i turizma kao i meteorološkog i hidrološkog aspekta vodnog gospodarstva. [7].

Istraživanja u području kakvoće zraka i oborina planirana su s razlogom, zato što je sudbina štetne tvari određena dinamičkim procesima koji se odigravaju u atmosferi, a ovisi o meteorološkim uvjetima. U tom kontekstu navesti će se samo nekoliko primjera. Da li će se dimni plinovi sa štetnim tvarima iz točkastog izvora dizati u vis ili će se nakon određene visine kretati vodoravno ili se slijegati prema tlu, ovisi o promjeni temperature zraka s visinom. Ako je ta promjena u usporedbi s adijabatskom vrijednosti za vlažni zrak negativnija, dio toplog zraka koji se diže u vis se neće brzo ohladiti, da bi dostigao gustoću okolnog zraka. On će se nastaviti dizati, što je pozitivno s aspekta kvalitete zraka na toj lokaciji. Međutim, na taj način dolazi do transporta štetnih tvari u područja gdje zapravo nema emisije tog onečišćenja. Drugi primjer je situacija koja nastaje za vrijeme stvaranja anticiklona, kada se gornji slojevi zraka spuštaju prema dolje, zagrijavajući se pri tome kontrakcijom, a zagrijavanje je veće u gornjim nego u prizemnim slojevima [8]. Za vrijeme anticiklone vjetrovi su slabi ili ih nema, pa ne dolazi do raspršenja štetnih tvari. Ovakve temperaturne inverzije su nepogodne za vrijeme maglovitih dana s aspekta kakvoće zraka, jer se štetne tvari nagomilavaju u inverzionom sloju i njihova koncentracija može doseći visoke vrijednosti. Utjecaj meteoroloških čimbenika na kakvoću zraka i oborina, opisati će se i pojasniti u poglavlju prikaza rezultata istraživanja, izvedenih mjerenja u novo izgrađenom i opremljenom laboratoriju Republičkog hidrometeorološkog zavoda.

Sektor za meteorološka istraživanja postaje Centar za meteorološka istraživanja Republičkog meteorološkog zavoda 1976. godine i tada je upisan u registar znanstvenih organizacija udruženog rada Republičkog savjeta za naučni rad.

Osamostaljenjem Republike hrvatske, Republički hidrometeorološki zavod postaje državna institucija, Državni hidrometeorološki zavod. Djelatnost te institucije je monitoring i obrada podataka, svakodnevno objavljivanje: vremenskih i hidroloških podataka, upozorenja na opasne situacije, prognoza za cestovni, morski i riječni promet, agrometeorološka prognoza, parametri kakvoće zraka i biometeorološka prognoza.

Nezaobilazan je znanstveno istraživački rad, koji obuhvaća područja: lokalnih i regionalnih atmosferskih procesa, klimu i klimatske promjene, klimatske promjene agrometeorološkim metodama, utjecaj vremena na ljude i značajke bioklime, zaštitu okoliša za održivi razvoj i hidrologiju u kontekstu nepogoda.[9]. Znanstveni rad je prvo bio sufinanciran od SIZ-a za znanost,a kasnije od MZSO-a i Hrvatske zaklade za znanost. Međunarodno je prepoznatljiv kroz projekte u okviru WMO, COST, FP6, FP7, i IPA [10,11].

Međunarodna suradnja se proširila kada je početkom 90-ih godina DHMZ preuzeo sve službe iz te domene u okviru samostalne Republike Hrvatske. Aktivno sudjeluje u radu brojnih međunarodnih organizacija i asocijacija.

3. Opis problematike i tijek uspostave laboratorija za utvrđivanje kakvoće zraka i oborina, te postavljanje mreže stanica za sakupljanje uzoraka

Oduka o osnivanju Sektora za meteorološka istraživanja bila je podloga za raspisivanje natječaja sedamdesete godine i zapošljavanje djelatnika, povezano s potrebom izgradnje i ustroja laboratorija za mjerenje kakvoće zraka i oborina, te postavljanja mreže stanica za sakupljanje uzoraka.

Tada je već bilo jasno da zagađenost zraka iz različitih izvora je postigla globalne razmjere, ugrožava okoliš i može izazvati promjene vremena i klime. Takova istraživanja i posao za mene kao tek diplomiranu inženjerku Kemijskog odjela PMF-a, bio je pravi izazov. Učenjem, strategijom, planiranjem, zapuštene prostorije s odbačenim stvarima u podrumu zgrade Republičkog hidrometeorološkog zavoda na Griču 3, i pogledom na Strossmayerovo šetalište s druge strane, pretvorene su u laboratorij s prikladnim električnim, vodovodnim i plinskim instalacijama te ventilacijom (Slika 1.)

a

b

c

Slika 1: RHMZ, izgradnja i uspostava laboratorij za mjerenje kakvoće zraka i oborina početkom sedamdesetih godina, a i b: nepoznati snimatelj, c:snimio B. Kovačić , prilog članku, Vjesnik, 24.08.1977. godine, str.11

Laboratorij je opremljen spektrofotometrom, plamenim fotometrom, konduktometrom, pH metrom, opremom za standardne titrimetrijske metode analize. sitnim inventarom, laboratorijskim posuđem i svim onim laboratorijskim potrepštinama potrebnim za funkcioniranje laboratorija takove namjene. Metode mjerenja bile su usklađene s operativnim priručnikom WMO [12].

Obzirom na već tada prepoznatljiv utjecaj različitih izvora emisije na atmosferske procese, koji se manifestiraju na sastav zraka i hidrometeora, Svjetska meteorološka organizacija je preporučila postavljanje novih stanica za praćenje zagađenosti zraka s međunarodnim karakterom.

Na "osnovnim stanicama" mjerio bi se s velikom točnošću prvenstveno ugljik dioksid zatim po mogućnosti, što veći broj drugih značajnih zagađivala: ozon, dušikov dioksid, sumporni dioksid, PM 2.5,10, kako bi se utvrdile dugoročne promjene u njihovoj koncentraciji [12]. Dakle, takove stanice se mogu shvatiti kao oni istraživački punktovi koji će davati podatke o dugotrajnim promjenama u sastavu atmosfere, koji su osobito važni kao čimbenici utjecaja na vrijeme i klimu.

Na "regionalnim stanicama" utvrđivala se zagađenost atmosfere i kemijski sastav oborina. Lokacija tih stanica trebala je biti takva da na njih ne utječu lokalni izvori emisije, nego da registriraju promjene na širem regionalnom području.

U okviru Republičkog hidrometeorološkog zavoda u srpnju 1971 godine postavljena je regionalna stanica za sakupljanje uzoraka zraka i oborina na meteorološkom opservatoriju Instituta za fiziku atmosfere JAZU (geografske koordinate:45° 55'N i 15° 58' E), a u siječnju 1972. na glavnoj meteorološkoj stanici Lastovo (geografske koordinate: 42°45' N i 16° 52') (Slika 2 a).

a b

Slika 2: Lokacija regionalnih stanica za sakupljanje uzoraka zraka i oborina, a: satelitski snimak Puntijarka i Grič [13] Google maps, b: satelitski snimak Lastovo [14] Google maps

Stanice trebaju biti postavljene u nenaseljenim područjima, udaljene od prometnica, a na brdima iznad linije drveća. Glavna meteorološka stanica na Lastovu ima istaknuti položaj na sjevernom dijelu otoka, te je na vrhu brežuljka visine oko 150 m (slika 2 b). Slobodno je izložena strujanju sa svih strana. Udaljena je oko 500m od naselja bez ikakve industrije. Takova lokacija omogućuje praćenje promjena na širem arealu južnog Jadrana. Otok Lastovo najvećim dijelom je pokriven šumom. Na otoku ima dva manja naselja, od kojih je Ubli udaljen oko 10 km od Lastova. Najbliži veći otok je Korčula, koji se nalazi sjeverno od Lastova, a veća mjesta su barem 25 km udaljena od mjerne stanice na Lastovu.

Osim toga stanice za sakupljanje uzoraka zraka i oborine postavljene su u dvorištu upravne zgrade na Meteorološkom opservatoriju Zagreb, Grič (geografske koordinate: 45° 46’ 04’’ N, 15° 51’ 08’’E) i na Meteorološko-aerološkom opservatoriju Maksimir, geografske koordinate (45° 49’ 19’’ N, 16° 2’ 1’’ E). Te stanice trebale su imati funkciju “lokalnih stanica” i na taj način prezentirati lokalni utjecaj izvora emisije štetnih tvari.

Slika 3: Lokacija postaje za sakupljanje uzoraka zraka i oborina pri Meteorološkom opservatoriju, Zagreb Maksimir, satelitski snimak, opservatorij Maksimir je označen crnom točkom i Medvednica na sjeverozapadu (postaja Puntijarka H 988m)[15]

Uzorci su se sakupljali ručnom metodom. Uređaj za uzorkovanje zraka sastojao se od sakupljača zraka s pogodnom apsorpcijskom tekućinom za plinovite štetne tvari i krutim filtrom, obično papirnim za sakupljanje krutih čestica, zatim uređaja za mjerenje protoka zraka i pumpe. Za analizu čestica primjenjivala se denzitometrijska metoda. Osim mjesečnih uzoraka na nekim postajama, sakupljali su se dnevni uzorci, sukladno s terminima meteorološkog motrenja i utvrđivale koncentracije sumpornog dioksida i dima u zraku. Provodila su se i neka specijalna mjerenja u okviru određenih projekata.

4. Rezultati istraživanja

Prvi rezultati istraživanja odnose se na razdoblje mjerenja 1972-1974 godina i objavljeni su pod naslovom Prirodna zagađenost zraka i kišnice na južnom Jadranu (otok Lastovo) [16].

Obzirom na opisani položaj Lastova može se smatrati da najveći dio klorida u kišnici potječe od raspršivanja okolnog mora, djelovanjem valova i vjetra. Koncentracije klorida mogu varirati između 45 i 5 mg/L. Najniža koncentracija može se očekivati ljeti, a najviša u jesenskim mjesecima. Prosječne mjesečne koncentracije uzevši godinu u cjelini porasle su od 17,2 mg/L u 1972. na 29.4 mg/L u 1973, a porast se zapaža i u 1973. godini. . Ovakvi rezultati usko su povezani s ukupnom količinom oborine, koja je u 1973. bila upola manja nego li u 1972. U analizi svih određivanih štetnih tvari u ovom radu izračunat je vektorski srednjak vjetra samo za one dane s ukupnom količinom kiše 1mm u 24 sata, a uzeti su samo oni terminski - trosatni podaci o vjetru, kada je kiša padala unutar jednog sata oko sinoptičkog termina. Najveća koncentracija klorida se može očekivati kod srednjeg prijenosa vjetra između ENE i ESE smjera i jačine 1 do 3 Beauforta. Uzmu li se srednje sezonske koncentracije klorida koje padnu na 1 kvadratni metar, dobiva se manja disperzija vrijednosti oko pravca, jednadžbe: K cl=376,4 + 13,8 RR

Srednje sezonske vrijednosti sumpora u obliku sulfata pokazuju male razlike između pojedinih godišnjih doba što ukazuje da lokalni izvori na Lastovu za koje je karakteristično povećanje emisije sumpornog dioksida u hladnom dijelu godine na Lastovu ne opterećuje atmosferu. Treba napomenuti da srednje godišnje koncentracije sumpora u obliku sulfata u kišnici na Lastovu gotovo su za oko 50% veće od onih na postaji Puntijarka. Koncentracija ove štetne tvari u kišnici ovisi o srednjem prijenosu zraka tijekom kišnih dana. Najveće koncentracije se mogu očekivati u mjesecima u kojima su za vrijeme oborina, vektorski srednjaci prizemnih vjetrova između ENE i ESE smjera, jačine 1-2 Beaufora.

Slika 4: Ovisnost koncentracije sumpora u obliku sulfata u kišnici na Lastovu o srednjem vektorskom vjetru za kišnih dana

Uzmu li se u obzir činjenicu da je smjer geostrofičnog vjetra, koji pokazuje strujanje zraka na nekih kilometar visine iznad prizemnog sloja, (tu se visinu kod ovih istraživanja obično uzima kao nivo prijenosa oblačnih elemenata i oborine) za oko 30° veći od smjera vjetra pri tlu, kao i ciklonalnu zakrivljenost putanje kod vremenskih poremećaja, može se pretpostaviti da se maksimalne koncentracije sumpora u obliku sulfata mogu pripisati industrijskim područjima južnog i jugoistočnog dijela Italije a i Crne Gore.

Veoma rijetki slučajevi padanja kiše na Lastovu uz sjeveroistočne vjetrove donose prosječno za preko 8 puta nižu koncentraciju sumpora u obliku sulfata, nego li kod strujanja iz SE kvadranta. To se može pojasniti činjenicom da vjetrovi koji pušu iz tog kvadranta, dolaze s područja otoka i od obale gotovo bez industrije i emisije. Uzme li se u račun srednje sezonske vrijednosti koncentracije sumpora u obliku sulfata koja padne s kišnicom na površinu od 1 kvadratnog metra i količinu oborine (RR) u mm dobije se relacija K = 49.2 +1.06 RR.

Ako se po metodi Munn Rodth odrede teoretske koncentracije sumpora po sezonama i na isti grafikon unesu stvarne srednje sezonske vrijednosti u višegodišnjem nizu (Slika 5), vidljivo je da postoji manji broj slučajeva kad su vrijednosti koncentracija uzrokovane s drugim faktorima osim prirodnih [17].

Slika 5: Izračunate i realne vrijednosti količine sumpora koji padnu s kišom na Lastovu

U slijedećim tabelama prikazuje se ovisnost koncentracije sumpora u obliku sulfata u kišnici Lastova o vremenskim tipovima nad južnim Jadranom.

Tablica 1: Čestina pojavljivanja tipova vremena nad južnim Jadranom kod pojave oborine nad Lastovom zimi

Razdoblje	Ciklona	Bezgradijentsko polje tlaka	Jugoistočno strujanje	Dolina niskog tlaka	Konc.S u oblika sulfata mg/L
1972	34.4%	6.9%	58.6%	-	1.3
1972/73	60.7%	10,7%	10.7%	17.9%	2.4
1973/74	56.5%	17.4%	21,7%	4.4	3.4

Rezultati pokazuju da su najniže koncentracije zimi 1972.godine bile najvećim dijelom vezane, jugoistočna vremenska stanja, kad nad čitavim južnim Jadranom postoji takovo strujanje zraka, ne samo pri tlu nego i na većim visinama. Opisana stanja ne bi uključivala emisiju s područja južne Italije.

Zime 1972/73 i 1973/74 karakteristične su po znatnom broju ciklona, koje najčešće dolaze sa zapada ili jugo zapada i svojim sistemima zračnih strujanja zahvaćaju srednju i južnu Italiju.

Tablica 2: Čestina pojavljivanja tipova vremena nad južnim Jadranom kod pojave oborine nad Lastovom ljeti

Razdoblje	Ciklona	Bezgradijensko polje zraka	Jugoistočno stanje	Dolina niskog tlaka	Konc. S u obliku sulfata mg/L
1972	61.5%	23,1%	-	15,4%	1,7
1973	10.0%	40,0%	-	50,0%	3,4

U ljetnom razdoblju ciklone često imaju malo vertikalno prostranstvo i slabije razvijen sistem strujanja (Tablica 2.). Učešće ciklona u 1972 bilo je veliko, da bi se u 1973 prilično smanjilo. Kod dolina niskog tlaka, oborinski sistemi najčešće dolaze nošeni strujanjima iz jugozapadnog ili zapadnog kvadranta, što bi ukazivalo na mogućnost zahvaćanja izvora emisija iz srednje i južne Italije. Vidljivo povećanje koncentracije sumpora u obliku sulfata u oborinama nad Lastovom funkciji je opisanog tipa vremena.

Načinjena je analiza i usporedba rezultata mjerenja koncentracije nekih aniona i kationa u uzorcima oborina i zraka na regionalnim postajama Puntijarka i Lastovo, a u nastavku se prikazuju samo najznačajniji karakteristični rezultati [18].

Rezultati istraživanja su pokazali da je na Lastovu u prosjeku količina klorida u kiši viša od 6 puta od koncentracije na Puntijarci, koja je znatno udaljena od mora. U toku perioda promatranja u odabranom godišnjem razdoblja na Lastovu padne do 150 kg klorida na hektar tla.

Koncentracije iona natrija u nekim mjesečnim uzorcima oborine na postaji Puntijarka u usporedbi s kišom na Lastovu pokazuju 30 do 40 puta manje vrijednosti. To proizlazi iz njegovog maritimnog .porijekla. Analiza srednjih mjesečnih koncentracija natrija u kiši Lastova u ovisnosti o vektorskoj srednjoj vrijednosti vjetra za vrijeme kišnih dana pokazuje da se najveće vrijednosti mogu očekivati uz srednji smjer vjetra između ENE i ESE smjera i širokom rasponu od 1-3 Beaufora. Značajno je da se na obje promatrane postaje utvrđuje približno jednak porast srednjih godišnjih vrijednosti, što ovom ionu daje veću važnost i šire značenje. Količina srednjih godišnjih vrijednosti iona natrija koja padne s kišnicom na Lastovu, gotovo je 20 puta veća od one na Puntijarci.

Koncentracija iona kalija je znatno manja od natrija. Godišnja prosječna koncentracija iona kalija je od 0.7 do 2.1mg/L. U usporedbi sa srednjim godišnjim vrijednostima na postaji Puntijarka, kišnica s Lastova pokazuje 2,4 odnosno 6.4 puta veću vrijednost. Količina kalija koja sa kišnicom padne na Lastavu gotovo je 50% veća od one na Puntijarci.

Količina magnezija u kišnici Lastova promatrajući godišnji prosjek je za pet puta veća u odnosu na rezultate dobivene na Puntijarci. Koncentracije iona magnezija u kišnici Lastova slične su onima iona kalija, a razlikuju se po sezonama. U ovom slučaju najveće koncentracije izmjerene su u proljeće, a ne ljeti kao na Puntijarci.
Usporedbom srednjih godišnjih vrijednosti iona kalcija u kiši Lastova s rezultatima mjerenja za Puntijarku može se zaključiti, da kišnica Lastova ima za oko 10 puta veće koncentracije.

Uzorci zraka analizirani su na gotove sve sastojke kao i uzorci oborine, a obzirom da su utvrđene dosta velike varijacije mjesečnih vrijednosti opravdana je temeljitija analiza srednjih sezonskih vrijednosti, kako bi se uočile osnovne karakteristike, a u ovom radu prikazuju se one bitne.

Srednja mjesečna koncentracija sulfata u mjesečnim uzorcima zraka 14,4 mikrograma po metru kubičnom na Puntijarci, a 34,2 mikrograma po metru kubičnom na Lastovu. Najniže vrijednosti izmjerene su u proljeće i ljeto 13.3 mikrograma po metru kubičnom i 15.6 mikrograma po metru kubičnom na Lastovu, a na Puntijarci su slični trendovi. Da bi se utvrdilo u kojoj mjeri srednje mjesečne koncentracije sumpora u atmosferi nad Lastovom zavise o strujanju zraka izračunati su na osnovu klimatoloških terminskih podataka o vjetru srednje vrijednosti za cijeli mjesec. Rasap vrijedno-

sti je dosta velik no ipak se moglo ustanoviti da se iz smjera NW, kao i smjera NE i ESE mogu očekivati približno podjednake koncentracije sumpora u zraku Ti rezultati ukazuju na povoljan smještaj mjerne postaje obzirom na lokalne uvjete. Iz svega rečenog proizlazi pretpostavka da najveći izvor emisije sulfata treba tražiti u vodenim površinama okolnog mora i ne ovisi o jačini strujanja zraka nad Lastovom.

Osim sumpora interesantna je diskusija koncentracije klorida. Zaključci koji su navedeni za sulfate u atmosferi nad Lastovom, a odnose se na ovisnost koncentracije o srednjem mjesečnom vektoru vjetra i njegovoj srednjoj jačini, odnose se i na kloride. Koncentracije klorida u atmosferi nad Lastovom pokazuju primjetne razlike između toplog i hladnog dijela godine. Minimalne sezonske vrijednosti od 28-30 mikrograma po metru kubičnom mogu se očekivati u proljeće i ljeti, maksimalne od 49 mikrograma po metru kubičnom zimi. Rezultati mjerenja klorida u atmosferi nad Puntijarkom ne pokazuju takve izrazite sezonske varijacije.

Na regionalnim stanicama se mjerila i pH vrijednost oborine [19]. Kisele oborine su jedan od efekata zagađenosti zraka. Oborine koje nisu pod utjecajem emisije posebno oksida dušika ili sumpora, ali i drugih specija kiselog karaktera iz prirodnih ili antropogenih izvora imaju pH oko 5.6, što zapravo predstavlja pH čiste vode u ravnoteži s ugljik dioksidom. Taj podatak treba uzeti u obzir kod valorizacije pH vrijednost kiše ili snijega.

Vrijednosti pH u uzorcima kiše na Lastovu u nesezonskim srednjacima vrlo malo se mijenjaju (pH 6.3-6.7), dok ekstremne vrijednosti se nalaze u intervalu 7,3-5,3 pH. Utvrđena je velika ujednačenost pH vrijednosti mjesečnih uzorka oborine, koja je iznad onih vrijednosti, koji se podrazumijevaju kao kisela kiša i kreću se između 6,0 i 7,0 pH jedinica.

Rezultati pH vrijednosti na postaji Puntijarka imaju drugačiji tok. Varijabilnost vrijednosti pH mjesečnih uzoraka je znatno veća, a vrijednosti su u području 7.4 - 4.7, dakle pojavljuju se i one koje klasificiramo kao kisela kiša. Prosjek godišnjih vrijednosti u naznačenom terminu istraživanja tj. za 1972 i 1973 godinu iznose 5.9 odnosno 5.6 pH jedinica.

U tom razdoblju mjerenja nije se moglo uočiti nikakva zavisnost vrijednosti pH oborina o srednjem vektoru prizemnog vjetra za vrijeme kišnih dana.

Prvi je put izrađena usporedna analiza zraka i oborine u Zagrebu u ovisnosti o meteorološkim parametrima, a rezultati su objavljeni u znanstvenoj publikaciji [20]. Projekt je sufinancirao Republički fond za naučni rad SR Hrvatske. Istraživanja obuhvaćaju režim strujanja zraka iznad Zagreba, prijenos čestica od Medvednice prema Zagrebu i obrnuto, najčešće smjerove vjetra i pripadajuću prizemnu zagađenost zra-

ka, prizemne inverzije u odnosu na koncentracije zagađivala, ovisnost koncentracije zagađivala o gustoći magle i minimalne temperature zraka, upliv zagađenog zraka na insolaciju i utvrđuje se odnos srednjih dnevnih koncentracija zagađivala i tipova vremena. U publikaciju su uključena specijalna mjerenja zagađenosti zraka: ugljikovog monoksida, ugljikovog dioksida, dušikovog dioksida i sumpornog dioksida u središnjem dijela Zagreba u funkciji temperature, vlage zraka, naoblake. Prikazane su i srednje vrijednosti koncentracija: amonijevog iona, sulfata, klorida, iona natrija, kalija, kalcija i magnezija u mjesečnim uzorcima zraka na opservatoriju Grič i Maksimir, i meteorološkoj stanici Puntijarci.

Rezultati petogodišnjeg niza mjerenja prirodnog fona zagađenosti oborina bilo je značajno radi usporedbe rezultata iz razdoblja prvog mjeseca 1972. do šestog mjeseca 1974. U tom razdoblju mjerenja primjećivale su se međumjesečne varijacije koncentracije gotovo svih praćenih aniona i kationa, pa dugoročnije praćenje pruža veće mogućnosti za izvođenje općenitih zaključaka, prvenstveno zbog kako vremenskih uvjeta tako i karakteristika izvora emisije. [21].

Na opservatoriju Grič i Maksimir sakupljani su ručnom metodom i u laboratoriju analizirani dnevni uzorci sumpornog dioksida i dima, a rezultati su prezentirani na V simpoziju Jugoslovenskog društva za čistoću vazduha 1978. godine i objavljeni u još nekim drugim publikacijama.

Primijenjena istraživanja za potrebe gospodarstva bila su sve aktualnija u razdoblju 1970-1980 godina, što je zahtijevalo intenzivan rad u području primjene atmosferskih znanosti povezano s upravljanjem kvalitete zraka. U tom razdoblju su započela mjerenja dnevnih koncentracija sumpornog dioksida i dima u području termoelektrane Plomin, a nešto kasnije i mjerenje dušikovog dioksida, poluautomatskom metodom sakupljanja uzoraka u području Petrokemije Kutina.

RHMZ imao je puno razumijevanja za usavršavanje djelatnika i podržavao je transfer znanja i struke. Međunarodna suradnja u meteorologiji je zapravo nužnost i tradicija, pa tako i osnivanje regionalnih stanica i laboratorija za analizu uzoraka zraka i oborina, bila je jednim dijelom orijentirana prema toj namjeni.

Od uprave Saveznog hidrometeorološkog zavoda u Beogradu 26.05.1975 godine dobila sam rješenje o imenovanju u Komisiju za aerozagađenje. Predstavljala sam ex Jugoslaviju na Zasjedanju eksperata zemalja SEV-a u Bratislavi s izlaganjem o operativnim aktivnostima i postignutim rezultatima. Na tom zasjedanju diskutiralo se o strategiji razvoja, mjernim instrumentima, novim metodama analize i inovacijama. Razmjena iskustava koje u ono doba nije bilo puno, dobro je došla. Dobra strategija može poslužiti kao uvod u veće istraživačke projekte značajne za društvo kao cjelinu, a osobni dobitak takvog zasjedanja je postizanje određene međunarodna prepoznatljivost i put prema većoj suradnji.

Slika 6: Zasjedanje eksperata zemalja SEV-a na temu Aerozagađenja u Bratislavi 1973 godine, Predstavnik ex Jugoslavije Z. Bolanča

Instalacijska i prostorna ograničenja kao i potrebno proširenje računalnog centra neki su od nedostataka upravne zgrade DHMZ na adresi Grič 3. U publikaciji: Primjena znanstvenih istraživanja u Državnom hidrometeorološkom zavodu iz 2019 godine prikazano prvonagrađeno rješenje nove upravne zgrade [7].

Slika 7: Prvonagrađeno rješenje za novu zgradu DHMZ, autor Radionica Arhitektart [7]

Zgrada DHMZ-a Grič 3 u kojoj je smješten i Geofizički zavod Prirodoslovno-matematičkog fakulteta izgrađena je1826 .godine [22]. Ta zgrada je spomenik I kategorije (kroz povijest: palača plemića Jelačića, sudova (Banski stol, Apelacioni sud) i Više realne škole od 1862 godine). U fizikalnom kabinetu realke 1862. g. započinju meteorološka mjerenja zaslužni: J. Torbar i I. Stežir. Daljnji razvoj vodi do opservatorija, pa Geofizičkog zavoda, Geofizičkog odjela PMF-a, Seizmološke službe, RHMZ-a1947. godine. Postankom neovisne Republike Hrvatske RHMZ postaje RHMZ i na toj adresi ostaje sve do razarajućeg potresa 22.03.2020.

Upravna zgrada DHMZ poslije potresa dobila je crvenu etiketu, što znači da je opasna za korištenje. Pojedini odjeli te institucije preseljeni su na različite lokacije u gradu

a b

Slika 8. Upravna zgrada DHMZ Grič3, Zagreb a:prije potresa u Zagrebu 22.03. 2020.godine b: poslije razornog potresa u Zagrebu 22.03.2020. foto DHMZ [23]

Zgrada se obnavlja, ali prema sada dostupnim podacima ne više za tu namjenu. Meteorološka mjerenja nisu prekinula kontinuitet, jer su automatska.

Priča o laboratoriju za mjerenje kakvoće zraka i oborina u DHMZ-u na Griču 3 tu ima svoj kraj.

4. Zaključak

Prije pola stoljeća, kako je opisano u ovom radu u RHMZ-u se uz osnovnu djelatnost prepoznala potreba za interdisciplinarnim pristupom, znanstveno istraživačkim projektima, pa i onim vezanim uz kvalitetu okoliša, programima iz domene prijenosa onečišćujućih tvari na velike udaljenosti, koristeći tada dostupne metode i izračune.

Dalji korak u području kvalitete okoliša je bio modeliranje prijenosa i rasprostiranje onečišćenja iz pojedinačnih izvora, kao i praćenje pojedinih štetnih tvari u prizemnom sloju u funkciji klimatskih promjena suvremenom i sofisticiranijom opremom. Održivi razvoj ogleda se i u toj instituciji kroz doprinose razumijevanju, otvorenom dijalogu između različitih disciplina, komunikaciji, koordinaciji, a istraživački napori opravdavaju isčekivanja. Poseban naglasak institucije je na zadovoljenju potreba iz različitih gospodarskih grana. Uzimajući u obzir kompleksnost područja rada posebno značajan je ljudski faktor: znanje, suradnja, poticanje učenju i inovativnost, što je i prije bio jedan od imperativa te institucije.

Literatura

[1] Egerton, F., N., History of Ecological Sciencees, Part 47:Ernest Heuckel' Ecology, Bulletin, 94, (2013), 3, 222-244, ISNN 2522-8307

[2] Miller, G., T., Spoolman, S., E.,: Environmental Science, Brooks/Cole, ISBN13: 978-1.111-98893-7, Belmont, (2013.)

[3] Jacobson, M., Z., Atmospheric Pollution,Cambridge, University Press, ISBN 0 521 81171 6, Cambridge, (2002.)

[4] Cunnigham, W., P., Cunnigham, M.,A., Evvironmental Science, A Global Concern, McGraw-Hill, Companies, ISBN0-07-338325-2, New York, (2012.)

[5] Brandt,C.,S.,Heck, W.,W, Effect of Air Pollutions on Vegetation in Air PollutionAcademic Press, NewYork, (1968.)

[6] Kauzlarić K., Utjecaj štetnih polutanata na propadanje šuma u Gorskom kotaru, Šumarski list, 111 (1988.) 45-59, 5-6, ISSN 0373-1332

[7] Ivančanin-Picek, B., ur., Primjena znanstvenih istraživanja u Državnom hidrometeorološkom zavodu, Državni hidrometeorološki zavod, ISBN 978-953-7526-05-4, Zagreb, (2019.)

[8] Tuhtar, D., Zagađenje zraka i vode, Svjetlost, ISBN 40571 Sarajevo, (1979.)

[9] Gajić-Čapka, M., Primijenjena znanstvena istraživanja u Državnom hidrometeorološkom zavodu, Hrvatske vode, 28, (2020.)114-123, ISSN 1330-1144

[10] DHMZ, Ustanova, Znanstveno-istraživački projekti http.//bib.hr/lista-radova?sifra=201-2012298-23048, Pristupljeno:2022. 01.11.

[11] DHMZ, Znanstveno istraživački i razvojni projekti DHMZ-a, klima.hr/razno/projekti/DHMZ-projekti-2013 pdf Pristupljeno : 2022. 01.11.

[12] WMO,World Meteorological Organisation operations manuel for samplimg and analysis techniques for chemical constituons in air and precipitation No.299, (1971.)

[13] Sušanj, B., Analiza globalnog sunčevog zračenja na Puntijarki od 1959.-2004., Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb, (2012.)

[14] Krapf, H., Arhipelag Lastovo, Wikipedija hr.

[15] Lisko ,T., Primjena brzine vjetra u suburbanom prizemnom sloju atmosfere, Doktorska Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb, (2012.)

[16] Poje, D., Bolanča, Z., Prirodna zagađenost zraka i kišnice na južnom Jadranu (otok Lastovo), Zbornik referata, 649-667, Opatija, studeni 1974, Republički savjet za unapređenje čovjekove okoline

[17] Munn, N., E., Rodhe, H., On the meteorological interpretation of the chemical composition of monthly precipitation samples, Tellus,23(1971.), 1-13, ISSN 004-2826

[18] Bolanča, Z., Ispitivanje prirodnog fona zagađenosti zraka i oborina, Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 25 (1974.), 201-205, ISSN 0004-1254

[19] Bolanča, Z. Neki rezultati kemijske analize uzoraka oborina i zraka, Rasprave i prikazi, 11, (1974.), 202-214, ISSN 1330-0083

[20] Poje, D., Šinik, N., Lončar, E., Pleško, N., Hrabak-Tumpa, G., Katušin , Z., Bolanča Z, Ovisnosti zagađenog zraka u Zagrebu o meteorološkim faktorima, Rasprave i prikazi, 11, (1974) 98-158, ISSN 1330-008

[21] Bolanča, Z. Rezultati petogodišnjeg niza mjerenja fona zagađenosti oborina, Zbornik referata sa savjetovanja meteorološki, hidrološki i biometeorološki aspekti zagađenjavazduha, vode i tla,236-242, Ohrid,05. 1977. Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd

[12] [22] DHMZ, Grički vremeplov-od kapucina do geofizičara, meteo.hr/objave_najave-natječaji.php?=zn26032022, Pristupljeno: 2022. 01.11.

[13] [23] DHMZ, Potres oštetio zgradu DHMZ, neki produkti možda neće biti dostupni, istanet/w/vijesti/potres-ostetio-zgradu-dhmz-a-neki-produkti-mozda-nece-biti-dostupni, Pristupljeno:2022. 01.11.

Osnivanje Laboratorija za ekologiju pri GRF-u Sveučilišta u Zagrebu

Zdenka Bolanča

Emerita, Odjel grafičke tehnologije HATZ-a

Sažetak: *U radu se opisuje kratka povijest, problematika, izgradnja i opremanje Laboratorija za ekologiju pri Grafičkom fakultetu (GRF-u) Sveučilišta u Zagrebu. Posebno se diskutiraju razlozi osnivanja i namjena laboratorija u kontekstu istraživanja i edukacije. Oprema u laboratoriju je namijenjena najvećim dijelom istraživanjima u području reciklaže otisnutih grafičkih proizvoda od papira i kartona, praktičnom radu studenata i suradnji s privredom. U radu se prikazuju i opisuju uređaji specifični za tu primjenu. Osim toga predstavljaju se uređaji pomoću kojih je moguće pratiti promjene u području postojanosti različitih materijala. Diskutiraju se i prikazuju rezultati istraživanja: mehanizama kemijske i enzimatske deinking flotacije, utjecaj tehnika i uvjeta u konvencionalnom i digitalnom tisku na optičke karakteristike listova od recikliranih vlakanaca, kromatske karakteristike listova u funkciji novih formulacija modelnih i komercijalnih boja, karakteristike pulpe od otisaka na kartonu od algi iz Jadranskog mora, EDXRF metodom praćene koncentracije teških metala u produktima reciklaže otisaka: vlaknima, procesnoj vodi i pjeni, obrada procesne vode centrifugiranjem i koagulacijom s crvenim muljem i inovativne ekološki podobnije metode oporabe iskorištenih grafičkih papirnih proizvoda.*

Ključne riječi: *laboratorij GRF-a, izgradnja, oprema, reciklaža papira, rezultati istraživanja.*

1. Uvod

U prošlosti proces proizvodnje u grafičkoj industriji bio je prepoznatljiv radi emisije štetnih tvari, kako u radnom prostoru, tako i u vanjskom okolišu.

U visokom tisku, tiskovna forma slagala se od olovnih slova, lijevanjem olovne legure [1,2]. Osim toga, ekološke nepovoljnosti su: otpadne tvari koje nastaju u fo-

tografskim procesima i one izazvane jetkanjem cinkovih klišea dušičnom kiselom. Postupak jetkanja se prvotno izvodio ispod uređaja za lokalnu ventilaciju, a kasnije su se koristili strojevi za jetkanje opremljeni odsisnim uređajima.

U ofsetnom tiska kod pripreme tiskovne forme konvencionalnim kemijskim postupkom, ekološki nepovoljna je hidrofilizacija aluminijskih slobodnih površina uz prisutnost oksidansa, te veća kiselost medija, pa tako nastaju karakteristične procesne otpadne vode [3]. Za emisiju HOS spojeva odgovorna je otopina za vlaženje, bojila na osnovi mineralnih ulja i sredstva za pranje elemenata tiskarskih strojeva [4,5,6]. Pigmenti bojila koji sadrže teške metale posebno su ekološko nepogodni u otpadnoj boji koja ostaje nakon tiska, tako da je treba zbrinuti kao opasni otpad.

Ekološka nepovoljnost dubokog tiska su procesne vode pripreme tiskovne forme, te bojila u kojima se kao otapala koriste toluen, ksilen i cikloheksanon. Problematična je buka nekih tiskarskih strojeva, pa i onih u grafičkoj doradi [7,8].

Razvoj u tom području je bio zavidno brz. Međutim, za svaku tehniku konvencionalnog tiska kroz razvoj, mogu se pratiti, karakteristike utjecaja na okoliš kroz faze procesa, počevši od sirovina, materijala, energije, pripreme tiska, samog procesa tiska, grafičke dorade, zatim distribucije gotovog proizvoda, njegovog korištenja i zbrinjavanja iskorištenog proizvoda, što zapravo predstavlja osnovne postavke životnog ciklusa proizvoda [9].

Digitalni tisak ide dalje u području zaštite okoliša i to u smjeru ekološke održivosti. Prednost tih tehnika tiska obzirom na konvencionalne su: brža priprema tiska, nije potrebna priprema ploča, ni upotreba kemikalija i nekih ekološko neprihvatljivih materijala [10]. Sa principa pročišćavanja na kraju procesa, prelazi se na što je moguće veću proizvodnju uz primjenu novih ekološki podobnijih procesa i korištenje novih formulacija materijala, sa smanjenom emisijom štetnih tvari. Kad digitalnog tiska isto je potrebno zbrinuti iskorišteni proizvod.

O zbrinjavanju iskorištenih grafičkih proizvoda od papira reciklažom napisano je puno radova. Najviše se istraživo utjecaj i vrste i količine kemikalija koje se koriste u reciklaži, mehanizmi procesa ispiranja i mehanizam kao i hidrodinamika flotacije [11].

Manje se istraživao utjecaj tehnika i uvjeta u tiska, kao i korištenih grafičkih materijala na kvalitetu recikliranih vlakanaca. Uglavnom se nije istraživao utjecaj eksponiranosti grafičkog proizvoda uvjetima okoliša u kontekstu efikasnosti reciklaže.

U radu se prikazuje kratka povijest i razlozi adaptacije prostora s namjenom osnivanja Laboratorija za ekologiju pri Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Diskutiraju se razlozi opremanja laboratorija uglavnom specifičnom opremom za određenu namjenu. Rezultati istraživanja se nalaze u domeni ekološko održivog grafičkog proizvoda, a neki su primjenljivi u proizvodnji novih formulacija grafičkih materijala u pratećoj industriji.

Prikazuje se i uloga laboratorija u edukativne svrhe. Osim vježbi koje su redovne obaveze studenata, u laboratoriju je načinjeno dvestotinjak diplomskih radova, veliki broj završnih radova, nekoliko magistarskih radova i doktorskih disertacija, a neki od rezultata čine sadržaj i ovog rada.

2. Kratka povijest i razlozi osnivanja Laboratorija za ekologiju

Viša grafička škola u Zagrebu osnovana je 1959. godine, a zgrada na adresi Getaldićeva 2, sagrađena je početkom šezdesetih godina. Za potrebe Kolegija kemije tada je izgrađen laboratorij i skromno opremljen, uglavnom osnovnim laboratorijskim priborom.

U to doba sve se više važnosti polagalo kvaliteti zraka i mikroklimatskim uvjetima u pogonima, pa tako i buci strojeva, posebno u velikim tiskarama. Postavljali su se uređaji za pročišćavanje zraka, više se pažnje posvećivalo zbrinjavanju otpada, skladištenju i prijevozu opasnih tvari. Maksimalno dopuštene koncentracije štetnih tvari na radnom mjestu bile su regulirane zakonskim aktom JUS Z.BO.001, dok je propisima objavljenim u Sl. listu 27/1967, svaka radna organizacija bila dužna osigurati radnicima dobre mikroklimatske uvjete za rad. Tada se provodilo utvrđivanje stanja kvalitete zraka u tiskarama, za potrebe revidiranja odluke o beneficiranim radnim mjestima. Broj radnih mjesta s beneficiranim radnim mjestom smanjen je tada na 13, što je bio dokaz pozitivnog djelovanja do tada poduzetih mjera.

Posebno u velikim tiskarama pokazala se potreba daljnjeg razvoja proizvodnje uz bolje uvjete rada, što je dovelo do potrebe školovanijeg kadra. Viša grafičke škola bila je jedina višeškolska ustanova tog profila u ex. Jugoslaviji. Uloženi su veliki napori, kako bi se zadovoljili uvjeti za prelazak Više škole u Grafički fakultet. Jedna stepenica na tom putu bila je, osnivanje simpozija Intergrafika, a unutar njega kasnije, osamdesetih godina, sastavnicu čini i sekcija Zaštite okoliša.

Osnivanjem Zajedničkog studija grafičke tehnologije 1983. godine (prelazna faza u procesu osnivanja Grafičkog fakulteta) uvodi se prvi kolegij s ekološkom tematikom Zaštita životne i radne okoline, preteča osnivanja Katedre zaštite okoliša. Nešto kasnije 1989. godine osniva se časopis Acta Graphica, sa stalnom rubrikom priloga ekološkog sadržaja u svojstvu znanosti, edukacije i struke. Osnivanjem Grafičkog fakulteta (1990. godine) kao znanstveno nastavne organizacije, povećao se broj kolegija i istraživanja s ekološkom tematikom, pa je osnovana Katedra za zaštitu okoliša.

3. Opis problematike, opremanje i tijek uspostave Laboratorija za ekologiju

Općenito, u tom vremenskom razdoblju rasla je svijest društva o nužnosti prihvaćanja mjera za očuvanjem okoliša. Za tisak novina se počeo koristiti papir s određenim udjelom recikliranih vlakanaca. Međutim, javljali su se problemi: pucanje papira ili mjestimično dobro ne prihvaćanje boje za tiskovnu podlogu. Uzrok tome je bio, neučinkovito uklanjanje boje u postupku dobivanja recikliranih vlakanaca za izradu novinskog papira. S druge pak strane, bilo je sve više iskorištenog papira, koji je trebalo ekološki podobno zbrinuti.

Laboratorijski uređaj za reciklažu papira, nije postojao na ovim prostorima, pa ni u tvornicama tog grafičkog materijala, iako je to bilo primarno za ispitivanje svake sarže sirovine, ako se mislilo postići kvalitetni novi proizvod. Upoznavši se s ekološkim problemima grafičke i prateće industrije i shvativši potrebu i značaj ekološkog zbrinjavanja iskorištenog grafičkog proizvoda, znala sam da je to za mene pravi izazov.

Reciklaža iskorištenih papirnih grafičkih proizvoda mogla je biti efikasnija uz istraživanja, sintezu znanja o grafičkim materijalima, principu i uvjetima u tisku i načinu sušenja bojila u funkciji relevantnih čimbenika samog procesa reciklaže. Sve većom primjenom digitalnog tiska i novih materijala pojavila su se dodatna pitanja. Svaki napredak u dobivanju kvalitetnije sekundne sirovine bio bi korak bliže zatvaranju kružnog toka otisnutog grafičkog proizvoda, odnosno kružnoj proizvodnji.

Stjecajem okolnosti povezanih prvenstveno s nedostatkom prostora, pa i financijskim mogućnostima, krenulo se slijedećim redoslijedom. Prvo su nabavljeni neki aparati, koji su smješteni u Kemijski laboratorij, a dosta dugo nakon toga išlo se u izgradnju Laboratorija za ekologiju.

Da bi se mogla izvoditi reciklaža papira trebalo je nabaviti nekoliko aparata. Priprema papirne pulpe radila se u nedostatku sredstava s laboratorijskom miješalicom, određene brzine okretaja, s produženim propelerom. Nabavljena je flotacijska ćelija tzv. Denverskog tipa, koja se razlikuje od drugih tipova po količini bojila koje može izdvojiti (Slika 1a). Osnovni princip flotacije uključuje dovođenje zračnih mjehurića u suspenziju iskorištenog otisnutog papirnatog grafičkog proizvoda, kemikalije i vode. Tijekom flotacije zračni mjehurići prolaze kroz suspenziju, dolazi do prihvaćanja čestica bojila za mjehurić zraka, on putuje kroz suspenziju i prenosi česticu na površinu dviju faza, gdje se ona uključuje u pjenu (Slika 1b)

Jedan od nužnih aparata koji je služio za reciklažu papira nije bio komercijalno dostupan na tržištu. Moja zamisao je bila izrada lista papira iz pulpe u laboratorijskim uvjetima s dimenzijom lista koji odgovara najmanjem formatu papira za tisak na ti-

skarskom stroju. Komercijalni aparati mogli su formirati list iz pulpe okruglog oblika i premale površine za tisak. U suradnji s kolegama iz Inštituta za celulozo in papir u Ljubljani izrađen je uređaj prikazan na slici 2, koji je i danas u upotrebi kada je potrebno.

a b

Slika 1: a: Flotacijska ćelija; b: putovanje mjehurića kroz suspenziju i prenošenje čestice bojila na površinu u pjenu

a b

Slika 2: a: Laboratorijski uređaj za formiranje lista papira iz papirne pulpe u laboratorijskim uvjetima; b: glavni dio uređaja je sito na kojem se formira list

Uređaj za formiranje lista sastojao se od donje posude nešto većeg volumena i gornje manjeg volumena, u koji se ulijevala suspenzija uzorka za formiranje lista (Slika 2a). Glavni dio uređaja je sito, smješteno na vrhu donjeg dijela uređaja (Slika 2b). Povlačenjem poluge suspenzija je prolazila kroz sito, a na situ se formirao list od vlakanca. Sito s listom se izvadilo iz uređaja i prekrio posebnim pokrovnim listom papira za tu svrhu. Posebnim valjkom, sastavnim dijelom uređaja, prešlo se preko pokrovnog papira na situ. Pokrovni list zajedno s formiranim listom skinuo se sa sita i ostavio sušiti na zraku. Nakon određenog vremena skinuo se formirani list s pokrovnog papira i mogao se koristiti za daljnje analize. Opisani uređaji smješteni su u Kemijskom laboratoriju, a daljnje analize radile su se izvan Hrvatske.

Krajem devedesetih godina Uprava fakulteta je odlučila preseliti Knjižnicu u prostor Dekanata, a tako dobiveni prostor prenamijeniti u Laboratorij za ekologiju. Izgradnja laboratorija bila je prilično zahtjevna i dugotrajna, a pri tome mi je pomoglo prije stečeno iskustvo. Zahtjevan dio u izgradnji bile su instalacije: struje, plina, odvoda i dovoda vode, ventilacije i postavljanje odgovarajućih podova. Zatim je na red došla izrada skica laboratorijskog namještaja, što racionalnija nabavka sitnog inventara, kemikalija i drugog potrošnog materijala. Namjena laboratorija bila je dvojaka: za istraživački rad i za potrebe održavanja nastave, što znači određeni broj radnih mjesta rasporediti u ne veliki prostor.

Prije opisani uređaji za reciklažu papira su preneseni u novo izgrađeni laboratorij. Ostatak uređaja je kupljen sredstvima iz znanstvenih projekata sufinanciranih od Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa u razdoblju: 1996 -2000 (broj:128001), 2000-2004 (broj:0128003), 2004-2006 (broj:1281955) i 2007-2010(1281955), kojima sam bila voditelj. Određene beneficije u tom segmentu su ostvarene i voditeljstvom dva bilateralna znanstvena projekta u tom razdoblju.

a b c d e

f

Slika 3: Dodatno kupljeni uređaji za proces reciklaže papira; a: Pulper Disinterator, Enrico Toniolo; b: Equalizer, Frank -PTI c: Rapid Köthen Sheet Machine, Frank-PTI; d: Color Touch 2, Technodyne; e: Solarbox, Cofomegra; f: Software SpecScan, Apogee Systems za utvrđivanje broja i površine nečistoća uglavnom bojila na formiranim listovima iz različitih faza reciklaže -primjer dobivenih podataka

Prije spomenuta laboratorijska miješalica podešena za primjenu u procesu reciklaže zamijenjena je Pulper Disintegratorom Enrico Toniolo (Slika 3a).Namjena uređaja je defibracija papira, i odvajanje boje s tiskovne podloge, držeći ih pri tome odgovarajuće veličine da se mogu odstraniti daljnjim tokom procesa. U desinintegratoru se obično dodaju: sredstva za keliranje, natrijev silikat, natrijev hidroksid i površinsko aktivna tvar/kolektor, u slučaju da se radi o postupku alkalne kemijske deinking flotacije. U tom uređaju bitni su procesi: bubrenje vlakanaca, odvajanje boje od tiskovne podloge, vlaženje čestica boje, flokulacija, aglomeracija, antiredepozija čestica bojila i oksido - redukcija kromofora. Osim kemikalija bitni su slijedeći čimbenici: temperatura, pH, konzistencija i vrijeme.

Equalizer Frank-PTI (Slika 3b), djeluje kao generator turbulencija. Pulpa prima dovoljnu silu da se nakupine rasformiraju i tako održi homogenost suspenzije, bez promjene njenih ostalih karakteristika.

Rapid Köthen Sheet Machine, Frank-PTI (Slika 3c) je uređaj za formiranje listova i njihovo sušenje. Ovaj uređaj može formirati standardne listove od recikliranih vlakanaca za mjerenje fizičkih ili optičkih svojstava. Promjer lista je 205mm. Na uređaju postoje dvije opcije primjene: ručna i automatska. Postoji mogućnost odabira sustava reciklaže bijele vode za proizvodnju, koja se već koristila u formiranju drugog lista. Temperatura sušenja lista je 93,1°C s recirkulacijom vode prema standardu.

Color Touch, Technodyne 2 (Slika 3d) spektrofotometar pruža kompletnu informaciju za evaluaciju optičkih karakteristika pulpe i papira: svjetlinu, boju, kolorimetrijsku razliku boja, bjelinu, toniranost, žutoću, metameriju, florescenciju, opacitet, raspršenje, absorpciju i efektivnu koncentraciju neodstranjenog bojila (ERIC). Veliko značenje ima efektivna koncentracija neodstranjenog bojila, kada se radi o reciklaži iskorištenog proizvoda, jer daje informaciju o efikasnosti samog procesa reciklaže. Primarno sučelje ovog uređaja je zaslon u boji osjetljiv na dodir, koji omogućuje operateru odabir i aktivaciju mjerenja.

Sva mjerenja prate ISO standardi. Potencijalne mogućnosti uređaja uključuju odabir nekoliko prostora boja: XYZ, Lab, L*a*b*, L*C*h* i druge, 3 izvora svjetla i 10 standardnih iluminatora. Standardni promatrač gleda uzorak pod kutom od 2° ili 10°. Optička razlučivost je 1-10nm. Rezultati mjerenja uključujući i grafikone, mogu biti prikazani na ravnom zaslonu osjetljivom na dodir, ravnom ekranu osjetljivom na dodir ili se mogu ispisati na vanjskom pisaču.

Solarbox 3000e Xenon Test Chamber, Cofomegra (Slika 3e), koristi se za eksponiranje uzoraka filtriranom ksenonskom zračenju, omogućava simulaciju vremenskih uvjeta, kiše i vlage. Potencijalne mogućnosti uređaja uključuju kontrolu temperature, kao bitnog čimbenika degradacije izloženog materijala. Toplinsko zračenja primljeno od ksenonske lampe kontrolira se BST (crni standardni termometar) - ugrađe-

nim u blizini uzorka. Za provođenje testova obzirom na vremenske uvjete intenzitet zračenja (W/m^2) se može programirati u intervalu 250Wm^2-1000W/m^2 ili isključiti. Kombinacija ksenon lampe i UV filtra optimiraju simulacije sunčevog zračenja i realistične prirodne vanjske uvjete.

Dostupni optički ograničavajući filtri za ksenonsko zračenje su: simulacija i izlaganje vanjskim uvjetima, simulacija i izlaganje u unutarnjem prostoru, simulacija i vanjsko izlaganje sa IR reflektirajućim premazom i simulacija i unutarnje izlaganje sa IR reflektirajućim premazom.

Mikroklimatska komora Käterman, kupljena je također sredstvima s prije spomenutih projekata, jer je pogodna za simulaciju degradacije papira i otisaka u području temperature od -80°C-150°C i relativne vlage do 98%, bez utjecaja sunčevog zračenja. Kontrola temperature i vlage moguće je pratiti dvokanalnim pisačem. U komoru se mogu staviti papiri ili otisci velikih formata. Postoji mogućnost mijenjanja temperature i vlage pomoću ugrađenog programatora, a njihov prikaz je digitaliziran.

Slika 4: Laboratorij za ekologiju Sveučilišta u Zagrebu Grafičkog fakulteta (foto: J. Bota)

4. Rezultati istraživanja

Završetkom izgradnje Laboratorija za ekologiju i stavljanjem u funkciju započinje se s intenzivnim istraživanjima u domeni reciklaže papira. U istraživanjima najviše se koristila metoda kemijske deinking flotacije. Istraživao se utjecaj sastava kolektora, tvari koje sakupljaju čestice bojila u veće hidrofobne nakupine-flokule, koje se mogu prihvatiti na površinu zračnog mjehurića, ako su odvojene čestice bojila s vlakanaca premale, da bi se mogle flotirati [12]

Površinsko aktivne tvari u deinkingu trebaju zadovoljiti kriterije: uklanjanje boje s celuloznih vlakanaca, ne interferirati s aditivima kao što su keljiva i ne ometati pročišćavanja procesnih voda. Kada je manja koncentracija površinsko aktivnih tvari, one se skupljaju na granici faza zrak/voda i pri tome se u pulpi ne formira kritična micelarna koncentracija. Kod veće koncentracije površinsko aktivne tvari, kada je

ona približno jednaka kritičnoj micelarnoj koncentraciji, nastaju micele i one pomažu skidati boje, odnosno odvajati hidrofobne dijelove s vlakana. Disperzijska i emulzijska svojstva površinsko aktivnih tvari, određuje omjer hidrofilnih i oleofilnih dijelova njihove molekule [13].

U mehanizmu flotacije bitni su ioni kalcija i povezani su s procesom odvajanja čestica boje. U procesu kemijske deinking flotacije mijenjan je udio natrijevog silikata i kalcijevog klorida u različitim koncentracijama u odnosu na masu uzorka konvencionalnog ili digitalnog ofsetnog otiska. Praćena je masa taloga iz flotacijske pjene Manje mase taloga pjene dobivene su flotacijom pulpe digitalnog ofsetnog tiska (LEP tehnika) u kojima je kalcij klorid dodavan u dezintegrator u usporedbi s dodatkom u posudu za miješanje Pjena se povećava s porastom udjela spomenutih kemikalija. Kod pulpe klasičnog ofsetnog otiska s povećanjem udjela natrij silikata, masa taloga pjene se povećava i uz manji udio kalcijevih iona. U radu se diskutira masa taloga pjene u odnosu na izdvajanje čestica bojila, ali i bjeline listova dobivenih od vlakanaca iz različitih faza procesa reciklaže [14,15].

Opsežna istraživanja rađena su na otiscima klasičnog ofsetnog tiska u odnosu na mehanizam deinkinga u funkciji kemijskog sastava boje kao i tiskovne podloge. Utvrđeno je da svojstva boja snažno utječu na sposobnost deinkinga. Odvajanje boje s tiskovne podloge prvenstveno je ovisno o formulaciji bojila, uvjetima u tisku i uvjetima starenja otiska nakon otiskivanja, dok uklanjanje boje iz sustava prvenstveno će ovisiti o veličini odvojenih čestica boje i njenim površinskim karakteristikama [16-18].

Posebna pažnja posvećena je istraživanjima s ekološko povoljnijim ofsetnim bojama, kako komercijalnim, tako i modelnim s većim udjelom obnovljivih sirovina. Otiskivalo se na papirima različitog kemijskog sastava, a za istraživanja su korištene odabrane kombinacije tih grafičkih materijala [19]. Radi kompleksnosti mehanizma procesa, istraživanja uključuju eksponiranje boja i tiskovnih podloga postupku prirodnog i ubrzanog starenja.

a

b

Slika 5: FT-IR spektri tiskovne podloge ubrzano stareno u klima komori na temp.80°C, φrh 65% bez utjecaja sunčevog zračenja; a:papir za umjetnički tisak:ne staren, staren 10,20 i 30 dana, b:ofsetni papir:ne staren i staren

FT-IR spektri pokazuju da kod papira dulje izloženom ubrzanom starenju primjećuje se povećanje apsorpcije u području valnog broja 1640cm -1 i 2740cm -1, što odgovara povećanju hidroksilnih i aldehidnih grupa. Kada je OH grupa manje smanjuje se mogućnost nastajanja vodikovih veza između celuloze i boje na otisku, što može djelovati na efikasnost odvajanja boje u procesu reciklaže [20-22].

Na listovima izrađenim od recikliranih otisaka na podlozi ubrzano starenoj 10 dana smanjuje se svjetlina u odnosu na ne stareni uzorak. Kod uzoraka s modelnim bojama s različitim udjelom biljnog estera, starenih 30 dana može se zapaziti smanjenje prirasta svjetline lista nakon flotacije [19].

Kromatske karakteristike listova načinjenih od recikliranih vlakanaca, ovisne su o kombinaciji podloge i boje, pa s povećanjem starenja postoji gotovo linearni pomak prema akromatičnosti, dok u drugom slučaju, gubitak obojenja je sporiji u odnosu na vrijeme starenja, međutim postoji kombinacije podloge i boje kod koje nakon 30 dana starenja list načinjen od recikliranih vlakanaca je praktički akromatičan [23].

Jedan od evaluacijskih čimbenika optičke čistoće, time i kvalitete pulpe, se određuje pomoću slikovne analize, a odnosi se prvenstveno na površinu čestica nečistoće (najvećim dijelom su to čestice boje) [24-26].

Obzirom na opisane varijable sustava, ovdje se radi o 8x2x2x4 multifaktorskom eksperimentalnom dizajnu. Prikazuje se samo multifaktorska analiza varijance za svjetlinu laboratorijskog lista. Studirani faktori su: osam kombinacija boja i tiskovnih podloga, gornja i donja strana lista načinjena iz vlakanaca procesa, list prije i poslije flotacije, dinamika procesa starenja za četiri različita vremena. Korišteni su čimbenici u odnosu na broj i veličinu čestica boja dobivenih slikovnom analizom kako slijedi: ukupni broj čestica, NOS_T, broj čestica većih od 0,04mm^2, NOS_L4, broj čestica manjih od 0,04mm^2 NOS_S4, ukupna površina čestica, ASA_T, površina čestica većih od 0,04mm^2, ASA_L4, površina čestica manjih od 0,04mm^2, ASA_S4.

a b c d

Slika 6: Svjetlina laboratorijskog lista načinjenog od pulpe iz opisanog sustava i svih varijabli; a: korelacija između svjetline i broja čestica manjih od 0,04mm^2; b:korelacija između svjetline i broja čestica većih od 0,04mm^2; c: korelacija između svjetline i ukupne površine čestica manjih od 0,04mm^2; d: korelacija između svjetline i ukupne površine čestica manjih od 0,04mm^2 [19].

Treba naglasiti da je korelacija svjetline lista s brojem čestica jača od one s površinom čestica, a korelaciji uglavnom doprinose čestice koje nisu vidljive golim okom.

Dio istraživanja odnosi se na pripremu uzoraka za tisak ofsetnom tehnikom, pri čemu se koriste dvije tehnologije rastriranja: amplitudno modelirana (60 linija cm-1 i 80 linija cm-1) i frekventno modelirana (dijametar rasterskog elementa 20μm i dijametar rasterskog elementa 40 μm) [26,27] . Otisci su reciklirani alkalnom kemijskom deinking flotacijom. Na laboratorijskim listovima napravljenim od pulpe iz faza procesa utvrđen je broj i površina čestica onečišćenja (boje) kao funkcija njihove raspodjele u 26 klasa veličina.

$$y = y_0 + Ae^{-\frac{x}{t}}$$ a

b

c

d

Slika 7: Korištenje AF i FM modeliranih rastera u ofsetnom tisku uzoraka za reciklažu; a: jednadžba koja se uklapa u model; b: ukupna površina čestica u odnosu na veličinu; c: karakteristične vrijednosti za sustav t i t', a) kada se promatra broj čestica, b) kada se promatra površina koju čestice zauzimaju na listu [28]

Na osnovu rezultata može se zaključiti da ukupni broj i površina čestica je veća, ako je u tisku uzorka za reciklažu korišten AM modulirani raster u odnosu na FM. Broj i površina čestica raspoređena u 26 klasa veličina u skladu s eksponencijalnom funkcijom korištene u modelu pokazuju da učinkovitost deinking flotacije je veća kada je t(t') manje [28].

Razvojem digitalnih tehnika tiska, porastao je interes za istraživanje recikličnosti takovih otisaka [29-32]. Načinjeni su otisci na stroju Indigo E -Print 1000+ s tekućim ElectroInkom pri različitim naponima temeljnog bubnja (-300V i -600V) i strojem Xerox DocuColor 2045 s naponom korotrona 136V i 212V [33]. Ostale varijable sustava su: različiti kemijski sastav papira i različiti uvjeti starenja otisaka, sve sa svrhom utvrđivanja utjecaja na efikasnost reciklaže. Za interpretaciju rezultata je korišten eksperimentalni dizajn i multifaktorska ANOVA.

Slika 8: Distribucija varijabli za više varijabli; a: za ukupni broj čestica NOS_T, b: za prosječnu veličinu čestica ASA_T [33]

U slučaju ukupnog broja čestica ElektroInka na listu najniža predviđena vrijednost NOS _T dobivena je korištenjem višeg napona temeljnog bubnja u tisku, veće gramature podloge i za otisak koji nije staren (slika 9a)[33].

Istraživana su optička svojstva (svjetlina, kromatski koeficijenti a* i b*, L* u odnosu na kromu tj. kriterij bijelog odnosno vrlo blizu bijelog papira listova od pulpe iz različitih faza reciklaže multikolornih i desaturiranih otisaka različitih modela digitalnih tiskarskih strojeva LEP tehnologije (GalosDO 330, Indigo1000+, TurboStream). Uzorci su prirodno stareni godinu dana i ubrzano u različitim vremenskim termin u klimatskoj komori [34].

Slika 9: Optička svojstva listova iz različitih faza reciklaže LEP otisaka; a: L*svjetlina u odnosu na kromu; b: kromatski koeficijenti a* i b*; c: ISO svjetlina [34]

Opširna istraživanja efikasnosti reciklaže, karakteristike laboratorijskih listova i fizikalno kemijskih karakteristika procesne vode rađena su u prema fazama elektrofotografskog tiska LEP tehnologije [35-37]. Uzorci za istraživanja su otisci kako slijedi: napon skorotrona (-850V, 800V, -750V,-700V- 650V); snaga lasera (1μw/mA, 3μw/mA, 6μw/mA, 9μw/mA, 12μw/mA), napon razvijačkog bubnja (-200V,-280V,-350V-430V, -500V), napon povratnih valjaka (0, -50V,-125V, -200V,-250V); napon squeegee valjaka(-1250V,-1300V,-1350V,-1400V,-1450V), temperatura ofsetnog cilindra (125°C, 130°C, 145°C, 135°C, 140°C).

a b c d e

Slika 10: Povećanje površine čestica onečišćenja(boje) na listu iz u odnosu na povećanje napona V, razvijačkog bubnja u tisku uzorka za reciklažu; a:-500V, b:-430V, c:-350V, d:-280V, d:-200V [38]

Ova istraživanja su objavljena u mnogim časopisima i prezentirana na kongresima, a ovdje je prikazan samo utjecaj varijacije napona razvijačkog bubnja na karakteristike listova iz pulpe [38].

Jedan smjer istraživanja odnosio se na istraživanja produkata reciklaže nakon obrade ofsetnih otisaka i onih dobivenih LEP tehnologijom. EDXRF metodom analizirani su Pb, Sr, Rb, Y, Zr, Co, Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Cr, V, K, Ca, Ti i P u produktima obrade, tiskovne podloge i ofsetnih otisaka. Analizirani elementi potječu prvenstveno iz premaza podloge, a vrlo malo iz boje otisaka. Dezintegracijom otisaka LEP tehnike tiska EDXRF analizom proizlazi da mehaničko djelovanje utječe na raspodjelu elemenata iz tiskovne podloge u procesnu vodu, list i pjenu. Obradom procesne vode centrifugiranjem i koagulacijom aktivnim crvenim muljem, dobiju se vode s koncentracijom promatranih kemijskih elemenata manjom od zakonom propisanih [15, 39].

Osim kemijske radila se i enzimatska deinking flotacija. Obzirom na koncentraciju enzimatskog preparata i vrijeme djelovanja utvrđivala se učinkovitost uklanjanja čestica boje. Na dobivenim listovima utvrđivane su optičke i kolorimetrijske karakteristike, te mehanička svojstva [40].

Za eksperimentalno otiskivanje više serija uzoraka korišten je karton Shiro Alga Carta (Favini), koji sadrži obrađene cvjetove algi iz Jadranskog mora.

Slika 11: Svjetlina i efektivna koncentracija zaostalog bojila za listove načinjeni iz vlakanaca dobivenih obradom otisaka na podlozi s algama iz Jadranskog mora inovativnom metodom u tri faze [41]

Zelene alge predstavljaju neželjeni ekološki problem, jer ugrožavaju ravnotežu ekosustava mora, a s druge pak strane imaju korisna fizikalno kemijska svojstva. Korištene boje su na biljnoj bazi i razlikuju se po udjelu obnovljive sirovine.

Oporaba otisaka rađena je našim inovativnim postupkom, s odvajanjem boje s vlakanaca i uklanjanje boje iz sustava u tri faze, bez upotrebe površinsko aktivnih tvari i bez flotacije. Utvrđena je uspješnost uklanjanja čestica boje prema broju čestica i njihovoj površini u 26 klasa praćenih prema fazama procesa [41]. Na listovima ostaju vrlo sitne zelene mrljice od algi. Grafički ambalažni proizvod na papiru ili kartonu izrađenom od takovih vlakanaca može djelovati u kontekstu ekološke promocije proizvoda i biti privlačan za ekološko osviještene kupce.

5. Zaključak

Vrijeme je pokazalo, da je odluka o osnivanju Laboratorija za ekologiju pri Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu opravdano donijeta. Studenti su dobili mogućnost eksperimentalnog rada u sklopu obaveznog dijela nastave u području znanosti o okolišu s elementima struke. Posebno veseli činjenica da je jedan dio njih sudjelovao po svojoj želji u projektima, što je u konačnici doprinijelo većoj integraciji istraživanja u području ekologije i održivog razvoja u obrazovanje. Neki od njih nagrađivani su Rektorovom nagradom, neki osvajali prva mjesta na kongresima za mlade istraživače i slično.

Prvi znanstveni projekt sufinanciran od MZOŠ, Grafički fakultet je dobio na osnovu sadržaja istraživanja vezanih uz spomenuti laboratorij. Osim toga treba naglasiti doprinos istraživanja transferu znanja u materijalnu proizvodnju, posebno proizvodnju recikliranog papira, kao i ekološko povoljnijih grafičkih boja. Određeni doprinos

je postignut kroz ekološke studije iz područja zbrinjavanja otpada iz same grafičke proizvodnje, kada ne postoje druge alternative, kao i izrade ekološke podloge pri izgradnji objekata i slično. Sadašnji znanstveni interes i suradnja vezana je većim dijelom za proizvodnju kartonske ambalaže uz postulate ekološke održivosti i kružnu proizvodnju, kao i ekološkim aspektima digitalizacije.

Literatura

[1] Bolanča, Z. & Barišić, N.: Ekološki problemi grafičke i prateće industrije, Zbornik radova Intergrafika 81, Lovreček, M.,109-127, Zagreb, 03. 1981, VGŠ, Zagreb,(1981.)

[2] Bolanča, Z.& Barišić, N.: Ekološki problemi grafičke industrije, I dio, Grafički rad, XXXXIX, (1984.), 8, 24-27, ISSN 0352-3365

[3] Bolanča, Z. & Dragojević, D.: Pollutants in waste waters in offset printing prepress, Proceedings on 15th International Conference on Graphic Arts, Lovreček, M., 201-206, Zagreb, 03.1998., Grafički fakultet, Zagreb, 1998.

[4] Bolanča, Z.: Ekološki aspekt nekih boja za ofsetni tisak, Acta Graphica, 8(1996.),1, 39-41, ISSN 053-4707

[5] Bolanča, Z.; Belošić, D. & Habuš, Z.: Ecobalance of alcohol wetting in weboffset, Proceedings of 24th International Research Conference IARIGAI, Bristow A., J., 11-17, London, 06.1997., IARIGAI, London

[6] Bolanča, Z.: Ekološka podobnost sredstava za pranje tiskarskih strojeva, Acta Graphica, 10(1998.)3,129-132, ISSN 053-4707

[7] Radanović, B. & Bolanča, Z.: Noise of the ofset printing machines, Proceedings of the 14th International Scientific Symposiun, Intergraphica,, Lovreček , M., 111-171, Zagreb, 03. 1996. Zagreb,1996.

[8] Bolanča, Z.& Barišić, N.: Ekološki problemi grafičke industrije, II dio, Grafički rad, XXXXIX, (1984.), 12, 18-21, ISSN 0352-3365

[9] Bolanča, Z. & Bolanča Mirković, I.: Razvoj i ekološka održivost u području grafičke tehnologije, U Godišnjaku akademije tehničkih znanosti Hrvatske, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, ISBN 978-953-7076-27-6, Zagreb, 2017., 41-56

[10] Bolanča, Z.: Ekološki aspekti elektronički upravljanim tehnikama tiska, Acta Graphica 8, (1996.) 2, 91-93, ISSN 0353-4707

[11] Bajpai, P.: Environmentally friendly production of pulp and paper, Wiley& Sons, INC., Publication, ISBN 978-0-470-52810-5, Hoboken, New Jersey, 2010.

[12] Bolanča, Z.; Bolanča Mirković, I. & Barbarić Mikočević, Ž.: The influence of the collector composition on the efficiency of prints recycling, Proccedings of 13th International DAAAM Simposium, Katalinić, B., 55-56, ISSN 1726-9679, Vienna, 2002., DAAM International, Vienna, (2002.)

[13] Bolanča Z.; Barbarić Mikočević Ž. & Bolanča I.: Characteristic of the recycled pulp in the function of the surfactants, Proccedings MATRIB 2005., Grilec, K., 315-320, ISSN 1848-5359, Vela Luka (2005.) Croatian Society for Materials and Tribology, Institute of materials and Mashine Mechanics Slovac Academy of Science, Dublin Institute of Technology, Zagreb, (2005.)

[14] Barbarić Mikočević, Ž.; Rožić, M.; Oreščanin, J.; Šipušić, J. & Bolanča, Z.: Uloga kalcijevih iona u reciklaciji otisaka digitalnog tiska, Zbornik radova 7. simpozija grafičara, Zjakić, I., 9-13 Senj, GRF, Zagreb, (2003.)

[15] Barbarić Mikočević, Ž.: Mehanizmi deinkinga otisaka nekih tehnika digitalnog tiska, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, Zagreb,(2004.)

[16] Bolanča, Z.; Agić, D .& Bolanča, I.: Influence of the offset ink formulation on the paper recycling efficiency, Proceedings of the 11th International DAAM Symposium, Katalinić, B., 37-38, ISSN 1726-9679, Opatija, 2000., International Vienna, Vienna, (2000.)

[17] Bolanča, Z.; Bolanča, I.& Agić, D.: Influence of the composition of the cyan offset ink on deinked fibers, Proceedings on 27th International Research Conference, Iglić, B., 125-129, Bled, 2000., ICP, Ljubljana, (2000.)

[18] A. Hladnik,; Bolanča, Z. & Barbarić Mikočević, Ž., The influence of kind and composition of colored model printing inks on deinking, Proceedings on 27th International Research Conference, Iglić, B., 160-162, Bled, 2001. ICP, Ljubljana, (2001.)

[19] Bolanča Mirković, I.: Ekološko povoljnije ofsetne boje i mehanizam deinkinga otisaka, Doktorska disertacija, Sveučiliše u Zagrebu, Grafički fakultet, Zagreb, 2007.

[20] Bolanča, Z. & Bolanča, I.: The characteristic of recycled fibers in the function of the natural and accelerated ageing of prints, in Waste Management and Environment, WIT Press, ISBN 978-1-84564.113-9 Soutampton, (2004.)132-143

[21] Bolanča Mirković, I. & Bolanča, Z.: Recycling of prints aged in different conditions, Annals of DAAAM, Katalinić B., 139-140, ISSN 1726-9679 Vienna, 2008., International Vienna, Vienna, (2008.)

[22] Bolanča Z.; Agić, D. & Bolanča I.: The influence of substrate on characteristics of recycled fibers, Proceedings of the 12th International DAAAM Symposium, Katalinić, B., 31-32, ISBN 3-901509-19-4, Jena, 2001., DAAAM International Vienna, (2001.)

[23] Bolanča Mirković, I.& Bolanča, Z.: Chromatic characteristic of the recycled fibers, u DAAAM International Scentific Book, DAAAM International Vienna, ISBN 953-96728-1-3, Vienna, (2009.) 89-101

[24] Bolanča Mirković, I.; Bolanča, Z. & Hladnik, A.: A comparation between two image analysis software tools, Proceedings of the 38th International Conference Defectoskopie, Mazal, P., Laboš, P., 25-32, ISBN 251.6.5.36, Brno, 2008., University of Technology Brno (2008.)

[25] Bolanča Mirković, I.; Bolanča, Z. & Hladnik, A.: Non destruction method for evaluation inhomogeneities in recycled paper, 4th International Workshop of NDT Experts, Proceedings, Mazel, P., 33-38, ISBN 056284-9, Prague, 2007., University of Technology, Faculty of Mechanical Enginering, Prague, (2007.)

[26] Bolanča Z. & Bolanča, I.: Image analysis as the method for evaluation of the deinking flotation efficacy, Proceedings of the 15th DAAAM Symposium, Katalinić, B., 45-46, ISBN 953-96728-1-3, Vienna, 2004. Vienna DAAAM International Vienna, (2004.)

[27] Bolanča, Z.; Bolanča, I.& Mrvac, N.: Optical properties of handsheets from recycled prints made from different screens, u DAAAM International Scientific Book, DAAAM international Vienna, ISBN 3-901509-42-9, Vienna, (2004.) 65-72

[28] Bolanča Mirković I.; Modrić, M.& Bolanča Z.: Screens of offset prints and ink content in recycling process, Scientific Papers of the University of Pardubice, Seria A,17 (2011),203-210

[29] Bolanča, Z.; Agić, D.& Bauer K.: Recycling of digital prints, Advances in Digital Printing, Bristow, A.J.,1-8, ISBN1-83802-348-21 , London, PIRA International Ltd.(1999.)

[30] Bolanča, Z.& Bolanča, I.: Chemical deinking of non-impact prints, Acta Graphica,13 (2001.)1-4, 1-10

[31] Bolanča, Z.; Bolanča I. & Hladnik, A.: The influence of different digital printing techniques on the print recycling efficiency, Proceedings of International Congress of imaging Science, Honda, K., Ohno,S.,Tani., T., 686-687, ICIS 02, Japan, SPSTJ;ISJ (2002.)

[32] Barbarić Mikočević Ž.; Bolanča, Z.&Matković, P.: Increasing the efficiency of deikung flotation of indigo prints, COST Action E46-DEINKING; Improvements in the understanding and use of de-inking technology, Girona, 2006 Scientific Report of WGs

[33] Bolanča Mirković I.: Mehanizmi deinkinga u funkciji starenja otisaka, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, Zagreb, 2005.

[34] Bolanča I.& Bolanča, Z.: The optical properties of deinked pulp, Journal of Imaging Science and Technology, 49(2005)3,248-292, ISSN 123701

[35] Majnarić I.: Studija indirektne elektrofotografije, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, Zagreb, 2007.

[36] Bolanča Mirković, I.; Bolanča, Z. & Majnarić., I.: Prints recycling in function of the press conditions and supstrate characteristic, Procedia Enginering, 69(2014.)150-157, ISSN 18777058

[37] Bolanča Mirković, I.; Majnarić I. & Bolanča, Z.: Ecoligical sustainability and waste paper recycling, Procedia Enginering, 100 (2015.)177-186, ISSN 18777058

[38] Vukoje, M.; Bolanča Mirković, I. & Bolanča, Z.: Influence of printing technique and printing conditions on prints recycling, Sustainability, 2022, 14, 335, https: doi.org/10.3390/su14010335

[39] Barbarić Mikočević, Ž.; Orešćanin, V.; Bolanča, Z.; Lulić, S.& Rožić, M.: Heavy metals in the products of deinking flotation of digital offset prints, Journal of Environmental Science and Healt, Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering A 39(2004.) 11- 12, 2883-2895, ISSN 1532-4132

[40] Bolanča, I. & Bolanča, Z.: Chemical and enzimatic deinking flotation of digital prints, Proceedings of 4th DAAAM Conference, Papstel, J.,181-184, DAAAM Tallinn, ISBN, 9985- 894-59-6, Tallinn, (2004.)

[41] Bolanča Mirković I.; Medek G.& Bolanča Z.: Ecologically sustainable printing: Aspect of printing materials, Technicall Gazette, 26(2019)3, 662-667, ISSN 1330-3651

Primjena metode za odvajanje frakcija iz papirne pulpe

Ivana Bolanča Mirković

Član suradnik, Odjel grafičkog inženjerstva, HATZ

Sažetak: *Održivost proizvodnih procesa postao je imperativ u 21. stoljeću. Papirna industrija sustavno doprinosi razvoju tehnoloških procesa koji smanjuju negativan utjecaj na okoliš kao što je zatvaranje kružnog toka procesnih voda, ne korištenje klora i spojeva kolora u procesu bijeljenja celuloze, reciklaža papira i drugo. Reciklaža papira značajan je izvor kvalitetne sirovine uz kontrolu proizvodnog procesa papirne pulpe. Kvaliteta papirne pulpe smanjuje se uz prisutnost ljepljivih čestica (sticky) i čestica nečistoća (shive) u pulpi zbog kojih dolazi do začepljenja na stroju za papir, prekida u proizvodnji, smanjene kvalitete papira, gužvanja papira, smanjenje kvalitete otiska i drugog. Iz spomenutih razloga važna je kontrola broja i površine ljepljivih čestica i čestica nečistoća, ali i određivanje njihovog položaja na listu papira. Kako bi se odvojile spomenute frakcije iz papirne pulpe može se koristiti uređaj za odvajanje frakcija iz papirne pulpe tipa Somerville. Razvoj i primjena spomenute referentne metode biti će tema ovog rada.*

Ključne riječi: *Reciklaža, frakcije, papirna pulpa, uređaj tip Somerville.*

1. Uvod

Jedan od izvora celuloznih vlakana kao sirovine za izradu papira već duže vrijeme su reciklirana celulozna vlakna. Papirna industrija je na spomenuti način značajno pridonijela povećanju održivosti proizvodnog procesa, ali uz pozitivne učinke na okoliš važno je dobivanje sirovine dobre kvalitete koja se može upotrebljavati kako za svakodnevne proizvode tako i za ekskluzivne, prehrambene ili farmaceutske proizvode. Na kvalitetu sirovine uvelike utječu čestice nečistoća (shive) i ljepljive čestice (sticky), čiji izvor može biti reciklirana papirna pulpa, ali i djevičanska papirna pulpa.

2. Problematika frakcija u papirnoj pulpi

2.1. Ljepljive čestice u papirnoj pulpi

Česti izazov pri reciklaži papira je kontaminacije celuloze i papira s ljepljivim onečišćenjima (stickies) povezanim s ulaznim sirovinama koja mogu poticati od adheziva, lakova, premaza i drugih sastojaka. Tijekom procesa dezintegracije ljepljive čestice mogu onečistiti papirnu pulpu. Ukoliko nisu separirane mogu se taložiti u stroju za papir, uzrokovati prekide u proizvodnji papira, nedostatke na listu ili roli papira kao što su rupe ili mrlje te poteškoće tijekom tiska [1, 2]. Razvoj postupaka selektivnog prikupljanja korištenog papira i želja za smanjenje negativnog utjecaja na okoliš pridonijeli su povećanju proizvodnje recikliranog papira u odnosu na ukupnu količinu papira, što doprinosi povećaju količine ljepljivih čestica u ukupnoj papirnoj pulpi. Spomenutom trendu svoj obol daje ambalažna industrija, koja smanjuje korištenje neobnovljivih materijala kao što su polimeri u korist papirne i kartonske ambalaže, koja često sadrži adhezive, lakove i premaze. Treba napomenuti da proizvodnja celuloze i papirne pulpe zahtjeva veliku količinu vode. Zbog povećanja održivosti proizvodnog procesa, spomenute industrije među prvima uvode kružni tok vode unutar pogona te se dodatno novim tehnologijama smanjuje potrošnja svježe vode. Spomenuti tehnološki pomaci nažalost doprinose povećanju ljepljivih čestica [3]. Primarne ljepljive čestice uglavnom sastoje od organskih materijala kao što su: stiren-butadien, stiren akrilna lateks veziva, guma, vinil akrilati, poliizopren, polibutadien i drugi (Slika 1) [4].

Izvor ljepljivih čestica u pulpi mogu biti smole prisutne u djevičanskoj pulpi. Ukoliko smole dođu u kontakt s ljepljivim česticama iz pulpe prije postupka deinkinga međusobno se destabiliziraju. Opisani mehanizam ima sinergijska svojstva pa ukupan učinak obje komponente je veće od njihova pojedinačnog djelovanja. U proces reciklaže papira dodaju se brojne kemikalije, koje mogu destabilizirati kemijske tvari (organske i anorganske) prisutne u papirnoj pulpi te uzrokovati stvaranje sekundar-

Slika 1: Izvori i podjela ljepljivih čestica

nih ljepljivih tvari. Spomenuti procesi obično se odvijaju zbog promjene procesnih parametara kao što su: temperatura, pH i naboj, koji potiču koloidnu destabilizaciju i aglomeraciju otopljenih i koloidnih tvari (Slika 1) [5].

Ljepljive čestice se klasificiraju na: makro-ljepljive čestice (ljepljive čestice veće od 100 μm), mikro-ljepljive čestice (ljepljive čestice od 1 do 100 μm) i koloidne ljepljive čestice (ljepljive čestice koloidne veličine i ponašanja) [6, 7]. Važnost klasifikacije po veličini nalazi se u sljedećim razlozima: različitom pristupu njihovom uklanjanju, različitim metodama njihovog kvantificiranja i različitim strategijama za minimiziranje njihovog utjecaja na izradu papira [8].

Metode važne za kvantificiranje makro-ljepljivih čestica su INGEDE metoda br.4 ili Tappi T 275 sp-07 uz uređaj za odvajanje frakcija Somerville [9, 10]. Metode se temelje na odvajanju čestica iz papirne pulpe koja se hidrolizira preko noći, te se propušta kroz otvore sita od 100 μm na uređaju za odvajanje frakcija Somerville. Prikupljeni odbačeni ljepljivi materijal se prebacuje na bijeli silikonski papir nosilac, te se pomoću uređaja za automatsku izradu laboratorijskog lista papira Rapid-Kothen formira list. Nakon što se osuši, cijeli se list papira boji crnom tintom, nakon čega se posipa bijelim prahom glinice. Ljepljivi materijal prihvaća aluminij, stvarajući kontrast u odnosu na crnu pozadinu. Ljepljive čestice se kvantificiraju korištenjem alata za analizu slike i izražavaju kao broj čestica i njihova površina po težini osušene pulpe (npr. mm^2/kg pulpe).

2.2. Shive u papirnoj pulpi

Shive je svaka čestica veća od jednog vlakna, uključujući i snop vlakana koji je dovoljno velik ili u dovoljnoj količini da uzrokuje smanjenu kvalitetu papirne pulpe odnosno probleme u proizvodnji papira. Čestice koje nisu celuloznog sastava jednostavnije se klasificiraju kao nečistoće. Prepoznavanje shive olakšavaju fizikalna svojstva vlakanaca ili čestica kao duljina, debljina, ili treća dimenzija te optička svojstva papirne pulpe. Ukoliko izbijeljena pulpa sadrži optičke nehomogenosti, smatra se da sadrži shive.

Shive utječu na kvalitetu izrade papira jer smanjuju pokretljivost papirne pulpe, uzrokuju optičku nehomogenost lista papira, na listu papira mogu biti prisutne izbočine ili ogrebotine na papirnom premazu. Problemi vezani za proizvodnju papira su začepljenje ili lom stroja za papir, pojava rupa ili pucanje papirne trake zbog oslabljenih mjesta s česticama nečistoće i drugi problemi. Opisane čestice uzrokuje smanjenu kvalitetu ispisa. Obično velike čestice shive imaju mali brojčani udio u ukupnom broju čestica, ali veliki maseni udio i veliki doprinos optičkoj nehomogenosti papira. Kod malih čestica trendovi su obrnuti [11].

3. Primjena metode za odvajanje frakcija iz papirne pulpe uz uređaj tipa Somerville

Proučavanjem mehanizama reciklaže papira, kartona, kartonske i višeslojne ambalaže te kompozitne ambalaže za tekućine mogu se određuju karakteristike reciklirane papirne pulpe i laboratorijskih listova papira, njihova optička, mikrobiološka, kompostabilna svojstva u ovisnosti o tehnici tiska, tiskovnoj podlozi, bojilu i drugim faktorima. Neki od postupaka koji se koriste za odvajanje ljepljivih čestica i čestica nečistoća su postupci odvajanja frakcija, deinking flotacija, ultrazvučni deinking, enzimski denking, postupci odvajanje bez upotrebe kemikalija i drugi. Metoda za odvajanje frakcija može se koristiti kako samostalni postupak, kao predpostupak ili kao dodatni analaitički postupak nakon odvajanja frakcija iz papirne pulpe. Metoda kojom se određuje broj i površina čestica shive i stickie nakon frakcioniranja je metoda slikovne analize, koja analizira optička svojstva laboratorijskih listova papira prije i poslije postupka odvajanja čestica nečistoća ili ljepljivih čestica iz papirne pulpe.

Domaći znanstveni projekt pod naslovom „Nove formulacije grafičkih materijala, karakteristike otisaka i čimbenici okoliša“, podržan od Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta, Republike Hrvatske, pod šifrom 128-1281955-1953 osigurao je sredstva za kupovinu uređaja za odvajanje frakcija pomoću sita - tip Somerville - model SF-10 (LS Screen Fractionator, tip Somerville - model SF-10). Autorica rada je bila voditeljica projekta od 2010. do 2014. godine.

Uvedena metoda na uređaju za odvajanje frakcija tip Somerville pomoću sita koje vibrira odvaja čestice nečistoća (shive) i makro ljepljive čestice (macro stickies) bez odvajanja celuloznih vlakna koja su pogodna za izradu papira (Slika 2). Uređaj može odvojiti frakcije kao što su ljepljive čestice, snopove vlakana, čestice bojila, plastika, pijesak, metalne komade, pahuljice i drugo. Metoda se može koristiti kao korak u kvantifikaciji čestica nečistoća ili ljepljivih čestica, ali i kao metoda za izdvajanje papirne pulpe visoke kvalitete.

Slika 2: Fotografija uređaja za odvajanje frakcija pomoću sita - tip Somerville - model SF-10

4. Rezultati

Metoda za odvajanje frakcija iz papirne pulpe primijenila se za odvajanja čestica sticky i shive iz papirne pulpe dobivene od kompozitne ambalaže za piće s tri (polietilen, karton, polietilen) i šest (polietilen, karton, polietilen, aluminijska folija, polietilen i polietilen) slojeva [12].

Slika 3: Fotografije laboratorijskih listova papira: a) troslojna kompozitna ambalaža poslije postupka odjeljivanja frakcija b) troslojna kompozitna ambalaža prije postupka odjeljivanja frakcija c) šesteroslojna kompozitna ambalaža poslije postupka odjeljivanja frakcija d) šesteroslojna kompozitna ambalaža prije postupka odjeljivanja frakcija

Kao što je vidljivo na slici 3 povećanje količine adheziva u papirnoj pulpi kod šesteroslojne ambalaže ne rezultira s povećanjem brojnosti i površinom ljepljivih čestice na listu laboratorijskog papira nakon odvajanja. Spomenuto bi se moglo dovesti u korelaciju s problemima vezanim s papirnim strojevima, što spominju neki drug autori u svojim istraživanjima [13, 14].

Fotografije uzoraka laboratorijskih listova prikazuju čestica sticky koje su bijele boje zbog lijepljenja bijelim prahom glinice i shive nečistoće ostalih obojenja koje ne prihvaća bijeli prah glinice. Na odvajanje ljepljivih čestica uz njihovu brojnost utječe i njihov kemijski sastav, o kojem će ovisiti moguća destabilizacija čestica, kako je to u ranijem tekstu i spomenuto. U zadnje vrijeme došlo je do velikog napretka u kvalitativnim svojstvima spomenutih adheziva, pa proizvođači ambalaže u suradnji s

proizvođačima adheziva dolaze do novih spoznaja i patenta kao na primjer Henkel i TetraPack (Tetra Pak® hot melt adhesives). Spomenuti adheziv osigurava sigurnosne zahtjeva prema hrani, te ima nižu potrošnju što doprinosi održivosti proizvodnje, ali i smanjenom stvaranju ljepljivih čestica što se može primijetiti na Slici 3d.

Na frakcioniranje laminirane kartonske ambalaže koja sadrži polimerni sloj i adheziv utječe prisutnost dvije vrste adheziva. Adheziv koji je apliciran na gornju stranu tiskovne podloge je aktiratni kopolimer, dok je na slojeve pakiranja apliciran disperzijski adheziv na bazi sintetičkih polimera. U papirnu pulpu dospijevaju dva adheziva, koja mogu međusobno reagirati i doprinijeti nastanku ljepljivih čestica (Slika 4 a) [15, 16]. Proces izdvajanja frakcija rezultirao je pulpom visoke kakvoće, što je vidljivo na slici 4 b), ali se određena količina snopova celuloznih vlakanaca izdvojila sa polimernom folijom [17, 18, 19].

Slika 4: Fotografije laminirane kartonske ambalaže: a) prije postupka odvajanja frakcija iz papirne pulpe b) poslije postupka odvajanja frakcija iz papirne pulpe

Dodatni problem pri dobivanju kvalitetne papirne pulpe su čestice srebrnog bojila koje na površini laminirane ambalaže stvaraju dojam presijavanja. Takav efekt otiska popularan je na tržištu, jer ističe proizvod među sličnima i daje dozu ekskluzivnosti.

Slika 5: Fotografije frakcija polimerne folije: a) otisnutog pakiranja b) ne otisnutog pakiranja

Srebrno bojilo je otisnuto iznad bijelog pokrovnog bojila, kako bi efekt presijavanja najviše došao do izražaja. Utjecaj bojila na postupak frakcioniranja vidljiv je na slici 5, gdje se može primijetiti da je više snopova celuloznih vlakana izdvojeno kod uzorka koji je otisnut [20, 21].

Papirna pulpa načinjena od tiskanih naljepnica s integriranom UHF RFID oznakom je bila izvor celuloznih vlakna za izradu listova papira na Büchnerovom lijevku prema standardu INGEDE 11 [22]. Trajan akrilan adheziv prisutan u spomenutoj papirnoj pulpi može se povezati s nastankom ljepljivih onečišćenja, te začepljenjem pora filter papira, što je uzrokovalo dugi vremenski period izrade lista. Pri izradi lista na automatskom uređaju za laboratorijsku izradu papira Rapid-Köthen, FRANK-PTI smanjuje se intenzitet vremenskog produljenja izrade lista. Spomenuti uređaj ima podtlak od oko 6325 Pa, dok podtlak na vodenoj sisaljki na Büchnerovom lijevku od oko 7 999 Pa. Osim spomenutog razloga laboratorijski list izrađen na Büchnerovom lijevku izrađuje se prema standardu na filter papiru s oznakom crne vrpce, koji ima veličinu pora 12-25 μm. Automatski uređaj za laboratorijsku izradu papira Rapid-Köthen, ima glatko tkan metalni žičani zaslon za izradu lista, koji se postavlja vodoravno između gornjeg i donjeg dijela uređaja, s nominalnom veličinom otvora od 125 μm, prema ISO 3310-1. Poželjni promjer žice mora biti 90 μm.

a)

b)

Slika 6: Fotografija laboratorijskog lista načinjenog od papirne pulpa tiskanih naljepnica s integriranom UHF RFID oznakom: a) prije postupka odvajanja frakcija b) poslije postupka odvajanja frakcija

Iz navedenog može se pretpostaviti kako ljepljive čestice i druga onečišćenja, kao bojila značajnije utječu na brzinu izrade laboratorijskog lista papira pri manjem podtlaku i manjim porama. U procesu je odvođenje suvišne vode sporije. Spomenuti efekt nije primijećen u drugim ispitivanjima. Moglo bi se pretpostaviti da u oba načina izrade laboratorijskih listova, na listovima ostaju ljepljive čestice makro veličine. Navedeni podatak potvrđen je i slikovnom analizom.

Uzorci dobiveni od tiskanih naljepnica s integriranom UHF RFID oznakom odlikuju se slabim uklanjanjem otisnutog vodljivog bojila. Dobivene rezultate potvrdila su

istraživanjima drugih autora [23]. Sitne čestice bojila ne utječu na optičku homogenost lista papira već doprinose boji papira.

Slika 7: Fotografija laboratorijskog lista načinjenog od papirne pulpa načinjene od kartonske ambalaže bez lijepljenja: a) prije postupka odvajanja frakcija b) poslije postupka odvajanja frakcija

Ambalažni proizvodi ukoliko nisu lijepljeni mogu dati kvalitetniju celuloznu pulpu pa se u postupku frakcioniranja izdvajaju samo čestice nečistoće (Slika 7) [24]. Spomenutu sirovinu nije potrebno bijeliti, već se može koristiti za izradu kartona za ambalažne proizvode. Na spomenuti način može se pridonijeti smanjenju korištenja kemikalija i održivosti proizvodnje.

Za sve navedene uzorke uz broj i površnu čestica stickies i shives važan je i njihov geometrijski položaj na listu papira. Metoda slikovne analize može izmjeriti sve spomenuto. Treba naglasiti da se postupku slikovne analize trebaju podvrgnuti uzorci listova sa sitene i pustene strane. Obično dobivene vrijednosti nisu slične. Razlog takvim rezultatima leži u geometriji, kemijskim svojstvima čestica, mogućem međudjelovanju čestica i papirne pulpe i drugom. Za sva navedena istraživanja napravljena je slikovna analiza. Dobivene vrijednosti date su u citiranim radovima, u ovom radu nisu spomenuta jer nisu predmet ovog znanstvenog doprinosa.

5. Zaključak

U prosjeku se papirna sirovina može reciklirati do sedam puta, što može doprinijeti povećanju koncentracije ljepljivih čestica i čestica nečistoća ukoliko u prošlim procesima nisu dovoljno uspješno izdvojene. U nekim slučajevima velika kontaminacija ljepljivim česticama ne mora nužno dovesti do poremećaja u proizvodnji, dok u drugim situacijama ograničena kontaminacija ljepljivom tvari uzrokuje važna začepljenja na stroju za papir i čestih prekida u proizvodnji papira. Spomenuti procesi ovise i o sposobnosti prianjanja ljepljivih čestica, koju karakteriziraju priroda i veličina

ljepljivih čestica, te brzina stroja za izradu papira. Ljepljivim česticama i česticama nečistoća se uz spomenuto, određuje geometrija populacija čestičnog materijala (distribucija veličine u njihovom izvornom stanju, tj. bez prešanja, odnosno njihov trodimenzionalni oblik), debljina lista te raspodjela ljepljivih i čestičnih materijala unutar debljine lista (dubina, raspodjela i orijentacija). Sve navedene podatke lakše je prikupiti kada se iz pulpe odvoje frakcije pomoću uređaja za odvajanje frakcija tipa Somerville. Uz spomenuto, metoda se može koristiti za dobivanje papirne pulpe velike kvalitete.

Značajnost razrade i primjene metode za odvajanje frakcija iz papirne pulpe uz uređaj tipa Somerville nalazi se u činjenici da u laboratorijima fakulteta i instituta u Hrvatskoj nema takvog ili sličnog uređaja. Neki od navedenih znanstvenih istraživanja napravljeni su u suradnji s kolegama iz inozemstva i hrvatskim gospodarstvenicima.

Literatura

[1] Blanc, Y. & Cochaux, A.: Problems linked to stickies in a mill recycling packaging materials: industrial experience. 57th Annual Congress of the ATIP, Grenoble, France, (2004)

[2] Blanco, A.; Negro, C.; Monte, C.; Fuente, H. & Tijero, J.: Overview of two major deposit problems in recycling: slime and stickies. Part II: Stickies problems in recycling, Progress in Paper Recycling, 11. (2002) 2., str. 26–37, ISSN 10611452

[3] Hamann, L. & Strauss, J.: Stickies: definitions, causes and control options, Wochenblatt fur Papierfabrikation, 131. (2003) 11-12., str. 652–663, ISSN 0043-7131

[4] Gribble, C.; Matthews, P.; Gantenbein, D.; Turner, A.; Schoelkopf, J. & Gane, P.: Adsorption of surfactant-rich stickies onto mineral surfaces, Journal of Colloid and Interface Science, 352. (2010.) 2., str. 483-490, ISSN 0021-9797

[5] Putz, J.: Stickies in recycled fiber pulp, U Recycled fiber and deinking, L. Göttsching, Pakarinen, H., Editor (2000), Fapet Oy: Helsinki, Finland, str. 441-498,

[6] Doshi, M. R. & Dyer, J.: Various approaches to stickies classification. Progress in Paper Recycling, 16 (2007) 4., str. 44–48, ISSN 10611452

[7] Sitholé, B. & Filion, D.: Assessment of Methods for Measurement of Macrostickies in Recycled Pulps. Progress in Paper Recycling, 17 (2008) 2, str. 16–25, ISSN 10611452

[8] Doshi, M. R. & Dyer, J. M.: Review of Quantification Methods for PSA and Other Stickies. TAPPI Recycling symposium, Vol 2., str. 701-711, Washington DC, ožujak 2000, TAPPI Press, Atlanta, (2000)

[9] TAPPI T 275 sp-07, Screening Of Pulp (Somerville-Type Equipment)

[10] INGEDE method 4., Analysis of macrostickies in pulps (Updated April 2013)

[11] Corscadden, K. W.; Jack, S.; Joss, C. & Trepanier, T. R.; Accurate shive classification using image analysis, Appita Journal, 61 (2008) 1., str. 56-59, ISSN 10386807

[12] Jerić, J.; Bolanča Mirković, I.; Vukoje M.; Usporedba mogućnosti recikliranja različitih laminatnih ambalažnih materijala, Tehnologijada (2015)

[13] Douek, M.; Sithole, B. & Banerjee, S.: Survey of deposits and contaminants in mills using recycled fiber. Progress in Paper Recycling, 13 (2003) 1., str. 12–22, ISSN 10611452

[14] Haynes, R. D.: Using the measurement of colloidal microstickies to meet industrial needs for deposit control. part 1: recycle plant. Progress in Paper Recycling, 19 (2010) 2., str. 12–29, ISSN 10611452

[15] Bevandić, J.: Reciklaža laminirane kartonske ambalaže, diplomski rad, diplomski, Grafićki fakultet, Zagreb, (2019)

[16] Bolanča Mirković, I.; Medek, G. & Bolanča, Z.: Ecologically Sustainable Printing: Aspects of Printing Materials, Tehnički vjesnik : znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku, 26 (2019) 3., str. 662-667, ISSN 1330-3651

[17] Bolanča Mirković, I.; Klemenčić, M. & Bolf, N.; Karakterizacija čestica na recikliranim listovima papira dobivenim od otisnute kartonske ambalaže za lijekove, HDMT – Hrvatsko Društvo za Materijale i Tribologiju, (2019)

[18] Bolanča, Z.; Medek, G. & Bolanča Mirković, I.: Material Recovering from Offset Prints on Paper with Alternative Fibers, Jubilee Annual 2017-2018 of the Croatian Academy of Engineering, 1 (2018), str. 205-216, ISBN 1332-3482

[19] Čanađija, B,; Oporaba kartonske ambalaže, diplomski rad, preddiplomski, Grafički fakultet, Zagreb, (2017)

[20] Veličković, M.; Ambalažni proizvodi i održivost, diplomski rad, preddiplomski, Grafički fakultet, Zagreb, (2017)

[21] Bolanča Mirković, I.; Medek, G. & Bolanča, Z.: Cardboard packaging from algae for environment sustainability, Book of proceedings, 4thInternational Symposium of Environmental Management – Towards Circular Economy, SEM 2016, Katančić, Zvonimir ; Koprivanac, Natalija ; Lončarić Božić, Ana ; Kušić, Hrvoje ; Hrnjak-Murgić, Zlata, str. 100-105, Zagreb, prosinac 2016, University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology, (2016)

[22] INGEDE 11 Method, Assessment of print product recyclability – Deinkability

[23] Gregor-Svetec, D.; Muck, T.; Pivar, M.; Ravnjak, D.; Bolanča Mirković, I.; Recyclability of label papers with integrated UHF RFID printed antenna, PTS Innovative Packaging Symposium 2016, str. 127-140, Munchen, Njemačka, (2016)

[24] Ranogajec, E.; Karakteristike celuloznih vlakanca dobivenih reciklažom igraćih karti, diplomski rad, preddiplomski, Grafički fakultet, Zagreb, (2019)

O Zavodu za primijenjeno računarstvo na Sveučilištu u Zagrebu Fakultetu elektrotehnike i računarstva

Damir Kalpić[1], Mirta Baranović[2], Vedran Mornar[3], Krešimir Fertalj[4]

[1] član emeritus HATZ-a, damir.kalpic@fer.hr

[2] član suradnik HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, mirta.baranovic@fer.hr

[3] redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, vedran.mornar@fer.hr

[4] redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, kresimir.fertalj@fer.hr

Sažetak: *Nagliji razvoj računarstva, a pogotovo primijenjenoga, koincidira s nabavkom računala IBM 1130 na tadašnjem Elektrotehničkom fakultetu koncem 60.-tih godina prošlog stoljeća. Početna grupa od 2 nastavnika na Zavodu za primijenjenu matematiku ubrzo je počela rasti. Uz nastavu programiranja razvijana je suradnja s korisnicima na praktičnim projektima. Potrebe za nastavnicima su rasle, a tako i angažman na rješavanju praktičnih problema primjenama računala. Zapošljavani su novi mladi stručnjaci, dijelom potporom nadležnog ministarstva, ali većim dijelom su bili plaćani od prihoda iz praktičnih projekata. Nakon razdoblja korištenja središnjih računala, dolazi pojava mnogo dostupnijih mikroračunala. Porast nastavnih i stručnih potreba doveo je do osnivanja Zavoda za primijenjeno računarstvo. Današnje opće korištenje Interneta i uvođenje sveprisutnog računarstva bilo je praćeno novim predmetima koji su i odraz znanja stečena radom na projektima od kojih su neki poznati i široj javnosti.*

Ključne riječi: *nastava, projekt, informacijske tehnologije, primjena*

1. Razvoj računarstva na Elektrotehničkom fakultetu

Početak jače prisutnosti računarstva, koje još nije bilo poznato pod tim imenom, na tadašnjem Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu (ETF) započeo je nabavkom prvog široj javnosti dostupnog računala opće namjene 1968. godine. To je bio vrlo popularan model IBM 1130 koji se znatno razlikovao od ostalih tadašnjih računala,

uključujući i one od tvrtke IBM. Moglo bi se gotovo reći da je po pristupačnosti bio preteča budućih osobnih računala. Zahtijevao je međutim klimatizirani prostor oveće sobe, cijena mu je bila u stotinama tisuća dolara, imao je 64 kB središnje memorije i izmjenjivi disk od 1 MB. Ulazni medij su bile bušene kartice, konzolna tipkovnica i 16 binarnih sklopki. Izlazni uređaji si bili linijski štampač, konzolni pisač, inkrementalni crtač krivulja i bušač kartica. Za nabavku takve opreme u ono vrijeme nije bilo dovoljno prikupiti dinarsku protuvrijednost, nego, što nije bilo nimalo lakše, pribaviti potrebni iznos u dolarima. To se moglo samo uz odobrenje i potporu države jer slobodna kupovina deviza nije bila zakonski dopuštena. Mnoštvo građana je uspijevalo manje iznose u dinarima zamijeniti najčešće za zapadnonjemačke marke. To je bilo protuzakonito i zapriječeno zatvorskim kaznama, ali se u praksi nije progonilo. Velike iznose deviza nije se moglo na taj način pribaviti.

Za ilustraciju tadašnjih prilika, a prema sjećanju na kazivanja pokojnog profesora Božidara Stefaninija koji ima zasluge za uspješnu nabavku računala, nabavka je bila u jednom trenutku formalno omogućena za visokoškolske ustanove u Jugoslaviji pod istim uvjetima. Preduvjet za postavljanje zahtjeva bio je prikupljanje i predaja kompletne tehničke i financijske dokumentacije do određenog zadanog termina. Na ETF-u u Beogradu su za tu mogućnost znali mjesecima prije roka za predaju. Na ETF-u u Zagrebu se to doznalo tek nekoliko dana prije roka za predaju. Računala su se tada nabavljala praktički jedino u Sjedinjenim Američkim Državama. Nije bilo Interneta, ni današnjih uobičajenih mogućnosti brze komunikacije. Bilo je gotovo nemoguće na vrijeme pribaviti dokumentaciju za postavljanje zahtjeva. Međutim, kolegijalni odnosi su bili izuzetno dobri. Postojala je profesionalna solidarnost bez obzira na nacionalnu i teritorijalnu pripadnost, prekaljena u borbi protiv administrativnih poteza države, promatranih kao opća elementarna nepogoda. Tako su nam kolege iz Beograda dali na uvid svu njihovu dokumentaciju, ETF u Zagrebu je uspio pravovremeno postaviti zahtjev i računalo je dobavljeno.

U to vrijeme je bilo uobičajeno da se računala povezuju s matematikom pa je tako ponuđeno dotadašnjem predavaču nacrtne geometrije na Zavodu za primijenjenu matematiku (ZPM), magistru matematike Alfredu Žepiću da se preorijentira na programiranje i nauči programski jezik FORTRAN IV te da ga što prije počne predavati studentima ETF-a. Kao njegov asistent zaposlio se Petar Maćašović, dipl. ing. elektrotehnike. U siječnju 1970. je diplomirala generacija studenata koji su već i diplomski rad radili na računalu pa su zaposleni kao asistenti Marijan Đurek i Damir Kalpić, obojica dipl. ing. elektrotehnike, smjera elektronika – automatika. Uključili su se u podučavanje programskog jezika FORTRAN IV i u praktične primjene računala. Voditelj te male grupe je bio mr. Žepić, osoba široke opće kulture i socijalne inteligencije. Asistent Maćašović je već bio izvrsno ovladao programerskim znanjem i vještinama, a posebno se istakao poslovnim sposobnostima za ugovaranje praktičnih projekata uporabe računala za potrebe različitih djelatnosti u društvu. Neko-

liko godina kasnije, ETF je napustio Maćašović, a na njegovo mjesto zaposlena je Mirta Rogina, kasnije udana Baranović, dipl. ing. elektrotehnike, smjera elektronike, usmjerenja računarska tehnika i informatika. Svi su četvero bili nastavna grupa Računarska znanost u okviru ZPM-a. Održavali su nastavu iz programiranja ne samo na ETF-u, nego i za niz drugih fakulteta u Zagrebu, ali i na FESB-u u Splitu. Osim toga, održavali su stručna predavanja i tečajeve širom bivše države.

Raspoloživost računala bila je u to vrijeme minimalna, znanja glede njihova korištenja još manja, ali je jačala spoznaja da se mogu korisno uporabiti. Mala grupa sa ZPM-a je radila niz praktičnih projekata za industriju, gospodarstvo, državne institucije, ali i znanstvena istraživanja. Od ostvarenih prihoda bilo je moguće zapošljavati na određeno vrijeme zavodske suradnike koji su bili ravnopravno uključeni u nastavu. Njihove kvalitete nisu bile sporne jer su bili pažljivo odabrani među najboljim završenim studentima, sposobnima zaraditi predanim stručnim radom dovoljno novca za vlastite plaće, ali i za daljnje širenje Grupe. Za ilustraciju raznolikosti tematike navedimo neke projekte realizirane na računalu IBM 1130: *Proračun parnih kotlova, Grafički dizajn hiperelipsa za oblikovanje stropa Sabornice, Izračun vlastitih harmonika glodalice, Optimiranje proizvodnje za metalurišku industriju u BiH, Izračun proizvodnih troškova po originalnoj strukturi u Željezari Zenica, Optimiranje poljoprivredne proizvodnje za PIK-ove u RH i Rezajeh u Iranu, Proračun ventilacije rudnika u Sloveniji, Tablice za stelarnu navigaciju, Registar za rak SRH, Regresijske i faktorske analize, Kontrola kvalitete u proizvodnji, Multiprecizna aritmetika koja je omogućila izradu programa za izračun plaća na IBM 1130, ali i izračunavanje broja π s preciznosti na tisuće znamenki, Numerički proračuni elektromagnetskih i toplinskih polja, Proračuni mehaničkih konstrukcija, Proračun rasvjete, Obrada tehničkih pregleda vozila, Obrada anketa za istraživanje tržišta, Obrada podataka potreba za radnicima itd.*

Reference na neke od projekata može se naći u [1].

2. Intenzivnije korištenje središnjih računala

Za dio spomenutih projekata korišteno je preko terminala i računalo UNIVAC 1110 u Sveučilišnom računskom centru (SRCE) osnovanom 1971. Na tom je računalu bio izrađen program za studensku službu ETF-a, uz dosta truda postigla se ažurnost podataka, ali tadašnja Uprava ETF-a nije razumjela da se program mora održavati, tako da je relativno brzo njegovo korištenje prestalo. Studentskoj službi je iskustvo ipak bilo korisno pa su nastavili ručno raditi emulirajući programske procedure.

Zahvaljujući projektima ostvarivao se prihod koji je omogućio angažman zavodskih inženjera koji su godinama radili na toj vanjskoj suradnji i tako zarađivali svoju pla-

ću, ali su isto kao i asistenti sudjelovali u nastavi. Današnjim studentima će neka od imena ljudi koji su ostali na Fakultetu zacijelo biti poznata: Vedran Mornar, Slaven Zakošek, Krešimir Fertalj, …

Nekoliko je godina u Grupi vladao sustav fraktalnog rukovođenja [2] s podjelom honorara od vanjske suradnje tajnim glasovanjem o doprinosu svih članova [3], što je, pogotovo u početku, bilo vrlo stimulativno za puni angažman na projektima, ali i na nastavi te je poticalo kolegijalnost. Takva organizacija uvedena je kad je Grupa brojala 7 članova, što se smatra svojevrsnom „magičnom“ kardinalnosti skupa uz mogućnost pouzdane distinkcije pojedinih elemenata skupa. Za ilustraciju, iako ima nemjerljivo više različitih frekvencija, usvojen je sustav od 7 muzičkih nota, odnosno smatra se da ima 7 duginih boja. Ovdje je to značilo da svi članovi Grupe mogu imati dovoljno saznanja o aktivnostima i doprinosima svih ostalih članova. Krenulo se od tadašnje opravdane pretpostavke dovoljne homogenosti Grupe glede intelektualnih i radnih sposobnosti i iskustava, zajedničkih moralnih i etičkih načela i svijesti da je svakom pojedincu bolje u Grupi negoli da je sam ili u nekom alternativnom raspoloživom radnom okruženju. Postojao je i formalni razlog, a to je da je tada bio samo jedan poslovno aktivan član Grupe u nastavničkom zvanju, što je uobičajeni uvjet na FER-u za iniciranje sklapanja poslovnih ugovora s korisnicima, u našem slučaju računarskih usluga. Dekan FER-a bi potpisivao sve predložene ugovore bez oklijevanja i daljnjih preduvjeta ukoliko bi se dotada pokazalo da je predlagatelj uredno obavljao sve nastavne i ostale fakultetske dužnosti te ispunjavao obveze iz dotadašnjih ugovora koje je bio vodio. S obzirom na praksu na nekim drugim visokim učilištima, možda je potrebno naglasiti da su od ostvarenog prihoda, davanja Fakultetu bila 10% i matičnom zavodu 5% za nabavku i održavanje opreme. Postoci i struktura su se vremenom mijenjali, ali ne bitno. To navodimo jer su nam prema dostupnim informacijama poznate prakse da neki fakulteti uzimaju puno veće iznose. Nije neobično kad onda takve institucije imaju simbolički dodatni prihod, ovise samo o financiranju iz resornog ministarstva pa im opremljenost nije na zavidnoj visini. Logično je da se onda njihovi djelatnici obraćaju Autorskoj agenciji pa rade preko nje, ukoliko naravno postoji na tržištu interes za njihovim znanjima. Bojimo se da to kod nekih od njih nije nužno slučaj. Sjetimo se da je prije nekoliko godina jedan veliki fakultet u Zagrebu bio sav oblijepljen parolama „Znanje nije roba“. To nije bila neka jadikovka, nego stav njihovih studenata da bi upravo tako trebalo biti. Možda zaboravljaju da kad njihovi kolege ostvare neki proizvod svog znanja, npr. knjigu, umjetničko djelo ili studiju, s pravom očekuju adekvatnu novčanu nagradu. Vjerujemo da je upravo znanje danas najvrjednija roba.

Promjenama studijskog programa i uvođenjem većeg broja računarskih predmeta otvarana su neka regularna nastavnička radna mjesta na kojim su onda neki od zavodskih suradnika mogli biti trajno zaposleni, a temeljem prihoda od projekata zapošljavali su se novi završeni studenti.

3. Pojava mikroračunala

Kad su se pojavila mikroračunala, zahvaljujući suradnji s tvrtkom *Agromarketing* i razumijevanju njena direktora Tomislava Raguža, Grupa je dobila na raspolaganje za ono vrijeme vrlo napredna mikroračunala *Cromemco* koja su prva radila pod višekorisničkim operacijskim sustavom *Cromix* sličnom mnogo poznatijem *Unixu* na tadašnjim većim računalima. Neki od projekata koji su realizirani na njima i ostalim mikroračunalima prije Domovinskog rata: *Registar za rak, Programski sustav za linearno programiranje, Poslovanje uvoza knjiga i časopisa, Automatsko kodiranje popisa stanovništva 1990*. Napomenimo, usporedbe radi s kasnijim iskustvima u Hrvatskoj na popisima stanovništva, da su podaci s popisa stanovništva 1990. u Hrvatskoj i u Bosni i Hercegovini bili obrađeni na mikroračunalu u roku od 4 mjeseca, korištenjem naših programskih rješenja za prepoznavanje tekstova na hrvatskome jeziku.

Za današnju tvornicu *AD Plastik* iz Solina bio je razvijen i dugo je tamo korišten vrlo uspješan sustav za planiranje proizvodnje zasnovan na korištenju mikroračunala.

Od proglašenja neovisne Republike Hrvatske značajniji projekti su bili *Informacijski sustav studentske službe* šire poznat po *studomatima*[1] - osobnim računalima s ekranima osjetljivima na dodir koji su radili kao terminali s grafičkim sučeljem. Bilo je zamišljeno da se uspješno rješenje proširi na druge fakultete. Najviše zahvaljujući tromosti Sveučilišta, ali i određenoj opstrukciji zbog nedostatka motivacije donositelja odluka, godinama se to nije događalo. Kad se konačno pokrenulo, tehnološki napredak je tražio potpuno novu platformu pa je tako nastao *Informacijski sustav visokih učilišta* (ISVU). Ekipa koja mu daje danas potporu u SRCU osposobljena je na ZPM/ZPR-u gdje su nakon diplomiranja radili kao zavodski inženjeri. U međuvremenu su bili izrađeni i *korišteni programi za biblioteku, za raspored sati, za potporu nastavi*. Također je razvijen i pušten u *korištenje sustav za subvencioniranu studentsku prehranu (Iksice)*. U suradnji sa Zavodom za visoki napon i energetiku ETF-a razvijao se Informacijski sustav održavanja opreme u HEP-u.

Za vrijeme Domovinskog rata rađene su neke aplikacije za potrebe Hrvatske vojske, kao skladišne evidencije i planiranje prehrane. Radile su se, pretpostavljali smo, vrlo perspektivne aplikacije za njemačkog naručitelja i to potpora radu tiskarskih poduzeća te program za daljinsku prodaju roba i usluga, uključujući i automobile, koji je djelovao u globalnoj mreži poslužitelja u njemačkim gradovima i na Zavodu [4]. Sustav je već prije opće uspostave Interneta funkcionalno sličilo današnjoj uspješnoj njemačkoj aplikaciji za kupoprodaju automobila na Internetu [5]. To ukazuje da je, najviše zbog rata i nedovoljnog angažmana na terenu u Njemačkoj, propuštena ozbiljna poslovna prilika.

[1] Naziv „studomat“ koji je bio opće prihvaćen, predložio je prof.dr.sc. Predrag Pale.

Odmah po završetku rata, za MORH je izrađena aplikacija personalne evidencije pri čemu je osposobljena stručna računarska ekipa u MORH-u, koja se nažalost razišla nakon promjene vlasti, vjerojatno zbog nedovoljne potpore.

Razvijeni su i vlastiti razvojni alati i radna okruženja. Godine 1996. započela je izgradnja aplikacije za evidenciju vaskularne flore koja je narasla u *Informacijski sustav Flora Croatica Database* Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, kao dio Informacijskog sustava zaštite prirode koji je pod nadležnošću Hrvatske agencije za okoliš i prirodu.

4. Osnivanje Zavoda za primijenjeno računarstvo (ZPR)

Rastao je stalno broj naših predmeta i broj studenata, rastao je doduše nešto sporije, također i broj odobrenih radnih mjesta financiranih od resornog ministarstva. Postalo je očito da se djelatnost Grupe računarskih znanosti sve više udaljava od područja matematike. Kad se mijenjao Statut ETF-a, na sugestiju i uz podršku tadašnjeg dekana prof. dr. sc. Slavka Krajcara, predložili smo osnivanje novog Zavoda za primijenjeno računarstvo. Od kolega matematičara koji ostaju na Zavodu za primijenjenu matematiku dobili smo punu potporu našim nastojanjima. Ovaj puta je prijedlog o osnivanju novog zavoda bio prihvaćen na Fakultetskom vijeću, za razliku od sličnog predratnog pokušaja koji tada nismo bili mi inicirali.

Formiranje Zavoda za primijenjeno računarstvo započelo je zavodskim sastankom održanim 14. listopada 2005. godine, na kojem su sudjelovali tadašnji članovi ZPM: Mario-Osvin Pavčević, predstojnik Zavoda za primijenjenu matematiku; Jasenka Anzil, zavodski suradnik; Mirta Baranović, izvanredni profesor; Borislav Bećić, zavodski suradnik; Ivica Botički, znanstveni novak; Ljiljana Brkić, znanstveni novak; Mirjana Domazet-Lošo, znanstveni novak; Marijan Đurek, docent, Krešimir Fertalj, docent; Nikola Hadjina, naslovni docent; Damir Kalpić, redoviti profesor; Krešimir Križanović, znanstveni novak; Sonja Majstorović, administrator; Igor Mekterović, znanstveni novak; Boris Milašinović, znanstveni novak; Vedran Mornar, redoviti profesor; Stjepan Pavlek, zavodski suradnik; Dubravka Pukljak Zoković, zavodski suradnik; Lidia Rovan, znanstveni novak; Zvonimir Vanjak, znanstveni novak te Slaven Zakošek, asistent.

Djelatnici Zavoda za primijenjenu matematiku koji su pripadali grupi predmeta Računarske znanosti svojim potpisima su potvrdili da slobodnom voljom prelaze u novo osnovani Zavod za primijenjeno računarstvo (ZPR). Izabrani su i kandidati za predstojnika i zamjenika predstojnika predloženog zavoda. Zavod je formalno osnovan odlukom 551. redovite sjednice Fakultetskog vijeća Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, održane dana 19. listopada 2005. godine.

Zavod je stvoren prvenstveno vlastitom inicijativom članova nekadašnje Grupe, njihovim velikim profesionalnim angažmanom u nastavi i vanjskoj suradnji, te u znanosti koliko je to bilo nužno za akademsku karijeru.

Zapošljavani su i dalje zavodski suradnici i znanstveni novaci. Pokušavalo ih se sve uključiti u dotadašnji rad na vanjskoj suradnji. Pokazalo se da fraktalni način rukovođenja više nije primjenjiv, a kako je još nekoliko članova Zavoda bilo izabrano u nastavnička zvanja, nije bilo prepreke da se oblikuje više radnih timova uz mogućnost međusobne suradnje. Možemo biti ponosni na činjenicu da je ta reorganizacija prošla bez međusobnih prepirki te je razlaz proveden bez većih problema. Tako je ZPR postao „normalan“ zavod, sličniji ostalima na FER-u, ali uz pamćenje da je specifična početna organizacija pomogla stvaranju vlastitog zavoda i preživljavanju oteženih uvjeta rada tijekom Domovinskog rata.

Zapošljavani su zavodski inženjeri na poslovima projekta poslovne inteligencije u bankarstvu. Kad su se stvorile za to zakonske pretpostavke, uz potporu i sudjelovanje nekih od nastavnika sa ZPR-a osnovalo se privatno poduzeće u suvlasništvu većine zavodskih suradnika angažiranih na projektu i s manjim udjelom trojice nastavnika s FER-a. Projekt je prenesen na novu tvrtku i ona je započela uspješno poslovati u toj struci. Moramo komentirati ponešto nedomoljubni čin premještanja uspješne tvrtke u Ujedinjeno Kraljevstvo, preciznije Englesku. Razlog je osim većih poslovnih mogućnosti, bilo jednostavnije administriranje. Navedimo za primjer slučaj kad je tijekom rada u Zagrebu trebalo obaviti minornu promjenu u vlasničkoj strukturi tvrtke. To je zahtijevalo angažman svih suvlasnika, njihovo potpisivanje dokumenata kod javnog bilježnika u više kopija, tako da je to rezultiralo s više izgubljenih radnih sati i troškovima za ovjeru oko 75 instanci potpisa. Slična transakcija kasnije u Engleskoj zahtijevala je jednu rečenicu teksta i skenirani potpis u privitku jednokratne elektroničke pošte.

Radile su se studije i strategije informatizacije i e-poslovanja, vrednovanja i nadzori. Obavljala su se vještačenja iz računalne forenzike te se uvodi specijalistički poslijediplomski studij informacijske sigurnosti. Izrađena je programska potpora državnoj maturi i svake se godine pomaže prilikom njene provedbe.

Našim su angažmanom bile obuhvaćene gotovo sve ljudske djelatnosti. To smatramo našom misijom i specifičnošću: rješavati računalom probleme u najrazličitijim djelatnostima, ali s tim da je neposredni korisnik čovjek. Ne radimo dakle softver za telefonske centrale, avione, robote, ugrađene sustave itd.

Usmjerenje Grupe i kasnijeg Zavoda je bilo, uz nastojanje što kvalitetnijeg obavljanja nastavnih obveza, uporabom suvremenih računalnih postupaka praktično riješiti pojedinačne konkretne nestandardne probleme, a zatim kad računala više nisu bila rijetkost, sve se češće prilazilo izradi ergonomskih programskih rješenja koja bi se

predavala na korištenje korisnicima na njihovim računalima, uz poduku. Održavanje se po mogućnosti prepuštalo njima ili nekoj drugoj tvrtki. Iako je mnogim tvrtkama održavanje programske potpore poželjan izvor prihoda, nastojali smo izbjeći tu obvezu jer se radom na održavanju manje stječu nova znanja, a u računarstvu i za rad na fakultetu to je nužnost. Iako su se na hrvatskom tržištu pojavile mnoge računarske tvrtke, ne pamtimo zamjerki da bi nas se doživljavalo nelojalnom konkurencijom. Bilo je doduše slučajeva da su neke takve tvrtke dobile posao po javnoj nabavi zahvaljujući nižoj cijeni, ali je ponekad upitno koliko su uspješno obavile posao. Šteta od postojeće regulative javnih nabava je i veća nego što bi moglo izgledati. Ne samo da je izgubljeno vrijeme nego se od nekih možda korisnih projekata posve moralo odustati. Bili smo i sami objekt ucjene prilikom natječaja za projekt koji je raspisalo jedno javno poduzeće. Predstavnik tvrtke koja zapošljava jednog samozvanog „informatičara“ bez kvalifikacija, tražila je da ih za 10% ponuđene cijene projekta uključimo kao „podugovarače“, a zauzvrat oni se neće žaliti na rezultate natječaja. Nismo to prijavili jer bi teško bilo dokazivo, ali nismo niti pristali, a naša suradnja s javnim poduzećem je prekinuta tek kad se našla jeftinija ponuda naizgled kompetentne tvrtke. Koliko nam je poznato, realizirano nije ništa.

Možda djeluje apsurdnim i budi sumnju u konflikt interesa to da nam je osnovna zadaća na FER-u bila obrazovati vlastitu konkurenciju. Iskustvo međutim pokazuje da što smo više uspješnih računaraca obrazovali, tim je više kvalitetnih projekata dolazilo na Zavod. Grupa, a kasnije Zavod su izbjegavali preuzimanje repetitivnih standardnih poslova, zbog naglašene potrebe stalnog stjecanja i ažuriranja stručnih znanja na novim projektima. Na ovaj način, stjecali smo značajno praktično iskustvo, samopouzdanje i znanje kako privući i obrazovati studente da postanu prilagođeni potrebama tržišta. Tim se pristupom privlačilo studente od kojih su se neki i uključivali u projekte, što je rezultiralo tijekom rada na Zavodu za primijenjenu matematiku, a kasnije na Zavodu za primijenjeno računarstvo s preko tisuću diplomskih, a nakon bolonjskog procesa magistarskih radova, stotinjak obranjenih magisterija znanosti temeljem predbolonjskog poslijediplomskog studija i desecima obranjenih doktorskih disertacija iz područja računarstva.

Zahvaljujući radu na projektima suradnje s gospodarstvom i državnim institucijama ostvareno je više ciljeva:

- Osiguranje primjerene osobne egzistencije, bez potrebe za emigracijom, kao osnovni preduvjet za ostvarenje ostalih ciljeva;
- Stjecanje praktično važnih stručnih znanja;
- Znanstveni rad usmjeren na rješavanje stvarnih problema;
- Privlačenje studenata zahvaljujući nastavi iz relevantnih područja;
- Izbjegavanje preopterećenja nastavom, uključivanjem zavodskih suradnika u nastavni proces;

- Osiguranje kvalitete nastave te stručnog i znanstvenog rada odabirom i angažiranjem nekih od najkvalitetnijih završenih studenata.

Kao nedostatak, moglo se vremenom uočiti da sporije napredujemo u znanstvenim i nastavnim zvanjima. Uzrok sporijeg napredovanja je bila naša nedovoljna, ili nedovoljno priznavana znanstvena produkcija jer nam je pisanje članaka bilo prilično neatraktivno. Nedostajalo nam je radova objavljenih u inozemstvu. Na međunarodne konferencije u inozemstvo smo počeli češće odlaziti tek kad je kratko vrijeme prije rata dinar postao konvertibilan pa se moglo vlastiti zarađeni novac koristiti za putovanja i kotizacije. Iskustva s traženjem financiranja i deviza od Ministarstva su bila prilično mučna. Djelovalo nam je da bi bilo lakše ta sredstva zaraditi stručnim korisnim radom nego svladavanjem besmislene opsežne birokracije.

Za većinu članova ZPR-a ostala je prilično dubioznom razlika između stručnog i znanstvenog rada. Iskustvo pokazuje da su se realizirani projekti od kojih ima praktične koristi proglašavali strukom, dok ono drugo kao da više tendira znanosti.

Jedan Fakultetski Zavod, srodan po tematici bavljenja, ali ne i po pristupu, bio je u vrhu svjetske računarske znanosti zahvaljujući tradiciji, specijalizacijama u inozemstvu, ali i osobnim znanstvenim i stručnim sposobnostima vodećih nastavnika. Okolnosti u državi i društvu nisu omogućavale da takva kvaliteta dođe lokalno do izražaja. Rezultat je bio da je velik broj izvrsnih članova tog zavoda u najproduktivnijim godinama života bilo rado primljeno na atraktivna radna mjesta, najviše u Sjedinjenim Američkim Državama. Većinom su tamo ostvarili zavidne karijere. Oni koji su se kasnije vratili i pokušali nešto slično u Hrvatskoj, obično bi doživjeli razočaranje.

Članovi Zavoda do sada su sudjelovali na desetak znanstveno-istraživačkih te više desetaka stručnih projekata u poljima programskog inženjerstva, informacijskih sustava, operacijskih istraživanja i upravljanja projektima. Među klijentima bila su ministarstva znanosti i obrazovanja, obrane, zdravstva, gospodarstva, zaštite okoliša, geodetska uprava, visokoobrazovna učilišta, industrijska poduzeća, elektroprivreda, naftna industrija, željeznice, izdavaštvo, turizam, prehrana, banke, osiguravajuća društva, šumarstvo, rudarstvo i mnogi drugi. Znanstveni rad često je bio potaknut praktičnim projektima. U početku su prevladavale numeričke metode. Kasnije prevladavaju teme programskog inženjerstva, raspodijeljenih baza podataka, udaljenog učenja, aplikacija usmjerenih na Web i analize slučajeva iz prakse. Možda je specifičnost našeg Zavoda u tome što u pravilu nismo radili istraživanja s primarnim, a pogotovo ne jedinim ciljem da se objavi neki znanstveni rad. Znanstvene radove bismo najčešće objavljivali kao nusprodukt nekog uspješnog i u praksi realiziranog projekta. U radu se koristila zajednička računalna infrastruktura Fakulteta pa članovi Zavoda svoj rad obavljaju na visokokvalitetnoj i suvremenoj računalnoj opremi.

5. Nastava računarstva

U ak. god. 1977./78. uveden je novi studijski program, ETF-4. U posljednjoj akademskoj godini prema tom programu izvodili su se na smjeru *Računarska tehnika* obvezni predmeti *Tehnika programiranja i Operacijska istraživanja* te izborni predmeti *Projektiranje programske podrške, Strukture podataka* i *Baze podataka*.

U ak. god. 1994./95. započinje izvedba studijskog programa FER-1. Osvježeni su neki postojeći predmeti i uvedeni su novi predmeti. *Primjena računala, Programiranje te Algoritmi i strukture podataka* postaju obvezni na prve dvije godine studija. *Programske paradigme i jezici, Baze podataka* obvezni na novouvedenom studiju *Računarstva*, a ponudu upotpunjuju izborni predmeti *Operacijska istraživanja, Projektiranje informacijskih sustava, Objektno orijentirano programiranje* i *Projektiranje programske podrške*.

Studijski program FER-2 uveden je u ak. god. 2005./2006. Unaprijeđeni su postojeći i uvedeni su novi predmeti: *Programiranje i programsko inženjerstvo, Algoritmi i strukture podataka, Objektno orijentirano programiranje, Baze podataka, Programske paradigme i jezici, Razvoj primijenjene programske potpore, Napredni algoritmi i strukture podataka, Napredni modeli i baze podataka, Operacijska istraživanja, Objektno oblikovanje, Poslovna inteligencija, Razvoj informacijskih sustava, Sustavi baza podataka, Upravljanje projektima, Bioinformatika, Ergonomija u računarstvu, Geoprostorne baze podataka, Zaštita i sigurnost informacijskih sustava*.

Zavod je bio nositelj modula Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi na preddiplomskom, odnosno istoimenog profila na diplomskom studiju.

Prema nastavnom programu FER-3 ZPR je prvenstveno angažiran u preddiplomskom studiju računarstva i na profilu Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi na diplomskom studiju računarstva.

Djelatnici zavoda aktivni su na poslijediplomskom doktorskom studiju gdje predaju: *Baze podataka, Elektroničko poslovanje, Oblikovanje skladišta podataka, Odabrane teme iz tehnologija primjena World Wide Weba, Kvantitativne metode upravljanja rizicima, Metode i tehnike razvoja programske podrške, Operacijska istraživanja, Računalom podržano obrazovanje, Statističko modeliranje i identifikacija, Upravljanje informacijskim sustavima*.

Zavod je također nositelj specijalističkog poslijediplomskog studija *Informacijska sigurnost* u kojem sudjeluje s predmetima: *Osnove informacijske sigurnosti, Upravljanje sigurnosnim rizicima, Sigurnost elektroničkog poslovanja, Sigurnost programske podrške i baza podataka*.

U okviru Zavoda uveden je specijalistički poslijediplomski studij Upravljanje projektima, u kojem su članovi voditelj i član Stručnog vijeća specijalističkog studija, a nastavnici sa Zavoda nositelji i izvoditelji predmeta *Osnove upravljanja projektima, Vođenje projekata i Metode i alati za upravljanje projektima*.

Na temelju iskustava pri uvođenju studija Upravljanje projektima uspostavljen je studij Proizvodi, digitalne inovacije i tehnologije u osiguranju – INSURTECH, u kojem Zavod sudjeluje u Stručnom vijeću studija i predmetom *Upravljanje projektima i vođenje projekata*.

Na Zavodu za primijenjeno računarstvo u ak. god. 2021/2022., s punim radnim vremenom, rade doktori znanosti u zvanju redovitog profesora: Mirta Baranović, Vedran Mornar, Krešimir Fertalj, Gordan Gledec, Boris Vrdoljak i Ivica Botički. U zvanju izvanrednog profesora rade: Ljiljana Brkić, Igor Mekterović, Mirjana Domazet-Lošo, Boris Milašinović i Nikica Hlupić. U zvanju docenta su: Slaven Zakošek, Mario Brčić, Tomislav Jagušt, Marina Bagić Babac i Marko Horvat. U zvanju poslijedoktoranda, asistenta, stručnog suradnika ili zavodskog suradnika rade: dr. sc., Danijel Mlinarić, Melita Fertalj, Mihael Kovač, Agneza Krajna, Dalibor Krleža, Momir Futo, Tomislav Rajnović, Nikša Stanović, i Fran Tonković. Zavodska tajnica je Sonja Čuček.

Umirovljeni član Zavoda, Damir Kalpić (1970.-2018.) izabran je 2019. u počasno zvanje *professor emeritus* na Sveučilištu u Zagrebu.

Dosadašnji predstojnici Zavoda bili su profesori: Damir Kalpić (2005.-2010.), Mirta Baranović (2010.-2014.), Krešimir Fertalj (2014.-2018.) i Vedran Mornar (2018.-).

Kao nastavnici te suradnici na preddiplomskoj ili diplomskoj nastavi, ili na projektima, radili su: Kristina Andrić, zavodski suradnik (2007.-2008.); Jasenka Anzil, asistent (1991.-2015.); Borislav Bađić, zavodski suradnik (2005.-2006.); Ivan Budišćak, asistent (2008.-2016.), Ana Cvitaš, zavodski suradnik (2006.-2007.); Petar Djerasimović , asistent (2012.-2018.), Enes Dobardžić, zavodski suradnik (1987.-1988.); Marijan Đurek, izvanredni profesor (1971.-2013.); Tomo Helman, znanstveni novak (1998.-2002.); Ivana Ilić, zavodski suradnik (2007.-2008.); Ana Jurinčić, zavodski suradnik (2003.-2004.); Valdi Kalafatić, znanstveni novak (1992.-2003.); Marija Katić, poslijedoktorand (2007.-2014.); Spomenko Kenda, zavodski suradnik (1983.-1992.); Nenad Katanić, asistent (2015.-2017.), Krešimir Križanović, zavodski suradnik (2000.-2014.); Marija Ljubešić, zavodski suradnik (2004.-2004.); Ladislav Mačkala, zavodski suradnik (1997.-2004.); Petar Maćašović, asistent (1968.-1976.); Vlatko Malović, zavodski suradnik (2007.-2010.); Gordana Martinčić Jerčić, asistent (1980.-1980.); Boris Matijašević, zavodski suradnik (1999.-2001.); Ivana Nižetić Kosović, docent, (2006.-2016.), Jasminko Novak, zavodski suradnik (1996.-1999.); Stjepan Pavlek, zavodski suradnik (2004.-2008.); Krunoslav Popović, asistent (1984.-

1990,); Marina Ptiček, asistent (2016.-2021.), Dubravka Pukljak Zoković, asistent (1993.-2013.); Ines Richter, tajnica (1992.-2003.); Lidia Rovan, znanstveni novak (2004.-2012.); Gorana Rubinić, zavodski suradnik (2007.-2011.); Darija Sonicki, zavodski suradnik (1996.-1999.); Svetlana Šebalj, tajnica (1994.-2003.); Krešimir Šimunić, znanstveni novak (1997.-1998.); Ivana Ujević, zavodski suradnik (2006.-2008.); Zvonimir Vanjak, znanstveni novak (1998.-2009.); Vedran Vrbanić, zavodski suradnik (2007.-2008.); Hrvoje Zoković, zavodski suradnik (1991.-2004.) i Alfred Žepić, redoviti profesor (1963.-2000.).

Spomenimo da se Marijan Đurek bavio i slikarskom pa je inicirao Galeriju FER-a i organizirao niz zapaženih izložbi priznatih likovnih umjetnika te tradicionalnu prigodnu Božićnu izložbu likovnih radova djelatnika FER-a.

Preminuli članovi Grupe, odnosno Zavoda su Alfred Žepić, redoviti profesor (1930.-2005.) i Marijan Đurek, izvanredni profesor (1948.-2014.).

U Zavodu su radili i mnogi vanjski suradnici, a kroz dulje vrijeme kao honorarni nastavnici na dodiplomskoj i poslijediplomskoj nastavi radili su nastavnici drugih fakulteta i institucija, odnosno stručnjaci iz gospodarstva: prof. dr. sc. Nikola Hadjina, prof. dr. sc. Vedran Batoš, prof. dr. sc. Robert Manger, dr. sc. Strahil Ristov, dr. sc. Zoran Bohaček.

Članovi Zavoda obavljali su na FER-u dužnosti dekana (Mornar, Gledec), prodekana (Baranović, Kalpić, Mornar, Gledec), pomoćnika dekana (Kalpić) i niz drugih. Najznačajnija od dužnosti obavljanih u Republici Hrvatskoj bila je ona ministra znanosti, obrazovanja i sporta (Mornar), a u inozemstvu počasne predsjednice Europske federacije nacionalnih društva održavatelja (Baranović) - EFNMS (*European Federation of National Maintenance Societies*).

6. Zaključak

Često je ZPR osjećao manjak nekih resursa, prvo prostora, a kasnije asistentskog i nastavnog osoblja. Do toga je došlo djelomično iz povijesnih razloga, a i po našem mišljenju, neprimjerenog zakonodavstva koje kao da zanemaruje osnovne zadaće fakulteta. Mislimo da su te zadaće odgoj kvalitetnih i društvu potrebnih stručnih kadrova i unaprjeđenje svekolikog života u lokalnoj zajednici. Doprinos svjetskoj znanosti jest dakako vrijedno postignuće, ali je u tehničkom području ostvarenje bilo otežano zbog tadašnje relativno slabije razvijenosti sredine u kojoj živimo. Ispunjava nas ipak zadovoljstvom činjenica da nam ne nedostaje studenata i koliko znamo, naši završeni studenti su traženi na tržištu rada. To nam ukazuje da nam je orijentacija dobra.

Da možemo, rado bismo vratili praksu kad je Fakultet sam odlučivao o visini plaća vlastitog osoblja, u skladu s ostvarenim rezultatima rada. Sadašnji status nastavnog osoblja kao državnih činovnika određenog tarifnog razreda u visokom obrazovanju nije dobro rješenje. Plaća najčešće ne ovisi ni o kvaliteti, niti kvantiteti obavljenog posla, niti o znanstvenom području. Istina jest da su sve struke potrebne i moraju biti zastupljene u barem nekom minimalnom opsegu. Sve iznad toga trebalo bi ovisiti o potrebama, tj. potražnji za visokoobrazovanim osobama određenog profila. Nije istina da su sve struke jednako zahtjevne ni tijekom studija, niti u radnom vijeku, a niti jednako važne i tražene u društvu. Plaće nastavnika bi u nekoj osjetnoj mjeri trebale ovisiti o porezu prikupljenom od bivših studenata. Treba dakako pažljiva i precizna razrada kako tretirati studente koji su emigrirali, kako vrednovati nove studije gdje još nema završenih studenata i niz drugih detalja, prijelaznih pojava, projekcija budućnosti i pitanja nužne zaštite digniteta i opstojnosti svih potrebnih struka. Bitno je da u stacionarnom stanju nastavnici imaju veću plaću ako njihovi završeni studenti bolje zarađuju. Tako se može osigurati i obnova nastavnog kadra u najpropulzivnijim strukama. Inače može doći do negativne selekcije takvih kadrova s dugoročnim i ne odmah primjetljivim posljedicama. Fakulteti bi bili maksimalno motivirani da se organiziraju kako bi školovali studente koji su visoko vrednovani u gospodarstvu. Nadamo se da bi mnogi birokratski propisi i pravilnici postali bespredmetnima. Ovo je vjerojatno suviše simplificirani pogled na problematiku, ali ga možda ne bi trebalo a priori odbaciti.

Nedavno smo iz dnevnog tiska [6] doznali da slično razmišljanje nezavisno postoji i na nama po djelatnosti srodnom fakultetu. Mnogo toga ukazuje da su promjene u politici visokog školstva nužne, ali i da će se teško dogoditi internom inicijativom iz sustava u kojem većini odgovara status quo. Pasivnost i konformizam bi se mogli ilustrirati svojedobnim prihvaćanjem ideje akademske iskaznice, iako je teško povjerovati da Senat Sveučilišta u Zagrebu ne bi mogao uočiti besmislenost takvog projekta. Promjena načina financiranja bi možda ipak mogla potaknuti promjene u smjeru korisnome za društvo.

Literatura

[1] Kalpić, D., Baranović, M., Mornar V., Fertalj, K.: Neka iskustva u razvoju informacijskih sustava, Annual of the Croatian Academy of Engineering, Vol. 2019 No. 1, 2019.

[2] Sihn, W.: Paradigm Shift in a Corporation: The Fractal Factory, Proceedings of 18th International Conference on Computers & Industrial Engineering, Shanghai, October 1995, China Machine Press, Shanghai, 1995

[3] Kalpić, D., Baranović, M.; Fertalj, K.: How to Organise a University Based R&D and Teaching Group in Computing? A Case Study // World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Proceedings, Volume 2 / Callaos, Nagib; Khoong Chan, Meng; Cohen, Eli (ur.): International Institute of Informatics and Systemics, 1997. 174-181

[4] Mornar, V., Fertalj, K., Kalpić, D.: Multimedia Production and Distribution System, Proceedings of the 17th International Conference on Information Technology Interfaces, Pula, June 13-16, 1995, pp 501-506

[5] Automobile.de: Gebrauchtwagen und Neuwagen günstig kaufen, https://www.automobile.de, *Pristupljeno:* 2021-12-10

[6] Beti, I.: Sve veći problemi s kadrom na informatičkim fakultetima, Večernji list, 27.12.2021., Zagreb

Znanstveni centar izvrsnosti za znanost o podatcima i kooperativne sustave

Sven Lončarić[1], Ivan Petrović[1]

[1] redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

Sažetak: *U radu je predstavljen Znanstveni centar izvrsnosti za znanost o podatcima i kooperativne sustave (ZCI) koji je prvi znanstveni centar izvrsnosti u Hrvatskoj u području tehničkih znanosti. ZCI se sastoji od dviju istraživačkih jedinica: (1) Istraživanje u znanosti o podatcima (voditelj prof. dr. sc. Sven Lončarić) i (2) Istraživanje naprednih kooperativnih sustava (voditelj prof. dr. sc. Ivan Petrović). ZCI ujedinjuje više od 80 znanstvenika iz 11 istaknutih visokoškolskih institucija sa sveučilišta u Zagrebu, Osijeku, Rijeci, Splitu i Dubrovniku te Instituta Ruđer Bošković i poduzeća Ericsson Nikola Tesla. Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu koordinacijska je institucija ZCI-a. U radu je predstavljena motivacija osnivanja ZCI-a te su opisana dva ključna područja istraživanja – znanost o podatcima i napredni kooperativni sustavi. Predstavljeni su misija, vizija i ciljevi ZCI-a te strateška istraživačka područja. Nadalje, opisan je projekt ZCI-a – DATACROSS te njegove brojne aktivnosti. U zadnjem dijelu rada predstavljeni su najvažniji rezultati rada istraživača ZCI-a.*

Ključne riječi: *znanstveni centar izvrsnosti, znanost o podatcima, napredni kooperativni sustavi, umjetna inteligencija.*

1. Uvod

Digitalne tehnologije nove generacije, kao što su Internet stvari, umjetna inteligencija, napredna robotika i autonomni sustavi predstavljaju temelj za nove proizvode i usluge koje su važne za gospodarstvo i društvo. Takvi novi proizvodi i usluge stvaraju nove sustave i kompleksna okruženja koja značajno unaprjeđuju naš svakodnevni život.

Umjetna inteligencija [1] znanstvena je disciplina koja svoje početke ima još u 50-im godinama prošloga stoljeća, ali je razvojem teorije i tehnologija tek zadnjih godina počela ostvarivati značajne rezultate. Umjetna inteligencija obuhvaća računalne metode koje omogućuju rješavanje problema za koje je, kad ih rješavaju ljudi, potrebna inteligencija. Dakle radi se o računalima koja mogu učiti, rješavati probleme i izvršavati kognitivne funkcije. Primjene su umjetne inteligencije u mnogim područjima uključujući zdravstvo, financije, promet, obranu, autonomna vozila te poslovne i mnoge druge primjene. Elementarna područja istraživanja u umjetnoj inteligenciji uključuju predstavljanje znanja, strojno učenje, računalni vid, razumijevanje prirodnog jezika i razumijevanje govora. Razvoj umjetne inteligencije u zadnjemu je desetljeću naročito ojačao zbog razvoja umjetnih neuronskih mreža koje simuliraju biološke neuronske mreže koje čine ljudski mozak i omogućuju učenje i složene kognitivne i misaone procese. Primjerice, korištenje dubokih neuronskih mreža za interpretaciju vizualnih scena u prometu omogućuje značajan napredak u razvoju autonomnih vozila gdje računalo interpretira prometnu scenu i upravlja vozilom.

Znanstveni centar izvrsnosti za znanost o podatcima i kooperativne sustave (ZCI) [2] u okviru svojega djelovanja pokriva spomenuta područja istraživanja i djeluje kao središte suradnje akademske zajednice s poslovnim i javnim sektorom s ciljem doprinosa poboljšanju kvalitete života i poticanja ekonomskoga rasta u Republici Hrvatskoj.

2. Znanost o podatcima

Razvoj digitalnih tehnologija tijekom zadnjega desetljeća omogućio je prikupljanje velikih količina podataka iz raznih domena ljudske djelatnosti: od zdravstvenih podataka, podataka o potrošačkim navikama, financijskih podataka, podataka dobivenih na temelju korištenja mobilnih komunikacijskih uređaja, podataka o posjećivanju Internetskih stranica, prometnih podataka, podataka o kretanju ljudi i raznim životnim navikama. Prikupljanje i analiza takvih velikih skupova podataka postalo je jednim od najpropulzivnijih poslovnih segmenata u svijetu gdje su brojne kompanije izgradile svoje poslovne modele i svoj uspjeh upravo na informacijama izvedenim iz velikih skupova podataka.

Znanost o podacima [3] bavi se problemom izlučivanja znanja iz strukturiranih i nestrukturiranih podataka, uključujući vrlo velike skupove podataka poznate pod nazivom veliki podatci (engl. big data). Znanost o podatcima interdisciplinarno je područje koje obuhvaća discipline kao što su matematika, statistika, računalna znanost, strojno učenje, rudarenje podataka, umjetna inteligencija i skladišta podataka te računarstvo visokih performansi. Zahvaljujući potrebama državnih institucija i gospodarstava za stručnošću u području znanosti o podacima, u svijetu postoji velika tr-

žišna potražnja za znanstvenicima toga profila, koja je posebno izražena u posljednjih nekoliko godina. Primjeri primjena znanosti o podatcima su umjetna inteligencija, strojno učenje, dubinska analiza podataka, kompleksne mreže i društvene mreže, bioinformatika, obrada prirodnoga jezika, analiza teksta, poslovna analitika, infrastrukture za napredno računanje, obrada signala, slika i videa te financijska analitika.

3. Napredni kooperativni sustavi

Kooperativnim se sustavima nazivaju sustavi koji se sastoje od više samostalnih sustava udruženih radi proširenja njihovih pojedinačnih sposobnosti u izvršavanju složenih zadataka korištenjem kooperativnih vještina [4]. Sve većim zahtjevima na učinkovit i pouzdan rad složenih kooperativnih sustava može se udovoljiti jedino ako se istodobno uzmu u obzir i izvedbe pojedinih komponenata sustava i njihova međudjelovanja.

Društveno relevantni primjeri primjene kooperativnih sustava mogu se naći praktično u svim velikim društvenim izazovima: globalno zatopljenje (npr. kako bolje upravljati prilikom prirodnih nepogoda poput poplava ili šumskih požara); smanjenje zaliha energije, vode i hrane (npr. kako poboljšati učinkovitost potrošnje i proizvodnje); starenje društva; javno zdravstvo; sigurnost. Jedno od strateških područja primjene, koje se dotiče više navedenih izazova, jest takozvani napredni grad – entitet koji sadrži raspodijeljene jedinice za proizvodnju energije, aktivnu energetsku mrežu, jedinice za pohranu i potrošnju, vodno-distribucijsku mrežu i druge cjeline, koje sve zajedno treba povezati u jedan složeni kooperativni sustav da bi se podigla kvaliteta funkcioniranja grada na višu razinu u pogledima energetske/vodne učinkovitosti i kvalitete života, uključujući mobilnost i sigurnost.

Nadalje, robotska tehnologija i kooperativni robotski sustavu mogu se primijeniti na raznim područjima ljudskoga djelovanja bez obzira na njihove specifičnosti i zahtjeve: proizvodnja, zdravstvo (npr. klinička, rehabilitacijska i skrbnička robotika), agrikultura, građevina, zaštita ljudi i materijalnih dobara (npr. primjena robota u opasnim, zagađenim ili teško dostupnim okolišima), transport i logistika (tj. tvornice budućnosti), osobna potrošnja (npr. roboti za pomoć u domaćinstvu ili učenju, odnosno roboti za zabavu i razonodu). Novi koncepti upravljanja i automatizacije kao što su suradnja čovjeka i robota i kooperativni kibernetsko-fizikalni sustavi prepoznati su zbog svojih potencijala da unaprijede i revolucioniraju proizvodnju.

4. Znanstveni centar izvrsnosti

Inicijativa za formiranje ZCI-a bila je motivirana činjenicom da u Hrvatskoj postoji nekoliko visokoškolskih i znanstvenih institucija koje su aktivne u raznim teorijskim

i primijenjenim segmentima znanosti o podacima i kooperativnih sustava. Unatoč tome, postojeće istraživačke aktivnosti nisu bile koordinirane te je nedostajala komunikacija između istraživačkih grupa – stanje koje je dijelom uzrokovano heterogenim i multidisciplinarnim karakterom navedenih istraživačkih područja. Posljedica je toga bio nedostatak kritične mase istraživača potrebne za postizanje značajnijeg napretka u istraživanjima i nedovoljna potpora nacionalnome gospodarstvu i državnim agencijama.

4.1. Uspostava Znanstvenoga centra izvrsnosti

Znanstveni centar izvrsnosti za znanost o podatcima i kooperativne sustave, prvi ZCI u području tehničkih znanosti u Hrvatskoj, proglašen je odlukom ministra znanosti, obrazovanja i sporta prof. dr. sc. Vedrana Mornara 6. studenoga 2015. godine na razdoblje od 5 godina, a nakon izrazito pozitivne međunarodne evaluacije rada ZCI-a u 2020. godini, odlukom ministra znanosti i obrazovanja prof. dr. sc. Radovana Fuchsa 27. listopada 2020. godine produljen mu je rad na sljedećih 5 godina, tj. do 5. studenoga 2025. godine.

ZCI se sastoji od dviju istraživačkih jedinica: (1) Istraživanje u znanosti o podatcima (voditelj prof. dr. sc. Sven Lončarić) i (2) Istraživanje naprednih kooperativnih sustava (voditelj prof. dr. sc. Ivan Petrović). ZCI ujedinjuje više od 80 znanstvenika iz 11 istaknutih visokoškolskih institucija te jednoga znanstvenog instituta i jednoga poduzeća. Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu koordinacijska je institucija ZCI-a.

Znanstveni centar izvrsnosti za znanost o podacima i napredne kooperativne sustave povezuje najkvalitetnije istraživačke grupe u Hrvatskoj koje su aktivne u temeljnim i primijenjenim istraživanjima u znanosti o podacima i naprednim kooperativnim sustavima, s ciljem unaprjeđenja znanja iz teorije, tehnologija i sustava. Cilj je da komplementarnost istraživačkih timova i usredotočenost na zajedničke ciljeve potaknu razmjenu znanja, iskustava i ideja među istraživačima iz različitih područja stvarajući sinergijski učinak koji doseže daleko više nego što bi pojedinačne grupe mogle ostvariti samostalno. Formiranje interdisciplinarne i aktivne grupe istraživača omogućuje postizanje značajnog znanstvenog utjecaja i međunarodne vidljivosti. Formiranje ZCI-a omogućilo je povećanje znanstvene produktivnosti, povećanje broja kompetitivnih istraživačkih projekata, organizaciju najvažnijih međunarodnih skupova, edukaciju mladih istraživača i povećanu dolaznu i odlaznu mobilnost istraživača. U okviru svojih aktivnosti ZCI gradi partnerstvo s akademskim, državnim i poslovnim organizacijama u području stručnosti koje pokriva istraživački tim ZCI-a.

4.2. Misija, vizija, ciljevi i korisnici ZCI-a

Misija ZCI-a jest postati vodećim istraživačkim centrom u Hrvatskoj, a i šire, za istraživanje i primjene znanosti o podacima u svrhu poboljšanja kvalitete života i poticanje ekonomskog rasta u Hrvatskoj. U tu svrhu ZCI surađuje s drugim akademskim partnerima, gospodarstvom i vladinim agencijama.

Opći ciljevi ZCI-a:

- Istraživačka izvrsnost: unaprijediti znanja i razviti nove tehnologije u znanosti o podacima i naprednim kooperativnim sustavima te istovremeno povećati broj financiranih istraživačkih projekata na nacionalnoj i međunarodnoj razini;
- Prijenos tehnologije: potaknuti transfer tehnologije od znanstvenih institucija ka industriji i vladinim organizacijama u svrhu potpore rasta malih, srednjih i velikih poduzeća u Hrvatskoj;
- Konzultantske usluge i infrastruktura: gospodarstvu i državnim agencijama omogućiti ekspertizu i pristup naprednoj infrastrukturi;
- Edukacija i usavršavanje: povećati broj visokoobrazovanih znanstvenika u područjima znanosti o podacima i kooperativnih sustava da se zadovolji potražnja domaćeg tržišta rada kroz razvoj preddiplomskih i diplomskih studijskih programa.

Posebni ciljevi ZCI-a:

- Provođenje usmjerenih istraživačkih aktivnosti: ciljane istraživačke aktivnosti provoditi u području teorije i primjene znanosti o podacima i naprednih kooperativnih sustava;
- Jačanje inovacija i eksploatacije rezultata: jačanje prijenosa tehnologije, davanje ekspertize gospodarstvu i državnim agencijama za poticanje gospodarskoga rasta;
- Umrežavanje i diseminacija: stvaranje strateških partnerstava s poduzećima u hrvatskome gospodarstvu i s vladinim institucijama te povećanje broja kvalitetno educiranih stručnjaka za znanost o podacima i napredne kooperativne sustave.

Ciljane grupe su institucije članice ZCI-a, koje će povećati svoj kapacitet za istraživanje i transfer tehnologije u području teorije i primjena znanosti o podacima i kooperativnim sustavima.

Krajnji korisnici su znanstvena zajednica u Hrvatskoj, visokotehnološka poduzeća, državne agencije te društvo u cjelini. Gospodarski rast i razvoj društva predstavljaju korist za cjelokupno društvo.

4.3. Institucije članice Znanstvenog centra izvrsnosti

ZCI ujedinjuje više od 80 znanstvenika iz 12 istaknutih institucija i jednoga poduzeća:

1. Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva – koordinacijska institucija ZCI-a
2. Institut Ruđer Bošković, Zagreb
3. Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet
4. Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje
5. Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti
6. Hrvatsko katoličko sveučilište, Zagreb
7. Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
8. Sveučilište u Rijeci, Centar za napredno računanje i modeliranje
9. Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet
10. Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
11. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek
12. Sveučilište u Dubrovniku
13. Ericsson Nikola Tesla d.d.

Pri implementaciji planiranih aktivnosti ZCI slijedi suvremenu “quadruple-helix” metodologiju, prema kojoj akademija, industrija, država i društvo (građani) zajedno stvaraju inovacijski ekosustav koji sustavno potiče znanstvenu izvrsnost i primjenu rezultata istraživanja na dobrobit cijeloga društva.

4.4. Strateška istraživačka područja ZCI-a

4.4.1. Strateška istraživačka područja: Znanost o podatcima

Cilj znanosti o podatcima jest ekstrakcija znanja iz podataka. Taj cilj iziskuje uporabu postupaka temeljenih na nizu različitih teorijskih disciplina, kao što su matematika, statistika, teorija informacija, obrada signala, vjerojatnosni modeli, strojno učenje, dubinska analiza podataka, baze podataka, obrada prirodnog jezika, raspoznavanje uzoraka, vizualizacija, prediktivna analitika, skladišta podataka, sažimanje podataka i računarstvo visokih performansi. Kako bismo uspješno odgovorili na te izazove, razradili smo konkretan istraživački plan koji ima uporište u četiri stupa - četiri strateška istraživačka područja koja obuhvaćaju sea gore navedene postupke i teorijske discipline:

- Istraživačko područje 1: Multimodalna obrada podataka i upravljanje informacijama
- Istraživačko područje 2: Strojno učenje i dubinska analiza podataka
- Istraživačko područje 3: Heterogeno računarstvo i napredne usluge u oblaku
- Istraživačko područje 4: Višedisciplinarne podatkovno intenzivne primjene

Prva tri istraživačka područja bave se osnovnim teorijskim aspektima koji su potrebni za sve primjene znanosti o podatcima. Četvrto istraživačko područje bavi se specifičnim primjenama koje demonstriraju korištenje znanosti o podatcima na problemima od praktične važnosti, i to u području kompleksnih mreža, društvenih mreža i medija, bioinformatike, poslovne analitike i financija, inteligentnih prijevoznih sustava, obrade slika i astrofizike. Višedisciplinarni primjeri primjene združuju istraživače iz različitih disciplina, ohrabrujući na taj način interdisciplinarnu suradnju, koja je preduvjetom za razvoj novih primjena i rješenja koje iziskuju gospodarstvo i javni sektor.

4.4.2. Strateška istraživačka područja: Napredni kooperativni sustavi

Glavna je motivacija uspostave Istraživačke jedinice za napredne kooperativne sustave omogućavanje istraživanja u novim tehničkim područjima značajnima za suvremeno društvo okupljanjem znanstvenika s odgovarajućim komplementarnim znanjima podupirući tako sinergijske učinke njihova rada. To uključuje koordinirano i multidisciplinarno istraživanje u nekoliko tehničkih disciplina: automatskom upravljanju, umjetnoj inteligenciji, obradbi informacija, računarstvu, komunikacijama, elektronici, potrošnji energije i informacijskoj tehnologiji. Istraživanja su usredotočena na četiri strateška istraživačka područja s ciljem provedbe temeljnih istraživanja potaknutih različitim područjima primjene i pokaznih scenarija u njima, čime se osigurava buduća dugoročna održivost istraživačkih rezultata:

- Istraživačko područje 1: Autonomni i kooperativni robotski sustavi
- Istraživačko područje 2: Kognitivni sustavi računalnog vida
- Istraživačko područje 3: Sveprisutni senzori i umrežene usluge usmjerene čovjeku
- Istraživačko područje 4: Napredne strategije upravljanja i estimacije za kibernetsko-fizikalne sustave

Temeljna metodološka istraživanja u okviru svakog strateškog područja prenose se na područja primjene pri čemu se uspostavlja kompatibilnost istraživačkih rezultata ostvarenih u istraživačkim područjima, što se povratno odražava na daljnje usmjeravanje istraživačkih aktivnosti unutar svakog pojedinog područja. Istraživačka je

jedinica usredotočena na sljedeća područja primjene: (1) zdravstveni sustavi (primjer scenarija: pametno okruženje za pacijente s asistencijom robota); (2) sigurnost i zaštita (primjer scenarija: nadzor morske i kopnene granice koordiniranim korištenjem heterogenih autonomnih vozila); (3) okoliš (primjer scenarija: koordinirani robotski sustavi za nadgledanje šuma i mora); (4) napredni grad (primjer scenarija: zgrade sa samoodrživim obnovljivim izvorima energije); i (5) tvornice budućnosti (primjer scenarija: autonomna montaža - od skladišta do trgovine).

5. Projekt DATACROSS

Za financiranje Znanstvenih centara izvrsnosti Republika Hrvatska alocirala je sredstva iz Europskih strukturnih i investicijskih fondova, u okviru Operativnog programa Konkurentnost i kohezija za razdoblje 2014.-2020. Članovi ZCI-a za znanost o podatcima i kooperativne sustave pripremili su projektni prijedlog na poziv za dostavu projektnih prijedloga pod nazivom "Vrhunska istraživanja Znanstvenih centara izvrsnosti" koji je bio objavljen 2017. godine. Naziv je projekta "Napredne metode i tehnologije u znanosti o podatcima i kooperativnim sustavima (DATACROSS)". Projektni tim i zajednica prijavitelja projekta DATACROSS identični su kao i za ZCI. Projekt je prihvaćen i dodijeljena su mu sredstva za petogodišnje financiranje, od studenoga 2017. do studenoga 2022., u iznosu oko 37,5 milijuna kuna.

Projekt DATACROSS bavi se istraživačkim problemima razvoja naprednih metoda i tehnologija analize heterogenih podataka te oblikovanja složenih kooperativnih sustava. Potrebe za primjenom razvijenih metoda i tehnologija koje se odnose na znanost o podatcima i na kooperativne sustave imaju gotovo svi sektori gospodarstva i društva u cjelini.

S obzirom na strateške dokumente EU i RH, DATACROSS projekt izravno je vezan uz „Sporazum o partnerstvu između RH i EK za korištenje strukturnih i investicijskih fondova EU" i „Operativni program Konkurentnost i kohezija 2014.-2020". DATACROSS predviđa razvoj novih metoda i tehnologija koje mogu ubrzati gospodarski rast RH i potaknuti zapošljavanje, čime neposredno pridonosi Tematskom cilju 1 „Jačanje istraživanja, tehnološkog razvoja i inovacija".

Strategija pametne specijalizacije RH 2016.-2020. temeljni je strateški dokument na kojemu se zasniva projekt DATACROSS, koji razvija napredne metode i tehnologije u okviru horizontalne teme ICT s ciljem podupiranja razvoja inovacija i kompetitivnosti gospodarstva u svih pet tematskih prioritetnih područja (TPP) i njihovim podtematskim prioritetnim područjima (PTPP): (1) TPP: „Zdravlje i kvaliteta života"/ PTPP: „Zdravstvene usluge i nove metode preventivne medicine i dijagnostike", jer

razvija metode i tehnologije koje bi trebale rezultirati novim uslugama preventivne, dijagnostičke i personalizirane medicine; (2) TTP: „Energija i održivi okoliš“/PTPP: „Energetske tehnologije, sustavi i oprema“, jer razvija metode upravljanja obnovljivim izvorima energije te sustavima distribucije, kao primjerima kibernetsko-fizikalnih sustava; (3) TTP: „Promet i mobilnost“/PTPP: „Inteligentni transportni sustavi i logistika“, jer razvija autonomne i druge pametne sustave u transportu i logistici; (4) TTP: „Sigurnost“/PTPP: „Obrambene tehnologije i proizvodi dvojne namjene“, jer razvija autonomne daljinski vođene sustave bez posade; i (5) TTP: „Hrana i biokemija“/PTPP: „Održiva proizvodnja i prerada hrane“; „Održiva proizvodnja i prerada drva“, jer razvija inovativna rješenja računarstva u oblaku, interneta stvari i kibernetsko-fizikalnih sustava te autonomnih i kooperativnih robotskih sustava i sustava računalnoga vida.

U okviru projekta, istraživački se problemi vezani uz znanost o podatcima rješavaju kroz četiri međusobno usko povezane istraživačke aktivnosti: (1) razvoj metoda obradbe višemodalnih podataka zasnovanih na strojnom učenju i semantičkoj integraciji sa strukturiranim podatcima, (2) razvoj skalabilnih postupaka strojnoga učenja prilagođenih složenim skupovima podataka i podatcima s kompleksnih mreža, (3) razvoj novih heterogenih računalnih sustava i platformi namijenjenih učinkovitoj analizi velikih skupova podatka i (4) višedisciplinarne primjene znanosti o podatcima. Istraživački problemi vezani uz napredne kooperativne sustave rješavaju se istraživanjem i razvojem metoda i tehnologija: (1) autonomnosti i kooperativnosti robotskih sustava, (2) kognitivnoga računalnog vida, (3) umreženih pametnih senzora i obradbe i analize tokova podataka u oblaku za pružanje usluga usmjerenih ljudima te (4) upravljanja i estimacije kibernetsko-fizikalnih sustava.

Zapošljavanjem i usavršavanjem mladih istraživača u područjima znanosti o podatcima i kooperativnih sustava, projekt DATACROSS izgrađuje značajan ljudski istraživački kapacitet koji će biti sposoban nastaviti s daljnjom provedbom vrhunskih znanstvenih istraživanja usmjeravajući ih prema novim istraživačkim izazovima, preuzimajući time ulogu sadašnjih starijih vodećih istraživača u daljnjem razvoju istraživačkih aktivnosti ZCI-a.

Istraživači projekta DATACROSS aktivno surađuju s gospodarstvom kroz diseminacijske aktivnosti, razvoj novih visoko-tehnoloških proizvoda i usluga te osnivanje spin-off poduzeća. Razvijeni novi proizvodi i usluge te osnovana spin-off poduzeća omogućuju zapošljavanje novih visokoobrazovanih djelatnika čime projekt DATACROSS izravno pridonosi promijeni trenda „odljeva mozgova“ iz RH, a dugoročno i drugim značajnim izazovima hrvatskoga društva, kao što su: (1) unaprjeđenje razine ekonomskoga razvoja uz predviđeno smanjenje radne snage, (2) poboljšanje kvalitete života za rastući broj starijih osoba, (3) zaštita okoliša te sigurnost ljudi i dobara.

6. Postignuti rezultati

Od osnivanja ZCI-a do danas, uključeni istraživači postigli su brojne rezultate koji su nastali u okviru projekta DATACROSS i u okviru brojnih drugih istraživačkih i razvojnih projekata:

1.) Provođenje vrhunskih istraživanja u području znanosti o podatcima i kooperativnih sustava. Istraživači ZCI-a su u razdoblju od 2018. do 2021. godine objavili više od 800 znanstvenih radova u vrhunskim znanstvenim časopisima indeksiranima u WoSCC bazi, više od 50 radova u drugim znanstvenim časopisima, 600 radova u zbornicima međunarodnih znanstvenih skupova.

2.) Jačanje istraživačkoga kapaciteta ZCI-a u području znanosti o podatcima i kooperativnih sustava. Projekt DATACROSS značajno je ojačao kapacitet ZCI-a za istraživanja kroz jačanje ljudskih potencijala i znanstvene infrastrukture. Ljudski je potencijal ojačan kroz zapošljavanje 69 istraživača, od čega 41 mladog istraživača i 28 iskusnih istraživača na projektu u različitim trajanjima zaposlenja. Istraživači su jačali svoju ekspertizu kroz posjete stranim institucijama i kroz sudjelovanja na međunarodnim ljetnim školama i radionicama. Nadalje, projekt je omogućio nabavu nove i obnavljanje postojeće istraživačke opreme za eksperimentalnu provjeru istraživanih metoda i razvijenih tehnologija. Vodeći istraživači ZCI-a, zahvaljujući i ojačanom istraživačkom kapacitetu projektom DATACROSS, postigli su izvrsne rezultate u prijavljivanju i provođenju istraživačkih projekata. Od 2018. godine do danas ugovorili su 24 projekta financirana iz programa Obzor 2020 i isto toliko drugih međunarodnih istraživačkih projekata te 53 istraživačko-razvojno-inovacijska (IRI) projekta financirana iz Europskih strukturnih i investicijskih fondova i 23 projekta Hrvatske zaklade za znanost. Financijska je vrijednost tih projekata za članove zajednice prijavitelja više od 30 milijuna eura i na njima je zaposleno više od 100 dodatnih doktoranada i poslijedoktoranada.

3.) Jačanje međunarodne vidljivosti ZCI-a ostvaruje se sudjelovanjem na međunarodnim znanstvenim konferencijama i kongresima te posjetima istraživača ZCI-a stranim institucijama kao i kroz kraće i dulje posjete stranih eksperata ZCI-u. Međunarodna vidljivost jačana je i kroz organiziranje međunarodnih znanstvenih skupova i ljetnih škola. Naravno, poseban doprinos jačanju međunarodne vidljivosti i prepoznatljivosti postignut je i suradnjom na međunarodnim projektima.

4.) Jačanje doprinosa ZCI-a razvoju hrvatske ekonomije i društva ostvareno je kroz 18 novih istraživačkih projekata koje vlastitim sredstvima financiraju gospodarski partneri, 4 licencijska sporazuma o transferu tehnologije i s jednom novoformiranom spin-off kompanijom. Naravno, značajna suradnja s gospodarskim partne-

rima postiže se i suradnjom u provedbi 53 projekata sufinancirana iz Europskih strukturnih i investicijskih fondova na kojima se provode istraživanja usmjerena razvoju novih proizvoda utemeljenih na znanju.

7. Zaključak

Znanstveni centar izvrsnosti za znanost o podatcima i kooperativne sustave snažno pridonosi jačanju istraživačkog kapaciteta hrvatskih institucija u područjima znanosti o podatcima i naprednih kooperativnih sustava i jača njihovu međunarodnu vidljivost. Jedan od najvažnijih rezultata ZCI-a svakako je razvoj karijera mladih istraživača koji u okviru ZCI-a rade na svojim doktorskim disertacijama i nakon završenih doktorata predstavljaju temelj za razvoj hrvatskih poduzeća koja razvijaju proizvode visoke tehnologije s visokom dodanom vrijednošću. Ukratko, ZCI daje značajan doprinos razvoju i jačanju hrvatskoga gospodarstva te državnim tijelima i agencijama u svrhu ostvarivanja drugih dobrobiti za hrvatsko društvo.

Literatura

[1] Russell, Stuart; Norvig, Peter: Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th Edition, Pearson Education Inc., ISBN 978-0134610993, Hoboken, (2021)

[2] Fakultet elektrotehnike i računarstva, »Znanstveni centar izvrsnosti za znanost o podatcima i kooperativne sustave,« [Mrežno]. Dostupno na https://across-datascience.zci.hr.

[3] Salts, S. Jeffrey; Stanton, M. Jeffrey: An Introduction to Data Science, SAGE Publications Inc., ISBN 978-1506377537, Los Angeles, (2018)

[4] Grundel, Don; Murphey, Robert; Pardalos, Panos; Prokopyev, Oleg (Eds): Cooperative Systems: Control and Optimization, Springer, ISBN 978-3540482703, Heidelberg, (2007)

Centar za umjetnu inteligenciju FER-a

Sven Lončarić[1]

[1] redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

Sažetak: *Centar za umjetnu inteligenciju na Fakultetu elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu vodeći je istraživački centar za umjetnu inteligenciju i najveći takav Centar u Hrvatskoj. Prvi je glavni cilj Centra provoditi istraživanja u području umjetne inteligencije i unaprijediti znanja u temeljnim područjima poput strojnog učenja i dubokog učenja. Primjene umjetne inteligencije kojima se članovi Centra bave uključuju područja kao što su obrada i razumijevanje prirodnog jezika, računalni vid, financijska analitika, robotika, internet stvari, bioinformatika, računalna sigurnost, sustavi za preporučivanje i edukacija. Drugi je cilj suradnja s industrijom te transfer tehnologije prema poduzećima u svrhu razvoja inovativnih proizvoda i usluga koje koriste umjetnu inteligenciju. Treći glavni cilj je pružanje vrhunskog obrazovanja u području umjetne inteligencije na dodiplomskoj, diplomskoj i doktorskoj razini, kao i cjeloživotno obrazovanje za gospodarstvo.*

Ključne riječi: *umjetna inteligencija, strojno učenje, računalni vid, financijska analitika, robotika, Internet stvari, bioinformatika, računalna sigurnost, obrada i razumijevanje jezika*

1. Uvod

Umjetna inteligencija obuhvaća teoriju i razvoj računalnih sustava koji omogućuju rješavanje zadataka koji normalno zahtijevaju ljudsku inteligenciju [1]. Primjeri takvih problema su vizualna percepcija, razumijevanje govora i donošenje odluka. Početci umjetne inteligencije sežu u sredinu prošlog stoljeća, a razvoj tog dinamičnog područja dešavao se je paralelno razvoju računala i računalnih tehnologija koje su nužan preduvjet za primjene umjetne inteligencije u raznim područjima. Važna značajka umjetne inteligencije je korištenje strojnog učenja na primjerima podataka pomoću čega algoritmi prilagođavaju svoje parametre sve dok ne postignu visoku točnost u rješavanju određenog problema. Posebno efikasni su se pokazali pristupi

temeljeni na dubokom učenju gdje se koriste duboke umjetne neuronske mreže koje su motivirane strukturom bioloških neuronskih mreža. Razvoj računalnih tehnologija, uključujući mobilne uređaje, razvoj interneta stvari i brzih komunikacijskih mreža tijekom zadnjih nekoliko desetljeća doveo je do eksponencijalnog rasta količine dostupnih podataka što je postavilo nove izazove u analizi podataka. U mnogim područjima došlo je do pojave tzv. velikih skupova podataka koji se nekada kontinuirano generiraju i postavljaju posebno izazovne zahtjeve na metode i računalne sustave za analizu podataka. To je dovelo i do stvaranja novog znanstvenog područja pod nazivom znanost o podatcima. Umjetna inteligencija se je pokazala kao iznimno efikasna tehnologija za rješavanje brojnih problema u znanosti o podatcima i zbog toga je u zadnjih nekoliko desetljeća doživjela veliki uzlet.

Globalno tržište umjetne inteligencije u 2020. godini procijenjeno je na 62,35 milijarda USD, a u periodu od 2021.-2028. godine predviđa se godišnji rast od 40,2 % [2]. Glavna područja primjene su zdravstvo, zakonodavstvo, trgovina, oglašavanje i mediji, automobilska industrija i transport, poljoprivreda i industrijska proizvodnja. Navedeni podatci govore o važnosti umjetne inteligencije u svijet te o povećanim potrebama gospodarstva za stručnjacima u tom području.

Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu već desetljećima provodi istraživanja i edukaciju u području umjetne inteligencije i ima uspješnu suradnju s partnerima iz gospodarstva, pa i brojne uspješno završene projekte u području umjetne inteligencije. U okviru takvih suradnji FER nastavlja svoju ulogu predvodnika u promicanju i razvoju napredne i sigurne umjetne inteligencije, pri tome poštujući etičke principe, na dobrobit svih građana Hrvatske i svijeta. Istraživačke aktivnosti u području umjetne inteligencije tijekom zadnjih nekoliko desetljeća dovele su do formiranja većeg broja istraživačkih laboratorija koji se bave teorijom i primjenama umjetne inteligencije u raznim područjima. Magistri inženjeri i doktori znanosti koji su svoju edukaciju dobili na FER-u već godinama čine temelje istraživačkih i razvojnih odjela najboljih hrvatskih poduzeća. Brojna takva poduzeća razvila su i razvijaju proizvode koji su konkurentni na svjetskom tržištu i na taj način Hrvatska daje svoj doprinos razvoju umjetne inteligencije i njezinim primjenama u svijetu. Rast broja istraživačkih projekata i broja involviranih istraživača te važnost za hrvatsko gospodarstvo, kao i povećani zahtjevi gospodarstva za magistrima inženjerima u tom području doveo je do ideje za formiranje istraživačkog centra koji bi okupio istraživače i omogućio bolju vidljivost aktivnosti na Fakultetu u području umjetne inteligencije.

2. Uspostava Centra za umjetnu inteligenciju

Centar za umjetnu inteligenciju [3] uspostavljen je odlukom Fakultetskog vijeća Sveučilišta u Zagrebu Fakulteta elektrotehnike i računarstva na 691. redovitoj sjednici

održanoj 16. listopada 2019. godine. Voditelj Centra je prof. dr. sc. Sven Lončarić. Centar za umjetnu inteligenciju najveći je istraživački centar na području umjetne inteligencije u Hrvatskoj koji okuplja više od 100 istraživača (stalno zaposlenih sveučilišnih nastavnika i doktorskih studenata financiranih iz istraživačkih i razvojnih projekata) iz 19 istraživačkih laboratorija na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska. Istraživači Centra sudjeluju u brojnim nacionalnim i međunarodnim projektima istraživanja i razvoja u području umjetne inteligencije. Značajan izvor financiranja za istraživanja Centra su europski projekti koji osiguravaju nabavu opreme i sredstva za zapošljavanje mladih istraživača koji u okviru doktorskog studija provode istraživanja na projektima te završavaju svoje doktorske disertacije. Osim međunarodnih projekata, istraživanja Centra provode se i uz financiranje Hrvatske zaklade za znanost te drugih agencija koje podupiru provedbu znanstvenih projekata i razvoj karijera mladih istraživača. Svojim aktivnostima Centar osigurava radna mjesta za brojne mlade istraživače koji u Centru stječu nova znanja i ekspertizu koju nakon toga primjenjuju u gospodarstvu.

Prvi cilj Centra je provoditi istraživanja u području umjetne inteligencije i unaprijediti znanja u temeljnim područjima poput strojnog učenja i dubokog učenja. Primjene umjetne inteligencije kojima se članovi Centra bave uključuju područja kao što su obrada i razumijevanje prirodnog jezika, računalni vid, financijska analitika, robotika, internet stvari, bioinformatika, računalna sigurnost, sustavi za preporučivanje i edukacija. Drugi cilj Centra je suradnja s industrijom te transfer tehnologije prema poduzećima u svrhu razvoja inovativnih proizvoda i usluga koje koriste umjetnu inteligenciju. Treći glavni cilj Centra je pružanje vrhunskog obrazovanja u području umjetne inteligencije na dodiplomskoj, diplomskoj i doktorskoj razini, kao i cjeloživotno obrazovanje za gospodarstvo.

3. Ustroj Centra za umjetnu inteligenciju

Centar za umjetnu inteligenciju se sastoji od 18 istraživačkih laboratorija FER-a koji sveukupno imaju više od 100 istraživača. Istraživači Centra glavni su istraživači, suistražitelji ili partneri na brojnim nacionalnim i međunarodnim projektima istraživanja i razvoja. U nastavku su navedeni svi istraživački laboratoriji koji se bave pojedinim područjima teorije i primjena umjetne inteligencije.

3.1. Laboratorij za analitiku financija i rizika (LAFRA)

Znanstveni rad Laboratorija fokusiran je na razvoj stohastičkih modela, statističkih metoda i algoritama strojnog učenja za analizu financijskih podataka, automatizirane sustave trgovanja te naprednu financijsku tehnologiju. Metode i tehnologije umjet-

ne inteligencije imaju brojne mogućnosti primjene u poslovnome i financijskome sektoru. U okviru ovog područja provode se istraživanja u dva područja od visoke praktične vrijednosti: modeliranje tržišta te prognoziranje potražnje. Nova paradigma financijske analitike obuhvaća ekstrakciju ključnih informacija o tržištu iz sirovih podataka, oslanjajući se na kvantitativne i računalne metode. Istraživanja su usmjerena na postupak oblikovanja cijena na tržištima te njegov odnos prema intrinzičnim (fundamentalnim) vrijednostima pojedinih vrijednosnica ili prema čitavom tržištu. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Zvonko Kostanjčar (voditelj), poslijedoktorand dr.sc. Stjepan Begušić i doktorski studenti uključeni u projekte.

3.2. Laboratorij za analizu teksta i inženjerstvo znanja (TakeLab)

Kroz znanstvena istraživanja u područjima računarske znanosti statističkog strojnog učenja, obrade prirodnog jezika i pretraživanja informacija, cilj je otkriti nova znanja, omogućiti strojno razumijevanje teksta pisanoga prirodnim jezikom i odgovoriti na informacijske potrebe korisnika. Procjenjuje se da je 80-90% ljudski generiranih podataka u nestrukturiranome, tj. tekstnome obliku. Kako bi iskoristili ogroman potencijal sadržan u tim podatcima, podatke je potrebno obraditi tehnikama obrade prirodnog jezika (engl. natural language processing, NLP), nakon čega se oni mogu pohranjivati i analizirati ravnopravno sa strukturiranim podatcima. Tri su zadatka koji čine okosnicu budućih sustava tekstne analitike: (a) ekstrakcija događaja i semantičko pretraživanje, (2) tekstno zaključivanje i (3) analiza mišljenja. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Bojana Dalbelo Bašić (voditeljica), prof. dr. sc. Jan Šnajder te doktorski studenti uključeni u projekte.

3.3. Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku (LAMOR)

Laboratorij provodi istraživačke aktivnosti u područjima autonomnih sustava i mobilne robotike, koje su usmjerene na lokalizaciju mobilnih robota i modeliranje prostora u kojemu se oni gibaju, uočavanje i praćenje gibajućih objekata u okruženju mobilnih robota te planiranje i upravljanje gibanjem mobilnih robota u svrhu izvršenja zadanih zadataka. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Ivan Petrović (voditelj), izv. prof. dr. sc. Ivan Marković, izv. prof. dr. sc. Marija Seder te poslijedoktorandi i doktorandi koji sudjeluju u većem broju projekata.

3.4. Laboratorij za bioinformatiku i računalnu biologiju (LBCB)

Aktivnosti laboratorija usmjerene su na razvoj algoritama i metoda za analizu sekvenciranih DNA i RNA podataka, brzu dijagnozu zaraznih bolesti, određivanje

strukture i funkcije proteina te analizu dinamičkih procesa u kompleksnim mrežama. Cilj istraživanja je razvoj sveobuhvatnoga rješenja za utvrđivanje prisutnih patogenih organizama u kliničkoj primjeni korištenjem očitanja dobivenih ručnim nanopore sekvencerima. Istraživanje je usmjereno na rješavanje ključnih problema u obradi sekvenciranih podataka: (1) alati za brzo i precizno pretraživanje baza bioloških sljedova, (2) de novo sastavljanje genoma i transkriptoma, (3) utvrđivanje prisutnih mikoba u uzorku, i (4) određivanje haplotipova. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Mile Šikić (voditelj), izv. prof. dr. sc. Mirjana Domazet-Lošo, doc. dr. sc. Krešimir Križanović te doktorski studenti koji rade istraživanja u okviru brojnih projekata.

3.5. Laboratorij za društveno umrežavanje i društveno računarstvo (socialLAB)

Aktivnosti laboratorija su posebno usmjerene prema modeliranju društvenih fenomena kroz paradigmu društvenih mreža, analizi društvenih mreža zasnovanoj na inovativnim informacijskim metodologijama i naprednim računarskim alatima, te dizajniranju društvenih politika zasnovanih na dokazima primjenom metoda analize društvenih mreža. Istraživanja su usmjerena na oblikovanje, razvoj i vrednovanje radnoga okvira i povezanih algoritama za univerzalno društveno umrežavanje, što će: (1) omogućiti skalabilnu i robustnu (iz perspektive veličine i heterogenosti mreže) strukturu društvene mreže, (2) podržati stvarno-vremensku dinamiku (iz perspektive interakcija u mreži) te (3) omogućiti primjenjivost i sposobnost analize na različitim razinama zrnatosti (na mikro, srednjoj i makro razini mreže). Članovi laboratorija su: prof. dr. sc. Vedran Podobnik (voditelj), doc. dr. sc. Jurica Babić, akademik Ignac Lovrek, izv. prof. dr. sc. Saša Dešić, doc. dr. sc. Marina Bagić Babac te doktorski studenti koji provode istraživanja u okviru projekata Laboratorija.

3.6. Laboratorij za informacijske sustave posebne namjene (LaSPIS)

Laboratorij je usmjeren na inovativne procese izgradnje inteligentnih, prediktivnih i proaktivnih sustava za podršku ljudskim aktivnostima, koji arhitekturom, logikom i funkcionalnošću nadilaze takozvani poslovni informacijski sustav. Laboratorij okuplja istraživače-specijaliste za pojedina područja metoda razvoja algoritama i struktura podataka te programske podrške posebne namjene, heterogene i mobilne sustave pohrane podataka, poslovne inteligencije, geoinformacijskih sustava, sustava za elektroničko učenje i ekspertne sustave. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Krešimir Fertalj (voditelj), prof. emer. dr. sc. Damir Kalpić, prof. dr. sc. Ivica Botički, prof. dr. sc. Željka Car, izv. prof. dr. sc. Boris Milašinović, izv. prof. dr. sc. Ljiljana Brkić , izv. prof. dr. sc. Igor Mekterović, prof. dr. sc. Nataša Hoić-Božić te prof. dr. sc. Toni Nikolić.

3.7. Laboratorij za informacijsku sigurnost i privatnost (LISP)

Laboratorij okuplja znanstvenike u čijem fokusu je kibernetička i informacijska sigurnost te privatnost. Kroz Laboratorij se nude istraživačke, savjetodavne i edukacije usluge gospodarstvu i državnim institucijama. Značajan dio aktivnosti Laboratorija usmjeren je prema upotrebi umjetne inteligencije u rješavanju problema u području kibernetičke i informacijske sigurnosti te privatnosti. Mnoštvo osjetljivih digitalnih podataka koji se neprekidno pohranjuju kroz različite digitalne arhive i usluge dramatično povećaju pitanja sigurnosti i privatnosti. Članovi Laboratorija su doc. dr. sc. Stjepan Groš (voditelj) i izv. prof. dr. sc. Marin Vuković.

3.8. Laboratorij za Internet stvari (IoTLab)

Cilj Laboratorija za Internet stvari je provoditi i intenzivirati istraživačke i inovacijske aktivnosti u području Interneta stvari, s ciljem razvoja inovativnih usluga i programskih platformi za umrežavanje velikog broja različitih uređaja te posebice poticanja multidisciplinarnih istraživanja vezanih uz poboljšanje životnih uvjeta u gradovima. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Ivana Podnar Žarko (voditeljica), prof. dr. sc. Gordan Ježić, prof. dr. sc. Mario Kušek, izv. prof. dr. sc. Marin Vuković, izv. prof. dr. sc. Igor Čavrak, izv. prof. dr. sc. Pavle Skočir, dr. sc. Krunoslav Tržec te više doktoranada.

3.9. Laboratorij za istraživanje iskustvene kvalitete višemedijskih usluga (MUEXLab)

Aktivnosti Laboratorija za istraživanje iskustvene kvalitete višemedijskih usluga usmjerene su prema multidisciplinarnim istraživanjima u području korisničkog iskustva i iskustvene kvalitete naprednih višemedijskih usluga kao što su: audiovizualne komunikacije, strujanje video sadržaja, virtualna/proširena stvarnost i umrežene igre. Istraživanja se bave vrednovanjem i modeliranjem iskustvene kvalitete te mehanizmima upravljanja i optimizacije iskustvene kvalitete u komunikacijskim mrežama. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Lea Skorin-Kapov (voditeljica), prof. dr. sc. Maja Matijašević, prof. dr. sc. Sonja Grgić, doc. dr. sc. Mirko Sužnjević, dr. sc. Irena Oršolić, dr. sc. Ivan Slivar, dr. sc. Dunja Vučić te više doktorskih studenata.

3.10. Laboratorij za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina (SHARK Lab)

Istraživačka djelatnost Laboratorija za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina je poglavito usmjerena na metode i algoritme računalnog vida za 3D rekon-

strukciju i 3D registraciju, uključujući za tu svrhu i uporabu senzora mobilnih platformi poput pametnih telefona i tableta. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Tomislav Pribanić (voditelj), prof. dr. sc. Siniša Šegvić, izv. prof. dr. sc. Marko Subašić, doc. dr. sc. Tomislav Petković te više doktorskih studenata.

3.11. Laboratorij za obradu slike (LOS)

Aktivnosti Laboratorija za obradu slike usmjerene su ka istraživanjima u teoriji i primjenama obrade slike i računalnog vida u raznorodnim područjima kao što su obrada i analiza slika u biomedicini, vizualna inspekcija kvalitete proizvoda, računalni vid za napredne sustave za asistenciju vozačima, biometrijski sustavi za verifikaciju potpisa, obrada i analiza slika u astronomiji. Istraživanja obuhvaćaju razne metode umjetne inteligencije uključujući duboko učenje i umjetne neuronske mreže. Laboratorij provodi više nacionalnih i međunarodnih projekata financiranih iz gospodarstva i iz javnih izvora financiranja. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Sven Lončarić (voditelj), izv. prof. dr. sc. Marko Subašić, izv. prof. dr. sc. Zoran Kalafatić, doc. dr. sc. Tomislav Petković, prof. dr. sc. Tomislav Pribanić, prof. dr. sc. Damir Seršić te više doktorskih studenata uključenih u istraživačke projekte.

3.12. Laboratorij za podvodne sustave i tehnologije (LAPOST)

Laboratorij za podvodne sustave i tehnologije bavi se primijenjenim istraživanjima i razvojem bespilotnih plovila (podvodnih i površinskih) te razvojem i inovacijama u području morskim tehnologija. Laboratorij je vrlo aktivan u realizaciji međunarodnih projekata (EU FP7/H2020, NATO, Office of Naval Research). Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Nikola Mišković (voditelj), prof. dr. sc. Zoran Vukić te poslijedoktorandi i doktorandi koji sudjeluju u većem broju istraživačkih projekata.

3.13. Laboratorij za primjenu informacijskih tehnologija u obrazovanju (eduLab)

Laboratorij za primjenu informacijskih tehnologija u obrazovanju potiče istraživanje i inovacije u raznim aspektima računalom podržanog obrazovanja. EduLab služi i kao mjesto povezivanja i upoznavanja studenata sa znanstvenom djelatnošću članova laboratorija, ali i kao mjesto susreta sa gospodarstvom, te u konačnici kao medij kroz koji će studenti moći pronaći posao u području i tvrtki koja ih zanima. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Ivica Botički (voditelj), izv. prof. dr. sc. Tomislav Burić, doc. dr. sc. Tomislav Jagušt, doc. dr. sc. Ivana Bosnić, prof. dr. sc. Lea Skorin-Kapov, doc. dr. sc. Ana Sović Kržić, prof. dr. sc. Vedran Podobnik, prof. dr. sc. Vedran Mornar,

izv. prof. dr. sc. Nataša Hoić-Božić, izv. prof. dr. sc. Igor Mekterović te doktorski studenti uključeni u istraživačke projekte.

3.14. Laboratorij za raspoznavanje uzoraka i biometrijske sigurnosne sustave (RUBIOSS)

Cilj Laboratorija za raspoznavanje uzoraka i biometrijske sigurnosne sustave je razvoj i promicanje istraživanja na spomenutim područjima, te uporaba rezultata istraživanja u razvoju sustava kao što su: sustav za automatsku analizu igre u grupnim sportovima utemeljen na računalnom vidu, inteligentni sustav za lokalizaciju objekata u stereoskopskim i video snimkama prometnog okoliša, sustavi za detekciju i praćenje lica u grupnim scenama, sustav za deidentifikaciju osoba u video nadzornim sustavima, te sustavi za automatsku identifikaciju osoba na temelju fuzije biometrijskih značajki. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Slobodan Ribarić (voditelj), izv. prof. dr. sc. Zoran Kalafatić, prof. dr. sc. Siniša Šegvić, izv. prof. dr. sc. Tomislav Hrkać i doktorski studenti koji rade svoja istraživanja na aktualnim projektima Laboratorija.

3.15. Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS)

Istraživačka djelatnost Laboratorija za robotiku i inteligentne sustave upravljanja odnosi se na sljedeće teme i područja: Integrirano upravljanje robotima i procesima; inteligentni sustavi upravljanja; upravljanje proizvodnim sustavima (planiranje i raspodjela zadataka); upravljanje višeagentskim autonomnim sustavima; profesionalna servisna robotika; upravljanje autonomnim letjelicama; biološki inspirirana robotika (humanoidi, hodajući roboti); heterogeni robotski sustavi; primjena robota u dijagnostici autizma; primjena umjetne inteligencije u robotici i drugo. Članovi laboratorija su prof. dr. sc. Zdenko Kovačić (voditelj laboratorija), prof. dr. sc. Stjepan Bogdan, izv. prof. dr. sc. Matko Orsag i doc. dr.sc. Tamara Petrović te poslijedoktorandi i doktorandi. U laboratoriju trenutno radi 25 istraživača surađujući na 17 istraživačkih projekata od kojih je pet iz Horizon 2020 programa.

3.16. Laboratorij za sustave obnovljivih izvora energije (LARES)

U Laboratoriju za sustave obnovljivih izvora energije (LARES), na temelju teorije upravljanja i aplikacija, istraživači doprinose unaprjeđenju iskorištavanja i kompetitivnosti energije vjetra, sunčeve energije, sustava spremnika energije, mikromreža, energetske učinkovitosti u zgradama, transportnim sustavima i sustavima distribucije vode. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Mario Vašak (voditelj), prof. emer. Nedjeljko Perić, prof. dr. sc. Željko Ban, prof. dr. sc. Mato Baotić, prof. dr. sc. Jadranko

Matuško, doc. dr. sc. Vinko Lešić, doc. dr. sc. Anita Banjac, doc. dr. sc. Branimir Novoselnik te poslijedoktorandi i doktorandi koji su članovi projektnih timova za veći broj projekata.

3.17. Laboratorij za tehnologije usmjerene čovjeku (HOTLab)

U središtu interesa Laboratorija za tehnologije usmjerene čovjeku su tehnologije analize i sinteze ljudi i njihovog ponašanja, uz jak interes za primjene ovakvih tehnologija. Primjenjuju se tehnike iz različitih područja, uključujući računalni vid, strojno učenje, računalnu grafiku, virtualnu i proširenu stvarnost za postizanje istraživačkih ciljeva poput potpuno automatskog praćenja značajki lica u videu, automatske animacije virtualnih likova ili raspoznavanja spola, dobi i emocija. Voditelj laboratorija je prof. dr. sc. Igor Pandžić. Kroz dugogodišnji projekt suradnje sa švedsko-hrvatskom tvrtkom Visage Technologies, razvijeni su algoritmi računalnog vida za praćenje značajki ljudskog lica kao i analizu spola, dobi i emocija te raspoznavanje identiteta osobe. Ovi algoritmi imaju izuzetno široku primjenu u raznim područjima kao što su marketing, zabava, ispitivanje tržišta, automobilska industrija, sigurnost i zdravstvo, te ih industrijski partner u projektu kroz svoje proizvode uspješno plasira na tržištu širom svijeta.

3.18. Laboratorij za tokove podataka (StreamsLab)

Obrada toka podataka postala je sastavni dio brojnih aplikacija koje zahtijevaju kontinuiranu obradu podataka, kao što su bežične mreže senzora, trgovanje dionicama i nadgledanje mreže. Za razliku od tradicionalnih sustava baza podataka, sustavi za obradu toka podataka imaju većinom statične i trajne upite te se moraju moći nositi s visokom frekvencijom nadolazećih podatkovnih objekata. Stoga je potrebno učinkovito obraditi nadolazeći tok podataka, u pogledu vremena obrade i memorijskih zahtjeva, na način da se podaci od interesa mogu prepoznati i dostaviti odredištima, krajnjim korisnicima ili drugim procesima u stvarnom vremenu. Ciljevi Laboratorija su provođenje istraživačkih i razvojnih aktivnosti u području obrade tokova podataka te prijenos znanja u hrvatsko gospodarstvo radi razvoja novih proizvoda i usluga. Članovi Laboratorija su izv. prof. dr. sc. Krešimir Pripužić (voditelj), doc. dr. sc. Zdravko Galić, prof. dr. sc. Boris Vrdoljak, prof. dr. sc. Zoran Skočir, izv. prof. dr. sc. Igor Mekterović, izv. prof. dr. sc. Ljiljana Brkić, izv. prof. dr. sc. Damir Pintar, izv. prof. dr. sc. Bruno Blašković, izv. prof. dr. sc. Mirko Randić, izv. prof. dr. sc. Mihaela Vranić, doc. dr. sc. Klemo Vladimir, doc. dr. sc. Martina Antonić, doc. dr. sc. Mario Brčić te poslijedoktorandi i doktorandi uključeni u projekte Laboratorija.

3.19. Laboratorij za asistivne tehnologije i potpomognutu komunikaciju (ICT-AAC)

Istraživačka aktivnost Laboratorija za asistivne tehnologije i potpomognutu komunikaciju je u području potpomognute komunikacije zasnovane na informacijskoj i komunikacijskoj tehnologiji, uključuje suradnju sa znanstvenicima iz područja edukacije, rehabilitacije, psihologije i grafičkih znanosti te je fokusirana na nove metode realizacije pristupačnosti usluga informacijske i komunikacijske tehnologije, uz primjenu koncepta platforme kolektivne svjesnosti za održivost i socijalne inovacije. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Željka Car (voditeljica), izv. prof. dr. sc. Marin Vuković, prof. dr. sc. Krešimir Fertalj, prof. dr. sc. Ignac Lovrek, prof. dr. sc. Zdenko Kovačić, prof. dr. sc. Ivica Botički, izv. prof. dr. sc. Lea Skorin Kapov, izv. prof. dr. sc. Vedran Podobnik, doc. dr. sc. Marko Horvat te poslijedoktorandi i doktorandi koji sudjeluju u projektima Laboratorija.

4. Zaključak

Uspostavom Centra za umjetnu inteligenciju na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu stvorena je kritična masa od više od 100 istraživača koji se bave raznim aspektima teorije i primjene umjetne inteligencije, što predstavlja najveći takav istraživački centar u Hrvatskoj. Glavni ciljevi Centra su istraživanja u području umjetne inteligencije, suradnja s gospodarstvom na transferu tehnologije ka poduzećima koja se bave razvojem novih proizvoda temeljenih na znanjem u širokom spektru primjena umjetne inteligencije te edukacija inženjera na preddiplomskoj, diplomskoj i doktorskoj razini. Istraživači Centra vode brojne istraživačke i razvojne projekte financirane iz javnih i privatnih sredstava. Jedan od najvažnijih rezultata rada Centra su nove generacije eksperata koji svoje doktorska istraživanja provedu u laboratorijima Centra i koji predstavljaju temelj za hrvatska poduzeća koja se bave razvojem novih proizvoda temeljenih na znanju.

Literatura

[1] P. Norvig i S. Russell, Artificial Intelligence: A Modern Approach, Global Edition 4th Edition, Pearson, 2021.

[2] "Artificial Intelligence Market Size Report, 2021-2028," Grand View Research, 29 prosinca 2021. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/artificial-intelligence-ai-market.

[3] "Centar za umjetnu inteligenciju FER-a", Fakultet elektrotehnike i računarstva, https://cai.fer.hr.

Centar izvrsnosti za računalni vid

Sven Lončarić[1], Stjepan Bogdan[2], Dubravko Gajski[3], Mislav Grgić[1], Sonja Grgić[1], Edouard Ivanjko[4], Bojan Jerbić[5], Zoran Kalafatić[2], Zdenko Kovačić[2], Andrija Krtalić[2], Lidija Mandić[6], Igor S. Pandžić[2], Renata Pernar[7], Tomislav Petković[2], Ivan Petrović[1], Tomislav Pribanić[2], Slobodan Ribarić[2], Damir Seršić[2], Marko Subašić[2], Siniša Šegvić[2]

[1] redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

[2] Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

[3] Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet

[4] Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti

[5] redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje

[6] Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet

[7] Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije

Sažetak: *Centar izvrsnosti za računalni vid na Fakultetu elektrotehnike i računarstva (FER) osnovan je 2012. godine sa ciljem okupljanja relevantnih istraživača s FER-a i s drugih sastavnica Sveučilišta. U osnivanju Centra sudjelovalo je sedam sastavnica Sveučilišta u Zagrebu. Ciljevi Centra su jačanje međunarodne vidljivosti Sveučilišta u Zagrebu u području računalnog vida, stvaranje kritične mase istraživača za zajednički nastup u većim znanstvenoistraživačkim i razvojnim projektima, poboljšanje kvalitete doktorskih istraživanja u području računalnog vida i poticanje zajedničkog nastupa prema gospodarstvu radi suradnje i transfera tehnologije. U radu je predstavljena motivacija za osnivanje Centra te znanstvene i stručne aktivnosti članova Centra.*

Ključne riječi: *računalni vid, umjetna inteligencija, obrada i analiza slike*

1. Uvod

Centar izvrsnosti za računalni vid [1] uspostavljen je 2012. godine kao rezultat inicijative koju je pokrenuo Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu, a u kojem su uz FER sudjelovali znanstvenici s još šest sastavnica Sveu-

čilišta u Zagrebu: Fakultet strojarstva i brodogradnje, Geodetski fakultet, Fakultet prometnih znanosti, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Kineziološki fakultet i Grafički fakultet.

U radu su predstavljene osnovne informacije o znanstvenom području računalnog vida, o inicijativi za osnivanje Centra te kratki pregled najvažnijih aktivnosti istraživačkih laboratorija Centra.

2. Računalni vid

Računalni vid je znanstveno područje koje ima za cilj ostvariti računalne sustave koji mogu obavljati zadatke vizualne percepcije slično kao što to može obavljati ljudski vizualni sustav [2] [3]. Sustavi računalnog vida koriste sliku ili video kao ulaznu informaciju, a kao izlaz daju informaciju o sadržaju scene. Takvi sustavi uključuju metode za akviziciju slike ili videa, metode za obradu slike te metode za analizu slike. Zadatak sustava za računalni vid je izlučivanje informacija iz slikovnih podataka u cilju razumijevanja sadržaja scene u svrhu donošenja odgovarajućih odluka (npr. postavljanje dijagnoze na temelju rendgenske slike ili upravljanje vozilom na temelju slika dobivenih iz jedne ili više kamera postavljenih na vozilo). Neki od karakterističnih zadataka vizualne percepcije koje rješavaju sustavi računalnog vida su raspoznavanje objekata, analiza pokreta, analiza oblika, analiza teksture, obnavljanje slike, procjena orijentacije trodimenzionalnih (3-D) objekata i 3-D rekonstrukcija scene iz dva ili više pogleda.

Metode računalnog vida koriste znanja iz više znanstvenih područja uključujući obradu i analizu signala, geometriju, statistiku i strojno učenje. Suvremene metode za računalni vid se značajno oslanjaju na korištenje dubokog učenja koje je omogućilo dobivanje točnijih rezultata u odnosu na prethodno razvijene pristupe.

S obzirom da je za rješavanje zadataka vizualne percepcije, kao i kod čovjeka, potrebno znanje, metode računalnog vida koriste razne pristupe za formuliranje znanja o scenama koje se analiziraju, uključujući metode umjetne inteligencije kao što su strojno i duboko učenje. Po brojnim klasifikacijama znanstvenih područja računalni vid je stoga klasificiran kao dio umjetne inteligencije.

Ljudsko oko kao osjetilo omogućuje akviziciju dvodimenzionalne slike i to u vidljivom spektralnom području. No, u općenitom slučaju sustavi računalnog vida mogu prihvatiti kao ulaz podatke koji nisu ograničeni isključivo na dvodimenzionalne signale, tj. slike, nego mogu biti i višedimenzionalni podatci dobiveni bilo kojim načinom prikupljanja podataka. Višedimenzionalnost može biti posljedica načina snimanja, kao npr. u slučaju podataka dobivenih računalnom tomografijom u medicini

ili kod podataka dobivenih snimanjem raznim trodimenzionalnim osjetilima kao npr. LIDAR). S obzirom na vremensku dimenziju ulaz u sustav računalnog vida može biti jedna slika ili može biti niz slika u vremenu, tj. video. Vremensku dimenziju možemo s matematičke strane promatrati kao još jednu dodatnu dimenziju koja povećava dimenzionalnost ulaznih podataka.

Suvremeni trendovi u prikupljanju sve većeg broja podataka (npr. slika i videa) otvaraju put ka problematici analize velikih skupova podataka (engl. big data) i tokova podataka (engl. data streams) što predstavlja dodatni izazov, naročito kad je potrebno analizu slika i videa izvoditi u stvarnom vremenu.

2.1. Tehnologije za sustave računalnog vida

Kao tehnološka disciplina računalni vid bavi se razvojem sklopovske i programske podrške za implementaciju sustava računalnog vida. Glavne komponente sustava za računalni vid su osjetila za snimanje slike te računala za obradu i analizu slikovnih informacija.

Osjetila za snimanje slike su vrlo važni jer kvaliteta dobivene slike utječe na uspješnost obrade i analize slikovnih informacija. Stalni napredak u tehnologiji osjetila omogućuje razvoj sve kvalitetnijih sustava računalnog vida.

Računska složenost algoritama za računalni vid je visoka, no stalni napredak računalne tehnologije kojem svjedočimo zadnjih nekoliko desetljeća omogućuje realizaciju sve složenijih sustava računalnog vida. Naročito je velik doprinos području dao brzi razvoj grafičkih kartica kao višeprocesorskih sustava visokih performansi koje omogućuju veliki paralelizam i izvršavanje velikog broja matematičkih operacija u jedinici vremena.

2.2. Primjene računalnog vida

Primjene računalnog vida su brojne, a moguće su u svim područjima ljudske djelatnosti u kojima postoje podatci u obliku dvodimenzionalnih ili višedimenzionalnih slika. Neki primjeri primjena su automatska vizualna inspekcija u industrijskoj proizvodnji, biometrijski sustavi za identifikaciju ljudi, industrijska i medicinska robotika, autonomna vozila i mobilni roboti, sustavi za indeksiranje i pretraživanja baza slika i videa, daljinska istraživanja, medicinska dijagnostika, interventne procedure u medicini (npr. računalom podržana kirurgija), sustavi za nadzor, vojne i policijske primjene te potrošačka elektronika. Napredak u računalnim tehnologijama omogućio je razvoj autonomnih vozila koje zahtijevaju realizaciju vrlo složenih sustava

računalnog vida koji moraju obaviti sve operacije vizualne percepcije koje normalno obavlja ljudski vozač. Suvremeni mobilni uređaji za komunikaciju imaju dovoljnu procesnu moć za ostvarenje funkcija kao što je raspoznavanje lica ili otiska prsta korisnika, detekciju lica kod snimanja ugrađenom kamerom i druge primjene.

3. Uspostava Centra izvrsnosti za računalni vid

Na Sveučilištu u Zagrebu postoji više sastavnica gdje se provode istraživanja u području teorije i primjena računalnog vida, a po broju istraživača te istraživačkih i razvojnih projekata u području računalnog vida najviše aktivnosti ima FER. Usprkos značajnom broju istraživača koji rade u području računalnog vida na sastavnicama Sveučilišta istraživačke grupe bile su nepovezane, te često nisu bile upoznate s istraživanjima koja se odvijaju na drugim sastavnicama. Ova situacija rezultirala je u nepostojanju kritične mase istraživača u području računalnog vida, slabijim rezultatima u suradnji i transferu tehnologije prema gospodarstvu i nemogućnost zajedničkog nastupanja prema većim nacionalnim i međunarodnim mrežama centara izvrsnosti i istraživačko-razvojnim programima. Ova situacija predstavljala je motivaciju za inicijativu usmjerenu ka boljem povezivanju istraživačkih grupa i jačanju vidljivosti područja računalnog vida na Sveučilištu u Zagrebu.

Senat Sveučilišta u Zagrebu je 2010. godine, za vrijeme rektorskog mandata prof. dr. sc. Alekse Bjeliša, donio odluku o objavi natječaja za jednogodišnje projekte financirane iz Fonda za razvoj Sveučilišta u Zagrebu na koji su se mogle javiti sastavnice Sveučilišta. U pozivu za natječaj bilo je navedeno nekoliko programa koji su imali kao zajednički cilj povećanje kvalitete, izvrsnosti i vidljivosti Sveučilišta. Program "Izvrsno" imao je za cilj "podupirati aktivnosti za unapređenje i upravljanje kvalitetom u nastavi, istraživanju i upravljanju te aktivnosti za uspostavu prepoznatljivih centara izvrsnosti na sveučilištu i njegovim sastavnicama". Navedeni program činio se je kao dobra prilika da se napravi korak ka okupljanju istraživačkih grupa u području računalnog vida na Sveučilištu u Zagrebu.

3.1. Projekt osnivanja Centra izvrsnosti za računalni vid

Objava natječaja potakla je skupinu nastavnika Sveučilišta u Zagrebu, koji su bili aktivni istraživači u raznim područjima teorije i primjena obrade slike i računalnog vida, na pripremu prijedloga projekta za uspostavu Centra izvrsnosti za računalni vid. Prof. dr. sc. Sven Lončarić inicirao je i koordinirao pripremu prijedloga projekta.
Članovi projektnog tima navedeni u prijedlogu projekta, odnosno osnivači Centra izvrsnosti za računalni vid, bili su 18 istaknutih nastavnika i istraživača sa sedam sastavnica Sveučilišta u Zagrebu (navedeni abecednim redom s akademskim titulama koje su imali 2010. godine):

1. Doc. dr. sc. Dubravko Gajski, Geodetski fakultet, zamjenik voditelja
2. Prof. dr. sc. Hrvoje Gold, Fakultet prometnih znanosti, zamjenik voditelja
3. Prof. dr. sc. Mislav Grgić, Fakultet elektrotehnike i računarstva, zamjenik voditelja
4. Prof. dr. sc. Sonja Grgić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
5. Prof. dr. sc. Bojan Jerbić, Fakultet strojarstva i brodogradnje, zamjenik voditelja
6. Izv. prof. dr. sc. Zoran Kalafatić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
7. Prof. dr. sc. Mario Kovač, Fakultet elektrotehnike i računarstva
8. Prof. dr. sc. Zdenko Kovačić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
9. Prof. dr. sc. Sven Lončarić, Fakultet elektrotehnike i računarstva, voditelj projekta
10. Doc. dr. sc. Lidija Mandić, Grafički fakultet
11. Prof. dr. sc. Vladimir Medved, Kineziološki fakultet, zamjenik voditelja
12. Prof. dr. sc. Renata Pernar, Šumarski fakultet, zamjenik voditelja
13. Prof. dr. sc. Ivan Petrović, Fakultet elektrotehnike i računarstva
14. Doc. dr. sc. Tomislav Pribanić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
15. Prof. dr. sc. Slobodan Ribarić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
16. Prof. dr. sc. Damir Seršić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
17. Doc. dr. sc. Marko Subašić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
18. Doc. dr. sc. Siniša Šegvić, Fakultet elektrotehnike i računarstva

U prijedlogu projekta bilo je navedeno da će osim navedenih istraživača u radu Centra izvrsnosti sudjelovati oko 70 doktoranada i poslijedoktoranada koji svoja istraživanja provode pod mentorstvom navedenih nastavnika. Ukupni broj nastavnika, doktoranada i poslijedoktoranada bio je dakle oko 90 istraživača, što je predstavljalo veliku kritičnu masu istraživača u području računalnog vida na Sveučilištu.

Najvažniji specifični ciljevi projekta bili su usmjereni ka organizaciji i ustroju Centra, promociji Centra u zemlji i inozemstvu, uvođenju godišnje radionice Centra, davanju potpore članovima Centra za putovanja u svrhu povezivanja s drugim srodnim centrima u svijetu, te uspostavljanju jače suradnje i transfera tehnologija ka gospodarstvu.

U okviru jednogodišnjeg projekta bilo je planirano nekoliko aktivnosti uključujući izradu web portala Centra, izradu brošure Centra na engleskom jeziku, nabava literature (knjige, zbornici i časopisi), organizacija godišnje radionice Centra te posjete istraživača Centra drugim istraživačkim laboratorijima u inozemstvu.

Prijedlog projekta bio je pozitivno ocijenjen i Senat Sveučilišta u Zagrebu, na prijedlog rektora prof. dr. sc. Alekse Bjeliša, je na 3. sjednici u 343. akademskoj godini (2011./2012.) održanoj 8. studenog 2011. donio je odluku o prihvaćanju projekata

koji će biti financirani sredstvima Fonda za razvoj Sveučilišta u Zagrebu. Ugovor o dodjeli sredstava Fonda za razvoj Sveučilišta potpisali su rektor Sveučilišta prof. dr. sc. Aleksa Bjeliš, dekan FER-a prof. dr. sc. Nedjeljko Perić i voditelj projekta prof. dr. sc. Sven Lončarić dana 31. siječnja 2012. godine. Period provedbe projekta bio je od 1. siječnja 2012. do 31. prosinca 2012.

3.2. Provedba projekta i postignuti rezultati

Tijekom projekta provedene su sve planirane aktivnosti. Razvijen je web portal Centra kao mjesto svih informacija o Centru i njegovim aktivnostima [1]. Dizajn i pripremu za tisak brošure Centra na engleskom jeziku koordinirala je prof. dr. sc. Lidija Mandić s Grafičkog fakulteta, a tekstove su pripremili svi članovi projektnog tima. Brošura je osim u tiskanom obliku dostupna i u elektroničkom obliku na web portalu Centra. Provedena je nabava znanstvene i stručne literature na svim sastavnicama koje su sudjelovale u projektu.

Uspostavljen je hrvatski znanstveno-stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem pod nazivom "Croatian Computer Vision Workshop (CCVW)" kao godišnji skup s ciljem okupljanja znanstvenika i gospodarstvenika u Hrvatskoj aktivnih u području računalnog vida, a također i kao mjesto okupljanja studenata i doktoranada koji svoje diplomske i doktorske radove provode u području računalnog vida. Godišnji skupovi sadržavali su pozvana predavanja istaknutih istraživača iz Hrvatske i inozemstva, usmene prezentacije, sekciju za sudionike iz gospodarstva te poster sekciju. Prvi skup održan je 2012. godine, a otada je skup održan ukupno devet puta i zbornici svih devet radionica dostupni su na web portalu Centra [1]. Skupovi su dosad održani u Zagrebu, Osijeku i Splitu, u organizaciji Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Sveučilišta Josip Juraj Strossmayer u Osijeku te Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu. Na taj način je ojačana veza s istraživačkim grupama u području računalnog vida na drugim sveučilištima. Iz sredstava projekta financirani su troškovi više sudjelovanja na znanstvenim skupovima i troškovi kraćih usavršavanja članova Centra u inozemstvu.

Najvažniji rezultat projekta je da je došlo do jačanja veza između istraživačkih grupa u području računalnog vida na Sveučilištu u Zagrebu te i šire u Hrvatskoj. Uspostavljena komunikacija omogućila je i stvaranje konzorcija za buduće prijave projekata i uspostavljanje novih suradnih projekata s gospodarstvom.

4. Članovi Centra izvrsnosti za računalni vid

Od trenutka osnivanja Centra do danas u istraživačkim grupama Centra doktorirao je veći broj kolegica i kolega od kojih su neki postali sveučilišni nastavnici te se je

tako članstvo Centra mijenjalo kroz godine. U nastavku je prikazano stanje članstva Centra krajem 2021. godine.

Fakultet elektrotehnike i računarstva: prof. dr. sc. Stjepan Bogdan, doc. dr. sc. Jelena Božek, prof. dr. sc. Mislav Grgić, prof. dr. sc. Sonja Grgić, izv. prof. dr. sc. Tomislav Hrkać, izv. prof. dr. sc. Zoran Kalafatić, prof. dr. sc. Mario Kovač, prof. dr. sc. Zdenko Kovačić, prof. dr. sc. Sven Lončarić, prof. dr. sc. Igor Pandžić, doc. dr. sc. Tomislav Petković, prof. dr. sc. Ivan Petrović, prof. dr. sc. Tomislav Pribanić, prof. dr. sc. Slobodan Ribarić, prof. dr. sc. Damir Seršić, izv. prof. dr. sc. Marko Subašić i prof. dr. sc. Siniša Šegvić.

Geodetski fakultet: prof. dr. sc. Milan Bajić, izv. prof. dr. sc. Dubravko Gajski, doc. dr. sc. Andrija Krtalić.

Fakultet prometnih znanosti: prof. dr. sc. Hrvoje Gold, izv. prof. dr. sc. Edouard Ivanjko, izv. prof. dr. sc. Mario Muštra, doc. dr. sc. Marko Ševrović.

Fakultet strojarstva i brodogradnje: prof. dr. sc. Bojan Jerbić, doc. dr. sc. Marko Švaco

Grafički fakultet: prof. dr. sc. Lidija Mandić, izv. prof. dr. sc. Ante Poljičak, izv. prof. dr. sc. Maja Strgar Kurečić.

Fakultet šumarstva i drvne tehnologije: prof. dr. sc. Renata Pernar, prof. dr. sc. Ante Seletković, doc. dr. sc. Mario Ančić i doc. dr. sc. Jelena Kolić.

5. Pregled odabranih aktivnosti članova Centra

5.1. Laboratorij za obradu slike

Laboratorij za obradu slike [4] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu provodi istraživanja u području teorije i primjene obrade slike i računalnog vida u područjima kao što su analiza slika u biomedicini, analiza ultrazvučnih slika za nerazorna ispitivanja kvalitete struktura, vizualna kontrola kvalitete u industrijskoj proizvodnji, metode za vizualno prepoznavanje proizvoda na policama, sustavi računalnog vida za potporu vozačima, teorija 2-D uzorkovanja, stereo vid, 3D rekonstrukcija i 3D registracija te prepoznavanje i praćenje igrača u sportskim igrama. Članovi laboratorija su prof. dr. sc. Sven Lončarić (voditelj laboratorija), izv. prof. dr. sc. Zoran Kalafatić, doc. dr. sc. Tomislav Petković, prof. dr. sc. Tomislav Pribanić, prof. dr. sc. Damir Seršić i izv. prof. dr. sc. Marko Subašić. U laboratoriju trenutno radi 18 doktorskih studenata koji su financirani od strane gospodarskih subjekata kao i iz javnih sredstava za istraživanja. U okviru istraživačkih aktivnosti laboratorija pod mentorstvom prof. dr. sc. Svena Lončarića dosad je doktorske disertacije uspješ-

no obranilo devet doktoranada: Vedrana Baličević [5], Andrija Štajduhar [6], Pavle Prentašić [7], Krešimir Dekanić [8], Nikola Banić [9], Hrvoje Kalinić [10], Goran Salamunićcar [11], Tomislav Petković [12] i Marko Subašić [13]. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Damira Seršića troje doktoranada obranili su disertacije: Ana Sović [14], Mladen Tomić [15] i Miroslav Vrankić [16], uz mentorstvo izv. prof. dr. sc. Zorana Kalafatića disertacije su obranili Boris Šnajder [17] i Karla Brkić [18], a pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Marka Subašića disertaciju je obranila Iva Harbaš [19].

5.2. Laboratorij za tehnologije usmjerene čovjeku

Laboratorij za tehnologije usmjerene čovjeku (HOTLab) [20] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu istraživački je laboratorij koji se bavi algoritmima analize i sinteze ljudi i njihovog ponašanja, uz jak interes za primjene ovakvih tehnologija. Voditelj laboratorija je prof. dr. sc. Igor Pandžić. Kroz dugogodišnji projekt suradnje sa švedsko-hrvatskom tvrtkom Visage Technologies, razvijeni su algoritmi računalnog vida za praćenje značajki ljudskog lica kao i analizu spola, dobi i emocija te raspoznavanje identiteta osobe. Ovi algoritmi imaju izuzetno široku primjenu u raznim područjima kao što su marketing, zabava, ispitivanje tržišta, automobilska industrija, sigurnost i zdravstvo, te ih industrijski partner u projektu kroz svoje proizvode uspješno plasira na tržištu širom svijeta. U HOTLab-u su u ovom području dovršena dva doktorata, Nenada Markuša [21] i Ivana Gogića [22].

5.3. Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja

Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS) [23] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu istraživački je laboratorij čija istraživanja su usmjerena na područja upravljanja, robotike i umjetne inteligencije s primjenama letećih, hodajućih i voznih robota u industrijskim postrojenjima, medicini, poljoprivredi i drugim interdisciplinarnim područjima. Poseban naglasak u aktualnim istraživanjima dan je na autonomne i kolaborativne robotske sustave. Za većinu projekata na kojima laboratorij radi, obrada slike i ostalih oblika ulaznih podataka (npr. oblaci točaka dobivenih iz LIDARA, podaci iz sonara, CT-a i dr.) predstavljaju osnovu za inovativne načine upravljanja autonomnim robotskim sustavima, sustavima za robotičku potporu medicinskih intervencija, inspekciju, inteligentnu manipulaciju, interakciju robota i ljudi i sl.. Članovi laboratorija su prof. dr. sc. Zdenko Kovačić (voditelj laboratorija), prof. dr. sc. Stjepan Bogdan, izv. prof. dr. sc. Matko Orsag i doc. dr.sc. Tamara Petrović. U laboratoriju trenutno radi 25 istraživača surađujući na 17 istraživačkih projekata od kojih je pet iz Horizon 2020 programa. U okviru istraživačkih aktivnosti laboratorija pod mentorstvom prof. dr. sc. Zdenka Kovačića dosad je doktorske disertacije uspješno obranilo sedam doktoranada: Darko Dužanec [24],

Damir Arbula [25], Alan Mutka [26], Edin Kočo [27], Goran Vasiljević [28], Ivica Draganjac [29] i Frano Petric [30]. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Stjepana Bogdana doktorske disertacije obranilo je osam doktoranada: Ivica Sindičić [31], Damjan Miklić [32], Tamara Petrović [33], Matko Orsag [34], Marko Filipović [35], Tomislav Haus [36], Karlo Griparić [37] i Zoran Vrhovski [38].

5.4. Katedra za fotogrametriju i daljinska istraživanja

Katedra za fotogrametriju i daljinska istraživanja Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu prvenstveno se bavi istraživanjem tehnologije i metoda prikupljanja, interpretacije, obrade i analize informacija zabilježenih na snimkama sa pasivnih i aktivnih senzora u pilotiranim i bespilotnim letjelicama te satelitima. Uz dokumentiranje arheološke i arhitektonske baštine fotogrametrijskim metodama, katedra surađuje i u projektima redukcije minski sumnjive površine u RH, praćenja ekscesivne erozije i klizišta, te stanja vegetacije metodama daljinskih istraživanja. Članovi Katedre su: izv. prof. dr. sc. Andrija Krtalić, doc. dr. sc. Mateo Gašparović, Dubravka Maurer, Ljiljana Pleše i izv. prof. dr. sc. Dubravko Gajski (pročelnik Katedre). U Katedri je u periodu od 2012. iz navedenog područja dovršeno i obranjeno 5 doktorata: Mateo Gašparović [39] , Vanja Miljković [40], Ivan Racetin [41], Luka Jurjević [42] i Martina Deur [43].

5.5. Regionalni centar izvrsnosti za robotske tehnologije

Regionalni centar izvrsnosti za robotske tehnologije (CRTA) je referentni centar za istraživačke, razvojne i obrazovne aktivnosti u području robotike i umjetne inteligencije Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Djelatnosti centra su usmjerene prema istraživanju i razvoju naprednih robotskih primjena, poglavito u industriji i medicini, ali i drugim područjima ljudske djelatnosti gdje tradicionalnu automatizaciju i ljudski rad trebaju zamijeniti autonomni i inteligentni sustavi. Centar je financiran bespovratnim sredstvima iz fonda EU (Operativni program „Konkurentnost i kohezija" 2014.-2020.) u ukupnom iznosu od 36,7 milijuna kuna. CRTA je prvi centar izvrsnosti za robotiku u Hrvatskoj, a objedinjuje laboratorije za autonomne sustave, računalnu inteligenciju i medicinsku robotiku. Po svojem sadržaju i naprednoj opremi predstavlja jedinstvenu znanstveno-tehnološku infrastrukturu u europskim razmjerima te osigurava snažan poticaj razvojnim i obrazovnim aktivnostima u RH. U CRTA-i se kontinuirano odvija više istraživačkih i razvojnih projekata financiranih iz EU i nacionalnih fondova. Paralelno se radi na bojnim ugovornim istraživanjima s vodećim hrvatskim i međunarodnim tehnološkim tvrtkama. Takav oblik suradnje osigurava kvalitetan prijenos znanja i razvoj novih tehnoloških rješenja prilagođenih konkretnim potrebama industrijskih partnera. Istraživački projekti

i suradnja s gospodarstvom ujedno su glavni oblici financiranja CRTA-e i njezinih istraživača. CRTA je otvorena prema javnosti te redovito organizira različite prezentacije i obilaske laboratorija s ciljem promoviranja znanosti i tehnologije, a kako bi jednako oni mladi i oni stariji bolje razumjeli digitalne i kulturološke transformacije koje živimo. Članovi CRTA-e su prof. dr. sc. Bojan Jerbić (voditelj Centra), doc. dr. sc. Marko Švaco, dr. sc. Filip Šuligoj i dr. sc. Josip Vidaković, kao i dvadesetak istraživača i doktoranata financiranih iz projekata. Od osnivanja CRTA obranjena su dva doktorata: Filip Šuligoj [44] i Josip Vidaković [45].

5.6. Laboratorij za kolorimetrijska mjerenja

Laboratorij za kolorimetrijska mjerenja Grafičkog Fakulteta Sveučilišta u Zagrebu istraživački je laboratorij koji se bavi mjerenjima transparentnih i refleksnih uzoraka, i za mjerenje luminancije i krome raznih emitirajućih optičkih izvora svjetlosti kao što su plazma ekrani, LCD ekrani, LED žarulje, lampe i sl. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Lidija Mandić (voditeljica), izv. prof. dr. sc. Maja Strgar Kurečić i izv. prof. dr. sc. Ante Poljičak. U okviru Laboratorija se rade i istraživanja u području virtualne stvarnosti. U Laboratoriju su uspješno obranjena tri doktorata: Ante Poljičak [46], Jurica Dolić [47] i Ana Agić [48].

5.7. Laboratorij za videokomunikacije

Laboratorij za videokomunikacije [49] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu provodi znanstveno-istraživački rad u područjima razvoja i evaluacije algoritama za kompresiju slike i videosignala, razvoja metoda i mjera za subjektivno i objektivno vrednovanje kvalitete slike, razvoja algoritama za računalnu analizu slika mozga s naglaskom na MR slike mozga odraslih i novorođenčadi, analize mamografskih slika radi računalno potpomognutog otkrivanja i dijagnostike raka dojke, biometrije i metoda za raspoznavanje lica te istraživanja primjenjivosti tehnika dubokog učenja za razumijevanje slikarskih djela i predviđanje subjektivnih aspekta ljudske percepcije. Članovi laboratorija su prof. dr. sc. Sonja Grgić, prof. dr. sc Mislav Grgić, prof. dr. sc. Tomislav Kos i doc. dr. sc Jelena Božek. U okviru istraživačkih aktivnosti laboratorija pod mentorstvom prof. dr. sc. Sonje Grgić doktorske radove uspješno je obranilo šest doktoranada: Emil Dumić [50], Dijana Tralić [51], Anamaria Bjelopera [52], Krešimir Šakić [53], Goran Gvozden [54] i Eva Cetinić [55]. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Mislava Grgića pet doktoranada obranila su doktorske disertacije: Krešimir Delač [56], Mario Muštra [57], Nihad Mešanović [58], Jelena Božek [59] i Željko Tabaković [60].

5.8. Laboratorij za raspoznavanje uzoraka i biometrijske sigurnosne sustave

Laboratorij za raspoznavanje uzoraka i biometrijske sigurnosne sustave [61] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu provodi istraživanja u području računalnog vida. Istraživanja su usredotočena na razumijevanje ponašanja mnoštva ljudi, detekciju i praćenje objekata te analizu prirodnih scena. Članovi laboratorija su prof. dr. sc. Slobodan Ribarić (voditelj laboratorija), izv. prof. dr. sc. Zoran Kalafatić, prof dr. sc. Siniša Šegvić, i izv. prof. dr. sc. Tomislav Hrkać. Aktualni projekti financirani su od strane Hrvatske zaklade za znanost, europskih fondova te gospodarstva. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Slobodana Ribarića dosad je doktorske disertacije uspješno obranilo trinaest doktoranada: Azra Lagumdžija-Kulenović [62], Bojana Dalbelo-Bašić [63], Zoran Kalafatić [64], Maja Matetić [65], Siniša Šegvić [66], Haris Šupić [67], Sanda Martinčić-Ipšić [68], Tomislav Hrkać [69], Ivan Fratrić [70], Marina Ivašić-Kos [71], Darijan Marčetić [72], Miran Pobar [73] i Lada Maleš [74]. Pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Zorana Kalafatića disertacije su obranili Boris Šnajder [75] i Karla Brkić [76]. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Siniše Šegvića disertacije su obranili Valentina Zadrija [77], Ivan Sikirić [78], Ivan Krešo [79] i Marin Oršić [80].

5.9. Laboratorij za daljinska istraživanja i geoinformacijske sustave

Laboratorij za daljinska istraživanja i geoinformacijske sustave [81] je istraživački laboratorij u sklopu Zavoda za izmjeru i uređivanje šuma na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Djelatnost članova Laboratorija je usmjerena na istraživanja primjene metoda daljinskih istraživanja, geografskog informacijskog sustava, globalnog pozicijskog sustava i digitalnog modela reljefa u šumarstvu, urbanom šumarstvu, lovnom gospodarstvu, zaštiti prirode i okoliša. Posebnost Laboratorija je vizualna interpretacija aerosnimaka u stereomodelu (3D) s težištem na prepoznavanje vrsta drveća i određivanje zdravstvenog stanja pojedinačnih stabala. Također se u stereomodelu provodi i mjerna fotointerpretacija (određivanje visine stabala, projekcije krošnje, sklopa, drvne mase, itd.). Istraživačke aktivnosti vezane su i uz digitalnu interpretaciju multispektralnih i hiperspektralnih satelitskih snimaka (nadgledana i nenadgledana klasifikacija), te snimaka visoke prostorne i vremenske rezolucije, za praćenje stanja, promjena i biološke raznolikosti šuma; kartiranje načina korištenja zemljišta; kartiranje biotopa urbanih i močvarnih staništa, i dr. Ostala područja interesa uključuju primjenu neuronskih mreža u detekciji oštećenosti šuma i pridobivanju parametara staništa sa satelitskih snimaka, primjenu GPS-a za praćenje kretanja i aktivnosti divljih životinja telemetrijskim metodama, izradu digitalnog modela reljefa, digitalnog ortofota za okolišno modeliranje (raster-GIS analize, prostorno – vremenske analize, geostatistika). Članovi Laboratorija su: prof. dr. sc.

Renata Pernar (voditeljica laboratorija), prof. dr. sc. Ante Seletković, doc. dr. sc. Mario Ančić, doc. dr. sc. Jelena Kolić. U okviru istraživačkih aktivnosti laboratorija realizirano je 17 projekata, te obranjeno sedam doktorata. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Renate Pernar disertaciju je obranilo pet doktoranada: Ante Seletković [82], Damir Klobučar [83], Dalibor Štorga [84], Mario Ančić [85] i Jelena Kolić [86], te dva doktoranda pod mentorstvom prof. dr. sc. Ante Seletkovića: Ivan Balenović [87] i Alan Berta [88].

5.10. Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku

Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku (LAMOR) [89] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu istraživački je laboratorij koji se bavi istraživanjima algoritama upravljanja, estimacije i umjetne inteligencije s primjenom u razvoju sustava autonomije mobilnih robota i vozila u dinamičkim okruženjima i sustava njihove djelotvorne i sigurne interakcije s ljudima. Laboratorij je opremljen robotskim platformama i naprednim percepcijskim senzorima koje omogućuju eksperimentalnu provjeru istraživanih algoritama. Članovi laboratorija su prof. dr. sc. Ivan Petrović (voditelj), izv. prof. Marija Seder i izv. prof. Ivan Marković. U laboratoriju trenutačno radi 18 istraživača, od čega ih je 15 financirano sredstvima projekata iz programa Obzor 2020 i Europskih fondova za regionalni razvoj. U okviru istraživačkih aktivnosti laboratorija pod mentorstvom prof. dr. sc. Ivana Petrovića do sada je doktorske disertacije uspješno obranilo 19 doktoranada, od kojih je sljedećih 10 istraživalo algoritme iz područja računalnoga vida: Edouard Ivanjko [90], Mišel Brezak [91], Andrej Kitanov [92], Davor Kukolja [93], Ivan Marković [94], Josip Ćesić [95], Kruno Lenac [96], Igor Cvišić [97] i Juraj Peršić [98].

5.11. Laboratorij za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina (SHARK Lab)

Istraživačka djelatnost Laboratorija za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina [99] je poglavito usmjerena na metode i algoritme računalnog vida za 3D rekonstrukciju i 3D registraciju, uključujući za tu svrhu i uporabu senzora mobilnih platformi poput pametnih telefona i tableta. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Tomislav Pribanić (voditelj), prof. dr. sc. Siniša Šegvić, izv. prof. dr. sc. Marko Subašić, doc. dr. sc. Tomislav Petković te više doktorskih studenata. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Tomislava Pribanića disertacije su obranili Matea Đonlić [100] i Marko Lelas [101].

5.12. Istraživanja računalnog vida na Fakultetu prometnih znanosti

Naglasak istraživanja Fakulteta prometnih znanosti je u primjeni računalnog vida u cestovnom prometu. Istraživanja koordiniraju izv. prof. dr. sc. Edouard Ivanjko, izv.

prof. dr. sc. Mario Muštra i doc. dr. sc. Marko Ševrović. Do odlaska u mirovinu u istraživanjima je sudjelovao i prof. dr. sc. Hrvoje Gold. Problemi koji se rješavaju uključuju prepoznavanje, klasifikaciju i praćenje cestovnih vozila u stvarnom vremenu radi mjerenja prometnih parametara te estimaciju stanja cestovne prometnice prema iRAP metodologiji. Istraživanja vezana za primjenu iRAP metodologije se provode unutar Laboratorija za sustav georeferenciranog videa. Implementirani algoritmi omogućuju istovremeno praćenje više vozila na više voznih traka uz mogućnost mjerenja prometnih parametara. Pritom se koriste video snimke s fiksnih kamera s pogledom na cestovnu prometnicu te kamera postavljenih unutar vozila ili na malim autonomnim letjelicama (dronovima). Razvijena rješenja se zasnivaju na primjeni lokalnih binarnih uzoraka, naučenim Adaboost klasifikatorima, proširenom Kalmanovom filtru, konvolucijskim neuronskim mrežama, dubokom strojnom učenju i primjeni grafičkih akceleratora radi osiguranja rada u stvarnom vremenu.

6. Zaključak

U radu je predstavljena potreba i motivacija za uspostavljanje Centra za računalni vid na Sveučilištu u Zagrebu te opisano kako je skupina od 18 znanstvenika sa sedam sastavnica Sveučilišta u Zagrebu pripremila prijedlog projekta za osnivanje Centra. U okviru jednogodišnjeg projekta provedeno je nekoliko aktivnosti usmjerenih ka boljem povezivanju znanstvenika i jačanju vidljivosti Centra. Kroz godine nakon osnivanja Centar je povećavao broj članova da bi 2021. godine imao 30 članova nastavnika te veći broj doktoranada koji sudjeluju u radu Centra.

Članovi Centra provode brojne znanstvene i stručne projekte koji su financirani iz javnih sredstava i uz financiranje iz gospodarstva, što je omogućilo da veći broj doktoranada bude zaposlen na sastavnicama Sveučilišta u Zagrebu i da na taj način provode istraživanja i rade na svojim doktorskim disertacijama. U istraživačkim laboratorijima Centra dosad je doktorske disertacije obranilo 87 doktoranada, što predstavlja temelj za razvoj istraživačkih institucija i hrvatskog gospodarstva. Doktorandi koji su svoje doktorske programe završili u okviru istraživačkih grupa Centra nastavljaju svoje karijere na sveučilištima i institutima ili u hrvatskom gospodarstvu koje ima sve veće potrebe za stručnjacima s doktoratima znanosti, koji vode razvojne timove u poduzećima i tako jačaju kapacitet hrvatskog gospodarstva.

7. Literatura

[1] Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, »Centar izvrsnosti za računalni vid,« 2021. https://www.fer.unizg.hr/crv.

[2] E. R. Davies, Computer Vision: Principles, Algorithms, Applications, Learning, 5th Edition, Academic Press, 2017.

[3] D. Forsyth i J. Ponce, Computer Vision: A Modern Approach, 2nd Edition, Pearson, 2011.

[4] »Image Processing Laboratory,« Fakultet elektrotehnike i računarstva, https://ipg.fer.hr/ipg.

[5] V. Baličević, Model-based segmentation and texture analysis of multi-modal cardiac images, doktorska disertacija, Zagreb, 2019.

[6] A. Štajduhar, Computational histology image analysis of human cerebral cortex cytoarchitectonics, doktorska disertacija, Zagreb, 2019.

[7] P. Prentašić, Computational Analysis of Fundus Photographs for Early Detection of Diabetic Retinopathy, doktorska disertacija, Zagreb, 2019.

[8] K. Dekanić, Računalni model i analiza signala za određivanje mikrostrukturnih parametara nanomaterijala, doktorska disertacija, Zagreb, 2018.

[9] N. Banić, Real-time Retinex-based and learning-based methods for computational color constancy with high accuracy, doktorska disertacija, Zagreb, 2016.

[10] H. Kalinić, Registration and model based analysis of transaortic valvular flow ultrasound images, doktorska disertacija, Zagreb, 2012.

[11] G. Salamunićcar, Detekcija kratera iz digitalnih topografskih slika, Zagreb, 2012.

[12] T. Petković, Visual tracking and reconstruction of 3D curves in medical image analysis, doktorska disertacija, Zagreb, 2010.

[13] M. Subašić, Automatska analiza fotografija za identifikacijske dokumente, doktorska disertacija, Zagreb, 2007.

[14] A. Sović, Adaptivna valićna transformacija temeljena na kriteriju najmanje apsolutne pogreške, doktorska disertacija, Zagreb, 2012.

[15] M. Tomić, Adaptive Wavelet Transform with Application in Signal Denoising, doktorska disertacija, Zagreb, 2010.

[16] M. Vrankić, Adaptivna shema podizanja za neseparabilne dvodimenzionalne valićne transformacije, Zagreb, 2006.

[17] B. Šnajder, Upravljanje potrošnjom energije u bežičnoj mreži kamera visoke razlučivosti za periodički nadzor okoliša, doktorska disertacija, Zagreb, 2016.

[18] K. Brkić, Structural analysis of video by histogram-based description of local space-time appearance, doktorska disertacija, Zagreb, 2013.

[19] I. Harbaš, Computer vision-based detection of roadside vegetation using features from the visible spectrum, Zagreb, 2019.

[20] I. S. Pandžić, »Laboratorij za tehnologije usmjerene čovjeku (HOTLab),« https://hotlab.fer.hr.

[21] N. Markuš, Pattern recognition with pixel intensity comparisons organized in decision trees, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, 2017.

[22] I. Gogić, Efficient facial expression recognition using decision trees and neural networks, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, 2021.

[23] Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, »Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS),« 2022. https://larics.fer.hr.

[24] D. Dužanec, Poboljšani mikrogenetički algoritmi u upravljanju robotskim sustavima, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.

[25] D. Arbula, Raspodijeljeni algoritam za određivanje položaja čvorova u neusidrenoj bežičnoj mreži osjetila, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.

[26] A. Mutka, Adaptivno upravljanje gibanjem četveronožnoga robota korištenjem promjenjive podatnosti rotirajućih spiralnih stopala, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2015.

[27] E. Kočo, Hibridno upravljanje podatnošću i optimizacija trajektorije stopala za biološki inspiriranog četveronožnog robota, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.

[28] G. Vasiljević, Lokalizacija visoke točnosti mobilnih robota u zatvorenim industrijskim okruženjima bez korištenja markera, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.

[29] I. Draganjac, Decentralizirano upravljanje automatski vođenim vozilima sa slobodnim odabirom putanja u industrijskim okruženjima, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2018.

[30] F. Petric, Robotom potpomognuta dijagnostika poremećaja iz autističnog spektra korištenjem djelomično osmotrivih Markovljevih procesa odlučivanja, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2018.

[31] I. Sindičić, Upravljanje resursima u višeprolaznim proizvodnim linijama sa slobodnim odabirom zadataka, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.

[32] D. Miklić, Koordinirano upravljanje formacijama mobilnih robota zasnovano na diskretizaciji prostora, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.

[33] T. Petrović, Centralized Control of Variable Structure Multi-vehicle Systems Based on resource Allocation, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2014.

[34] M. Orsag, Hybrid Adaptive Control System with Augmented User Interaction for Stable Aerial Manipulation, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2014.

[35] M. Filipović, Strategija oporavka od zastoja robotizirane radne stanice zasnovana na matricama kvalitete tretmana i stope kvarova, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.

[36] T. Haus, Control of multirotor unmanned aerial vehicle based on moving mass concept, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.

[37] K. Griparić, Decentralizirani višeagentski sustav za interakciju sa zajednicom pčela zasnovanu na algoritmu konsenzusa, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2018.

[38] Z. Vrhovski, Sustav za procjenu i kompenzaciju razlike duljina nogu radi postavljanja ljudskoga tijela u ravnotežu, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2019.

[39] M. Gašparović, Radiometrijsko izjednačenje tekstura fotorealističnih 3D modela, doktorska disertacija, Zagreb: Geodetski fakultet, 2015.

[40] V. Miljković, Prostorna kalibracija multispektralnih i hiperspektralnih senzora u blizupredmetnoj fotogrametriji, doktorska disertacija, Zagreb: Geodetski fakultet, 2017.

[41] I. Racetin, Detekcija anomalija na hipespektralnim i višespektralnim digitalnim snimkama minski sumnjivog područja, doktorska disertacija, Zagreb: Geodetski fakultet, 2020.

[42] L. Jurjević, Razvoj metodologije procjene strukturnih varijabli pojedinačnih stabala i primjernih ploha temeljem podataka blizupredmetnih daljinskih istraživanja, doktorska disertacija, Zagreb: Geodetski fakultet, 2021.

[43] M. Deur, Razvoj nove metodologije za klasifikaciju šumskoga pokrova primjenom satelitskih snimaka visoke rezolucije, doktorska disertacija, Zagreb: Geodetski fakultet, 2021.

[44] F. Šuligoj, Spatial patient registration in robotic neurosurgery, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2018.

[45] J. Vidaković, Model of robot task learning based on human-robot interaction, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2020.

[46] A. Poljičak, Zaštita vlasništva reproducirane slike umetanjem digitalnog vodenog žiga, doktorska disertacija, Zagreb: Grafički fakultet, 2011.

[47] J. Dolić, Model grafičkoga znakovnoga sustava za osobe sa složenim komunikacijskim potrebama, doktorska disertacija, Zagreb: Grafički fakultet, 2014.

[48] A. Agić, Poboljšanje korisničkoga iskustva u virtualnoj stvarnosti postavljanjem parametara oblikovanja scene i načina kretanja, doktorska disertacija, Zagreb: Grafički fakultet, 2021.

[49] Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, »Laboratorij za videokomunikacije,« http://www.vcl.fer.hr/hr/.

[50] E. Dumić, Objektivna mjera kvalitete slike utemeljena na višerezolucijskoj analizi, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2011.

[51] D. Tralić, Detekcija kopiranih područja na digitalnim slikama analizom statističkih svojstva slika, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2015.

[52] A. Bjelopera, Uklanjanje degradacije slike primjenom statističkoga modela prirodne scene i percepcijske mjere kvalitete slike, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2016.

[53] K. Šakić, Subjektivno vrednovanje kvalitete prikaza 3D videosekvenci utemeljeno na masovnom ispitivanju putem Interneta, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2016.

[54] G. Gvozden, Objektivna mjera kvalitete zamućenih slika zasnovana na percepcijski bitnim značajkama u prostorno-frekvencijskoj domeni, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2018.

[55] E. Cetinić, Računalno otkrivanje stilskih obilježja slikarskih djela utemeljeno na analizi značajki slike više razine, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2019.

[56] K. Delač, Raspoznavanje lica u domeni kompresije, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2007.

[57] M. Muštra, Segmentacija mamograma i detekcija mikrokalcifikacija adaptivnim poboljšanjem kontrasta, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.

[58] N. Mešanović, Računalno potpomognuta automatska segmentacija slika pluća dobivenih računalnom tomografijom i primjena na praćenje razvoja bolesti, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.

[59] J. Božek, Registracija bilateralnih mamograma i analiza lezija iz vremenski odmaknutih digitalnih mamograma, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.

[60] Ž. Tabaković, Dodjeljivanje frekvencija u spoznajnom radiju uporabom metode sekvencijalnoga bojanja grafova, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2016.

[61] Fakultet elektrotehnike i računarstva, »Laboratorij za raspoznavanje uzoraka i biometrijske sigurnosne sustave,« Fakultet elektrotehnike i računarstva, http://rubioss.zemris.fer.hr.

[62] A. Lagumdžija-Kulenović, Jezik za upravljanje bazom znanja tipa okvira temeljen na proširenom relacijskom modelu podataka, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 1985.

[63] B. Dalbelo-Bašić, Prikaz znanja uporabom neizrazitih i vremenski neizrazitih Petrijevih mreža, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 1997.

[64] Z. Kalafatić, Praćenje objekata uporabom rijetkog optičkog toka, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 1999.

[65] M. Maletić, Kvalitativno modeliranje i zaključivanje o ponašanju objekata u sustavu dinamičkog vida, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2002.

[66] S. Šegvić, Višeagentsko praćenje objekata aktivnim računarskim vidom, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2004.

[67] H. Šupić, Sustav s koračnim zaključivanjem temeljenim na pohranjenim slučajevima, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2005.

[68] S. Martinčić-Ipšić, Raspoznavanje i sinteza hrvatskoga govora kontekstno ovisnim skrivenim Markovljevim modelima, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2007.

[69] T. Hrkać, Prikaz neizrazitog prostorno-vremenskog znanja temeljen na Petrijevim mrežama visoke razine, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2009.

[70] I. Fratrić, Biometrijska verifikacija osoba temeljena na značajkama dlana i lica dobivenim iz video sekvenci, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2011.

[71] M. Ivašić-Kos, Sustav za označavanje, tumačenje i pretraživanje slika utemeljen na znanju, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2012.

[72] D. Marčetić, Model baze znanja s biološki inspiriranim postupcima zaključivanja, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.

[73] M. Pobar, Sinteza hrvatskoga govora utemeljena na odabiru jedinica i stohastičkim modelima, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2014.

[74] L. Maleš, Modeliranje višeagentnog dinamičkog sustava, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.

[75] B. Šnajder, Upravljanje potrošnjom energije u bežičnoj mreži kamera visoke razlučivosti za periodički nadzor okoliša, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2016.

[76] K. Brkić, Structural analysis of video by histogram-based description of local space-time appearance, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.

[77] V. Zadrija, Lokalizacija objekata odozdo prema gore primjenom Fisherovih vektora, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.

[78] I. Sikirić, Improving fleet management systems by computer vision, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2019.

[79] I. Krešo, Konvolucijska arhitektura za učinkovitu semantičku segmentaciju velikih slika, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2021.

[80] M. Oršić, Učinkovita semantička segmentacija slike piramidnom fuzijom, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2021.

[81] »Laboratorij za daljinska istraživanja i geoinformacijske sustave,« Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, https://www.sumfak.unizg.hr/hr/strucni-rad-i-usluge/laboratoriji-sumarskog-odsjeka/laboratorij-za-daljinska-istrazivanja-i-gis/.

[82] A. Seletković, Usporedba digitalne i vizualne interpretacije satelitske snimke visoke rezolucije, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2007.

[83] D. Klobučar, Umjetne neuronske mreže u daljinskim istraživanjima za potrebe uređivanja šuma, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2008.

[84] D. Štorga, Prostorna analiza varijabilnosti elemenata strukture državnih i privatnih šuma pomoću GIS-a, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2008.

[85] M. Ančić, Primjena multispektralnih i hiperspektralnih snimaka u procjeni oštećenosti obične jele (Abies alba Mill.) i detekciji imele (Viscum album L. ssp. abietis /Weisb./ Abrom.), doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2011.

[86] J. Kolić, Procjena oštećenosti krošanja na analognim i digitalnim infracrvenim kolornim (ICK) aerosnimkama uz određivanje najpovoljnije veličine uzorka, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2015.

[87] I. Balenović, Mogućnost primjene digitalnih aerofotogrametrijskih snimaka različitih prostornih rezolucija u uređivanju šuma, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2011.

[88] A. Berta, Procjena šumske biomase pomoću lidar tehnologije u degradiranim šumama brežuljkastoga i nizinskoga vegetacijskog pojasa u središnjoj Hrvatskoj, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2017.

[89] »Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku,« Fakultet elektrotehnike i računarstva, https://lamor.fer.hr.

[90] E. Ivanjko, Autonomna navigacija mobilnih robota zasnovana na ultrazvučnim senzorima udaljenosti, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2009.

[91] M. Brezak, Localization, Motion Planning and Control of Mobile Robots in Intelligent Spaces, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.

[92] A. Kitanov, Pose estimation of mobile robots in partially and completely unknown environments, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.

[93] D. Kukolja, Estimator emocionalnih stanja u stvarnom vremenu zasnovan na dubinskoj analizi fizioloških signala, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2012.

[94] I. Marković, Moving objects detection and tracking by omnidirectional sensors of a mobile robot, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2014.

[95] J. Ćesić, Multiple moving objects tracking based on random finite sets and Lie groups, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.

[96] K. Lenac, Simultaneous mobile robot localization and three-dimensional modeling of unknown complex environments in real time, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.

[97] I. Cvišić, Vizualna odometrija u stvarnome vremenu za robusnu navigaciju u nepoznatim složenim okruženjima, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2018.

[98] J. Peršić, Extrinsic and temporal calibration of heterogeneous mobile robot exteroceptive sensor systems, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2021.

[99] »Laboratorij za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina,« Fakultet elektrotehnike i računarstva, https://www.fer.unizg.hr/sharklab.

[100] M. Đonlić, Trodimenzionalna analiza površine leđa pri dinamičkim uvjetima u dijagnostici skolioze, doktorska disertacija, Zagreb, 2019.

[101] M. Lelas, 3D reconstruction system on smartphone, doktorska disertacija, Zagreb, 2017.

Razvoj distribuiranog računarstva u Centru za informatiku i računarstvo IRB-a

Karolj Skala

redoviti član HATZ-a, Centar za informatiku i računarstvo, Institut Ruđer Bošković
skala@irb.hr

Sažetak: *Od otkrića tranzistora do suvremenih računalnih sustava ostvaren je golem tehnološki napredak. Prijelaz tisućljeća rezultira razvojem distribuiranog računarstva. Pokrenut je razvoj paralelizacije rada računala u novim mrežnim okolnostima za rješavanje složenih izračuna pomoću paraleliziranih algoritama i programskih paketa. Tako su stvoreni složeni računalni sustavi u obliku klaster-računala. Spajanjem više klaster-računala preko brze mreže uspostavljeno je Grid računarstvo. Razvoj distribuiranog računarstva je nametnut sa strane nove znanstvene metodologije rješavanja kompleksnih problema koji su zahtijevali veliku računalnu snagu. Stoga, prije 20 godina na Institutu Ruđer Bošković osnovan je Centar za informatiku i računarstvo koji je u svojoj misiji zacrtao razvoj napredne računalne infrastrukture s naprednim primjenama od lokalnih do globalnih razmjera. U ovom radu navodi se retrospektivni iskaz razvojnih postignuća u prethodnom razdoblju.*

Ključne riječi: *klaster računalo, grid računarstvo, cloud servisi, dew computing, rainbow servis, ICST*

1. Uvod

U vrijeme osnivanja Instituta Ruđer Bošković (IRB) 1950. u svijetu se dogodilo najveće tehnološko otkriće u tehničkim znanostima nazvano – *tranzistor*. To slučajno otkriće pri jednom laboratorijskom eksperimentu mjerenja otpora poluvodiča dovelo je do nove inovativne tehničke procesne paradigme koja je promijenila svijet.

Suvremena računalna znanost počinje *Johnom von Neumannom* koji je stvorio jasnu računalnu procesnu strukturu i povezao je s matematičkim modelima koji su kasnije postali nezaobilazni u rješavanju svih znanstvenih problema. Na IRB-u, u odjelu za Elektroniku, vrlo su rano shvatili da temeljni obradni instrumentalni okoliš treba

graditi na principu digitalnih računalnih sustava koji imaju ulazno-izlazne jedinice, procesnu i memorijsku jedinicu. Tako je nastao 1958. godine 256 kanalni analizator kao jedno od prvih mjerno-procesnih računalnih sustava na svijetu, koji je prodan u nekoliko značajnih znanstvenih instituta, a daljnji je razvoj prof. *Branko Souček* nastavio u Brookhaven National Laboratory u SAD-u.

Slika 1: Prvo znanstveno obradno računalo s feritnom memorijom u Republici Hrvatskoj i šire

Prva je izvedba ostvarena elektroničkim cijevima, a kasnije tranzistorima. Memorija je realizirana torus-feritnim jezgricama kapaciteta 2 kB. To laboratorijsko procesno računalo koristilo se u mnogim znanstvenim istraživanjima vezanim za nuklearnu tehnologiju.

U prethodnom vremenskom slijedu ostvaren je fascinantan tehnološki razvoj koji se odvijao u dekadskim pragmatičnim tehnološkim skokovima, prikazanim na sl.1. Nakon razvoja napredne digitalne tehnike, ostvarenjem *procesora*, ubrzava se razvoj ICT tehnologije, što ima jak utjecaj na razvoj i znanstvenu primjenu računalnih sustava u svijetu. Taj je eksponencijalni razvoj išao u smjeru ubrzanja računalnog takta, povećanja memorijskog kapaciteta i skokoviti rast brzine digitalne mrežne komunikacije. Tako su se 2000. godine svi parametri izjednačili, i to na Giga razini pa sam to nazvao G-fenomen [1], što je zapravo bio preduvjet za razvoj distribuiranog računarstva u svijetu. Od toga smo se trenutka u Centru za informatiku i računarstvo intenzivno uključili u razvoj Clouster, Grid i Cloud paradigme unatrag 20 godina.

Slika 2: Pragmatični dekadski skokovi razvoja računarstva

Važno je povući paralelu između razvoja računarstva i izgradnje računalne infrastrukture u Hrvatskoj. To je zorno prikazano na sl. 3. Iskaz je proveden od 1950. i prvo značajno ostvarenje bilo je 256 kanalni analizator (IRB, 1959). Nakon pojave prvoga većeg računala od firme Scientific Data Systems kupljeno je iste godine (1966.) SDS 940 računalo i osniva se *Računalni numerički centar* na IRB-u zajedno s PMF-om i Končarom. Bilo je zaposleno 9 programera koji su u Fortranu radili prve aplikacijske programe. Značajan je trenutak bilo osnivanje Sveučilišnoga računalnog centra (1971.), kada su SDS 940 i velik broj programera s IRB-a preselili u SRCE. Nakon toga krenuo je sustavni razvoj računarstva predvođen stručnjacima s ETF-a (današnjeg FER-a). Vremensko odvijanje je opet iskazano u vremenskim skokovima, sl. 3.

Slika 3: Razvoj računarstva u Republici Hrvatskoj

2. Razvoj klaster-računala

Zbog naglog razvoja informacijskih i komunikacijskih tehnologija (ICT) 2000. godine inicirao sam osnivanje *Centra za informatiku i računarstvo* (CIR), uz podršku dr. Milivoja Boranića, tadašnjeg ravnatelja Instituta Ruđer Bošković, koji je prepoznao potrebu. Time je započet sustavni razvoj mrežnog računarstva na IRB-u. Skupina znanstvenika (fizičara, kemičara i računaraca), u suradnji sa sistem-inženjerima CIR-a, 2001. godine započela je razvoj prvog kluster-računala u Hrvatskoj, što je povećalo računalnu moć i ubrzalo izračune kod rješavanja složenih problema. Instalirano je pet osobnih računala (PC) Intel Pentium III procesorima, pod Linux Red Hat distribucijom, i sustav ROCKS za upravljanje jednim frontalnim i četiri radna čvora, spojenih u MPI paralelni rad, što je predstavljalo IRB pilot-klaster. Institut je financirao 60% troškova, a ostatak je osiguran od strane voditelja 42 znanstveno-istraživačka projekata (tada su se nazivale teme). Slijedio je sustav za monitoring Ganglia i izrađena je web-stranica za pristup, sa svim uputstvima za korištenje. Tijekom tromjesečnog razvoja i uspostave pilot-klastera uveden je sustav za redoslijed posluživanja (Queuing PBS Pro, Maui scheduler). Znanstvenici su s velikim interesom počeli koristiti klaster-računala za složene simulacijske izračune; na osnovi novih potreba i dobrih rezultata ravnatelj je odobrio kupovinu dodatnih 10 PC računala, čime je računalni klaster 2002. godine dodatno proširen. Za potrebe izgradnje „Pilot Clustera“, razvijen je DCC – *Distributed Cluster Components* (2004. godine) programski paket, prvi integrirani konfiguracijski alat na bazi RedHat Operacijskog sustava za uspostavu i funkciju klaster-računala.

Slika 4: Prvo pilot-klaster računalo na IRB-u

Potaknut mogućnostima nove računalne infrastrukture u pružanju ubrzanja izračuna, povećanja znanstvene kvalitete, a time i produktivnosti, Institut se 2003. godine obratio Ministarstvu znanosti i tehnologije (MZT), Upravi za informatizaciju, sa zamolbom da sufinancira znatno proširenje pilot-klastera na IRB-u. MZT je odobrilo financiranje izgradnje većeg klastera, ali u sklopu Sveučilišnoga računskog centra (SRCE), Sveučilišta u Zagrebu. Uz podršku sistem-inženjera IRB-a instalirano je prvo klaster-računalo na SRCU, preteča današnjega slavnog računala visokih performansi (HPC) pod imenom *Isabella*.

3. Razvoj i uspostava Grid računarstva

Slijedi razdoblje u kojem se IRB preusmjerava prema Grid računarstvu. Pokrenuta je 2000. godine izgradnja Kampus LAN mreže. Izrađen je projekt mreže s magistralnim optičkim povezivanjem dvaju glavnih čvorišta i strukturnim povezivanjem 1.200 mrežnih priključnih mjesta, prema međunarodnom standardu ISO/IEC 11801 za vertikalno i horizontalno kabliranje velikih mrežnih sustava. U suradnji s tvornicom kabela Elka, izrađen je *hibridni optički kabel* s dvama optičkim prozorima (850 i 1310 nm). Prema našem dizajnu, tvornica Elka tehnološki je oblikovala, proizvodno realizirala i donirala namjenski (*custom*) optički kabel za povezivanje 21 objekata unutar Instituta, koji je činio kampus-optičku okosnicu. Predviđena brzina prijenosa informacija u multimodnim (MM) optičkim vlaknima iznosila je 1 Gb. U postavljenim optičkim vodovima, na fizičkoj je razini osiguran prijelaz na jednomodnu (*singl mode*, SM) aktivnu opremu za brzine prijenosa do Tb. Dodatno, uz paralelnu redundanciju optičkih niti (50%) osigurani su uvjeti za konfiguracijske i topološke zahtjeve budućih Grid i P2P (*Peer to Peer*) aplikacija. Na temelju evaluacije izgrađene mreže odobren nam je i visok akademski popust od 39% od strane tvrtke Cisco System Inc., što je omogućilo izgradnju kampus LAN-a, namjenski projektiranog da zadovolji sve potrebe distribuiranog računarstva. IRB optička mreža puštena je u pogon 2002. godine, uz demonstraciju prijenosa preko WLAN-a i novoizgrađene napredne mrežne infrastrukture, s panoramskim slikama kampusa iz aviona koji je kružio iznad IRB-a.

Izgradnja kampus-mreže visoke propusne moći s malom latencijom pokrenula je inicijativu prema Grid računarstvu. Mrežno ili Grid računalstvo često se predstavlja u analogiji s električnim mrežnim sustavom u kojem korisnici (ili električni uređaji) imaju pristup električnoj energiji putem (zidnih) spojnih mjesta, ne vodeći računa gdje i kako se proizvodi električna energija. Na sličan način, u mrežnom računarstvu pojedini korisnici (*clients/agiles*), prema potrebama pristupaju računalnim resursima (procesorima, pohrani, podacima, aplikacijama itd.), neovisno gdje se resursi nalaze ili tehnologiji koja se koristi.

Grid računarstvo, kao integracija različitih tehnologija i rješenja, s paralelnim radom više raspoređenih računala, predstavlja distribuiranu računalnu infrastrukturu, a Otvoreni standardi osiguravaju da aplikacije mogu transparentno koristiti sve prikladne resurse koji su na raspolaganju.

Okruženje distribuiranog računarstva zahtijeva i tehnologije i standarde u područjima planiranja, sigurnosti, računovodstva, upravljanja sustavima itd. Virtualizacija počinje mogućnošću rastavljanja sustava na virtualne podsustave. Virtualizacija se ne odnosi samo na poslužitelje i CPU već i na pohranu, mreže, resurse i aplikacije. Tako se došlo do *virtualnih organizacija*, kao potpuno nove paradigme u dijeljenju resursa i uspostavi suradnje, što kasnije dovodi do virtualizacija poduzeća i uspostave pametnih poduzeća te pametnih proizvodnih ekosustava.

Usporedo s intenzivnim razvojem Grid računarstva 2000. godine, susrećemo se s G-fenomenom [1], trenutkom kada se brzina rada računala izjednačila s brzinom prijenosa podataka preko mreže, i to s Giga veličinom na nivou podataka (GHz i GBit), detalji na sl. 2.

Razvoj Grid računarstva otvorio je put prema *eScience tehnologiji* sudjelovanjem u provedbi nacionalnih i EU okvirnih projektnih nizova. eScience centri započinju osnivanjem u Ujedinjenom Kraljevstvu (UK), uz pomoć IBM-a, što me navodi da stupim u kontakt s IBM-om Hrvatska.

„Početkom prvog desetljeća 2000-te pojavio se koncept 'grid computing' koji je tada bio nešto vrlo novo. Nudio je ogroman potencijal u iskorištavanju računalne snage procesora, koja je većinom bila neiskorištena pošto je brzina perifernih uređaja, koja su hranila procesore zadacima i podacima, nekoliko redova veličina manja od brzine procesora i njihovog kapaciteta za procesiranjem tih istih zadataka i podataka. Taj koncept je još nazivan i 'utility computing' jer je cilj bio kreiranje računalne mreže distribuiranih uređaja s ciljem korištenja sličnom korištenju električne mreže (odatle i naziv 'grid'). IBM je odmah prepoznao i promovirao potencijal grid koncepta koji je uz to bio razvijen na open sourceu. U Hrvatskoj je u to vrijeme, koliko je meni poznato, IRB, predvođen dr. Karoljem Skalom, jedini vidio potencijal u grid-konceptu. Tako je došlo do poziva u IBM-ov Hursley labaratorij u Velikoj Britaniji te suradnje koja je postavila temelje izgradnje CRO-GRID-a."

Ivan Vidaković, direktor IBM Hrvatske (2001. – 2009.)

IBM-ov međunarodni istraživačko-razvojni laboratorij u *Husrleyju, Hampshire*, odigrao je značajnu ulogu u razvoju softverskih tehnologija od 1950. godine. Predvodnici su Grid-tehnologije i u vrijeme kad smo započeli suradnju razvijali su mrežu *eScience* centara u Engleskoj. Cilj posjeta je bio definiranje tehnologije, arhitekture i postupaka za razvoj nacionalne Grid-infrastrukture u Hrvatskoj. Radnu skupinu je

predvodio direktor *dr. Dave Watson*, a osim mene, bili su nazočni *dr. Daron Green*, IBM Grid razvojni strateg, *prof. dr. Mike Surridge* i prof. *Syd Chapmann s University of Southampton*. Razrađen je detaljan razvojni plan da se uspostavi „Campus Grid", mreža koja povezuje IRB (klaster 32 čvorova), Institut za fiziku (klaster 10 čvorova) i Medicinski fakultet na Šalati (klaster 10 čvorova). Preporučena je primjena Globus middleware otvorenog koda. Slijedila je druga faza, uspostava Grid-infrastrukture na nacionalnoj razini pod nazivom *CRO-GRID* primjenom Globus Toolkit v3 (OGSA), za čije bi se povezivanje koristio CARNET gigabitna *backbone* mreža. Kao treća faza, predviđen je razvoj paralelnih aplikacija na CRO-GRID infrastrukturi, gdje je ponuđena suradnja s *Knowledge Gridom*, razvijenim na Sveučilištu u Beču u suradnji s IBM GRID EMEA. Iskazana je podrška u konzultaciji i kratkotrajnoj edukaciji u IBM-u Hursley.

Na temelju stanja tehnologije u svijetu, stečenih saznanja i preporuka, predsjedniku Akademije tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ), *prof. Juraju Božičeviću* predstavio sam projektni prijedlog, koji je u potpunosti podržao, posebno ističući korisnost izgradnje nacionalnog Grid-sustava. Na Svečanoj skupštini 2003. Godine, u povodu desete godišnjice osnivanja i djelovanja Akademije, objavljen je Proglas za tehnološki razvoj od 7 točaka. Pod točkom 3 za stvaranje istraživačke infrastrukture posebice se ističe podrška za uspostavu CRO-GRID infrastrukture.

Dobra suradnja nastavljena je i u fazi realizacije CRO-GRID-a, a profesori sa Southampton Sveučilišta sudjelovali su i na Sveučilišnoj regati ELMAR u Zadru, predvođeni *prof. Syd Chapmanom* 2002. i 2003. godine. Regate su bila sportska događanja na kojima smo svake godine razvijali i testirali nove mrežne multimedijske komunikacijske paradigme. Prvi virtualni prijenos regate preko web-a [2] ostvarili smo 1996. godine.

Nakon nekoliko stručnih rasprava i usklađivanja, pokrenut je trogodišnji složeni tehnologijski istraživačko-razvojni projekt Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa pod nazivom CRO-GRID. Pokrenuta je izrada poli-projekta s tri projektne sastavnice: CRO-GRID Infrastruktura, glavni istraživač *Dobriša Dobrenić* (SRCE), CRO-GRID Posrednički sustav, glavni istraživač *prof. Siniša Srbljić* (FER) i CRO-GRID Aplikacije, glavni istraživač *prof. Karolj Skala* (IRB). Tehnologijsko vijeće je odobrilo CRO-GRID poli-projekt 20. studenoga 2003. godine pa je započela realizacija trogodišnjeg programa, a *prof. Leo Budin* obnašao je dužnost skupnog koordinatora. Cilj je bio sagledati optimalnu tehnološku, programsku, topološku i aplikacijsku osnovu za izgradnju nacionalnog Grid-sustava za potrebe znanstveno-istraživačkog rada. CRO-GRID je bio najveći tehnologijski projekt u Hrvatskoj u iznosu od 14 milijuna kuna, s velikim brojem istraživača sa SRCA, FER-a i IRB-a, koji je dodatno objedinio suradničke institucije u primjeni; PMF i FPZ iz Zagreba te FESB iz Splita; ukupno 26 istraživača kao buduće pilot-korisnike CRO-GRID-a. Rezultat projek-

ta je bila izgradnja CRO-GRID nacionalne distribuirane računalne infrastrukture sa sjedištima na SRCU, IRB-u, na Građevinskom fakultetu u Rijeci, Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu i Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Na tim sjedištima su postavljena *blade cluster* računala sa 38 CPU-a, 1,2 TB diska, instaliran posrednik Globus v3 i povezan s CARNET Gb mrežom, te sa spojem na međunarodnu GEANT mrežu, brzinom od 1,2 GB.

Slika 5: CRO-GRID nacionalna mrežno-računalna infrastruktura

4. EU Okvirni projektni nizovi (FP6, FP7, Horizon 2020)

Sljedeći značajan događaj je bio uspostava prvoga međunarodnog Grid-sjedišta (čvora) na IRB-u 2004. godine. U vrijeme kad još Hrvatska nije bila kandidat za EU, uspjeli smo postati partneri u *SEEGRID EU*, prvom okvirnom projektu FP6 u HR financiranom EU sredstvima. Cilj je projekta bio izgradnja jugoistočne Grid-infrastrukture, a rezultat uspostava SEEGRID čvora na IRB-u.

Iz Data GRID-a 2001. godine nastao je EGEE (Enabling Grids for E-sciencE) koji je u više od tri uzastopne projektne faze do 2010. godine uspio objediniti 200.000 CPU jezgri, suradnički povezati 300 centara u svijetu. Kao rezultat, na EGEE Gridu obavljalo se 13 milijuna znanstvenih izračuna mjesečno.

Slika 6: EU Projektni niz CIR-a

S obzirom na postojanje nacionalne CRO-GRID infrastrukture i potrebe znanstvenika za eScience tehnologijama, pojavila se potreba da se Hrvatska uključi u EGEE zajednicu, što, osim provođenja složenih izračuna, uključuje i uspostavu te korištenje virtualnih organizacija. U sklopu održavanja Hypermedia and Grid Systems (HGS) savjetovanja na MIPRO konvenciju u Opatiji 2004. godine pozvao sam kao predavača *dr. Boba Jonesa*, direktora IT odjela u CERN-u i voditelja EGEE projekta. Održali smo sastanak na kojemu je bio nazočan i predstavnik SRCA te dogovorili da se Hrvatska uključi u EGEE kao zajednička istraživačka skupina JRU (Joint Research Unit) iz CRO-GRID projekta. Tako je Hrvatska postala dio EGEE projekta pod koordinacijom IRB-a i nedugo nakon toga je 2005. godine instaliran prvi klaster u EGEE Grid-sustavu iz Hrvatske, kao aktivni čvor u ERA, kad SRCE preuzima daljnje vođenje EGEE 2 projekta.

Slika 7: EU EGEE računalna mreža

Na temelju stečenih iskustava iz upravljanja raspodijeljenih računalnih sustava na CRO-GRID-u 2009., u sklopu poziva EU FP7 okvirnog programa, pripremljen je projektni prijedlog COMANDS - *Configuration Management for Distributed Systems* s koordinacijom IRB-a uz 11 partnera. Taj projektni prijedlog je bio dobro ocijenjen i ušao je u razmatranje među 20 projekata za financiranje. Prvi čovjek Grid-razvoja u EU, *dr Bob* Jones, dao je podršku i našem COMANDS projektnom prijedlogu, koji je, nažalost, iz organizacijskih razloga isključen iz financijske podrške u završnoj fazi usklađivanja.

Nakon uspješnog završetka 3 EGEE projektna niza, stvorena je nova organizacija za nastavak koordinacije i razvoja *Europske Grid Infrastrukture* (EGI) s EGEE Gridom kao temeljnom infrastrukturom. Ovaj je prijelaz važan korak u osiguranju pristupa europskoj istraživačkoj distribuiranoj računalnoj infrastrukturi kako bi zadržao svoju vodeću poziciju u istraživanju te podržao svoj rad na globalnoj razini suradnje dugi niz godina. EGI je dugoročna organizacija na nacionalnom federalnom principu koja ne ovisi o kratkoročnim projektnim ciklusima financiranja, nego se uvodi nacionalna članarina. Podržavaju ga nacionalne mrežne infrastrukture po federalnom principu, kao građevni blokovi Pan-europske Grid mreže.

U sklopu novoga okvirnog programa Horizon 2020 pokrenut je EGI-Engage (*Engaging the Research Community towards an Open Science Commons*), projekt koji okuplja 43 partnera iz cijele Europe, SAD-a i šest zemalja u azijsko-pacifičkoj regiji, u kojem sudjeluju SRCE i IRB. Projekt EGI-Engage trajao je 30 mjeseci, od ožujka 2015. do kolovoza 2017., s misijom proširenja sposobnosti okosnice udruženih usluga za računanje, pohranu podataka i komunikaciju. EGI-Engage je također oblikovao put do novog projekta EOSC-Hub, usmjerenog na izgradnju kontaktne točke (Hub) na europskoj razini za istraživače i inovatore za korištenje širokog spektra resursa za napredna istraživanja temeljena na podacima (*Big Data*). U sklopu projekta je uspostavljena i suradnja s korisničkim zajednicama kroz osam centara kompetencija, od kojih je jedan centar kompetencije DARIAH (*Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities*), koji je u ime nekoliko europskih partnera u projektu koordinirao IRB Centar za informatiku i računarstvo Instituta Ruđer Bošković. Tako je EGEE preko EGI-a doveden do EOSC Hub (European Open Science *Cloud*) okruženja kao nove značajne znanstvene računalne infrastrukture za potrebe znanstvenog rada koji podržavaju napredne Oblačne (*Cloud*) servise i Virtualne organizacije (VO) iz mnogih znanstvenih disciplina.

5. Napredni distribuirani servisi

Centar za informatiku i računarstvo razvijao je razne primjene i servise u području distribuiranog računarstva. Usmjeravao se prema znanstvenim Cloud servisima. Tako je 2014. godine dijelom stvoren *CloudMan servis*, danas na *Johns Hopkins*

University, kao *Galaxy Cloudman*, jedan od najpoznatijih bioinformatičkih servisa današnjice.

Brzim razvojem fiksnih i mobilnih senzora, efektora i složenih upravljačkih uređaja, mnogi bez, a neki s internetskom vezom, postaje tendencija da se najznačajnija količina obrade informacija svuda oko nas obavlja na najnižoj mogućoj razini, izravno povezana s internetom. Ove "ugrađene" uređaje za obradu informacija nalazimo u svemu (automobilima, klima-uređajima, rasvjeti, automatima, kontroli prometa...), a također u sveobuhvatnim proizvodima u cijeloj industriji. Ovi uređaji, koji nisu ni na rubu oblaka/magle, čak ni na mobilnom rubu ili čak na rubu interneta, već na fizičkom rubu računalstva, temelj su paradigme *Dew Computing* [3]. *Dew Computing* prvenstveno je orijentiran na uređaje za kontrolu ljudskog okoliša na fizičkom rubu, gdje ljudska kontrola okoline mora imati prednost nad mogućim zahtjevima više razine, ili barem biti usklađena s njima, bez ometanja neposrednog ljudskoga okruženja. To je razlog zašto u *Dew Computingu* postoje dva osnovna pojma, koja ne postoje u ostatku hijerarhije, u magli i u oblaku: *samodostatnost i suradnja*.

Dajući veliki značaj distribuiranim, skalabilnim servisima, razvila se vertikalna servisna hijerarhija *Dew-Fog-Cloud-Rainbow* kao objedinjena servisna paradigma. Osnovana je IEEE virtualna razvojna skupina *IEEE DewCom STC* koja broji više od 200 članova, koji rade na toj novoj tematskoj paradigmi.

Horizontalna skalabilnost je pristup povećanju kapaciteta koji se oslanja na povezivanje više hardverskih ili softverskih entiteta tako da rade kao jedna logička distribuirana uslužna jedinica. Horizontalna skalabilnost često se naziva skaliranjem i proširuje funkcionalnu sposobnost sloja sustava. Horizontalna skalabilnost može se suprotstaviti vertikalnoj skalabilnosti koja povećava kapacitet dodavanjem složenijih resursa i funkcionalnih sposobnosti za napredne aplikacije.

Slika 8: Od Rose do Duge kao Globalnoga servisnog sustava (Dew-Fog-Cloud-Rainbow- Smart Service System)

Kada se usvoji distribuirana arhitektura usluge *Cloud-Fog-Dew*, poslužitelj u oblaku i mnogi *Dew* poslužitelji surađivat će kao distribuirana aplikacija za pružanje kontrola ili usluga. Nekoliko oblaka u simbiozi rezultiraju *Cloud* federacijom, međusobno povezujući okruženja usluga u oblaku. Takve povezane Cloud usluge, podržane od strane HPC-a, kao federalni lanac usluga, predstavljaju globalnu *Rainbow* uslugu.

Tendencija naše budućnosti je korištenje tri globalne mreže: *energetske mreže, informacijske mreže* (www) i *Smart Service System* (SSS) ili Rainbow Grid. Ekosustav priroda-čovjek-stroj u nastajanju, Rainbow Ecosystem [4], integrirajući sve tri spomenute distribuirane globalne mreže uz ekološki osviještenu suradnju s prirodom definirat će buduću tehničku civilizaciju i infrastrukturu za razvoj inteligencije priroda-čovjek-stroj na Zemlji, obilježavajući novu industrijsku revoluciju ekološke održivosti.

Međutim, s obzirom na sve društvene, političke, ekonomske i ekološke probleme s kojima se susrećemo, većinom zbog ponašanja naše civilizacije, svaka održiva budućnost koju želimo postići zahtijevat će velike napore na području obrazovanja, inovativnosti, savjesnosti i evolucijske kreativnosti, a poboljšanje postojećih rješenja ključno je za postizanje globalne ekologije. Inače mi, kao civilizacija, imamo male šanse za daljnju održivost. Tehnološka okosnica i zdravi globalni informacijski sustav WWW i napredni servisni sustav SSS.

Slika 9: Umjetna inteligencija na zemlji kao nadgradnja prirodne i ljudske inteligencije

Na IRB-u smo 2021. godine uspostavili EBSI čvor (European Blockchain Service Infrastrukture) za potrebe testiranja i primjene suvremenih Blockchain DLT aplikacija. Na taj način Hrvatska se priključila provedbi EU Blockchain partnership programu i okuplja SME tvrtke koje djeluju na tome tematskom području. Namjera je uvesti sigurne i djelotvorne servisne slojeve u novim naprednim aplikacijama i platformama.

6. ICST na IRB-u

Shvativši razvojne tehnološke tendencije u rješavanju kompleksnih problema za potrebe znanstvenih istraživanja, koje se temelje na širokoj skupini podataka i interakcija (Big Data), 2012. godine pokrenuli smo izradu strukturnoga investicijskoga

projektnog prijedloga za izgradnju novog objekta za Centar za informatiku i računarstvo i Zavoda za elektroniku na IRB-u. Idejni projekt bio je da se objedini prostorno, funkcionalno i resursno-računalna tehnologija i računalna znanost na IRB-u. Tako je nastao projekt *Mini blizanci*, dvaju objekata s poveznicom, jedan objekt za *računalnu tehnologiju* (mreža, bazični servisi, napredni *cloud* servisi, HPC, VO, *eScience* alati, multimedijske komunikacije) i u drugi objekt za *napredno računarstvo* (*data science*, umjetna inteligencija i računalni znanstveni ekosustavi). Izrađeni arhitektonski projekt s dokumentacijom je uključen u novi sveobuhvatni strukturni investicijski pothvat instituta, pod nazivom *Otvorene znanstvene infrastrukturne platforme* (O-ZIP), u kojemu računarstvo predstavlja jednu tehnološku platformu ICT proširenu znanstvenom komponentom; *Information Communication Science Technologies* (ICST). Veliki investicijski projekt od 64 milijuna Eura je započeo s provedbom 2021. godine.

7. Zaključak

Nakon 20 godina djelovanja *Centra za informatiku i računarstva*, počevši od prvog klaster-računala pa preko CRO-GRID projekta i 22 EU okvirnih projekata, u suradnji sa 165 istaknutih institucija u EU, usvojili smo *eScience* tehnologiju i dali tehnološku osnovu za razvoj *Data Science* i tako ubrzali razvoj AI-a u Hrvatskoj. Preko Centara izvrsnosti i kompetentnosti uključili smo „science“ u ICT u obliku **ICST** koji je postao jedan od 4 tematska pilara O-ZIP projekta, reizgradnje Instituta Ruđer Bošković.

Literatura

[1] Skala K.; Davidović, D.; Lipić, T.; Sović, I.: G-Phenomena as a Base of Scalable Distributed Computing – G Phenomena in Moor’s Law, *International Journal of Internet and Distributed Systems*, **V2** (1), 1-4 doi:10.4236/ijids.2014.21001. (2014)

[2] Skala K.: Integrated Media Communication Techniques, Retrospective of the Distributed Media Server Technology, *Kluwer Academic Publisher*, Ch 12, ISBN 1-4020-7552-9 (2003)

[3] Skala K.; Davidović D.; Afgan E.; Sović I.; Šojat Z.: Scalable distributed computing hierarchy: cloud, fog and dew computing, *Open Journal of Cloud Computing* (OJCC), **V2** (1). pp. 16-24. ISSN 2199-1987, (2016)

[4] Skala K.; Šojat Z.: The Rainbow Global Service Ecosystem, *Proceedings of the 3rd International Workshop on Dew Computing* (DewCom 2018), IEEE DewCom STC, Toronto, Canada, str. 25-30, (2018)

Laboratorij za automatiku i mjerenja (LAM) na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije

Nenad Bolf

član suradnik, Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, bolf@fkit.hr

Sažetak: *Laboratorij za automatiku i mjerenja (LAM) na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije (FKIT) Sveučilišta u Zagrebu čine laboratorijske instalacije sa suvremenim sustavom za vođenje koje obuhvaćaju tipične jediničnih operacija kemijske procesne industrije. Sve to podržano je najnovijom generacijom sustava za vođenje, simulacijskim softverima i cjelovitim softverskim rješenjem za postrojenja. Laboratorij nudi studentima, zaposlenicima i partnerima priliku za usvajanje temeljnih i naprednih znanja o procesnim mjerenjima i vođenju procesa primjenom najmodernije opreme i softvera. Osnovna namjena je educirati studente, doktorande i polaznike stručnih studija i cjeloživotnog obrazovanja o suvremenim mjernim uređajima, metodama vođenja procesa i analize mjernih podataka s postrojenja.*

U Laboratorij se provodi i europski strukturni projekt sa zadatkom naprednog vođenja procesa kristalizacije (CrystAPC) čiji je cilj, primjenom procesne analitičke tehnologije (PAT) razviti napredne metode vođenja procesa kristalizacije, kao i oformiti tim eksperata koji će provoditi primjenska istraživanja za industriju.

Ključne riječi: *procesna mjerenja, vođenje procesa, modeliranje procesa, dijagnostika procesa, optimiranje procesa, procesna analitička tehnologija, softverski senzori, edukacija*

1. Uvod

Brz razvoj, nove paradigme, inteligentni uređaji, industrijski internet stvari i velike količine podataka iz industrijskih procesa kontinuirano donose nove izazove. Sve to prepoznato je na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije (FKIT) Sveučilišta u Zagrebu na kojem se u Laboratoriju za automatizaciju i mjerenje (LAM) bavi istraživanjem i razvojem na području naprednog mjerenja, nadzora i dijagnostike, vođenja, modeliranja i optimizacije procesa. Osnovna namjena je poučiti studente, doktorande, polaznike stručnih studija i cjeloživotnog obrazovanja o suvremenim

mjernim metodama, vođenju procesa, sustavima za vođenje i optimizaciji. Cilj je razvijati i održavati suvremeni laboratorij za podučavanje studenata redovitih studija, specijalističkih studija, polaznika cjeloživotnog obrazovanja, kao i podržati kemijsku procesnu industriju u praćenju najnovijih trendova u automatizaciji i Industriji 4.0. Također je to potpora seriji edukacija što se provode za potrebe industrije iz područja automatskog vođenja, mjerenja i optimiranja sustava za vođenje.

U Laboratorija za automatiku i mjerenja provode se istraživanja i razvoj na području modeliranja, mjerenja, dijagnostike i vođenja procesa. U okviru djelatnosti projektiraju se sustavi za vođenje, dijagnosticira stanje procesa i procesne opreme, razvijaju softver senzori za procjenu ključnih veličina, optimiraju procesi i primjenjuju metode naprednog vođenja procesa. Pri tome je razvijena intenzivna suradnja s procesnom industrijom.

U posljednjih nekoliko godina FKIT je u suradnji s tvrtkom Siemens Hrvatska i partnerskom tvrtkom ARP Lučko, kao i tvrtkom PHB automatika izgradio ili modernizirao aparature za podučavanje mjerenja i automatskog vođenja procesa koje imaju praktičnu primjenu kao nastavna pomagala, ali i kao laboratorijski ekvivalenti industrijskih jedinica. Nastavnici i suradnici prepoznali su u tome izazove koje donose ubrzani razvoj sustava za vođenje, inteligentna osjetila, internet stvari te velike količine podataka iz industrijskih procesa, što je i vizija Industrije 4.0.

Također u nedavnom pokrenutom projektu Europskih strukturnih i investicijskih fondova krenulo je istraživanje pod nazivom *Napredno vođenje procesa kristalizacije* (engl. *CrystAPC - Crystallization Advanced Process Control*). Ono obuhvaća pristup projektiranju procesa nazvan QbD (engl. *Quality by Design*) i QbC (engl. *Quality by Control*) u kojemu se razvija proces i projektira napredno vođenje procesa kako bi se ostvarila visoka učinkovitost i ponovljivost eksperimenta i proizvodnih procesa.

Slika 1: Dio Laboratorija za automatizaciju i mjerenja s operatorskim sučeljem

Procesna analitička tehnologija (engl. *process analytical technology*, PAT) predstavlja način projektiranja, praćenja i vođenja proizvodnih procesa kontinuiranim mjerenjem ključnih pokazatelja kvalitete i rada procesa. Mjeriti se mogu svojstva sirovina, međuprodukata i produkata, a najčešće se mjere ključne veličine koje utječu na djelotvornost procesa i kvalitetu produkta. U ovom kontekstu pojam "analitički" može obuhvatiti kemijske, fizikalne, mikrobiološke i matematičke analize te analize rizika koje se, po potrebi, provode integrirano.

Procesna analitička tehnologija usvaja se u farmaceutskoj industriji, a sve se više primjenjuju u industrijskoj proizvodnji, no glavnu primjenu i dalje nalazi u istraživanju i razvoju. Cilj je bolje razumijevati proces u ranoj laboratorijskoj fazi razvoja te kasnije tijekom razvoja i uvećanja. Razvoj i primjenu PAT-a omogućuje sve veći broj podataka iz procesa i povezivanje s naprednim alatima za modeliranje. Nove tehnologije i nove primjene postojećih tehnologija proširile su PAT na praktički sve jedinične operacije u kojima se proizvode lijekovi, što omogućuje stvaranje novih znanja potrebnih za razvoj lijekova.

2. Organizacija Laboratorija za automatiku i mjerenja

Laboratorij za praktično obrazovanje sa sustavom za vođenje i laboratorijskim uređajima predstavlja tipične industrijske jedinice sa svim funkcionalnostima kao i na stvarnom postrojenju. U laboratoriju su smješteni serijski povezani protočno-kotlasti reaktori s plaštem, izmjenjivači topline, proces šaržne destilacije i šaržni reaktor, kao i niz laboratorijskih postava za procesna mjerenja i analizu dinamike procesa.

Sustav za vođenje

Na aparaturama je ugrađena suvremena oprema za mjerenje i vođenje poduprta sustavom SIMATIC PCS7 najnovije generacije, koji omogućava kontinuirano i učinkovito eksperimentiranje. Konkretno, instaliran je sustav za nadzor i vođenje procesa, oprema za mjerenje i vođenje, a ugrađeni su elektro-ormari i instalacije za povezivanje s laboratorijskim procesima. Uz to, SCADA sustav na četiri zaslona konfiguriran softverom WinCC nudi grafičko sučelje koje oponaša stvarni sustav za vođenje postrojenja.

Vođenje se temelji na regulatoru (kontroleru) Simatic S7-400 (CPU 414-3 PN/DP) s modulom za sučelje ET200M na Profibus DP. Arhitekturu sustava PCS7 čine ES/Master OS, Standby OS i regulator serije S7-400. Cjeloviti DCS (engl. *distributed control system*) i sigurnosno orijentirani sustav automatizacije (SAS) namijenjeni su primjeni i na velikim i malim postrojenjima.

Oprema je ugrađena u elektro-ormar i povezana s mjernim pretvornicima i aktuatorima. Za vođenje procesa konfiguriran je PCS 7 sustav najnovije generacije. Softver za vođenje i vizualizaciju razvijen je pomoću *Advanced Process Library* (APL).

Sustav za vođenje konfiguriran je tako da omogućuje primjenu svih temeljnih metoda vođenja procesa, kao i naprednih funkcija. Tako studenti i polaznici cjeloživotnog obrazovanja mogu upoznati funkcionalnu strukturu regulacijskog kruga, dinamiku

procesa, ulogu i funkciju regulatora, kako ugoditi regulator, potom osnovne i napredne metode vođenja procesa: vođenje povratnom i unaprijednom vezom, kaskadnu regulaciju, regulaciju omjera, podijeljenu regulacija, selektivnu regulacija, kao i viševeličinsko vođenje, kompenzaciju mrtvog vremena, kompenzaciju nelinearnosti i prilagodljivo vođenje. Tu su i teme o softverskim senzorima i inferencijskom vođenju i analiza rada izvršnih elemenata (regulacijskih ventila).

U tablici 1 dana je lista laboratorijskih vježba, pri čemu su istaknuti svrha i cilj koji se ostvaruju radom na pojedinoj vježbi, metode vođenja koje se primjenjuju i mjerna i regulacijska oprema koja se pri tome upoznaje i analizira.

Tablica 1: Laboratorijske vježbe iz područja vođenje procesa

Vježba	Proces	Svrha i cilj	Metode vođenja	Mjerna i regulacijska oprema
C-10	Spremnik kapljevine	Elementi regulacijskog kruga. Djelovanje regulatora.	Spremnik kapljevine	Elementi regulacijskog kruga. Djelovanje regulatora.
C-20	Serijski povezani izmjenjivači topline/reaktori	Osnovne metode vođenja	Serijski povezani izmjenjivači topline/reaktori	Osnovne metode vođenja.
C-30	Cijevni izmjenjivač topline	Vođenje procesa s raspodijeljenim veličinama stanja.	Cijevni izmjenjivač topline	Vođenje procesa s raspodijeljenim veličinama stanja.
C-40	Regulacija temperature i protoka.	PID	Regulacija temperature i protoka.	PID regultor.
C-50	Kompenzacija mrtvog vremena.		Kompenzacija mrtvog vremena.	

Slika 2: Struktura vođenja serijski povezanih reaktora/izmjenjivača topline

Mjerna pretvornici i mjerna tehnika

U laboratoriju se mogu upoznati i usvojiti načela rada mjernih pretvornika tlaka, temperature, razine i protoka koji se najčešće susreću u proizvodnji. Tu su i primjeri mjerenja kao što su mjerenje vodljivosti, pH, toplinskog toka, ali i analitički instrumenti. Svrha je prikazati osnovna mjerna načela i mjerne metode koje se susreću u industrijskoj praksi te podučiti kako odabrati, nadgledati i održavati rad mjernih pretvornika u suvremenim sustavima za vođenje.

U tu svrhu eksperimentalno se određuju osnovne karakteristike mjernih osjetila i pretvornika: dinamika osjetila, proračun linearnosti i histereze, osjetljivost pretvornika, klizanje karakteristike, ponovljivost i obnovljivost, kao i metode obrada i prijenosa signala te uklanjanja mjernih smetnji i šuma. Slijedi analiza mjerne pogreške i mjerne nesigurnosti.

Tablica 2: Laboratorijske vježbe iz područja procesnih mjerenja

Vježba	Opis	Svrha i cilj	Mjerna i regulacijska oprema
F-10	Mjerenje protoka	Upoznati načela rada i metode mjerenja protoka	Mjerni zaslon, rotametar, magnetski, vrtložni, Coriolisov i ultrazvučni mjerni pretvornik Regulacijski ventil.
L-10	Mjerenje razine	Upoznati načela rada i metode mjerenja razine	Tlačni, kapacitivni, radarski, ultrazvučni mjerni pretvornici. Vagarski modul.
P-10	Mjerenje tlaka	Upoznati načela rada i metode mjerenja tlaka	Bourdonova cijev, piezoelektrični, piezootpornički i kapacitivni pretvornici.
T-10	Mjerenje temperature	Upoznati načela rada i metode mjerenja temperature.	Termoparovi i otpornička osjetila temperature.
T-30	Infracrvena termografija	Bezkontakno mjerenje temperature	Termografska kamera. Pirometar.
D-10	Dinamičko vladanje procesa	Analiza statičkih i dinamičkih karakteristika pretvornika i procesa	Mjerni pretvornici temperature. Grijalo. Regulator

Slika 3: Vježba mjerenja i regulacije protoka u laboratoriju LAM2

Simulacijska platforma

Pored "stvarnog" (fizičkog) hardvera i procesa, instaliran je i "virtualni" hardver i simulacija procesa primjenom SIMIT *Simulation framework*-a.

Simulacijski paket emulira rad opreme i procesa u realnom vremenu. Simulacijskim paketom modeliraju se tipične situacije i dinamika procesa upravo onako kako ih nailazimo u procesnoj industriji U virtualnom okruženju moguće je na intuitivan način educirati studente i operatore industrijskih postrojenja. Korisnici rade s realnim radnim zaslonima i strategijama vođenja, prakticirajući tipične situacije s postrojenja, kao i procedure pokretanja i završetka rada postrojenja.

Slika 4: Simulator kotlastog reaktora s grijanjem i hlađenjem putem plašta

3. Aktivnosti djelatnika i laboratorija

Djelatnici Laboratorija bave se projektiranjem sustava za vođenje procesa, dijagnosticiranjem procesa i opreme, optimizacijom rada postrojenja, razvojem softverskih senzora i naprednih metoda vođenja procesa. Stečeno znanje primjenjuje se na industrijskim postrojenjima i laboratorijskim sustavima istraživanja i razvoja u intenzivnoj suradnji s procesnom industrijom putem velikog broja projekata.

Dijagnostika i optimizacija

U industrijskim se postrojenjima problemi pojavljuju zbog različitih uzroka, poput problema s opremom, kvara na instrumentima, loše podešenih regulatora, poremećaja u procesu i električnih smetnji. Provedbom detaljne analize trendova varijabli procesa može se pronaći uzrok problema i optimizirati vođenje procesa.

Nadgledanje i dijagnostika procesa

Praćenje i dijagnostika imaju ključnu ulogu za siguran i optimalan rad postrojenja. Analizom dinamičkog vladanja sustava praćenjem ključnih varijabli otkrivaju se nestabilnost i oscilacije, a moguće je provoditi i prediktivno održavanje postrojenja kontinuiranim nadgledanjem stanja opreme i procesa.

Napredno vođenje procesa

Osmišljavanje i primjena cjelovitih rješenja za projekte naprednog vođenja u kemijskoj, farmaceutskoj, petrokemijskoj i srodnim industrijama. To uključuje ugađanje regulatora i optimizaciju regulacije, kao i primjenu naprednih strategija vođenja u već postojećim sustavima. Također, važna je i primjena PAT-a za optimalno vođenje procesa na temelju informacija iz procesnih analizatora.

Automatizacija manjih i laboratorijskih procesa

Instaliranje cjelovitih sekvencijalnih i kontinuiranih sustava za vođenje za automatizaciju šaržnih i polušaržnih procesa s jednostavnim i funkcionalnim operatorskim sučeljima.

Edukacije

Tečajevi i treninzi zadiru u suštinu vođenja procesa i daju niz praktičnih primjera iz industrije. Tijekom seminara analiziraju se praktični primjeri s realnih postrojenja,

primjenjuju se interaktivni simulatori za uvježbavanje i provjeru stečenih znanja. Po završetku seminara polaznici će poznavati i razumjeti ključne elemente vezane uz rad, dijagnostiku, mjerenja, vođenje i optimiranje procesa.

Tablica 3: Praktične edukacije za industriju

	Edukacija	**Polaznici**
AVP-1	Automatsko vođenje procesa	Inženjeri i voditelji proizvodnje
AVP-2	Napredno vođenje procesa	Inženjeri i voditelji proizvodnje
AVP-3	Dijagnostika i optimiranje procesa	Inženjeri i voditelji proizvodnje
AVP-4	Procesna mjerenja	Inženjeri i voditelji proizvodnje, operatori, inženjeri na održavanju i tehničari na održavanju
AVP-5	Vođenje i optimiranje šaržnih procesa	Inženjeri, operatori i voditelji proizvodnje
AVP-6	Statistička i prediktivna analiza procesa	Inženjeri i voditelji proizvodnje

Laboratorij je dostupan i drugim institucijama i tvrtkama za simuliranje procesa i obuku svojih zaposlenika za rad u stvarnom okruženju. U međuvremenu laboratorij se priprema za sljedeći korak – virtualizaciju. Ona uključuje nabavu softverskih alata za modeliranje i simuliranje stvarnih industrijskih scenarija. Nakon završetka te faze to će uistinu biti doprinos viziji Industrije 4.0.

Slika 5: Računalno sučelje koje oponaša industrijsku salu za vođenje postrojenja

Slika 6: Operatorsko sučelje za vođenje procesa

4. Primjena procesne analitičke tehnologije i napredno vođenje procesa u realnom vremenu

Procesna analitička tehnologija (PAT) jedan je aspekata od velikog značaja za industriju opisan u "dobroj proizvodnoj praksi (cGMP) za 21. stoljeće". Inicijativa cGMP potiče znanje i razumijevanje procesa te postavlja PAT i napredno vođenje procesa kao ključne elemente. PAT i napredno vođenje omogućuju farmaceutskim tvrtkama postizanja boljeg nadzora nad procesima, održavanje kvalitete u proizvodnom procesu i praćenje procesa u stvarnom vremenu.

Cilj istraživanja koje se provodi u Laboratoriju je razviti napredne metode vođenja procesa kristalizacije, kao i oformiti tim eksperata koji će provoditi primjenska istraživanja za industriju. Prijavitelj ovog projekta je FKIT, a partner je poduzeće MKP.

Istraživanjem se razvija laboratorijski sustav za napredno vođenje kristalizacije. Pojedine procesne veličine (koncentracija otopljene tvari, raspodjela veličina čestica, polimorfija) prate se primjenom kemometrijskih i empirijskih modela.

Nakon razvoja kalibracijskih modela za pojedine sustave projektira se napredno vođenje procesa temeljeno na kontinuiranom mjerenju ključnih procesnih veličina (spektrofotometrijska mjerenja - UV/VIS, FTIR; FBMR, Raman). Svrha je razviti metode vođenja procesa koje omogućuju stalni nadzor i kontrolu nad procesom, a time i dobivanje kristalnog produkta željenih karakteristika.

Ovaj projekt spada u industrijsko istraživanja što ga čine faze formuliranja tehnološkog koncepta, eksperimentalnog dokazivanja koncepta i laboratorijske validacije tehnološkog koncepta.

Slika 7: Primjena PAT-a u razvoju i proizvodnji

Krajnji korisnici rezultata projekta bit će proizvodne tvrtke u kojima se provodi proces kristalizacije, a posebno farmaceutske tvrtke u kojima je kristalizacija ključni dio proizvodnje aktivnih farmaceutskih tvari.

S obzirom na stroge zahtjeve za kvalitetom proizvoda koji se nameću u farmaceutskoj proizvodnji od izuzetne je važnosti unaprijediti proizvodnju tako da se osigura visoka i ujednačena kvaliteta proizvoda, smanji udio lošeg proizvoda i unaprijedi proizvodnja na način da se smanji potrošnja energenata i pomoćnih tvari.

Primjena ovog i sličnih istraživanja nužna je za kontinuirano praćenje i vođenja procesa kristalizacije što će skratiti vrijeme proizvodnje, održati visoku kvalitetu proizvoda i donijeti uštede. Štoviše, novije analize i istraživanja predviđaju se da će industrijske tvrtke koje ne prihvate ove promjene ili s njima ne krenu na vrijeme promjene zaostajati za konkurentima koji su pravovremeno osuvremenili proizvodne procese.

Slika 8: Reaktor u kojem se provodi eksperimentalno istraživanje

Literatura

[1] Bolf, N., Mohler, I., Dorić, H.: Laboratorij za mjerenja i vođenje procesa - LAM, Kemija u industriji, Vol. 66 (2017) 7-8, str. 450-453

[2] Bolf, N.: Laboratorij za automatizaciju i mjerenja (LAM) na FKIT-u – mjesto za praktično učenje vođenja procesa, Kemija u industriji, Vol. 69 (2019) 9-10, str. 562-564

[3] European Structural and Investment Funds, KK.01.1.1.07.0017 (CrystAPC – Crystallization Advanced Process Control). http://crystAPC.fkit.hr

Ovlašteni laboratoriji odsjeka Aeronautike na Fakultetu prometnih znanosti

Doris Novak[1]

[1] član suradnik HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, doris.novak@fpz.unizg.hr

Sažetak: *Studijski program Aeronautike pokrenut je na Fakultetu prometnih znanosti 1992. godine u cilju pružanja visokoškolskog obrazovanja za zanimanja kontrolora zračnog prometa te civilnih i vojnih pilota. Odluka da se obrazovanje za te profile zanimanja provodi u okviru sveučilišnog studija dovela je do toga da su mnogi bivši studenti danas vrhunski stručnjaci koji upravljaju i dizajniraju visoko sofisticirane sustave u domeni upravljanja zračnim prometom, planiranju operacija zrakoplova visokih performansi i da ravnopravno sudjeluju u europskim i međunarodnim znanstveno istraživačkim projektima. Radi provedbe cjelokupnog programa školovanja, u okviru studijskog programa provode se i praktične vježbe. Te vježbe su ključne za stjecanje vještina potrebnih pri obavljanju poslova u domeni aeronautike. Stoga je bilo nužno da se ti laboratoriji ustroje i adekvatno opreme. Pritom je dodatni izazov bila europska i hrvatska zakonodavna regulativa koja propisuje odgovarajuće razine osposobljenosti, što je važno za pilote i kontrolore zračnog prometa. Sve vježbe koje se za studente studija Aeronautika provode u tim laboratorijima priznaju se u potpunosti za stjecanje odgovarajućih ovlaštenja u civilnom zrakoplovstvu. Uz to, u laboratorijima se provode istraživački rad u suradnji s tvrtkama iz gospodarstva, ali i u okviru programa istraživanja Single European Sky ATM Resarch Project (SESAR). U radu su predstavljena dva takva laboratorija i to Laboratorij za simulacije leta i Laboratorij za kontrolu zračne plovidbe.*

Ključne riječi: *aeronautike, simulacije leta, kontrola zračne plovidbe.*

1. Uvod

Značaj laboratorija na visokoobrazovnim ustanova ne treba posebno isticati jer vjerojatno niti jedan fakultet, a osobito ne onaj u tehničkom području, bez laboratorija ne može u potpunosti ispunjavati svoju svrhu. Uloga laboratorija jest važna i razvo-

jem tehnologije, sve više dobiva na značaju. Nije teško zamisliti da će laboratorijski rad sveučilišnih nastavnika i laboratorijske vježbe studenata na fakultetima preuzeti dominaciju nad klasičnim oblicima nastave kao što su predavanja i auditorne vježbe. Kod fakulteta s jasnom vizijom to je već ionako slučaj. Moguće je detektirati razloge zašto je to tako. Iz perspektive studenata, laboratorijske vježbe omogućuju razvijanje i stjecanje toliko potrebnih vještina ali i znanja. Paradigma "učenje putem istraživanja" poznata je u kontekstu ostvarivanja dobrano zaboravljenih ciljeva Strategije obrazovanja, znanosti i tehnologije kada se govori o razvoju sveučilišta u mjesta gdje se stvaraju i prenose nova znanja. Bez obzira na propuštene prilike tijekom proteklog višegodišnjeg razdoblja, elementi koji definiraju istraživačko sveučilište uvijek su bili jasni i nije ih moguće dvosmisleno tumačiti. Stoga je dobro da se mnogobrojni fakulteti individualno razvijaju i pritom međusobno surađuju. Tako se preuzima aktivna uloga u situaciji kada institucijski okvir gotovo u potpunosti izostaje. Na Sveučilištu u Zagrebu Fakultetu prometnih znanosti sigurno je jedan od takvih. Značajna ulaganja u uspostavljanje, opremanje i razvoj laboratorija sustavno su započela 2010. godine i kontinuirano se provode i povećavaju. Na kraju 2021. godine na Fakultetu je osnovano 16 laboratorija koji se nalaze u okviru pojedinih Zavoda i samostalnih Katedri, jedan zajednički laboratorij s gospodarskim subjektima (radi se o Laboratoriju za znanost o podacima u prometu i logistici koji je osnovan u suradnji s tvrtkom Ericsson Nikola Tesla d.d.) i četiri ovlaštena laboratorija [1]. Od ta četiri, dva laboratorija se nalaze i djeluju u okviru studijskog programa Aeronautika. To su Laboratorij za simulacije letenja i Laboratorij za kontrolu zračne plovidbe. Odgovarajuće certifikate izdaje i nadzire Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (HACZ) putem Europske agencije za sigurnost zračnog prometa (EASA). To znači da se program vježbi, koji uključuje stjecanje znanja, vještina i pripadajuće razine samostalnosti, u okviru rada tih laboratorija priznaje za stjecanje odgovarajućih licenci i ovlaštenja civilnih pilota i kontrolora zračnog prometa.

Studij aeronautike provodi se na Fakultetu prometnih znanosti od 1992. godine i jedini je takav studij u Republici Hrvatskoj. Na njemu se primarno obrazuju buduću civilni i vojni piloti te kontrolori zračnog prometa. S obzirom na to da je praktična obuka takvih profila iznimno skupa i zahtjevna, simulatori i trenažeri predstavljaju nužnu potrebu u procesu obrazovanja, osobito na razini preddiplomskog studija. Na diplomskoj razini, studenti koji su ranije prošli sve praktično osposobljavanje, imaju mogućnost dizajniranja i upravljanja sustavima na kojima su završili osposobljavanje. Stoga oni, u suradnji i uz vođenje znanstvenika sa Zavoda za aeronautiku, aktivno sudjeluju u mnogobojnim znanstvenim i stručnim projektima u kojima je Zavod uključen. Zavod za aeronautiku bio je u prilici dobiti i sudjelovati u značajnijim međunarodnim znanstvenim projektima upravo radi resursa kojima raspolaže u tim laboratorijima, a sredstva iz tih projekata reinvestiraju se u nadogradnje i nabave nove opreme kojima se razvijaju i ostvaruju nove sposobnosti kojima se ponovno može konkurirati na europskoj razini. Valja posebno istaknuti da je tim znanstvenika koji

djeluje u okviru Laboratorija za kontrolu zračne plovidbe, u jednom od mnogobrojnih segmenata sustava upravljanja zračnim prometom (engl. Air Traffic Management - ATM) - a to je definiranje i modeliranje kompleksnosti i kapaciteta zračnog prostora, jedan od najjačih u Europi. Taj tim čine znanstvenici i sveučilišni nastavnici sa Zavoda za aeronautiku kojima se priključuju studenti diplomskog studija aeronautike.

U nastavku će se detaljnije navesti razlozi osnivanja, struktura i oprema te područje djelovanja dva ovlaštena laboratorija. Potrebno je napomenuti da na Zavodu za aeronautiku imajući u vidu postojanje još tri laboratorija u okviru samog (Laboratorij za aerodinamiku postoje još Laboratorij za zrakoplovne emisije i Laboratorij za ispitivanje u aerotehnici). Svi oni jednako i značajno doprinose "izvornom kodu" koji je zapisan u programu istraživačkog sveučilišta/fakulteta.

2. Laboratorij za simulacije leta

Laboratorij za simulacije leta Zavoda za aeronautiku osnovan je radi provedbe znanstveno istraživačkih projekata, potreba za praktično osposobljavanje profesionalnih pilota, odnosno za provedbu praktičnog programa vježbi studenata na studijskom programu Aeronautika, modul civilni pilot. Pritom je naglasak u radu laboratorija stavljen na stjecanje posebnih vještina kao što su tehnike upravljanja zrakoplovom u redovitim i izvanrednim situacijama, rad u višečlanoj posadi, uvježbavanje procedura u uvjetima letenja bez vanjske vidljivosti, određivanje utjecaja vanjskih čimbenika na performanse zrakoplova i evaluaciju ekonomičnosti prilaznih i odlaznih procedura zrakoplova. Laboratorij je opremljen sintetičkim trenažerom leta Evolution S923 kojim je moguće simulirati sučelja i performanse tri različita tipa aviona - jednomotorni klipni avion Cessna 172, dvomotorni klipni avion Piper Seneca PA-34 i dvomotorni turbopropelerni avion Beachcraft King Air B200 (Slika 1).

Slika 1: Sintetički trenažer leta

U okviru posljednje navedene djelatnosti Laboratorija za simulacije leta provođeno je nekoliko znanstveno istraživačkih projekata koji su imali za cilj optimiranje putanja leta zrakoplova prema unaprijed utvrđenim navigacijskim procedurama i postupcima prilaženja u završnim kontroliranim oblastima. Tako su u istraživanjima primijenjene predložene procedure instrumentalnog dolaska i prilaženja na aerodrom Dubrovnik, koje se temelje na RNAV-1 navigacijskoj specifikaciji [2]. Izrađen je model prema kojemu je definirana potrošnja goriva i vrijeme leta za zrakoplov Beachcraft King Air B200. Paralelno, u simulatoru letenja su programirane navedene procedure te je provedena serija probnih letova radi dokazivanja mogućnosti manevriranja zrakoplova u letu tijekom provedbe procedure u okviru mogućeg scenarija. Scenariji su se zasnivali na mogućim i predviđenim prometnim situacijama. Dokazana je mogućnost uporabe navedenih procedura, a utvrđeni parametri se koriste za njihovu daljnju razradu i eventualna poboljšanja prije same implementacije.

Značaj takvih projekata ogleda se i u suradnji s tvrtkama iz gospodarskog sektora. To su primarno nacionalna zrakoplovna kompanija Croatia Airlines d.d. i pružatelj usluga u zračnom prostoru, Hrvatska kontrola zračne plovidbe d.o.o. Oba gospodarska subjekta imaju obavezu prilagodbe sukladno novom konceptu operacija zrakoplova u zračnom prostoru pod nazivom Performance Based Navigation (PBN) koji je u domeni Međunarodne organizacije za civilno zrakoplovstvo (engl. International Civil Aviation Organization - ICAO) i Europske agencije za sigurnost zračnog prometa (engl. European Aviation Safety Organisation - EASA). Na temelju tog, svaka zemlja članica ICAO-a ima obavezu izrade nacionalnog plana implementacije kao temeljnog dokumenta kojim se definiraju kratkoročni, srednjoročni i dugoročni ciljevi implementacije odabranih navigacijskih specifikacija unutar PBN koncepta. Tako je moguće ostvariti postavljene operativne zahtjeve korisnika zračnog prostora ali i drugi zahtjevi u smislu očuvanja okoliša te povećati sigurnost i kapacitet zračnog prostora.

Znanstvenim istraživanjima koja se provode u Laboratoriju za simulacije leta pokazano je da je određenim tipom zrakoplova moguće slijediti definiranu navigacijsku proceduru koja se temelji na PBN konceptu (RNAV-1). Karakteristične točke koje su definirane GNSS koordinatama a ne zemaljskim radio-navigacijskim sredstvima prikladne su za određivanje putanje leta zrakoplova u završnoj kontroliranoj oblasti te je utvrđeno da se mogu koristiti za kreiranje plana leta u navigacijskom sustavu kojim je opremljen zrakoplov. Izmjene u dolaznoj proceduri operativno su moguće ovisno o prometnoj situaciji koja je prikazana kroz pet različitih scenarija (Slika 2).

Slika 2: Rezultati simulacija putanja leta zrakoplova na temelju razrađeni mogućih scenarija dolaska zrakoplova na slijetanje u zračnu luku u Dubrovniku [2]

U svakom od mogućih scenarija zrakoplov koji slijedi dolaznu proceduru definiranu putnim točkama može radijusom zaokreta i promjenom visine (prema definiranoj konstantnoj brzini leta) ostvariti sigurnu upravljivost i manevabilnost uz zadržavanje performansi leta unutar sigurnih ograničenja letnih karakteristika. Tranzicija s dolazne procedure na prilaznu proceduru u svih pet scenarija ostvariva je bez poteškoća i narušavanja sigurnosti leta. Moguće je zaključiti da dizajn procedure odgovara postavljenim kriterijima PBN koncepta te da je pogodan za daljnju razradu. Pokazalo se da se rezultati dobiveni takvim istraživanjima mogu koristiti za ocjenu primjene pojedinog scenarija na konkretne zrakoplove u smislu duljine trajanja leta koja definira i utječe na kapacitet zračnog prostora. Uz to, razlika u utrošenom gorivu prema pojedinom scenariju indikator je zrakoplovnoj kompaniji u predviđanju potrebnog goriva za let koje se, između ostalog, proračunava prema okolnostima i operativnim ograničenjima koja su postavljena od strane ATM-a.

Laboratorij je certificiran prema klasifikaciji uređaja za osposobljavanje koji simulira let. Certifikat je izdan u sukladnosti s Uredbom Komisije (EU) 1178/2011 i stoga udovoljava zahtjevima kvalifikacije propisanim u Dijelu-ORA (engl. Part-ORA) prema uvjetima FSTD specifikacije. Uz to, laboratorij posjeduje certifikat – potvrdu o kvalifikaciji uređaja za osposobljavanje koji simulira let u statusu: FNPT II – Generic single-engine piston aeroplane (certifikat HR.FSTD.06A), FNPT II – Generic multi-engine piston aeroplane (certifikat HR.FSTD.06B) i FNTP II – Generic multi-engine turboprop airplane (certifikat HR.FSTD.06C).

Laboratorij za simulacije leta i sintetički trenažer trebaju se konstantno nadograđivati opremom i sustavima koji odgovaraju opremi koja se nalazi u stvarnim zrakoplo-

vima. Jedino je tako moguće simulirati stvarne uvjete leta i performanse. Jedan od takvih sustava je sustav za upravljanje i vođenje leta (engl. Flight Management and Guidance System - FMGS) i odgovarajući sustav autopilota. Stoga je stalna zadaća kontinuiranog ulaganja u tehničke sposobnosti i nadogradnju sustava ali i u školovanje osoba koje će znati njima upravljati.

3. Laboratorij za kontrolu zračne plovidbe

Laboratorij za kontrolu zračne plovidbe također se nalazi na Zavodu za aeronautiku i koristi za znanstveno istraživački rad, provedbu nastave na preddiplomskom i diplomskom studiju aeronautike te za provedbu osposobljavanje polaznika na specijaliziranim tečajevima koje provodi posebna organizacijska jedinica Fakulteta koja se zove Hrvatsko učilišno središte za kontrolu zračnog prometa (HUSK). Studenti studijskog programa Aeronautika, modul kontrola leta radom u laboratoriju stječu kompetencije za rad u programskim alatima MicroNav BEST Radar simulator, Eurocontrol ESCAPE, Network Strategic modelling tool (NEST) i Radar skills trainer (RST). Uz to, kroz osposobljavanje u domeni HUSK-a omogućeno je i dobivanje svjedodžbe o završenom osnovnom osposobljavanju kontrolora zračnog prometa (engl. Basic training certificate).

Pored namjena u okviru nastavnih aktivnosti, navedeni programski paketi se koriste za stručna i znanstvena istraživanja u području upravljanja zračnim prometom. U Laboratoriju za kontrolu zračne plovidbe provode se znanstvena istraživanja projekta ATCOSIMA Erasmus+, osposobljavanje pseudopilota na projektu H2020 PJ.01 i PJ.24, programskih alata za Erasmus+ KAAT projekta, stručne studije za SESAR PJ.24 – Network Collaborative Management – Sector Complexity Study te istraživanja vezana uz doktorske radove.

3.1. Simulator za radarsku kontrolu zračnog prometa MICRONAV BEST

MicroNav BEST Air Traffic Control Radar simulator Laboratorija za kontrolu zračne plovidbe ima nastavnu i znanstveno istraživačku namjenu. Sam simulator je certificiran od strane Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo i to preko planova i programa osnovnog osposobljavanja kontrolora zračnog prometa. Certifikat je izdan u sukladnosti s Uredbom Komisije (EU) 2015/340. Simulator za radarsku kontrolu zračnog prometa temelji se na osobnim računalima a čine ga dvije radne pozicije za kontrolora zračnog prometa, dvije radne pozicije za pseudo-pilote od kojih jedna služi i kao pozicija upravitelja sustava i jedne pričuvne radne stanice (Slika 3).

Slika 3: Izgled radnih pozicija Simulator za radarsku kontrolu zračnog prometa [3]

Koristi se u nastavi na preddiplomskom studiju aeronautike i prilikom organiziranja osposobljavanja kroz program cjeloživotnog obrazovanja. Simulator omogućava kreiranje zračnog prostora, vježbi oblasne i prilazne radarske kontrole zračnog prometa i meteoroloških podataka. Studenti kontrolori imaju nadležnost nad definiranim zračnim prostorom, a na elektroničkom obrascu za praćenje napredovanja leta zrakoplova upisuju sve promjene i odobrenja koja su izdali pilotima. Pseudo-piloti simuliraju kretanje zrakoplova u prostoru. Na slici 4 prikazan je simulirani zračni prostor završnog kontroliranog područja koje se nalazi oko zračne luke u Frankfurtu.

Slika 4: Prikaz simuliranog zračnog prostora oko zračne luke u Frankfurtu [3]

Komunikacija između pozicija kontrolora i psudo-pilota je govorna radiotelefonska komunikacija i provodi se na engleskom jeziku. Vježbe se provode uz nadzor ovlaštenih instruktora kontrole zračnog prometa. Znanstvena istraživanja koja se provode u Laboratoriju odnose se na proces osposobljavanja kontrolora zračnog prometa (izračun i analiza radnih zadaća i ukupnog radnog opterećenja kontrolora, primjena u provođenju radio-telefonske komunikacije i istraživanju pojavnosti pogrešaka, analiza nepredviđenih situacija u zračnom prometu i dr.). Simulator se koristi i za analizu i uvođenje tehnoloških rješenja u sustavu kontrole zračnog prometa i upravljanju zračnim prometom (izrada i implementacija novih ruta za planiranje prometa, reorganizacija zračnog prostora, sektorizacija, studije sigurnosti i dr.). Laboratorij za kontrolu zračne plovidbe od 2013. godine posjeduje trajnu licencu za korištenje simulatora.

Projekt ATCOSIMA (Erasmus+) koji se provodio na ovom simulatoru obuhvaćao je osposobljavanje polaznika za stjecanje odgovarajućih kompetencija za kontrolora zračnog prometa. Poseban naglasak je bio na razvoju novih kriterija procjene kandidata tijekom provedbe simuliranih scenarija u zračnom prostoru, a koji su sastavni dio vježbi na preddiplomskom studiju Aeronautika [4].

3.2. Radarski trenažer

Radarski trenažer (engl. Radar Skills Trainer - RTS) je simulator razvijen u Eurocontrolovom Institutu za usluge u zračnom prometu (engl. Eurocontrol Institute for Air Navigation Services - IANS). Koristi se u nastavi na preddiplomskom studiju aeronautike i prilikom organiziranja osposobljavanja kroz cjeloživotno učenje. Trenažer omogućuje autonomno kreiranje scenarija za uvježbavanje osnovnih funkcija radarskog vektoriranja i ostalih radarskih funkcija oblasne i prilazne kontrole zračnog prometa. Potpunu simulaciju kontrole zračnog prometa pritom nije primarna funkcionalnost ovog sustava jer ne uključuje simulaciju direktne radio-telefonske komunikacije između pseudo-pilota i kontrolora. Trenažer se koristi uz nadzor ovlaštenih nastavnika.

3.3. Program za modeliranje i simulaciju zračnog prostora i tokova prometa NEST – Network Strategic Tool

Program za modeliranje NEST se koristi u nastavi na preddiplomskom i diplomskom studiju Aeronautika i prilikom organiziranja osposobljavanja kroz cjeloživotno učenje. Program omogućava analizu i istraživanje prometnog opterećenja na mreži ruta, segmentima ruta, na aerodromima i na strukturi zračnog prostora s mogućnošću izrade različitih scenarija. Omogućava vizualizaciju i animaciju 3D prometa kroz određeni zračni prostor i filtriranje prometa zavisno od postavljenih uvjeta. Koristi se

za usporedbu duljine ruta i izračun duljine putanje leta zrakoplova, proračune potrošnje odnosno uštede goriva i posredno, za dobivanje podataka o onečišćenju okoliša. Program omogućava simulacije različitih scenarija ili mreže ruta i njihovog utjecaja na tokove prometa. Nadogradnja programa i ulazni podatci uzimaju se sa servera EUROCONTROL-a (engl. Demand Data Repository - DDR2).

Slika 5: Prikaz sučelja programa za modeliranje i simulaciju zračnog prostora i tokova prometa NEST [1]

3.4. Simulator za kontrolu zračnog prometa u stvarnom vremenu namijenjen visokom školstvu ESCAPE-Light

ESCAPE je simulacijska platforma za kontrolu zračnog prometa u stvarnom vremenu koja podržava male i velike simulacije u područjima dizajniranja zračnog prostora za segmente rutnog letenja i dolazne/odlazne procedure u završnim kontroliranim područjima, validacije novih operacijskih koncepata i alata koje koriste kontrolori zračnog prometa, pred-operacijske validacije, školovanja kontrolora i istraživanja i razvoja. Simulator ESCAPE ima zemaljske mogućnosti, zračne mogućnosti (performanse zrakoplova visoke vjernosti, datalink), sučelje čovjek-stroj koje omogućuje brzi razvoj specifičnih kontrolorskih sučelja s industrijskim alatima, kao i interoperabilnost sa sustavom upravljanja zračnim prometom. ESCAPE također omogućuje i snimanje kontrolorskih i pseudo-pilotskih ulaznih parametara, putanja leta zrakoplova, cjelokupnu verbalnu komunikaciju koja se ostvaruje između kontrolora i pseudo-pilota, indikatore samoprocjene pri obavljanju pojedinih zadataka tijekom simulacija i dr.

Primjena simulatora ogleda se u mogućnostima kreiranja i analize zračnog prostora u kojem se primjenjuju rute slobodnog letenja (engl. Free Routes Airspace - FRA). Takav koncept omogućuje korisnicima zračnog prostora adekvatno planiranje putanja leta zrakoplova na temelju kraćih putanja leta u odnosu na one koje su već ranije

definirane sustavom upravljanja zračnim prostorom. Ta taj način je moguće ostvariti uštede koje se ogledaju u smanjenju troškova leta i smanjenju emisija štetnih plinova u atmosferi. Uz to, simulator omogućuje provedbu analiza učinkovitost zračnog prometa (engl. air traffic eficiency) prema nizu pokazatelja na temelju kojih se može precizno odrediti i pratiti učinkovitost FRA koncepta [5].

3. Zaključak

Uloga laboratorija u znanstveno istraživačkom i nastavnom radu na fakultetu je ili će postati primarna djelatnost visokoškolskog obrazovanja. Stoga je institucijski potrebno ulagati u opremu ali i u stručnjake koji će tu opremu biti u mogućnosti koristiti. Fakultet prometnih znanosti je prepoznao taj značaj i već više od desetljeća sustavno i kontinuirano investira u opremanje laboratorija. Rezultati toga precizno su mjerljivi i javno dostupni, a dokaz tome su mnogobojni stručni i znanstveni projekti s međunarodnim i domaćim tvrtkama i znanstveno istraživačkim institucijama na kojima je Fakultet ili nositelj aktivnosti ili jedan od partnera. Na primjeru studijskog programa Aeronautika moguće je izravno demonstrirati značaj laboratorija u znanstveno istraživačkom i nastavnom radu na visokoškolskoj instituciji. U radu su detaljno opisani ovlašteni laboratoriji, ali svakako u okviru studija aeronautika treba naglasiti veliki doprinos i ostala tri laboratorija. Tako je Laboratorij za aerodinamiku predviđen za provedbu istraživanja u području eksperimentalne aerodinamike. Opremljen je zatvorenim školskim aerodinamičkim tunelom a cilj laboratorija je istraživanje temeljnih zakona strujanja podzvučnog (nestlačivog) fluida. Laboratorij za zrakoplovne emisije omogućuje provedbu istraživanja mjerenjima i modeliranje buke i zvučnog otiska zrakoplova, kao i analize emisija ispušnih plinova zrakoplova pri različitim uvjetima i režimima leta. Laboratorij za ispitivanje u aerotehnici osigurava podršku zrakoplovnoj zajednici u gradnji, ispitivanju, preinakama, obnovi i popravcima zrakoplova na koje se primjenjuje nacionalna regulativa. Temeljna djelatnost laboratorija jest omogućiti studentima (i ostalim zainteresiranim skupinama) stjecanje posebnih vještina usmjerenih na gradnju, ispitivanje, preinaku, obnovu i popravke mnogobrojnih vrsta zrakoplova.

Svi navedeni laboratoriji dio su cjelokupne znanstveno istraživačke infrastrukture na Fakultetu prometnih znanosti koja djeluje u skladu sa Strateškim programom znanstvenih istraživanja na Fakultetu prometnih znanosti [6] a koji je pak usklađen sa Strategijom razvoja Fakulteta [7]. Jedino je tako moguće ostvariti kvalitetan, smislen, samoodrživ i kontinuirani napredak prema istraživačkom fakultetu, a onda i sveučilištu, koje bi trebalo biti temelj društva i gospodarstva zasnovanih na znanju i inovativnosti.

Literatura

[1] Katalog laboratorijske opreme, Fakultet prometnih znanosti, ISBN 978-953-243-124-7, Zagreb, 2021

[2] Novak, D; Andraši, P.; Rubil, M.: Flight Test Validation of PBN Concept of Operations in Terminal Area in Simulated Environment, Proceedings of the International Scientific Conference Science and Traffic Development, Bajor, I. & Vidović, A. (ur.), str. 189-194, Opatija, Hrvatska, svibanj 2018

[3] Juričić, B.; Antulov-Fantulin, B; Rogošić, T.: Project ATCOSIMA – Air traffic Control Simulations at the Faculty of Transport and Traffic Sciences, Engineering Power, Vol.15 No.2, str. 2-9, 2020

[4] Aybek Cetek F.; Antulov-Fantulin B.; Frost P.; Donmez K.; Kaplan Z.; Rogošić T.: ATCOSIMA Project: Preliminary Results and Analysis of Real-Time ATC and Flight Cockpit Simulations, Proceedings of the International Scientific Conference Science and Traffic Development, ISSN 2623-5781, Grgurević, I; Rožić, T. (ur.), str. 11-22, Opatija, Hrvatska, svibanj 2019

[5] Radišić T, Novak D, Juričić B.: Reduction of Air Traffic Complexity Using Trajectory-Based Operations and Valida¬tion of Novel Complexity Indicators, IEEE transactions on intelligent transport systems, ISBN 1524-9050, Vol.18, No.11, str 3038-3048, 2017

[6] Novak, D.; Mlinarić, T. J.; Šoštarić, M.: Strateški program znanstvenih istraživanja na Fakultetu prometnih znanosti za razdoblje od 2019. do 2024., Fakultet prometnih znanosti, ISBN 978-953-243-111-7, Zagreb, 2019

[7] Strategija razvoja Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu za razdoblje od 2018. do 2023., Fakultet prometnih znanosti, ISBN 978-953-243-105-6, Zagreb, 2018

Podzemni istraživački poligon Rudnik sv. Barbara

Trpimir Kujundžić[1], Mario Klanfar[2] i Želimir Veinović[3]

[1] Tredoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, trpimir.kujundzic@rgn.hr

[2] Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, mario.klanfar@rgn.hr

[3] Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, zelimir.veinovic@rgn.hr

Sažetak: *Rudnik sv. Barbara se nalazi u Rudama pokraj Samobora. U rudniku se eksploatirala bakarna i željezna ruda a nakon njihovog iscrpljenja otkopavao se gips sve do pedesetih godina prošloga stoljeća. U veljači 2008. godine Rudarsko-geološko-naftni fakultet izrađuje Glavni rudarski projekt sanacije i uređenja rudnika željeza Sv. Barbare u Rudama. Rudnik Sv. Barbara je otvoren za posjetitelje 29. lipnja 2012. Nakon otvaranja rudnika suradnja između upravitelja rudnika KUD-a Oštrc i Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta se nastavlja kroz stručne projekte, usluge kontrole i monitoringa, znanstveno-istraživačke aktivnosti te izvođenje terenske nastave. Obzirom na već postojeća istraživanja i trajno postavljenu opremu, tendenciju proširenja istraživačkih aktivnosti te uzajamni interes Fakulteta i upravitelja rudnika, predložilo se osnivanje terenskog laboratorija pod nazivom Podzemni istraživački poligon Rudnik sv. Barbara.*

Ključne riječi: *rudnik sv. Barbara, podzemni laboratorij, THM efekti, radon, vjetrenje.*

1. Uvod

Rudnik sv. Barbara se nalazi u Rudama pokraj Samobora a rudarska djelatnost na području Ruda ima višestoljetnu tradiciju a možda čak i tisućljetnu. Pouzdani podaci o počecima rudarenja u Rudama nisu poznati no prema mišljenju povjesničara, na području današnje Rudarske drage su još Rimljani vadili bakar. Prvi vjerodostojni dokumenti govore da se već 1210. godine vadila bakrena ruda a tada su se Rude nazivale Rovi. Prvi pouzdani podaci iz 1530. godine spominju vlasnika Samobora Leo-

narda Grubera koji je prodavao bakar i time se obogatio. Eksploatacija bakrene rude obustavljena je 1851. godine. Godine 1850. započelo je otkopavanje željezne rude (siderita) koja se djelomično talila u Rudama a dio se odvozio u Sloveniju. Eksploatacija i prerada željezne rude trajala je desetak godina ali se nije pokazala isplativom. Za vrijeme desetogodišnjeg rada otkopano je oko 26 000 tona željezne rude. Rudnik je zatvoren 1859. godine.

Nakon zatvaranja rudnika, u više navrata provode se geološka istraživanja. Posljednje istraživačke radove vodio je prof.dr.sc. Boris Šinkovec sa Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta iz Zagreba od 1952. do 1956. godine. Ustanovio je da bakrene rude gotovo više nema a da ustanovljena količina željezne rude nije dovoljna za isplativu eksploataciju. Osim istraživanja željezne i bakrene rude, istraživao se i otkopavao gips. Eksploatacija gipsa započela je početkom 20. stoljeća u dolini rječice Rudarske Gradne, trajala je sa manjim prekidima do ranih pedesetih godina prošlog stoljeća. Eksploatacija je obustavljena, uglavnom zbog prevelikog sadržaja anhidrita (~15%), iako su potvrđene značajne rezerve.

Pola stoljeća kasnije, u proljeće 2002. godine mještani Ruda (uglavnom članovi KUD-a Oštrc) sami su otkopali ulaz u potkop Kokel koji je odabran kao najpogodniji i najuščuvaniji za otvaranje. Saniranjem urušenog dijela u duljini 22 metara od ulaza izvedeni su radovi I faze.

U siječnju 2006. godine Rudarsko-geološko naftni fakultet je izradio Projekt uređenja starog rudnika željeza u Rudama kraj Samobora. Grad Samobor je sa svojim partnerima (Zagrebačka županija, Turistička zajednica Zagrebačke županije, KUD Oštrc, Osnovna škola Rude i Rudarsko-geološko-naftnim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu) na temelju tog projekta koji je odobren u okviru Neighbourhood Programme Slovenia-Hungary-Croatia 2004-2006. Interreg III A dobio financijska sredstva za uređenje rudnika u turističke svrhe. U lipnju 2007. godine izrađeno je Idejno rješenje sanacije i uređenja rudnika Sv. Barbare u Rudama na temelju kojeg je ishođena lokacijska dozvola 2008. godine. U sklopu izrade ovog projekta u ožujku 2007. napravljena je geodetska kontrola položaja i visina u pristupačnim dijelovima jame (potkop Kokel, otkopna radilišta) i na ulazu u jamu kod zarušenog potkopa Sv. Trojstvo. U veljači 2008. godine prof.dr.sc. Darko Vrkljan kao odgovorni projektant s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta sa suradnicima izrađuje Glavni rudarski projekt sanacije i uređenja rudnika željeza Sv. Barbare u Rudama. Ovim projektom predviđen je za sanaciju samo manji dio postojećih podzemnih prostorija rudnika željeza (oko 280 metara jamskih prostorija potkopa Kokel i Sv. Trojstvo i otkopnih radilišta). U stvarnosti postoji znatno veća mreža podzemnih prostorija (desetke kilometara) u geološki vrlo atraktivnom okruženju. Treba napomenuti da je to u Hrvatskoj bio jedan od prvih pokušaja zaštite i očuvanja tehničke rudarsko-geološke baštine (rudničkih prostorija). Rudnik Sv. Barbara je otvoren za posjetitelje 29. lipnja 2012.

Nakon otvaranja rudnika suradnja između upravitelja rudnika KUD-a Oštrc i Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta se nastavlja kroz stručne projekte, usluge kontrole i monitoringa, znanstveno-istraživačke aktivnosti te izvođenje terenske nastave.

Po Ugovoru o suradnji iz 2018. godine (Ur.broj 251-70-11-18-1) upravitelj rudnika, KUD Oštrc, daje prava Fakultetu da slobodno koristi rudnik za terenski i drugi vid nastave, u svrhu znanstveno-istraživačkih projekata te za organizaciju raznih događaja uz prethodni dogovor.

Prostor rudnika čini potencijalno zanimljiv poligon u nastavnom i znanstveno-istraživačkom radu Zavoda za rudarstvo i geotehniku Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta. Prvenstveno u područjima vjetrenja, sigurnosti, geotehnike i geotehničkih opažanja, istraživanja termičko-hidro-mehaničkih efekata na stijenu, izrade podzemnih prostorija i podgradnih sustava.

Trenutno su ugovorena i aktivna dva istraživačka projekta koja se provode u prostoru rudnika te uključuju trajno postavljenu opremu:

- In situ simulacija termičko-hidro-mehaničkih efekata na stijenu i provjera koncepta numeričkim modelom, voditelj: izv.prof..dr.sc. Želimir Veinović
- Unaprijeđenije ventilacijskog sustava rudnika sv. Brabara i dugoročno opažanje mikroklimatskih i ventilacijskih parametara, voditelj izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

Obzirom na već postojeća istraživanja i trajno postavljenu opremu, tendenciju proširenja istraživačkih aktivnosti te uzajamni interes Fakulteta i upravitelja rudnika, predložilo se osnivanje terenskog laboratorija pod nazivom Podzemni istraživački poligon Rudnik sv. Barbara.

2. Namjena laboratorija

Podzemni istraživački poligon Rudnik sv. Barbara se koristi za stručna i znanstvena istraživanja, u edukacijske svrhe te istraživanja i opažanja za potrebe rudnika.

Poligon služi razvoju i postavljanju trajnih i privremenih eksperimenata ili aktivnosti koji će polučiti znanstveni ili stručni doprinos te poslužiti u nastavne svrhe praktičnim radom studenata ili oglednim primjerom. Samim time istraživačke aktivnosti i njihov sadržaj nisu strogo određeni, već su promjenjivi prema potrebama Fakulteta i upravitelja rudnika.

Trenutne aktivnosti uključuju nekoliko stručno-znanstvenih istraživanja:

- Istraživanje optimalnog režima rada ventilacijskog sustava uz kontinuirani monitoring mikroklimatskih i ventilacijskih parametara. Kroz ovo istraživanje od-

vija se razvoj specifične mjerne i komunikacijske opreme za simultano praćenje parametara, što će polučiti veću efikasnost ventilacijskog sustava. Istraživanje je povezano s potrebom rudnika za smanjenjem vlažnosti zraka radi očuvanja drvene podgrade i povećanja njene trajnosti.

- Mjerenje i određivanje termičko-hidro-mehaničkih efekata (THM efekata) na stijeni. Istraživanja se odnose na razvoj metoda, opreme i tehnologija te stjecanja iskustava u ovom području.
- Opažanja koncentracije radona u rudničkoj atmosferi s ciljem kontrole životnih/radnih uvjeta u rudniku te zaštitom ljudi od prirodnog ionizirajućeg zračenja. Mjerenja se provode periodički po potrebi, u atmosferi rudnika i u podinskoj stijeni (nasutom materijalu) te u tlu u okolici rudnika.

Terenska nastava do sada je u rudniku održavana iz više kolegija na studijima Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta a za neke je već niz godina ustaljeno redovito izvođenje praktičnih vježbi (tablica 1).

Tablica 1: Kolegiji iz kojih se izvode redovite praktične vježbe u rudniku sv. Barbara

KOLEGIJ	STUDIJ	PODRUČJE ISPITIVANJA
Vjetrenje i odvodnjavanje	Preddiplomski studij: Rudarstvo	Mjerenja i analize vjetrenih i mikroklimatskih parametara
Tehnika sigurnosti	Preddiplomski studij: Rudarstvo	Mjerenja koncentracija štetnih plinova i prašina Mjerenje koncentracije radona

3. Terenska mjerenja termičko-hidro-mehaničkih efekata na stijeni

Svrha provođenja terenskih mjerenja termičko-hidro-mehaničkih (THM) efekata na stijeni je u određivanju djelovanja zagrijavanja stijene na njeno ponašanje i promjenu svojstava. U nekim slučajevima pri zagrijavanju stijenske mase (npr. zbrinjavanje istrošenog nuklearnog goriva (ING)) dolazi do ozbiljnih promjena na stijeni i materijalima inženjerskih barijera koje će u budućnosti definirati trajnost odlagališta i njegovu sigurnost. Ovakvim istraživanjima stječu se potrebna iskustva za budući razvoj odlagališta ING u Hrvatskoj, obrazuje se stručni kadar, a razvijaju se i potrebne tehnologije mjerenja parametara.

Premda stijena na lokaciji rudnika Sv. Barbara ne odgovara svrsi odlaganja ING-a niti se lokacija smatra povoljnom za razradu u tu svrhu, podzemni poligon je izvrsno mjesto za provođenje ovog tipa in situ istraživanja, budući da su uvjeti daleko realističniji nego u laboratoriju. Premda u nešto umanjenom mjerilu, in situ ispitivanja ovoga tipa olakšavaju stjecanje potrebnog iskustva za budući razvoj mjerenja na realnoj lokaciji. Sva ispitivanja se provode bez korištenja radionuklida, a zagrijavanje stijene se izvodi pomoću električnog grijača.

Jedan od primarnih čimbenika koji će utjecati na ovakva istraživanja svakako je toplinski kapacitet stijene, kao i geotermalni gradijent. Naime, starije stijene imaju manji geotermalni gradijent, što znači da s dubinom temperatura ne raste ozbiljnim inkrementom, dok mlađe stijene imaju nešto viši geotermalni gradijent. Prema termičkom gradijentu u magmatskim stijenama Hrvatske i Slovenije, procjenjuje se da je temperatura stijene (in situ) na dubini od oko 500 m 25 ºC (ARAO, 2019), dok se u Finskim stijenama na istoj dubini temperatura procjenjivala, a kasnije i izmjerila u iznosu 10,5-12 ºC (Ikonen, 2003). Premda na poligonu dubina nije poput one na budućem odlagalištu i stijena ima relativno nisku temperaturu u odnosu na onu koju bi imala stijena u kojoj će se jednog dana graditi odlagalište, mjerenja su time jednostavnija obzirom da se porast temperature može detektirati ranije, a i promijene u stijeni će biti intenzivnije od onih koje se očekuju na pravom odlagalištu pa će i efekti koji se promatraju biti intenzivniji i mogućnost njihovog mjerenja veća.

Uz utjecaj na stijenu, kako je ranije rečeno, jedan od problema s odlaganjem toplog goriva svakako je i utjecaj na podzemnu vodu. Premda se lokacija budućeg odlagališta planira na dubinama od 300-1 000 m, u gotovo svim stijenskim sredinama se očekuje pojava neke količine podzemne vode. I premda ta, stara, podzemna voda nema izravan kontakt s gornjim slojevima s mlađom, pitkom podzemnom vodom, poradi porasta temperature djelovanjem toplog odloženog materijala očekuje se ozbiljan proces migriranja kao i promjena karakteristika podzemne vode.

Premda postoji više koncepata izgradnje odlagališta, u osnovi se svi mogu predstaviti pojednostavljenom idejom, kao na slici 1. U većini slučajeva ideja odlaganja materijala je ili u horizontalne ili u vertikalne bušotine, tek rijetko u galerije ili nagnute bušotine. Jednako tako, u većini slučajeva koristit će se isti ili sličan način ugradnje inženjerskih barijera. U skladu s navedenim konceptima, laboratorijska i in situ ispitivanja, obično u podzemnim laboratorijima, provode se imitirajući budući način odlaganja, kako bi se čim bolje simuliralo međuodnose spremnika s ING-om, materijala ispune i stijene domaćina, u kompleksnom sustavu litostatskog tlaka s redovitom prisutnošću podzemne vode i pojavom tlaka bubrena materijala ispune (bentonita).

Slika 1: Koncepti odlaganja ING-a u vertikalnim (plavo) ili horizontalnim bušotinama (crveno) (Veinović i dr., 2012).

Ispuna predstavlja materijal koji će popuniti iskopani prostor između stijene i spremnika. Zavisno od tipa stijene, obično se predviđa uporaba bentonitne gline (montmorilonit). Način ugradnje bentonita (prešani oblici, sipanje bentonita u prahu ili peletima, ugradnja mlaznog bentonita…) prilagođavaju se odabranoj tehnologiji.

Spremnik, zavisno od odabranog koncepta, može biti od čelika, bakra ili titanija, a obično se radi o relativno tankostjenom spremniku, s obzirom da debele stjenke ne bi toliko značile dodatnu sigurnost, koliko veliki trošak (Veinović i dr., 2015).

Eksperiment je postavljen kao na slici 2 i 3, ugradnjom senzora za mjerenje temperature stijene i vlažnosti bentonitne ispune.

Slika 2: Shematski prikaz presjeka kroz postavljeni eksperiment – temperaturni senzori i grijaće tijelo.

Slika 3: Shematski prikaz presjeka kroz postavljeni eksperiment – senzori za vlažnost i grijaće tijelo.

Rezultati istraživanja još nisu u potpunosti obrađeni i objavljeni, no može se reći da je eksperiment mjerenja prijenosa topline proveden uspješno i rezultati odgovaraju numeričkom modelu. Grafikon s mjerenim temperaturama prikazan je na slici 4, a numerički model postavljenog eksperimenta na slici 5.

Slika 4: Ustaljeni dio mjerenja temperature na svim senzorima u periodu oko 3 dana.

Slika 5: Prikaz simulacije prijenosa topline (temperature po točkama) na modelu eksperimenta (dimenzije u [dm]).

Na slici 6 prikazana je korelacija numeričkog rješenja i mjerenih podataka. Korelacija numeričkog rješenja i mjerenih podataka govori da su rezultati prilično slični, a dodatna korelacija bi se provela naknadnom modifikacijom numeričkog modela. Temperatura grijača na stjenci zadana je kao 70 °C, čime se izbjeglo preopterećenje sustava, ali poradi gubitaka topline izmjerena temperatura je oko 65 °C. U modelu je zadana vrijednost 70 °C kao maksimalna i parametri stijene i ispune su dijelom uzeti iz literature.

Kako bi se izbjeglo očito namještanje podataka, za naknadnu obradu podataka prije publiciranja, temperatura grijača će se podići na 90 °C, a parametri za numerički model bolje prilagoditi. Parametri stijene za numerički model odredit će se eksperimentalno u sklopu institucijskog projekta RGN fakulteta koji je u tijeku.

Novi model bi trebao dati približnije rezultate, no i ovi rezultati se smatraju zadovoljavajućima, obzirom da je numerički model konzervativniji – jače je zagrijavanje stijene i materijala ispune, što znači teže uvjete u numeričkom modelu nego u stvarnosti.

Slika 6: Usporedba numeričkog rješenja i mjerenih podataka

4. Mjerenje koncentracije radona

Jedno od istraživanja provedenih u rudniku Sv. Barbara je i mjerenje koncentracije radona u čiju svrhu su korišteni detektori Radon Scout Home tvrtke Sarad, prikazani na slici 7.

Slika 7: Instalirani uređaj za mjerenje koncentracije radona.

Mjerenja su provedena u skladu s Pravilnikom o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu (NN 40/2018) i podacima iz Akcijskog plana za radon za razdoblje 2019. – 2024. (NN 118/2018). U skladu s člankom 5. stavkom 2. Pravilnika (NN 40/2018), mjerenja koncentracije aktivnosti radona u zraku provedeno je pomoću uređaja s poluvodičkim detektorom.

Kao mjerodavna koncentracija radona uzeta je vrijednost od 300 Bq/m^3 i na rezultatima je označena kao referentna (crvena linija). Rezultati mjerenja predstavljeni su slikom 8.

Slika 8: Rezultati mjerenja koncentracije radona u rudničkoj atmosferi.

Mjerenja koncentracije radona pokazuju kako su koncentracije redovito niže od zakonski propisanih maksimuma, a po potrebi se vjetrenjem podzemnih prostorija kon-

centracije mogu smanjiti. Na ovaj način se kontrolira još jedan parametar podzemne atmosfere bitan za zdravlje ljudi koji rade u podzemnom poligonu.

5. Dugoročna opažanja mikroklimatskih parametara

Istraživački projekt 'Unaprijeđenije ventilacijskog sustava rudnika sv. Barbara i dugoročno opažanje mikroklimatskih i ventilacijskih parametara' započeo je s idejom postizanja automatske regulacije ventilacijskog sustava, čime se željelo smanjiti vlažnost zraka u rudniku i time produljiti vijek trajanja drvene podgrade. Drvena podgrada rudniku daje autentičan izgled no zbog visoke vlažnosti zraka propada i nema veliku trajnost. Regulacija ventilacijskog sustava uključuje i postavljanje mreže osjetila mikroklime kroz rudnik koja kontinuirano bilježi mjerene vrijednosti i pruža ulazne podatke za algoritam regulacije. Kao sekundarni cilj istraživanja, dugoročno praćenje ovakvih podataka omogućuje određivanje specifičnih parametara za računalne (CFD) simulacije strujanja zraka te termodinamičkih i psihrometrijskih procesa u ventilacijskim mrežama, karakterističnim za rudnike i podzemne prostorije.

U prvim fazama izvođenja projekta do sada je ostvareno više sporednih ciljeva. Samogradnja i testiranje osjetila mikroklime omogućilo je povoljnu i lako prilagodljivu izvedbu osjetila koja su pogodna za dugoročno funkcioniranje u surovim podzemnim uvjetima. Osjetila se sastoje od pojedinačnih modula za mjerenje temperature, barometarskog tlaka i relativne vlažnosti zraka, te sporednih komponenti koje omogućuju napajanje, komunikaciju i upravljanje. Upravljački dio čini mikrokontroler ATmega32U4 izveden u okviru popularne otvorene platforme Arduino, dok su mjerni pretvornici temperature, vlažnosti i tlaka u poluvodičkoj tehnologiji vodećih proizvođača Sensirion (SHT35) i STMicroelectronics (LPS25H). Kućište osjetila izrađeno je uz ispitivanje više tehnika ispisa 3D printerom kako bi se ostvarilo zrakotijesno kućište i zatvaranje (Slika 9). Ovo je uz korištenje silika-gela mjera zaštite elektronike od visoke vlažnosti u rudniku.

Slika 9: Zrakotijesno kućište osjetila izvedeno 3D printerom i pojednostavljena shema osjetila

Komunikacija i napajanje mreže osjetila izvedeno je u jednom S/FTP kabelu radi što manjeg broja uvodnica, također kao mjera zaštite od vlage. Razmatrano je nekoliko tehnologija komunikacije, uključujući ethernet, optička vlakna te bežični prijenos sa centralnim ili baterijskim napajanjem. Glavni kriteriji za selekciju su bili jednostavnost instalacije i održavanja, pouzdanost komunikacije, robusnost komponenti dostupnih na tržištu te protok podataka koji za ove potrebe ne mora biti visok. RS485 standard omogućuje pouzdanu i jednostavnu komunikaciju u podzemlju na velikim udaljenostima i do nekoliko kilometara, uz istovremeno napajanje istosmjernim naponom za pogon senzorske mreže. Ovakav sustav ispitan je komunikacijom na udaljenosti od 1000 m pri protoku podataka od 14400 Bd.

Slika 10: Prikazivanje podataka on-line korištenjem ThingSpeak platforme (https://thingspeak.com/channels/887785)

Podaci senzorske mreže šalju se van rudnika gdje se nalazi centralni kontroler za prikupljanje podataka i regulaciju ventilacijskog sustava. Ovdje se odvija lokalno prikupljanje podataka uz pohranjivanje na SD karticu ali istovremeno radi praćenja u stvarnom vremenu odvija se i slanje podataka putem GSM mreže. Za prihvat podataka iz GSM mreže i pohranu na server iskorištena je otvorena platforma ThingSpeak. Ista platforma omogućuje on-line prikaz mjernih podataka (Slika 10) kao i automatizirano provođenje određenih analiza.

Slika 11: Algoritam upravljanja

Ugrađeni ventilator je reverzibilan te reguliran putem PLC jedinice i frekvencijskog pretvarača. Ovo omogućuje da ovisno o vanjskim uvjetima zraka te godišnjem dobu, zračna struja u rudniku bude promjenjivog smjera ali i promjenjive brzine strujanja. U prvim fazama projekta regulacija je bazirana samo na klimatskim podacima vanjskoga zraka te je upotrijebljen jednostavan algoritam predočen slikom 11.

Prve analize klimatskih podataka u okolini rudnika (Slika 12) provedene su s pretpostavkom da je rosište zraka najvažniji parametar koji utječe na promjenu vlažnosti u rudniku pri uključivanju ventilacijskog sustava. U slučaju da je rosište zraka iznad temperature stijene u rudniku, dolazi do kondenzacije vlage u rudniku. U suprotnom, ako je rosište vanjskog zraka ispod temperature rudnika tada zrak ima određeni kapacitet da vlagu primi na sebe, što čini povoljne uvjete za ventilaciju. Analize su pokazale da postojanje ovakvih povoljnih uvjeta zavisi o dobu godine i dana. Na slici 13 vidljivo je kako povoljni klimatski uvjeti vladaju većim dijelom godine, izuzev ljetnih mjeseci kada se javlja visoko rosište vanjskog zraka.

Slika 12: Dnevne promjene vanjskog zraka u okolini rudnika

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h
Siječanj	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Veljača	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ožujak	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Travanj	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	97	100	100	97	97	97	93	93	97	97	93	97	97
Svibanj	100	94	90	94	94	94	90	87	87	84	81	77	71	68	74	77	81	77	81	81	84	87	84	87
Lipanj	40	37	43	47	47	23	33	33	40	33	33	30	23	27	27	27	27	27	33	23	27	33	30	30
Srpanj	29	32	39	39	42	35	32	29	29	29	23	23	26	23	23	23	23	23	26	26	26	23	26	29
Kolovoz	19	19	29	29	29	26	23	23	26	26	23	19	16	13	13	13	16	16	19	13	16	19	23	19
Rujan	60	67	67	63	73	73	70	67	60	53	43	47	43	37	40	40	47	50	53	50	57	57	60	57
Listopad	97	94	94	94	97	97	100	100	100	100	97	94	94	97	97	100	94	87	90	100	97	94	94	94
Studeni	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Prosinac	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Slika 13: Vremenska raspodjela povoljnih klimatskih uvjeta (%)

U završnoj fazi projekta biti će proširena senzorska mreža u svome opsegu kroz rudnik ali i u vrstama mjerenja, gdje će uz temperaturu zraka biti mjerena i temperatura stijena. Takvi podaci će biti prikupljani kroz višegodišnji period te omogućiti određivanje parametara numeričkih računalnih simulacija kao i verifikaciju računalnih simulacija. Analize dugoročno opažanih podataka polučiti će zavisnosti potrebne za tvorbu naprednijeg algoritma upravljanja ventilacijskim sustavom, korištenjem ulaznih podataka iz senzorske mreže rudnika.

6. Zaključak

U cilju istraživanja THM efekata na stijeni unutar rudnika sv. Barbara proveden je eksperiment mjerenja prijenosa topline. Usporedba simulacije rezultata numeričkim modelom i mjerenih podataka ukazuje na veliku sličnost rezultata. Mjerenja koncentracije radona pokazuju da su izmjerene koncentracije redovito niže od zakonski propisanih maksimuma. Vjetrenjem podzemnih prostorija rudnika koncentracije se mogu smanjiti.

U prvim fazama izvođenja projekta 'Unaprjeđenje ventilacijskog sustava rudnika sv. Barbara i dugoročno opažanje mikroklimatskih i ventilacijskih parametara' do sada je ostvarena regulacija ugrađenog reverzibilnog ventilatora klimatskim podacima zraka iz okoline rudnika. Postavljena je mreža osjetila mikroklime kroz rudnik čime je također omogućeno kontinuirano bilježenje mjerenih vrijednosti. Analiziranjem ulaznih podataka iz senzorske mreže rudnika dobit će se međusobne zavisnosti čimbenika potrebnih za izradu algoritma upravljanja ventilacijskim sustavom koji će uključivati klimatske podatke i iz atmosfere rudnika.

Literatura

[1] Laszowski, E.: Rudarstvo u Hrvatskoj, svezak II., Hrvatska državna tiskara, 258 pp, Zagreb, (1944).

[2] Šinkovec, B.: Geologija ležišta željezne i bakrene rude u Rudama kraj Samobora, Geološki vjesnik, Vol. 24., (1971), 165- 181.

[3] Arao (2019): Revised referenced scenario for geological disposal facility in hard rock with cost estimation for its implemetation - Spent nuclear fuel and high-level waste disposal in Slovenia or Croatia. IBE Consulting Engineers. Ljubljana, Slovenija.

[4] Ikonen, K. (2003): Thermal Analyses of Spent Nuclear Fuel Repository. Posiva. Olkiluoto. Finland.

[5] Veinović, Ž., Kovačević Zelić, B., Končić, A.: The Role of Underground Research Laboratories within National Repository Development Programmes, Proceedings of UNDER CITY Colloquium on Using Underground Space in Urban Areas in South-East Europe, Kolić, D., pp. 473-481, Croatian Society for Concrete Engineering and Construction Technology, Zagreb, Hrvatska, (2012).

[6] Veinović, Ž., Kovačević Zelić, B., Domitrović, D. (2015): Deep geological disposal of spent nuclear fuel and high-level waste: current state and future challenges. In *Handbook of research on advancements in environmental engineering* Gaurina-Međimurec, N., Hershey: IGI Global, 2015. str. 367-399. doi:10.4018/978-1-4666-7336-6.ch014

[7] NN (40/2018): Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu.

[8] NN (118/2018): Akcijski plan za radon za razdoblje 2019. – 2024.

Centar za ljevarstvo – SIMET kao temelj razvoja metalske industrije Republike Hrvatske

Zdenka Zovko Brodarac[1], Faruk Unkić[2], Ljiljana Srečec[3], Anita Filipović[4]

[1] član suradnik HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, zovko@simet.unizg.hr

[2] Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, unkic@simet.unizg.hr

[3] Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, srececlj@simet.unizg.hr

[4] Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, afilipov@simet.unizg.hr

Sažetak: *Metalurška proizvodnja smatra se jednim od pokretača svjetskog gospodarstva. U Republici Hrvatskoj, metalurgija predstavlja tradicionalnu, profitabilnu i izvozno orijentiranu industrijsku granu. Izvrsnost je moguće temeljiti na ulaganju u visokosofisticiranu opremu kao potencijal stjecanja novih i/ili inovativnih znanja, kreativnosti te prepoznatljivosti na europskoj istraživačkoj karti. Potencijal ulaganja zasniva se na infrastrukturnom projektu Centar za ljevarstvo – SIMET (KK.01.1.1.02.0020) nositelja Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u partnerstvu sa Sisačko-moslavačkom županijom. Projekt je financiran iz Europskog fonda za regionalni razvoj, Operativnog programa Konkurentnost i kohezija (2014-2020.). Ulaganje u opremu nije samodostatan cilj! Uspostavljeni znanstvenoistraživački potencijal čini temelj za ulaganje u znanje, vještine i kompetencije djelatnika i studenata, ali i otvara mogućnost ciljanih djelatnosti usmjerenih ka gospodarstvu budući da je u društvenom poretku koji danas živimo nužno doseći samoodrživost. Specifičnim znanstvenoistraživačkim i stručnim projektima te ciljanom edukacijom i osposobljavanjem za kritičko i inovativno promišljanje prateći moto* ***od ideje do gotovog proizvoda*** *podiže se konkurentnost, prepoznatljivost i cjelokupan značaj ideja i inovacija u polju Metalurgija i Metalskoj industriji kao važnoj grani za razvoj gospodarstva Republike Hrvatske.*

Ključne riječi: *metalurgija, ljevarstvo, gospodarstvo, simet, znanstvenoistraživačka i stručna djelatnost.*

1. Uvod

Povijest metalurgije seže čak 6000 god. pr. n. e. kada je zabilježen prvi čovjekov susret s bakrom. Metalurgija (prema grč. μεταλλουργεῖν: kopati rude) je gospodarska

i znanstvena djelatnost koja se bavi dobivanjem i primjenom metala i njihovih legura. Kao znanstveno polje spada u područje tehničkih znanosti te obuhvaća grane procesne, mehaničke te fizičke metalurgije. Procesna (ekstraktivna) metalurgija obuhvaća redukciju metala iz ruda te njihovu rafinaciju, odnosno izdvajanje, pročišćavanje, legiranje, lijevanje, oblikovanje metala, a sve radi dobivanja poluproizvoda ili gotovih proizvoda. Mehanička (prerađivačka) metalurgija bavi se oblikovanjem metala u plastičnom ili čvrstom stanju koristeći se tehnološkim postupcima poput valjanja, prešanja, kovanja, savijanja i izvlačenja metala. Fizička metalurgija bavi se utvrđivanjem fizikalnih i kemijskih zakonitosti ponašanja metalnih materijala tijekom obradbe, preradbe, ispitivanja i primjene. Obuhvaća kristalografiju, mehanička ispitivanja, određivanje fizikalnih karakteristika, metalografiju i druge postupke pri ispitivanju metala, odnosno gotovih proizvoda, a u svrhu predviđanja njihove kvalitete, planiranja proizvodnih procesa i uvjeta korištenja [1].

Ljevarstvo je djelatnost i znanstvena disciplina koja se bavi postupkom oblikovanja obično metalnih materijala, u rastaljenom stanju. Ljevarstvo predstavlja primarnu i najprosperitetniju proizvodnu granu zbog iznimne fleksibilnosti proizvodnje i prilagođenosti tržišnim uvjetima natjecanja. Također omogućava proizvodnju cijele palete materijala s metalnom osnovom bez kojih je naša svakodnevnica nezamisliva. Osim toga, primjena suvremenih tehnologija lijevanja omogućava veliku proizvodnost u kvalitativnom i kvantitativnom smislu, što tu industrijsku granu čini iznimno konkurentnom.

Znanje postaje sve važniji resurs gospodarskog razvoja. Republika Hrvatska suočena je s izazovima svjetskog gospodarstva prema kojima, između ostalog, mora ispuniti određene zahtjeve u oblikovanju obrazovnog sustava. Osiguranje jamstva kvalitete obrazovnog sustava samo je jedan od zahtjeva koje Metalurški fakultet ima postavljen kao kontinuiranu misiju. Kako stupanj obrazovanja stanovništva utječe na napredak gospodarstva, za Republiku Hrvatsku iznimno je važno povećati udio visokoobrazovanih upravo u strateškom polju Metalurgije u području Tehničkih znanosti.

Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu je jedina znanstveno-nastavna ustanova u Republici Hrvatskoj koja, poštujući kulturu kvalitete, na preddiplomskoj, diplomskoj, poslijediplomskoj i stručnoj razini pruža visokoškolsko obrazovanje iz područja metalurgije i materijala, industrijske ekologije i sigurnosti, zdravlja na radu i radnog okoliša, a organizacijom savjetovanja, seminara, radionica, javnih tribina i predavanja sustavno provodi program cjeloživotnog obrazovanja i usavršavanja i pruža potporu gospodarskim subjektima metalurške, metaloprerađivačke, brodograđevne i ljevačke industrije. Metalurški fakultet svoju djelatnost temelji na visokim akademskim i etičkim vrijednostima te doprinosu i odgovornosti prema društvu u cjelini [2,3].

Govoreći o metalurgiji nužno je naglasiti značaj struke koja više od 8000 godina kontinuirano mijenja ljudsko okruženje utemeljeno upravo na proizvodnji i primjeni

metala. Činjenica je da i danas živimo u metalnom dobu čiju osnovu čine inovativni metalni materijali s naprednim svojstvima. Povijesni upliv razvoju obrazovnog sustava u polju metalurgija ima i podatak da smo sljedbenica Tehničke visoke škole s izvođenjem prvog stručnog kolegija još davne 1919. godine te sastavnica Sveučilišta u Zagrebu, jednog od 15 najstarijih europskih sveučilišta koje čini osnovu znanstvenoistraživačkog i nastavnog potencijala Republike Hrvatske. Unutar Tehničkog fakulteta 1939. godine osnovan je Odsjek za rudarstvo i metalurgiju - iste godine kada je i puštena u rad prva visoka peć u Talionici Caprag. Velika imena i začetnici metalurškog obrazovanja, istraživači, znanstvenici i nastavnici poput profesora Vladimira Logomerca, Luje Chloupeka, Pavla Pavlovića, Marijana Laćana uočavaju potrebu za obrazovanjem u polju metalurgije i koncentriranjem znanja u gradu Sisku i bivšem Institutu Željezare Sisak. Sve su se aktivnosti odvijale pod patronatom tadašnjeg direktora Željezare Sisak Norbertom Veberom, čije je ime svojedobno nosila i sisačka srednja škola. Osnivanje Metalurškog odjela i Tehnološko pogonskog odjela za naftu u Sisku, na Tehnološkom fakultetu u Zagrebu, 1960. godine predstavlja prekretnicu za razvoj metalske industrije ne samo u gradu Sisku nego i Republici Hrvatskoj. Prvi nastavni program osmišljen je po uzoru na studij Montanistike Univerze v Ljubljani. Visokoškolsko obrazovanje i moćna metalska proizvodnja privlačili su mlade ljude s nadom i vjerom u budućnost. Ta budućnost osigurala je i razvoj grada Siska, koji je u to zlatno doba, imao minus nezaposlenost. Metalska industrija bila je pokretač razvoja grada u gradu. U neposrednoj blizini tog moćnog metaloprerađivačkog giganta niknuo je kvart Caprag sa svim socijalnim aspektima cjelovitog društva koji pokrivaju obrazovne, kulturne, zdravstvene i rekreativne resurse. Takav munjeviti razvoj predstavlja dokaz da se znanje množi dijeljenjem. Takav pristup njeguje se kroz više od 60 godina studijskih programa i on predstavlja viziju budućeg razvoja polja tehničkih znanosti i struke metalurgija!

S potrebom za profilom stručnjaka iz polja metalurgija Metalurški fakultet se suočava na tjednoj bazi. Stoga je nužno promijeniti poimanje filozofije struke metalurgija u široj javnosti. Današnja moderna metalurgija je specifično polje koje se bavi dizajnom, razvojem i karakterizacijom metalnih materijala od onih svakodnevnih koji nas okružuju u našim domovima, na radnim mjestima do materijala s naprednim svojstvima i za specifične primjene poput onih za automobilsku ili svemirsku industriju, medicinu, ali i atraktivnu IT industriju. Metal čini osnovu svake sigurnosno-kritične komponente koja nas okružuje i čini našu svakodnevicu funkcionalnom, sigurnom i udobnom. Sve dosadašnje industrijske i tehnološke revolucije, kao i današnja Industrija 4.0 potpuno su nezamislive i neprovedive bez metalne platforme.

Proizvodne djelatnosti i obrazovanje čine temelj razvoja svake države te je i strategiju razvoja nužno osloniti upravo na izvrsne mlade ljude koji stjecanjem znanja na Metalurškom fakultetu te istraživačkim pristupom obogaćuju Republiku Hrvatsku rijetkim znanjima, vještinama i kompetencijama. Sve se to ogleda u strateškim pravcima Metalurško inženjerstvo, Metalni materijali te Sigurnost, zdravlje na radu i radni

okoliš. Izvrsnost se temelji na ulaganju u visokosofisticiranu opremu kao potencijal postizanja novih i/ili inovativnih znanja, kreativnosti te prepoznatljivosti na europskoj istraživačkoj karti. Potencijal ulaganja zasniva se na infrastrukturnom projektu Centar za ljevarstvo – SIMET (KK.01.1.1.02.0020) u partnerstvu sa Sisačko-moslavačkom županijom, ugovorenoj vrijednosti od 40.401.494,36 HRK. Projekt je financiran iz Europskog fonda za regionalni razvoj, Operativnog programa Konkurentnost i kohezija (2014-2020.). Ulaganje u opremu nije samo sebi cilj! Uspostavljeni znanstvenoistraživački potencijal čini temelj za ulaganje u znanje, vještine i kompetencije djelatnika i studenata, ali i otvara mogućnost ciljanih djelatnosti kroz otvaranje spin off poduzeća budući da je u društvenom poretku koji danas živimo nužno doseći samodostatnost. Ciljane aktivnosti otvorile bi vrata cjeloživotnom obrazovanju zainteresiranih vanjskih dionika koji bi kroz znanstvenoistraživačke i stručne projekte te fokusiranom edukacijom o mogućnostima istraživanja te osposobljavanjem za kritičko i inovativno promišljanje prateći moto od ideje do gotovog proizvoda, bili sposobni osnovati *start up* poduzeće temeljeno na realizaciji jedinstvenih i specifičnih ideja u polju Metalurgija.

Konkurentnost je moguće temeljiti isključivo na suvremenoj tehnologiji, učinkovitim proizvodnim postupcima, ali isto tako i na visokokvalificiranoj radnoj snazi. Sve to zahtijeva ulaganje u infrastrukturu i obrazovne studijske programe koje Metalurški fakultet usmjerava ka stjecanju prije svega praktičnih znanja i vještina s naglaskom na razvoj i primjenu suvremenih materijala i tehnologija. Aktivnosti istraživanja i razvoja te prijenosa znanja koje aktivno provodimo, uz inovativnost, kreativnost i fleksibilnost, neophodne su da bi gospodarstvo postalo konkurentnije. Industrijska strategija Republike Hrvatske utvrđuje strateškim ciljevima djelatnosti iz područja proizvodnje i prerade metala koje spadaju u skupinu tzv. “pokretača”, velikih izvozno orijentiranih poddjelatnosti koje ostvaruju dobit i zapošljavaju značajan broj djelatnika. Od poddjelatnosti Lijevanje metala očekuje se da ostvaruje veće stope rasta i zapošljavanja od kretanja BDP-a, odnosno preko 5%, koji se temelji prvenstveno na povećanju izvoza. Isto tako, prema analizama nezavisnih ekonomskih stručnjaka, kako Sisak, tako i cijela Republika Hrvatska, trebali bi tražiti svoj industrijski razvoj preko metalne i metaloprerađivačke industrije kroz otvaranje malih metalurških pogona sa specifičnim proizvodima, mini-postrojenja s relativno niskim investicijskim i pogonskim troškovima. Prema podatcima Državnog zavoda za statistiku i FINA-e te na osnovu analize Sektora za financijske institucije, poslovne informacije i ekonomske analize Hrvatske gospodarske komore za 2020. godinu, u strukturi hrvatske industrijske proizvodnje primarna proizvodnja metala iznosi svega 1,8 % kao posljedica nepostojanja ekonomski isplativih nalazišta primarnih sirovina i tržišnih fluktuacija njihove cijene, ali i nedostatka suvremenih proizvodnih kapaciteta. Međutim, valorizacija i izvozna komponenta gotovih metalnih proizvoda ističe se visokim udjelom od gotovo 8,6 % te proizvodnja strojeva i uređaja s 3,2%, dok proizvodnja prijevoznih sredstava i motornih vozila, prikolica i poluprikolica zajedno čine 1,9%.

Ukupno metaloprerađivačka industrija temeljem ishoda ključnih poddjelatnosti u pandemijskoj 2020. godini čini 15,5% industrijske proizvodnje RH. Budući da je metaloprerađivačka industrija izrazito izvozno orijentirana, navedeno ukazuje da je i opseg proizvodnje orijentiran potrebama inozemnih proizvođača gotovih proizvoda. Tome u prilog ide i visoki udio djelatnosti metalske industrije u ukupnom robnom izvozu RH čiji je udio u 2020. iznosio gotovo 24% kako je prikazano slikom 1 [4].

Slika 1: Analiza strukture hrvatske industrijske proizvodnje u 2020. godini, izvor: DZS, obrada HGK [4]

Za jačanje konkurentnosti gospodarskih dionika nužna je pametna specijalizacija proizvodnje, odnosno održiva proizvodnja visoko kvalitetnih, jeftinih i ekološki prihvatljivih proizvoda. Globalno tržište zahtijeva optimizaciju postojećih tehnologija i racionalizaciju troškova proizvodnje.

Zadnjih godina uspješno se razvilo nekoliko malih poduzeća (dijelovi za autoindustriju, bolničke stolice, profilirani limovi, građevinska limarija) koja inovacijama i visokom kvalitetom proizvoda uspješno konkuriraju na domaćem i izvoznim tržištima. Uzevši u obzir sve veću potrebu velikih (globalnih) proizvođača za proizvodima malih serija, pretpostavka je da će isti graditi mrežu dobavljača u koju se mogu uključiti hrvatski proizvođači. Male količine su dovoljne za zapošljavanje njihovih proizvodnih kapaciteta, a uz kvalificiranu radnu snagu i nove tržišne prilike očekuje se rast postojećih poduzeća, ali i osnivanje novih. Ulaganjem u modernu opremu te certifikaciju proizvodnje, metaloprerađivači pokazuju želju za rastom. Osnovne značajke hrvatske industrije su stabilna kvaliteta i pouzdanost proizvoda u skladu s EU standardima, dok je s druge strane važno uložiti napore u raspoloživu stručnu radnu snagu, ciljanu potporu znanstvenih institucija, dobru proizvodnu infrastrukturu s naglaskom na suvremene tehnologije i prometnu povezanost sa svijetom.

Budući da je hrvatsko tržište premalo za značajniji rast proizvodnje, poduzeća iz promatrane djelatnosti prvenstveno usmjeravaju svoje proizvodne kapacitete na zemlje

Europske unije, što ujedno znači i povećanje razine produktivnosti imovine i radne snage, kako bi se moglo parirati stranoj konkurenciji. Konkurentnost je moguće temeljiti isključivo na suvremenoj tehnologiji, učinkovitim proizvodnim postupcima, ali isto tako i na visokokvalificiranoj radnoj snazi. Sve to zahtijeva ulaganje u infrastrukturu i obrazovne studijske programe koji trebaju težiti stjecanju prije svega praktičnih znanja i vještina s naglaskom na razvoj i primjenu suvremenih materijala i tehnologija, a kako bismo promijenili ovakav status Republike Hrvatske.

Stoga je Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu kao jedina znanstveno-nastavna ustanova u Republici Hrvatskoj koja na trogodišnjoj preddiplomskoj i dvogodišnjoj diplomskoj razini izvodi visokoškolsko obrazovanje iz polja metalurgije i to u dva smjera / usmjerenja: Metalurško inženjerstvo i Industrijska ekologija, prepoznao nužnost utjecanja na transformativnu viziju razvoja znanosti, nastavnog procesa i gospodarstva prijavom i provedbom upravo ovog infrastrukturnog projekta Centar za ljevarstvo – SIMET, strateški pozicioniranog u Sisačko-moslavačkoj županiji i izuzetno važnog za Fakultet i Sveučilište u Zagrebu u cijelosti.

Problemi s kojima se suočava hrvatska metalska industrija se odnose na nepovoljno poslovno okruženje, slabo razvijenu poduzetničku kulturu, nedostatak poslovnih ulaganja i kapitala te promotivnih aktivnosti relevantnih institucija. Stopa start up - ova je vrlo niska u usporedbi s EU standardima. Broj malih i srednjih poduzeća utemeljenih na znanju o metalurgiji je nedovoljan. Nadalje, nedostatna je aktivna suradnja između malih i srednjih poduzeća u području metalurgije, akademske zajednice i javne vlasti, kao i ograničena komunikacija unutar same istraživačke zajednice. Zbog nedostatka inter- i multidisciplinarnog pristupa i nedostatnosti odgovarajuće opreme, suradnja visokih učilišta s malim i srednjim poduzećima bila je ograničenog opsega.

Problem je prepoznat upravo u nedostatku kapaciteta za *know-how* koncept proizvodnje. Upravo na tom mjestu, Metalurški fakultet pronalazi nišu svoje pametne specijalizacije na kojoj će se, jačanjem znanstveno-istraživačkih kapaciteta, pozicionirati kao pokretač projektnih ideja te inovacija odnosno gospodarskog oporavka utemeljenog na znanju. Upravo je ta niša, predstavljala motivaciju za uspostavljanje veze između Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Sisačko-moslavačke županije s ciljem stvaranja povoljnog okruženja kroz uspostavu Centra za ljevarstvo – SIMET, kojim bi se podigla razina transfera tehnologije i rezultata istraživanja i razvoja (R&D) od visokih učilišta ka gospodarskim subjektima.

2. Razvoj ideje, evaluacija i implementacija infrastrukturnog projekta Centar za ljevarstvo - SIMET

Povijesni razvoj projektne ideje Centar za ljevarstvo - SIMET prikazan je Tablicom 1.

Tablica 1: Povijesni razvoj projektne ideje Centar za ljevarstvo - SIMET

DATUM	IDEJA/ DOGAĐAJ	SURADNICI NA PROVEDBI IDEJE/ DOGAĐAJA	ISHOD
	Development Component in Croatia		
30.6.2015.	Projekt: Centar za ljevarstvo – SIMET Javni poziv za dostavu projektnih prijedloga Priprema zalihe infrastrukturnih projekata za Europski fond za regionalni razvoj 2007. – 2013.	Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet (Zdenka Zovko Brodarac) Suradne ustanove/partneri: Sisačko-moslavačka županija (Snježana Tomašević)	Iznos ukupno traženih sredstava: 3.8 M€. Projekt je pozitivno ocijenjen i uvršten na Indikativnu listu zalihe infrastrukturnih projekata Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta: http://public.mzos.hr/Default.aspx?art=14109
25.11.2015.	Projekt: Centar za ljevarstvo – SIMET Ograničeni poziv: Priprema zalihe infrastrukturnih projekata za EFRR 2014. – 2020., Treći poziv	Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet (Zdenka Zovko Brodarac, Martina Lovrić) Suradne ustanove/partneri: Sisačko-moslavačka županija (Snježana Tomašević)	Projekt je odobren i uspješno implementiran (HR RC.2.2.10-0005). Iznos ukupno odobrenih sredstava: 409.333,33 HRK (100%). Više informacija o provedenom projektu: http://castingpoint.simet.hr/
21.12.2018.	Projekt: Centar za ljevarstvo –SIMET Europski fond za regionalni razvoj, Operativni program Konkurentnost i kohezija 2014.-2020. u okviru poziva „Ulaganje u organizacijsku reformu i infrastrukturu u sektoru istraživanja, razvoja i inovacija“	Zdenka Zovko Brodarac Ljiljana Srečec Anita Filipović Projektni i istraživački timovi imenovani odlukom Fakultetskog vijeća Metalurškog fakulteta	Projekt je odobren i trenutno je u tijeku implementacija (KK.01.1.1.02.0020). Iznos ukupno odobrenih sredstava: 40.401.494,36 HRK (100%). Više informacija o provedbi: http://castingpoint.simet.hr/

Suočeni sa sve nižom stopom ulaganja u istraživanja i razvoja u bruto društvenom proizvodu (BDP-u) Republike Hrvatske u usporedbi sa srednjom vrijednošću udjela u Europskoj uniji, prepoznavanje ove projektne ideje uvrštavanjem na indikativnu listu projekata te implementacija projekta Centar za ljevarstvo - SIMET kroz projekt u okviru Priprema zalihe infrastrukturnih projekata za Europski fond za regionalni razvoj 2007.-2013. te konačnu implementaciju projekta kroz Europski fond za regionalni razvoj, Operativni program Konkurentnost i kohezija 2014.-2020. u okviru poziva „Ulaganje u organizacijsku reformu i infrastrukturu u sektoru istraživanja, razvoja i inovacija“ predstavlja direktnu potporu hrvatskom obrazovnom sustavu s naglaskom na visokoškolsko obrazovanje i gospodarstvu s općim informacijama o provedbi prikazanim na slici 1.

Slika 2: Opće informacije o projektu Centar za ljevarstvo - SIMET

Strateški ciljevi na kojima se bazira budući razvoj Metalurškog fakulteta u dijelu znanstveno-istraživačke djelatnosti obuhvaćaju povećanje opsega i podizanje kvalitete znanstveno-istraživačke djelatnosti na razinu koja osigurava međunarodnu prepoznatljivost i konkurentnost Fakulteta u europskom istraživačkom prostoru; podizanje kvalitete sveučilišnog poslijediplomskog studija te znanstveno napredovanje i usavršavanje zaposlenika. Strateški ciljevi Metalurškog fakulteta u dijelu stručne djelatnosti predviđaju profesionalno napredovanje i konkurentnost temeljenu na snažnoj povezanosti Metalurškog fakulteta s vodećim gospodarskim subjektima u RH, jakoj alumni organizaciji i prepoznatljivim programima cjeloživotnog obrazovanja i usavršavanja; povezivanje s gospodarstvom, javnom i lokalnom zajednicom te unapređenje stručnog rada. Iza svega navedenog važan segment predstavlja i transfer znanja i tehnologija prema studentima, akademskoj zajednici i gospodarstvu.

Razlozi i motivacija za pokretanje i provedbu projekta Centar za ljevarstvo – SIMET definirani su općim i specifičnim ciljevima projekta. Opći cilj projekta je definiran na sljedeći način:

- Ulaganjem u organizacijsku reformu i infrastrukturu u sektoru istraživanja, razvoja i inovacija (IRI) nastoji se povećati sposobnost sektora za provođenje istraživanja vrhunske kvalitete i zadovoljavanje potreba gospodarstva, a sve to doprinosi jačanju gospodarstva primjenom istraživanja i inovacija. Jačanjem kapaciteta za istraživanje, razvoj i inovacije (IRI), poboljšat će se kompetencije nastavnog osoblja i studenata te pozicionirati Fakultet i općenito metalurški sektor u smislu prepoznavanja i aktiviranja njegovog IRI potencijala.

Svrha osnivanja Centra je umrežiti relevantne dionike kao ciljanu skupinu i omogućiti prijenos znanja i vještina u funkciji istraživanja u razvoju materijala i tehnologija prema potencijalnim korisnicima:

- znanstvenom, nastavnom i stručnom osoblju i studentima te
- dionicima iz proizvodnog sektora

kroz dizajniranje inovativnih materijala prema zahtjevima tržišta te stvaranjem konačnog proizvoda, zatim razvoju proizvoda primjenom specifičnih tehnologija (CAD/CAE tehnologije), računalno podržanom projektiranju procesa razvoja proizvoda i konstrukcije, pripreme proizvodnje, ali i kroz cjeloživotno učenje namijenjeno studentima, stručnjacima iz gospodarstva itd.

Globalno tržište zahtijeva optimizaciju postojećih tehnologija i racionalizaciju troškova proizvodnje. Svrsishodnost Centra za ljevarstvo - SIMET ogledat će se u ciljanim istraživanjima u razvoju materijala i transferu tehnologija prema partnerima iz realnog sektora pod motom od ideje do gotovog proizvoda. Aktivnosti bi bile usmjerene u tri osnovna smjera:

- dizajniranje inovativnih materijala prema specifičnim zahtjevima tržišta, odnosno proizvođača, te karakterizacija sintetiziranog ili inoviranog materijala prema specifičnim poboljšanim i/ili zahtijevanim svojstvima konačnog proizvoda
- razvoj proizvoda primjenom sofisticiranih CAD/CAE tehnologija (CAD - Computer Aided Design, računalom podržano projektiranje procesa razvoja proizvoda i konstrukcijske pripreme proizvodnje te CAE – Computer Aided Engineering, računalom potpomognuto inženjerstvo) razrade procesa lijevanja i skrućivanja te predviđanje potencijalnih grešaka). Razvojem proizvoda uz izradu prototipa i alata, naglasak je postavljen na inovacije i optimizaciju procesa i postupaka proizvodnje.
- cjeloživotno učenje (Lifelong learning - L3) –kroz koje je namjera približiti studentima, stručnjacima iz gospodarstva i svim zainteresiranim dionicima sofisticiranu opremu i istraživanja te na istima utemeljeno znanje, koje će omogućiti

razvoj inženjerskih vještina, inovativnost i inventivnost u rješavanju projektnih zadataka i time lansirati globalno kompetentne stručnjake u područje metaloprerađivačke industrije i djelatnicima metalurških poduzeća.

Dizajniranje i razvoj proizvoda uz izradu prototipa, stavlja naglasak na inovacije i optimizaciju procesa i postupaka proizvodnje uz ciljane ishode istraživanja i razvoja s pažljivo odabranom opremom jedinstvenom u Republici Hrvatskoj čiji doprinos razvoju materijala i tehnologija je prikazan shematskim prikazom istraživačkih metoda i tehnika povezanih u Centar za ljevarstvo - SIMET.

Slika 3: Shematski prikaz istraživačkih metoda i tehnika u okviru projekta Centra za ljevarstvo - SIMET

Već spomenuti važan segment transfera znanja, ali i tehnologija ogledao bi se u organizaciji brojnih događanja. Neka od njih su već prepoznata, neka su ciljana, a neka će biti u službi ne samo dionika u akademskoj zajednici već društveno odgovornog poslovanja poput Znanstveno-stručnih seminara, Međunarodnog savjetovanja ljevača, Dana karijera, ali i sudjelovanja s inovacijama na međunarodnim sajmovima / izložbama inovacija [5].

Danas je moderna metalurgija specifično polje koje se bavi dizajnom, razvojem i karakterizacijom materijala od onih svakodnevnih koji nas okružuju u našim domovima, radnim mjestima, ali i materijala s posebnim zahtjevima za specifične namjene poput onih za automobilsku ili svemirsku industriju. Pritom treba poznavati i proizvodne procese. Kroz ove prethodne spoznaje provlači se oporaba i zbrinjavanje metalnih materijala i otpada iz proizvodnje kojim se bavi Industrijska ekologija.

Metalurška proizvodnja smatra se jednim od glavnih čimbenika koji utječe na razvoj svjetske ekonomije. U svijetu je ona profitabilna dok je u Republici Hrvatskoj identificiran niz problema, među kojima su loše poslovno okruženje, nedostatak investicija te loša komunikacija između malih i srednjih poduzetnika iz područja metalne industrije, znanstvenih institucija, visokih učilišta te lokalnih i regionalnih vlasti. Projekt Centra za ljevarstvo – SIMET je prilika za promijeniti okolnosti. Uvažavajući teorijska znanja, metalurška struka snažno se oslanja na gospodarstvo u međusobnoj razmjeni znanja i iskustva. U okviru Centra za ljevarstvo – SIMET, predviđene aktivnosti istraživanja i razvoja, uz ostale aktivnosti povezane s uvođenjem inovacija u poduzeća, neophodne su za pozicioniranje, prepoznatljivost izvrsnosti Metalurškog fakulteta, prepoznatljivost i vidljivost Sveučilišta u Zagrebu, povratak Siska i Sisačko-moslavačke županije u status centra atraktivne znanstvene izvrsnosti, procesnih znanja i kompetencija te niše za razvoj gospodarstva Republike Hrvatske.

Slika 4: Predstavljanje i vizualne oznake projekta Centra za ljevarstvo - SIMET

Projekt Centar za ljevarstvo - SIMET se sastoji od elemenata i grupa prikazanih tablicom 2.

Tablica 2: Elementi i grupe projekta Centar za ljevarstvo - SIMET

Red.br.		ELEMENTI PROJEKTA I PRIPADAJUĆE GRUPE AKTIVNOSTI
1	Adaptacija i prilagodba prostora za potrebe Centra za ljevarstvo SIMET	
	1.1.	Adaptacija i prilagodba postojećeg prostora za potrebe Centra za ljevarstvo SIMET
	1.2.	Oprema - namještaj prostora Centra za ljevarstvo SIMET

Red.br.		ELEMENTI PROJEKTA I PRIPADAJUĆE GRUPE AKTIVNOSTI
1	1.3.	Stručni nadzor
	1.4.	Novelacija izvedbenog projekta Adaptacija dvorišne zgrade i dijela glavne zgrade Metalurškog fakulteta
	1.5.	Izrada elaborata o ocjeni postojećeg stanja (protupotresni elaborat)
	1.6.	Izrada Građevinskog projekta hitne sanacije konstrukcije
	1.7.	Projekt hitne sanacije konstrukcije
	1.8.	Provođenje kompletnog stručnog nadzora nad izvođenjem radova hitne sanacije konstrukcije
	1.9.	Revizija projekta hitne sanacije konstrukcije
2.	Opremanje Centra za ljevarstvo SIMET instrumentima i znanstveno istraživačkom opremom	
	2.1.	Elektrolučna peć za taljenje i lijevanje u zaštitnoj atmosferi
	2.2.	Peć za taljenje V=3l, T=1500°C
	2.3.	Peć za taljenje V=15l, T=1000°C
	2.4.	Sustav za izračun ravnotežnih faznih dijagrama uključujući bazu podataka za Al, Fe i cu
	2.5.	Sustav za toplinsku analizu željeznih lijevova s odgovarajućim softwerom i čaši-cama za uzorkovanje
	2.6.	Specijalni alati za lijevanje ispitnih uzoraka s mogućnošću provođenja toplinske analiza talina
	2.7.	Optički emisijski spektrometar
	2.8.	Dilatometar
	2.9.	Kalorimetar
	2.10.	Konfokalni lasersko skenirajući mikroskop
	2.11.	Oprema za pripremu uzoraka i uzimanje replika (metalografskih otisaka)
	2.12.	Optički mjerni sustav za praćenje 3D površinskih koordinata, 3D pomake i brzine, vrijednosti i brzine naprezanja
	2.13.	Uređaj za ispitivanje dinamičkih mehaničkih svojstava
	2.14.	Uređaj za ispitivanje udarne radnje loma
	2.15.	Oprema za izradu zareza prema normi
	2.16.	Priprema za ispitivanja pri sniženim temperaturama
	2.17.	CNC stroj- Priprema uzoraka
	2.18.	Oprema za ispitivanje magnetizma
	2.19.	Nadogradnja opreme za korozijska ispitivanja

Red.br.		ELEMENTI PROJEKTA I PRIPADAJUĆE GRUPE AKTIVNOSTI
2.	2.20.	Kontakt termometar sa sondom
	2.21.	Program za numeričku simulaciju lijevanja, skrućivanja i naprezanja s uključenim modulima za različite tehnologije lijevanja
	2.22.	Program za dizajniranje novih proizvoda
	2.23.	Program za simulaciju mikrostruktura
	2.24.	Optički mjerni sustav + ScanBox
	2.25.	3D printer (printer za jezgre + potrošni materijal)
	2.26.	3D printer (printer za metal + potrošni materijal)
	2.27.	Računala
3.	Organizacijska reforma institucije	
	3.1.	Usluge vanjskog stručnjaka za organizacijsku reformu institucije
	3.2.	Provedba pilot projekta
4.	Provedba mjera horizontalnih načela	
	4.1.	Edukacija
	4.2.	Putokazne ploče
V	Promidžba i vidljivost	
	V.1.	Paket mjera promidžbe i vidljivosti
PM	Upravljanje projektom i administracija	
	PM.1.	Administrator projekta
	PM.2.	Provedba postupka javne nabave
	PM.3.	Revizija projekta
	PM.4.	Neizravni troškovi

Projekt Centar za ljevarstvo – SIMET je do sada predstavljen kao popularan rad u časopisima i na Znanstveno-stručnim seminarima [6-10]. Istraživanja vezana uz infrastrukturni projekt Centar za ljevarstvo – SIMET rezultirala su do sada s 47 ishoda od toga: 7 znanstvenih radova u časopisima, 13 znanstvenih i stručnih radova u zbornicima skupova, 11 znanstvenih i stručnih sažetaka u zbornicima skupova, 5 ocjenskih radova, 3 inovacije i 1 mišljenjem/elaboratom za gospodarskog dionika te 7 uredničkih knjiga [11]

3. Izazovi u provedbi projekta Centar za ljevarstvo - SIMET

Sisačko-moslavačku županiju su 28. i 29. prosinca 2020. godine pogodili snažni potresi koji su uzrokovali proglašenje katastrofe. Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu pretrpio je znatna oštećenja no prvim brzim pregledom obavljenim 31.12.2020. godine zgradama Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu dodijeljena je zelena naljepnicu (U2). Takvom odlukom stručnjaka, projektne aktivnosti su se nastavile.

Pripreme za izradu projektno - tehničke dokumentacije za sanaciju nakon potresa obuhvaćale su pokretanje postupka jednostavne nabave za izradu Elaborata ocjene postojećeg stanja građevinske konstrukcije. Utvrđeno je da zgrade Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu temeljem navedenog Elaborata ne zadovoljavaju nosivost za potresne sile o čemu je obaviješteno Ministarstvo znanosti i obrazovanja (PT1) te Središnja agencija za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (PT2).

Dana 25. lipnja 2021. obustavljeni su radovi adaptacije i prilagodbe prostora Centra za ljevarstvo – SIMET (KK.01.1.1.02.0020) u okviru Europskog fonda za regionalni razvoj Operativnog programa za koheziju i konkurentnost 2014—2020. u okviru poziva „Ulaganje u organizacijsku reformu i infrastrukturu u sektoru istraživanja, razvoja i inovacija". S obzirom da je stručni nadzor obustavio građevinske radove zbog sigurnosti djelatnika izvođača radova (puknuće nosive grede, puknuće/urušavanje zidova), zatražio je dodatnu provjeru konstrukcije zgrada Metalurškog fakulteta. Temeljem drugog brzog pregleda stručnjaka iz Hrvatskog centra za protupotresno inženjerstvo, obavljenog dana 2. kolovoza 2021. glavnoj zgradi Metalurškog fakulteta dodijeljena je žuta naljepnica (PN1), dok je dvorišnoj zgradi dodijeljena crvena naljepnica (N2).

Projekt Centar za ljevarstvo – SIMET u visokoj je fazi provedbe, te ga bez provedbe hitne sanacije nije moguće dovršiti za što se očekuju dodatna financijska sredstva uz povećanje osnovnog Ugovora. Provedbom hitne sanacije konstrukcijske obnove prostora obuhvaćenih projektom Centar za ljevarstvo - SIMET projektni pokazatelji i ciljevi definirani Ugovorom i dalje će biti ostvareni u jednakom obimu no imati će utjecaja na ukupno razdoblje provedbe Ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava za koje je potrebno osigurati dodatni vremenski period sukladno hodogramu predviđenih aktivnosti. Slijedom navedenog za prvobitno planirano vrijeme provedbe projekta od 1. veljače 2019. godine do 1. veljače 2022. godine predložen je produžetak trajanja projekta do 31. srpnja 2023. godine.

4. Zaključak

Metalska industrija u Hrvatskoj ima budućnost, no nužno je koncentrirati se na trojstvo konkurentnosti metalske industrije - suvremenu tehnologiju, učinkovit proi-

zvodni postupak i visokokvalificiranu radnu snagu čemu izravno doprinosi Centar za ljevarstvo - SIMET. Za razvoj znanstvene, nastavne i stručne djelatnosti Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, ali i razvoj metalske industrije u Republici Hrvatskoj ključnu ulogu ima reprezentativan trokut utjecajnih čimbenika (Triple Helix): poslovni sektor, znanstvenoistraživački kapaciteti i javna politika.

Implementacijom projekta Centar za ljevarstvo-SIMET Metalurški fakultet i dalje će nastojati učvrstiti svoju prepoznatljivost kao mjesto stalnog unapređenja i poboljšanja studiranja i stjecanja znanja i kompetencija iz područja metalurgije i industrijske ekologije. Poboljšanim mogućnostima znanstvenog i stručnog rada i umrežavanja Metalurški fakultet steći položaj integrativne i konkurentne znanstveno-nastavne ustanove u europskom visokoobrazovnom i istraživačkom prostoru. Time se učvršćuje njegova pozicija društveno odgovorne institucije kroz podizanje razine obrazovanosti, stručnosti inženjera unutar tehničkog područja, razvoju gospodarskih grana povezanih s metalurgijom, materijalima i zaštitom okoliša te djelovanjem u skladu s akademskim etičkim načelima.

Literatura

[1] Lazić, L.; Zovko Brodarac, Z.; uredništvo: Enciklopedijska natuknica: metalurgija, Hrvatska tehnička enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., Dostupan na https://tehnika.lzmk.hr/metalurgija/, Pristupljeno: 2022-01-10

[2] … Strategija razvoja Metalurškog fakulteta 2017.-2021., Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Dostupan na https://arhiva.simet.hr/hr/osiguranje-kvalitete/dokumenti/Strategija%20razvoja%20Metalurskog%20fakulteta%202017.-2021.pdf/view, Pristupljeno: 2022-01-10

[3] … Strategija razvoja Metalurškog fakulteta 2022.-2026., Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Dostupan na https://arhiva.simet.hr/hr/osiguranje-kvalitete/dokumenti/strategija-razvoja-metalurskog-fakulteta-2022-2026/view, Pristupljeno: 2022-01-10

[4] Zovko Brodarac, Z.; Lazić, L.; Vanić, L.: Osvrti: 60. godina studijskih programa Metalurškog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu – I. dio, Kemija u industriji 71(2022) 1-2, 115-117, Dostupan na https://hrcak.srce.hr/file/393211, Pristupljeno: 2022-01-10

[5] … Popularizacija znanosti: Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Dostupan na https://www.simet.unizg.hr/hr/znanost/popularizacija-znanosti, Pristupljeno: 2022-01-10

[6] Zovko Brodarac, Z.; Brnardić, I.; Holjevac Grgurić, T.; Unkić, F.; Centar za ljevarstvo – SIMET, 4. Znanstveno-stručni seminar: Ljevarstvo - stanje i perspektive, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak, Republika Hrvatska, 11, 2010.

[7] Zovko Brodarac, Z.; Tomašević, S.: Metalska industrija: Centar za ljevarstvo - SIMET, BIZDirekt, X(2016) 64, 49, Dostupan na www.mirakul.hr/wp-content/uploads/2016/12/BIZdirekt-prosianac16_Sredisnja_web.pdf Pristupljeno: 2022-01-10

[8] Zovko Brodarac, Z.: Metalska industrija: Trojstvo konkurentnosti metalske industrije – suvremena tehnologija, učinkovit proizvodni postupak i visokokvalificirana radna snaga, BIZDirekt, XII(2018) 75, 41-43, Dostupan na www.mirakul.hr/wp-content/uploads/2018/11/BIZdirekt_studeni_2018_Sredisnja_Hrvatska.pdf Pristupljeno: 2022-01-10

[9] Zovko Brodarac, Z.; Srečec, Lj.; Fabijanić, A.: Centar za ljevarstvo – SIMET, Knjiga sažetaka 12. Znanstveno-stručni seminar: Tehnologije proizvodnje kalupa i jezgara u ljevaonicama, Dolić, N.; Zovko Brodarac, Z. (ur.); 1, ISBN: 978-953-7082-36-9, 11, 2019., Sisak, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, (2019)

[10] Zovko Brodarac, Zdenka; Srečec, Ljiljana; Filipović, Anita, Centar za ljevarstvo – SIMET, Knjiga sažetaka 4. Dan karijera: Metalni materijali u svemirskoj industriji, ur. Kozina, F.; Zovko Brodarac, Z. (ur.)., 1, ISBN: 978-953-7082-40-6, 12, 2021., Sisak, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, (2021)

[11] …CROSBI: Centar za ljevarstvo – SIMET (KK.01.1.1.02.0020), Dostupan na https://www.bib.irb.hr/pretraga?operators=and|%5BEK-EFRR-KK.01.1.1.02.0020%5D+Centar+za+ljevarstvo+-+SIMET+%28SIMET%29+%286857%29|text|project-id&report=1, Pristupljeno: 2022-01-10

Virtulab – Integrirani laboratorij za primarne i sekundarne sirovine

Sibila Borojević Šoštarić[1], Marko Rogošić[2], Igor Petrović[3], Zdenka Zovko-Brodarac[4] i Božidar Šantek[1]

[1] Rudarsko-geološko-maftni fakultet Sveučilišta u Zagreb, Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb, e-mail: sibila.borojevic-sostaric@rgn.unizg.hr

[2] Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagreb, Trg Marka Marulića 19, 10000, Zagreb, redoviti član u HATZ u Odjelu kemijskog inženjerstva

[3] Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagreb, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin

[4] Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagreb, Aleja narodnih heroja 3, 44000, Sisak

[5] Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagreb, Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb, redoviti član u HATZ u Odjelu bioprocesnog inženjerstva

Sažetak: *Cilj projekta Virtulab je poboljšati znanstveno-istraživačke i nastavne kapacitete pet sastavnica Sveučilišta u Zagrebu u sektoru primarnih i sekundarnih sirovina te dosegnuti europske i svjetske standarde praktične primjene znanja u gospodarstvu. Virtulab okuplja istraživačke kapacitete koji zadovoljavaju potrebe prospekcijskih istraživanja primarnih i sekundarnih sirovina, eksploatacije, oplemenjivanja, proizvodnih procesa, recikliranja i pronalaženja zamjenskih sirovina. Projekt doprinosi: 1) jačanju kvalitete znanstvenih istraživanja uvođenjem suvremene te povećanjem dostupnosti postojeće instrumentacije, 2) povećanju produktivnosti odnosno broja znanstveno-istraživačkih radova i broja prijava kompetitivnih znanstvenih i inovativnih projekata, 3) poboljšanju kvalitete nastave uz jačanje kompetencija studenata i time njihove konkurentnosti i zapošljivosti na tržištu rada i 4) transferu znanja i inovacija prema gospodarstvu. Implementacija projekta dugoročno će poboljšati dostupnost i iskorištenost primarnih i sekundarnih sirovina, pozitivno utjecati na okoliš i gospodarstvo i smanjniti uvoznu ovisnost Republike Hrvatske i Europske Unije u sektoru ne-energetskih mineralnih sirovina.*

Ključne riječi: *Virtulab, primarne i sekundarne sirovine, ne-energetski sektor, jačanje kapaciteta*

1. Uvod

Ideja o virtualnom povezivanju petnaest laboratorija koji obavljaju različite analize primarnih i sekundarnih sirovina rodila se 2015. godine. Tada je pet sastavnica Sveučilišta u Zagrebu započelo intenzivnu suradnju unutar konzorcija EIT Raw Materials. Sastavnice su uvidjele da integracija postojećih resursa i uvođenje suvremene instrumentacije pruža mogućnost povećanja konkurentnosti i podizanja analitičkih sposobnosti u odnosu na europske kolege. Sinergija sastavnica rezultirala je prijavom infrastrukturnog projekta Virtulab. Od ideje do realizacije prošlo je sedam godina…

VIRTULAB je virtualno umreženi znanstveno-istraživački laboratorij za primarne i sekundarne sirovine. Nastao je opremanjem i integracijom petnaest laboratorija na pet sastavnica Sveučilišta u Zagrebu. Rezultat je provedbe projekta „Virtulab – Integrirani laboratorij za primarne i sekundarne sirovine“, sufinanciranog sredstvima Europske unije. Projekt je realiziran iz Europskog fonda za regionalni razvoj putem Ograničenog poziva na dostavu projektnih prijedloga „Ulaganje u organizacijsku reformu i infrastrukturu u sektoru istraživanja, razvoja i inovacija“, referentnog broja KK.01.1.1.02. (studeni 2018. – srpanj 2021.). Virtualno umrežavanje, kao završna faza integracije postojećih laboratorija, ostvareno je implementacijom po mjeri krojene softverske aplikacije Virtulab.

Ciljevi projekta su: 1) jačanje kvalitete znanstvenih istraživanja kroz uvođenje suvremene te poboljšanu dostupnost postojeće instrumentacije, 2) povećanje produktivnosti odnosno broja znanstveno-istraživačkih radova i broja prijava kompetitivnih znanstvenih i inovativnih projekata, 3) poboljšanje kvalitete nastave uz jačanje kompetencija studenata i time njihove konkurentnosti i zapošljivosti na tržištu rada i 4) transfer znanja i inovacija prema gospodarstvu.

Korisnicima se nudi aktivna podrška prilikom rješavanja poslovnih izazova: 1) konzultacije, 2) idejna rješenja, 3) izlazak na teren, 4) uzorkovanje, 5) ispitivanje i 6) izvještavanje. Sukladno postavljenim ciljevima teži se prijenosu znanja i inovacija iz istraživanja u gospodarski sektor.

Za što jednostavniji pristup oblikovana je i *online* aplikacija Virtulab. Radi se o jedinstvenoj platformi s velikim skupom usluga, analitičkih postupaka, znanja i ekspertize o primarnim i sekundarnim sirovinama koja obuhvaća 15 laboratorija, više od 430 komada sitne i srednje opreme, više od 100 znanstvenika, više od 30 komada kapitalne opreme i više od 300 analitičkih postupaka. Na platformi se u nekoliko klikova dolazi do analitičkih postupaka na svim uključenim sastavnicama. Upit kroz web sučelje aplikacije Virtulab na www.virtulab.rgn.unizg.hr rezultira izradom automatizirane informativne ponude, a članovi Virtulaba stoje na raspolaganju za daljnje dogovore.

Pronalaženje, prenamjena ili ponovna primjena sirovina je pokretač i poveznica znanstvene zajednice i gospodarstva. Istraživačka shema Virtulaba na slici 1. prikazuje analitičke mogućnosti unutar životnog ciklusa primarnih i sekundarnih sirovina te područja ekspertize uključenih laboratorija. Virtulab sadrži istraživačke kapacitete koji zadovoljavaju potrebe prospekcijskih istraživanja primarnih i sekundarnih sirovina, eksploatacije, oplemenjivanja, proizvodnih procesa, recikliranja i pronalaženja zamjenskih sirovina.

Slika 1: Istraživačka shema Virtulaba

2. Struktura i organizacija Virtulaba

Voditelj Virtulaba odgovaran je za organizaciju rada u skladu s načelima dobre laboratorijske prakse, načelima i vrijednostima u znanosti i visokom obrazovanju i koordinaciju između svih partnerskih organizacija prilikom provođenja zajedničkih poslovnih i znanstveno-istraživačkih procesa Virtulaba. Podršku voditelju Virtulaba daje Upravno vijeće sastavljeno od petnaest voditelja laboratorijskih jedinica partnerskih organizacija. Upravljanje Virtulabom nakon isteka početnog petogodišnjeg razdoblja praćenja odvijat će se rotacijski i to tako da Upravno vijeće između svojih članova svake godine bira novog Voditelja Virtulaba. Upravljačka shema Virtulaba prikazana je na slici 2.

Slika 2: Upravljačka shema Virtulaba

3. Popis Virtulabovih laboratorija

Sastavnice i laboratoriji Integriranog laboratorija za primarne i sekundarne sirovine – Virtulab su:

A) Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
(Virtu-FKIT-1) – Virtualni laboratorij za istraživanje i razvoj materijala

B) Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

(Virtu-GFV-3) – Laboratorij za inženjerstvo okoliša, Zavod za inženjerstvo okoliša

(Virtu-GFV-2) – Laboratorij za geokemiju okoliša, Zavod za hidrotehniku

(Virtu-GFV-1) – Geotehnički laboratorij, Zavod za geotehniku

C) Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu

(Virtu-LaMiTeh-1.1) – Laboratorij za razvoj i primjenu materijala, Zavod za fizičku metalurgiju

(Virtu-LaMiTeh-1.2) – Laboratorij za fiziku i strukturna ispitivanja, Zavod za fizičku metalurgiju

(Virtu-LaMiTeh-1.3) – Laboratorij za željezo, čelik i ljevarstvo, Zavod za procesnu metalurgiju

(Virtu-LaMiTeh-1.4) – Laboratorij za obradu kovina deformiranjem, Zavod za mehaničku metalurgiju

(Virtu-LaMiTeh-1.5) – Laboratorij za kemiju, hidrometalurgiju i korozijska ispitivanja, Zavod za procesnu metalurgiju

D) Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

(Virtu-PBF-1) – Laboratorij za biokemijsko inženjerstvo, industrijsku mikrobiologiju i tehnologiju piva i slada, Zavod za biokemijsko inženjerstvo

E) Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

(Virtu-RGNF-1) – Geomehanički laboratorij, Zavod za rudarstvo i geotehniku

(Virtu-RGNF-2) – Laboratorij za električna mjerenja i instrumentaciju, Zavod za rudarstvo i geotehniku

(Virtu-RGNF-3) – Laboratorij za oplemenjivanje mineralnih sirovina i zaštitu okoliša, Zavod za rudarstvo i geotehniku

(Virtu-RGNF-4) – Laboratorij za geofizička istraživanja, Zavod za geofizička istraživanja i rudarska mjerenja

(Virtu-RGNF-5) – Laboratorij za analizu geoloških materijala, Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine

4. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije (FKIT) Sveučilišta u Zagrebu

4.1. Virtu-FKIT-1 Virtualni laboratorij za istraživanje i razvoj materijala

Virtualni laboratorij za istraživanje i razvoj materijala uključuje dijelove pojedinih zavoda fakulteta (Zavod za fizikalnu kemiju, Zavod za polimerno inženjerstvo i organsku kemijsku tehnologiju, Zavod za anorgansku kemijsku tehnologiju i nemetale, Zavod za inženjerstvo površina polimernih materijala) zajedno s pripadajućom opremom. Laboratorij pruža usluge u sljedećim fazama ciklusa primarnih i sekundarnih sirovina: a) prospekcijskim istraživanjima primarnih i sekundarnih sirovina, posebice onih koji uključuju polimernu komponentu, b) proizvodnim procesima, pri praćenju kvalitete primarnih i sekundarnih sirovina te c) recikliranju, pri praćenju kvalitete sekundarnih sirovina te praćenju kvalitete finalnih proizvoda postupaka recikliranja.

5. Geotehnički fakultet (GFV) Sveučilišta u Zagrebu

5.1. Virtu-GFV-1 Laboratorij za inženjerstvo okoliša

Laboratorij za inženjerstvo okoliša najmlađi je laboratorij u sastavu Geotehničkog fakulteta. Otvoren je 20. travnja 2018. u sklopu Dana otvorenih vrata. Aktivnosti Laboratorija orijentirane su na rad u području gospodarenja otpadom s naglaskom

na iznalaženje novih mogućnosti obrade i recikliranja otpada, ispitivanje mehaničkih i fizikalno-kemijskih svojstava otpada, ispitivanje i oplemenjivanje mineralnih sirovina, problematiku obrade otpadnih voda, problematiku pročišćavanja otpadnih plinova, razvoj i primjenu senzora za određivanje i praćenje komponenti u okolišu i industriji, primjenu naprednih analitičkih metoda za monitoring okoliša, energetsku učinkovitost i korištenje obnovljivih izvora energije. Laboratorij za inženjerstvo okoliša čine četiri odvojene jedinice: Jedinica za obradu i ispitivanje mineralnih sirovina i otpada, Jedinica za mehaniku otpada, Jedinica za procesno inženjerstvo i Jedinica za kemijske senzore.

Sva oprema nabavljena kroz projekt Virtulab smještena je u Laboratorij za inženjerstvo okoliša. Implementacijom opreme kroz Virtulab postojeće djelatnosti Laboratorija za inženjerstvo okoliša proširene su na sljedeći način. Prijenosnim analizatorom plinova omogućeno je utvrđivanje mogućih emisija u zrak sekundarnih mineralnih sirovina prije njihova povratka na tržište. Uređajem Force Actuator omogućeno je ispitivanje reoloških svojstava zamjenskih (primarnih i sekundarnih) materijala, odnosno ispitivanje fenomena puzanja materijala pod konstantnim opterećenjem. Uređaj Bender Element System omogućava utvrđivanje maksimalnog modula posmika (G_{max}) i modula promjene volumena K pri vrlo malim deformacijama. Uređajima Infinite Volume Controler i Enterprise Level Pressure Controler omogućeno je provođenje ispitivanja u triaksijalnoj ćeliji na izrazito stišljivim materijalima bez potrebe za prekidanjem pokusa. Sustavom za elektrokemijska mjerenja i impedanciju omogućene su amperometrijske, voltametrijske i impendancijske analize za karakterizaciju metalnih površina i materijala u segmentu recikliranja i oporabe otpadnih materijala. Sjekačom i drobilicom omogućena je priprema i usitnjavanje mekih i krutih uzoraka sekundarnih sirovina za potrebe daljnjih ispitivanja. Prijenosnim UV-VIS spektrofotometrom omogućeno je određivanje i karakterizacija različitih uzoraka u laboratoriju i na terenu.

5.2. Virtu-GFV-2 Laboratorij za geokemiju okoliša

Laboratorij za geokemiju okoliša u sastavu je Zavoda za hidrotehniku Geotehničkog fakulteta i opremljen je instrumentima i pratećom opremom za uzorkovanje i analizu prirodnih i otpadnih voda, tala i sedimenata. Za terensku nastavu studenata nabavljen je jedan terenski laboratorij za analizu voda i otpadnih voda, te prijenosni laboratorij za analizu voda i tla. Oprema laboratorija zadovoljava sve kriterije za određivanje osnovnih pokazatelja onečišćenja podzemnih i površinskih voda, tla i sedimenata poput npr. teških metala, hranjivih soli dušika i fosfora, nekih organskih pokazatelja onečišćenja, umjetnih trasera koji služe obilježavanju podzemnih tokova vode i sl.

Laboratorij će prvenstveno provoditi analize osnovnih pokazatelja onečišćenja poput npr. teških metala, najčešćih aniona i kationa te nekih organskih pokazatelja onečišćenja u filtratu nastalom prilikom testa izluživanja (*leaching*) sekundarnih mineralnih sirovina

U sklopu Virtulaba mogu se provoditi sljedeće analize: određivanje koncentracije teških metala Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Se, Zn atomskom apsorpcijskim spektroskopijom, spektrofotometrijsko određivanje amonijaka, nitrita, nitrata, ukupnog dušika, bromida, fenola, fluorida, fosfata, jodida, klorida, sulfida, sulfata, sulfita, šesterovalentnog kroma, turbidimetrijsko određivanje suspendirane tvari i mutnoće, određivanje kemijske potrošnje kisika (KPK) i biološke potrošnje kisika (BPK), određivanje alkaliteta, ukupne tvrdoće, karbonatne tvrdoće, nekarbonatne tvrdoće, kalcijeve tvrdoće, magnezijeve tvrdoće, određivanje slobodnog ugljikova dioksida, koncentracije otopljenog kisika i zasićenosti kisikom, određivanje pH, električne vodljivosti, ukupne otopljene tvari (TDS), određivanje ukupnog organskog dušika (TOC/DOC) i ukupnoga dušika (TN).

5.2. Virtu-GFV-3 Geotehnički laboratorij

Ovaj laboratorij djeluje u sastavu Zavoda za geotehniku. Opremljen je modernom, sofisticiranom opremom koja omogućava izvođenje više od 20 vrsta ispitivanja tla prema normiranim ili posebnim postupcima. Dio specijalnih uređaja i opreme namijenjen je znanstvenim istraživanjima iz područja mehanike tla. Geotehnički laboratorij također posjeduje i opremu za istraživanja i mjerenja *in situ* . U sklopu domaćih znanstvenih projekata, laboratorij je sudjelovao u konstruiranju i razvijanju jedinstvenog uređaja za ispitivanje deformabilnosti krutog komunalnog otpada. Pouzdani rezultati laboratorijskih ispitivanja osigurali su intenzivnu suradnju laboratorija s gospodarskim subjektima iz područja geotehničkog inženjerstva i zaštite okoliša.

U sklopu projekta Virtulab Geotehnički laboratorij sudjelovat će s ranije nabavljenom opremom i pružat će usluge istraživanja i ispitivanja mehaničkih svojstava primarnih i sekundarnih sirovina te zamjenskih materijala. To su a) različita ispitivanja i analize (opća fizikalna svojstva, klasifikacijska ispitivanja, posebna fizikalno-mehanička svojstva) sirovina i materijala za provođenje raznovrsnih graditeljskih zahvata i tehnoloških procesa, b) praćenje promjena i kontrola stanja sirovina i zamjenskih materijala tijekom izvođenja zahvata i procesa i c) vrednovanje utjecaja promjena i stanja na odnos ekonomskih i ekoloških učinaka.

Angažiranjem resursa Geotehničkog laboratorija kroz Virtulab povećao bi se utjecaj i učinak fizikalno-mehaničkih analiza na nadzor i kontrolu stanja te vrednovanje sirovina i zamjenskih materijala, posebno tijekom eksploatacije konstrukcija ili zahvata.

6. Metalurški fakultet (MF) Sveučilišta u Zagrebu

6.1. Virtu-LaMiTeh-1.1 Laboratorij za razvoj i primjenu materijala

Laboratorij za razvoj i primjenu materijala orijentiran je na područje fizičke metalurgije, dizajniranje sastava i strukture višekomponentnih metalnih materijala, legura s prisjetljivosti oblika te mikro/nanokompozita, karakterizacije primarnih i sekundarnih sirovina, ispitivanje toplinske stabilnosti, toplinske obrade metalnih materijala, definiranje zamjenskih sirovina, praćenje kvalitete proizvoda postupaka oporabe i karakterizaciju otpada.

Očekuje se da će nabava nove opreme putem Virtulaba povećati znanstveno-istraživačke kapacitete laboratorija. Postojeće tehnike simultane toplinske analize primarnih i sekundarnih sirovina proširit će se dinamičko-mehaničkim ispitivanjima te analizom toplinske vodljivosti. Laboratorij će u Virtulab uključiti i prethodno nabavljenu opremu za toplinsku obradu metalnih materijala.

Laboratorij će u okviru Virtulaba nuditi: a) termodinamičko modeliranje višekomponentnih metalnih sustava, izračunavanje fazne ravnoteže programom Thermo-Calc za čelik, Al-legure, Cu-legure i druge višekomponentne metalne sustave, b) simultanu toplinsku analizu (STA) – diferencijalnu pretražnu kalorimetriju / diferencijalnu toplinsku analizu / termogravimetriju, c) dinamičko-mehaničku analizu (DMA), d) analizu metodom laserske impulsne difuzivnosti (*laser flash analysis*, LFA), e) toplinsku obradu materijala u komornim pećima za austenitizaciju i popuštanje.

6.2. Virtu-LaMiTeh-1.2 Laboratorij za željezo, čelik i ljevarstvo

Laboratorij za željezo, čelik i ljevarstvo bavi se teorijskim i praktičkim aspektima proizvodnje željeza i oplemenjivanja mineralnih sirovina, čelika kao osnovnog uporabnog metalnog materijala te lijevanja željeznih i neželjeznih legura. Laboratorij provodi istraživanja koja se odnose na proizvodnju i lijevanje željeznih i neželjeznih metala i legura, metalografsku analizu (svjetlosna mikroskopija), toplinsku analizu željeznih (ATAS) i neželjeznih legura (NI), korozijsko ponašanje željeznih i neželjeznih metala i legura. Istraživanja pokrivaju i ispitivanja potencijala primjene novih materijala s ciljem dobivanja proizvoda s dodanom vrijednošću poput metalurškog otpada te inovativnih legura s poboljšanim fizikalnim, kemijskim i mehaničkim svojstvima.

U okviru Virtulaba postojeći svjetlosni mikroskop nadograđen je automatiziranim postoljem koje omogućava pregled i analizu veće površine uzoraka/materijala radi

vjerodostojnosti kasnije statističke analize. Nadogradnja programske podrške omogućava postizanje preciznijih rezultata i širi dijapazon ispitivanja.

Laboratorij za željezo, čelik i ljevarstvo putem Virtulaba nudi sljedeće usluge: a) simulaciju lijevanja željeznih i neželjeznih legura uz pomoć programskog paketa ProCast, b) snimanje krivulja hlađenja pri skrućivanju te određivanje karakterističnih temperatura tijekom razvoja mikrostrukture, c) standardnu metalografsku pripremu uzoraka ulaganjem u masu, brušenjem, poliranjem te nagrizanjem, d) analizu makrostrukture i mikrostrukture svjetlosnim mikroskopom, e) određivanje oblika i veličine grafita, f) Određivanje udjela nemetalnih uključaka u čeliku, g) određivanje veličina zrna, h) određivanje udjela ferita i perlita u metalnoj osnovi te udjela pojedinih faza u mikrostrukturi, i) Određivanje mikrotvrdoće po Vickersu i j) određivanje debljine površinskog sloja.

6.3. Virtu-LaMiTeh-1.3 Laboratorij za fiziku i strukturna ispitivanja

Laboratorij za fiziku i strukturna ispitivanja bavi se ispitivanjima kristalne strukture intermetalnih spojeva, karakterizacijom mikrostrukture primarnih i sekundarnih sirovina, karakterizacijom otpada, pripremom kompleksnih legura lijevanjem i metalurgijom praha te simuliranjem značajki metalnih legura.

Laboratorij će sudjelovati u Virtulabu s postojećom opremom, a nadogradnja postojećeg pretražnog elektronskog mikroskopa (SEM) s energijsko-disperzijskim spektrometrom (EDX) pomoću BSE-detektora putem Virtulaba omogućit će: a) analizu mikrostrukture i prijelomne površine primarnih i sekundarnih sirovina i b) određivanje kemijskog sastava sirovina i otpada u točci, linijskom analizom te mapiranje distribucije kemijskih elemenata.

6.4. Virtu-LaMiTeh-1.4 Laboratorij za obradu kovina deformiranjem

Laboratorij za obradu kovina deformiranjem provodi standardne metode ispitivanja mehaničkih osobina, ispitivanja pri visokim temperaturama, određivanje plastičnosti, ispitivanje otpora deformacije kovina i slitina i ispitivanja bez razaranja. Također razvija posebne metode ispitivanja te modeliranja procesa. Posebna se pažnja posvećuje metodama ispitivanja u području tehnologije proizvodnje plosnatih profila i cijevi.

Uz postojeću opremu, instalacija nove nabavljene putem Virtulaba omogućit će veću konkurentnost i provedbu: a) ispitivanja mehaničkih svojstava materijala, b) statičkog vlačnog ispitivanja pri sobnoj i visokim temperaturama, c) statičkog tlačnog ispitivanja, d) 2D optičkog mjerenja pomaka i e) ispitivanja tvrdoće po Vickersu i Brinellu.

6.5. Virtu-LaMiTeh-1.4 Laboratorij za kemiju, hidrometalurgiju i korozijska ispitivanja

Laboratorij za kemiju, hidrometalurgiju i korozijska ispitivanja obuhvaća tri međusobno povezana područja istraživanja. U prvome (kemijskom) području provodi se širok spektar kemijsko-fizikalnih ispitivanja strukture i svojstava ugljičnih materijala (metalurški koks, katranska smola, čađa) te istražuje mogućnost njihove primjene u proizvodnji novih materijala. U drugome (hidrometalurgijskom) području istražuju se i razvijaju postupci izdvajanja metala izlučivanjem i ekstrakcijom otapalima, posebice radi iskorištavanja siromašnih izvora i otpadnih materijala te se primjenjuju i unapređuju analitički postupci za praćenje procesa. U trećemu (korozijskom) području istražuju se interakcije na granici faza metal/elektrolit, s posebnim naglaskom na povezanost mikrostrukture različitih metalnih materijala s korozijskom otpornošću u agresivnim medijima.

Laboratorij za kemiju, hidrometalurgiju i korozijska ispitivanja u Virtulabu će sudjelovati s prethodno nabavljenom opremom te će nuditi usluge: a) pripreme uzoraka i otopina, b) korozijskih ispitivanja primarnih i sekundarnih sirovina elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom, c) elektrolitičkog nagrizanja materijala, d) određivanja koncentracije metala u otopini grafitnom tehnikom, e) određivanja brzine korozije metala metodom gubitka mase i mjerenjem volumena nastalog vodika, f) određivanja površinske napetosti, g) određivanja dinamičke viskoznosti otopina i h) mjerenja koncentracije kisika u talini.

7. Prehrambeno-biotehnološki fakultet (PBF) Sveučilišta u Zagrebu

7.1. Virtu-PBF-1 Laboratorij za biokemijsko inženjerstvo, industrijsku mikrobiologiju i tehnologiju piva i slada

Laboratorij za biokemijsko inženjerstvo, industrijsku mikrobiologiju i tehnologiju slada i piva bavi se razvojem i optimiranjem različitih biotehnoloških procesa. U laboratoriju su izgrađeni i testirani bioreaktori inovativne konstrukcije pogodni za provođenje biotehnoloških procesa na različitim vrstama supstrata (tekući, polučvrsti i čvrsti supstrati) koji mogu biti primarne i sekundarne sirovine iz različitih proizvodnji (npr. nusproizvodi iz industrije ili obnovljive sirovine). Nadalje, provodi se izolacija različitih vrsta radnih mikroorganizama iz različitih staništa. Sukladno zahtjevima njihova uzgoja, izolirane čiste mikrobne kulture održavaju se i upotrebljavaju za nastavnu i znanstveno-istraživačku aktivnost.

Laboratorij će u sklopu Virtulaba pružati sljedeće usluge za biotehnološku konverziju primarnih i sekundarnih sirovina: a) različite analize (kemijske, fizikalno-kemijske, biokemijske, mikrobiološke i instrumentalne) primarnih i sekundarnih sirovina za provođenje različitih biotehnoloških procesa, b) nadzor biotehnoloških procesa konverzije različitih primarnih i sekundarnih sirovina i c) procjenu održivosti biotehnoloških procesa na osnovi ekonomskih i ekoloških kriterija održivosti. Implementacijom opreme (bioreaktor) nabavljene putem Virtulaba poboljšala se učinkovitost provođenja i nadzora biotehnoloških procesa na različitim primarnim i sekundarnim sirovinama.

8. Rudarsko-geološko-naftni fakultet (RGNF) Sveučilišta u Zagrebu

8.1. Virtu-RGNF-1 Geomehanički laboratorij

Geomehanički laboratorij uključuje Odjel za mehaniku stijena i Odjel za mehaniku tla. Istraživačke aktivnosti Odjela za mehaniku stijena usmjerene su na utvrđivanje fizikalno-mehaničkih značajki intaktnog stijenskog materijala. Odjel je opremljen uređajima za pripremu i ispitivanje uzoraka stijena u skladu s preporučenim metodama Međunarodnog društva za mehaniku stijena te hrvatskim i europskim normama. Djelatnost Odjela za mehaniku tla usmjerena je na istraživanje svojstava tla i glinenih geosintetičkih barijera. Ispitivanja se provode opremom i uređajima za klasifikacijska ispitivanja i ispitivanja indeksnih, fizičkih, mehaničkih i hidrauličkih svojstava sukladno američkim i europskim normama.

Laboratorij pruža usluge u sljedećim fazama ciklusa primarnih i sekundarnih sirovina: a) prospekcijskim istraživanjima primarnih i sekundarnih sirovina – određivanju značajki stijena i tla, b) proizvodnim procesima – praćenju promjene svojstava primarnih i sekundarnih sirovina i c) recikliranju – određivanju svojstava sekundarnih sirovina, mješavina tla i recikliranih materijala radi njihove ponovne uporabe.

Instalacija nove opreme nabavljene putem Virtulaba omogućuje provođenje metoda ispitivanja koje jamče veću preciznost rezultata te proširenje programa ispitivanja na metode za određivanje deformabilnosti stijenskog materijala, istraživanja plinopropusnosti tla i ispitivanja nesaturiranih tala.

8.2. Virtu-RGNF-2 Laboratorij za električna mjerenja i instrumentaciju

Laboratorij za električna mjerenja i instrumentaciju – LEMI bavi se mjerenjem električnih veličina (istosmjerni i izmjenični napon i struja, otpor/impedancija, snaga/

energija) električnim mjerenjem neelektričnih veličina (temperatura, deformacija, pomak, tlak, zvuk, buka, vibracije i vrijeme/frekvencija/period) te umjeravanjem senzora, pretvornika, instrumenata i mjerne opreme u LEMI-ju i ostalim laboratorijima RGNF-a (programska podrška, podrška pri instalaciji nove opreme i pri uvođenju i razvoju novih mjernih postupaka). Također se bavi automatizacijom mjernih postupaka pomoću softvera LabVIEW, analizom mjernih rezultata *online* i *offline*, izradom procjene mjerne nesigurnosti i praćenjem kvalitete rezultata mjerenja (kontrolne karte).

Laboratorij pruža usluge u svim fazama ciklusa primarnih sekundarnih sirovina: a) pri optimizaciji metoda istraživanja primarnih i sekundarnih sirovina, b) u proizvodnim procesima putem praćenja kvalitete primarnih i sekundarnih sirovina te određivanja fizikalno-mehaničkih svojstava, c) pri recikliranju putem optimizacije procesa. Nadalje, d) pruža podršku ostalim laboratorijima pri mjerenju i umjeravanju.

Instalacija opreme nabavljene putem Virtulaba poboljšala je mjerne sposobnosti i omogućila pokrivanje umjeravanja više fizikalnih veličina. Oprema se primjenjuje za razna mjerenja pri optimizaciji istražnih radova primarnih i sekundarnih sirovina, oplemenjivanju mineralnih sirovina i recikliranju, a pokriva fizikalne veličine deformacije, pomaka, tlaka i vremena/frekvencije.

8.3. Virtu-RGNF-3 Laboratorij za oplemenjivanje mineralnih sirovina i zaštitu okoliša

Laboratorij sudjeluje u nastavi, znanstveno-istraživačkom i stručnom radu iz područja oplemenjivanja mineralnih sirovina. Također, djeluje i u području zaštite okoliša (mehanička obrada otpadnih voda, filtarsko uzorkovanje i gravimetrijska analiza prašine u radnoj atmosferi, mjerenje emisija otpadnih plinova u atmosferu iz stacionarnih izvora, fizikalni postupci čišćenja tla) i recikliranja krutog, posebice elektroničkog otpada radi pridobivanja sekundarnih sirovina. Laboratorijska ispitivanja obuhvaćaju karakterizaciju uzoraka materijala (određivanje gustoće, vlažnosti, granulometrijskog sastava, otpornosti na drobljenje, sadržaja pepela u ugljenu) te primjenu postupaka sitnjenja, klasiranja, pranja i separacijskih postupaka (drobljenje, mljevenje, sijanje, klasiranje u vodenoj struji, atricijsko čišćenje, gravitacijska koncentracija, magnetska separacija, elektrostatička separacija, flotacija i odvodnjavanje).

Laboratorij pruža usluge pri: a) prospekcijskim istraživanjima primarnih i sekundarnih sirovina, putem određivanja fizikalnih značajki mineralnih sirovina, onečišćenog tla i otpadnih materijala, b) proizvodnim procesima putem praćenja kvalitete primarnih i sekundarnih sirovina te ispitivanja mogućnosti njihovog oplemenjivanja (pre-

rade), te c) recikliranju, putem ispitivanja mogućnosti prerade sekundarnih sirovina i otpadnih materijala radi njihove ponovne uporabe.

Nabavnom nove opreme u okviru Virtulaba unaprijeđena je konkurentnost znanstvenog, nastavnog i stručnog rada te je omogućeno daljnje planiranje znanstvenog razvoja na razini sastavnice i konzorcija. Laboratorij je povećao broj dostupnih separacijskih postupaka, proširio program ispitivanja i obnovio kapacitete. Primjena separatora na temelju vrtložnih struja (*eddy current*) proširuje mogućnosti testiranja recikliranja krutog otpada, a novi laboratorijski flotacijski uređaj Laarmann LM-FTM-E omogućava prevladavanje poteškoća pri izvođenju flotacijskih testova na starijoj opremi u laboratoriju. Nova laboratorijska flotacijska ćelija koristit će se za ispitivanje mogućnosti oplemenjivanja metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina, recikliranja otpadnog materijala i čišćenja tla.

8.4. Virtu-RGNF-4 Laboratorij za geofizička istraživanja

Laboratorij je opremljen geofizičkim instrumentima i opremom za mjerenje nizom geofizičkih metoda. To su električne metode koje obuhvaćaju električnu tomografiju i sondiranje te mjerenja prirodnog potencijala, zatim audio-magnetotelurska metoda, seizmička refleksija i refrakcija, magnetometrija, elektromagnetne metode s pomičnim odašiljačem i mjerenje georadarom te karotažna mjerenja u plićim bušotinama. U laboratoriju se provodi testiranje i kalibracija, nadogradnja i razvoj instrumenata i opreme.

Laboratorij će pružati usluge u fazi prospekcijskih istraživanja primarnih i sekundarnih sirovina. Novonabavljena oprema omogućuje razvoj metoda seizmičkih mjerenja i interpretacije podataka što sam Laboratorij čini konkurentnijim u znanstvenim i stručnim projektima u okviru istraživanja neenergetskih sirovina.

8.5. Virtu-RGNF-5 Laboratorij za analizu geoloških materijala

Laboratorij za analizu geoloških materijala (LaGeMA) bavi se analizom anorganskih komponenti litosfere i pedosfere (minerala, stijena, tala i voda). Sastavni dijelovi laboratorija su kemijska, mineraloška i petrološka sekcija. Kemijska sekcija izvodi pripremu uzoraka za analizu. U slučaju čvrstih materijala to uključuje dezintegraciju i razaranje uzorka. Kemijske analize obuhvaćaju određivanje metala u tragovima u tlu, sedimentu i vodi, određivanje glavnih kationa i aniona u vodi, silikatnu i karbonatnu analizu i dr. Bitan segment je i granulometrijska analiza sedimenata. Mineraloška sekcija provodi kvalitativnu i semikvantitativnu analizu mineralnog sastava metodom rendgenske difrakcije na prahu izvornog uzorka. Specijalizirana je za detaljnu

analizu minerala glina u uzorcima tala, sedimenta i stijena. Petrološka sekcija optičkom mikroskopijom analizira stijene te na temelju rezultata provodi interpretaciju njihova nastanka, transformacije ili raspada.

Laboratorij pruža usluge pri a) prospekcijskim istraživanjima primarnih i sekundarnih sirovina, b) proizvodnim procesima, putem praćenja kvalitete primarnih i sekundarnih sirovina i c) recikliranju, putem praćenja kvalitete sekundarne sirovine.

Laboratorij je u okviru Virtulaba dopunio opremu svih svojih sekcija. Kemijska sekcija nabavila je novi uređaj za pripravu vode za reagense, obnovila je termičku obradu uzoraka žarenjem i uvela novu, brzu i preciznu granulometrijsku analizu uzoraka s malim promjerima čestica putem laserskog granulometra. Mineraloška sekcija je u potpunosti modernizirala opremu te je, osim rendgenske difrakcije na prahu i difrakcije s malog ozračenog dijela uzorka (*microdiffraction*), uvela raspršenje rendgenskih zraka i malim kutovima (*small angle X-ray scattering, SAXS*), difrakciju s vrlo malim upadnim kutom zračenja (*grazing incidence X-ray diffraction, GIXRD*) te rendgensku difrakciju uz zagrijavanje *in situ*. Petrološka sekcija uvela je automatizaciju izrade kvalitetnih standardnih i specijalnih mikroskopskih preparata stijena, mineralnih ruda i rastresitih materijala. Također je omogućila digitalizaciju snimaka površine pripremljenih preparata s visokom razlučivosti.

9. Zaključak

Projekt Virtulab – Integrirani laboratorij za primarne i sekundarne sirovine u skladu je sa Strategijom pametne specijalizacije Republike Hrvatske[1] i uklapa se u tematsko prioritetno područje Energija i održivi okoliš (ekološki prihvatljive tehnologije, oprema i napredni materijali), i horizontalno područje Ključne razvojne tehnologije (KET).

Ulaganjem u opremanje petnaest laboratorija na pet sastavica Sveučilišta u Zagrebu ojačani su njihovi znanstveno-istraživački kapaciteti, podignuta je kvaliteta izvođenja nastave i istovremeno je otvoren prostor za komercijalizaciju rezultata znanstvenih istraživanja i praktičnu primjenu inovacija u gospodarstvu. Petnaest novoopremljenih laboratorija iz projekta Virtulab provodit će istraživanja u područjima inženjerstva, održive energetike i okoliša te biotehnologije koji su identificirani kao ključni pokretači gospodarstva u Republici Hrvatskoj[1]. Posljedično, očekuje se jači lokalni razvoj područja uključenih u projekt (Grad Zagreb, Varaždinska i Sisačko-moslavačka županija[2] .

Uključeni znanstvenici doprinijet će razvoju tehnologija i rješenja vezanih za optimiziranje i smanjenje utroška resursa i količine otpada iz industrijske proizvodnje, ko-

rištenje novih ili naprednih materijala i smanjenje štetnih industrijskih emisija CO_2. Razvoj uključenih sastavnica kreće se u smjeru primjene inovativnih tehnologija i tehnoloških procesa vezanih uz održivost okoliša, novih izvora biomase te proizvoda i naprednih materijala s biološkom osnovom za zelenu gradnju. To posebice uključuje napredne kompozitne materijale (međumetalne spojeve, legure i metal/keramičke kompozitne materijale) za primjenu u građevinarstvu i komponentama za energetsku učinkovitost, izolacijske materijale i dijelove za energetsko poboljšanje fasada, građevinske materijale i komponente s niskim životnim ciklusom ugljičnog dioksida, lagane strukturne grede i dijelove i dr.

U okviru Virtulaba posebna će se pozornost posvećivati mogućnostima praktične primjene rezultata istraživanja u a) recikliranju i ponovnoj uporabi sirovina za potrebe gospodarstva, b) poboljšanju iskoristivosti ne-energetskih sirovina, c) optimizaciji i povećanju kvalitete oporabe materijala, i d) smanjenju uporabe energije.

Literatura

[1] Narodne novine, (2016). Strategija pametne specijalizacije Republike Hrvatske za razdoblje od 2016. 2020. godine i akcijski plan za provedbu strategije pametne specijalizacije Republike Hrvatske za razdoblje od 2016. do 2017. godine. Zagreb, Narodne Novine d.d., 32, str. 2 127 [online]. Dostupno na: http://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/439965.pdf

[2] Švarc, J. i Lažnjak, J. (2020). Pametna specijalizacija i lokalni razvoj: posljedice na znanstvenu i inovacijsku politiku u razdoblju 2009.–2019. Radovi Zavoda za znanstvenoistraživački i umjetnički rad u Bjelovaru, 0 (14), 53-78. https://doi.org/10.21857/90836c7exy

Osnivanje i razvoj laboratorija za mehaniku tla na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu

Biljana Kovačević Zelić[1] i Evelina Oršulić[2]

[1] redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, bkzelic@rgn.hr

[2] Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, eorsulic@rgn.hr

Sažetak: *Laboratorij za mehaniku tla osnovan je 2008. godine na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Njegova prvotna namjena bila je unaprjeđenje izvođenja praktičnog dijela nastave na studijima rudarstva, geotehnike i inženjerske geologije. Međutim, kontinuiranim opremanjem i uvođenjem novih ispitnih metoda, omogućena je realizacija brojnih znanstvenih i stručnih istraživanja za potrebe domaćih i međunarodnih projekata, istraživanja u svrhu izrade završnih radova i doktorskih disertacija, te istraživanja za potrebe realnog sektora. Iako laboratorij djeluje u okviru Zavoda za rudarstvo i geotehniku, znanstvena i stučna istraživanja provode se za i u suradnji s drugim zavodima RGN-fakulteta, te znanstvenim i nastavnim institucijama u zemlji i inozemstvu. U radu će biti opisan razvitak laboratorija od osnutka do danas, prikaz njegove uloge u nastavnim, znanstvenim i stručnim aktivnostima fakulteta, kao i neki rezultati istraživanja provedenih u zadnjih petnaestak godina.*

Ključne riječi: *mehanika tla, geotehnika, geotehničko inženjerstvo okoliša, geokompoziti.*

1. Uvod

Laboratorij za mehaniku tla osnovan je na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu (dalje: RGN-fakultet) tek 2008. godine, gotovo 45 godina nakon osnutka samog fakulteta. Naime, sve do akademske godine 1990./1991. nastavu iz područja geotehnike na RGN-fakulteta su izvodili vanjski suradnici, uglavnom s Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Od akademske godine 1991./1992. na RGN-fakultetu nastavu iz kolegija Mehanika tla i temeljenje i Geotehnički objekti po prvi puta izvode vlastiti zaposlenici. Već je prvi nositelj kolegija Mehanika tla i temeljenje na RGN-fakultetu,

prof. dr. sc. Davorin Kovačić, inicirao osnivanje novog laboratorija još 1992. godine (slika 1). Međutim, za ostvarivanje te inicijative trebalo je stvoriti prostorne, materijalne i ljudske resurse. Tek je tijekom 2004. godine nabavljena prva oprema financirana od Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta sredstvima kapitalnog ulaganja. Od 2005. do 2007. godine nastavilo se s nabavom opreme sredstvima znanstvenih projekata. U tom razdoblju riješen je i problem osiguranja adekvatog prostora i njegovog uređenja, pa je Laboratorij službeno osnovan odlukom Fakultetskog vijeća RGN-fakulteta 7. ožujka 2008. godine (Grupa autora, 2009).

Dr. DAVORIN KOVAČIĆ
Mr. MIROSLAV PETZEL

Zagreb, 23. rujna 1992.

ZAVOD ZA HIDARSTVO I GEOTEHNIKU

O V D J E

Predmet: Laboratorij za mehaniku tla

U smislu uvođenja cjelovite nastave iz predmeta "Mehanika tla i temeljenje", nastavnici iz predmeta "Mehanika stijena" i "Mehanika tla i temeljenje" dogovorili su zajedničku akciju u cilju osnivanja Laboratorija za mehaniku tla.

Za realizaciju ove ideje potrebno je riješiti tri osnovna problema: kadrovi, oprema i prostor. Predlažemo da se najprije riješi pitanje prostora. U tom smislu molimo da se razmotri mogućnost dobivanja prostorije termostrojarskog laboratorija (neposredno uz laboratorij za mehaniku stijena). Naime, u slučaju dobivanja ove prostorije mogao bi se objediniti rad u oba laboratorija, čime bi se donekle ublažili i problemi kadrova i opreme.

S R E T N O !

Suglasan:

Prof. dr. SLAVKO VUJEC

Sastavili:

Dr. DAVORIN KOVAČIĆ

Mr. MIROSLAV PETZEL

Slika 1: Zamolba za osnivanjem Laboratorija za mehaniku tla (osobna arhiva autora)

U razdoblju od 1991. do 2008. godine desilo se i nekoliko izmjena studijskih programa od kojih je najvažnija ona u akademskoj godini 2005./2006. kada su uvedeni bolonjski programi po novoj shemi. Tijekom te reforme uvedeni su u studijske programe RGN-fakulteta novi kolegiji iz područja geotehnike i geotehničkog inženjerstva okoliša na sva tri ciklusa obrazovanja: predplomski, diplomski i poslijediplomski studij, te na studijskim programima Geotehnika, Zbrinjavanje i odlaganje otpada te Hidrogeologija i inženjerska geologija. Nositeljstvo kolegija i poslove osnivanja i opremanja laboratorija preuzela je prof. dr. sc. Biljana Kovačević Zelić, a svečano otvorenje laboratorija obavljeno je povodom proslave dana RGN-fakulteta, 4. prosinca 2009. godine (slika 2).

Na temelju dokumenta "Ustrojstvo, razvoj i korištenje laboratorija na RGN fakultetu" (Hrženjak i dr., 2007.), novoosnovani Laboratorij za mehaniku tla i postojeći Laboratorij za mehaniku stijena objedinjavaju se tijekom 2008. godine u zajednički Geomehanički laboratorij s dva odjela: Odjel za mehaniku tla i Odjel za mehaniku stijena. U trenutku osnivanja Laboratorij za mehaniku stijena posjedovao je opremu i prostor od približno 77 m^2, dok je Laboratorij za mehaniku tla posjedovao opremu, ali nije imao i odgovarajući prostor te je trebalo prenamijeniti dvije prostorije i preurediti dodatnih 34 m^2 što je naknadno i učinjeno uz korištenje sredstava Sveučilišta u Zagrebu i RGN-fakulteta 2008. godine.

Geomehanički laboratorij osnovan je kao ispitni laboratorij za provedbu znanstvenih istraživanja te za provedbu ispitivanja za potrebe privrede i održavanje nastave (RGNF, 2007). Geomehanički laboratorij - Odjel za mehaniku tla usmjeren je na istraživanje svojstava tla i geokompozita. Od 2008. godine do danas kontinuirano se dopunjava oprema laboratorija, najprije samo uređajima za laboratorijska ispitivanja, a u posljednje vrijeme i uređajima za terenska ispitivanja (slika 3).

Slika 2: Osnivanje Laboratorija za mehaniku tla: a) otvorenje 4. prosinca 2009.; b) prof. dr. sc. Biljana Kovačević Zelić i prof. dr. sc. Davorin Kovačić

Slika 3: Laboratorij za mehaniku tla na RGN-fakultetu (fotografirala Evelina Oršulić, siječanj, 2022)

2. Oprema i ispitne metode

Laboratorij je u početnoj fazi svog razvoja posjedovao samo opremu za izvedbu osnovnih pokusa za identifikaciju i klasifikaciju tla koja je financirana sredstvima za kapitalna ulaganja Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta tijekom 2004. godine. Od te početne faze do danas laboratorij se kontinuirano unapređuje nabavkom opreme i uvođenjem novih ispitnih metoda, što je financirano sredstvima znanstvenih i privrednih projekata, te sredstvima Zavoda za rudarstvo i geotehniku RGN-fakulteta namijenjenim za razvoj. Posljednja veća ulaganja ostvarena su 2021. i 2022. godine kada je postojeća oprema modificirana ili dopunjena sredstvima projekata "VIRTULAB – Integrirani laboratorij za primarne i sekundarne sirovine“ i "RGN START - Stručna pRaksa za živoT". Ti su projekti realizirani iz Europskog fonda za regionalni razvoj (https://virtulab.rgn.unizg.hr/o-nama) i Europskog strukturnog investicijskog fonda (https://www.rgn.unizg.hr/hr/rgn-start-strucna-praksa-za-zivot).

Laboratorij je prvenstveno usmjeren na istraživanje svojstava tla i geokompozita. U tablici 1 navedene su sve ispitne metode koje su uvedene u laboratorij od osnivanja do danas. U posljednje je vrijeme laboratorij još dopunjen i nekim uređajima za terenska ispitivanja: džepni penetrometar, digitalni uređaj za mjerenje pH/mV/temperature, digitalni uređaj za mjerenje elektroprovodljivosti/temperature/TDS, terenska krilna sonda Eijkelkamp, terenski uzorkivač Eijkelkamp i dinamička penetracijska sonda DPL.Ova je oprema prvenstveno nabavljena radi kvalitetnije izvedbe nastave na diplomskom studiju, ali i za potrebe suradnje s realnim sektorom.

U okviru projekta VIRTULAB laboratorij bi u narednom razdoblju trebao u različitim fazama ciklusa primarnih i sekundarnih sirovina pružati i sljedeće usluge:

– Prospekcijska istraživanja primarnih i sekundarnih sirovina: određivanje značajki tla
– Proizvodni procesi: praćenje promjene svojstva primarnih i sekundarnih sirovina
– Recikliranje: određivanje svojstava sekundarnih sirovina, mješavina tla i recikliranih materijala u svrhu njihove ponovne uporabe.

Tablica 1: Ispitne metode

Svojstvo	Metoda
Vlažnost tla	ASTM D2216-19: Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
Gustoća čvrstih čestica tla	ASTM D854-14: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer

Granulometrijski sastav tla	ASTM D422-(63)07: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
Granice plastičnih stanja tla	ASTM D4318-17: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Zbijanje tla (standardni pokus)	ASTM D698-12(2021): Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3))
Zbijanje tla (modificirani pokus)	ASTM D1557-12: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3)
Jednodimenzionalna konsolidacija tla (edometarski pokus)	ASTM D2435-11(2020): Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading
Jednoosna tlačna čvrstoća tla	ASTM D2166-16: Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil
Posmična čvrstoća tla uređajem za izravni posmik	ASTM D3080-11: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions
Nedrenirana posmična čvrstoća tla pri troosnom posmiku	BS 1377: Part 7: Clause 8: Determination of the undrained shear strength in triaxial compression without measurement of pore pressure
Posmična čvrstoća tla pri konsolidiranom nedreniranom troosnom posmiku	BS 1377: Part 8: Clause 7: Consolidated-undrained triaxial compression test with measurement of pore pressure
Posmična čvrstoća tla pri konsolidiranom dreniranom troosnom posmiku	BS 1377: Part 8: Clause 8: Consolidated-drained triaxial compression test with measurement of volume change
Propusnost tla u troosnoj ćeliji	ASTM D5084 – 16: Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter
Indeks slobodnog bubrenja	ASTM D5890-18: Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners
Sposobnost upijanja	DIN 18132: Soil, testing procedures and testing equipment - Determination of water absorption
Indeks gubitka fluida	ASTM D5891-19: Standard Test Method for Fluid Loss of Clay Component of Geosynthetic Clay Liners
Indeks protoka za glinene geosintetičke barijere	ASTM D5887-20: Standard Test Method for Measurement of Index Flux Through Saturated Geosynthetic Clay Liner Specimens Using a Flexible Wall Permeameter
Propusnost glinenih geosintetičkih barijera	ASTM D6766-20: Standard Test Method for Evaluation of Hydraulic Properties of Geosynthetic Clay Liners Permeated with Potentially Incompatible Liquids

3. Uloga laboratorija u nastavi

Od samog početka laboratorij je uključen u obrazovni proces kroz izvođenje laboratorijskih vježbi, izradu završnih, diplomski i doktorskih radova. Laboratorij je prvotno bio namijenjen samo za izvođenje praktičnog dijela nastave iz predmeta Mehanika tla. U laboratoriju studenti samostalno ili pod nadzorom izvode različite metode za određivanje fizičkih svojstava i indeksnih pokazatelja, te hidrauličkih i mehaničkih svojstava tla. Kontinuiranim dopunjavanjem opreme i uvođenjem novih metoda ispitivanja tla i geokompozita omogućeno je izvođenje praktične nastave za veći broj kolegija geotehničkog usmjerenja. Također, uvedene su i neke jednostavnije metode za terensko uzorkovanje i ispitivanje tla. Time su stvoreni preduvjeti za izvođenje laboratorijske i terenske nastave za još nekoliko kolegija: Poboljšanje tla i stijena, Geotehnička ispitivanja i opažanja, Geotehnički objekti i Geotehničko inženjerstvo okoliša na RGN-fakultetu. U posljednjih nekoliko akademskih godina, praktične laboratorijske vježbe iz kolegija Geoinženjerstvo izvode se još i za studente preddiplomskog studija Vojnog inženjerstva pri Hrvatskom vojnom učilištu "Dr. Franjo Tuđman".

U laboratoriju se pored toga izvode istraživanja za potrebe izrade završnih i diplomskih radova, te je do sada obranjeno preko 30 radova na temelju takvih istraživanja. Studenti se tijekom izrade radova detaljno upoznaju s radom ispitnog laboratorija, samostalno obavljaju pokuse uz nadzor osposobljene osobe, ali i dolaze u izravni kontakt s privrednim subjektima, čime se stječu dodatne kompetencije korisne za njihov kasniji ulazak na tržište rada. Teme tih radova povezane su s ispitivanjem uzoraka tla i geosintetičkih brtvenih barijera, indeksnih pokazatelja bubrivih tala i ispitivanja mješavina tala s recikliranim materijalima.

U okviru projekta RGN START - StručnA pRaksa za živoT (2020.-2023.), koji je u početnoj fazi, predviđeni su i novi modeli izvedbe praktične nastave i mentoriranja studenata u suradnji budućih poslodavaca s nastavnicima fakulteta, s ciljem odabira različitih putova razvoja karijere i razvoja vještina potrebnih za zapošljavanje.

4. Znanstvena i stručna istraživanja

Osnivanjem Laboratorija za mehaniku tla stvoreni su preduvjeti za provedbu brojnih znanstvenih i stručnih istraživanja za potrebe domaćih i međunarodnih projekata, istraživanja u svrhu izrade doktorskih disertacija i istraživanja za potrebe privrednih subjekata. Iako laboratorij djeluje u okviru Zavoda za rudarstvo i geotehniku, znanstvena i stučna istraživanja provode se za i u suradnji s drugim zavodima RGN-fakulteta, znanstvenim i nastavnim institucijama te za potrebe realnog sektora. U svrhu za-

jedničkog nastupa na tržištu laboratorij je putem fakultetskih ugovora o međusobnoj suradnji uključen u poslove iz području laboratorijskih ispitivanja i projektiranja.

U laboratoriju su se provodila istraživanja za sljedeće značajnije projekte: Ispitivanje trajnosti mineralnih brtvenih barijera, MZOS, 2007.-2013.; Unaprjeđenje podučavanja i istraživanja nesaturiranih tala, Fond za razvoj Sveučilišta u Zagrebu, 2012.; Poboljšanje inženjerskih svojstava tla primjenom reciklirane plastike, 2015.-danas; GIS model opće prohodnosti zemljišta, MORH (2017.-2018.); Geotechnical Reconnaissance and Engineering Effects of the December 29, 2020, M6.4 Petrinja, Croatia Earthquake, and Associated Seismic Sequence, GEER, 2021.

Također, opsežna istraživanja provedena su u laboratoriju za izradu nekoliko doktorskih disertacija povezanih s ispitivanjem utjecaja bubrenja bentonitne gline na njezina mehanička svojstva, (Domitrović, D., 2012.); razvoja nove metode laboratorijskog ispitivanja plinopropusnosti glinenih geosintetičkih barijera (Vučenović, H., 2016.); ispitivanja dugotrajne učinkovitosti glinenih geosintetičkih barijera (Kosić, D., 2016); te ispitivanja utjecaja tla na prohodnost vozila (Heštera, H., 2021).

U laboratoriju su provedena i istraživanja uzoraka tla i geosintetičkih glinenih barijera za potrebe projektiranja i izgradnje različitih rudarskih i geotehničkih projekata, odlagališta otpada ili radi ocjene pogodnosti bentonitnih glina za proizvodnju mineralnih brtvenih barijera. Kako nije moguće opisati sve aktivnosti koje su se ostvarile u laboratoriju od njegova osnutka do danas, u narednim poglavljima bit će prikazane samo neke.

4.1. Laboratorijska ispitivanja bujanja bentonitnih glina

Ispitivanja bujanja glinovitih materijala važno je u mnogim inženjerskih zahvatima. Primjerice, bubrive gline prisutne u prirodnoj geološkoj sredini otežavaju izgradnju tunela i drugih podzemnih prostorija, uzrokuju povećane troškove izgradnje i održavanja prometnica i sl. Međutim, kod odlagališta krutog ili tekućeg otpada gdje se gline koriste kao brtvene barijere, bubrenje može biti poželjna pojava. U skorije vrijeme bentonitna glina koristi se kod proizvodnje glinenih geosintetičkih barijera (kompozit geosintetika i mineralne komponente), a upravo zbog pojave bujanja predstavljaju iznimno dobru brtvenu barijeru s vrlo malim koeficijentom propusnosti. Kapacitet bujanja bentonitne gline može se procijeniti na temelju indeksnih pokazatelja (na pr. indeks slobodnog bujanja, kapacitet upijanja) ili mjeriti izravno edometarskim pokusom. Uobičajeno je takva ispitivanja provoditi demineraliziranom vodom kao ispitnim fluidom. Međutim, kako bi se simulirali uvjeti u objektima u koje se ugrađuje (promjena temperature, kontakt s različitim kemijskim tvarima i sl.), ispitivanja

se mogu provoditi s različitim ispitnim fluidima, pri različitim uvjetima temperature i vlažnosti, duljinom trajanja pokusa i sl. Na taj način, procjenjuju se svojstva kako u inicijalnom stanju tako i dugotrajna učinkovitost hidrauličkih barijera u realnim uvjetima.

Na slici 4 pokazani su rezultati ispitivanja kapaciteta upijanja u ovisnosti o veličini čestice, temperaturi koja je korištena kod pripreme uzoraka i vremenu trajanja izloženosti gline utjecaju štetnih tvari prisutnih u procjednoj tekućini s realnog odlagališta otpada.
Slika 5 pokazuje ispitivanje bujanja u edometarskom pokusu pri različitim stupnjevima opterećenja: slobodno bujanje bez opterećenja (tzv. free swell), te bujanje opterećenjima koja su očekivana u završnom pokrovu ili temeljnom zaštitnom sustavu odlagališta otpada (Kovačević Zelić & Vrkljan, 2008).

Sva su navedena ispitivanja pokazala da se inicijalna svojstva bentonitne gline kao i geosintetičke glinene barijere mogu značajno promijeniti tijekom životnog vijeka određenog objekta, pa je za procjenu dugotrajne učinkovitosti potrebno predvidjeti moguće štetne utjecaje, provesti odgovarajuće pokuse i procijeniti njihov utjecaj na projektne parametre (Kovačević Zelić & Vrkljan, 2008; Kosić i dr., 2016).

Slika 4: Kapacitet upijanja vode u ovisnosti o: a) veličini čestice, b) temperaturi, c) vremenu izloženosti štetnim tvarima

Slika 5: Ispitivanje bujanja bentonitne gline u edometarskom pokusu

4.2. Laboratorijska ispitivanja posmične čvrstoće glinene geosintetičke barijere

Posmična čvrstoća glinene geosintetičke barijere ispitivana je u modificiranom uređaju za izravno smicanje kako bi se mogao ugraditi uzorak nestandardnih dimenzija (visine i promjera). Cilj provedenih ispitivanja bio je utvrditi utjecaj različitih

procedura pripreme uzoraka u fazi hidratacije i konsolidacije, te brzine smicanja na izmjerenu posmičnu čvrstoću odnosno parametre smicanja: koheziju i kut unutarnjeg trenja. Pokusi su provedeni korištenjem procedure propisane normom te modificirane procedure temeljem vlastitih probnih ispitivanja. Na slici su prikazani sumarni rezultati koji pokazuju da je modificirana procedura dala značajno konzistentnije rezultate. Također, utvrđeno je da brzina smicanja utječe značajno na izmjereni kut trenja dok duljina trajanja pokusa ima puno veći utjecaj na izmjerenu koheziju (Kovačević Zelić i Vrkljan, 2008).

Navedeno istraživanje važno je ne samo za projektiranje objekata u kojima se koriste geosintetičke glinene barijere već je ukazalo i na potrebu modifikacije određenih normiranih procedura.

Slika 6: Posmična čvrstoća glinene geosintetičke barijere u ovisnosti o vlažnosti bentonitne gline

4.3. Laboratorijska ispitivanja plinopropusnosti

Glinene geosintetičke barijere vrlo se intenzivno koriste kao efikasne hidrauličke barijere u geotehničkom i hidrotehničkom inženjerstvu, te odlagalištima krutog ili tekućeg otpada. Kako se u odlagalištima otpada razvijaju veće količine odlagališnih plinova, čije glavne komponente pripadaju skupini stakleničkih plinova, važno je spriječiti njihovo nekontrolirano ispuštanje u atmosferu. Stoga je ispitivanje plinopropusnosti glinenih brtvenih barijera kao važne komponente završnog pokrova na odlagalištima postalo iznimno interesantna znanstvena tema. To se ispitivanje, međutim, ne provodi u standardnoj praksi, pa postupak ispitivanja nije niti normiran, a sva dosadašnja istraživanja obavljana su s različitom opremom i postupcima te su rezultati bili praktički neusporedivi. Stoga je na RGN-fakultetu modificiran postojeći uređaj i procedura za ispitivanje plinopropusnosti u uređaju za troosni posmik (Slika 7), te su obavljena probna ispitivanja na nekoliko različitih vrsta tla i geosintetičkih brtvenih barijera (Vučenović, 2016; Vučenović i dr., 2021).

a) shema modificiranog uređaja

b) rezultati probnih ispitivanja

Slika 7: Laboratorijsko ispitivanje plinopropusnosti

5. Zaključak

Iako je Laboratorij za mehaniku tla jedan od najkasnije razvijenih laboratorija na RGN-fakultetu, njegovo postojanje opravdano je u posljednjih dvadesetak godina u svim segmentima poslovanja fakulteta.

Laboratorij se intenzivno koristi za izvedbu nastave na sva tri ciklusa obrazovanja, u njemu se provode istraživanja za izradu završnih i diplomskih radova, a studenti stječu važne kompetencije potrebne za zapošljavanje i profesionalni razvoj.

U laboratoriju su obavljena brojna istraživanja za provedbu domaćih i međunarodnih projekata, te za izradu nekoliko doktorskih disertacija. U članku su izdvojene samo neke znanstvene teme i prikazani rezultati istraživanja koji su utemeljeni na laboratorijskim ispitivanjima, a predstavljaju značajan doprinos ne samo znanstvenim istraživanjima nego i razvoju brojnih inženjerskih struka.

Iako laboratorij djeluje u okviru Zavoda za rudarstvo i geotehniku, znanstvena i stručna istraživanja provode se za i u suradnji s drugim zavodima RGN-fakulteta, znanstvenim i nastavnim institucijama te za potrebe realnog sektora. U svrhu zajedničkog nastupa na tržištu laboratorij je putem fakultetskih ugovora o međusobnoj suradnji uključen u zajedničke poslove u području laboratorijskih ispitivanja i projektiranja. Tako su u laboratoriju provedena i istraživanja uzoraka tla i geosintetičkih glinenih barijera za potrebe projektiranja i izgradnje različitih rudarskih i geotehničkih projekata, odlagališta otpada ili radi ocjene pogodnosti bentonitnih glina za proizvodnju mineralnih brtvenih barijera.

Iz svega navedenog može se zaključiti kako laboratorij raspolaže s prostornim, materijalnim i ljudskim resursima za uspješan rad, ali da njegov opstanak ovisi o kontinuiranom ulaganju i brizi kako bi se istraživanja mogla provoditi u skladu sa zahtjevima važećih sustava upravljanja kvalitetom.

Literatura

[1] Grupa autora: RGNF od 2005. do 1009. vrijeme promjena, RGNF, ISBN 978-953-6923-13-7, Zagreb, (2009)

[2] Hrženjak, P.; Gaurina-Međimurec, N.; Kovačević Zelić, B.; Simon, K.; Kapor, F.; Mileusnić, M.: Ustrojstvo, razvoj i korištenje laboratorija na RGN fakultetu, Arhiva RGNF-a, (2007)

[3] RGNF (2007): Prijedlog za osnivanje geomehaničkog laboratorija, Arhiva RGNF-a.

[4] https://virtulab.rgn.unizg.hr/o-nama/ Pristupljeno: 2022-01-15

[5] https://www.rgn.unizg.hr/hr/rgn-start-strucna-praksa-za-zivot Pristupljeno: 2022-01-15

[6] Domitrović, D.: Utjecaj bubrenja bentonitne gline na njezina mehanička svojstva, Doktorska disertacija, RGN fakultet, 2012.

[7] Vučenović, H.: Razvoj metode laboratorijskog ispitivanja plinopropusnosti glinenih geosintetičkih barijera. Doktorska disertacija, RGN fakultet, 2016.

[8] Kosić, D.: Dugoročna učinkovitost glinenih geosintetičkih barijera. Doktorska disertacija, RGN fakultet, 2016.

[9] Heštera, H.: Fizičko-geografski čimbenici terenske prohodnosti vozila na kontaktnom prostoru Đakovačke lesne zaravni i pobrđa Dilj gore. Doktorska disertacija, PMF, 2021.

[10] Kovačević Zelić, B.; Vrkljan, I.: Laboratory testing of GCLs. Proceedings of the 1st Middle European Conference on landfill Technology, Telekes, G., Imre, E., Witt K-J., Ramke H-G. (ur.), str. 95-102. Budimpešta, Szent Istvan University Ybl Miklos Faculty of Architecture and Civil Engineering Press, (2008.)

[11] Kosić, D.; Kovačević Zelić; B.; Domitrović, D.; Barać, D.: Long-term efficiency of clay geosynthetic barriers. Proceed. XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - ECSMGE 2015, Edinburgh, UK, (2015.)

[12] Vučenović, H.; Kovačević Zelić, B.; Domitrović, D.: Preliminary test results on gas permeability of soils and geosynthetic clay liners. Environmental Geotechnics, Vol. 8 (2021), str. 508-516, ISSN 2051-803X.

Miniranje u laboratorijima Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Mario Dobrilović[1], Vječislav Bohanek[2], Vinko Škrlec[2]

[1] član suradnik HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet

[2] Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Sažetak: *Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari i Laboratorij za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okolinu prisutni su u znanstveno istraživačkom, nastavnom i stručnom segmentu djelovanja Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Oba laboratorija su jedinstvena na prostoru Republike Hrvatske, a njihova djelatnost u komercijalnom smislu usmjerena je na potrebe domaćih i inozemnih korisnika. Specifičnost djelatnosti, poglavito Laboratorija za ispitivanje eksplozivnih tvari, omogućuje izvođenje ispitivanja u području istraživanja eksplozivnih procesa i njihovih djelovanja čime se osigurava validacija znanstvenih spoznaja u istraživanju idealnih i neidealnih eksploziva te pirotehničkih smjesa i propelanata. Unutar aktivnosti Laboratorija za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okolinu jesu i mjerenja seizmičkih utjecaja miniranja kojima su ustanovljene posebne metode monitoringa minerskih radova kod iskopa u građevinarstvu.*

Ključne riječi: *Laboratorij, eksplozivne tvari, umjeravanje, utjecaj miniranja*

1. Uvod

Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari formalno je započeo s radom prilikom proslave Dana rudara 1999. godine, koji se tradicionalno održavaju na blagdan Sv. Barbare. Tom prilikom je na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu, pri Zavodu za rudarstvo i geotehniku otvoren je Laboratorij za ispitivanje gospodarskih eksploziva, detonatora, električnih detonatora i pirotehničkih sredstava.
Laboratorij je ovlašten od Ministarstva unutarnjih poslova Republike Hrvatske i Državnog zavoda normizaciju i mjeriteljstvo, a ustrojem u skladu s normom HRN EN 45001: 1996., Opći kriteriji za rad ispitnih laboratorija. Idejni začetnik, osnivač i voditelj laboratorija bio je prof.dr.sc. Zvonimir Ester.

Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari (za gospodarsku uporabu) rezultat je sustavnog rada članova Zavoda za rudarstvo i geotehniku posljednjih 50 godina. Do uspostavljanje samostalne Republike Hrvatske težište bavljenja s eksplozivnim tvarima i njihovom primjenom bilo je usmjereno na istraživanje miniranja u rudnicima, površinskim kopovima i kamenolomima budući da domaća, hrvatska proizvodnja eksplozivnih i inicijalnih gospodarskih sredstava nije postojala.

Tako se od 1976 godine kolegij Miniranje samostalno podučava na RGN fakultetu, što se može smatrati početkom djelovanja neformalne Katedre za miniranje, jedine te vrste u bivšoj državi. Katedra je bila uključena u sve projekte vezane uz aplikaciju eksplozivnih tvari u pridobivanju mineralnih sirovina i pri specijalnim miniranjima u rudarstvu i građevinarstvu. Na osnovi terenskih ispitivanja razvijena je originalna metoda za ispitivanje svojstava eksploziva izravno u stijeni. Prof. dr. Josip Krsnik, tvorac metode linearnog povećanja izbojnice, prilagodio je metodu površinskim kopovima i kamenolomima. Na osnovi rezultata pokusnih miniranja ispitivana su svojstva eksploziva u stijenskim uvjetima i određeni su optimalni parametri miniranja na mnogim površinskim kopovima, što je imalo za posljedicu unaprijeđenije radova na bušenju i miniranju i značajno smanjenje troškova eksploatacije. U to vrijeme metoda je verificirana i u inozemstvu, na vrlo zahtjevnom radilištu na sanaciji visoke Asuanske brane (Egipat).

Katedra je nabavila instrumente za mjerenje seizmičkih efekata miniranja proizvođača Sprengnether Instruments, kojima su obavljana mjerenja i ustanovljeni originalni postupci te su postignuti zapaženi rezultati u smanjivanju brzina oscilacija prilikom miniranja na površinskim kopovima i naročito pri specijalnim miniranjima u rudarstvu i građevinarstvu.

U toku domovinskog rata Zavod se aktivno uključio u proizvodnju eksploziva za gospodarske potrebe, jer je Hrvatska raspadom Jugoslavije ostala bez mogućnosti nabave eksplozivnih sredstava. Izvršena su poligonska i "in situ" ispitivanje svojstava ANFO eksploziva i pri tim radovima pokazala se potreba za nabavom posebnih instrumenata kojim bi se laboratorijski određivala svojstva eksploziva. Godine 1993. započeto je opremanje Laboratorija za ispitivanje eksplozivnih tvari izradom prototipnih instrumenata i nabavom opreme u inozemstvu. Istovremeno je započelo uređenje prostora za smještaj laboratorija. U vrlo složenim financijskim uvjetima Zavod za rudarstvo i geotehniku uspio je vlastitim sredstvima opremiti prostor, prema strogim zahtjevima po pitanju sigurnosti, i nabaviti svu potrebnu opremu za ispitivanje eksplozivnih tvari.

Znanstveno nastavnom i stručnom djelatnošću u području miniranja na Zavodu za rudarstvo i geotehniku, tijekom danas već više od pet desetljeća, formalizirane su djelatnosti vezane za miniranje i izučavanje eksplozivnih procesa te svojstava eksplozivnih

tvari. Tijekom toga perioda u nastavnom smislu miniranje se obrađuje kroz temeljne predmete: miniranje I i II, metoda izrade podzemnih prostorija te rušenje objekata, kao kroz preddiplomsku i diplomsku razinu, tako i na poslijediplomskoj razini.

Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari i Laboratorij za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okoliš u stručnom i znanstvenom smislu predstavljali su daljnji iskorak čime se postigla i veća vidljivost i čime se osigurala i financijska i logistička potpora kako stručnim projektnim poslovima tako i znanstveno istraživačkim projektima.

Laboratoriji su uključeni u izvođenje znanstvenih projekta: An improved model of non-ideal detonation of commercial explosives“ (IP-2019-04), HRZZ i Influence of Confinement on Detonation Parameters of ANFO explosives, Scientific & Technological Cooperation Austrija , Croatia.

Laboratoriji su značajni dio i nastavnog procesa te se nastava izvodi u prostorijama na RGN fakultetu na vanjskim ispitivalištima, odnosno poligonima

2. Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari

Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari, od svojeg prvog formalnog osnivanja i početka rada 1999. godine obavio je ispitivanja preko 2000 različitih eksplozivnih tvari s primijenjenih preko 8000 pojedinačnih ispitivanja, odnosno metoda.

Uloga laboratorija u prometu eksplozivnih tvari za civilnu, gospodarsku upotrebu od samih početaka značajno se mijenjala. U prvom periodu, u kojem je laboratorij bio ovlašten u skladu s ustrojem prema normi HRN EN 45001: 1996. Opći kriteriji za rad ispitnih laboratorija, njegova je uloga bila definirana Zakonom o eksplozivnim tvarima, a ispitivanja su obavljana u skladu s tadašnjim ispitnim metodama za ispitivanje eksplozivnih tvari niza HRN H.D8.

Približavanjem Republike Hrvatske Europskoj uniji zakonski okvir se mijenjao, u području normizacije eksplozivnih tvari prihvaćene su europske norme, a procedure ocjene sukladnosti implementirane su u zakonsku regulativu. U tom prelaznom periodu osoblje laboratorija aktivno je sudjelovalo u prihvaćanju normativnih dokumenata i normi u Hrvatskom zavodu za norme.

Laboratorij je slijedom potreba toga procesa, akreditiran prema normi HRN EN ISO/IEC 17025: 2007., akreditiran 2009. godine za 33 ispitna postupaka prema prihvaćenim europskim normama ispitivanja iz niza: HRN EN 13631, Eksplozivi za civilnu upotrebu-Jaki eksplozivi; HRN EN 13630, Eksplozivi za civilnu upotrebu-Detonira-

jući i sporogoreći štapini; HRN EN 13763, Eksplozivi za civilnu upotrebu-Detonatori i usporivači i HRN EN 13763, Eksplozivi za civilnu upotrebu-Baruti i čvrsta raketna goriva. Na slici 1. prikazana su ispitivanja eksploziva na poligonu.

Slika 1: Ispitivanja eksploziva na poligonu

Područje akreditacije prošireno je nekoliko faza na metode za ispitivanje pirotehničkih proizvoda prema nizu normi HRN EN 15947, Pirotehnički proizvodi-Vatrometi razreda 1, 2 i 3; HRN EN 16261, Pirotehnički proizvodi-Vatrometi razreda 4; HRN EN 16256, Pirotehnički proizvodi za pozornice razreda 1,2 te prema IMO res. MSC.81 (70):1988., Pirotehnički proizvodi za tehničku namjenu (spašavanje na moru). Na slici 2. prikazana su ispitivanja pirotehničkih proizvoda za vatromete

Slika 2: Ispitivanja pirotehničkih proizvoda za vatromete na poligonu

Laboratorij je za poslove certifikacije eksplozivnih tvari ostvario suradnju s Ex-agencijom, agencijom za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom, čime je postao dio

procesa certifikacije eksplozivnih tvari prema direktivama europske komisije direktiva 93/15 EEC i 2007/23 EC, odnosno danas direktivama 2014/28/EU i 2013/29/EU europskog parlamenta i vijeća, te sudionik rada NB foruma za eksplozive i foruma za pirotehničke proizvode pri europskoj komisiji. U tom periodu, područje akreditiranih metoda ispitivanja prošireno je na pirotehnička sredstva svih kategorija, odnosno razreda. Na slici 3. prikazana su ispitivanja protugradnih raketa.

Slika 3: Ispitivanje protugradnih raketa

Potpunom implementacijom europske prakse certifikacije eksplozivnih tvari u RH, odnosno priznavanje europskih certifikata izdanih u drugim državama članica EU, te otežanom poslovanju na tržištu EU i trećih zemalja, poglavito zbog strogih propisa kolanja eksplozivnih tvari preko državnih granica, odnosno dostave uzoraka za ispitivanje, komercijalne mogućnosti laboratorija značajno su se smanjile. Slijedom navedenog, akreditacija u skladu s normom HRN EN ISO/IEC 17025: 2007, obzirom na navedene tržišne uvjete, nije produljivana od 2019. godine.

U Laboratoriju za ispitivanje eksplozivnih tvari ispitivani su: gospodarski i vojni eksplozivi, detonirajući i sporogoreći štapini, detonatori i inicijalna sredstva, pirotehnički proizvodi za tehničku i zabavnu namjenu, pirotehnička sredstva za spašavanje na moru, protugradne rakete, eksplozivni proizvodi kod dobivanja nafte i plina, kumulativni perforatori i rezači, baruti, propelanti i raketna goriva, s vrlo različitim namjenama.

Znanje te oprema sakupljena tijekom formalnog tržišnog rada laboratorija, kako kod kontrole kvalitete eksplozivnih tvari te ispitivanja u procesu certifikacije, omogućila je relevantnost i kompetitivnost u aktualnom znanstvenom okruženju. Danas u laboratoriju djeluje šestoro doktora znanosti u zvanjima od suradnika do redovitih profesora te jedan laborant-tehničar.

Spoznaje o svojstva eksplozivnih tvari koja su istraživana u laboratorijskom mjerilu, primjenjivane su u stručno istraživačkim projektima sa svrhom optimalizacije djelovanja eksploziva pri miniranju na površinskim kopovima i miniranjem u tunelogradnji. Izvođenjem opsežnijih istraživanja u realnim uvjetima miniranja, moguće je povezivanjem svojstava gospodarskih eksploziva, svojstvima stijene u smislu radne sredine, te poznavanjem njihovog međudjelovanja izvesti optimalne parametre uz najmanje djelovanje na okolinu. Istraživanja na površinskom kopu prikazana su na slici 4.

Slika 4: Istraživanja na površinskom kopu

Ispitivanja u Laboratoriju za ispitivanje eksplozivnih tvari poslužila su kao osnova za izvođenje miniranja prilikom skidanja sjevernog tornja Zagrebačke katedrale. Katedrala je značajno oštećena u potresu 22. ožujka 2020. godine. Potres koji je pogodio Zagreb bio je magnitude 5,5 ML, a prema modificiranoj Mercallijevoj ljestvici karakteriziran je VII stupnjem te je bio najjači od potresa 1880. godine. Obzirom na oštećenja koja je pretrpio sjeverni toranj odlučeno je da se on kontrolirano spusti dizalicom. Za taj postupak bilo je potrebno miniranjem odvojiti kamene blokove dijela tornja koji se skida te presjeći čelično uže utega stabilizacije tornja. Navedena odvajanja potrebno je bilo izvesti istovremeno i unutar nekoliko milisekundi.

Primijenjena tehnika je uključivala otpucavanje malih, precizno pozicioniranih punjenja za odvajanje metalnih klinova tornja koji ga povezuju s njegovim oštećenim nosivim vijencem. Nadalje, koncentriranim punjenjem bilo je potrebno presjeći čelično uže kuglastog utega tornja. Zahvat je izveden između 73. i 74. reda gradivih kamenih elemenata na visini od 92 m. U bliskoj suradnji s pripadnicima Inženjerijske pukovnije, koji su i izveli miniranje, projektna rješenja su potvrđena probnim miniranjima i uspješno izvedena neposredno prije podizanja tornja dizalicom. Budući da litotamnijski vapnenac iz Bizeka, kojim je građena Katedrala, nije materijal koji se inače minira zbog njegove poroznosti i male gustoće, bilo je potrebno ustanoviti učinkovitost djelovanja eksploziva. Ispitivanja minirljivosti kamena te određivanje parametara za rezanje čeličnog užeta provedene su u laboratoriju i na modelskim ispitivanjima u realnijim uvjetima opterećenja. Čelično uže i metalni klin u kamenom bloku prikazani su na slici 5. Ispitivanje djelovanja miniranja za oslobađanje klina u laboratoriju prikazana su na slici 6.

Slika 5: Čelično uže i metalni klin u kamenom bloku

Slika 6: Probna miniranja u laboratorijskim uvjetima

Prilikom izvođenja probnih miniranja potrebno je bilo u mogućoj mjeri simulirati opterećenja blokova za miniranja zbog djelovanja nadležećeg tornja te simulirati djelovanje naboja na plašt tornja prilikom rezanja užeta. Izvođenje probnih miniranja sa simulacijom stvarnih uvjeta prikazana su na slici 7.

Slika 7: Probna miniranja sa simulacijom stvarnih uvjeta

U stvarnim uvjetima bilo je potrebno postići jednovremeno odvajanje klinova i rezanje čeličnog užeta uz minimalno razbacivanje dijelova miniranih blokova te uz potpunu zaštitu užeta za podizanje blokova. Na bazi laboratorijskih i modelskih ispitivanja izvedeno je i miniranje tijekom skidanja tornja. Pripreme i opremanje minskih bušotina i trenutak miniranja prikazani su na slici 8.

Slika 8: Pripreme za miniranje foto MORH/F. Klen

Miniranje je izvedeno uspješno i u potpunosti prema projektu i u skladu sa spoznajama dobivenim laboratorijskim i modelskim ispitivanja [1].

3. Laboratorij za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okoliš

Miniranje je tehnologija koja koristi energiju eksploziva oslobođenu izuzetno brzom egzotermnom reakcijom. Zagrijani, visoko stlačeni plinovi u ekspanziji djeluju mehanički na okolinu u kojoj se eksplozija događa. Oslobođena energija detonacije eksplozivnoga punjenja minske bušotine prvenstveno i u većem dijelu djeluje mehaničkim radom na stijenu. Djelovanje eksplozivnoga naboja na stijenu opisuje niz teorija i autora s različitim pristupima. One se razlikuju u udjelu djelovanja pojedinih vrsta energija te utjecaju diskontinuiteta unutar stijenske mase. U osnovi, uslijed djelovanja energije udarnih valova i energije ekspanzije plinovitih produkata detonacije stijena se frakturira, drobi i izbacuje te na taj način nastaje slobodni volumen [2].

Minsko polje, odnosno eksplozivni naboj minske bušotine, može se smatrati epicentrom umjetno izazvanoga potresa. Izvan zone drobljenja veličine naprezanja prelaze u elastično područje čvrstoće stijene. U elastičnom području ne dolazi do drobljenja, već do osciliranja čestica stijene. Oscilacije se prenose elastičnim valovima, od epicentra radijalno kroz stijensku masu u svim smjerovima. Prijenosom kroz stijensku masu energija se troši, a amplitude oscilacija (pomak, brzina i akceleracija) prigušuju

se eksponencijalnom zakonitošću udaljavanjem od eksplozivnoga naboja, odnosno minskoga polja. Dio oslobođene energije eksplozivnoga punjenja koji nije utrošen na drobljenje stijene pretvara se u kinetičku energiju različitih tipova elastičnih valova, koji se međusobno razlikuju u brzini širenja, intenzitetu i obliku deformacije [3].

Potreba za mjerenjem utjecaja minerskih radova proizlazi i iz zakonske regulative, dobre prakse obavljanja radova, normativne podloge i podastiranja dokaza u sudskim procesima za naknadu šteta za koje se smatra da su nastale utjecajem miniranja.

Prihvaćanjem normi HRN ISO 4866:1999 i HRN DIN 4150, 1-3: 2011. definirani su metodologija mjerenja i karakteristike mjernih uređaja te dozvoljene granične brzine oscilacija s pripadajućim frekvencijama u ovisnosti o izvedbi i vrsti građevine izloženih miniranju, ali i vibracijama nastalim mehaničkim izvorima.

Proizvođač seizmografa Instantel Inc. iz Ottawe, Kanada, ovlastio je Rudarsko-geološko-naftni fakultet za umjeravanje (kalibriranje) i servis seizmografa za praćenje utjecaja miniranja na okoliš.

Instantel, koji je sada dio korporacije Stanley-Black and Decker, vodeći je svjetski proizvođač namjenskih seizmografa za mjerenje potresnog utjecaja kvantificiranoga putem brzina oscilacija, razine buke te tlaka udarnoga vala u zraku ili vodi, koji se javljaju kao neželjeni a moguće i štetni utjecaji miniranja.

Zavod za rudarstvo i geotehniku RGN fakulteta prepoznao je važnost ustrojavanja umjernoga laboratorija za tu opremu na prostoru Hrvatske. U suradnji s Instantelom pokrenut je umjerni laboratorij za mjerne instrumente njihove proizvodnje krajem 2010. godine.

Širenjem izgrađenih područja postojeći rudarski objekti dolaze u naseljene zone, a izgradnja cjevovoda, cesta, građevinskih jama, podmorski iskopi i ostali slični zahvati odvijaju se često u gusto izgrađenim područjima. Miniranje, koje je i dalje najekonomičnija tehnologija iskopa u čvrstim sredinama, odnosno stijenama, često se obavlja u neposrednoj blizini izgrađenih objekata, odnosno građevina. Prilikom detonacije eksplozivnih punjenja minskih bušotina dio energije koji nije utrošen za korisni rad drobljenja stijene djeluje na okolinu u obliku seizmičkog utjecaja, odnosno potresnoga djelovanja, zračnoga udarnoga vala i odbacivanja odminiranoga materijala. Pravilnim projektiranjem i izvođenjem minerskih radova, primjenom odgovarajućih mjera zaštite te mjerenjem i praćenjem veličine neželjenih utjecaja moguće ih je svesti na za okolinu neopasnu i tehnički prihvatljivu razinu. S druge strane, mehanički načini iskopa hidrauličnim čekićima ili geotehnički radovi bušenja, sidrenja, zabijanja talpi, injektiranja te prometnim sredstvima uzrokovane pobude djeluju na okolinu u obliku kontinuiranih ili impulsnih vibracija duljega trajanja u odnosu na same minerske ra-

dove. Djelovanje mehanički uzrokovanih vibracija koje, iako su manjeg intenziteta, duljim djelovanjem mogu uzrokovati nastanak oštećenja na objektima i uznemiriti stanovništvo. Karakteristična snimka trajektorija brzina oscilacija prilikom miniranja prikazana je slikom 9.

Slika 9: Karakteristična snimka trajektorija brzina oscilacija

Za potrebe mjerenja brzina oscilacija, akceleracija i pomaka nastalih utjecajem miniranja na svjetskom tržištu nekoliko proizvođača nudi mjerne uređaje, odnosno namjenske seizmografe. Najznačajniji je kanadski proizvođač Instantel, čiji mjerni uređaji prevladavaju na području Hrvatske i susjednih zemalja. Instantel proizvodi seizmografe skoro trideset godina i do sada su proizveli više od 16 000 jedinica. U proizvodnom se programu nalazi niz varijanti uređaja prilagođenih potrebama korisnika. Mjerni se uređaj, odnosno sustav, u osnovi sastoji od registratora (instrumenta), trokomponentnoga geofona te mikrofona. Očitanja mjerenja moguće je vidjeti u skraćenom obliku na zaslonu uređaja, a namjenski računalni program BlastWare omogućuje detaljan pregled, analizu i obradu rezultata mjerenja. Na raspolaganju su, za posebne potrebe zahtjevnih projekata, dodatni akcelerometri, posebni geofoni, hidrofoni, mikrofoni za visoki tlak te ostali pribor.

Seizmografi Instantel BlastMate i Instantel MiniMate prikazani su na slici 10.

Slika 10: Seizmografi Instantel (www.instantel.com)

Katedra za miniranje Zavoda za rudarstvo i geotehniku Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta prva je u bivšoj državi raspolagala seizmografima te se u posljednja četiri desetljeća kontinuirano bavi problematikom utjecaja miniranja na okolinu i mjerenja efekata miniranja. Suradnja s Instantelom u vidu umjernoga laboratorija i servisa uređaja logičan je nastavak razvoja temeljenoga na iskustvu upotrebe Instantelovih seizmografa i dodatnih osjetila u posljednjih 30 godina.

Laboratorij za umjeravanje seizmografa Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta jedan je od petnaest laboratorija u svijetu ovlaštenih za umjeravanje i servis Instantelove mjerne opreme. Slikom 11 prikazane su lokacije Instantelovih umjernih laboratorija u svijetu.

Slika 11: Umjerni laboratoriji Instantel (www.instantel.com)

Umjerna oprema RGN-fakulteta odgovara razini opreme centralnoga umjernoga laboratorija Instantela u Ottawi, Kanada, a stroge umjerne procedure i djelatnici školovani u Instantelu osiguravaju jednaku kvalitetu umjeravanja u značajno kraćim rokovima (nekoliko dana) bez troškova transporta i carinjenja za domaće korisnike usluga.

Slika 12: Umjerna oprema

Seizmografi za praćenje utjecaja miniranja su instrumenti koji se koriste na terenu, često u nepovoljnim uvjetima s prisutnošću prašine, vlage, vode, te pri visokim ili niskim temperaturama. Pri djelovanju tih utjecaja i izloženosti udarcima ili padovima u radu elektroničkih i mehaničkih komponenata uređaja može doći do promjene obilježja uređaja. Posljedica toga su netočna očitanja, odnosno rezultati mjerenja. Da bi se spriječile nepravilnosti u radu uređaja i povećala točnost, potrebno ih je umjeravati u propisanom razdoblju. Preporuke za razdoblje umjeravanja daju proizvođači uređaja, a u slučaju minerskih seizmografa godišnje umjeravanje propisano je smjernicama „ISEE Field Practice Guidelines for Blasting Seismographs“, 2009. izdanim od ISEE Standards Committee, International Society of Explosive Engineers.

Umjernice, kojima se dokazuje ispravnost instrumenata i točnost provedenih mjerenja, u svijetu su relevantan dokaz u sudskim sporovima vezanim uz štete s miniranjem kao mogućim uzrokom te će se takva praksa postupno uobičajiti i kod nas. Dokaz o umjeravanju s datumom i podacima umjernoga laboratorija, u elektroničkom obliku, pohranjuje se u memoriju uređaja, te je na svakom mjernom zapisu vidljivo kada je instrument umjeren. Osim toga naručitelju se izdaje i umjernica u papirnatom obliku.

Umjeravanje ili kalibracija uključuje usporedbu i podešavanje očitanja uređaja s etalonskom, sljedivom veličinom. Podešavanje je moguće obaviti jedino u ovlaštenim Instantelovim laboratorijima. Prilikom zaprimanja uređaja utvrđuje se cjelokupno stanje seizmografa i eventualna potreba zamjene dijelova. Primjenom umjerne procedure bilježi se postojeće stanje očitanja instrumenta za primijenjene referente veličine te se provjere propisane funkcije registratora. Na taj je način moguće pratiti ponašanje instrumenta između umjeravanja, izolirati nepravilnosti i eventualno procijeniti potrebu zamjene kritičnih sklopova. Zatim se, temeljem usporedbe veličine očitanja s etalonskom veličinom podešavanje seizmografa. Pri tome se umjerava instrument zajedno s osjetilima (geofon i mikrofon) kao cjelina, te se time postiže bolja točnost umjeravanja. Očitanja se svih triju prostornih komponenata geofona provjeravaju na vibracijskom stolom s podešenim signalom referentnoga akcelerometra, a odziv mikrofona (s referentnim mikrofonom) u zvučnoj komori.

Prema tome seizmografu s geofonom i mikrofonom su po provedenom umjeravanju provjerene sve ključne funkcije koje osiguravaju ispravnost rada te su podešena očitanja u skladu s proizvođačevim deklariranim vrijednostima. Periodičnim, propisanim i preporučenim umjeravanjem, koje se osigurava putem provjere, podešavanja i servisiranja, osigurava se pouzdani rad seizmografa te ispravni rezultati mjerenja. Pouzdani rezultati dobiveni umjerenim seizmografima pretpostavka su zaštite objekata potencijalno ugroženih miniranjem i mehaničkim vibracijama nastalih kao posljedica geotehničkih radova [4].

4. Zaključak

Miniranje kao tehnologija, kao područje znanstvenog istraživanja te nastavno područje na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu prisutno je značajan period. Laboratorij za ispitivanje eksplozivnih tvari i Laboratorij za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okoliš razvijani su usporedo sa razvojem domaće primjene eksplozivnih tvari za različite vrste miniranja u rudarstvu i građevinarstvu te miniranja u ostale tehnološke svrhe. Laboratoriji su uključeni u sve oblike djelovanja fakulteta a kontinuiranim razvojem u skladu s novim dostignućima u području eksplozivnih tvari, postali su nezaobilazna baza za provedbu znanstvenih istraživanja. Raznolikost djelovanja laboratorija u području miniranja te izvođenje zahtjevnih projekata omogućenih njihovim resursima osiguravaju referentnost, kompetentnost i prepoznatljivost Rudarsko-geološko-naftnog fakultete Sveučilišta u Zagrebu.

Literatura

[1] Bohanek, V.; Dobrilović, M.: Blasting tehnology for removing a part from the northen tower of Zagreb Cathedral, EFEE NEWSLETER, 1 (2020), 3; 16-27

[2] Dobrilović, M., Bohanek, V.: Utjecaj miniranja u cestogradnji na okolne građevine, U Mjerenja, ispitivanja i monitoring na prometnicama, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometnice, (2013) str. 313-346

[3] Dobrilović, M., Bohanek, V.: Utjecaj miniranja u cestogradnji na okolne građevine, U Mjerenja, ispitivanja i monitoring na prometnicama, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometnice, (2013) str. 313-346,

[4] Dobrilović, M., Kuhinek, D., Bohanek, V. (2012): Laboratorij za umjeravanje opreme za praćenje utjecaja miniranja na okoliš - Umjerni laboratorij i servis seizmografa Instantel, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta., Mineral, stručni časopis za područje rudarstva i graditeljstva, (2012), str. 22-24.

Znanstveno-razvojni centri Sveučilišta u Rijeci kao primjer dobre prakse poticanja interdisciplinarnih aktivnosti i projekata

Saša Zelenika,[1,2] Nataša Jakominić Marot[2]

[1] Redoviti član Akademije u Odjelu strojarstva i brodogradnje

[2] Sveučilište u Rijeci, Trg braće Mažuranića 10, 51000 Rijeka, Hrvatska

Sažetak: *Sveučilište u Rijeci, u suradnji sa svojim sastavnicama i drugim partnerskim institucijama, uz obavljanje redovite djelatnosti, kontinuirano radi i na razvoju i unapređenju svojeg ustroja. Nakon kratkog opisa Sveučilišta i njegovih strateških odrednica, u ovom se radu opisuju svrha, cilj i ustroj znanstveno-razvojnih centara Sveučilišta kao modela za poticanje multi-, inter- i transdisciplinarnog umrežavanja i rada znanstvenika. Daje se popis dosad ustrojenih centara, navode se fokusi njihovog djelovanja te se posebno ističu dosadašnja iskustva i prednosti takve organizacijske forme u poticanju funkcijske integracije Sveučilišta te pozitivni učinci ostvareni na području razvoja znanstvene infrastrukture, objavljivanju radova te privlačenju kompetitivnih znanstvenih projekata.*

Ključne riječi: *Sveučilište u Rijeci, znanstveno-razvojni centri, interdisciplinarnost, funkcijska integracija, suradnja, inicijativa*

1. Uvod

Od svojeg osnutka 1973. godine, Sveučilište u Rijeci (UNIRI) se do danas razvilo u moderno europsko sveučilište koje obuhvaća 11 fakulteta, jednu umjetničku akademiju, četiri sveučilišna odjela, 13 znanstveno-razvojnih centara te Studentski centar, Sveučilišnu knjižnicu, Zakladu te znanstveno-tehnologijski park STEP RI [1]. U sklopu inicijative Europske unije (EU) za ustrojem mreža europskih sveučilišta, Sveučilište u Rijeci se je vrlo aktivno uključilo u Mrežu mladih sveučilišta za budućnost Europe (*Young Universities for the Future of Europe* – YUFE) [2], a aktivno je i u mreži Mladih europskih istraživačkih sveučilišta (*Young European Research Universities* – YERUN) [3], gdje rektorica Sveučilišta u Rijeci ima i ulogu predsjednice toga saveza 23 dinamičkih EU sveučilišta.

Sveučilište u Rijeci je svoje primarne uloge definiralo kao nastavnu – pripremajući studente za poslove budućnosti i građansku odgovornost, istraživačku – s ciljem otvaranja i osnaživanja Sveučilišta za ulazak u inovativne istraživačke poduhvate i suradnje kako bi razvijali gospodarstvo i unaprijedili dobrobit lokalne zajednice, te onu djelovanja u zajednici – kao građani koji, iskreno vjerujući u europske vrijednosti slobode, ljudskih prava i prosvjećenosti, grade novu europsku budućnost. U skladu s time, Sveučilište je definiralo i svoju misiju izgradnje europskog sveučilišta budućnosti. Temeljeći svoj rad na odgovornosti, otvorenosti, inovativnosti i povezanosti, pri ostvarenju svoje misije i vizije Sveučilište je definiralo i svoje razvojne politike, te kvalitativne i kvantitativne ciljeve i pokazatelje koji su, na području učenja i poučavanja, istraživanja, inovacija i razvoja, društveno odgovornog transfera znanja i regionalne uključenosti, internacionalizacije i strateških partnerstava te snage integracije, formulirani u Strategiji Sveučilišta za razdoblje od 2021. do 2025. godine [4]. Pritom je Sveučilište u svojim politikama snažno usmjereno i na postizanje ciljeva održivog razvoja Ujedinjenih naroda [5], otvorene znanost [6] te rodne ravnopravnosti, različitosti i uključivosti [7].

Uz obavljanje znanstvenoistraživačke i nastavne djelatnosti te djelovanja u zajednici, Sveučilište u Rijeci, s ciljem unapređenja svoje djelatnosti, kontinuirano planira osnivanje i razvoj novih ustrojbenih jedinica. U tom kontekstu posebnu ulogu imaju znanstveno-razvojni centri Sveučilišta koji se kontinuirano razvijaju u okviru određenih prioriteta, a u budućnosti se, sukladno iskazanim potrebama interdisciplinarnog razvoja znanstvene djelatnosti i potrebama ekonomskog i društvenog razvoja zajednice u kojoj Sveučilište djeluje, planira osnivanje i novih centara.

2. Razvoj i rast znanstveno-razvojnih centara Sveučilišta u Rijeci

Prije petnaestak godina Sveučilište u Rijeci je ušlo u fazu vrlo dinamičkog organizacijskog i infrastrukturnog razvoja finaliziranog poticanju funkcijske integracije znanstvenih kapaciteta Sveučilišta na temeljima inter-, multi- i transdisciplinatnosti. U punom su zamahu tada aktivnosti na osnivanju sveučilišnih odjela prirodnih znanosti, na tada novom kampusu na Trsatu postavlja se kamen temeljac za zgradu sveučilišnih odjela, dok se jedna od postojećih derutnih zgrada obnavlja za budući Znanstveno-tehnologijski park (STEP RI), a iz inozemstva se vraća veći broj znanstvenika. U tom plodonosnom okruženju, početkom 2006. godine dvoje znanstvenika-povratnika na Sveučilište, s ciljem povezivanja znanstvenih resursa na područjima prirodnih, tehničkih i biomedicinskih znanosti, te u kontekstu povezivanja s centrima izvrsnosti u inozemstvu, ali i povlačenja sredstava za kapitalnu znanstvenu opremu iz nacionalnih fondova, iznose ideju, a već sredinom 2006. prezentiraju i strukturirani elaborat, o osnivanju multidisciplinarnog sveučilišnog Centra za mikro- i nanoznanosti i tehnologije. Doista, Statut Sveučilišta u Rijeci predviđa ustrojbeni oblik sveučilišnih cen-

tara koji se „osnivaju za znanstveni, visokostručni rad ili edukacijski rad“ pri čemu ih, „kao podružnice odnosno ustrojstvene jedinice Sveučilišta osniva i ukida Senat“, njima „rukovodi predstojnik centra“, dok se „aktom o osnivanju centra utvrđuje unutarnje ustrojstvo centra, djelatnost, radno-pravni status zaposlenika i druga pitanja značajna za djelatnost centra“ [8].

Ideja Centra za mikro- i nanoznanosti i tehnologije dobiva punu podršku tadašnjeg rektora, akademika prof. dr. sc. Daniela Rukavine, te prorektora prof. dr. sc. Zdravka Lenca. Kroz sredstva resornog ministarstva i tadašnje Nacionalne zaklade za znanost (NZZ) osigurava se između 2007. i 2009. godine za taj Centar i prva kapitalna znanstvena oprema, a u Strategiji Sveučilišta za period 2007. – 2013. se već predviđa i snažniji interdisciplinarni razvoj bio-, nano- i info-tehnologija. Procesom približavanja, a onda i pridruživanja Republike Hrvatske (RH) Europskoj uniji (EU), te aktivnosti rezultiraju i formalnim ustrojavanjem prvih znanstveno-razvojnih centara Sveučilišta u Rijeci 2010. godine: Centra za mikro- i nanoznanosti i tehnologije, Centra za visokopropusne tehnologije te Centra za napredno računanje i modeliranje.

Ulaskom Hrvatske u EU, u skladu s težnjom Sveučilišta za kontinuiranim rastom i razvojem, novoformirani se centri stavljaju u kontekst i funkciju zahtjevnog projekta „Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci“ – prvog uopće realiziranog infrastrukturnog projekta financiranog iz strukturnih i investicijskih fondova Europske unije u RH [9]. Izuzetnim angažmanom djelatnika navedenih centara, ali i sveučilišnog Centra za EU projekte [10] i administrativnih službi sveučilišta, za laboratorije navedenih centara te Građevinskog fakulteta osigurava se navedenim projektom, financiranim kroz Europski fond za regionalni razvoj (EFRR), vrhunska znanstvena oprema vrijedna više od 180 milijuna kuna, stavljena u pogon na kampusu tijekom 2014. i 2015. godine [11]. Centar za visokopropusne tehnologije u međuvremenu je integriran u Odjel za biotehnologiju Sveučilišta u Rijeci.

Pokretačku ulogu na ustroju centara Sveučilišta u Rijeci u području društvenih i humanističkih znanosti ima, pak, Međusveučilišni centar izvrsnosti Jean Monnet u Opatiji, osnovan 2010. godine, nakon čega je uslijedilo i osnivanje Centra za napredne studije jugoistočne Europe (CAS-SEE) te Centra za industrijsku baštinu.

U sljedećem periodu Sveučilište u Rijeci sistematizira formalne procedure za osnivanje novih znanstveno-razvojnih centara, koji predviđaju izradu strukturiranog elaborata s planom razvoja novopredloženih centara, očekivanim postignućima u prve dvije godine djelovanja kao i opisom potrebnih ljudskih, prostornih i financijskih resursa, a s ciljem osiguranja održivosti centra kroz dulji period.

Tijekom mandata rektorice prof. dr. sc. Snježane Prijić Samaržija se na ovom području ostvaruje novi zamah, te se osnivaju i Centar za podršku pametnim i održivim

gradovima, Centar za urbanu tranziciju, arhitekturu i urbanizam – DeltaLab (snažno integriran u aktivnosti vezane uz projekt Rijeke kao Europske prijestolnice kulture EPK 2020), Centar za logiku i teoriju odlučivanja, Centar za studije mira i konflikata te Centar za umjetnu inteligenciju i kibernetičku sigurnost koji je, dosad, okupio najveći broj znanstvenika Sveučilišta s brojnih sastavnica i s daleko najinterdisciplinarnijim pristupom tretiranoj problematici. U zadnjih godinu i pol dana osnivaju se zatim i Logopedski centar te, najnoviji, Centar za istraživanje uma i ponašanja.

3. Znanstveno-razvojni centri Sveučilišta u Rijeci danas

U nastavku će se ukratko opisati razvoj i utjecaj pojedinih znanstveno-razvojnih centara Sveučilišta u Rijeci, a temeljeno i na pojedinim detaljnijim opisima njihove djelatnosti objavljenima u mjesečnom prilogu riječkog dnevnog lista Novi list – Vox Academiae [12].

3.1. Centar za mikro- i nanoznanosti i tehnologije

Centar za mikro- i nanoznanosti i tehnologije (NANORI [13]) okuplja interdisciplinarni tim znanstvenika koji obavljaju i razvijaju znanstveni i visokostručni rad, provode projekte u suradnji s gospodarstvom te osiguravaju znanstvenu opremu i pružaju usluge drugim znanstvenim i gospodarskim subjektima na temelju znanstvene izvrsnosti ili na komercijalnim osnovama i to u području mikro- i nanoznanosti i tehnologija, odnosno u području prirodnih i tehničkih znanosti, u području biomedicine i zdravstva te u području biotehničkih i interdisciplinarnih područja znanosti.

NANORI centar se ističe znanstvenom produktivnošću te povezanim međunarodnim i nacionalnim suradnjama i projektima (među ostalima EU FP, HRRZ, COST i Interreg), što ga posebno kvalificira na polju znanstvene izvrsnosti. Doista, djelatnici NANORI, koji istovremeno rade i pri Odjelu za fiziku, Tehničkom fakultetu, Odjelu za biotehnologiju te Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci, redovito publiciraju radove u visokorangiranim međunarodnim časopisima visokog faktora odjeka te time doprinose vidljivosti i rangiranju Sveučilišta u Rijeci. Uz to, radom pod mentorstvom znanstvenika angažiranih u radu Centra te na opremi Centra izrađeno je i uspješno obranjeno 6 doktorata znanosti u više znanstvenih polja kao i veliki broj diplomskih i završnih radova, a u Centru se provodi i širok spektar nastavnih aktivnosti, posebice u obliku seminara i laboratorijskih vježbi.

Unutarnje ustrojbene jedinice Centra su 9 laboratorija opremljena kroz ranije navedeni infrastrukturni EFRR projekt opremom vrijednom više od 4 milijuna eura, od čega je 6 zajedničkih laboratorija Centra i Odjela za fiziku Sveučilišta u Rijeci.

Voditelji NANORI laboratorija imaju veliko međunarodno iskustvo te su prethodno živjeli i radili u Italiji, Švicarskoj, Njemačkoj, Sloveniji, Australiji i SAD. Ističe se i da je Laboratorij za kvantnu i nelinearnu optiku NANORI centra i Odjela za fiziku Sveučilišta u Rijeci sudjelovao, kao dio CERN-ovog eksperimenta CAST, u razvoju naprednog detektora KWISP za pojave vezane uz tzv. tamnu energiju.

U NANORI se posebna pažnja posvećuje i popularizaciji znanosti, pa Centar redovito sudjeluje u Festivalu znanosti, Noći istraživača te organizira dane otvorenih vrata i STEM radionice. Povodom desete obljetnice osnutka centra, a kao dio aktivnosti vezanih uz EPK 2020 – susjedstvo Kampus, na vanjskim izložbenim panelima šetnice na kampusu Sveučilišta u Rijeci na Trsatu je u rujnu 2020. godine postavljena izložba pod nazivom „10. godišnjica NANORI centra“. Centar je bio zastupljen i u programu Europskog grada znanosti ESOF 2020 u Trstu.

Djelatnici angažirani u radu NANORI centra upravo pokreću i program cjeloživotnog obrazovanja naslovljen „Napredna laboratorijska ispitivanja materijala“.

3.2. Centar za napredno računanje i modeliranje

Centar za napredno računanje i modeliranje (CNRM [14]), jedan od prvih znanstveno-razvojnih centara Sveučilišta u Rijeci, upravlja računalom visokih performansi (engl. *high-performance computing* (HPC)) Bura nabavljenim kroz ranije navedeni infrastrukturni EFRR projekt „Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci“, što ga čini značajnim u krajobrazu raspoloživih računalnih kapaciteta na nacionalnoj pa i široj razini. Aktivnosti CRNM-a usmjerene su, tako, prema razvoju i implementaciji sustava u supperračunalnom okruženju pri realizaciji složenih proračuna u HPC okruženju. Doista, suvremena tehnološka infrastruktura, s vrhunskim znanstvenicima koji provode istraživanja, temelj je ostvarenja brojnih suradnji s domaćim i velikim nacionalnim i europskim tehničkim sveučilištima i znanstvenicima ali i gospodarskim subjektima, te za rad na najzahtjevnijim projektima poput, primjerice, onih vezanih uz borbu protiv pandemije COVID-19, analiziranje mikrobiološkog onečišćenja voda, dizajniranje novih lijekova i drugih.

Unutar Centra djeluje interdisciplinarni tim znanstvenika koji provode istraživanja u različitim područjima znanosti, od tehničkih do biomedicinskih, s različitim znanstvenim interesima. Pri Centru je ustrojen Odjel za napredno modeliranje koji, primjenom modernih metoda i tehnologija, ostvaruje vezu između računalnih 3D modela i okoline. Misija Centra je pritom omogućiti korištenje superračunalnih resursa inovativnim znanstvenim skupinama, kako bi se skupi superračunalni resursi učinili dostupnijima i mladim znanstvenicima.

Superračunalo Bura, uz znanstvenike samog riječkog Sveučilišta, koriste i formirane superračunalne skupine korisnika s Instituta Ruđer Bošković, Fakulteta elektrotehnike i računarstva, Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Fakulteta strojarstva i brodogradnje te Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, ali i Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu, Sveučilišta u Puli te Tehničkog veleučilišta Zagreb. Sveučilište u Rijeci i Bura su članovi suradničke mreže i sa znanstvenim institucijama u Trstu (UNITS), Münchenu (Tehničko sveučilište TUM) i Kopenhagenu. Od suradnji svakako valja istaknuti i onu s tvrtkom HYDRO-TEC Gmbh iz Njemačke, na razvoju simulacijskog softvera na području analize strujanja otvorenih vodotoka, kao i onu s Altair Hyperworks, jednom od vodećih svjetskih tvrtki inženjerskog softvera.

Navedene su suradnje unaprijeđene i kroz partnerstvo na zajedničkim europskim projektima, a njihovom se realizacijom osigurava razmjena znanja, brojnih znanstvenika i studenata. Posebno se ističe sudjelovanje CNRM u projektu „*National Competence Centres in the Framework of EuroHPC* (EUROCC)“ financiranom kroz europski program Obzor Europa.

Važan dio aktivnosti CRNM-a je i upotreba preciznih uređaja za 3D industrijsko mjeriteljstvo, pa se tako vrše i statička ispitivanja tiskanih kompozitnih uzoraka i određivanje polja pomaka i deformacija, te se izvode s tim povezana predavanja i laboratorijska nastava studentima Tehničkog fakulteta u Rijeci. Uz prethodno navedeno, značajna istraživanja se provode i na kompleksnim numeričkim modelima strujanja u okolišu, uz primjenu inovativnih optimizacijskih metoda, umjetne inteligencije i strojnog učenja.

3.3. Međusveučilišni centar izvrsnosti Jean Monnet Opatija

Međusveučilišni centar izvrsnosti Jean Monnet [15] osnovan je 2010. godine kao rezultat suradnje između Jean Monnet katedri Pravnog fakulteta Sveučilišta u Rijeci i Pravnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, i to kao interdisciplinarni forum za postizanje izvrsnosti u istraživanju i poučavanju u području prava europskih integracija. Centar je nastao i započeo s radom u okviru projekta kojeg je sufinancirala Europska komisija (EK), kao podvrsta aktivnosti u okviru EU programa Jean Monnet. EK je dodijelila projekt na temelju postignutih rezultata u nastavi i znanstvenom istraživanju te je Centar Sveučilišta u Rijeci postao prvi takav centar u RH, a riječko je Sveučilište jedno od samo 10 sveučilišta na svijetu kojemu je EK dodijelila to priznanje. Značaj Međusveučilišnog centra izvrsnosti Jean Monnet prepoznao je i Grad Opatija koji mu je dao na korištenje prostor za djelovanje.

Aktivnosti Centra provode se kroz organiziranje međunarodnih konferencija, seminara i stručnih radionica, u čijem radu sudjeluju brojni istaknuti znanstvenici i suci

poput onih Suda Europske unije (engl. *Court of Justice*) i Općega suda Europske unije (engl. *General Court*). U novije se vrijeme u organizaciji Centra posebno ističu i interdisciplinarni skupovi vezani uz digitalne tehnologije i inovacije.

Jedan od ciljeva Centra je i razvijanje programa diplomskih i poslijediplomskih studija te poticanje multidisciplinarnih istraživanja na polju Europskih studija.

3.4. Centar za napredne studije jugoistočne Europe

Osnivanje Centra za napredne studije Jugoistočne Europe (CAS SEE [16]) imalo je za cilj zbližavanje većeg broja međunarodnih istraživača iz društvenih i humanističkih znanosti, čime se iskorištava njihov inovativni potencijal i ističe uloga javnih intelektualaca, ali i daje doprinos osnaživanju regionalne, europske i međunarodne suradnje.

Kako Sveučilište u Rijeci nastoji ostvariti svoju misiju i društvenu odgovornost kroz doprinos zajednici ne samo kroz znanstvena istraživanja, nego i kroz obrazovne programe za građane, tijekom 2019. godine pokrenulo je planiranje i izradu detaljnijeg plana razvoja CAS SEE unutar palače Moise u Cresu. U skladu s time je osmišljavanje i organizaciju programskih i promotivnih aktivnosti u palači Moise Senat Sveučilišta u Rijeci u travnju 2020. povjerio upravo Centru za napredne studije Jugoistočne Europe, uz stručnu podršku sveučilišnog Centra za studije i cjeloživotno obrazovanje te u suradnji s lokalnom zajednicom. Glavna misao vodilja je da palača Moise postane regionalni centar za društvene i humanističke znanosti kao i za cjeloživotno učenje, odnosno svojevrsna središnja otočna točka interdisciplinarnog i intergeneracijskog karaktera koja osigurava i rezidencijalne boravke znanstvenika, umjetnika i malih poduzetnika.

Jedan od glavnih ciljeva CAS SEE je i internacionalizacija znanosti kojoj Sveučilište u Rijeci teži, te je tako u veljači 2020. godine osnovano i Međunarodno tijelo Vijeća pokrovitelja palače Moise, u kojem su ugledni međunarodni znanstvenici i stručnjaci koji će svojim utjecajem na međunarodnoj sceni povećati ne samo vidljivost znanstvenoistraživačkih aktivnosti, nego i aktivnosti vezanih uz afirmaciju demokratskih vrijednosti u europskom okruženju.

3.5. Centar za industrijsku baštinu

Odgovor skupine stručnjaka i znanstvenika na nepostojanje sustavnog istraživanja bogatog kulturnog i industrijskog nasljeđa Grada Rijeke je bilo osnivanje Centra za industrijsku baštinu (CIB) 2013. godine [17]. Centar je usmjeren na nekoliko segmenata djelovanja, među kojima se ističu istraživačke, edukacijske i turističke aktiv-

nosti. Poseban naglasak u radu Centra je i na kulturnom turizmu te iskorištavanju i zaštiti povijesne i umjetničke baštine, pri čemu se radi na uspostavi suradnje između gospodarskih i upravnih tijela radi očuvanja, zaštite i svrhovitog iskorištavanja kulturnog naslijeđa kao i na promicanju međunarodne suradnje na navedenim područjima rada.

Centar je uspješan u prijavi projekata te je, primjerice, uvršten u financiranje projekta „Digitalizacija industrijske baštine Grada Rijeke“ te istraživanja i digitalizacije kulturne baštine – „Visit Krk“, „Story of Krk“ i „Visit Omišalj“. Centar je sudjelovao i u izdavanju publikacije kao dio integriranog programa „Turistička valorizacija reprezentativnih spomenika riječke industrijske baštine“, financiranog iz sredstava ERFF, kojega su nositelji bili Grad Rijeka i Turistička zajednica Grada Rijeke; tu je Centar sudjelovao u dijelovima istraživanja i edukacije koji su obuhvatili aktivnosti istraživanja industrijske prošlosti grada i povijesti broda „Galeb“. Centar je sudjelovao i u Erasmus+ projektu „Industrial Heritage lab@isced 3 Level“. CIB je i kontaktna točka za članstvo Sveučilišta u Rijeci u Europskoj mreži kulturnog turizma.

3.6. Centar za urbanu tranziciju, arhitekturu i urbanizam

Tijekom 2018. godine osnovan je multidisciplinarni Centar za urbanu tranziciju, arhitekturu i urbanizam (DeltaLab) [18]. Djelatnost Centra usmjerena je prema istraživanju, obrazovanju i savjetovanju u interdisciplinarnim područjima vezanim uz novu konceptualizaciju gradova budućnosti. DeltaLab pritom predstavlja novi program iz područja arhitekture i urbanizma. U sklopu već spomenutog projekta Rijeka EPK 2020 je Centar ostvario hvaljenu izložbu „Fiume Fantastika: Fenomeni grada“ te je objavio povezanu knjigu „Fiume Fantastika“. Promocija engleskog izdanja te knjige je održana u sklopu popratnog programa Venecijanskog bijenala, gdje su članovi tima DeltaLaba bili i autori paviljona kojim je predstavljena Hrvatska.

Centar pokreće novi poslijediplomski specijalistički „Urbani studij“ čiji je program na razini naprednijih studija arhitekture u svijetu, te je jasno da Sveučilište u Rijeci i u ovom području provodi svoju namjeru za usvajanje europskih standarda visokog obrazovanja.

Važno je istaknuti i da je predstojnik ovoga Centra ugledni inozemni stručnjak prof. dr. sc. Giovanni Durbiano.

3.7. Centar za podršku pametnim i održivim gradovima

Centar za podršku pametnim i održivim gradovima (CPPOG [19]) je osnovan 2018. godine, a bavi se interdisciplinarnim aktivnostima usmjerenim na ekonomske i finan-

cijske modele razvoja koncepta pametnih gradova temeljnih na održivosti. U pametnim gradovima se, primjenom algoritama strojnog učenja, a na temelju velike količine prikupljenih podataka, omogućavaju optimalna rješenja za najrazličitije usluge za građane u svrhu optimalnog upravljanja svim dimenzijama funkcioniranja života te pri pripremi, financiranju i ugovaranju javnih projekata.

CPPOG je od osnivanja realizirao suradnju s centrom kompetencija Smart Ri d.o.o. i Regionalnom razvojnom agencijom PGŽ Prigoda, a zajednički su radili i rade na istraživanju inovativnih modela organizacije i financiranja projekata pametnih naselja.

3.8. Centar za logiku i teoriju odlučivanja

Centar za logiku i teoriju odlučivanja (CLTO [20]), osnovan 2019. godine, ima za cilj interdisciplinarno povezati stručnjake iz disciplina logike, teorije odlučivanja i teorije igara, ali i graničnih područja kao što su psihologija, ekonomija i pravo, i to kroz znanstvene te izdavačke i edukacijske aktivnosti.

Centar povezuje, dakle, društvene i humanističke znanosti, odnosno eminentne istraživače i nastavnike koji rade na različitim sastavnicama Sveučilišta u Rijeci (Filozofski fakultet, Pomorski fakultet te Ekonomski fakultet). S ciljem kontinuiranog osiguranja visoke kvalitete i prepoznatljivosti svojega rada, CLTO ima i vlastiti međunarodni znanstveni savjet.

3.9. Centar za studije mira i konflikata

Centar za studije mira i konflikata (CSMK) je ustrojbena jedinica Sveučilišta za pitanja ljudskih prava te javnu upotrebu uma radi proširenja prostora slobode i razumijevanje uvjeta mira i sukoba. Centar, osnovan 2019. godine, potiče interdisciplinarni pristup (u akademskim disciplinama političkih znanosti, filozofije, prava, socijalne psihologije, kulturologije, teologije i povijesnih znanosti) te regionalno i transnacionalno okupljanje znanstvenika i dionika iz civilnog sektora u znanstvenoistraživačkim i obrazovnim aktivnostima na proučavanju fenomena društvenih sukoba i prepreka izgradnji mira u istočnoj i jugoistočnoj Europi.

Centar je okupio radnu skupinu projekta „Škola i zajednica“ s ciljem izrade kurikuluma građanskog odgoja i obrazovanja za srednje škole [21], čiji se pilot provodi u Prvoj riječkoj hrvatskoj gimnaziji, a uvođenje je najavljeno i na razini Grada Zagreba.

Uz to, CSMK je, uz partnere, uključen i u trogodišnji projekt „Moje mjesto pod suncem“. Projekt je usmjeren na borbu protiv siromaštva te predstavlja intersektorsku

platformu koja povezuje različite dionike: udrugu Centar za kulturu dijaloga (CeKaDe), Učiteljski fakultet u Rijeci, Primorsko-goransku županiju (PGŽ) i Grad Rijeku.

3.10. Centar za umjetnu inteligenciju i kibernetičku sigurnost

U siječnju 2020. godine osnovan je Centar za umjetnu inteligenciju i kibernetičku sigurnost (AIRI [22]). Izgradnjom vrhunske platforme za stvaranje inovativnih rješenja, AIRI centar potiče interdisciplinarni pristup znanstvenom radu i primjeni umjetne inteligencije, prijenos znanstvenih rezultata u gospodarstvo, umrežavanje kapaciteta te aktivnosti na popularizaciji znanosti. Važnost Centra razvidna je posebno iz velikog broja (gotovo 50(!)) prikupljenih pisama podrške njegovom osnivanju, i to kako od strane sastavnica i područnica Sveučilišta u Rijeci, tako i od strane dionika iz gospodarstva, vrhunskih znanstvenika iz zemlje i inozemstva, te institucija iz javnog sektora, uključujući Grad Rijeku i Primorsko-goransku županiju.

Centar se odlikuje velikom interdisciplinarnošću pa, uz znanstvenike iz područja tehničkih znanosti, uključuje i stručnjake koje se bave pravnim, etičkim i drugim aspektima umjetne inteligencije, okupljajući 70-ak znanstvenika Sveučilišta u Rijeci. AIRI ima fokus i na dvosmjernom transferu znanja prema i iz gospodarstva, a snažno je usmjeren i na internacionalizaciju te na pokretanje partnerstava, dijeljenje znanja, razmjenu ideja, te suradnju i multidisciplinarni pogled na primjenu najnovijih digitalnih tehnologija pri rješavanju različitih tehnoloških, gospodarskih i društvenih izazova. Središnje teme rada 19 laboratorija koji djeluju u Centru su tehnologija umjetne inteligencije i kibernetičke sigurnosti, pravni i etički aspekti primjene umjetne inteligencije, napredne digitalne tehnologije u medicini i biotehnologiji, tehnologije za pametan i održiv razvoj društva te digitalne tehnologije u očuvanju kulturnog identiteta i baštine.

Centar je već u prvoj godini postojanja kroz 14 projekata povukao značajna sredstva u iznosu od oko šest milijuna kuna, a djelatnici angažirani u radu Centra su objavili više od 50 znanstvenih radova (od čega 31 rad indeksiran u A bazi, a 18 u prvoj kvartili), a sudjelovali su i u organizaciji 9 međunarodnih znanstvenih skupova te u uređivanju 12 međunarodnih znanstvenih časopisa. AIRI centar je aktivno uključen i u projekt osnivanja EDIH-Adria (European Digital Innovation Hub – Europski digitalni centar za inovacije) na Sveučilištu u Rijeci, koji ima za cilj stvaranje inovacijskog centra koji će imati ključnu ulogu u pružanju podrške poduzećima s posebnim naglaskom na umjetnoj inteligenciji, kibernetičkoj sigurnosti i računarstvu visokih performansi.

Upravljački odbor AIRI centra čine eminentni znanstvenici iz domovine i inozemstva.

3.11. Logopedski centar

Osnivanjem Logopedskog centra (UniLOG [23]) u srpnju 2020. godine, imajući u vidu pokretanje studija logopedije na riječkom Sveučilištu, deficitarnost odgovarajućih kadrova te potrebu pružanja kvalitetnih, stručnih i znanstveno utemeljenih logopedskih usluga u ovom dijelu Hrvatske, s jasnim značajem za dobrobit ljudi i širu zajednicu, te uz podršku brojnih sastavnica Sveučilišta, ali i institucija iz javnog sektora, uključujući Grad Rijeku i Primorsko-goransku županiju, stvorene su pretpostavke za znanstvenu djelatnost i provođenje interdisciplinarnih istraživanja, edukacijsku djelatnost, savjetodavne aktivnosti te klinički i stručni rad na polju logopedije. UniLOG centar je mjesto pružanja usluga savjetovanja i edukacije logopeda, odgojitelja, učitelja i drugih stručnjaka koji sudjeluju u odgoju, obrazovanju i pružanju podrške djeci i odraslima s poremećajima humane komunikacije, kao i članovima njihovih obitelji.

Osnivanjem UniLOG centra omogućeno je i otvaranje jedinstvene logopedske ambulante u okrilju Sveučilišta u Rijeci. Logopedska ambulanta predstavlja jedinstvenu sinergiju znanosti, obrazovanja i struke te je otvorena uz suradnju i podršku Kliničkog bolničkog centra (KBC) Rijeka, što predstavlja ogledni primjer intersektorske suradnje. Suradnjom Sveučilišta i KBC-a Rijeka nastoji se pritom osigurati trajno i dugoročno stvaranje uvjeta za obrazovanje studenata logopedije i pružanje logopedskih usluga lokalnoj zajednici. Centar i ambulanta pružaju logopedske usluge ranog otkrivanja, procjene, dijagnostike, interpretacije i rehabilitacije poremećaja govora, glasa, gutanja, slušanja, čitanja i pisanja, a ciljna skupina su djeca i odrasli kojima je preporučeno logopedsko testiranje i tretmani, pri čemu Logopedski centar ima dvojaku ulogu nastavne i kliničke jedinice, ali i znanstvenoistraživačkog prostora.

Sporazumom s regionalnom i područnom samoupravom o suradnji na pokretanju i razvoju studija logopedije i Logopedskog centra definirano je da će se kroz naredni period poduprijeti daljnji razvoj UniLOG centra, dok je otvaranjem ambulante omogućeno povezivanje sa studijem logopedije, čime se budućim logopedima omogućava educiranje i stjecanje praktičnih vještina, konstantno usavršavanje i napredak struke. Otvaranje logopedskog centra predstavlja i osnovu za buduće otvaranje dodatnih zdravstvenih i srodnih sadržaja u suradnji s lokalnom zajednicom.

3.12. Centar za istraživanje uma i ponašanja

Centar za istraživanje uma i ponašanja (UNIRI CMB) osnovan je u prosincu 2021. godine s glavnim ciljem provođenja laboratorijskih istraživanja ljudskog uma i ponašanja, ostvarivanja kvalitetne znanstvene produkcije, ali i ispunjenja obrazovne

funkcije. Djelatnost Centra, u čijem će se radu angažirati znanstvenici s Filozofskog fakulteta, Fakulteta zdravstvenih studija, Ekonomskog fakulteta i Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, ali i vanjskih institucija (sveučilišta u Zagrebu, Zadru i Beogradu), obuhvaća, između ostalog, provedbu psihologijskih i interdisciplinarnih istraživanja mentalnih procesa i ponašanja te zadovoljavanje nastavnih potreba u kontekstu istraživački usmjerenih oblika studija, posebice doktorskih i diplomskih.

Istraživački rad centra usmjeren je pritom na široki niz tema vezanih uz mentalne procese i ponašanje, koje uključuju istraživanja kognicije, psihofiziologije, neverbalnog ponašanja i individualnih razlika. Eksperimentalna psihologija, kao fokus predviđenih interdisciplinarnih djelatnosti Centra, je ne samo temeljna grana suvremene psihologije koja omogućava provjeru teorija i modela uzroka ljudskog ponašanja, nego i preduvjet za istraživanje osjeta, percepcije, pažnje, psihofiziologije, psihomotorike, pamćenja, učenja, mišljenja, jezika, emocija, ličnosti i socijalne interakcije – a što je u interesu ne samo psihologije nego i drugih disciplina, kao što su biologija ili interdisciplinarne znanosti. Rezultati takvih istraživanja primjenjuju se u razumijevanju širokog raspona pojava u psihologiji, ali i u ekonomiji, zdravstvu, pravu, školstvu, prometu i drugim područjima ljudskog djelovanja. Predviđene znanstvenoistraživačke i obrazovne aktivnosti UNIRI CMB imaju pritom za cilj podizanje eksperimentalnih istraživanja iz područja psihologije i interdisciplinarnih znanosti koje se bave ljudskim ponašanjem na višu, međunarodno prepoznatu, razinu.

3.13. Sveučilišni savjetovališni centar

Sveučilišni savjetovališni centar (SSC [24]) se, od svojeg osnutka 2010. godine, pridružuje ostalim znanstveno-razvojnim centrima riječkog Sveučilišta. Centar je osnovan s ciljem pružanja različitih oblika podrške i pomoći studentima i djelatnicima riječkog Sveučilišta. Sve su usluge centra besplatne za korisnike. Unutar SSC-a djeluju Psihološko savjetovalište, Ured za studente s invaliditetom i Ured za karijere.

Centar ima ključnu ulogu u razvoju, postizanju akademskog uspjeha, povećanju učinkovitosti studiranja i unapređenju kvalitete života, ali i poticanja razvoja vještina upravljanja karijerom, razvojem poduzetničkih kompetencija, povezivanja s potencijalnim poslodavcima te povećanja zapošljivosti i konkurentnosti na tržištu rada. U Centru se nude i edukacijske aktivnosti, poput predavanja, radionica, tribina te psihoedukativnih materijala. I tu je pritom ključna suradnja između lokalne i akademske zajednice pa pojedine aktivnosti SSC-a financijski prate i Grad Rijeka te Primorsko-goranska županija.

Centar je, uz potporu mnogih dionika, pokrenuo i hvalevrijednu manifestaciju „Rijeka psihologije“, koja se svake godine provodi obilježavajući Tjedan psihologi-

je. Održavanje te manifestacije započelo je 2012. godine, te je tijekom devet godina održano ukupno 664 programskih aktivnosti, 425 psihologa sudjelovalo je u provođenju aktivnosti te je zabilježeno skoro 20 tisuća posjetitelja. Važno je istaknuti da manifestacija od samog početka ima humanitarni karakter, te su tako prikupljena sredstva donirana različitim bolničkim odjelima, predškolskim i školskim institucijama te mnogim drugim civilnim organizacijama.

Važnost SSC-a iskazana je posebno tijekom pandemije uzrokovane virusom COVID-19 kada su u Centru studenti, nastavno i nenastavno osoblje pronašli „sigurnu luku" te dobili individualne i grupne psihološke tretmane.

4. Zaključak

Od svojeg osnutka 1973. godine do danas, riječko se Sveučilište razvilo u suvremeno europsko sveučilište koje, uz obavljanje znanstveno-nastavne djelatnosti, radi na prepoznavanju potreba lokalne zajednice i društva, za što je preduvjet uspješna suradnja s drugim nacionalnim i europskim institucijama. Uz realizaciju postojećih suradnji, riječko Sveučilište kontinuirano prati potrebe lokalne zajednice i radi na daljnjem razvoju svojeg interdisciplinarnog znanstvenoistraživačkog i nastavnog portfelja, sukladno čemu se predlaže i osnivanje znanstveno-razvojnih centara Sveučilišta. Društveno odgovoran način rada riječkog Sveučilišta je uvelike prepoznat od strane lokalne samouprave te partnerskih institucija koje se pridružuju u uspostavljanju i aktivnostima sveučilišnih centara, što predstavlja iznimnu podršku u daljnjem razvoju Sveučilišta.

Do danas je tako, kako je gore opširno opisano, ustrojeno trinaest znanstveno-razvojnih centara Sveučilišta u Rijeci, koji se razlikuju, ali i nadopunjuju u svojim područjima djelovanja. Razvoj centara riječkog Sveučilišta je prepoznat i pohvaljen i međunarodno u okviru Erasmus+ projekta „Prema europskom okviru za društveni angažman visokih učilišta" (engl. *Towards a European Framework for Community Engagement in Higher Education* – TEFCE [25]), koji objedinjuje institucije i istraživače iz Nizozemske, Belgije, Irske, Njemačke, Litve i Hrvatske, kojima pomoć pružaju i Europski konzorcij inovativnih sveučilišta (ECIU) i Globalna sveučilišna mreža za inovacije (GUNI).

Strategija Sveučilišta u Rijeci za razdoblje od 2021. do 2025. [4] u svojim prioritetima djelovanja za provedbu strateških politika posebno, stoga, naglašava upravo daljnji rast i razvoj interdisciplinarnih istraživanja, i to posebno uključivanjem znanstvenika sa sastavnica Sveučilišta u aktivan rad sveučilišnih znanstveno-razvojnih centara, kao i kroz pokretanje kolaborativnih projekata uz jačanje interdisciplinarnih znanstveno-razvojnih centara Sveučilišta. Sve to jamči ne samo jačanje ovog već

prokušano učinkovitog modela poticanja interdisciplinarnih aktivnosti i projekata Sveučilišta, nego i daljnji dinamičan razvoj samog Sveučilišta u Rijeci i regionalnog inovacijskog ekosustava u kojem Sveučilište ima središnju ulogu.

Zahvale

Autori se zahvaljuju Moreni Simčić i Nataliji Perković iz Sveučilišnog centra za istraživanje i inovacije Sveučilišta u Rijeci na svesrdnoj pomoći u prikupljanju materijala o djelatnosti znanstveno-razvojnih centara Sveučilišta.

Literatura

[1] Sveučilište u Rijeci, https://uniri.hr/ *Pristupljeno*: 2022-01-15.

[2] Young Universities for the Future of Europe alliance, https://yufe.eu/ *Pristupljeno*: 2022-01-17.

[3] Young European Research Universities, https://www.yerun.eu/ *Pristupljeno*: 2022-01-17.

[4] Europsko sveučilište budućnosti – Strategija Sveučilišta u Rijeci 2021.-2025., https://uniri.hr/wp-content/uploads/2021/04/Strategija_Sveucilista_u_Rijeci_2021.-2025.pdf *Pristupljeno*: 2022-01-17.

[5] United Nations Sustainable Development Goals, https://sdgs.un.org/goals *Pristupljeno*: 2022-01-17.

[6] Politika otvorene znanosti Sveučilišta u Rijeci, https://uniri.hr/znanost-i-istrazivanje/otvorena-znanost/ *Pristupljeno*: 2022-01-18.

[7] Politike različitosti i uključivosti Sveučilišta u Rijeci, https://uniri.hr/o-sveucilistu/razlicitost-i-ukljucivost/ *Pristupljeno*: 2022-01-18.

[8] Statut Sveučilišta u Rijeci, https://uniri.hr/wp-content/uploads/2021/06/Statut-Sveucilista-u-Rijeci-16_lipnja_2021_procisceni-tekst.pdf *Pristupljeno*: 2022-01-18.

[9] Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci, https://uniri.hr/vijesti/razvoj-istrazivacke-infrastrukture-na-kampusu-sveucilista-u-rijeci/ *Pristupljeno*: 2022-01-21.

[10] Jakominić Marot, N.: Strategic Thinking as an Example of Good Governance at the University of Rijeka, *Zbornik 3rd Int. OFEL Conf. Govern., Managm. & Entrep.*, str. 472-89, Dubrovnik (HR), travanj 2015.

[11] Laboratory Equipment Catologue, https://uniri.hr/wp-content/uploads/2019/05/Znanstvena-oprema-RISK.pdf *Pristupljeno:* 2022-01-21.

[12] Vox Academiae, https://uniri.hr/sveuciliste-i-drustvo/vox-academiae/ *Pristupljeno:* 2022-01-19.

[13] Centar za mikro- i nanoznanosti i tehnologije, https://nanori.uniri.hr/hr/ *Pristupljeno:* 2022-01-19.

[14] Centar za napredno računanje i modeliranje, https://cnrm.uniri.hr/hr/ *Pristupljeno:* 2022-01-19.

[15] Međusveučilišni centar izvrsnosti Jean Monnet Opatija https://excellence.uniri.hr/hr/pocetna/ *Pristupljeno:* 2022-01-19.

[16] Centar za napredne studije jugoistočne Europe, https://cas.uniri.hr/ *Pristupljeno:* 2022-01-19.

[17] Centar za industrijsku baštinu, https://cib.uniri.hr/ Pristupljeno: 2022-01-20.

[18] Centar za urbanu tranziciju, arhitekturu i urbanizam, http://deltalab.hr/ *Pristupljeno:* 2022-01-20.

[19] Centar za podršku pametnim i održivim gradovima, https://smart-cities.uniri.hr/ *Pristupljeno:* 2022-01-20.

[20] Centar za logiku i teoriju odlučivanja, https://clto.uniri.hr/ Pristupljeno: 2022-01-20.

[21] Škola i zajednica – Prijedlog kurikuluma građanskog odgoja i obrazovanja u srednjoj školi, https://uniri.hr/wp-content/uploads/2021/11/SiZ-Prijedlog-kurikuluma-A4-2021-11-03-1.pdf *Pristupljeno:* 2022-01-21.

[22] Centar za umjetnu inteligenciju i kibernetičku sigurnost, https://airi.uniri.hr/ *Pristupljeno:* 2022-01-21.

[23] Logopedski centar, https://logo.uniri.hr/logopedski-centar/aktivnosti/ *Pristupljeno:* 2022-01-21.

[24] Sveučilišni savjetovališni centar, https://www.ssc.uniri.hr/hr/ Pristupljeno: 2022-01-21.

[25] TEFCE, https://uniri.hr/kat-vijesti/tefce-hr/ *Pristupljeno:* 2022-01-21.

Centar za istraživanje požara otvorenog prostora Split

Darko Stipaničev[1]

[1] redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB), darko.stipanicev@fesb.hr

Sažetak: *Požari otvorenog prostora, a posebno požari raslinja, su nekontrolirana gorenja koji uzrokuju značajnu gospodarsku štetu i razorno djeluju na okoliš. Rano otkrivanje požara, te brza i odgovarajuća intervencija, od vitalne su važnosti za minimiziranje požarne štete. Požarna sezona 2003. g. bila je jedna od najtežih, posebice u Splitsko-dalmatinskoj županiji. Potaknuti velikim štetama uzrokovanim ovim požarima u jesen 2003.g. na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB) Sveučilišta u Splitu pokrenut je projekt čiji je cilj bio poboljšati prevenciju i zaštitu od požara raslinja primijenim naprednih postupaka informacijsko-komunikacijske tehnologije (ICT) i umjetne inteligencije. Splitsko-dalmatinska županija prepoznala je značaj projekta, pa je dogovorena izrada studije o integralnom modelu zaštite od šumskih požara koja je i dovršena 2004.g. Paralelno s radom na studiji, pokrenuta su i istraživanja na inovativnim sustavima za ranu detekciju požara, modeliranju širenja požara i procjeni požarne opasnosti. Na temelju ostvarenih rezultata, 2010.g. i službeno je osnovan Centar za istraživanje požara otvorenog prostora (CIPOP) u suradnji FESB-a i Splitsko-dalmatinske županije. Tema ovog rada su djelatnosti i rezultati istraživača koji su djelovali i djeluju u okviru Centra.*

Ključne riječi: *požari raslinja, šumski požari, rano otkrivanje požara, umjetna inteligencija, FESB.*

1. Uvod

Požar raslinja je svako nekontrolirano gorenje prirodne vegetacije (trava, grmlje, šumsko drvo, otpali materijal) na otvorenom prostoru. Često se zovu i divlji požari (engl. *Wildfire*). Kada je vegetacijski sloj preciznije poznat, mogu se koristiti specifičniji nazivi poput šumskog požara, požara trave ili požara grmlja. Požari raslinja predstavljaju stalnu prijetnju ekološkim sustavima, infrastrukturi i ljudskim životima. Prema prognozama, požari raslinja, uključujući namjerno paljenje šuma u tropskim područjima, prepolovit će svjetske šume do 2030.g. u odnosu na 2010.g. U Europi

se požarima svake godine uništi do 10 000 km^2 vegetacije, a u Sjevernoj Americi i Rusiji i preko 100 000 km^2. Požari raslinja su odgovorni za otprilike 20% emisije CO_2 u atmosferu [1].

Hrvatska spada u zemlje s visokim rizikom od požara. U ljetnoj sezoni, sedam primorskih županija u Hrvatskoj, uključujući i jadranske otoke, trajno je izloženo od velike do vrlo velike opasnosti od požara raslinja. Razlog tome su meteorološki uvjeti, gusto raspoređene šume crnogorice i veliki broj turista. Prema podacima Hrvatskih šuma [2] od 1992. do 2007. godine u Hrvatskoj je izbio 4.851 šumski požar, a površina požara iznosila je 251 910 ha. Sezone požara 2000. i 2003.g. bile su posebno teške sa 706 i 532 požara, a ukupna šteta uzrokovana šumskim požarima bila je ogromna. Primjerice, 2003.g. samo u Splitsko-dalmatinskoj županiji bilo je 130 šumskih požara, ukupna opožarena površina iznosila je 9700 ha, izravna šteta uzrokovana šumskim požarima (intervencije vatrogasaca i sanacija terena nakon požara) iznosila je 16 miliona €, a neizravna šteta, uzimajući u obzir energetski ekvivalent izgubljene drvene biomase, procijenjen je na 66 miliona € [3,4]. Požari raslinja, te 2003.g. bili su posebno katastrofalni na otocima Splitsko-dalmatinske županije. Primjerice, na otocima Hvaru i Braču izgorjelo je između 1/4 i 1/3 ukupne površine otoka, a otočić Biševo kod Visa je u potpunosti izgorio. Autor ovog rada je, ploveći tim područjem tijekom ljeta 2003.g. i sam svjedočio kataklizmičkim razmjerima tih požara. Slika 1 prikazuje fotografije nekoliko požara iz 2003. na otocima Splitsko-dalmatinske županije koje su tada snimljene.

Slika 1: Veliki požari na otoku Braču i Hvaru posebno teške požarne sezone 2003.g.

Potaknuti velikim štetama uzrokovanim ovim požarima u jesen 2003.g., na *Katedri za modeliranje i inteligentne sustave Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu* pokrenut je projekt, čiji je cilj bio pronaći načine kako bi se napredne informacijsko-komunikacijske tehnologije (ICT) i umjetna inteligencija (područja kojim su se istraživači na Katedri bavili) mogli koristiti za poboljšanje

prevencije i zaštite od požara raslinja. Nakon detaljnog pregleda tema istraživanja i implementacije ICT sustava u zadatcima prevencije i podrške gašenju požara raslinja u drugim zemljama izloženim šumskim požarima, odabrane su tri teme:

- automatsko rano otkrivanje požara raslinja analizom slike video kamera
- predviđanje požarne opasnosti proračunom rizika od požara raslinja i
- simulacija ponašanja i širenja požara nakon njegovog izbijanja.

Splitsko-dalmatinska županija je prepoznala značaj ovih istraživanja, pa je dogovorena suradnja i izrada studije o integralnom modelu zaštite od šumskih požara koja je i dovršena 2004.g. [3]. Ova studija je bila temelj na koju su se nadovezala i ostala istraživanja na inovativnim sustavima za ranu detekciju požara, modeliranju širenja požara i procjeni požarne opasnosti. Na temelju svih ostvarenih rezultata, 2010.g. i službeno je osnovan ***Centar za istraživanje požara otvorenog prostora*** (CIPOP) – http://cipop.fesb.hr u suradnji ***Fakulteta elektrotehnike strojarstva i brodogradnje Split i Splitsko-dalmatinske županije.***

Centar je osnovan kao virtualna organizacija koja je okupljala različite stručnjake sa ciljem:

- multidisciplinarnog znanstvenog istraživanja požara otvorenog prostora, posebno požara raslinja
- transfera tehnologije i znanja vezanog uz požare otvorenog prostora i aktivnosti vezane s njima
- edukacijske i promotivne aktivnosti vezane uz preventivu požare otvorenog prostora i
- poticanje domaće i međunarodne suradnja na znanstveno-istraživačkim i edukacijskim poslovima vezanim uz požare otvorenog prostora.

U radu Centra su sudjelovali i sudjeluju brojni znanstvenici FESB-a iz područja elektrotehnike, računarstva i strojarstva, ali Centar isto tako surađuje i s brojnim istraživačima iz drugih hrvatskih i međunarodnih ustanova na različitim multi-disciplinarnim istraživanjima vezanim uz požare raslinja.

Posebno područje djelovanja Centra su istraživanja koja su se na FESB-u provodila od 2003.g., a to je primjena suvremenih informacijsko - komunikacijskih tehnologija (ICT) i umjetne inteligencije kod požara raslinja. Ova se istraživanja provode u okviru ***holističkog modela zaštite od požara*** razvijenog tijekom rada na studiji o integralnom modelu zaštite od šumskih požara Splitsko-dalmatinske županije kojeg detaljnije opisujemo u 2. poglavlju.

U nastavku, rad opisuje osnovne aktivnosti i rezultate istraživača koji su sudjelovali u radu Centra i to posebno na problematici korištenja suvremenih informacijsko-ko-

munikacijskih tehnologija i umjetne inteligencije u požarnoj preventivi. Bibliografija suradnika Centra vezana uz požare raslinja mogu se pronaći na ***Web portalu Centra*** - http://cipop.fesb.hr u dijelu ***Reference***.

2. Integralni model zaštite od šumskih požara Splitsko – dalmatinske županije

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split i Splitsko-dalmatinska županija dogovorili su u rujnu 2003.g. izradu studije pod naslovom ***„Integralni model zaštite od požara Splitsko – dalmatinske županije“*** s podnaslovom *„Pregled sadašnjeg stanja i prijedlog holističkog pristupa požarima kroz integraciju svih aktivnost i koji se događaju prije požara (preventiva), za vrijeme požara (upravljanje gašenjem požara) i poslije požara (sanacija opožarene površine)“* [3]. Autori studije su bili autor ovog rada (***dr. sc. Darko Stipaničev***) za područje primjene informacijo-komunikacijskih tehnologija (ICT) u pred požarnim, požarnim i post požarnim aktivnostima i ***dr. sc. Branimir Hrastnik*** iz Centra za termoenergetiku i procesnu tehniku Split za područje energetike. Pri izradi studije konzultirano je 13 suradnika sa FESB-a, Splitsko-dalmatinske županije, DHMZ i Hrvatskih šuma. Studija je objavljena 29. lipnja 2004.g. kada je i službeno uveden inovativni ***holistički model zaštite od šumskih požara Splitsko-dalmatinske županije*** koji je integrirao sve požarne aktivnosti kroz prijedlog informacijskog sustava ***PREGAS*** (sustav za upravljanje svim ***PRE****ventivnim aktivnostima,* ***GA****šenjem požara i Sanacijom opožarene površine*). Predloženi holistički model pregledno prikazuje slika 2.

Slika 2: Holistički model protupožarne zaštite Splitsko – dalmatinske županije

Ovaj model je kasnije bio inspiracija za dva velika EU projekta u kojima su suradnici Centra također sudjelovali i sudjeluju:

- *IPA Adriatic HOLISTIC Project* (2014.–2016.) - https://www.adriaholistic.eu
- *H2020 - FirEURisk – Developing a holistic, risk - wise strategy for European wildfire management* (2021.-2025.) - https://fireurisk.eu

o čemu više u nastavku. Nakon detaljne analize požara raslinja na području Splitsko-dalmatinske županije, Studija je predložila niz aktivnosti vezanih uz preventivu koje se odvijaju prije požara, aktivnosti koje se događaju za vrijeme požara i post požarne aktivnosti. Posebno je bio zanimljive prijedlog ekonomski održivih požarnih aktivnosti koje pregledno prikazuje slika 3.

Slika 3: Ekonomski održive požarne aktivnosti

Energetičar ***dr.sc. Branimira Hrastnik*** napravio je i energetsku analizu na primjeru otoka Brača i izračunao da je ***godišnji prirast biomase na otoku Braču dovoljan da zadovolji sve energetske potrebe otoka Brača***, zimi za toplom energijom, ljeti za rashladnom energijom uz kogeneraciju korištenjem sunčeve energije i plinskog postrojenja. To bi zahtijevalo organizaciju efikasnog načina:

- Prorjeđivanje šuma, izvlačenje suhih stabala i grana, uklanjanje grmlja, niske makije i drugih zapaljivih ostataka na šumskom tlu, tako da šuma postane prohodna. Prikupljanje drvne biomase treba postati komplementarna i komercijalno isplativa djelatnost. Drvnu masu treba koristiti u područnim energanama za proizvodnju toplinske, električne i rashladne energije.

- Probijanje prosjeka i putova do svih nepristupačnih (državnih i privatnih) šumskih područja tako da omogućuje lak i brz pristup vatrogasnim vozilima i opremi do požarom ugroženog područja. Stavljanje tih putova u funkciju komercijalnog izletničkog, sportskog, rekreativnog, zdravstvenog i seoskog turizma.
- Planiranje i tretiranje vegetacijske pokrivke sa ciljem stvaranja prirodnih barijera širenju požara, primjerice slabljenjem intenziteta požara na takvim tampon područjima.
- Diversifikacija uporabe zemljišta, za potrebe stočarstva, poljoprivrede i turizma.
- Opremanje većih poljoprivrednih površina za prikupljanje kišnice u kišnoj sezoni i smještaj većih spremnika vode na uzvisinama za potrebe gašenja požara, (kap-po-kap) navodnjavanje poljoprivrednih kultura, napajanje stoke i potrebe seoskog turizma.

Svi ovi prijedlozi, na žalost, još uvijek čekaju svoju primjenu.

Drugi dio Studije koji je bio je posvećen primjeni informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT) u požarnim aktivnostima imao je više „sreće“ prije svega zbog aktivnosti istraživača FESB-a. Definirana su tri strateška područja primjene suvremenih tehnologija u požarnim aktivnostima:

- izgradnja suvremenog protupožarnog motrilačkog i nadzornog sustava temeljenog na 24 satnom video i meteorološkom motrenju
- predviđanje mikrolokacijskog indeksa požarnog rizika i
- modeliranje i simuliranje mogućeg ponašanja i širenja požara.

Prva tema je možda i najvažnija, jer jedini učinkovit način za smanjenje štete uzrokovane požarima raslinja, naravno osim preventivnih mjera, je rano otkrivanje požara nakon čega slijedi brza i odgovarajuća reakcija. Zbog toga smo se na FESB-u u okviru pred aktivnosti i kasnije aktivnosti Centra prvenstveno usmjerili na razvoj suvremenog inteligentnog sustava za rano otkrivanje i nadzor požara raslinja.

3. Inteligentni sustav za rano otkrivanje i nadzor požara raslinja

Rano otkrivanje požara je vrlo važno za smanjenje požarne štete. Poznata je vatrogasna mudrost: *„U prvoj minuti požar gasi čaša vode, u drugoj minuti posuda vode i pomoć druge osobe, a u trećoj minuti vatrogasna postrojba.“*. Stoga se ulažu veliki napori kako bi se požar otkrio što ranije. Rano otkrivanje požara otvorenog prostora tradicionalno se temelji na ljudskom nadzoru šumskih požara, koji se ostvaruje 24-satnim promatranjem od strane ljudskih promatrača koji se nalaze na odabranim

motrilačkim mjestima. U Hrvatskoj protupožarni nadzor uglavnom organiziraju Hrvatske šume – državna firma odgovorna za zaštitu i iskorištavanje šuma u državnom vlasništvu. Ljudski promatrači obično su opremljeni samo standardnim dalekozorima i komunikacijskom opremom, a njihovo promatračko područje je samo područje koje pokriva njihov vid. Noviji, tehnički napredniji pristup ljudskom nadzoru požara raslinja je sustav temeljen na daljinski upravljanim video kamerama kojim upravlja ljudski promatrač iz centra za promatranje. Takav sustav se može koristiti ne samo za rano otkrivanje požara, već i za daljinsku video prisutnost na lokaciji požara (slika 4).

Rano otkrivanje i nadzor požara raslinja temeljen na video kamerama i ljudskim motriteljima ima mnoge prednosti u usporedbi s izravnim ljudskim motrenjem s motrilačkih mjesta. Neke od njih su:

- Može se pokriti šire područje, jer bi jedan ljudski promatrač mogao pratiti nekoliko terenskih jedinica video nadzora.
- Kamere su obično opremljene velikim zumom, pa promatrač množe detaljno pregledati sumnjiva područja.

Slika 4: Razlika između ljudskog nadzora požara raslinja (lijevo) i nadzora požara koji se temelji na video kamerama montiranim na motrilačkim lokacijama (desno)

- Sustavi video nadzora obično imaju i mogućnosti pohrane video signala, barem zadnjih nekoliko dana, a to je vrlo korisno za analizu nakon požara.

Glavno ograničenje ljudskog nadzora temeljenog na videokamerama je što otkrivanje požara u potpunosti ovisi o ljudskom promatranju. Promatrač se nalazi u ugodnijem okruženju, centru za promatranje, ali on (ili ona) mora pažljivo promatrati više monitora računala u isto vrijeme, pa se mogu pojaviti problemi poput umora, dosade i gubitka koncentracije. To je i glavni razlog za uvođenje različitih oblika naprednih sustava za automatsko otkrivanje, nadzor i praćenje požara.

Istraživači FESB-a su se od jeseni 2003.g. aktivno uključili u ova istraživanja i razvoj naprednog sustava za rano otkrivanje i praćenje požara raslinja (engl. *Advanced Wildfire Monitoring and Surveillance System*). Istraživanja su započela kao seminar na poslijediplomskom studiju FESB-a. Tadašnji student ***Damir Krstinić***, a danas izv. prof. na FESB-u i voditelj daljnjeg razvoja detekcijskog dijela sustava, koji je uz to u to vrijeme bio i dobrovoljni vatrogasac na otoku Hvaru, upisao je kolegij Digitalna obrada slike i analize. Rezultati njegovog seminara pod nazivom *„Segmentacija dima požara raslinja"* bili su više nego obećavajući, pa smo se odlučili prijaviti na natječaj za tehnologijski projekt. Projekt pod nazivom *TP 03/0023-09 Sustav za ranu detekciju požara korištenjem kamera u vidljivom dijelu spektra (2004. – 2006.)* je i dobiven. Bespovratna sredstava ovog projekta bila su dovoljna za početak intenzivnijeg istraživanja, ali nedovoljno da se ona dovrše, pa je dio naših istraživanja financiran i iz standardnog MZOŠ projekta *023-0232005-2003 – AgISEco - Agentski orijentirani inteligentni sustav nadzora i zaštite okoliša (2006.-2012.)*, iz vlastitih sredstava, a kasnije i uz podršku Splitsko-dalmatinske županije. Istraživanje je započelo snimanjem video materijala s požarima raslinja u nastajanju. U suradnji s dobrovoljnim vatrogascima na otoku Hvaru kontrolirano je paljena prirodna vegetacija, a požari u nastajanju su snimani s nekoliko lokacija. Snimljeno je dovoljno video materijala na temelju kojega ubrzo razvijena i prva verzija algoritma detekcije. Konačni rezultat je bio sustav ***IPNAS - I**nteligentni **P**rotupožarni **NA**dzorni **S**ustav*, koji je u to vrijeme pripadao posljednjoj generaciji naprednih automatskih sustava za nadzor i praćenje šumskih požara i uključivao puno inovativnih i naprednih značajki.

IPNAS je bio zamišljen kao integriran i inteligentan sustav za nadzor i praćenje požara raslinja temeljen na analizi slika s video kamera. Požari raslinja se otkrivaju u početnoj fazi pomoću postupaka napredne obrade i analize slike s video kamera. Inteligentni algoritmi za prepoznavanje požara automatski analiziraju slike, pokušavajući pronaći vizualne znakove požara raslinja, osobito dima tijekom dana i plamena tijekom noći. Ako se pronađe nešto sumnjivo, generira se pred alarm i vidljivo se označavaju odgovarajući dijelovi slike. Operater pregledava sumnjive dijelove slike i odlučuje da li se stvarno radi o požaru ili ne. U razvoju sustava sudjelovali su, osim autora ovog rada i istraživači s FESB-a ***dr. sc. Damir Krstinić, dr. sc. Ljiljana Šerić*** i ***dr. sc. Maja Štula***, a svi oni su i doktorirali na temama vezanim uz razvoj ovog sustava.

Teorijska pozadina IPNAS-a je inovativna i novouvedena teorija ***mreže požarnih opservera*** koja se temelji na troslojnoj arhitekturi senzorske mreže, formalnoj teoriji percepcije i notacije opservera [7,8,9,10]. Principijelnu shemu požarnog opservera ilustrira slika 5.

Slika 5: Požarni opserver organiziran kao troslojna opserverska mreža

Opserver ima tri horizontalna sloja: podatkovni ili senzorski sloj, informacijski ili servisni sloj i sloj znanja ili aplikacijski sloj, koji su okomito međusobno povezani opserverima niske razine (opserverom podataka) koji radi kao ***proprioceptorska jedinica*** (sintaktička i semantička provjera podataka sa senzora) i dva opservera visoke razine, opserver požarne slike i opserver požarne odluke, koji rade kao ***eksteroceptoreske jedinice*** (donošenje zaključaka na temelju senzornih podataka).

Kako je jedno od područja os kojim smo se na Katedri bavili programiranje za Internet, IPNAS je od samog početka bio zamišljen kao ***web informacijski sustav*** (WIS). To znači da se operater može nalaziti na bilo kojoj lokaciji s širokopojasnom internetskom vezom, a njegovo (ili njezino) korisničko sučelje je standardni web preglednik. Sustav je također projektiran kao primjer *Future Generation Communication Environmenta* (FGCA) gdje su sve aplikacije i usluge usmjerene na korisnike, a *„korisnik"* je u našem slučaju prirodno okruženje, a usluga je zaštita od požara. Za takvo ponašanje tehnološkog sustava u okolišu uveden je pojam ***inteligencija okoliša*** (engl. *EI – Environmental Intelligence*) [7,9].

Tijekom rada na projektu instalirane su tri motrilačke jedinice: na splitskom Marjanu, na Vidovoj gori na Braču i na zgradi FESB-a, na kojima su tijekom projekta testirana i ispravljane početne ideje. Eksperimentalnu motrilačku jedinicu na splitskom Marjanu prikazuje slika 6. Nakon istraživačkog perioda do 2006.g. nastavljen je intenzivni rad na uobličavanju IPNAS-a u radni sustav sposoban efikasno raditi neprekidno 24 sata 7 dana u tjednu (24/7). Put od prototipa do radnog proizvoda koji mora u prirodnim uvjetima raditi 24/7 često je i zahtjevniji od samog razvoja prototipa, zašto što zahtijeva rješavanje brojnih problema, od efikasne i pouzdane komunikacije do zaštite od grmljavinskih izboja.

Slika 6: Motrilačka eksperimentalna jedinica sustava IPNAS na Marjanu Split

Nakon 2006.g. radni sustavi su instalirani u brojnim hrvatskim nacionalnim parkovima i parkovima prirode (NP Paklenica, NP Mljet, PP Telašica, PP Vrana, PP Biokovo), a posebno zahtjevan je bio motrilački sustav Istre s 29 nadzornih kamera i 7 operativnih centara [11]. Više detalja o razvoju i ustroju sustava do 2011.g. u [12]. Slijedeći korak u razvoju dogodio se 2015.g. kroz projekt ***HOLISTIC*** [5] kada su sustavom IPNAS probno pokrivene i sve četiri dalmatinske županije. Pozitivna iskustva projekta HOLISTIC potaknula su i širu primjenu sustava.

Tijekom 2015.g. pokrenut je projekt u suradnji ***Hrvatskih šuma*** kao investitora, ***Odašiljača i veza*** kao nosioca komunikacijske i računalne infrastruktura i ***FESB-a*** kao nosioca programske podrške. Sustav IPNAS je potpuno prerađen u unaprijeđenu verziju, tada radnog naziva ***STRIBOR***, a danas komercijalnog naziva ***OiV Fire Detect AI*** [13]. Sustavno je pokriveno skoro cijelo područje dalmatinskih županija s 86 motrilačkih kamera na 43 motrilačke lokacije, a uspostavljena su i 4 motrilačka županijska centra. Slika 7 prikazuje tipičnu motrilačku jedinicu i izgled operativnog ekrana, a slika 8 izgled motrilačkog centra Split.

Slika 7: Motrilačka jedinica sustava OiV Fire Detect AI i izgled operativnog ekrana

Slika 8: Motrilački centar Split

Sustav se stalno nadograđuje i unapređuje, a integriran je i sa GIS-om [14], te sustavima za procjenu požarnog rizika i simulaciju širenja požara o kojima više govorimo u nastavku.

4. Proračun mikrolokacijskog indeksa požarnog rizika

Drugo istraživačko područje Centra vezano uz preventivu požara raslinja je procjena i proračun mikrolokacijskog indeksa požarnog rizika (engl. *Wildfire Risk Index Estimation*). ***Požarni rizik*** se definira kao *„vjerojatnost izbijanja požara i mogući gubitak koji može požarom nastati“*.

U okviru djelatnosti Centra do sada nam je prije svega bio zanimljiv ovaj prvi dio koji uključuje ***procjenu mogućnosti izbijanja požara*** na temelju:

- klimatoloških i meteoroloških parametara
- karakteristika terena
- karakteristika vegetacije i
- socioloških parametara.

Rizik se iskazuje jednom od pet kategorija (*vrlo mali, mali, umjereni, veliki i vrlo veliki*). Prva varijanta proračuna požarnog rizika za područje Splitsko – dalmatinske županije nazvanog **MIRIP** - Proračun **M**ikrolokacijskog **I**ndeksa **RI**zika od **P**ožara dovršena je 2008.g. u suradnji sa ***Splitsko-dalmatinskom županijom*** i ***Državnim hidrometeorološkim zavodom (DHMZ)*** [15]. Posebnost MIRIP-a je bila u tome što je požarni rizik računat na razini mikrolokacije, pa su karte požarnog rizika puno detaljnije, od do tada uobičajenog načina iskazivanja požarnog rizika na primjer: *„Na području srednje Dalmacije veliki indeks opasnosti od požara raslinja.“*. Primjer karti požarnog rizika za dan malog i velikog rizika na području Splitsko-dalmatinske županije prikazuje slika 9.

Slika 9: Primjer izračuna požarnog rizika za dan malog rizika (lijevo) i velikog rizika

U razvoju ovog sustava sudjelovao je ***dr. sc. Marin Bugarić*** koji je kasnije u okviru svoje doktorske disertacije 2013.g. unaprijedio sustav i razvio inovativniji način proračuna požarnog rizika koji je uključivao statističku korelacijsku analizu i genetske algoritme za određivanje utjecaja pojedinih utjecajnih faktora na požarni rizik.

Novi sustav nazvan ***SWRI*** – ***S****ite-specific* ***W****ildfire* ***R****isk* ***I****ndex* bio je temelj slijedećeg većeg koraka u razvoju kroz projekt ***HOLISTIC*** [5] kada je proračun indeksa požarnog rizika proširen na cijelo područje jadranske regije i nazvan ***AdriaFireRisk***.

Tijekom projekta HOLISTIC sustav je i nadograđen mrežom upozoravajućih panela na požarnu opasnost koji su postavljeni na posebno ugrožene lokacije (slika 10). Cjelokupni projekt panela uključujući i upravljačku jedinicu napravili su istraživači sa FESB-a, suradnici Centra, a glavni projektant je bio ***dr. sc. Toni Jakovčević***.

Slika 10: Upozoravajući panel za požarnu opasnost postavljen na sjevernim vratima Marjana

AdriaFireRisk je također projektiran kao ***web informacijski sustav*** (WIS). Indeks požarne opasnosti se na poslužitelju računa svaka dva sata, a paneli se automatski sinkroniziraju s poslužiteljem. Indeks požarnog rizika se računa na temelju podataka DHMZ-ovog atmosferskog prognostičkog modela ALADIN [16]. U okviru izvrsne suradnje FESB-a i DHMZ napravljen je sustav automatske sinkronizacije poslužitelja, pa su se podaci dobiveni modelom ALADIN automatski dva puta dnevno prebacivali na poslužitelj na kojem je računat AdriaFireRisk. Korisnici su do svih podataka i mapa dolazili standardnim web preglednikom. Dodan je i važan modul za sigurnost vatrogasaca koji je na temelju smjera i brzine vjetra i značajki reljefa, davao procjenu područja na kojem postoji ***mogućnost eruptivnog širenja požara***.

Slijedeće veliko unaprjeđivanje sustava za procjenu požarnog rizika AdriaFireRisk je upravo u tijeku kroz EU projekt *H2020 - FirEURisk – Developing a holistic, risk - wise strategy for European wildfire management (2021.-2025.)* [6]. FESB je jedan od partnera ovog velikog projekta koji na inovativni način pristupa procjeni rizika od požara. Jedno od značajki koje bi se trebalo dodati novoj verziji sustava je i uključivanje drugog dijela iz definicije požarnog rizika *„procjenu mogućeg gubitka koji bi požar mogao uzrokovati"*. Pri tome će se koristiti i treći sustav koji je razvijen u okviru djelatnosti Centra, a to je sustav za modeliranje i simuliranje širenja požara raslinja. On je također web informacijski sustav koji radi na istom poslužitelju kao i sustav za proračun indeksa požarnog rizika o kojem detaljnije govorimo u nastavku.

5. Modeliranje i simulacija ponašanja i širenja požara raslinja

Modeliranje širenja požara (engl. *Fire Spread Modelling*) samo je jedan od dijelova kompleksnijeg ***modela ponašanja požara*** (engl. *Fire Behavior Modelling*). Modeliranje ponašanja požara osim modela širenja uključuje i ***modeliranje zapaljenja požara*** (engl. *Fire Ignition Modelling*) i ***modeliranje intenziteta požara*** (engl. *Fire Intensity Modelling*). Modeliranje ponašanja požara je dosta kompleksnije i uključuje interakciju požara s dinamikom atmosfere te modelira primjerice i problem nastajanja i širenja dima. Međutim po praktičnim iskustvima Europskih projekata koji su se proteklih 10 godina bavili ovom problematikom za operativni rad vezan s požarnom preventivom i upravljanjem gašenjem požara dovoljno je modeliranje širenja požara.

Prva istraživanja vezana uz modeliranje širenja požara raslinja, također su počela 2003.g., ali su se posebno intenzivirala 2007. i 2008.g. tijekom rada na projektu za Splitsko-dalmatinsku županiju [17]. Konačni rezultat ovih istraživanja je bio prototip simulatora širenja požara otvorenog prostora radno nazvan ***MOPP*** – ***MO****deliranje* ***P****ropagacije* ***P****ožara*. Njegove osnovne značajke sustava su bile:

- MOPP je također projektiran kao web informacijski sustav tako da je jedino sučelje korisnika standardni Web preglednik.
- MOOP je osmišljen kao „*simulator s jednim klikom*" kako bi krajnjem korisniku bio što jednostavniji za korištenje. Zadatak korisnika je samo klikom na karti označiti mjesto gdje je požar počeo, a svi parametri su se automatski podizali s odgovarajućih poslužitelja i iz odgovarajućih baza, uključujući i meteorološke podatke sa poslužitelja DHMZ-a.
- MOOP se temeljio na provjerenom semi-empirijskom Rothemelovom modelu požara, a kod simulacije širenja su korišteni celularni automati. Modeli su validiran na nekoliko velikih požara na području Dalmacije.

Rezultati prvih primjena simulatora su bili zadovoljavajući, a je korišten i kod analize velike vatrogasne nesreće na otoku Kornatu 2007.g., Na razvoju sustava je radio

dr. sc. Marin Bugarić, a slijedeća veća nadogradnja sustava, sada već u okviru Centra, bila je također kroz projekt HOLISTIC [5]. Simulator koji se sada zvao ***AdriaFirePropagator*** je proširen na cijelo područje jadranske regije, a dobio je novo suvremenije sučelje, ali i brojne dodatne opcije kao što su mogućnost korištenja različitih vegetacijskih modela vezanih uz gorenje, definiranje mjesta izbijanja požara linijom ili poligonom, dodavanje požarnih barijera, mogućnost unošenja vlastitih meteoroloških parametara itd. Slika 11 prikazuje izgled korisničkog sučelja AdriaFirePropagatora s jednom tipičnom simulacijom.

Slijedeći korak u razvoju simulatora širenja požara je bilo njegovo unapređenje i integracija u naš napredni sustav za rano otkrivanje i praćenje požara raslinja ***OiV Fire Detect AI*** [13]. Slika 12 prikazuje način integracije simulatora [10]. Integracija je na više razina. Korisnik na slici klikne na mjesto gdje je otkrio požar u nastajanju. Kako je, korištenjem postupaka pojačane stvarnosti (engl. *AR - Augmented Reality*), slika povezana s GIS sustavom, na karti se prikaže odabrana lokacija. Korisnik sada na može pokrenuti simulator, te za trenutne meteorološke podatke dobiti moguće širenje požara tijekom nekoliko slijedećih sati. Na unapređenju simulatoru se i dalje radi, a koristiti će i kao važan alat tijekom *H2020 FirEURisk* [6] projekta.

Slika 11: Korisničko sučelje AdriaFirePropagator-a

Slika 12: Integracija simulatora širenja požara u OiV Fire Detect AI [10]

6. Zaključak

Rad opisuje djelatnosti i rezultate suradnika *Centra za istraživanje požara otvorenog prostora* koji je osnovan 2010.g. u suradnji *Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu* i *Splitsko-dalmatinske županije*. Centar je osmišljen kao virtualna ustanova koja okuplja istraživače koji rade na primjenu informacijsko-komunikacijskih tehnologija i umjetne inteligencije u različitim aktivnostima vezanim uz požare raslinja (pred požarne, požarne i post požarne aktivnosti). Ovim se temama istraživači s FESB-a bave još od 2003.g., a vezano s požarima raslinja surađivali su i surađuju s brojnim domaćim i međunarodnim stručnjacima. Jedan od značajnijih projekta Centra je inteligentni sustav za rano otkrivanje i nadzor požara raslinja *OiV Fire Detect AI* kojim uspješno radi već nekoliko godina i pokriva područje četiri dalmatinske županije, te integrira sustave za procjenu indeksa požarnog rizika i simulaciju mogućeg širenja požara.

Literatura

[1] Kührt E.; Knollenberg J.; Mertens V.: An automatic early warning system for forest fires, *Annals of Burns and Fire Disasters*, vol. XIV, n. 3, Sept. 2001

[2] Žaja D.: The role of Croatian Forests d.o.o. in fightings again wildfires, *International Workshop – new Methodes and Approaches to Wildfires Prevention and Protection*, Dec, 8-11 2008., Makarska

[3] Stipaničev D.; Hrasnik B.: *Integralni model zaštite od šumskih požara na području Splitsko-dalmatinske županije*, Studija za Splitsko-dalmatinsku županiju, FESB Split, 2004. (231 stranice)

[4] Stipaničev D.; Hrastnik B.; Vujčić R.: Holistic Approach to Forest Fire Protection in Split and Dalmatia County of Croatia, *Wildfire 2007 Int.Conference*, Sevilla, Spain, May 2007.

[5] *IPA Adriatic HOLISTIC Project* (IPA_ADRIATIC_0001_HOLISTIC/SER/6-2014 (2014. – 2016.) - https://www.adriaholistic.eu

[6] *H2020 - FirEURisk – Developing a holistic, risk - wise strategy for European wildfire Management* – (2021.– 2025.) - https://fireurisk.eu

[7] Stipaničev D.; Bodrožić Lj.; Štula M.: Environmental Intelligence based on Advanced Sensor Networks, *Proc.of 14th Int.Conference on Systems, Signals and Image Processing*, Maribor, Slovenija, 27-30.6.2007

[8] Stipaničev D.; Bodrožić Lj.; Štula M.: Data Fusion in Observer Networks, *Proc. of Second (IEEE) International Workshop on Information Fusion and Dissemination in Wireless Sensor Networks*. Pisa, Italia, 08.10.2007, 1-6

[9] Šerić Lj.; Stipaničev D.; Štula M. Observer network and forest fire detection, *Information Fusion*, DOI: 10.1016/j.inffus.2009.12.003, on-line from Dec 28, 2009.

[10] Šerić, Ljiljana; Ivanda, Antonia; Bugarić, Marin; Braović, Maja, Semantic Conceptual Framework for Environmental Monitoring and Surveillance—A Case Study on Forest Fire Video Monitoring and Surveillance, *Electronics* 11(2):275, Jan. 2022

[11] Stipaničev D, Štula M, Krstinić D, Šerić Lj, Jakovčević T, Bugarić M (2010) Advanced automatic wildfire surveillance and monitoring network, *VI International Conference on Forest Fire Research*, Coimbra, Porugal, Nov. 15 – 18, 2010, 053, 15 pages

[12] Stipaničev, D.: Intelligent Forest Fire Monitoring System – from idea to realization, *Annual of the Croatian Academy of Engineering 2010/2011* (2012.); 58-73

[13] *OiV Fire Detect AI* - https://oiv.hr/hr/usluge-i-platforme/brosure/usluge/oiv-fire-detect-ai/

[14] Stipaničev,D.; Bugarić,M.; Šerić,Lj.; Jakovčević,T.: Web GIS Technologies in Advanced Cloud Computing Based Wildfire Monitoring System, *5th International Wildland Fire Conference WILDFIRE 2011*, Sun City, South Africa, May 9 –13, 2011, paper No. 68

[15] Projekt *„Integralni model protupožarne zaštite Splitsko – dalmatinske županije III dio – Razrada mikrolokacijskog indeksa rizika požara raslinja (MIRIP) za područje Splitsko – dalmatinske županije"*, FESB za Splitsko – dalmatinsku županiju, (2007.- 2008.)

[16] *ALADIN (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational)* - https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=prognosticki_modeli&param=aladin

[17] Projekt *„Integralni model protupožarne zaštite Splitsko – dalmatinske županije II dio - Radni prototip sustava za modeliranje širenja požara raslinja (MOP) za područje Splitsko-dalmatinske županije"*, FESB za Splitsko – dalmatinsku županiju, (2007.- 2008.)

CRTA - Regionalni centar izvrsnosti za robotske tehnologije

Bojan Jerbić[1]

[1] Zamjenik tajnika Odjela sustava i kibernetike

Sažetak: *CRTA je Regionalni centar izvrsnosti za robotske tehnologije Fakulteta strojarstva brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Centar integrira laboratorije za autonomne sustave, računalnu inteligenciju i medicinsku robotiku, kao i praktikume za praktični rad studenata. Djelatnosti centra su usmjerene prema istraživanju i razvoju naprednih robotskih primjena, poglavito u industriji i medicini, ali i drugim područjima ljudske djelatnosti gdje tradicionalnu automatizaciju i ljudski rad trebaju zamijeniti autonomni i inteligentni sustavi..*

Ključne riječi: *robotika, umjetna inteligencija, računalni vid, medicina, industrija, mobilna robotika, humanoidna robotika, biomimetički sustavi.*

1. Uvod

Regionalni centar izvrsnosti za robotske tehnologije - CRTA je referentni centar za istraživačke, razvojne i obrazovne aktivnosti u području robotike i umjetne inteligencije Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Centar je financiran bespovratnim sredstvima iz fonda EU (Operativni program „Konkurentnost i kohezija" 2014.-2020.) u ukupnom iznosu od 36,7 milijuna kuna.

Slika 1: CRTA

CRTA je prvi centar izvrsnosti za robotiku u Hrvatskoj, a objedinjuje laboratorije za autonomne sustave, računalnu inteligenciju i medicinsku robotiku. Po svojem sadržaju i naprednoj opremi predstavlja jedinstvenu znanstveno-tehnološku infrastrukturu u europskim razmjerima te osigurava snažan poticaj razvojnim i obrazovnim aktivnostima u RH.

Djelatnosti centra su usmjerene prema istraživanju i razvoju naprednih robotskih primjena, poglavito u industriji i medicini, ali i drugim područjima ljudske djelatnosti gdje tradicionalnu automatizaciju i ljudski rad trebaju zamijeniti autonomni i inteligentni sustavi. U CRTI se kontinuirano odvija više istraživačkih i razvojnih projekata financiranih iz EU i nacionalnih fondova. Paralelno se radi na bojnim ugovornim istraživanjima s vodećim hrvatskim i međunarodnim tehnološkim tvrtkama. Takav oblik suradnje osigurava kvalitetan prijenos znanja i razvoj novih tehnoloških rješenja prilagođenih konkretnim potrebama industrijskih partnera. Istraživački projekti i suradnja s gospodarstvom ujedno su glavni oblici financiranja laboratorija, njezinih istraživača i doktoranada [1], [2] .

CRTA je otvorena prema javnosti te redovito organizira različite prezentacije i obilaske laboratorija s ciljem promoviranja znanosti i tehnologije, a kako bi jednako oni mladi i oni stariji bolje razumjeli digitalne i kulturološke transformacije koje živimo.

2. Laboratorij za autonomne sustave

Laboratorij za autonomne sustave (slika 2) integrira različite robotske platforme, automatske transportne sustave i brojnu prateću senzorsku, upravljačku i mehatroničku opremu. Namijenjen je istraživanju naprednih robotskih primjena, prvenstveno kolaborativnih robotskih sustava koji su sposobni dijeliti radnu okolinu s ljudima i zajedno s njima obavljati zadane poslove (Slika 3).

Slika 2: Laboratorij za autonomne sustave

Takvi robotski sustavi moraju biti opremljeni različitim senzorskim sustavima, odnosno senzorima sile, dodira i vizijskim sustavima, kako bi bili u stanju percipirati promjenjivu i dinamičnu radnu okolinu koju dijele s čovjekom. Prvenstveni je zadatak razviti upravljačke robotske programe putem kojih je moguće ostvariti suradnju s ljudima i u isto vrijeme garantirati njihovu sigurnost. Uz pomoć metoda umjetne inteligencije takve je robote moguće programirati da ”razumiju” ljudski rad. Cilj je da roboti samostalno ili u suradnji s čovjekom oblikuju svoje ponašanje kroz specifičnu interakciju. Na taj način roboti 4. industrijske revolucije ne istiskuju ljude iz radnog procesa već se ljudi i roboti međusobno nadopunjavaju. Zato u Laboratoriju za autonomne sustave istražujemo i razvijamo metode interakcije ljudi i robota koja može biti primjenjiva jednako u industriji kao i uslužnim djelatnostima.

Slika 3: Kolaborativni robotski sustavi

Pored kolaborativnih robota u Laboratoriju za autonomne sustave važno mjesto zauzimaju tzv. delta roboti, odnosno roboti paralelne kinematike, koji omogućavaju postizanje velike brzine rukovanja (Slika 4). Koristimo ih za istraživanje robotske primjene u dinamičnoj radnoj okolini gdje se na predmete rada djeluje bez zaustavljanja i pozicioniranja. Takvi sustavi su izrazito efikasni i mogu značajno unaprijediti proizvodnost robotiziranih linija. Najveći izazovi koji se pri tome pojavljuju jesu brza vizualna identifikacija predmeta rada, njegovog položaja i brzine, kao i sinkronizacija robota s kretanjem predmeta uz osiguranje visoke točnosti rukovanja.

Slika 4: ”Delta” roboti

Trenutno se u Laboratoriju za autonomne sustave radi na više istraživačkih i razvojnih projekata, od kojih su mnogi povezani s partnerima iz industrije.

3. Laboratorij za računalnu inteligenciju

Laboratorij za računalnu inteligenciju (slika 5) opremljen je humanoidnim robotima, antropomatskim i biomimetičkim sustavima koje koristimo za istraživanje i razvoj motoričke inteligencije (Slika 6). Motoričku inteligenciju ljudi često koriste nesvjesno, a usmjerena je na upravljanje vrlo složenom mehanikom ljudskog tijela pri svakodnevnom kretanju ili obavljanju poslova. Njezinu kompleksnost najbolje ilustrira činjenica da čovjek svoju fizičku spretnost (eng. ”dexterity”) uči godinama od rođenja.

Slika 5: Laboratorij za računalnu inteligenciju

Zato u Laboratoriju za računalnu inteligenciju istražujemo kako takvu vrstu inteligencije implementirati za upravljanje složenim antropomatskim robotskim sustavima, odnosno tehničkim sustavima koji oponašaju mehaniku dijelova ljudskog tijela. Npr. za upravljanje robotskom šakom, slične kompleksnosti kao ljudska (s dvadesetak stupnjeva slobode gibanja), potrebno je osmisliti složene metode učenja putem kojih robot uči djelovati promatranjem i analizom ljudskog rada ili pak samostalno istražujući i ocjenjujući vlastite pokušaje pri izvršavanju specifičnih zadaća (Slika 7).

Slika 6: Humanoidni robot RUDI

Slika 7: Antropomatski robotski sustavi

Važan segment Laboratorija za računalnu inteligenciju čine istraživački timovi koji se bave mobilnim robotskim sustavima. Tu se radi na brojnim problemima od mehaničkog oblikovanja, inteligentne navigacije do vizualnog razumijevanja prostora u realnom vremenu. Trenutno su u fokusu razvoja mobilna platforma za naš neurokirurški robot RONNA [3] i mobilni robot za kretanje po vertikalnim površinama za inspekciju građevinskih konstrukcija [4].

4. Laboratorij za medicinsku robotiku

Laboratorij za medicinsku robotiku čini moderna kirurška dvorana (Slika 8) koja vjerno simulira prave kliničke uvjete. U takvim vrhunskim laboratorijskim uvjetima odvija se razvoj i pretklinička ispitivanja naših kirurških robotskih sustava na čijem razvoju Fakultet strojarstva i brodogradnje radi zajedno s timom iz Kliničke bolnice Dubrava od 2009. godine. Trenutno se u Laboratoriju za medicinsku robotiku razvija nova generacija neurokirurškog robota RONNA (RObotic NeuroNAvigation) koja će biti mobilna, interaktivna i sposobna samostalno izvoditi osjetljive invazivne neurokirurške zahvate.

Slika 8: Laboratorij za medicinsku robotiku

Istraživanja su ovdje usmjerena na razvoj specifičnih robotskih upravljačkih modela za samostalno izvođenje neurokirurških operacija što uključuje razvoj kliničkog softvera za planiranje operacije, specifične vizijske sustave za prostornu registraciju i inteligentne robotske neurokirurške instrumente. Glavni ciljevi su postizanje visoke točnosti prostorne stereotaktičke navigacije, pouzdanost i jednostavnost primjene robotskog sustava.

5. Praktikumi

CRTA ima dva praktikuma koji su opremljeni vrhunskim mehatroničkim komponentama, električnim i pneumatskim linearnim i revolutnim aktuatorima, senzorima i najmodernijim upravljačkim sklopovima industrijskog standarda (Slika 9). U praktikumima studenti imaju priliku fizički realizirati svoje mehatroničke projekte o kojima uče na predavanjima, potom ih programirati i testirati (Slika 10). Pri tome mogu iskusiti sve praktične probleme te ubrzano usvajati nova kompetitivna znanja nužna za uspješan rad u struci nakon diplomiranja.

Slika 9: Praktikum za programiranje automata i mehatroniku

Slika 10: Praktikum za programiranje automata i mehatroniku troniku

6. Vizualni identitet

Osim provođenja naprednih istraživanja i ostvarivanja vrhunskih obrazovnih uvjeta, CRTA ima za cilj javno promovirati znanost i moderne tehnologije, prvenstveno robotiku i umjetnu inteligenciju. Zato je posebna pažnja posvećena vizualnom identitetu centra u čemu nam je pomogao vodeći hrvatski i međunarodno priznat dizajnerski studio Bruketa&Žinić&Gray. Ideja je bila oblikovati jednostavan logotip kojeg prati simbolički vizual nastao suradnjom dizajnera i umjetne inteligencije, kao svojevrsni oblik ”interspecies collaboration” [5]. Stoga smo odlučili jednog od naših robota naučiti pisati riječ ”CRTA”. Slova su kreirana korištenjem miješanog Gaussovog modela i neuronske mreže te kombiniranjem krivulja koje generira naš robotski sustav RONNA prilikom izvođenja neurokirurških operacija. Na slici 11 prikazan je pojednostavljeni proces evolucije vizualnog identiteta.

Slika 11: Evolucija vizualnog identiteta CRTE

Kako CRTA utjelovljuje najmodernije mjesto za istraživanje robotike i umjetne inteligencije, ovakav pristup naglašava važnost suradnje čovjeka i robota koja je u srži Regionalnog centra izvrsnosti za robotske tehnologije, ilustrirajući potencijal recipročnog i prijateljskog odnosa koji bi ljudi mogli imati s tehnologijom.

Konačni rezultat primjene dobivenog vizualnog identiteta prikazan na slici 12. Za projekt vizualnog identiteta CRTE studio Bruketa&Žinić&Gray nagrađeni su prestižnom nagradom ”Red Dot” (https://www.red-dot.org/project/crta-54422, https://bruketa-zinic.com/hr/2021/02/04/crta-vizualni-identitet-nastao-uz-pomoc-umjetne-inteligencije/).

Slika 12: Primjena

Literatura

[1] Šuligoj, F.: Disertacija: *Spatial patient registration in robotic neurosurgery*, https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A5822/datastream/PDF/view, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2018.

[2] Vidaković, J.: Disertacija: *Model of robot task learning based on human-robot interaction*, https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A6581/datastream/PDF/view, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2020.

[3] Jerbić, B., Nikolić, G., Chudy, D., Švaco, M. & Šekoranja, B.: Robotic application in neurosurgery using intelligent visual and haptic interaction. International journal of simulation modelling, 14 (1), 71-84 doi:10.2507/IJSIMM14(1)7.290. (2015).

[4] Tešić, K., Božić, M., Švaco, M., Baričević, A., Jerbić, B. & Serdar, M.: Prototyping of a Wall-climbing Robot for the Inspection of Concrete Bridges. U: Radonjanin, V., Vukobratović, V. & Lukić, I. (ur.) 15th International Scientific Conference iNDiS Planning, Design, Construction and Building Renewal Proceedings. Novi Sad, str. 347-352 (2021).

[5] Jerbić, B.; Švaco, M.; Šuligoj, F.; Šekoranja, B.; Vidaković, J.; Turković, M.; Lekić, M.; Pavlek, B.; Bolfan, B.; Bruketa, D.; Borošić, D.; Bušić, B.: *Interspecies Collaboration in the Design of Visual Identity: A Case Study, arXiv preprint arXiv:2201.10393* (2022).

Uloga inovacijskog centra Nikola Tesla u unaprjeđenju primijenjenog istraživanja i razvoja tehnologija

Professor Emeritus Nedjeljko Perić

Redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, nedjeljko.peric@icent.hr

Sažetak: *Krucijalno je pitanje kako reindustrijalizirati Hrvatsku, u smislu nacionalne proizvodnje, na profitabilan i ekološki prihvatljiv način. Hrvatska ima priliku iskoračiti u dobrom smjeru – u smjeru razvoja hrvatske pametne industrije. Pametne industrije, zasnovane na suvremenim tehnologijama i novim poslovnim modelima, definitivno su smjer kojim moramo ići. Preduvjet za pametne industrije je izgradnja znanstveno-tehnološko-inovacijskog ekosustava koji umrežava na sustavan način znanost i tehnologije te čitav niz čimbenika iz gospodarstva i javnih institucija. U fokusu pametnih industrija su zelene i digitalne tehnologije kojima se omogućavaju željene transformacije gospodarstva i društva. Treba investirati u taj ekosustav za što je nadležna i odgovorna država. Država treba svojim mjerama pospješivati stvaranje, rasprostiranje i primjenu novih i ekonomski iskoristivih znanja i tehnologija te poduzimati transformativne državne investicije, koje se temelje na politikama s misijom i vizijom, sveobuhvatno promatrajući cijeli inovacijski lanac, od temeljnih do primijenjenih istraživanja, komercijalizacije i početnog financiranja samih kompanija. Važnu ulogu u tim transformativnim procesima imaju organizacije za primijenjena istraživanja i razvoj tehnologija koje predstavljaju „most" između akademske/istraživačke zajednice i gospodarstva. U tom kontekstu, Inovacijski centar Nikola Tesla (ICENT) ima strateški značaj za tehnološki razvoj hrvatskog gospodarstva.*

Ključne riječi: *gospodarstvo, infrastrukture, inovacije, istraživanje, tehnologije*

1. Uvod

Živimo u vremenu brzih promjena i nepredvidivosti – fizika današnjeg svijeta dramatično se usložnjava. Ovovremena i neizvjesna korona pandemija izazvala je mnoge

bifurkacijske procese čije učinke i utjecaje na razvoj globalne civilizacije tek možemo procjenjivati. Mnoga pitanja današnjice su u nastajanju, a treba na njih odgovarati. U kojoj mjeri i na koji način suvremene i nadolazeće tehnologije mogu u tome pomoći? Je li demokracija, u globalnom kontekstu, kreirana po današnjim normama demokracije progresivna i održiva? Posebno je važno pitanje kako se male ekonomije, poput hrvatske, mogu održati i razvijati, i povezano s tim – kakva je vizija razvoja Hrvatske kratkoročno, ali i dugoročno u primjereno dugom vremenu (npr. do 2050.), u uvjetima globalne složenosti, nestabilnosti i volatilnosti? Cinično je pitanje može li Hrvatska opstojati bez korupcije i korupcijsko-ortačkih interesnih skupina; ovo se pitanje nerijetko čuje. Korupcija nije uzrok nego posljedica našeg nedovoljno uređenog društveno-političkog i ekonomskog sustava. Ona se može iskorjenjivati procesom sveobuhvatnih promjena čemu u značajnoj mjeri mogu snažno pomoći suvremene tehnologije, posebice digitalne, koje omogućuju visoku razinu transparentnosti i učinkovitosti. Ključna je spremnost na promjene koje u kontinuiranom procesu dovode do općeg društvenog i gospodarskog napretka. A ne biti spreman na promjene, pitanje je odgovornosti. Treba energično i hrabro pristupiti promjenama. U kontekstu globalne korona pandemije i postkorona razvoja gospodarstva, Hrvatska se sučeljava s izazovom ubrzane dugoročnije transformacije svoga gospodarstva. Korona pandemija veliki je test spremnosti za novo digitalno doba. Ona je svojevrsni okidač. Korona pandemija nije generirala uzroke i višedekadne slabosti našeg društva i gospodarstva; samo ih je učinila vidljivijima. Platformska ekonomija“ zasnovana na interoperabilnim digitalnim platformama prilika je koju se ne smije propustiti. A za to je potrebno ulagati u razvoj tehnologija kao temelja za inovativne konkurentne proizvode i usluge, a sve zasnovano na ispravnom pogledu, ispravnoj namjeri i ispravnom djelovanju. Tu nema mjesta političkom voluntarizmu – tu je nužna meritokracija.

Trebamo izgrađivati transformacijske sposobnosti za gospodarstvo i društvo, uvažavajući potrebu očuvanja prirode i prilagodbe klimatskim promjenama u stalno promjenljivom i nepredvidivom svijetu. Svijet je već zakoračio u značajne transformacije u pogledu načina na koji se proizvode proizvodi i isporučuju usluge zahvaljujući digitalizaciji proizvodnih procesa i novih povezanih lanaca opskrbe te sustava zajedničkog stvaranja. Vrijeme u kojem živimo opterećeno je globalnim šokovima bez presedana – pandemijom koronavirusa. Ali, postoje stalno tinjajući i drugi svjetski šokovi koji izazivaju krize, kao što je primjerice američko-kineski trgovinski rat. Svaki ekonomski šok ostavlja značajne posljedice. Na primjer, pandemija koronavirusa uzrokuje „zaključavanja“, mijenjajući naše potrošačke i proizvodne navike. Ta će se zaključavanja vremenom i postupno ublažavati, ali će dugoročno utjecati na oblikovanje svijeta u kojem živimo, svijeta na čije će oblikovanje značajno utjecati buduće klimatske promjene s posljedicama narušavanja biološke raznolikosti. To bi moglo izazvati nove buduće šokove te je stoga nužno, globalno gledajući, usredotočenje na aspekte održivosti, robusnosti, sigurnosti i otpornosti. Aktualnu Četvrtu industrijsku revoluciju treba nadograditi/redizajnirati komponentama antifragilnosti

[1], tj. svojstvima sustava kojima se napredak temelji na anticipaciji stresa, šokova, volatilnosti, pogrešaka, napada ili nekih drugih nepoželjnih pojava.

Na hrvatsko društvo i gospodarstvo, na svom razvojnom putu, mogu ozbiljno utjecati globalni, ali i lokalni šokovi i njihove krizne posljedice. Kao zemlja s ograničenim potencijalima Hrvatska treba imati jasnu agendu za svoj budući opstanak. Hrvatska treba riješiti ključno pitanje – kako reindustrijalizirati Hrvatsku, u smislu nacionalne proizvodnje, na profitabilan i ekološki prihvatljiv način? Hrvatska ima priliku iskoračiti u dobrom smjeru – u smjeru razvoja hrvatske pametne industrije (*Croatian Smart Industry*) [2]. Nakon donošenja Nacionalne razvojne strategije 2030. pred nama je donošenje Strategije pametne specijalizacije, sektorskih strategija, nacionalnih planova i planova razvoja jedinica lokalne samouprave, sve usklađeno s odgovarajućim smjernicama EU. U tim dokumentima "pametne industrije" trebale bi imati svoje istaknuto mjesto.

Pametne industrije, koje se zasnivaju na suvremenim tehnologijama i novim poslovnim modelima, definitivno su smjer kojim moramo ići. Tehnologije i poslovni modeli čine okosnicu tehnološko-inovacijskih ekosustava i strukturu inkorporiranu u pametnim industrijama.

2. Suvremene tehnologije – osnova za gospodarski rast i razvoj društva

Temeljne tehnologije na kojima se razvija aktualna Četvrta industrijska revolucija su [3, 4]:

- Napredne proizvodne tehnologije
- Napredni materijali
- Umjetna inteligencija (AI)
- Proširena i virtualna stvarnost
- Veliki skupovi podataka (Big Data)
- Tehnologija blokovskih lanaca(Blockchain)
- Računarstvo u oblaku
- Povezivost
- Industrijska biotehnologija
- Internet stvari (IoT)
- Mikro i nano-elektronika
- Mobilnost
- Nanotehnologija

- Fotonika
- Robotika
- Sigurnost (kibernetička sigurnost)

Većina navedenih tehnologija po svojim su obilježjima digitalne tehnologije. Iz slike 1. vidljiva je horizontalna difuzija navedenih tehnologija u raznim industrijama na EU razini. Tehnologije „opće namjene“ kao što su povezivost, sigurnost, javni oblak, mobilna rješenja, veliki skupovi podataka i analitika, Internetom omogućena mobilna rješenja i industrijske digitalne platforme potrebne su za sve industrije te se u tom smislu i usvajaju. One predstavljaju neophodni tehnološki portfelj, ali ne i dovoljni - za digitalnu transformaciju proizvodnog sektora. Najrelevantnije napredne tehnologije za digitalizaciju proizvodnog sektora su robotika, umjetna inteligencija (AI), Internet stvari (IoT) i tehnologija blokovskih lanaca (Blockchain).

Većina navedenih tehnologija ni izdaleka još nije došla do faze visoke zrelosti, odnosno široke potencijalne tržišne primjene. Stoga ih treba, kao i one nenavedene, ili nadolazeće, promatrati kroz obzor daljnjeg razvoja koji karakterizira visoka brzina evolucije i signifikantni disruptivni potencijal. To će implicirati da će tehnologije konvergirati prema ekonomiji podataka (digitalnoj ekonomiji) s podatkovnim prostorima za njihovu pouzdanu razmjenu i ponovnu upotrebu (*reuse*).

Slika 1: Usvajanje naprednih tehnologija u industriji [3, 4]

Polazište za osmišljavanje i provedbu digitalne ekonomije i općenito digitalne transformacije, kako u globalnom smislu, tako i na nacionalnim razinama, su napredne

informacijske i komunikacijske tehnologije (ICT). ICT sektor ključan je pokretač inovacija u raznim gospodarskim granama pa je stoga i razumno da su izdvajanja u svijetu za istraživanje i razvoj inovacija u ICT-u s rastućim trendom. Rezultat toga je da se preko jedne trećine patentnih aplikacija odnosi na šire područje ICT-a. Nužna pretpostavka rasta ICT tržišta jest razvoj i primjena brze komunikacijske infrastrukture i komunikacijskih usluga.

Inovacije koje se temelje na podacima, novi poslovni modeli i digitalne aplikacije mijenjaju uvjete za provedbu znanstvenog rada, rada vlada, gradova i sektora poput zdravstva i poljoprivrede. Učinci digitalne transformacije manifestiraju se u nestajanju nekih radnih mjesta, ali i u stvaranju novih u različitim sektorima, pojavi novih oblika rada i mijenjanju načina trgovine, posebno u sektoru usluga [5]. Stoga, mnoge vlade prilagođuju zakone o radu i trgovinske sporazume mogućnostima koje pruža ICT.

Digitalna transformacija i učinkovita upotreba ICT-a u životu i za rad zahtijeva više specijalističkih i generičkih ICT vještina, nadopunjenih boljim temeljnim vještinama.

U sklopu digitalne transformacije važno je pitanje digitalna sigurnost i privatnost što u izvjesnoj mjeri može usporiti primjenu ICT-a. S rastućim intenzitetom korištenja ICT-a, tvrtke i pojedinci suočavaju se s većim digitalnim sigurnosnim i privatnim rizicima. Dok velika poduzeća uglavnom imaju visoku razinu digitalne sigurnosti, mala i srednja poduzeća to uglavnom nemaju pa posebno trebaju uvesti ili poboljšati prakse upravljanja digitalnim sigurnosnim rizikom. Mnoge zemlje imaju nacionalne strategije digitalne sigurnosti, ali je manji broj zemalja u svijetu koje imaju nacionalnu strategiju privatnosti. U današnje vrijeme rizici za privatnost uglavnom se odnose na moguće prijevare prilikom trgovanja preko interneta, što može usporiti rast e-trgovine.

3. Nacionalne organizacije za primijenjeno istraživanje i razvoj tehnologija

Ključna uloga u funkcioniranju tehnološko-inovacijskog ekosustava su organizacije za razvoj tehnologija (*Research and Technology Organisations*, RTOs). Takav oblik organizacija razvijen je i afirmiran u većini europskih (i svjetskih) zemalja prilagođenih potrebama nacionalnih gospodarstava. One predstavljaju svojevrsni interface (*systemic intermediaries*) između akademske/istraživačke zajednice i gospodarstva s važnom ulogom u provedbi strategije pametne specijalizacije (*Smart Specialisation Strategy*, S3). Kao takve, predstavljaju ključnu kariku u vrijednosnom lancu: znanstvena istraživanja – primijenjena istraživanja/inovacije – proizvodnja i komercijalizacija [6]. Stvaranje vrijednosti i usmjeravanje rasta kroz vrijednosni lanac zahtjeva eksperimentiranje, istraživanje i pokušaje što realno prate rizici i promašaji koje pravovremeno treba identificirati i na odgovarajući način korigirati.

Tablica 1: Prikaz vodećih europskih RTO-a [7]

RTO	Država	Godina osnutka	Broj uposlenih	Godišnji promet 2019. (milijuni €)	Način financiranja
AIT - Austrijan Institute of Technology	Austrija	1956.	1.300	247	državno
CEA - French Atomic and Alternative Energies Commision	Francuska	1945.	20.200	5.000	državno
Danish Technological Institute	Danska	1906.	1.000	153	privatno s udjelom države
Fraunhofer Gesellschaft	Njemačka	1949.	>28.000	2.800	70% od ugovora s industrijom i javno financiranih istraživačkih projekata, 30% državne potpore
IMEC	Belgija	1984.	4.500	640	državno i privatno
RISE - Research Institute of Sweden	Švedska	1997.	2.800	338	državno i privatno
SINTEF	Norveška	1950.	>2.000	315	privatno i državno
TECNALIA	Španjolska	2010.	1.400	110	privatno i državno
TNO	Nizozemska	1932.	3.400	530	privatno i državno
VTT	Finska	1942.	2.100	245	državno i privatno

Više je uloga i misija RTO-a, a jedna od najbitnijih je provedba primijenjenog istraživanja i razvoja tehnologija kao podloge za kreiranje inovativnih proizvoda/usluga.

Posebice je važna uloga RTO-a u razvojnoj podršci malim i srednjim poduzećima koji većinom nemaju razvojne kapacitete i infrastrukturu [7]. To podrazumijeva da RTO-i posjeduju ključnu razvojno-tehnološku infrastrukturu (razvojne laboratorije) za razvoj tehnologija i njihov transfer u pojedine gospodarske sektore. Posebnost je većine RTO-a da razvijaju „tehnologije opće namjene“ (*general purpose technologies*) koje imaju obilježja „platformskih - horizontalnih tehnologija“ i koje su primjenjive u više sektora. Primjeri takvi tehnologija su računalne i elektrotehničke tehnologije. Ove sveprisutne tehnologije u stalnom su procesu inkrementalnog poboljšavanja u smislu performansi, komfornog korištenja i cijene koštanja. U takve tehnologije spadaju i

tehnologije umjetne inteligencije i srodne suvremene tehnologije. Treba naglasiti da iza RTO institucija u EU čvrsto stoje države sa svojom opredijeljenošću za svekoliku podršku i poticanje tehnološkog razvoja i inovacija. Pri osnivanju RTO-a ključna je uloga države kao investitora/ulagača: država investira u fizičku i intelektualnu infrastrukturu koju individualni zaposlenici i poduzetnici ne bi mogli sami financirati zbog visokih fiksnih troškova te zbog rizika koji prati takva ulaganja. Dobar uvid u strukture i organizacije RTO-a daje Europska asocijacija RTO-a (*European Assotiation of Research&Technology Organisations*, EARTO) u koju su učlanjeni RTO-i iz 23 zemlje [8]. U današnje vrijeme RTOi svoj su rad usmjerili na razvoj tehnologija koje prate Četvrtu industrijsku revoluciju te digitalne i zelene transformacije [9]. To su istodobno tehnologije kojima se štiti priroda i kojima se smanjuju klimatske promjene i postiže prilagodba klimatskim promjenama.

U zadnje vrijeme RTO-i preuzimaju važnu uloge „orkestratora" i „integratora" inovacijskog ekosustava kao i aktivnog sukreatora u razvoju strateških programa na regionalnoj i nacionalnoj razini. Uz potporu OECD-a (*Organisation for Economic Co-operation and Development)* RTO-i preuzimaju ulogu u održivim aktualnim tranzicijama kao što je primjerice energetska tranzicija.

Čitav je spektar načina financiranja europskih (i svjetskih) RTO-a, koje većinom djeluju kao neprofitne organizacije, ali prevladava kombinacija financiranja kroz ugovorene projekte s industrijom (privatni i javni sektor) te državnih potpora (Tablica 1), [7].

Tablica 2: Istraživačko-razvojno-inovacijska infrastruktura [10]

	Istraživačke i tehnološke infrastrukture		**Predproizvodne demonstracijske infarstrukture**
	Istraživačke infrastrukture	**Tehnološke infrastrukture**	
TRL	**Niski TRL (1-3)**	**Srednji TRL (4-7)**	**Visoki TRL (8-9)**
Funkcionalnost	Bazično istraživanje: od znanstvenog otkrića i obrazovanja do formulacije koncepta tehnologije	Razvoj tehnologije: od formulacije koncepta tehnologije do validacije tehnologije u relevantnom okruženju	Demonstracija proizvoda ili sustava: od demonstracije u industrijskom okruženju do prve industrijske implementacije prije masovne proizvodnje
Vlasnik	Često nezavisne organizacije posebne namjene, ali ponekad vlasnici kojima upravljaju Organizacije za istraživanje i širenje znanja	Uglavnom upravljane od strane neprofitne organizacije za primijenjeno istraživanje (tj. RTOovi i tehnička sveučilišta)	Uglavnom ih organizira industrija ili neovisne organizacije koje sufinancira industrija

	Istraživačke i tehnološke infrastrukture		Predproizvodne demonstracijske infarstrukture
	Istraživačke infrastrukture	Tehnološke infrastrukture	
Korisnik	Uglavnom javni korisnici (Organizacije za istraživanje i širenje znanja), bilo za pojedinačne projekte ili u suradnji s drugim javnim istraživačkim organizacijama	- Individualni razvojno-tehnološki projekti od strane Organizacija za istraživanje i širenje znanja - Projekti suradnje / sukreacije između Organizacija za istraživanje i širenje znanja i industrijskih poduzeća (uključujući mala i srednja poduzeća)	Uglavnom industrijski korisnici (uključujući mala i srednja poduzeća), uz podršku Organizacija za istraživanje i širenje znanja
Vrsta aktivnosti	Pretežito suradnički RD&I (negospodarske aktivnosti, s dodatnim gospodarskim aktivnostima)		Pretežito RD&I za poduzetnike (ne dodatne gospodarske aktivnosti)
Javna dodatna vrijednost / prevladavanje tržišnih neuspjeha	- Bitno za omogućavanje Organizacijama za istraživanje i širenje znanja da unaprijede znanstvena istraživanja i ojačaju europsku bazu znanja u javnom interesu	- Unaprijediti vlastito znanje i vještine Organizacija za istraživanje i širenje znanja s ciljem razvoja tehnologija koje će se horizontalno koristiti u različitim sektorima (prelijevanje znanja), jačajući europski inovacijski kapacitet - Omogućiti industriji (uključujući mala i srednja poduzeća) pristup vještinama, znanju i opremi (kroz suradnju s Organizacijama za istraživanje i širenje znanja) koji su ključni za identifikaciju i razvoj tehnologija koje su im potrebne, ali su preskupe da bi ih razvijali kod sebe, čime se smanjuje rizik njihovog ulaganja u istraživanja i razvoja	- Omogućiti tvrtkama da smanje rizik i ubrzaju uvođenje inovativnih proizvoda i usluga na tržište, na primjer osiguravanjem izvedivosti i usklađenosti s propisima

Dobar je primjer model financiranja koji uspješno prakticira dugi niz godina Fraunhofer Gesellschaft: 70% financiranja pokriva se kroz ugovore s industrijom i javnim

sektorom, a 30% financira država. Treba istaknuti da su primijenjena istraživanja koja se provode u navedenim i sličnim RTO-ima okosnica razvoja nacionalnih i regionalnih gospodarstava. Iz proširenog razmatranja etabliranih RTO-a moglo bi se doći i do preciznih korelacijskih odnosa između razvijenosti nacionalnih gospodarstava i utjecaja RTO-a na nacionalni gospodarski razvoj.

Za provedbu misije i ciljeva, RTO-i trebaju raspolagati s tehnološkom infrastrukturom (TI) koju dijele na ugovornoj osnovi sa zainteresiranim dionicima po principu „djelotvorne suradnje“ kad je riječ o neekonomskim aktivnostima. U istraživačko-razvojno-inovacijskom ekosustavu, prema klasifikaciji OECD-a [10], razlikuju se tri vrste infrastruktura: istraživačke, tehnološke i predproizvodne demonstracijske infrastrukture, ovisno o razini tehnološke spremnosti (TRL, *technolgy readiness level*) za koju je infrastruktura namijenjena, Tablica 2.

4. Prilike za hrvatsko gospodarstvo u kontekstu digitalne i zelene tehnologije

Digitalizacija, kao skup različitih tehnoloških alata i pomagala za povećanje radne učinkovitosti te digitalna transformacija, kao metodologija za uspostavljanje novih procesa i odnosa u gospodarstvu i općenito u društvu korištenjem novih digitalnih tehnologija - platforma su na kojima se zasniva razvoj današnje civilizacije. Konceptualni modeli digitalne transformacije u složenom su procesu stalnog kreiranja zasnovanog na novim znanstvenim i tehnološkim spoznajama. Proces digitalizacije i digitalne transformacije kreće od znanosti o podacima i informacijama. Umjetna inteligencija UI (*Artificial Intelligence, AI*) je skup metoda i pristupa koji koriste razne vrste podataka s ciljem donošenja odluka umjesto čovjeka/zajedno s čovjekom. UI postaje nužnost jer ljudski mozak ne može procesirati tako velike količine podataka iz kojih treba izvlačiti vrijednost. U tom kontekstu „data-driven“ paradigma postaje okosnicom industrijske automatizacije (Slika 2), kao utjelovljenja digitalizacije.

Slika 2: Primjena UI u industrijskoj automatizaciji a) i komponente UI b) (Izvor: Siemens AG)

Kad promatramo digitalizaciju, onda imamo u vidu fizikalni i virtualni svijet. Poveznica između ta dva svijeta je Internet stvari (usluga i ljudi) koji stavlja u interakciju senzoriku i aktoriku pomoću komunikacijskih mreža. Fizikalni svijet su realni objekti (naprave) koji se nalaze u kućanstvu, uredu, proizvodnom procesu, svugdje oko nas… Tehnološki razvoj iznjedrio je brzorastuće (eksponencijalne) tehnologije u koje primjerice spadaju inteligentni roboti, autonomni dronovi, 3D printeri… Virtualni svijet je svijet baza podataka, algoritama, matematičkih modela, simulacijskih alata, ekspertnih znanja i raznih kreativnih pomagala koji često funkcioniraju kao digitalni blizanci (*Digital Twins*) fizikalnog svijeta. Interakcije koje se odvijaju između fizikalnog svijeta i njegovog digitalnog blizanca zasnivaju se na podacima fizikalnog svijeta koji se procesiraju u digitalnom blizancu, i koji šalje upravljačke informacije fizikalnom svijetu po principu zatvorenog kruga.

Važna poluga digitalizacije su i organizacijski oblici imanentni Četvrtoj industrijskoj revoluciji [11]: vertikalno umrežavanje (kibernetičko-fizikalni proizvodni sustavi) na kojem počivaju napredne tvornice (*smart factories*), umrežavanje napredne logistike, proizvodnja i marketing te napredni servisi; horizontalna integracija – umrežavanje

poslovnih partnera i klijenata; sveobuhvatni inženjering (*trough-engineering*) koji obuhvaća životni ciklus proizvoda i s tim povezano kružno gospodarstvo. I na kraju važna je poluga raspoloženje ljudi prema novim tehnologijama i smanjenje straha od novih tehnologija. Strah će se smanjivati s povećanjem znanja i vještina korištenja novih tehnologija, kao i odgovornim korištenjem novih tehnologija na human način. Kompleksna automatizacija potpomognuta robotizacijom, kao utjelovljenje digitalne transformacije, stvarnost je koju donosi Četvrta industrijska revolucija. Nastupa vrijeme schumpeterovske „kreativne destrukcije“ mnogih gospodarskih sektora i odnosa među ljudima/zajednicama. Približavamo se vremenu potpune integrirane automatizacije (*Total integrated Automation*) proizvodnih i radnih procesa.

Digitalna transformacija mora biti veliki izazov za unaprđenje hrvatskog gospodarstva i društva u cjelini, usklađeno sa Industrijskom strategijom EU-a (ožujak 2020.), [12], koja sučeljava digitalnu i zelenu transformaciju. Digitalna transformacija ključna je za postizanje ciljeva Europskog zelenog plana (siječanj 2020.), [13], u mnogim sektorima, posebice u poljoprivredi, energetici, transportu, sprečavanju klimatskih promjena i prilagodbi klimatskim promjenama te zaštiti okoliša. Puni dosezi digitalnih i zelenih tehnologija postići će se njihovom sinergijom. Međutim, treba biti svjestan da je nužno ulagati ne samo u digitalizaciju (automatizaciju) nego i u proizvodno-tehnološku bazu kad govorimo o proizvodnom sektoru.

Paradigma **kružno gospodarstvo** nastala je kao prirodna posljedica racionalizacije i optimizacije u proizvodnim lancima i procesima.

Ideja i koncept kružnog gospodarstva izazov je na pretjerano iskorištavanja prirodnih resursa potrebnih za postizanje rasta i gospodarskog razvoja što ima negativan utjecaj

na okoliš te istodobno uzrokuje da se ti resursi smanjuju i da postaju skuplji. Ideja kružnog gospodarstva nudi nove načine za stvaranje održivog modela gospodarskog rasta te se u svijetu ubrzano afirmira. Na EU razini protagonist kružnog gospodarstva je Europski zeleni plan (*European Green Deal*), koji je jako spregnut s drugim razvojnim EU programima. Koncept kružnog gospodarstva logično se uklapa u platformu Industrije 4.0.

Slika 3. ilustrira tijek materijala (i energije) u proizvodnom zatvorenom krugu koji opskrbljuje sirovina za nove proizvode. Više je ključnih aspekata na koje treba općenito obratiti pozornost, a posebno u automatiziranom kružnom gospodarstvu. Svakako treba istaknuti: dizajn proizvoda; optimizacija proizvodnih procesa; optimizacija logističkih procesa u distribuciji proizvoda; servitizacija u korištenju, upotrebi, ponovnoj upotrebi i popravcima; skupljanje rabljenih proizvoda podržano tehnologijom blokovskih lanaca; recikliranje rabljenih proizvoda podržano robotima te proizvodnja reciklirane sirovine. Posebno valja ukazati na važnost servitizacije u kružnom gospodarstvu kao proširenom poslovnom modelu za povećanje prihoda i dobiti koja uključuje ne samo proizvode i osnovne usluge nego i izvedbu proizvoda, ili čak upravljanje proizvodom/ uslugom unutar organizacije kupca. „Živčani sustav“ kružnog gospodarstva su napredne digitalne tehnologije [4].

Slika 3: Digitalne tehnologije za kružno gospodarstvo

Hrvatska i njena znanstveno-istraživačka zajednica imaju priliku učiniti iskorak prema razvoju i primjeni ključnih tehnologija. Naime, okvirni europski program Obzor Europa (*Horizon Europe, HE*), [14], i njemu komplementarni Digitalni europski program (*Digital European Program, DEP*), [15], ključni su europski programi u

razdoblju 2021. – 2027. za istraživanje, razvoj i primjenu tehnologija i na njima zasnovanih inovacija za održanje i povećanje konkurentnosti europskih gospodarstava. Naglasak u HE-u je podržavanje rane faze inovacijskog lanca (znanstvena istraživanja, uključivo preliminarna testiranja, provjera koncepta i pilotski projekti), dok je DEP usmjeren na razvoj i rasprostiranje tehnologija, što podrazumijeva testiranje rješenja na pilotskim projektima većih razmjera i preuzimanje uspješnih rezultata istraživanja (postignutih kroz HE) i njihovo iskorištavanje za nove implementacije.

Pet je stupova na kojima se temelji DEP (Slika 4): umjetna inteligencija, računarstvo visokih performansi, kibernetička sigurnost, te napredne digitalne vještine i rasprostiranje digitalnih tehnologija.

Slika 4: Istraživanje i inovacije kao podloga za ključne digitalne tehnologije

Ključni mehanizmi za provedbu DEP-a su Europska digitalna inovacijska središta (*European Digital Innovation Hub, EDIH*), [16], koja imaju za cilj izgraditi tehnološke ekspertize i eksperimentalnu infrastrukturu kako bi se omogućila digitalna transformacija industrije i javnog sektora. EDIH-ovi predstavljaju proširenje postojećih DIH-ova [17] (financiranih u programu H2020) kroz izgradnju međunarodnih koridora i umrežavanja EDIH-ova; EDIH-ovi ne zamjenjuju DIH-ove. Usluge koje nude EDIH-ovi su: testiranje prije ulaganja, vještine i osposobljavanje, potpora za pristup financijskim sredstvima te izgradnja inovacijskih ekosustava i umrežavanje. Logični partneri u konzorcijima EDIH-a su organizacije za istraživanje i razvoj tehnologija (RTO) i tehnička sveučilišta/fakulteti u suradnji s gospodarskim udruženjima, klasterima, Europskom poduzetničkom mrežom (EEN), akceleratorima/inkubatorima, inovacijskim agencijama i institucijama za stručno osposobljavanje.

Ključno je za EDIH-ove da trebaju služiti digitalizaciji i digitalnoj transformaciji gospodarstva, osobito malih i srednjih poduzeća te javnoj administraciji. EDIH-ovi su zamišljeni da djeluju kao pristupne točke prema europskoj mreži EDIH-ova za lokalne organizacije. Oni će se, kao orkestratori, aktivno umrežavati s drugim inova-

cijskim središtima, dijeleći najbolje prakse i specijalistička znanja te dovoditi kompanije u kontakt s drugim kompanijama sličnog vrijednosnog lanca. Također, EDIH-ovi će biti posrednici između javne administracije i kompanija koje pružaju tehnološke usluge e-upravi.

5. Neki ključni izazovi za hrvatsku

Svaka uređena država, pa i RH, treba biti glavni pokretač razvoja - generator rasta. Država treba biti integrator i diseminator vrijednosti, ali je iznimno važno da bude i stvarateljica vrijednosti, [18]. Država kao integrator i diseminator usmjerava se prema izgradnji pravila koja omogućuju preraspodjelu postojećih vrijednosti na razne sektore sve temeljeno na optimizacijama postojećih modela, znanja, načela i paradigma. Međutim, država kao stvarateljica vrijednosti mora imati jasnu i odvažnu viziju kao vodilju za izgradnju novih ekosustava – institucija i mehanizama – koji će strukturirano i meritokratski voditi prema ostvarenju te vizije. Takav se ekosustav treba temeljiti na: (i) ljudskom kapitalu; (ii) odgovarajućim organizacijama; (iii) ulagačima i kompanijama usredotočenima na primijenjena istraživanja i tržišni plasman proizvoda/usluga. Svi hrvatski oblici vlasti deklarativno prihvaćaju maksimu: glavni pokretači ekonomskog i društvenog razvoja su obrazovanje, istraživanje i razvoj tehnologija. Tu maksimu valja staviti u odnos s temeljnim komponentama ekosustava.

Ljudski kapital RH - koji može konceptualno i apstraktno promišljati i graditi put prema ostvarenju vizije te koji je sposoban novostvorena znanja usmjeravati na primjene - primjeren je veličini zemlje. On nije zanemariv i treba ga respektirati, ali i „staviti u pravu funkciju“. Ljudski kapital u pravilu se stvara u obrazovnim institucijama koje trebaju pratiti trendove razvoja struka i potreba ovodobnog i budućeg gospodarstva i razvoja društva. „Inflacija“ velikog broja novootvorenih privatnih i javnih visokih učilišta (veleučilišta i sveučilišta), čemu trajno svjedočimo, i koji se odobravaju prema formalnim državnim pravilima, pred kušnjom su kako i koliko mogu doprinijeti izgradnji kvalitetnog ekosustava. Hrvatska sveučilišta, koja imaju svoj povijesni razvoj i vrijednost, ne smiju biti zarobljena u „autonomiju sveučilišta“ i trebaju se izdići iznad „bavljenja samim sobom“. Imanentno svojstvo hrvatske znanstvene zajednice, mahom skoncentrirane na sveučilištima, jest da nije usustavljena, segmentirana je i nepovezana. I to traje, s malim pomacima nabolje. Rijetke su skupine znanstvenika koji istinski doživljavaju interdisciplinarnost i multidisciplinarnost, a još rjeđe transdisciplinarnost. To ima i svoju povijesnu pozadinu, na koju se nadograđuje inertnost u pogledu prihvaćanja pojedinačnih i skupnih (kolektivnih) promjena. Stoga izostaje usmjeravanje znanstvenoistraživačkog rada prema programski profiliranom istraživanju i razvoju, a u korist napretka nacionalnog gospodarstva i društva. Programski profilirano istraživanje i razvoj, s naglaskom na primijenjeno istraživanje i razvoj inovacija, trebaju biti smjernice za ovodobno i

buduće kreiranje rada u znanosti i tehnološkom razvoju [19]. I tu Vlada RH, posebice Ministarstvo znanosti i obrazovanje te Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, trebaju pokazati svoju odgovornost i spremnost. U tako stvorenom okviru lakše će se moći definirati uloge brojnih institucija zaduženih za znanost, obrazovanje, tehnološki razvoj, transfer tehnologija i međunarodnu prepoznatljivost. U protivnom, i dalje ćemo svjedočiti raznim oblicima „hibridnog sukoba" među institucijama što se manifestira lošom komunikacijom, neodgovornošću, stvaranjem paraliza u provedbi inicijativa i nečinjenjem.

Druga komponenta ekosustava s vizijom su organizacije koje su usredotočene na razvoj tehnologija kao podloge za inovativne proizvode i usluge, osiguravajući time veću produktivnost i tržišnu konkurentnost. Treba investirati u sustav inovacija za što je nadležna i odgovorna država! Inovacija nije samo rezultat ulaganja u Inovacije i Razvoj (I&R); to je niz institucija koje omogućavaju da se nova znanja šire diljem ekonomije. Dakle, sustavi za inovacije su „mreža institucija u javnom i privatnom sektoru čije aktivnosti i interakcije iniciraju, usvajaju, modificiraju i rasprostranjuju nove tehnologije" [20]. Ili sustavi za inovacije su „elementi i odnosi koji međusobno djeluju na stvaranju, rasprostiranju i primjeni novog i ekonomski iskoristivog znanja" [21]. Radi se dakle o kruženju znanja kao rezultat poduzetih transformativnih državnih investicija, koje se temelje na politikama s misijom i vizijom, sveobuhvatno promatrajući cijeli inovacijski lanac, od temeljnih do primijenjenih istraživanja, komercijalizacije i početnog financiranja samih kompanija. Transformativne državne investicije, provedene čak i po cijenu zaduživanja, imaju iznimnu važnost i strategičnost jer ciljaju na dugoročan rast; npr. ulaganja u zelene i digitalne tehnologije. Inovacijske mreže su kompleksne; one su nelinearne, interno spregnute, s mnoštvom povratnih veza između tržišta i tehnologije, znanosti i njene primjene, javnih politika i njihovih strategija te regulativa…

Treća komponenta ekosustava s vizijom odnosi se na ulagače i kompanije usredotočene na primijenjena istraživanja i tržišni plasman proizvoda/usluga [22]. Za gospodarski rast ključnu ulogu imaju tehnologije što potvrđuju sve dosadašnje industrijske revolucije. Današnje disruptivne tehnologije, digitalne i zelene koje treba razvijati i primjenjivati simbiotski, nužno je uključivati u (nove) modele rasta. Tehnologije se u takvim modelima modeliraju kao endogeni rezultat funkcije ulaganja u istraživanje i razvoj, što uključuje i investiranje u stvaranje ljudskog kapitala. Predikcijama proisteklim modeliranjem dobivaju se izvjesne smjernice za donositelje odluka sa smanjenim rizikom. Time se utire put ekonomije znanja i „rasta vođenog inovacijama" (*innovation-led growth*).

Zaostajanje Hrvatske u odnosu na zemlje s kojima je razumno uspoređivati se (zemlje srednje i istočne Europe) posljedica je lošeg djelovanja države od njenog osamostaljenja, započetog privatizacijskim procesima u gospodarstvu. To se manifestira slabom produktivnošću zbog neulaganja u razvoj tehnologija proizvodnih sektora, što implicira nezadovoljavajuću konkurentnost i robni izvoz.

Od ulaska Hrvatske u EU naglašeno je iseljavanje radno sposobnih ljudi, posebice mladih, u druge europske države, motivirano boljim standardom življenja, ali i rezignacijom prouzročenom tromim razvojem perspektivnih procesa u svojoj domovini. Problem demografske revitalizacije spada u krucijalne probleme hrvatskog naroda i naše države. Rješavanje tog kompleksnog društvenog problema traži i nove višedimenzionalne paradigme i okvire. Jedna od tih dimenzija je i stvaranje uvjeta za brži i ravnomjerni održivi rast našega gospodarstva temeljen na razvoju i primjeni suvremenih tehnologija, sve sa svrhom izgradnje boljeg standarda življenja.

6. ICENT – hrvatski RTO

Ustanova Inovacijski centar Nikola Tesla (ICENT) osnovana je u studenom 2016. godine [23]. Osnivač je Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu (FER). Vizija je Inovacijskog centra Nikola Tesla biti vodeći čimbenik hrvatskog istraživačkog i inovacijskog ekosustava te u perspektivi Podunavske regije za primijenjeno istraživanje i razvoj u području inženjerstva, kao i za srodne primjene koje usmjeravaju hrvatsko društvo i gospodarstvo prema konkurentnosti i održivosti, uz snažnu potporu informacijske i komunikacijske tehnologije. ICENT-ova je misija pridonositi rastu hrvatskog gospodarstva zasnovanog na visokim tehnologijama prvenstveno u sektorima energetike, prometa, automatizacije i robotike, naprednih komponenata, zdravstva i biomedicinskog inženjerstva te informacijske i komunikacijske tehnologije. U skladu s takvom vizijom i misijom planirana je i organizacijska struktura ICENT-a koja se zasniva na šest instituta [24] – za informacijske i komunikacijske tehnologije, energetiku, transportne sustave, robotiku, biomedicinsko inženjerstvo i tehnologije naprednih komponenata. Uz ovih šest instituta predviđen je i poslovni sektor kao podrška njihovom radu (Slika 5).

Slika 5: Planirana organizacija ICENT-a

Za svaki iskorak, bez obzira radi li se o gospodarstvu, društvu, znanosti, politici…, brend predstavlja važnu promidžbenu komponentu. Stoga, vođeni genijalnim idejama vizionara i svestranog inventivnog istraživača i inovatora, koji inspirira i inspirirat će sadašnju i buduću znanstvenu i inovacijsku zajednicu, te iz pijeteta prema imenu Nikola Tesla, s nacionalnim ponosom dali smo Inovacijskom centru ime „Nikola Tesla“. Jer, Nikola Tesla (Smiljan, Hrvatska, 10. srpnja 1856. - New York, 7. siječnja 1943.) jedan je od najvećih svjetskih inovatora i izumitelja u razdoblju od kraja 19. stoljeća i prvoj polovici 20. stoljeća. Njegova se inovatorska i inventivna svestranost ogleda u epohalnim otkrićima koju baštini današnja civilizacija. Spomenimo, za ilustraciju, neka od njih: (i) izmjenična električna struja; (ii) elektromagnetska i ionizirajuća radijacija koju danas koristimo u medicinskoj dijagnostici i drugdje; (iii) radio uređaj i daljinsko upravljanje zasnovano na primopredajnom načelu; (iv) izmjenični električni motor s rotirajućim magnetnim poljem; (v) koncepcija robota i vizionarske ideje o inteligentnim automobilima; (vi) laser s mnoštvom primjena (medicina, digitalni mediji, naoružanje); (vii) bežična komunikacija kao osnova suvremene komunikacijske tehnologije i umrežavanja; (viii) vizije bežičnog prijenosa električne energije i s tim povezano da su energetski resursi bezgranični i sadržani u energiji Sunca koju treba znati koristiti. Tesla je nedvojbeno imao još na tisuće ideja i patenata koje su ostale neobjavljene. Ako pogledamo stotine njegovih patenata, oni pokazuju samo djelić njegova genija i mogućnosti koje nam je on ponudio. Tesla je živio u uvjerenju da sve što treba ljudskoj održivoj civilizaciji možemo naći u prirodi oko sebe, samo nam je potrebno shvaćanje i razumijevanje univerzuma u kojem obitavamo. Također je smatrao da moramo koristiti naše umove i sva naša znanstvena istraživanja kako bi stvorili prave tehnologije koje bi omogućile boljitak i napredak ljudskog roda.

ICENT-ova vizija i misija temeljena je na prethodnom višegodišnjem promišljanju i analizama s ciljem kako rezultate akademske/istraživačke zajednice učinkovitije i sveobuhvatnije staviti u funkciju ovodobnog i budućeg razvoja hrvatskog gospodarstva i društva, imajući pri tome u vidu kapacitete i potencijale većine hrvatskih tehničkih fakulteta, ali i drugih fakulteta koji su u nekim disciplinarnim aspektima bliski tehnici.

Energetika i transportna infrastruktura od strateške su važnosti za svaku državu i pretpostavka su za ekonomski razvoj društva. Razvoj i primjena robotike u uslužnim i proizvodnim sektorima pridonosi visokim razinama automatizacije što nas uvodi i pozicionira u četvrtu industrijsku revoluciju. Nadalje, stanovništvo sve više stari pa toj populaciji treba posvetiti odgovarajuću zdravstvenu skrb i pažnju pa je stoga jedan od sektora istraživanja biomedicinsko inženjerstvo. Materijali su uvijek bili važno područje istraživanja i primjena, a danas i ubuduće posebno su atraktivni nanomaterijali (npr. grafeni) za proizvodnju raznih naprednih komponenata. Neizbježan je naravno sektor informacijske i komunikacijske tehnologije koji se na neki način penetrira u sve druge sektore. Jedan od smjerova primjene ICT rješenja je i poljopri-

vreda, s naglaskom na digitalizaciju poljoprivredno-prehrambenog sektora. Ovih šest gospodarskih sektora i njima odgovarajućih šest ICENT-ovih instituta sukladni su svjetskim razvojnim i gospodarskim trendovima. Svjesni smo potrebe da nas se treba prepoznati na tržištu i stoga ICENT, osim spomenutih šest instituta, ima i sektor za poslovnu djelatnost i podršku razvoju tehnologija u kojemu će se istraživati i analizirati tržište, raditi na komercijalizaciji i marketingu.

Izvješća relevantnih svjetskih institucija pokazuju da je gospodarski položaj Hrvatske u svijetu na niskoj razini [2]. Analize koje su proveli WEF (Global Competitiveness Index - GCI), Digitalization Economy and Society Index (DESI Index), European Investment Bank Investment Survey (EIBIS index), Global Entrepreneurship Monitor Report (GEM report) i International Institute for Management Development (IMD report)) to jasno pokazuju. Primjerice, prema izvješćima IMD-a tijekom posljednjih pet godina (2017.-2021.), pozicija Hrvatske na globalnoj ljestvici konkurentnosti kreće se između 59. i 61. mjesta, što znači da Hrvatska stagnira. U 2020. hrvatsko gospodarstvo bilo je na 59. od 64 zemlje. Ipak, razvoj pandemije i očekivanja nakon pandemije, potaknuti novom financijskom omotnicom EU-a, pobuđuju nadu da bi mogli ubrzati prijeko potrebne strukturne promjene. To je posljedica činjenice da je naše gospodarstvo na niskoj tehnološkoj razini i naš izvoz nije konkurentan. Naše zamagljeno društvo nije svjesno koliko smo po tom pitanju loši - stanje je daleko od zadovoljavajućeg.

Izvozimo usluge i proizvode uglavnom niske tehnološke razine. I toga moramo biti svjesni. Ako ne poduzmemo nešto u sferi politike tehnološkog razvoja, nećemo biti konkurentni niti ćemo moći konkurentno izvoziti. Zbog takvog stanja našeg gospodarstva, kojemu su potrebne strukturne promjene, osnovana je ustanova ICENT koja predstavlja most između akademske/istraživačke zajednice i potreba našeg gospodarstva. ICENT je, dakle, osnovan radi gospodarstva kojemu su potrebna nova rješenja proizvoda i usluga zasnovana na znanjima i alatima koji leže na sveučilištima kao nedovoljno iskorišteni kapital [25, 26].

Za izgradnju mosta između gospodarstva i akademske/istraživačke zajednice iznimno je važno da se povećava skup profesora na našim tehničkim (i drugim) fakultetima koji razumiju važnost primijenjenih istraživanja i razvoja tehnologija i oni su velika pomoć u osnaženju i daljnjem razvoju ICENT-a. Istraživanja koja se provode na fakultetima kroz projekte i u sklopu doktorskih disertacija u pravilu rezultiraju provjerom znanstveno-istraživačkih koncepata (u pravilu TRL 3) koji mogu imati takav potencijal da se kroz primijenjeno istraživanje i razvoj dođe do inovativnog proizvoda ili inovativne usluge (razine TRL 7 i više). Pri tome treba imati u vidu da dobri znanstveni koncepti jako koreliraju s kvalitetom obrazovanja. Tu dolazimo do vrijednosnog lanca s tri bitne karike: znanstveno istraživanje – primijenjeno istraživanje i inovacije - proizvodnja s komercijalizacijom. Dakle, bitno je razumjeti genezu - od

ideje do proizvoda. A ICENT želi suradnju i jak utjecaj na hrvatsko gospodarstvo i poziciju na mjestu druge karike - primijenjeno istraživanje i inovacije (Slika 6).

Slika 6: Vrijednosni lanac istraživačko-razvojnoinovacijskog ekosustava

Djelovanje i aktivnosti ICENT-a određeni su ovodobnim stanjem u našem gospodarstvu, i projekcijama koje doprinose rastu gospodarstva. Činjenica je da našu industriju pretežito čine mala i srednja poduzeća (preko 99%), koja nemaju dovoljnih laboratorijsko-razvojnih kapaciteta; njima trebaju rješenja tehnološke razine spremnosti TRL 7 i naviše (funkcionalnost sustava u operativnim uvjetima). Praktički, naša industrijska poduzeća, s izuzetkom malog broja, trebaju predproizvode koje će prilagoditi u svojim proizvodnim procesima do finalnog proizvoda za komercijalizaciju na tržištu. Dakle, ostaje nepopunjen prostor TRL 4 do TRL 7 (razvoj, laboratorijska ispitivanja, integracija, dizajn, testiranja u simuliranom i relevantnom okruženju, demonstracija u operativnom okruženju). Taj se prostor kolokvijalno naziva „dolinom smrti“. Premošćivanje doline smrti, tj. dostizanje TRL 4 do TRL 7, postiže se kroz organizirani proces primijenjenog istraživanja i razvoja tehnologija u organizacijama (RTO-ima) koje su usko spregnute sa sveučilištima s jedne strane i s gospodarstvom (industrijom) s druge strane. To je već odavno etablirana praksa tehnološki razvijenih gospodarstava u svijetu, u gospodarstvima s izgrađenim tehnološko-inovacijskim ekosustavima. Stoga, za ICENT je neizbježan i nuždan put međunarodnog umrežavanja s RTO-ima [27].

S obzirom na tehnološku razinu našega gospodarstva i njegovu nezadovoljavajuću spregu s akademskom/istraživačkom zajednicom, imperativno se nameće zaključak da su Hrvatskoj potrebni RTO-i. ICENT je za sada prvi i jedini RTO usmjeren na gospodarske sektore od vitalnog značaja: energetika, transportni sustavi, automatizacija potpomognuta robotikom, biomedicinsko inženjerstvo, tehnologije naprednih komponenata te ICT. Ovaj skup sektora proširen je kroz recentne projekte i sektorom poljoprivrede s naglaskom na digitalizaciju.

U sklopu ICENT-a smještena su dva Digitalna inovacijska središta (*Digital Innovation Hub, DIH*): CROBOHUB - Hrvatsko robotičko digitalno inovacijsko središte i CybersecRDI - Digitalno inovacijsko središte za kibernetičku sigurnost. DIH-ovi kao mehanizam za pomoć u digitalizaciji malih i srednjih poduzeća proizlaze iz inicijative Digitalizacija europske industrije (2016.). Oba DIH-a djeluju po načelu sve-na-jednom-mjestu (one-stop-shop), pomažući hrvatskim tvrtkama da digitaliziraju svoje poslovanje kroz učinkovito orkestriranje različitih dionika u inovacijskom ekosustavu, poput istraživačkih institucija, institucija za potporu poslovanju te poduzeća koja posluju u području robotike/kibernetičke sigurnosti, a koja mogu pridonijeti razvoju i primjeni naprednih robotskih/sigurnosnih sustava u raznim djelatnostima.

Kao što je prethodno istaknuto, Europska komisija polaže velike nade u DEP i njen mehanizam EDIH. Očekujemo da će krajem 2022. godine započeti s aktivnostima i hrvatski EDIH CROBOHUB++ (CROatian Industry and Society BOosting – European Digital Innovation HUB), kojeg pokreće ICENT zajedno s projektnim partnerima. CROBOHUB++ specijaliziran je u trima ključnim područjima DEP-a: umjetna inteligencija, kibernetička sigurnost i računarstvo visokih performansi (HPC) te u sljedećim tehnologijama: robotika, računalni vid, internet stvari, ugradbeni sustavi upravljanja i automatizacije, pametna senzorika, tehnologija blokovskih lanaca i digitalne simulacije. Tehnologije u kojima je CROBOHUB++ specijaliziran vrlo su široko primjenjive, ali će se CROBOHUB++ primarno orijentirati na sljedeće sektore: (1) proizvodna industrija, (2) digitalizirana poljoprivreda, (3) energija i okoliš i (4) javna i državna uprava. Potporom digitalnoj transformaciji u navedenim sektorima CROBOHUB++ može snažno i izravno pridonijeti podizanju razine digitalne zrelosti hrvatske industrije i društva. Također, snažan vjetar u leđa za daljnji razvoj ICENT-a predstavlja i projekt u pripremi: Centre of Excellence for Advanced Robotic Systems (ACROSS). Opći je cilj projekta ACROSS razviti kroz ICENT Centar izvrsnosti za robotske sustave koji će značajno pridonijeti izgradnji visoke razine kompleksne automatizacije proizvodnih i radnih procesa u Hrvatskoj.

Razvoj tehnologija koje se provode u ICENT-u prate i primjene novih poslovnih modela koji respektiraju dinamičan razvoj startup ekosustava [28]. Kroz ICENT-ov studentski program *Imagine, Create, Innovate* omogućena je studentima hrvatskih visokih učilišta sponzorirana prijava i provedba projekata na izazovne teme kao što su *Smart City, Smart Agriculture, Smart Industry*…To je rezultiralo osnivanjem nekoliko startup poduzeća s izglednim prilikama za uspjeh.

Inicijative i planovi DEP-a i HE-a i njihovih provedbenih mehanizama otvaraju prozore za značajniji iskorak hrvatskih institucija za istraživanje i razvoj tehnologija u sinergiji s gospodarskim sektorom i institucijama javne uprave. Stoga valja mudro, strateški i odgovorno pristupiti provedbi Nacionalnog plan obnove i otpornosti (NPOO) za razdoblje 2021. – 2026., imajući pritom u vidu dugoročniji Europski zeleni plan.

Broj uposlenih profesionalaca koji rade u ICENT-u određen je brojem ugovorenih razvojnih projekata, a posebno raspoloživom prostornom i laboratorijskom infrastrukturom. Trenutačno u ICENT-u je uposleno 40-ak istraživača/razvojnih inženjera, u raznim modusima uposlenja, smještenih u limitiranim unajmljenim prostorima FERa koji koriste skromnu i za razvoj proizvoda neodgovarajuću laboratorijsku opremu FER-a. Za svaki prethodno navedeni institut stvoren je nukleus za daljnji razvoj i spremnost provedbe kolaborativnih i industrijskih projekata. Perspektive daljnjih upošljavanja u ICENT, dominantno mladih doktora znanosti iz tehničkih i prirodoslovnih područja, motiviranih za primijenjena istraživanja i razvoj tehnologija, oslanjaju se na naše procjene (ali i na nade i očekivanja). Procjenjujemo da će u ICENT-u za 10-ak godina biti uposleno oko 300 razvojnih profesionalaca i koji će kroz umrežavanje s raznim dionicima tehnološko-inovacijskog ekosustava predstavljati bitan čimbenik za razvoj gospodarstva.

Gradnja prostorne i laboratorijske infrastrukture ICENT-a, projekta od strateškog značaja za Hrvatsku, bila je u nekim fazama proteklog vremena nerazumno usporavana [29]. Perspektive gradnje prostorne i laboratorijske infrastrukture ICENT-a usmjerene su na sredstva Nacionalnog plana oporavka i otpornosti (NPOO) i Višegodišnjeg financijskog okvira (VFO) za razdoblje 2021.-2027. Izgradnjom prostorne i laboratorijske infrastrukture ICENT-a upotpunjuje se tehnološko-inovacijski ekosustav, čime se Hrvatska stavlja u poziciju da razvija hrvatsku pametnu industriju. Za to treba ustrajnosti, energičnosti, odgovornosti i mudrosti. Za to nam treba sinkroniziran, koordiniran, učinkovit i pametan triple helix.

Izazovi izgradnje prostorne i razvojne infrastrukture ICENT-a ilustrirani su pomoću Dijagrama teorije promjene (*Theory of Change Diagram*) koji sažeto prikazuje glavne učinke i ishode projekta te cjelokupnu usklađenosti projekta s ciljevima koji su postavljeni u relevantnim nacionalnim i EU razvojnim strategijama i politikama (Slika 7).

Slika 7: Dijagram teorije promjene ICENT-a

6.1. Neka primijenjena rješenja ICENT-a

Za ilustraciju rada ICENT-a, prikazano je nekoliko uspješnih multiplikativnih primjena kako slijedi.

Muraplast. Otvorena platforma za inovacije u logistici (OPIL) razvijena je u sklopu europskog H2020 projekta *Pametna logistika za proizvodna mala i srednja poduzeća* (*L4MS*). Uspješna demonstracija OPIL platforme izvedena je na studiji slučaja MURAPLAST d.o.o., vodećeg proizvođača polietilenske puhane folije u Hrvatskoj (autonomno vozilo rasterećuje čovjeka u poslu transporta teškog tereta). Za ovu studiju slučaja, ICENT je u ovom projektu razvio softverske module senzora, percepcije i navigacije na novom svesmjernom AGV-u nazvanom Anda.

a) b)

Slika 8: Studija slučaja za MURAPLAST d.o.o., Kotoriba;
a) transport prije ugradnje autonomnog transporta, b) autonomni transport

Slika 9: Robotska brusna stanica

Enikon Aerospace. Enikon Aerospace. ICENT je za poduzeće Enikon Aerospace razvio robotsku brusnu stanicu za automatizaciju procesa brušenja plastičnih dijelova za pripremu površine prije kvalitetnog finalnog nanošenja boja. Automatizirano brušenje ima nekoliko prednosti u odnosu na ručno brušenje: i) dosljednu kvalitetu konačnog proizvoda, ii) bez ljudskih pogrešaka, iii) gubitak materijala smanjuje se na minimum, iv) smanjenje izloženosti radnika u prašnjavoj i otrovnoj atmosferi. Korištenje agilnih i ljudski prihvatljivijih robotskih manipulatora u tom procesu rezultirat će povećanjem postotka područja predmeta koji se obrađuju robotom, budući da će radnici

moći podučiti robota kako brusiti složenije dijelove. Kako bi se skratilo vrijeme potrebno radniku za obradu predmeta, razvit će se automatizirani sustav kontrole kvalitete pomoću navedenog agilnog robota opremljenog laserima.

amsOSRAM. ICENT u suradnji s međunarodnom kompanijom ams OSRAM (https://ams-osram.com/) radi na razvoju poluvodičkih elemenata i sklopova u nanometarskim tehnologijama. Do sada su kroz suradnju uspješno razvijene biblioteke ulazno-izlaznih napajačkih, digitalnih i analognih priključaka u nekoliko različitih tehnologija. Trenutno je razvojni fokus na izradu topoloških nacrta (layout) komponenata i integriranih sklopova.

Slika 10: Topološki nacrt (*layout*) integriranog elektroničkog sklopa

AgroSPARC. U sklopu projekta ***Napredna i prediktivna poljoprivreda za otpornost klimatskim promjenama (AgroSPARC)*** izrađena je laboratorijska komora (Slika 11) u kojoj se umjetno stvara mikroklima koja oponaša uzgoj pšenice u uvjetima mogućih klimatskih promjena. Cilj je projekta kreirati matematičke modele različitih stadija razvoja pšenice primjenom umjetne inteligencije te ih koristiti za predviđanje prinosa i stadija razvoja.

Slika 11: Komora za oponašanje uzgoja pšenice u uvjetima mogućih klimatskih promjena

ATTEST. Glavni cilj projekta H2020 ATTEST (Napredni alati usmjereni isplativoj dekarbonizaciji budućih pouzdanih energetskih sustava) je razvoj modularnog skupa inovativnih alata otvorenog koda za koordinaciju operatora elektroenergetskog sustava (prijenosnog i distribucijskog) te planiranje, pogon i održavanje elektroenergetskog sustava u 2030. godini s pogledom na 2050. godinu. Glavna ambicija projekta je omogućiti različitim korisnicima testiranje i korištenje alata razvijenih u projektu od strane operatora sustava, ali i industrijskog sektora što će u konačnici doprinijeti ostvarenju ciljeva niskougljične tranzicije. Novim alatima omogućio bi se sigurniji i pouzdaniji elektroenergetski sustav te veća mogućnost integracije obnovljivih izvora energije.

Slika 12: ICT platforma za OPS/ODS koordinaciju

7. Zaključak

ICENT je organizacija za primijenjeno istraživanje i razvoj tehnologija kao osnove za kreiranje inovativnih proizvoda i usluga. ICENT je značajan čimbenik u istraživačko-razvojno-inovacijskom ekosustavu s ulogom da povezuje akademsku/istraživačku zajednicu i gospodarstvo s ciljem povećanja produktivnosti i konkurentnosti našeg gospodarstva. Na svome razvojnom putu ICENT izgrađuje multidisciplinarnu suradničku inovacijsku platformu s visokim istraživačko-razvojnim potencijalom za nove pametne industrije, čemu će presudno doprinijeti prostorna i tehnološko-laboratorijska infrastruktura.

Glavni cilj ustanove ICENT, kao RTO-a, jest razvoj i primjena čistih tehnologija u funkciji zelene i digitalne tranzicije s usredotočenjem na gospodarske sektore od vitalnog značaja za sustavan razvoj hrvatskog društva: energetika, transport, kompleksna automatizacija i robotika, biomedicinsko inženjerstvo, poljoprivreda te informacijske i komunikacijske tehnologije. Specifični ciljevi ICENT-a su:

- Dizajniranje i razvoj multidisciplinarne infrastrukture za visokokvalitetno primijenjeno istraživanje i razvoj tehnologija koja odgovara potrebama tržišta u S3 područjima, i koja će služiti kao „most" između istraživačkog-razvojnog sektora i industrije;
- Povećanje opsega, kvalitete i međunarodne konkurentnosti istraživačkih i inovacijskih aktivnosti, prvenstveno u prioritetnim područjima S3, što će pridonijeti povećanju proizvodnje visokokvalitetnih istraživanja, kao i proizvodnje i iskorištavanja intelektualnog vlasništva;
- Olakšavanje suradnje znanosti i industrije kroz pokretanje zajedničkih istraživačkih projekata, koji će olakšati aktivnosti prijenosa znanja i tehnologija te povećati mogućnosti mladih istraživača za suradnju s poduzećima;
- Implementacija novih usluga i stvaranje prilika za učinkovite suradnje u rješavanju društvenih izazova i zelenih i digitalnih transformacija;
- Poboljšanje radnih uvjeta za razvojne istraživače, što će pridonijeti razvoju njihovih karijera, posebno mladih istraživača, te olakšati privlačenje i zadržavanje kvalitetnih istraživača;
- Jačanje ljudskih kapaciteta, stvaranje i širenje znanja pomoću suvremene razvojno-tehnološke infrastrukture, povećanje konkurentnosti hrvatske znanosti, poboljšanje vještina za S3 i stvaranje pozitivnih makroekonomskih učinaka na hrvatsko gospodarstvo.

I konačno, pokrenimo htijenje u interesu onih koji žele bolju budućnost u svojoj domovini Hrvatskoj [30].

8. Literatura

[1] N. N. Taleb: *Antifragile - Things That Gain From Disorder*, Random House, USA, 2012.

[2] Grupa autora: *Pametne industrije i digitalna transformacija*, Udruga CroSI, studeni 2021.

[3] *** Advanced Technologies for Industry (ATI) project, 2020.

[4] Perić, N.: Razvoj i primjena novih tehnologija – Kako industrijalizirati Hrvatsku, časopis Perspektive, Zagrebačka inicijativa, Vol. 11 (2021.), Br. 1-2; str. 37-44.

[5] Schmidt, E.; Cohen, J.: *The New Digital Age – Reshaping the Future of People, Nation and Business*, Alfreda A. Knopf, New York, 2013.

[6] Perić, N,: Inovacije – Eliksir protiv gospodarske krize, časopis *Perspektive*, Zagrebačka inicijativa, Vol. 4 (2014.), br. 4, str. 105.-116.

[7] Perić, N.: Ispit spremnosti za digitalno doba – Tehnološki napredak temelj konkurentne privrede, časopis *Perspektive*, Zagrebačka inicijativa, Vol. 10 (2020.), br. 3-4, str. 89-102.

[8] *** https://www.earto.eu/

[9] *** https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-eu-industrial-strategy-march-2020_en.pdf

[10] *** EARTO Response to EC Consultation on the Revised Framework for State Aid RD&I, June 2021..

[11] Schwab, C.: *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Geneva, 2016.

[12] *** https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-eu-industrial-strategy-march-2020_en.pdf

[13] *** https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52019DC0640

[14] *** https://ec.europa.eu/info/horizon-europe-next-research-and-innovation-framework-programme_en

[15] ***https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/628231/EPRS_BRI(2018)628231_EN.pdf

[16] *** https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/edihs

[17] ***https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/digital-innovation-hubstool?p_p_id=digitalinnovationhub_WAR_digitalinnovationhubportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=1&_digitalinnovationhub_WAR_digitalinnovationhubportlet_edihTabParam=Candidate+Eur opean+DIHs

[18] Mazzucato, M.: *Država poduzetnica – Razotkrivanje mitova o javnom nasuprot privatnom*, Školska knjiga, 2020.

[19] Trani, E. P.; Holsworth, R. D.: *The Indispensable University – Higher Education, Economic Development, and the Knowledge Economy*, American Council on Education, Rowman&Littlefield Publisher, Inc., New York, 2010.

[20] Freeman, C. The National System of Innovation in Historical Perspective, *Cambridge Journal of Economics 19*, no. 1:5-24, 1995.

[21] Lundvall, B.-A (ur): *National Innovation Systems: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, London: Printer Publisher, 1992.

[22] Shapira, P. P.; Wessner, C.W.: *21st Century Manufacturing – The Role of the Manufacturing Extension Partnership Program*, the National Academies Press, Washington, D.C., 2013.

[23] Strategija razvoja Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu za razdoblje 2013. – 2017.

[24] *** ICENT i treća komponenta, *Infotrend*, rujan 2017.

[25] Perić, N.: Uloga sveučilišta u istraživanju, transferu tehnologija i inovacijama, Zagrebačka inicijativa, časopis *Perspektive*, Vol. 5 (2015), br. 1, str. 38.-51.

[26] Perić, N.: Povezivanje istraživača i poduzetnika – Znanstvena i akademska zajednica (ne)spremna na promjene, Zagrebačka inicijativa, časopis *Perspektive*, Vol. 6 (2016), br.2, str. 61.-67.

[27] Perić, N.: Innovation Centre Nikola Tesla – Challenges in Applied R&D, presentation in Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany, 14-15th of September 2017.

[28] Singer, S; Senor, S.: *Start-up nacija – Tajna izraelskog ekonomskog čuda*, Profil Knjiga, Zagreb, 2009.

[29] Perić, N.: *Inovacijski centar Nikola Tesla - Budućnost početka*, KIKLOS – KRUG KNJIGE d.o.o., 2019. (1032280.Buducnost_pocetka_ICENT (1).pdf).

[30] Nietzsche, F.: *Der Wille zur Macht - Eine Auslegung alles Geschehens*, Alfred Kröner Verlag in Leipzig, 1917.

Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku

Ivan Petrović[1], Marija Seder[2] i Ivan Marković[2]

[1] redoviti član, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

[2] Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

Sažetak: *Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku (LAMOR) istraživački je laboratorij koji djeluje u okviru Zavoda za automatiku i računalno inženjerstvo Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu. LAMOR je jedan od vodećih laboratorija u Republici Hrvatskoj u području robotike, a svoje je istraživačko djelovanje usmjerio na temeljna istraživanja algoritama upravljanja, estimacije i umjetne inteligencije s primjenom u razvoju sustava autonomije mobilnih robota i vozila u nepoznatim i dinamičkim okruženjima te sustava djelotvorne i sigurne interakcije autonomnih mobilnih robota i ljudi. U radu je opisana uspostava laboratorija i prikazan je njegov 20-godišnji razvoj, a potom su predstavljene osnovne informacije o njegovoj istraživačkoj djelatnosti, najznačajnijim znanstvenim postignućima, najvažnijim istraživačkim projektima, međunarodnoj suradnji te doprinosu razvoju znanosti i gospodarstva u Republici Hrvatskoj.*

Ključne riječi: *istraživački laboratorij, autonomni sustavi, mobilna robotika, interakcija robota i ljudi.*

1. Uvod

Nema sumnje da će robotika, kao disruptivna tehnologija, tijekom vremena sve više i više utjecati na sve aspekte ljudskoga života. Glavni izazov robotike u sljedećih nekoliko desetljeća bit će razvoj autonomnih robotskih sustava koji mogu obavljati složene zadatke u ljudskim okruženjima i sigurno surađivati s ljudima sa što manje ograničenja. Misija i vizija Laboratorija za autonomne sustave i mobilnu robotiku (LAMOR) jest pridonositi rješavanju navedenih glavnih izazova robotike budućnosti. LAMOR je istraživački laboratorij koji djeluje u okviru Zavoda za automatiku i

računalno inženjerstvo Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu. LAMOR je jedan od vodećih laboratorija u Republici Hrvatskoj u području robotike, a svoje je istraživačko djelovanje usmjerio na temeljna istraživanja algoritama upravljanja, estimacije i umjetne inteligencije s primjenom u razvoju sustava autonomije mobilnih robota i vozila u nepoznatim i dinamičkim okruženjima te sustava djelotvorne i sigurne interakcije autonomnih robota i ljudi.

U radu su predstavljene osnovne informacije o uspostavi i razvoju LAMOR-a, njegova istraživačka djelatnost, najznačajnija znanstvena postignuća, najvažniji istraživački projekti, međunarodna suradnja te doprinos razvoju znanosti i gospodarstva u Republici Hrvatskoj.

2. Uspostava i razvoj laboratorija LAMOR

Voditelj laboratorija LAMOR, prof. dr. sc. Ivan Petrović, započeo je s istraživanjima u području upravljanja autonomnim mobilnim robotima i vozilima krajem 1990-ih godina u okviru tima za napredno upravljanje (engl. Advanced Control Team) kojemu je voditelj bio prof. dr. sc. Nedjeljko Perić. Kada mu je 2002. na natječaju Ministarstva znanosti i obrazovanja (MZO) prihvaćen znanstveni projekt "Inteligentno upravljanje mobilnim robotima" (2002. – 2007.) prof. Petrović uspostavio je samostalnu istraživačku grupu AMOR za upravljanje mobilnim robotima (engl. Autonomous Mobile Robotics Group – AMOR) iz koje se tijekom vremena razvio današnji Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku (LAMOR) te se 2002. godina s pravom može smatrati godinom uspostave LAMOR-a – dakle, ove godine LAMOR obilježava svoju 20. godišnjicu djelovanja. AMOR je bio prva istraživačka grupa u Republici Hrvatskoj koja se počela sustavno baviti istraživanjima autonomnih mobilnih robota. U početku se istraživačka grupa AMOR sastojala od triju znanstvenih novaka (Kristijan Maček, Edouard Ivanjko i Mišel Brezak), a vrlo brzo se proširila s još dvoje znanstvenih novaka (Marija Seder i Andrej Kitanov). Svi su oni obranili doktorske disertacije i imaju uspješne karijere u sustavu znanosti (Kitanov), visokoga obrazovanja (Ivanjko, Seder) ili industriji kao voditelji istraživačkih timova (Maček, Brezak). Dodatno jačanje istraživačkoga kapaciteta AMOR grupe, odnosno tada već laboratorija LAMOR, dogodilo se 2007. godine, kada je LAMOR postao voditeljem novoga znanstvenoga projekta MZO-a "Upravljanje mobilnim robotima i vozilima u nepoznatim i dinamičkim okruženjima" (2007. – 2013.), koji je omogućio proširenje istraživačkoga tima s još dva znanstvena novaka (Ivan Marković i Srećko Jurić-Kavelj).

Punopravno članstvo Republike Hrvatske u 7. okvirnom programu Europske unije (EU FP7, 2007. – 2013.) otvorilo je nove prilike za financiranje jačanja istraživačkih

kapaciteta i istraživačkih aktivnosti na hrvatskim sveučilištima i znanstvenim institutima. LAMOR je tu priliku iskoristio tako da je pokrenuo i koordinirao EU FP7 projekt „ACROSS - Centre of Research Excellence for Advanced Cooperative Systems“ (2011. – 2015.; tada najveći EU projekt u Hrvatskoj s proračunom 3,35 milijuna EUR-a). Projekt ACROSS omogućio je LAMOR-u zapošljavanje šest novih istraživača i nabavu kapitalne znanstvene opreme u vrijednosti oko 450 tisuća EUR-a.

Od 2015. godine LAMOR je kao koordinator uključen u rad Istraživačke jedinice za napredne kooperativne sustave Znanstvenoga centra izvrsnosti za znanost o podatcima i kooperativne sustave (ZCI) koji uključuje istraživače iz 13 hrvatskih znanstvenih institucija s pet sveučilišta. Uz zapošljavanje troje novih istraživača, ZCI je LAMOR-u omogućio umrežavanje s najboljim istraživačkim laboratorijima u Republici Hrvatskoj koji provode komplementarna istraživanja.

U ovome času LAMOR-ov tim broji 20 djelatnika: troje nastavnika (Petrović, Seder, Marković), tri iskusna istraživača s doktoratom znanosti, dvanaest doktoranada te dvije administrativno-financijske voditeljice projekata. U tijeku je uspostava nove istraživačke grupe u LAMOR-u za primjenu umjetne inteligencije u robotici, koja se odvija u okviru šestogodišnjega projekta „AIFORS - ERA Chair in Artificial Intelligence in Robotics“ financirana s 2,5 milijuna EUR-a iz okvirnoga programa Obzor 2020 Europske unije. U tome smislu očekujemo da će se do kraja 2022. godine tim LAMOR-a povećati na 25 do 30 djelatnika.

3. Istraživačka djelatnost LAMOR-a

U prvim godinama djelovanja istraživačka je djelatnost u LAMOR-u bila usredotočena na razvoj algoritama za autonomnu navigaciju mobilnih robotskih platformi u zatvorenim unutarnjim prostorima, uz pretpostavku da se roboti gibaju po ravnim vodoravnim površinama i da percepcijski senzori daju dvodimenzionalne (2D) informacije o prostoru, tj. samo udaljenosti do prepreka u okruženju robota u vodoravnoj ravnini određenoj visinom njihove pozicije na robotskoj platformi. Najviše korišteni percepcijski senzori bili su 2D ultrazvučni i laserski senzori udaljenosti. Izgrađene su karte prostora bile dvodimenzionalne te su položaj robota i putanja njegova gibanja mogli biti određivani samo u 2D prostoru. Algoritmi za autonomnu navigaciju u 2D prostorima omogućuju primjenu autonomnih mobilnih robota samo u unutarnjim prostorima i to u primjenama u kojima se ne traži kohabitacija i suradnja robota s ljudima jer percepcijski senzori ne pružaju dovoljno informacija da bi se mogla jamčiti sigurnost ljudi u okruženju robota. Primjeri uspješnih primjena algoritma za autonomnu navigaciju u 2D prostorima jesu autonomni usisavači, autonomna vozila za prijevoz tereta u proizvodnim halama i skladištima i sl.

Međutim, roboti djeluju u trodimenzionalnom (3D) prostoru i od budućih se robota očekuje da potpuno autonomno obavljaju složene zadatke umjesto ljudi ili u suradnji s ljudima u širokom spektru primjena u unutarnjim i vanjskim prostorima. Istraživačka strategija LAMOR-a usklađena je s tim očekivanjima od budućih robota pa su istraživačke aktivnosti u LAMOR-u usmjerene na sljedeće četiri ključne istraživačke domene:

1. Robotska percepcija i višesenzorska fuzija – cilj je istraživanja pružiti robotima sposobnost razumijevanja i interpretacije okruženja u kojemu djeluju.
2. Lokalizacija robota i kartiranje prostora – cilj je istraživanja omogućiti robotima da na osnovi informacija iz svojih senzora autonomno određuju svoj položaj u prostoru te da izgrađuju kartu prostora.
3. Planiranje i upravljanje gibanjem robota – cilj je istraživanja omogućiti robotima učinkovito i sigurno gibanje u prostoru na temelju informacija dobivenih od modula za percepciju, lokalizaciju i kartiranje.
4. Sigurna interakcija robota s ljudima – cilj je istraživanja omogućiti kohabitaciju i suradnju autonomnih mobilnih robota i ljudi u istome okruženju.

U nastavku dajemo kratak pregled istraživačkih aktivnosti u LAMOR-u u svakoj od njegovih četiriju ključnih istraživačkih domena.

3.1. Robotska percepcija i višesenzorska fuzija

Istraživanja u području robotske percepcije dominantno su usredotočena na detekciju i praćenje gibajućih objekata i na prepoznavanje mjesta. U istraživanjima najčešće pretpostavljamo kamere kao percepcijske senzore, ali se zbog povećanja robusnosti percepcije u većini primjena moraju koristiti i drugi senzorski modaliteti (lidari, radari, termokamere ...) pa istražujemo i algoritme višesenzorske fuzije.

Modul za detekciju i praćenje gibajućih objekata vrlo je važan dio sustava za autonomiju mobilnih robota jer omogućuje zaključivanje o trenutačnom položaju objekata u okruženju kao i njihovim budućim trajektorijama, što je preduvjet za planiranje učinkovitog i sigurnog gibanja robota kroz prostor. Zadaća je modula estimirati broj gibajućih objekata u sceni i njihova stanja, što je otežano šumom u senzorskim podacima, lažnim mjerenjima (mjerenja koja nisu došla od samih objekata) i nepoznavanjem funkcije pridruživanja mjerenja i objekata. To može imati za posljedicu da broj mjerenja ne odgovara broju gibajućih objekata u sceni i da nije uvijek jasno koji je objekt uzrokovao koje mjerenje. Za detekciju i praćenje gibajućih objekata razvijene su metode zasnovane na (i) vjerojatnosnom pridruživanju (engl. probabilistic data association, PDA), (ii) praćenju više hipoteza (engl. multiple-hypothesis tracking, MHT) i (iii) slučajnim konačnim skupovima (engl. random finite sets, RFS).

LAMOR je u ovome području napravio nekoliko vrijednih doprinosa. Jedan od prvih doprinosa bilo je praćenje govornika poljem mikrofona na robotskoj platformi (Slika 1). Mjerenja smo modelirali kružnom von Misesovom razdiobom uvažavajući činjenicu da je poljem mikrofona moguće odrediti samo kut, a ne i udaljenost do izvora zvuka [1]. Potom smo razvili filtre gustoće hipoteze vjerojatnosti (engl. Probability Hypothesis Density Filter) s mogućnošću praćenja objekata na ne-Euklidskim geometrijama, poput kružnice, sfere i Lievih grupa (primjeri su prikazani na Slici 1) [2], [3]. Time se intrinzično u obzir uzima geometrija prostora i ispravno se modeliraju nesigurnosti. Također smo za PDA metode razvili pristup koji omogućuje praćenje više gibajućih objekata na sferi te općenito Riemannovim mnogostrukostima [4], [5]. Nadalje, nesigurnost senzora poput radara i stereokamera može se točnije modelirati na Lievim grupama za što smo razvili PDA metodu za praćenje vozila fuzijom tih senzora [6]. Primjer praćenja gibajućih objekata i eksperimentalni postav senzora prikazan je na Slici 2. Sličnu teoretsku pozadinu filtra na Lievim grupama iskoristili smo i na problemu estimacije položaja čovjeka. Slika 3 prikazuje snimku evaluacije predloženoga pristupa koji je zasnovan na proširenom Kalmanovu filtru na Lievim grupama (LG-EKF) te model opisa kinematike ljudskoga tijela [7].

Da bi se osigurala robusna percepcija autonomnih sustava, često je nužno koristiti više heterogenih senzora koji zbog različitih fizikalnih načela mjerenja stanja okruženja omogućuju određenu razinu redundantnosti. Međutim, za fuziju informacija sustava heterogenih percepcijskih senzora potrebno je njegovo ekstrinzično i vremensko umjeravanje, odnosno određivanje relativne transformacije između senzora i njihovih satova, kako bi se mjerenja mogla dovesti u ispravan odnos. LAMOR je razvio opću metodu za ekstrinzično i vremensko umjeravanje koja je zasnovana na estimaciji primjenom Gaussovih procesa [8].

Naši aktualni istraživački izazovi u ovome području odnose se na razvoj metoda estimacije stanja na tangencijalnom svežnju Riemannovih mnogostrukosti i metoda ekstrinzičnoga umjeravanja heterogenih senzorskih sustava estimacijom vlastitih trajektorija te njihovom fuzijom s metodama koje smo već razvili.

Slika 1: Mobilni robot s poljem mikrofona (lijevo) te primjeri praćenja izvora zvuka na kružnici (sredina) i sferi (desno) uz prisustvo šuma i lažnih mjerenja

Slika 2: Primjer praćenih objekata fuzijom radara i stereokamere (lijevo). Žute kružnice su praćeni objekti, zelene su mjerenja radara, a crveni pravci predstavljaju optički tok uzrokovan gibajućim objektima (desno)

Slika 3: Estimacija položaja čovjeka pomoću metoda filtriranja na Lievim grupama. Primjer eksperimentalne evaluacije (lijevo) i modela kinematike ljudskog tijela (desno)

3.2. Lokalizacija robota i kartiranje prostora

Istodobna lokalizacija robota i kartiranje prostora (engl. Simultaneous Localization And Mapping, SLAM) ključni je modul sustava autonomije robota u novim nepoznatim prostorima. SLAM je zahtjevan problem jer robot mora istodobno graditi kartu nepoznatoga prostora i lokalizirati se u njoj (Slika 4, lijevo). Najčešće su pristupi SLAM-u zasnovani na vizualnim senzorima ili lidarima (dodatno potpomognutima odometrijom s kotača ili inercijskim mjernim jedinicama), ali se u zadnje vrijeme koriste i napredne inačice radarskih senzora s pojačanom rezolucijom te događajne kamere [9]. SLAM se sastoji od dvaju podmodula: prvi je zadužen za izlučivanje informacija iz senzorskih mjerenja i određivanje trajektorije senzora (odometrija), a drugi je zadužen za osiguranje globalno konzistentne estimacije trajektorije jer zbog šuma mjerenja odometrijski modul često zna biti opterećen sustavnim pogreškama.

U ovome je području LAMOR napravio značajne istraživačke iskorake. U [10] smo predstavili tzv. SOFT stereovizualnu odometriju i na njoj zasnovan SLAM, koja je postigla najbolji rezultat među vizualnim pristupima na javno dostupnom podatkov-

nom skupu KITTI na kojemu istraživači iz cijeloga svijeta evaluiraju svoje algoritme vizualne odometrije i SLAM-a. Taj je rezultat predstavljen 2017. godine, a nedavno je LAMOR razvio i SOFT2 inačicu stereovizualne odometrije koja je na podatkovnom skupu KITTI pobijedila čak i pristupe zasnovane na lidaru [11]. To je postignuće dobrim dijelom i rezultat iznimno točnoga umjeravanja stereovizijskoga sustava [12]. Vizualna odometrija i SLAM također su korišteni za lokalizaciju radnika u robotiziranom skladištu (Slika 4, desno), gdje je sustav kamera bio smješten na prsluku u lumbalnom dijelu leđa kako bi što manje ometao radnika u njegovu radu [13]. Nadalje, razvili smo i SLAM s 3D lidarom zasnovan na registraciji planarnih površinskih segmenata [14]. Slika 5 prikazuje proces kooperativne izgradnje karte grada gdje tri različita vozila opremljena 3D lidarima zasebno grade lokalne karte koje se u oblaku spajaju u jednu globalno konzistentnu kartu. LAMOR je također razvio i teorijske osnove za nove metode estimacije za SLAM zasnovane na proširenome informacijskome filtru na Lievim grupama [15], [16]. Na koncu, u suradnji s istraživačima sa Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, razvili smo metodu za prepoznavanje mjesta pomoću planarnih površina i linijskih segmenata [17] te metodu uparivanja nizova slika pomoću značajki dobivenih dubokim neuronskim mrežama [18]. Prepoznavanje mjesta koja je robot ranije posjetio ključno je za osiguranje globalno konzistentne estimacije trajektorije jer omogućuje tzv. “zatvaranja petlje” u SLAM-u kada se ispravljaju akumulirane sustavne pogreške odometrije uzrokovane zašumljenim mjerenjima pomaka odometrijom. Problem prepoznavanja mjesta vrlo je izazovan jer se vremenom prostor može mijenjati, npr. zbog mijenjanja rasporeda namještaja u zatvorenom prostoru ili promjene godišnjih doba (Slika 6).

Naši aktualni istraživački izazovi u ovome području odnose se na odometriju i SLAM s događajnim kamerama, semantičko-geometrijski SLAM te korištenje dubokih neuronskih mreža u procesu estimacije vlastitoga gibanja kamere.

Slika 4: Primjer istodobne lokalizacije i kartiranja prostora stereokamerom (lijevo) i lokalizacija radnika u robotiziranom skladištu sustavom kamera instaliranih na njegovu prsluku (desno)

Slika 5: Primjer kooperativne izgradnje karte s tri vozila i 3D lidarom.

Slika 6: Prepoznavanje mjesta kamerom – varijacije u dobu dana i godišnjem dobu.

3.3. Planiranje i upravljanje gibanjem robota

Algoritmi planiranja i upravljanja gibanjem izračunavaju trajektorije gibanja robota na temelju karakteristika i stanja robota i stanja okruženja koje dobiva od modula za

percepciju i modula za lokalizaciju i kartiranje te zadatka koji robot treba izvršiti. Istraživanja u LAMOR-u dominantno su usredotočena na planiranje i upravljanje gibanjem mobilnih robotskih platformi i vozila u složenim dinamičkim okruženjima, a u zadnjih nekoliko godina i planiranjem gibanja u visokodimenzionalnim prostorima za redundantne robote s velikim brojem stupnjeva slobode.

Metode planiranja i upravljanja gibanjem mobilnih robotskih platformi i vozila mogu se ugrubo podijeliti u dvije skupine: (1) metode koje prvo planiraju geometrijsku putanju robota te ju potom zaglađuju i generiraju trajektoriju robota poštujući njegova kinematička i dinamička ograničenja i (2) metode koje upravljaju gibanjem robota minimizacijom navigacijske funkcije radi dostizanja ciljne pozicije u prostoru. LAMOR je ostvario značajne doprinose u objema navedenim skupinama metoda.

Prvoj skupini metoda planiranja i upravljanja gibanjem mobilnih robotskih platformi i vozila pripada naša tzv. TWD* metoda planiranja geometrijske putanje mobilnoga robota [19]. Metoda pronalazi najkraću moguću putanju u mrežastoj karti zauzeća prostora s najmanjim mogućim brojem promjena smjera putanje i s proizvoljnim kutovima promjene smjera. Dodatno, razvili smo i hijerarhijski algoritam planiranja geometrijskih putanja u vrlo velikim prostorima [20], kao što su primjerice prostori sastavljeni od više katova ili čak više zgrada. Algoritam radi hijerarhijsku apstrakciju modela prostora da bi smanjio složenost grafa mogućih putanja, a samo na donjoj, najdetaljnijoj razini, izračunava parcijalne putanje između ključnih točaka u prostoru kao što su položaj vrata, raskrižja putova i slično, dok na višim razinama koristi te parcijalne putanje kao veze između apstraktnih čvorova, čime ubrzava izračun puta u grafu (Slika 7). Za zaglađivanje isplaniranih geometrijskih putanja razvili smo algoritam zasnovan na klotoidama [21] koji ih izračunava u stvarnome vremenu. Prednosti primjene klotoida proizlaze iz njihova linearnog profila zakrivljenosti koji omogućuje uključenje ograničenja bočnih, translacijskih i rotacijskih ubrzanja robota te posljedično vremenski optimalno gibanje robota dok slijedi zaglađenu putanju. Opisana je metoda posebno pogodna u primjenama u kojima je potrebno osigurati da robot/vozilo što točnije slijedi zadanu putanju gibanja, npr. iscrpno prekrivanje prostora za njegovo čišćenje, razminiranje (Slika 8) i sl. Nadalje, razvili smo i tzv. HE* metodu [22] koja integrira planiranje i zaglađivanje puta, čime se izbjegava potreba naknade provjere moguće kolizije zaglađenoga puta s preprekama.

Drugoj skupini metoda planiranja i upravljanja gibanjem mobilnih robotskih platformi i vozila pripada naša metoda zasnovana na navigacijskoj funkciji i algoritmu s pomičnim horizontom [23], [24]. Navigacijska funkcija slična je kontinuiranoj funkciji umjetnih potencijalnih polja, ali nema lokalnih minimuma, nego samo globalni minimum u ciljnoj poziciji robota. Metoda generira navigacijsku funkciju interpolacijom diskretnih cijena puta do cilja, čime je postignuta računska jednostavnost. Algoritam s pomičnim horizontom izračunava moguće lokalne trajektorije robota optimizacijom prema iznosima navigacijske funkcije po njegovim

Slika 7: Hijerarhijska apstrakcija velikih prostora od najdetaljnije razine RD do najapstraktnije.

Slika 8: Vozilo KOMODO tvrtke DOK-ING izvodi algoritam patroliranja na prostoru 200x200 m^2 prikazanog oblakom točaka senzora Velodyne.

mogućim budućim stanjima u zadanome vremenskom horizontu. Moguće lokalne trajektorije robota dobiju se evolucijom stanja na osnovi njegova kinematičkoga modela na koje su primijenjene upravljačke veličine (brzine robota). Optimalna je lokalna trajektorija robota ona koja ostvaruje minimum prema iznosima navigacij-

ske funkcije i njezina se prva upravljačka vrijednost prosljeđuje robotu određujući njegovo gibanje. Opisani se postupak ponavlja u svakom vremenskom intervalu upravljačkoga algoritma sve dok robot ne dođe u ciljnu poziciju. Na Slici 9 prikazana je primjena algoritma na svesmjernome robotu složenog oblika. Opisana je metoda posebno pogodna za navigaciju u izrazito dinamičnim prostorima (npr. gdje zajedno rade roboti i ljudi) jer omogućuje brzo replaniranje putanje pri pojavi nepoznatih prepreka na putanji robota.

Slika 9: Navigacija svesmjernoga robota Kuka OmniRob u uskom prolazu.

Opisane metode planiranja i upravljanja gibanjem mobilnih robotskih platformi pretpostavljaju da je karta prostora poznata pa nisu primjenjive u nepoznatim prostorima kada je uz problem planiranja istodobno potrebno rješavati i SLAM problem. Algoritmi planiranja u nepoznatim prostorima trebaju osigurati potpuno autonomnu izgradnju cjelovite i točne karte prostora u što kraćem vremenu, što je zahtjevan zadatak. U LAMOR-u smo razvili algoritam koji minimizira duljinu putanje robota potrebne za cjelovito modeliranje prostora [25], [26] i algoritam koji ciljano prolazi i kroz područja prostora koja su već modelirana radi poboljšanja točnosti modela [27].

Metode planiranja gibanja mobilnim robotskim platformama nisu prikladne za planiranje gibanja u visokodimenzionalnim prostorima za redundantne robote s velikim brojem stupnjeva slobode jer se povećanjem dimenzionalnosti prostora njihova računska složenost jako povećava. Noviji pristupi planiranju gibanja u visokodimen-

zionalnim prostorima zasnivaju se na optimizaciji trajektorija. LAMOR je u ovome području napravio nekoliko doprinosa. Glavni se doprinosi odnose na rješavanje problema lokalnih minimuma pri optimizaciji trajektorija modeliranih kontinuiranim Gaussovim procesima. U [28] smo predstavili metodu zasnovanu na heteroskedastičnim Gaussovim procesima i stohastičkoj optimizaciji, a u [29] metodu s mješavinama Gaussovih procesa s mogućnošću uključenja nediferencijabilnih ograničenja. Metode su testirane na problemu planiranja gibanja mobilnoga manipulatora s 10 stupnjeva slobode i dvoručnoga robotskog manipulatora s 14 stupnjeva slobode (Slika 10). Nadalje, planiranje gibanja u visokodimenzionalnim prostorima zahtijeva i rješavanje problema singulariteta i inverzne kinematike, što je složen zadatak za redundantne robotske konfiguracije s velikim broje stupnjeva slobode. U [30] smo predstavili metodu praćenja približavanja robota singularitetima zasnovanu na Riemannovim mnogostrukostima koja omogućuje uključivanje metrike u metode planiranja gibanja s ciljem da robot bude što je više moguće udaljen od singulariteta. U [31] i [32] smo predstavili novi pristup modeliranju kinematike robota i ograničenja zasnovan na invarijantnim udaljenostima ključnih točaka robotske konfiguracije. Geometrija udaljenosti točaka može se povezati s Gram matricama fiksnoga ranga, što predstavlja Riemannovu mnogostrukost i otvara mogućnost korištenja postojećih metoda optimizacije razvijenih za takve geometrije. Ilustracija je ovih pristupa prikazana na Slici 11. Naši aktualni istraživački izazovi u ovome području odnose se na razvoj metoda planiranja gibanja koje uključuju i dinamičke objekte, uzimajući u obzir i nesigurnosti njihova stanja, te na korištenje grafovskih neuronskih mreža za rješavanje problema inverzne kinematike.

Slika 10: Planiranje gibanja mobilnoga manipulatora (lijevo) i dvoručnoga robotskog manipulatora (desno)

Slika 11: Ilustracija modeliranja kinematike robotskoga manipulatora euklidskim udaljenostima između ključnih točaka (lijevo) te planiranje gibanja različitih manipulatora u prostoru s više prepreka (desno)

3.4. Sigurna interakcija robota s ljudima

Svakodnevna interakcija robota i ljudi neminovna je bliska budućnost. Međutim, osim učinkovite suradnje, nužno je da ta interakcija bude i sigurna za ljude. Jedan od ključnih istraživačkih izazova učinkovite i sigurne interakcije robota i ljudi jest estimacija namjere i djelovanja čovjeka. Problem je vrlo izazovan jer se namjera ne može izravno mjeriti, nego robot o namjeri čovjeka s kojim surađuje mora zaključivati iz konteksta i samoga djelovanja čovjeka. Nadalje, algoritmi estimacije namjere čovjeka moraju biti i računski učinkoviti da bi se mogli koristiti tijekom interakcije. Algoritmi estimacije namjere ljudi najčešće se zasnivaju na Markovljevim procesima odlučivanja, skrivenim Markovljevim procesima i dubokim neuronskim mrežama.

U ovome je području LAMOR započeo istraživanja sa svrhom estimacije djelovanja čovjeka u robotiziranim skladištima [33]. Cilj je toga istraživanja bio prepoznavanje namjere radnika, odnosno prepoznavanje u koji je od konačnoga broja ciljeva radnik krenuo. Ta se informacija koristi za uočavanje odstupanja cilja radnikove kretnje od planiranoga cilja, kako bi se pravovremeno replanirale putanje robota u skladištu i time zadržala učinkovitost rada cijeloga skladišta. Provođenje eksperimenata za testiranje razvijenih algoritama u stvarnom robotiziranom skladištu (Slika 12, lijevo) jako je zahtjevno jer su skladišta u funkciji cijeli dan i noć te ne postoji mogućnost mijenjanja konfiguracije prostora. Iz toga su razloga predloženi i provedeni eksperimenti u virtualnoj stvarnosti (Slika 12, sredina) gdje je bilo moguće vrlo jednostavno mijenjati konfiguraciju prostora i ponašanje robota. Nadalje, u nešto drugačijem kontekstu, razvili smo i algoritam estimacije čovjekove namjere u suradnim prostorima [34] gdje algoritam treba odrediti koji objekt u prostoriji čovjek namjerava uzeti (Slika 12, desno). Algoritam je zasnovan na dubokim povratnim neuronskim mrežama koje su

učene na signalima poput položaja čovjekove ruke i smjera gledanja. Aktualna istraživanja u LAMOR-u odnose se na uključivanje estimacije namjere čovjeka u proces planiranja gibanja robota i uočavanje suptilnih signala ponašanja pomoću vizualnih senzora radi što točnije i pravovremene estimacije namjere čovjeka.

Slika 12: Fotografija robotiziranoga skladišta projektnoga partnera Swisslog (lijevo), eksperiment u virtualnom skladištu (sredina) i primjer eksperimenta za procjenu djelovanja čovjeka u suradnom prostoru (desno)

4. Najznačajniji rezultati istraživačkoga djelovanja LAMOR-a

4.1. Znanstvenoistraživački rezultati

Istraživači LAMOR-a objavili su rezultate svojih istraživanja u više od 70 radova u časopisima i poglavljima u znanstvenim knjigama (od toga 55 radova u časopisima u bazi WoS Core Collection) te u više od 220 radova u zbornicima radova znanstvenih skupova. Ti su radovi do sada citirani više od 1500 puta u bazi Web of Science, više od 2400 puta u bazi SCOPUS i više od 4100 puta u bazi Google Scholar. Osim toga, objavili su oko 50 stručnih radova, studija, elaborata i tehničkih izvještaja. Na međunarodnim znanstvenim skupovima, dva su rada članova LAMOR-a dobila nagradu za najbolji članak (engl. Best Paper Award), a dva za najbolji studentski članak (engl. Best Student Paper Award). Nadalje, za svoja su znanstvena postignuća članovi LAMOR-a dobili više od 20 nagrada i priznanja; od FER-a, Sveučilišta u Zagrebu, HATZ-a, HAZU-a, državnih tijela i inovacijskih sajmova. U laboratoriju je obranjeno 19 doktorskih disertacija, a trenutačno je 14 studenata na doktorskome studiju pod mentorstvom nastavnika LAMOR-a. Također, u svoja istraživanja redovito uključujemo studente diplomskoga studija tako da je više od 200 studenata izradilo svoje diplomske radove u laboratoriju.

4.2. Istraživački projekti

Istraživačka djelatnost LAMOR-a dominantno je financirana sredstvima projekata prihvaćenih na kompetitivnim natječajima. Samo su plaće troje nastavnika (Petro-

vić, Seder, Marković) financirane sredstvima iz državnoga proračuna, dok su plaće svih ostalih, sadašnjih i bivših članova LAMOR-a financirane sredstvima ugovorenih projekata. U LAMOR-u je od njegova osnivanja do sada provedeno ili je još uvijek u provedbi ukupno 27 međunarodnih znanstvenih projekata (od toga 1 FP5, 1 FP6, 4 FP7 i 7 H2020 projekata) i 32 domaća znanstvena i stručna projekta. Ukupna financijska vrijednost tih projekata iznosi oko 18 milijuna EUR-, od čega je po oko 8 milijuna EUR-a vrijednost projekata financiranih iz okvirnih programa Europske unije i iz Europskog fonda za regionalni razvoj.

U drugome poglavlju ukratko smo naveli doprinose projekata koji su dominantno pridonijeli razvoju istraživačkih kapaciteta LAMOR-a, a u nastavku ukratko opisujemo rezultate 10 odabranih znanstvenoistraživačkih i razvojno-istraživačkih projekata:

1. SafeLog – Safe human-robot interaction in logistic applications for highly flexible warehouses, EU H2020 project, H2020-ICT-2015, Project No.: 688117 (http:safelog-project.eu/). LAMOR je razvio holistički sigurnosni koncept interakcije robota i ljudi u skladištima zasnovan na sigurnosnom prsluku koji je opremljen kamerama, antenama i drugim senzorima.

2. L4MS – Logistics for Manufacturing SMEs, EU H2020 project, H2020-FOF-2017, Project No.: 767642 (http:www.l4ms.eu/). LAMOR je razvio algoritme navigacije mobilnih robotskih platformi za skladišta te ih provjerio u skladištu projektnoga partnera.

3. RoboCom++ – Rethinking Robotics for the Robot Companion of the future, FLAG–ERA JTC 2016, Joint Transnational Call – Topic: Cooperative Robots (http:robocomplusplus.eu/). LAMOR je razvio algoritme za računski učinkovitu gustu detekciju gibajućih objekata u slici i praćenje gibanja ljudi.

4. EOLO – Wind generator remote inspection system, European FP7 project, FoF-ICT-2013.7.1 Project No. 608849. LAMOR je razvio algoritam istodobne lokalizacije drona za inspekciju vjetroturbina i kartiranje prostora zasnovan na stereoviziji.

5. CloudSLAM – Cooperative cloud based simultaneous localization and mapping in dynamic environments, Unity Through Knowledge Fund, Grant No. 24/15 (https:cloudslam.fer.hr/). LAMOR je razvio algoritme za kooperativnu višerobotsku istodobnu lokalizaciju i izgradnju konzistentne globalne karte prostora u oblaku.

6. ThermalMapper – Thermal 3D Modeling of Indoor Environments for Saving Energy, SEE-ERA.NET Plus, Joint European Research Project, Ref. Nr ERA 14/01. LAMOR je razvio algoritme planiranja gibanja robota u nepoznatome prostoru koji osiguravaju autonomno istraživanje prostora i izgradnju cjelovite geometrijske i toplinske karte prostora.

7. A-UNIT – Istraživanje i razvoj napredne jedinice za autonomno upravljanje mobilnim vozilima u logistici, Europski fond za regionalni razvoj, IRI II, korisnik Gideon Brothers d.o.o., OPKK 2014.-2020. LAMOR razvija algoritme dinamičkoga planiranja gibanja mobilnih vozila u velikim skladištima koji osiguravaju sigurno i učinkovito gibanje robota između gibajućih objekata i ljudi te algoritme umjeravanja senzora na mobilnom vozilu.
8. SafeTRAM – Sustav za povećanje sigurnosti vožnje javnog urbanog tračničkog prometa, Europski fond za regionalni razvoj, IRI, korisnik Končar – Institut za elektrotehniku d.d., OPKK 2014.-2020. LAMOR je razvio algoritme za detekciju i praćenje gibajućih objekata ispred urbanoga tračničkog vozila te algoritme za lokalizaciju vozila s ciljem pomoći vozaču vozila u sigurnosno kritičnim prometnim situacijama.
9. DUV-NRKBE – Razvoj daljinski upravljanoga vozila za djelovanje u ekstremnim NRKBE uvjetima, Europski fond za regionalni razvoj, IRI, korisnik Dok-Ing d.o.o., OPKK 2014.-2020. LAMOR je razvio algoritme koji omogućuju autonomiju daljinski upravljanoga vozila u ekstremnim NRKBE uvjetima u slučaju gubitka komunikacije vozila i stanice za daljinsko upravljanje.
10. EKO-KOMVOZ – Ekološki prihvatljivo vozilo za čišćenje javnih površina sa sustavima autonomnog upravljanja zasnovanim na umjetnoj inteligenciji, Europski fond za regionalni razvoj, IRI II, korisnik RASCO tvornica komunalne opreme, d.o.o., OPKK 2014.-2020. LAMOR razvija algoritme za percepciju i interpretaciju scene ispred vozila za čišćenje koji su dio sustava pomoći vozaču vozila u obavljanju zadataka čišćenja.

4.3. Međunarodna suradnja

LAMOR je tijekom svoga djelovanja postao prepoznat i u međunarodnim okvirima kao relevantan laboratorij za istraživanja u području autonomnih i robotskih sustava, što se najviše ogleda u međunarodnoj znanstvenoj suradnji s brojnim srodnim istraživačkim grupama i laboratorijima na zajedničkoj provedbi međunarodnih kolaborativnih istraživačkih projekata, poglavito projekata iz okvirnih programa Europske unije (13 projekata, kao što je navedeno u potpoglavlju 4.2). Na međunarodnim je projektima ili zajedničkim publikacijama LAMOR ostvario partnerstva s istraživačkim i razvojnim timovima s više od 50 inozemnih znanstvenoistraživačkih institucija i visokotehnoloških poduzeća, a ovdje navodimo samo nekoliko najznačajnijih institucija za koje možemo reći da smo s njima uspostavili strateška partnerstva: Karlsruhe Institute of Technology (Germany), Royal Institute of Technology (Sweden), Czech Technical University in Prague (Czech Republic), Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML (Germany), University of Toronto Institute for Aerospace Studies (Canada), INRIA Rennes-Bretagne Atlantique (France), VTT Technical

Research Centre (Finland), Julius-Maximilians-University Würzburg (Germany) i The University of Vienna (Austria).

Snažan doprinos povećanju međunarodne vidljivosti i suradnje LAMOR-a ostvaren je i aktivnim sudjelovanjem njegovih članova, osobito nastavnika, u programskim i organizacijskim odborima međunarodnih znanstvenih konferencija. Nastavnici LAMOR-a do sada su sudjelovali u programskim odborima 60-ak znanstvenih konferencija, a imali su (su)predsjedateljske uloge na 16 međunarodnih konferencija, od čega su ih sedam organizirali u Hrvatskoj. Od posebnoga su značaja za međunarodnu prepoznatljivost LAMOR-a sljedeće tri konferencije koje smo organizirali u Hrvatskoj: (i) 4th European Conference on Mobile Robots – ECMR09, Mlini/Dubrovnik (2009), (ii) 10th IFAC Symposium on Robot Control – SYROCO'12, Dubrovnik (2012) i (iii) 17th International Conference on Intelligent Autonomous System (IAS-17) koja će se održati 13. – 16. lipnja 2022. u Zagrebu. Radi održavanja i širenja mreže međunarodnih kontakata redovito organiziramo međunarodne radionice s pozvanim predavačima iz inozemstva – do sada smo ih organizirali ukupno osam. Nadalje, članovi LAMOR-a redovito su recenzenti radova za vodeće robotičke časopise i konferencije te su aktivni u relevantnim međunarodnim strukovnim udrugama (IEEE–Institute of Electrical and Electronic Engineers i IFAC–International Federation of Automatic Control). Primjerice, voditelj laboratorija predsjednik je IFAC-ova Tehničkoga odbora za robotiku, a drugo dvoje nastavnika članovi su istoga odbora. Međunarodna prepoznatljivost LAMOR-a rezultirala je i time da su njegovi nastavnici održali 20-ak pozvanih predavanja u inozemstvu te da su sudjelovali u povjerenstvima za ocjenu/obranu osam doktorskih disertacija na renomiranim europskim sveučilištima i da je voditelj laboratorija sumentor dviju disertacija na inozemnim sveučilištima.

4.4. Doprinos razvoju znanosti i gospodarstva u Hrvatskoj

Istodobno s razvojem vlastitih znanstvenoistraživačkih kapaciteta LAMOR pridonosi razvoju znanstvenoistraživačkih kapaciteta FER-a i drugih srodnih institucija u Republici Hrvatskoj. Prvi značajniji doprinos ostvaren je pokretanjem i koordinacijom znanstvenoga programa "Inteligentni robotski sustavi i autonomna vozila" (2007. – 2013.). U program je bilo uključeno pet srodnih znanstvenih projekta (četiri projekta na FER-u i jedan projekt na PMF-u) s više od 30 istraživača u znanstvenim zvanjima i s 15-ak znanstvenih novaka. To je bio prvi organizirani tim značajnijega istraživačkoga kapaciteta u Republici Hrvatskoj koji je sustavno provodio istraživanja u području inteligentnih robotskih sustava i autonomnih vozila. Drugi je značajni doprinos, koji je iznimno pridonio jačanju znanstvenoistraživačkih kapaciteta i znanstvene izvrsnosti FER-a u području naprednih kooperativnih sustava (kooperativnih: robotskih sustava, umreženih ugradbenih sustava i sustava obnovljive energije), ostvaren pokretanjem i koordinacijom EU FP7 projekta „ACROSS - Centre

of Research Excellence for Advanced Cooperative Systems“ (2011. – 2015.; tada najveći EU projekt u Hrvatskoj s proračunom 3,35 milijuna EUR-a za FER). Projekt je uključivao 14 istraživačkih grupa iz sedam zavoda FER-a i na njemu je ostvarena suradnja sa 16 sveučilišta iz 10 država Europske unije i tri industrijska partnera iz Republike Hrvatske (Končar – Institut za elektrotehniku, Ericsson Nikola Tesla i Dok-Ing). Projekt je omogućio zapošljavanje 26 doktoranada i poslijedoktoranda (zahvaljujući projektu četvero poslijedoktoranda trajno se vratilo u Republiku Hrvatsku) te nabavu kapitalne znanstvene opreme (vrijednosti oko 1 milijun EUR-a). Treći je značajni doprinos ostvaren pokretanjem i koordinacijom rada "Istraživačke jedinice za napredne kooperativne sustave" u okviru "Znanstvenoga centra izvrsnosti za znanost o podatcima i kooperativne sustave" (2015. – 2025.) koja uključuje istraživače iz šest znanstvenih institucija s pet hrvatskih sveučilišta, čime je omogućeno jačanje znanstvenoistraživačkih kapaciteta na razini cijele Hrvatske. Na koncu, u zadnjih je desetak godina na projektima koje koordinira LAMOR u prosjeku zaposleno 30 do 35 doktoranada, od čega oko polovice izrađuje svoje disertacije u drugim laboratorijima FER-a ili hrvatskih partnerskih institucija uključenih u te projekte.

Doprinos razvoju gospodarstva u Republici Hrvatskoj LAMOR ostvaruje na više načina, a najizravniji su sljedeći: (i) intenzivna suradnja s hrvatskom industrijom kroz izravno ugovorene znanstvene i razvojno-istraživačke projekte te kroz zajedničku provedbu projekta industrijskoga istraživanja i eksperimentalnoga razvoja dobivenih na kompetitivnim natječajima s ciljem primjene rezultata istraživanja provedenih u LAMOR-u (do sada je uspješno provedeno 20-tak projekata u suradnji s hrvatskim poduzećima), (ii) 13 od ukupno 19 doktora znanosti koji su doktorirali u LAMOR-u djeluje u hrvatskome gospodarstvu obnašajući vodeće razvojno-istraživačke ili menadžerske funkcije, a neki su i suosnivači uspješnih novih poduzeća (primjerice, Gideon Brothers d.o.o.), (iii) LAMOR je suosnivač Hrvatskoga robotičkog digitalnog inovacijskog središta (CROBOHUB) u Inovacijskome Centru Nikola Tesla (2016.) te je u okviru CROBOHUB-a pokrenuo i provodi četiri inovacijska projekta iz okvirnoga programa Obzor 2020 Europske unije s ciljem primjene robota i umjetne inteligencije u automatizaciji proizvodnje u malim i srednjim poduzećima i (iv) provedbom cjeloživotnog obrazovanja stručnoga osoblja iz industrije kroz specijalističke poslijediplomske studije (LAMOR je uključen u provedbu studija „Željeznički elektrotehnički sustavi“) i seminare u području automatizacije u industriji (LAMOR-ove seminare u suradnji s poduzećem Siemens d.d. do sada je pohađalo više od 1200 polaznika).

5. Zaključak

Uspostavom Laboratorija za autonomne sustave i mobilnu robotiku (LAMOR) u Zavodu za automatiku i računalno inženjerstvo Fakulteta elektrotehnike i računar-

stva Sveučilišta u Zagrebu stvoren je okvir za provedbu organiziranih i strukturiranih istraživanja u području robotike usmjerenih na temeljna istraživanja algoritama upravljanja, estimacije i umjetne inteligencije s primjenom u razvoju sustava autonomije mobilnih robota i vozila u nepoznatim i dinamičkim okruženjima te sustava djelotvorne i sigurne interakcije autonomnih robota i ljudi. U svojih 20 godina istraživačkoga djelovanja LAMOR je ostvario zapažene znanstvenoistraživačke rezultate, izgradio relevantan istraživački kapacitet i uspješno proveo veliki broj znanstvenih i razvojno-istraživačkih projekata, što je rezultiralo zamjetnom međunarodnom prepoznatljivošću i suradnjom s većim brojem srodnih istraživačkih grupa na vodećim europskim i svjetskim sveučilištima te značajnim doprinosima razvoju znanstveno-istraživačkih kapaciteta i gospodarstva utemeljena na znanju u Republici Hrvatskoj.

Literatura

[1] Marković, Ivan; Petrović, Ivan. Speaker Localization and Tracking with a Microphone Array on a Mobile Robot using von Mises Distribution and Particle Filtering. Robotics and Autonomous Systems. 58 (2010) , 11; 1185-1196.

[2] Marković, Ivan; Ćesić, Josip; Petrović, Ivan. Von Mises Mixture PHD Filter. IEEE Signal Processing Letters. 22 (2015) , 12; 2229-2233.

[3] Ćesić, Josip; Marković, Ivan; Petrović, Ivan. Mixture Reduction on Matrix Lie Groups. IEEE Signal Processing Letters. 24 (2017) , 11; 1719-1723

[4] Marković, Ivan; Bukal, Mario; Ćesić, Josip; Petrović, Ivan. Multitarget Tracking with the von Mises-Fisher Filter and Probabilistic Data Association. Journal of Advances in Information Fusion. 11 (2016) , 2; 157-172.

[5] Bićanić, Borna; Marković, Ivan; Petrović, Ivan. Multi-Target Tracking on Riemannian Manifolds via Probabilistic Data Association IEEE Signal Processing Letters, 28 (2021), 1555-1559.

[6] Ćesić, Josip; Marković, Ivan; Cvišić, Igor; Petrović, Ivan. Radar and Stereo Vision Fusion for Multitarget Tracking on the Special Euclidean Group. Robotics and Autonomous Systems. 83 (2016) ; 338-348.

[7] Joukov, Vladimir; Ćesić, Josip; Westermann, Kevin; Marković, Ivan; Petrović, Ivan; Kulić, Dana. Estimation and observability analysis of human motion on Lie groups. IEEE Transactions on Cybernetics, 50 (2020), 3; 1321-1332.

[8] Peršić, Juraj; Petrović, Luka; Marković, Ivan; Petrović, Ivan. Spatiotemporal Multisensor Calibration via Gaussian Processes Moving Target Tracking IEEE Transactions on Robotics (2021).

[9] Hadviger, Antea; Marković, Ivan; Petrović, Ivan. Stereo Dense Depth Tracking Based on Optical Flow using Frames and Events Advanced Robotics, 35 (2020), 3-4; 141-152.

[10] Cvišić, Igor; Ćesić, Josip; Marković, Ivan; Petrović, Ivan. SOFT-SLAM: Computationally Efficient Stereo Visual SLAM for Autonomous UAVs. Journal of Field Robotics. 35 (2018), 4; 578-595

[11] Cvišić, Igor; Marković, Ivan; Petrović, Ivan. SOFT2: Stereo Visual Odometry for Ground Vehicles based on a Point-to-Epipolar-Line Metric. IEEE Transactions on Robotics (in review).

[12] Cvišić, Igor; Marković, Ivan; Petrović, Ivan. Enhanced calibration of camera setups for high-performance visual odometry. Robotics and Autonomous Systems (in review).

[13] Popović, Goran; Cvišić, Igor; Écorchard, Gaël; Marković, Ivan; Přeučil, Libor; Petrović, Ivan. Human localization in robotized warehouses based on stereo odometry and ground-marker fusion Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 73 (2022).

[14] Lenac, Kruno; Kitanov, Andrej; Cupec, Robert; Petrović, Ivan. Fast Planar Surface 3D SLAM Using LIDAR. Robotics and Autonomous Systems. 2017.

[15] Lenac, Kruno; Ćesić, Josip; Marković, Ivan; Petrović, Ivan. Exactly Sparse Delayed State Filter on Lie groups for Long-term Pose Graph SLAM. International Journal of Robotics Research, 37 (2018), 6; 585-610.

[16] Ćesić, Josip; Marković, Ivan; Bukal, Mario; Petrović, Ivan. Extended Information Filter on Matrix Lie Groups. IFAC Automatica. 82 (2017) ; 226-234.

[17] Cupec, Robert; Nyarko, Emmanuel Karlo; Filko, Damir; Kitanov, Andrej; Petrović, Ivan. Place Recognition based on Matching of Planar Surfaces and Line Segments. International Journal of Robotics Research. 34 (2015) , 4/5; 674-704.

[18] Maltar, Jurica; Marković, Ivan; Petrović, Ivan. Visual Place Recognition using Directed Acyclic Graph Association Measures and Mutual Information-based Feature Selection Robotics and autonomous systems, 132 (2020), 103598, 14.

[19] Đakulović, Marija; Petrović, Ivan. Two-way D* algorithm for path planning and replanning. Robotics and Autonomous Systems. 59 (2011) , 5; 329-342.

[20] Seder, Marija; Mostarac, Petar; Petrović, Ivan. Hierarchical path planning of mobile robots in complex indoor environments. Transactions of the Institute of Measurement and Control, ISSN 0142-3312, volume 33, issue 3-4, pp. 332-358, 2011.

[21] Brezak, Mišel; Petrović, Ivan: Real-time Approximation of Clothoids with Bounded Error for Path Planning Applications, IEEE Transactions on Robotics. 30 (2014), 2; 507-515

[22] Klančar, Gregor: Seder, Marija; Blažič, Sašo; Škrjanc, Igor; Petrović, Ivan: Drivable Path Planning Using Hybrid Search Algorithm Based on E* and Bernstein-Bézier Motion Primitives, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 51 (2021), 8; 4868-4882.

[23] Seder, Marija; Baotić, Mato; Petrović, Ivan. Receding Horizon Control for Convergent Navigation of a Differential Drive Mobile Robot. IEEE Transactions on Control Systems Technology. 25 (2), 2017. 653-660.

[24] Đakulović, Marija; Sprunk, Christoph; Spinello, Luciano; Petrović, Ivan; Burgard, Wolfram. Efficient Navigation for Anyshape Holonomic Mobile Robots in Dynamic Environments IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Tokyo, Japan, 3-8.11.2013. 2644-2649.

[25] Đakulović, Marija; Ileš, Šandor; Petrović, Ivan. Exploration and Mapping of Unknown Polygonal Environments Based on Uncertain Range Data. AUTOMATIKA: Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications, ISSN 0005-1144, volume 52, issue 2, pp. 118-131, 2011.

[26] Borrmann, Dorit; Nüchter, Andreas; Đakulović, Marija; Maurović, Ivan; Petrović, Ivan; Osmanković, Dinko; Velagić, Jasmin; A mobile robot based system for fully automated thermal 3D mapping, Advanced Engineering Informatics, volume 28, issue 4, pp. 425-440, 2014.

[27] Maurović, Ivan; Seder, Marija; Lenac, Kruno; Petrović, Ivan. Path Planning for Active SLAM Based on the D* Algorithm With Negative Edge Weights. IEEE Transactions on Systems Man Cybernetics - Systems. 48 (2018), 8; 1321-1331.

[28] Petrović, Luka; Peršić, Juraj; Seder, Marija; Marković, Ivan. Cross-Entropy based Stochastic Optimization of Robot Trajectories using Heteroscedastic Continuous-time Gaussian Processes Robotics and Autonomous Systems, 133 (2020), 103618, 14.

[29] Petrović, Luka; Marković, Ivan; Petrović, Ivan. Mixtures of Gaussian Processes for Robot Motion Planning using Stochastic Trajectory Optimization Transactions on Systems, Man and Cybernetics (in review).

[30] Marić, Filip; Petrović, Luka; Guberina, Marko; Kelly, Jonathan; Petrović, Ivan. A Riemannian metric for geometry-aware singularity avoidance by articulated robots Robotics and Autonomous Systems. 145 (2021).

[31] Marić, Filip; Giamou, Matthew; Hall, Adam W.; Khoubyarian, Soroush; Petrović, Ivan; Kelly, Jonathan. Riemannian Optimization for Distance Geometric Inverse Kinematics IEEE Transactions on Robotics (2021).

[32] Giamou, Matthew; Maric, Filip; Rosen, David; Peretroukhin, Valentin; Roy, Nicholas; Petrovic, Ivan; Kelly, Jonathan. Convex Iteration for Distance-Geometric Inverse Kinematics IEEE Robotics and Automation Letters. 2022.

[33] Petković, Tomislav; Puljiz, David; Marković, Ivan; Hein, Bjoern. Human Intention Estimation based on Hidden Markov Model Motion Validation for Safe Flexible Robotized Warehouses. Robotics and computer-integrated manufacturing. 57 (2019) ; 182-196.

[34] Petković, Tomislav; Petrović, Luka; Marković, Ivan; Petrović, Ivan. Human action prediction in collaborative environments based on shared-weight LSTM networks and careful feature selection. Applied Soft Computing (in review).

Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja LARICS

Zdenko Kovačić[1], Stjepan Bogdan[2], Tamara Petrović[3], Matko Orsag[4]

[1] član HATZ-a

Sažetak: *U ovom radu predstavljen je Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS) Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.*

Ključne riječi: *robotika, inteligentni sustavi upravljanja, bespilotne letjelice*

1. Uvod

Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS) Fakulteta elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu osnovan je 1996. godine i prvi je laboratorij na FER-u kojem je 22.11.2011. dodijeljen status istraživačkog laboratorija. Istraživanja koja provodi LARICS usmjerena su na područja upravljanja tehničkim sustavima, robotike i umjetne inteligencije s primjenama letećih, hodajućih i mobilnih robota u industrijskim postrojenjima, medicini, poljoprivredi i drugim interdisciplinarnim područjima. Poseban naglasak u aktualnim istraživanjima dan je na bespilotne letjelice te autonomne i kolaborativne robotske sustave.

Laboratorij je trajno orijentiran na suradnju s industrijom i tijekom svog postojanja uspješno je surađivao s brojnim industrijskim partnerima iz Hrvatske i inozemstva. Fakultetsko vijeće FER-a dodijelilo je 13.11.2019. godine LARICSu godišnju nagradu za znanost za postignut svjetski priznati istraživački rezultat u području robotike. U laboratoriju trenutno radi 25 istraživača (4 nastavnika, 3 poslijedoktoranda te 18 doktoranada - Slike 1 i 2) surađujući na 17 istraživačkih projekata. Laboratorij ima prostore na 9., 10. i 11. katu FER-ovog nebodera i u prizemlju D zgrade FER-a, a letni hangar s pripadajućom infrastrukturom (OptiTrack sustav za praćenje pokreta, UWB sustav za praćenje kretanja, serverska računala i zaštitna mreža) smješten je na Sve-

učilišnom kampusu Borongaj. Istraživanje na području bespilotnih sustava provodi se korištenjem 3 multirotorske letjelice nosivosti 3 kg i 4 letjelice nosivosti 1.5 kg, opremljene različitim senzorima (mono i stereo kamere, dubinske kamere, LIDAR). Za istraživanje kooperativnih sustava koriste se 6 mobilnih robota Pioneer, 2 mobilna robota Scout i ViV, robot izrađen u laboratoriju, te humanoidni roboti Pepper. Eksperimentalna potvrda istraživanja na području kognitivne percepcije i robotske manipulacije provodi se na robotskim rukama Schunk, Kuka, Franka i Kinova.

Slika 1: Članovi LARICS-a na skupu DroneDays 2021.

Do sada je kroz istraživačke aktivnosti u laboratoriju obranjeno 15 doktorskih disertacija te preko 300 diplomskih i završnih radova. U nastavku su predstavljene istraživačke i edukacijske aktivnosti laboratorija kroz opis odabranih projekata.

2. Istraživačke aktivnosti laboratorija

Istraživačke djelatnosti laboratorija obuhvaćaju nekoliko smjerova u robotici i inteligentnim sustavima. Temelji istraživanja leže u višegodišnjem iskustvu članova laboratorija u područjima zračne manipulacije (eng. aerial manipulation) i heterogenih

robotskih sustava (eng. heterogeneous robotic systems). Budući da su glavni pokretači istraživanja u robotici specifični i zahtjevni scenariji primjene robota, projektne aktivnosti laboratorija fokusirane su na aplikativne aspekte robotskih tehnologija.

Većina robota današnjice precizno je izrađena za izvršavanje specifičnog zadatka i često ne mogu biti korišteni za raznovrsne primjene. Međutim, heterogeni robotski sustav, koji se sastoji od flote robota različitih veličina, oblika i mogućnosti, može ponuditi rješenje raznorodnih problema kroz suradnju u smislu integracije i dijeljenja prikupljenih podataka sa senzora [1] te zajedničko izvršavanje zadataka koje samostalno niti jedan robot u timu ne bi mogao obaviti [2]. Planiranje misije za takve sustave zasniva se na upravljačkoj strukturi s više razina koja spaja planiranje i koordinaciju na visokoj razini s reaktivnim izvođenjem i nadzorom na niskoj razini. Navedeno planiranje se može razdvojiti na dva problema - dekompozicija zadataka (što se radi) i podjele zadataka (tko radi što) [3,4], čija su rješenja predstavljena procesom višerobotskog donošenja odluka [5], uglavnom na decentralizirani način, čime se ostvaruje koordinacija izvedivih planova u realnom vremenu uz postojeće poznavanje okoline u kojoj heterogeni sustav djeluje.

Istraživačkim aktivnostima u laboratoriju uglavnom se razmatraju timovi sastavljani od zemaljskih robota (hodača i/ili vozila) i bespilotnih letjelica (koje mogu biti opremljene robotskim manipulatorima). Scenariji koji se razmatraju uključuju interakciju s okolinom: inspekcija infrastrukture [6,7], konstrukcija i sklapanje [8], poljoprivreda [9], provođenje zdravstvenih mjera u urbanim prostorima [10] te prihvat i transport predmeta [11].

Slika 2: Članovi LARICSa na međunarodom robotičkom natjecanju "The Mohamed Bin Zayed International Robotics Challenge" u Abu Dhabiju, UAE, 2020.

U nastavku je dan detaljniji prikaz projekata koji se trenutno provode u LARICS-u prema programima iz kojih su finacirani.

2.1. Istraživački projekti iz programa Obzor 2020

Trenutno se u LARICS-u provodi 5 projekata iz programa Obzor 2020, što predstavlja najveći broj projekta iz tog programa koji su se istovremeno provodili u bilo kojem laboratoriju FER-a. Jedan od projekata, AeroTwin, koordiniraju djelatnici LARICS-a.

AerialCore - Aerial Cognitive Integrated Multi-task Robotic System with Extended Operation Range and Safety

Glavni cilj AerialCore projekta je razvoj temeljnih tehnoloških modula i integriranog zračnog kognitivnog robotskog sustava koji će imati napredne sposobnosti u operativnom dometu i sigurnosti u interakciji s ljudima, odnosno zračnim suradnicima (ACW), za aplikacije kao što su kao inspekcija i održavanje velikih infrastruktura. Projekt će integrirati zračne robote s različitim karakteristikama kako bi zadovoljili sljedeće zahtjeve: i) dalekodometna (nekoliko kilometara) i lokalno vrlo točna (centimetarska) inspekcija infrastrukture (dalekovodi); ii) aktivnosti održavanja infrastrukture temeljene na zračnoj manipulaciji koja uključuje interakciju s okolinom; iii) suradnja iz zraka s radnicima u pregledu i održavanju infrastrukture.

ENCORE - ENergy aware BIM Cloud Platform in a COst-effective Building REnovation Context

Glavni cilj projekta ENCORE je povećati udio renoviranih zgrada u Europi i svijetu pružanjem učinkovitih i pristupačnih BIM alata koji pokrivaju cijeli životni ciklus obnove zgrade (od prikupljanja podataka do izvođenja projekta i puštanja u rad/isporuke). ENCORE će također osigurati mehanizme za stanovnike ili vlasnike kojima će moći provjeriti valjanosti projekta, bilo na licu mjesta korištenjem proširene stvarnosti ili on-line. Po završetku projekta obnove zgrade, ENCORE rješenje će automatski generirati plan rada za građevinske radove, a nakon što je obnova završena, tehnologija razvijena u okviru ENCORE projekta osigurat će kontinuirano praćenje potrošnje energije kako bi se moglo procijeniti kvalitetu radova na obnovi.

AeroWind - Autonomous UAV inspection of wind turbine blades

Ovaj projekt, koji se temelji na prethodnim istraživanjima koje je proveo LARICS kroz FP7 projekt EuRoC, za cilj ima razvoj sustava za autonomnu inspekciju lopatica vjetroturbina pomoću bespilotnih letjelica (Slika 3). Stotine tisuća teško dostupnih lopatica vjetroturbina mora se pregledati na godišnjoj razini u Europi i diljem svijeta, kako bi se na vrijeme uočila moguća oštećenja. Postojeće metode vizualnog pregleda

prilično su spore, skupe i zahtijevaju složenu koordinaciju sudionika u inspekciji - operatera bespilotnih sustava, vlasnika vjetroturbina i u slučaju offshorea vjetroparka i pomorskih koordinacijskih centara, posade pomoćnog plovila i drugih uključenih subjekata. Razvijeni sustav autonomne inspekcije i) implementirat će nove metode za navigaciju i upravljanje bespilotnim letjelicama, temeljenih na najsuvremenijim tehnologijama (stereo-vizijski sustavi, LIDAR i dubinske kamere), ii) povećat će brzinu i učinkovitost inspekcije lopatica vjetroturbina, i iii) značajno će smanjiti troškova pregleda i zastoja vjetroturbina.

Slika 3: Inspekcija vjetroturbina pomoću letjelica na projektu AeroWind

AeroTwin - Twinning coordination action for spreading excellence in Aerial Robotics

Sveobuhvatni cilj AeRoTwin projekta je smanjiti jaz i nedostatke u umrežavanju između LARICS-a i međunarodno vodećih laboratorija u EU, značajnim povećanjem istraživačkih i inovativnih kapaciteta laboratorija u području zračne robotike. Pomno planiranim nizom aktivnosti (gostujući predavači, višetjedne posjete vodećim istraživačkim organizacijama, organiziranje radionica, sudjelovanje na konferencijama, i dr.), AeRoTwin treba podići razinu kvalitete istraživanja u LARICS-u, kao i istraživačko-znanstveni profil osoblja. Projektom se treba poboljšati znanstvenu vidljivost, kvalitetu upravljanja inovacijama i transfer tehnologije.

WatchPlant - Smart Biohybrid Phyto-Organisms for Environmental In Situ Monitoring

Kroz projekt WatchPlant planira se razviti novi biohibridni sustava, sastavljen od niza senzora postavljanih na biljke. Bežičnom komunikacijom između senzora, koji će imati vlastito napajanje iz obnovljivih izvora, omogućit će se razmjena podataka parametara okoline (vlaga, temperature, zagađenje, i sl.) koji će biti određeni kroz mjerenje floemskog soka biljaka na koje su postavljeni senzori. U sustav će biti integrirani složeni algoritmi za distribuiranu obradu informacija, donošenja odluka te modeliranja i prilagođavanja podataka.

2.2. Istraživački projekti iz ERDF programa

U laboratoriju se trenutno provodi 5 projekata financiranih kroz program Europskih strukturnih i investicijskih fondova (ERDF). Dva projekta koordiniraju djelatnici LARICS-a (Hektor i Ekokomvoz), dok na preostala tri LARICS sudjeluje kao partner.

Hektor - Heterogeneous autonomous robotic system in viticulture and mariculture

Glavni cilj projekta HEKTOR je ponuditi sustavno rješenje za koordinaciju i suradnju pametnih heterogenih robota/vozila (pomorskih, kopnenih i zračnih) sposobnih za autonomnu suradnju i distribuciju zadataka u otvorenom nestrukturiranom prostoru. HEKTOR je zamišljen kao modularan i autonoman sustav, prilagođen različitim zadacima u vinogradarstvu (Slika 4) i marikulturi s predviđenom mogućnošću ljudske intervencije pri obavljanju različitih poslova, pregleda i intervencija. Cilj projekta u dijelu vinogradarstva je po prvi put u Hrvatskoj uvesti robotske sustave u tehnologiju uzgoja vinove loze, posebice na izrazito strmim, zahtjevnim terenima na kojima se do sada primjenjivao isključivo ljudski rad, dok je cilj projekta u disciplini marikultura po prvi puta u Hrvatskoj uključiti robotske sustave u proces kaveznog uzgoja ribe.

Slika 4: Autonomno mobilno vozilo za radove u vinogradu, razvijano u projektu Hektor - prvi eksperimenti u vinogradu Jazbina 2021. godine

Ekokomvoz - Development of environmentally friendly vehicle for cleaning public surfaces with autonomous control system based on artificial intelligence

Cilj projekta je razvoj ekološki prihvatljivog vozila za čišćenje javnih površina sa sustavima pomoći operateru vozila i sustavima autonomne kontrole elemenata rada vozila na temelju umjetne inteligencije. Nadalje, kroz projekt će se razviti i sustav za daljinsko praćenje vozila i mjerenje kvalitete zraka u urbanim područjima. Ekološki prihvatljivo vozilo koristit će dva različita pogonska sustava - osim standardnog motora s unutrašnjim izgaranjem, vozilo će biti opremljeno električnim pogonom koji će se napajati iz baterija i iz pogonske ćelije na vodik.

ASAP - Autonomous System for Assessment and Prediction of Infrastructure Integrity

Cilj ASAP projekta je razviti sustav za autonomnu inspekciju i predviđanje promjena u integritetu prometne infrastrukture, kao dijela inteligentnih transportnih sustava. Sustav uključuje autonomno provođenje eksperimentalnog ispitivanja materijala i konstrukcije pomoću robota i bespilotnih letjelica (Slika 5). Bežičnim putem prikupljat će se podatci mjerenja u stvarnom vremenu, a zatim će se obavljati naknadna analiza rezultata eksperimentalnih ispitivanja radi usporedbe s numeričkim modelima za procjenu vijeka trajanja i nosivosti strukture. Svi rezultati pohranjivat će se bazu podataka za krajnje korisnike.

Slika 5: Ispitivanje konstrukcije mosta bespilotnom letjelicom na projektu ASAP

VirtUAV - Development of a system of unmanned aerial vehicles (UAVs) controlled in virtual environments

Projektom će se razviti sustav za treniranje pilota i pripremu misija bespilotnih letjelica u virtualnim okruženjima. Virtualna okruženja stvarat će se naprednim metodama 3D modeliranja koje će, između ostalog, omogućiti generiranje sintetičkih skupova podataka za treniranje algoritama umjetne inteligencije. Algoritmi će omogućiti autonomnu navigaciju letjelice i mapiranje okoline te identifikaciju objekata od interesa. Sustav za planiranje, praćenje i analizu letačkih misija u virtualnom okruženju omogućit će sigurno i učinkovito upravljanje flotom bespilotnih letjelica.

AgroSparc - Smart and predictive agriculture for resilience to climate change

Cilj projekta je razviti matematičke modele različitih faza rasta pšenice primjenom umjetne inteligencije te koristiti te modele za predviđanje razvoja usjeva i žetve. Analiza velikih podataka provodit će se s obzirom na različite klimatske uvjete, umjetno stvorene i permutirane u komorama za izradu prototipa, te povezane s pokazateljima razvoja biljaka u različitim fazama rasta. Modeli će biti otvoreni za javnost i moći će se koristiti interaktivno putem portala za predviđanje razvoja biljaka u stvarnim i hipotetičkim klimatskim uvjetima. Povratne informacije od poljoprivrednika koristit će se kao dodatni podatci za podešavanje razvijenih modela.

2.3. Istraživački projekti iz HRZZ programa

U posljednjih desetak godina LARICS je sudjelovao u provedbi 3 projekta financiranih od strane Hrvatske zaklade za znanost, a trenutno se provodi jedan projekt. Velika uloga HRZZ-a u razvoju laboratorija ostvaruje se kroz program razvoja karijere doktoranda, u kojem trenutno sudjeluje 4 doktoranda zaposlenih u laboratoriju, dok je kroz program prošlo 5 završenih doktoranada.

Specularia - Structured Ecological CULtivation with Autonomous Robots In Agriculture

Glavni cilj projekta je razviti heterogeni robotski sustav za rad u stakleniku za ekološku proizvodnju biljaka. Sustav se sastoji od tri agenta: bespilotnog zračnog vozila (UAV), bespilotnog zemaljskog vozila (UGV) i podatnog robotskog manipulatora s više stupnjeva slobode. UAV je opremljen laganim manipulatorom s više stupnjeva slobode koji nosi senzore za nadzor biljaka (Slika 6). Smještajem senzora na manipulator omogućuje se bespilotnoj letjelici da leti unutar područja gdje turbulencije uzrokovane vrtnjom propelera ne mogu oštetiti biljke. UGV je opremljen mehanizmom koji mu omogućuje transport kontejnerskih jedinica za uzgoj biljaka, koji su najmanja organizacijska jedinica unutar staklenika. Zadatak podatnog manipulatora je obavljanje delikatnog rukovanja biljkama, kao što je manipulacija cvjetovima i plodovima, te obrezivanje biljaka.

Slika 6: Primjera robota Franka za branje paprika u projektu Specularia

3. Edukacijske aktivnosti laboratorija

LARICSovi istraživači sudjeluju kao nositelji kolegija, predavači i asistenti u izvođenju nastave na preddiplomskom, diplomskom i doktorskom studiju Sveučilištu u Zagrebu Fakultetu elektrotehnike i računarstva, a od većih kolegija u kojima sudjeluju mogu se izdvojiti kolegiji Osnove robotike, Elementi sustava automatizacije, Praktikum robotike i Sustave s diskretnim događajima. Nastavna izvrsnost osigurava se kroz kontinuirano unapređivanje nastavnog sadržaja pa tako i na najnovijem studijskom programu Fakulteta elektrotehnike i računarstva članovi LARICSa predaju nove kolegije Zračna robotika, Višerobotski sustavi te Lokomocija robota. Od 2021. godine LARICS sudjeluje u Erasmus+ zajedničkom diplomskom programu za robotiku "Intelligent Field Robotic Systems (IFRoS)". Svake godine LARICSovi istraživači i profesori mentoriraju više desetaka studenata na seminarskim radovima, završnim, diplomskim i doktorskim radovima, a studentski rad rezultirao je s 23 Rektorove nagrade Sveučilišta u Zagrebu, od 2000. godine do danas. LARICS često i predano sudjeluje u aktivnostima za popularizaciju znanosti, kroz službeni je program popularizacije znanosti Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu "ŠUZA - Iz škole u znanost i akademsku zajednicu", kao i kroz vlastite programe i radionice [12]

Zaključak

Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS) od svog osnutka provodi svjetski priznata istraživanja iz područja robotike i umjetne inteligencije s naglaskom na zračnoj i industrijskoj robotici te heterogenim robotskim sustavima.

LARICSovi istraživači predano sudjeluju u obrazovanju novih generacija stručnjaka u ovom veoma aktivnom području kao i u popularizaciji znanosti široj publici.

Literatura

[1] Andersone, I., Heterogeneous Map Merging: State of the Art, Robotics Vol. 8(3):74 (2019), https://doi.org/10.3390/robotics8030074

[2] Arbanas, B; Ivanovic A.; Car, M et al., Autonomous Robots , Vol. (2018) 42, str. 1601–1618, https://doi.org/10.1007/s10514-018-9712-y

[3] Petrovic, T.; Haus, T.; Arbanas, B.; Orsag, M. & Bogdan, S., Can UAV and UGV be best buddies? Towards heterogeneous aerial-ground cooperative robot system for complex aerial manipulation tasks, Zbornik 12. International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), 2015, pp. 238-245.

[4] Draganjac, I.; Miklić, D.; Kovačić, Z.; Vasiljević, G. & Bogdan, S., Decentralized Control of Multi-AGV Systems in Autonomous Warehousing Applications, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 13 (4) (2016), str. 1433-1447, doi: 10.1109/TASE.2016.2603781.

[5] Amato, C.; Konidaris, G.; Cruz, G., Maynor, C. A.; How, J. P. & Kaelbling, L. P., Planning for decentralized control of multiple robots under uncertainty, Zbornik IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2015, str. 1241-1248, doi: 10.1109/ ICRA.2015.7139350.

[6] Car, M.; Markovic, L.; Ivanovic, A.; Orsag, M. & Bogdan, S., Autonomous Wind-Turbine Blade Inspection Using LiDAR-Equipped Unmanned Aerial Vehicle, IEEE Access, Vol. 8, str. 131380-131387, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3009738.

[7] Ivanovic A, Markovic L, Car M, Duvnjak I, Orsag M. Towards Autonomous Bridge Inspection: Sensor Mounting Using Aerial Manipulators. Applied Sciences. Vol. 11(18), 2021; str. 8279. https://doi.org/10.3390/app11188279

[8] Krizmancic, M.; Arbanas, B.; Petrovic, T.; Petric, F. & Bogdan, S., Cooperative Aerial-Ground Multi-Robot System for Automated Construction Tasks, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol. 5, br. 2, str. 798-805, 2020, doi: 10.1109/LRA.2020.2965855.

[9] Polic, M.; Ivanovic, A; Maric, B.; Arbanas, B.; Tabak, J. & Orsag, M., Structured Ecological Cultivation with Autonomous Robots in Indoor Agriculture, Zbornik 16. International Conference on Telecommunications (ConTEL), 2021, str. 189-195,

doi: 10.23919/ConTEL52528.2021.9495963.

[10] Alvear, O., Calafate, C.T., Zema, N.R. et al., A Discretized Approach to Air Pollution Monitoring Using UAV-based Sensing, Mobile Networks and Applications, Vol. 23, (2018), str. 1693–1702, https://doi.org/10.1007/s11036-018-1065-4

[11] Orsag, M., Korpela, C.M., Bogdan, S. et al. Hybrid Adaptive Control for Aerial Manipulation, Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol. 73 (2014), str. 693–707, https://doi.org/10.1007/s10846-013-9936-1

[12] Božićni robotski sajam, http://www.mojmaksimir.com/content/bo%C5%BEi%C4%87ni-robot-party-u-ckim-u, pristupljeno: 2022-01-30.

Laboratorij za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina

Tomislav Pribanić[1]

[1] član suradnik, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, tomislav.pribanic@fer.hr

Sažetak: *Laboratorij za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina (engl. Advanced Shape Reconstruction and Registration Laboratory - SHARK Lab) osnovan je 2016. godine kao istraživački laboratorij na Sveučilištu u Zagrebu, Fakultetu elektrotehnike i računarstva (FER). SHARK Lab okuplja istraživače sa Zavoda za elektroničke sustave i obradbu informacija i sa Zavoda za elektroniku, mikroelektroniku, računalne i inteligentne sustave. Istraživačka djelatnost usmjerena je poglavito na metode i algoritme računalnog vida, i to za područja: 3D oslikavanje i 3D rekonstrukciju korištenjem profilometrije strukturiranim svjetlom te stereo vidom; 3D registracija oblaka točaka s naglaskom na uporabu senzora mobilnih platformi poput pametnih telefona i tableta; i postupci za kalibraciju sustava 3D oslikavanja koji koriste više kamera i više projektora, posebice sustava namijenjenih za korištenje u biomedicini te sustava oslikavanja za 3D printanje. SHARK Lab je član Centra izvrsnosti za računalni vid i Centra za umjetnu inteligenciju na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu*

Ključne riječi: *umjetna inteligencija, računalni vid, strojno učenje, 3D rekonstrukcija, 3D registracija, strukturirano svjetlo, umjeravanje kamera.*

1. Uvod

Poznavanje prostornog položaja točaka svijeta, odnosno površina objekata je ključna informacija u izuzetno velikom broju djelatnosti (primjena) npr., inverznom inženjerstvu, industrijskoj kontroli kvalitete proizvoda, prepoznavanju objekata, robotskoj navigaciji, interakciji čovjeka s računalom (igre), 3D digitalizaciji kulturnih dobara, medicinskim (zdravstvenim) primjenama itd. Zbog toga i ne čudi da jedan od najpropulzivnijih istraživačkih pravaca u području računalnog vida i obrade slike pripada

istraživanju metoda i algoritama za 3D rekonstrukciju. U velikom broju primjena 3D rekonstrukcija vanjskoga svijeta iz jedne prostorne točke gledišta nije dovoljna već zahtjeva uzimanje podataka iz različitih prostornih položaja. To nameće potrebu za rješavanjem nove zadaće tzv. 3D registracije podataka koja ima za konačni cilj izražavanje izvornih 3D podataka, dobivenih iz različitih prostornih položaja, u zajedničkom prostornom koordinatnom sustavu. Nerijetko se zbog toga problemi 3D rekonstrukcije i 3D registracije promatraju zajedno. Povrh toga danas se veliki dio istraživanja provodi odnosno primjenjuje na pametnim platformama (telefonima, tabletima). Naime, pametni telefoni postaju sve moćniji, sa sve većim brojem ugrađenih senzora (npr. akcelerometar, magnetometar, žiroskop, GPS) te sa sve značajnim proširenjem funkcija. Stoga i ne čudi da je pametni telefon, između ostaloga, relativno brzo prepoznat kao potencijalni uređaj za 3D rekonstrukciju/3D registraciju objekata pomoću snimljenih slika.

2. Obrazloženje potrebe osnivanja Laboratorija

U zadnjih desetak godina djeluje grupa znanstvenika i studenta na Zavodu za elektroničke sustave i obradbu informacija pod vodstvom prof. dr. sc. Tomislava Pribanića koja se bavi istraživanjem i razvojem sustava za 3D rekonstrukciju. Do sada je objavljeno 15tak radova u časopisima te više desetaka radova na međunarodnim skupovima. Voditelj laboratorija je voditelj nekoliko projekata vezanih uz područje (HRZZ IP, POC, međunarodni (bilateralni) projekti). U svome radu grupa surađuje s znanstvenicima i grupama s nekoliko istaknutih međunarodnih ustanova: Computer Vision and Robotics Group, University of Girona, Spain; Toulouse Institute of Computer Science Research (IRIT), University of Toulouse (UT), France; Chinese Academy of Science (CAS) in Southern China, Shenzhen Institutes of Advanced Technology (SIAT), Shenzhen, China; INRIA Grenoble - Rhône-Alpes, France; Hometrica Consulting, Switzerland. Također grupa vrlo dobro surađuje i s tuzemnim ustanovama, Sveučilište u Zagrebu Kineziološki fakultet te Poliklinika za fizikalnu rehabilitaciju i medicinu Peharec, Pula. Uz grupu okupljenu oko prof. dr. sc. Tomislava Pribanića u području 3D rekonstrukcije djeluje i prof. dr. sc. Siniša Šegvić čiji znanstveni interesi uključuju primjenu i razvoj rekonstrukcijskih metoda u računalnom vidu. U tom kontekstu rekonstrukcija često nije zanimljiva i konačna svrha sama po sebi, nego prvenstveno služi kao alat koji podupire različite oblike razumijevanja slika poput klasifikacije scene, pronalaženja i prepoznavanja objekata, lokalizacije robota ili praćenja objekata. Stoga zanimljive metode uključuju praćenje okana u slijedu slika, monokularnu estimaciju strukture scene i gibanja kamere, stereoskopsku estimaciju gibanja kamere te gustu stereoskopsku rekonstrukciju strukture scene. Nadalje, izv. prof. dr. sc. Marko Subašić se također bavi problemima obrade i analize slike snimljenih raznim vrstama kamera ili drugim uređajima. Područje interesa izv. prof. dr. sc. Subašića uključuje segmentaciju objekata, detekciju objekata,

raspoznavanje objekata i praćenje objekata u statičnim slikama ili videosnimkama. Navedenim problemima bavio se na konkretnim problemima iz područja primjene koja uključuju biometriju, automobilski sektor i biomedicinu. Istraživačku grupu čini i nekoliko sadašnjih i bivših doktoranda Sveučilišta u Zagrebu Fakulteta elektrotehnike i računarstva.

Stoga osnivanje ovakvoga laboratorija predstavlja logičan nastavak okrupnjavanja znanstvenika na FER-u koji se bave dotičnim područjem, a u cilju još kvalitetnijeg pozicioniranja FER-a u tom području. Važno je naglasiti da je osnivanje laboratorija bio i jedan od predvidivih ciljeva HRZZ (Hrvatske zaklade za znanost) projekata prof. dr. sc. Tomislava Pribanića. Kroz laboratorij kao ustrojbenu jedinicu FER-a jača se međunarodna vidljivost rada u ovome području. Nadalje povezivanje istraživača u laboratorij olakšalo je istraživanje i razvoj, sudjelovanje na međunarodnim projektima i suradnju s industrijom i medicinskim ustanovama. Jedna od važnih djelatnosti Laboratorija je obrazovanje novih stručnjaka u području kroz obrazovanje studenata na konkretnim razvojnim i istraživačkim projektima, uvođenjem novih predmeta iz područja te popularizacijom znanosti s konkretnim primjenama u praksi.

3. Opis djelatnosti Laboratorija

Istraživačka djelatnost

Istraživanje obuhvaća metode i algoritme računalnog vida za 3D rekonstrukciju i 3D registraciju. Pored kamere kao osnovnog djela 3D sustava i ambijentalnog svjetla, istražuje se i uporaba dodatnih izvora svjetala koji komplementarno nadopunjavaju informacije neposredno dobivene od strane kamera. Proučavaju se i postupci umjeravanja 3D sustava te optimalni načini obradbe izlaznih podataka pogodnih za dalju uporabu, npr. na 3D printerima. Dodatan istraživački naglasak je na uporabi pametnih telefona (tableta) koji uz sve kvalitetnije kamere imaju i veliki broj drugih vrsta senzora, a čiji se izlaz može iskoristiti i u cilju 3D rekonstrukcije. 3D rekonstrukcija ljudskog tijela, u usporedbi s neživim objektima, ima svoje specifičnosti i to naročito u području primjene medicine te laboratorij provodi istraživanje i razvoj 3D sustava i u tome području. Pored standardnih postupaka računalnog vida, SHARK Lab proučava i metode dubokog učenja kod izrade dubokih modela za analizu oblika ljudskog tijela [1].

Inovacijska djelatnost

Članovi laboratorija su dobitnici više medalja međunarodnoj izložbi inovacija ARCA, vezano uz tematiku 3D skeniranja na pametnim telefonima. Na tom tragu činili su se,

a i dalje se provide naporu za daljnji razvoj inovacije i moguću tržišnu eksploataciju. Laboratorij direktno surađuje s inozemnim institucijama čiji pojedini članovi su već osnovali spin off firme kroz koje bi bilo moguće direktno transferirat inovativno znanje i rezultate u (industrijsku) primjenu. Isto tako laboratorij surađuje i s privatnim zdravstvenim ustanovama u RH kroz čiju suradnju se također očekuju ideje primjerene za zajedničke prijave na inovacijske natječaje i projekte.

Nastavna djelatnost

Članovi laboratorija predaju studentima FER-a dio istraživačke tematike laboratorija na predmetima 3D skeniranje, Trodimenzionalni računalni vid, Multisenzorski sustavi i lokomocija, Sustavi za mjerenje neelektričkih veličina, Analiza dinamičkih scena, Modeli za predstavljanje slike i videa, Digitalna obradba i analiza slike, Slučajni procesi u sustavima te Neuronske mreže. Također dio tematike predaje se i na međunarodnom studiju na Medicinskom fakultetu u sklopu predmeta Measurement and analysis of human locomotion. Povrh toga do sada je obranjeno više desetaka završnih i diplomskih studentskih radova, 7 doktorata, a u tijeku su pet doktorata u ovome području. U suautorstvu sa dodiplomskim studentima objavljena su 4 rada u CC/SCI časopisima te 16 radova na međunarodnim konferencijama.

Popularizacija znanosti

U cilju popularizacije znanosti članovi laboratorija sudjeluju u televizijskim prilozima, na Sveučilišnim smotrama, festivalima znanosti te održavaju demonstracije i predavanja školskim uzrastima.

4. Dosadašnja suradnja članova Laboratorija s drugim istraživačkim grupama/laboratorijima i s gospodarstvom

U svome radu prof. dr. sc. Tomislav Pribanić surađivao je ili surađuje s više istraživačkih grupa na istaknutim međunarodnim ustanovama i na različitim projektima iz područja 3D rekonstrukcije i registracije točaka (površina):

- Kao pridruženi istraživač sudjelovao je u radu projekta CAVIAR (INRIA Rhône-Alpes, Francuska, Rujan 2004 – Prosinac 2004) u grupi dr.sc. Peter Sturma. Suradnja s dr. sc. Peter Sturmom traje i danas kroz zajedničke prijave na projektima i publikacije radova (2 SCI/CC rada i 5 radova na međunarodnim konferencijama). Trenutno suradnik na HRZZ projektu.

- Kao pridruženi istraživač sudjelovao je na radu projekta Z–laser. (Fraunhofer IGD, Darmstadt, Njemačka, veljača 2006 – kolovoz 2006) u grupi Prof. Dr.-Ing. Georgios Sakasa.
- Kao voditelj s hrvatske strane međunarodnog projekta Construction of structured light system using Teledyne DALSA cameras (2012), surađivao je s firmom Teledyne DALSA. U sklopu suradnje Teledyne DALSA je donirala nekoliko svojih kamera.
- Kao voditelj s hrvatske strane međunarodnog projekta Single shoot structured light 3D reconstruction surađuje s grupom prof. Zhan Songa s Shenzhen Institutes of Advanced Technology (SIAT), Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, China.
- Kao voditelj s hrvatske strane međunarodnog projekta Three-dimensional reconstruction using smartphone surađuje s grupom prof. Simone Gasparinija s Toulouse Institute of Computer Science Research (IRIT Institut de Recherche en Informatique de Toulouse) University of Toulouse, Toulouse, France.
- Više od 10 godina surađuje s grupom prof. Jaoquim Salvija, Computer Vision and Robotics Group, Department of Computer Architecture and Technology, Institute of Informatics and Applications, University of Girona, Spain. Dio rezultata višegodišnje suradnje iskazan je kroz zajedničku publikaciju 5 radova u CC/SCI časopisima te 5 radova na međunarodnim konferencijama te par održanih pozvanih predavanja U RH, tj. Španjolskoj. Trenutno suradnik na HRZZ projektu.
- Nekoliko godina surađuje s prof. Mohit Guptom WISION Lab (Wisconsin Computation Imaging and Vision lab), University of Wisconsin-Madison, USA, na području razvoja 3D sustava i kamera sa aktivnim osvjetljenjem (engl. Time of flight camera).
- Nekoliko godina surađuje s dr.sc. Fiona Berryman s Royal Orthopaedic Hospital, Birmingham, UK, na razvoju sustava za 3D skeniranje.
- Nekoliko godina surađuje s dr. sc. Nicola D'Apuzzo osnivačem i ravnateljem firme Hometrica iz Švicarske, koja se bavi konzaltingom prilikom odabira i razvoja 3D sustava. Trenutno suradnik na HRZZ projektu.
- Gotovo 20 godina surađuje s Biomehaničkim laboratorijem Poliklinike za fizikalnu medicine i rehabilitaciju Peharec u Puli; >10 zajedničkih projekata i radova. Trenutno suradnik na HRZZ projektu.
- Gotovo 20 godina surađuje s Biomehačkim laboratorijem Kineziološkog fakulteta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Vladimira Medveda; između ostaloga, više zajedničkih radova, suradnja na dva predmeta, od toga jedan na međunarodnom studiju.

U svome radu prof. dr. sc. Siniša Šegvić surađivao je ili surađuje sa sljedećim istraživačkim grupama na istaknutim međunarodnim ustanovama:

- Lagadic, INRIA/IRISA Rennes (Francois Chaumette)
- VMG, TU Graz (Axel Pinz)
- ACIN, TU Wien, Markus Vincze

U svome radu izv. prof. dr. sc. Marko Subašić surađivao je ili surađuje:

- Grupom prof. Hrvoja Golda sa Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu na problemima analize slika i videa za napredne sustave pomoći vozaču.
- Grupom prof. Renate Pernar sa Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu na problemima analize zračnih i satelitskih snimaka za potrebe udaljenih mjerenja.
- Grupom prof. Zorana Vatavuka sa Kliničkog bolničkog centra Sestre milosrdnice na problemima automatske analize fotografija očne pozadine za detekciju dijabetičkih poremećaja.
- Grupom prof. Ericha Sorantina sa Sveučilišne bolnice u Grazu, Austrija, na problemima analize CT snimaka aneurizme abdominalne aorte.
- Firmama Siemens d.d. i Siemens AG Austrija na problemima automatske analize kvalitete osobnih fotografija za elektroničke dokumente.

5. Plan istraživačke i inovacijske djelatnosti Laboratorija

Istraživačka djelatnost

U svome istraživačkom radu SHARK Lab se fokusira na nekoliko područja. Prvo područje podrazumijeva obradbu slika u cilju izračuna unutarnje i vanjske orijentacije kamere, tzv. umjeravanje (kalibraciju) kamera, a što je tipično jedan od preduvjeta za 3D rekonstrukciju. Između ostaloga to uključuje metode umjeravanja kamera pomoću 3D, 2D i 1D sredstava (kalibracijskih kaveza, ravnine i štapa), kao i detekciju točaka u prirodi iskoristivih za umjeravanje kamera. Proučavaju se i odgovarajući modeli kamere ovisni o vrsti (stupnju) distorzije leće kamera. Poseban naglasak pridaje se automatizaciji kalibracijskih procedura koje će za korisnika biti što prihvatljivije. Kalibracijski postupci vezani uz sustave za 3D analizu ljudskog pokreta i oblika tijela se posebice istražuju u kontekstu svakodnevne primjene u praksi, a koja može zahtijevati i češću re-kalibraciju 3D sustava [2].

Nadalje, uz pretpostavku umjerenog sustava kamera, istražuju se metode nalaženja korespondentnih točaka na slikama koje će omogućiti 3D triangulaciju točaka.

Razmatra se nalaženje korespondentnih točaka bilo detekcijom tzv. karakterističnih točaka, bilo metodama pasivnog sterea, bilo kombinirano, bilo metodama dubokog učenja, koristeći najbolje prednosti različitih pristupa. Kod pasivnog sterea promatraju se tzv. lokalne metode nalaženja korespondentnih točaka uz uporabu različitih funkcija cijena. Također i globalne metode optimizacije su predmet istraživanja za koje se, budući da su vremenski zahtjevnije, razmatraju mogućnosti paralelizacije kod implementacije. Duboki modeli koju omogućavaju nalaženje anatomski korespondentnih točaka na ljudskom tijelu su isto tako predmet istraživanja.

Slijedeće srodno područje istraživanja uključuje aktivni stereo i to prije svega kroz uvođenje dodatnog izvora svijetla [3]. Izučava se uporaba laserskih izvora s slučajnim uzrokom, vrlo blisko popularnoj inačici prve verzije Kinect uređaja. Također kao izvor svjetla koriste se i komercijalni video projektori, a što omogućava primjenu i istraživanje u području strukturiranog svjetla. U kontekstu istraživanja strukturiranog svjetla ne primjenjuje se samo tradicionalni pristup istraživanja posebno projicirajućih uzoraka pogodnih za dinamičke objekte, a posebno uzoraka za statičke objekte. Dodatno se istražuju tzv. hibridni projicirajući uzroci koji se u istoj sceni mogu adaptirati za statičke i dinamičke točke scene [4]. S obzirom na uporabu dodatnog izvora svjetla, već navedeno istraživanje umjeravanja kamera će se odgovarajuće proširiti i na umjeravanje 3D sustava s izvorima svjetla. Oslanjajući se na trenutnu suradnju s inozemnim laboratorijem čija jedna od specijalnosti je fotometrijski stereo (engl. photometric stereo), planira se proširenje istraživanja i u tome pravcu, s naglaskom na analizu prednosti i nedostataka fotometrijskog sterea u odnosu na strukturirano svjetlo. Također članovi laboratorija su kroz suradnju napravili i prve rezultate kroz pristup 'rekonstrukcija kroz (de)fokusiranje' (engl. Shape from defocus), pa se očekuje i istraživanje ostalih Shape from X metoda.

Uzimajući u obzir da 3D rekonstrukcija iz jednog pogleda vrlo često ne zadovoljava potrebe već se očekuje rekonstrukcija predmeta (prostora) iz više pogleda, sljedeći logičan istraživački pravac je 3D registracija. 3D registracijom se postiže izražavanje izvornih oblaka točaka originalno dobivenih iz različitih pogleda, u zajedničkom prostornom koordinatnom sustavu. Posebno se promatraju tzv. grube (približne) metode 3D registracije, a posebno fine (točne) metode 3D registracije. Budući da se 3D registracija može dobrim djelom opisati i kao problem nalaženja korespondentnih točaka u 3D prostorima, analizira se proširenje znanih metoda za nalaženje korespondentnih točaka u 2D prostoru (slici). Uz standardne pristupe računalnog vida za 3D registraciju, prate se i istraživanja 3D registracije temeljena na dubokim modelima, a koja postaju sve popularnija. Nadalje, s jedne strane istražuje se tzv. isključivo softverske metode 3D registracije, bez uporabe ikakvih dodatnih senzora osim kamera. Međutim uviđajući danas sve širu dostupnost ostalih tipova senzora, npr. akcelerometara, magnetometara, žiroskopa itd., istražuje se i 3D registracija uz prisutnost dodatnih vrsta senzora [5].

Spomenuti senzori su naročito dostupni u pametnim telefonima, pa se istražuju 3D rekonstrukcije/registracije i na pametnim telefonima (tabletima). Periodično se na tržištu pojavljuje nezanemariv broj telefona koji imaju na sebi ili stereo par kamera ili ugrađeni (pico)projektor. Štoviše na tržište bi se trebao pojaviti uskoro i prvi pametni telefon s ugrađenim laserskim picoprojektorom, a to otvara nove mogućnosti razvoja metoda i algoritama za obradu, a koje nisu bile moguće kod DLP tipa projektora. Međutim bez obzira na tip projektora pametnog telefona, izuzetno je velik istraživački potencijal oko implementacija metoda i algoritama izvorno namijenjenih za tradicionalne konfiguracije 3D sustava, ali uz uvažavanje specifičnosti pametnih platformi.

Inovacijska djelatnost

Dva su osnovna pravca. Prvi je patentiranje, odnosno licenciranje novo razvijenih metoda. Na tome planu već su u tijeku prijave nekoliko projekata na natječaje koji omogućavaju procjenu mogućnosti i postizanje spomenutog cilja. Također posjećivanjem inovacijskih sajmova i smotri se planira proširiti vidljivost postignutih rezultata kao i stvaranje kontakata s potencijalnim partnerima za daljini razvoj k komercijalizaciji. S takvim novim partnerima, uz postojeće partnere u spomenutim laboratorijima (institutima) i u gospodarstvu, a koji imaju iskustva i u komercijalizaciji, kao drugi pravac planira se otvaranje start up firmi. To bi omogućilo ne samo daljnji razvoj i komercijalizaciju najboljih ideja već i zapošljavanje najboljih studenata neposredno uključenih u istraživačke rezultate laboratorija.

Usklađenost Laboratorija s istraživačkom strategijom Fakulteta, Sveučilišta i društvenom zajednicom

"Strategija razvoja Fakulteta elektrotehnike i računarstva 2019.-2023. godine” kao jedan od glavnih usmjerenja navodi istraživačka i inovacijska dostignuća, dok je jedna od misija FER-a provođenje međunarodno priznatih istraživanja te razvoj novih interdisciplinarnih područja i stvaranje novih znanja. Kao strateški cilj posebno se ističe povećanje istraživačko-razvojnih kapaciteta, te prijenos znanja i ideja u gospodarstvo. Na tome putu naglašava se aktivnost osnivanja istraživačkih laboratorija i centara izvrsnosti radi strukturiranja istraživačke djelatnosti Fakulteta uz sustavne mjere za poticanje njihova rada te također osnivanja spin-off i start-up poduzeća. Opis SHARK laba je u skladu s navedenim strateškim smjernicama FER-a. Predvidiva djelatnost i rezultati laboratorija su posebice primjenjivi u strateški navedenim istraživačkim i inovacijskim djelatnostima FER-a za Klaster “Zdravlje” te Klaster "Digitalizacija i industrija".

”Strategija istraživanja, transfera tehnologije i inovacija Sveučilišta u Zagrebu“ u svojoj misiji pridjeljuje Sveučilištu središnju ulogu u istraživačkim postignućima i

pokretanju inovacija na nacionalnoj razini, s odjekom u regiji i Europi. U tom smislu Sveučilište preuzima odgovornost za transfer tehnologije i razvoj inovacija te prepoznaje da je okrupnjivanje istraživačkih kapaciteta preduvjet za opstanak u danas već izuzetno kompetitivnom istraživačkom prostoru. Stoga su neki od glavnih ciljeva stvaranje poticajnih istraživačkih okruženja te razvijanje međunarodne suradnje i umrežavanja. U cilju postizanja istih Sveučilište ističe kako je od iznimne važnosti sustavno poticanje i briga oko osnivanja istraživački laboratorija kao i poticanje suradnje nastavnika s kolegama iz vrsnih svjetskih institucija. Dosadašnji rad članova laboratorija se uklapa u ostvarenje spomenute strategije i ciljeva.

6. Zaključak

Uspostavom Laboratorija za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu omogućeno je učinkovitije istraživanje grupe istraživača u opisanom području umjetne inteligencije. Prikazana široka međunarodna suradnja osigurava međunarodnu prepoznatljivost kao i istraživanje ciljeva prepoznatih na međunarodnom planu. Aktivnosti koja se provode služe ne samo istraživačkim djelatnostima već su usmjerena prema nastavnim i inovacijskim djelatnostima. Posljednje navedeno je naročito interesantno za što bolji transfer znanja i tehnologije k poduzećima. SHARK Lab provodi i izobrazbu novih mladih stručnjaka, posebice na doktorskoj razini. To je prema 'van' moguće i najvrjedniji rezultat jer izobrazba novih doktoranda ne osigurava samo potencijalno nove istraživače u akademskim sredinama već predstavlja i važan segment u razvojnim sredinama poduzeća te gospodarstvu.

Literatura

[1] Bartol, K.; Bojanić, D.; Petković, T.; Pribanić, T.: A Review of Body Measurement Using 3D Scanning. IEEE Access, (2021), pp. 1-21.

[2] Pribanić, T.; Sturm, P.; Cifrek, M.: Calibration of 3D kinematic systems using orthogonality constraints. Machine Vision and Applications, 2007. (18) pp. 367-381.

[3] Pribanić, T.; Petković, T.; Bojanić, D.; Bartol, K.; Gupta, M.: Smart Time-Multiplexing of Quads Solves the Multicamera Interference Problem. 2020 International Conference on 3D Vision (3DV), Fukuoka, Japan

[4] Petković, T.; Pribanić, T.; Đonlić, M.: Single-Shot Dense 3D Reconstruction using Self-Equalizing De Bruijn Sequence. IEEE transactions on image processing, 25 (2016), 11; 5131-5144

[5] Pribanić, T.; Petković, T.; Đonlić, M.: 3D registration based on the direction sensor measurements. Pattern recognition, 88 (2019), pp. 532-546.

LARES – Laboratorij za sustave obnovljivih izvora energije

Mario Vašak[1], Nedjeljko Perić[2], Mato Baotić[3] i Željko Ban[4]

[1] nije član HATZ-a

[2] član HATZ-a

[3] član suradnik HATZ-a

Sažetak: *Prikazan je povijesni tijek razvoja i sadašnji trenutak Laboratorija za sustave obnovljivih izvora energije (LARES) na FERu. Laboratorij je nastao adresiranjem tehničkih izazova povezanih s upravljanjem pojedinačnih sustava obnovljivih izvora energije, sustava pohrane ili potrošača, s ciljevima njihove ekonomičnosti i dugovječnosti, a danas se mahom bavi upravljanjem njihovih složeno povezanih kombinacija, na razini zgrada i infrastrukture. Glavna metodološka odrednica LARESa su matematička optimizacija i prediktivno upravljanje.*

Ključne riječi: *LARES, obnovljivi izvor energije, sustav pohrane energije, zgrada, infrastruktura, prediktivno upravljanje.*

1. Uvod

Uklanjanje ugljičnog otiska energetskog sustava nužan je odgovor civilizacije na prijetnju klimatskih promjena na Zemlji te je ono potrebno provesti kroz nekoliko nadolazećih desetljeća. Europska unija je u sklopu Europskog zelenog plana kao prvi cilj istaknula upravo cilj da Europa do 2050. godine postane prvim klimatski neutralnim kontinentom odnosno kontinentom bez ugljičnog otiska [1]. Njemačka je već izradila tehno-ekonomsku analizu optimalnog načina prelaska na energetski sustav bez ugljičnog otiska do 2050. godine [2] iz koje se može identificirati nekoliko faza ovog prelaska odnosno tzv. energetske tranzicije (vidi Sliku 1):

1. Razvoj individualnih sustava obnovljivih izvora energije i mjera energetske učinkovitosti (procjenjuje se za ovu fazu smanjenje emisija CO_2 od otprilike 0-20% u odnosu na referentnu 1990. godinu);

2. Integracija individualnih sustava: upravljanje potrošnjom u kombinaciji s kratkotrajnom pohranom energije, uz omogućavanje i iskorištavanje fleksibilnosti u potražnji energije, povezivanje različitih energetskih sektora na strani potrošnje poput grijanja/hlađenja i elektromobilnosti (procjena smanjenja emisija CO_2 u opsegu 20-60%);
3. Sintetička goriva: korištenje električne energije iz obnovljivih izvora za proizvodnju sintetičkih goriva u velikim razmjerima, povećano korištenje sintetičkih goriva za prijevoz (procjena smanjenja emisija CO_2 u opsegu 60-80%);
4. Uvoz preostalih nedostajućih količina obnovljive energije iz udaljenih krajeva što omogućuje potpuno napuštanje korištenja fosilnih goriva u krajnjoj potrošnji (procjena smanjenja emisija CO_2 u opsegu 80-100%).

Slika 1: Ključni elementi uklanjanja ugljičnog otiska iz energetskog sustava Njemačke do 2050. godine, prema [2].

Laboratorij za sustave obnovljivih izvora energije (engl. Laboratory for Renewable Energy Systems, LARES), kao istraživački laboratorij na Sveučilištu u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER), tijekom svog dosadašnjeg razvoja prati navedene trendove, pri čemu se njihov tehnički obuhvat neprestano širi uz brojne istraživačko-razvojne izazove. Pritom se u LARES njeguje pristup rješavanju ovih izazova s pozicije teorije i primjene sustava automatskog upravljanja te matematičke optimizacije kako bi se tehničke sustave nužne za uklanjanje ugljičnog otiska energetskog sektora učinilo čim učinkovitijima, u energetskom, ekološkom i ekonomskom smislu.

U nastavku ovoga rada dan je u odjeljku 2 povijesni pregled razvoja LARES-a od njegovih neformalnih početaka, preko izgradnje laboratorijskih kapaciteta i službene uspostave pa sve do danas. Potom su u odjeljku 3 sažeta sadašnja istraživačka usmjerenja LARESa, te je pregled zaokružen zaključkom.

2. Povijesni pregled razvoja Laboratorija

LARES neformalno funkcionira s istraživačkim usmjerenjem na obnovljive izvore energije od ranih 2000.-ih godina kada je naglasak i u svijetu bio na razvoju individualnih sustava obnovljivih izvora energije. Istraživanje i razvoj u ovom danas vrlo širokom i razgranatom području pokrenuo je idejni začetnik Laboratorija prof. emer. dr. sc. Nedjeljko Perić. On je usmjerio jedan dio tadašnje neformalne istraživačke grupe Advanced Control Team (ACT), okupljene oko profesora Nedjeljka Perića i Ivana Petrovića u Zavodu za automatiku i računalno inženjerstvo (ZARI) FERa, u istraživanje sustava za pretvorbu energije vjetra u električnu energiju te pripadnih sustava automatskog upravljanja. U početku je navedena skupina pokrenula Laboratorij za obnovljive izvore energije (LOIE). Sam ACT njegovao je sustavski pristup upravljanju različitim tehničkim sustavima temeljen na matematičkim optimizacijama, modelskom prediktivnom upravljanju i drugim naprednim tehnikama upravljanja te je isti primijenjen i na sustav upravljanja vjetroagregatom. Istraživanje i razvoj provedeni su uz usku suradnju s Končar – Institutom za elektrotehniku d.d. koji je kao sastavnica tvrtke Končar Elektroindustrija d.d. bio posvećen tadašnjem strateškom usmjerenju tvrtke u razvoj sustava obnovljivih izvora energije s naglaskom na vjetroagregate i vjetroelektrane.

Slika 2: Vjetroagregat KO-VA 57/1 tvrtke Končar.

2.1. Istraživanje obnovljivih izvora i energetske učinkovitosti

Glavni istraživač u području energije vjetra unutar tadašnjeg LOIE bio je dr. sc. Mate Jelavić. Njegovo je istraživanje u području upravljanja vjetroagregatom bilo financirano od strane Končar – Instituta za elektrotehniku d.d., u koji je i prešao 2008. g., no i prije i poslije odlaska u Institut intenzivno je surađivao s ostalim istraživačima u Laboratoriju i dijelio svoja bogata saznanja iz prakse. Dr. Jelavić dizajnirao je sustav nadgledanja i upravljanja Končarevih vjetroagregata snage 1 i 2.5 MW [3] koji su u uspješnoj funkciji u vjetroelektrani Pometeno brdo, a u sklopu koje su rađena brojna eksperimentalna

istraživanja istraživačkog tima iz LARESa. Prikaz Končareva vjetroagregata snage 1 MW dan je na Slici 2.

Važnost eksperimentalnih istraživanja koncepata automatskog upravljanja u sustavima obnovljivih izvora energije bila je misao vodilja tadašnjeg neformalnog voditelja Laboratorija prof. dr. sc. Nedjeljka Perića pri izgradnji laboratorijskih kapaciteta za istraživanje obnovljivih izvora energije baš na FERu. Prvotno je 2007. na 13. katu neboderske zgrade FERa (zgrada C FERa) izgrađen i opremljen laboratorijski prostor za istraživanje energije vjetra u sklopu kojeg je izgrađen vjetrotunel sa skaliranim vjetroagregatom koji posjeduje sve komponente upravljanja kao i veliki vjetroagregat megavatne skale – generator s upravljivim momentom te sustav zakreta lopatica. Naknadno je u konstrukciju vjetrotunela/vjetroagregata ugrađen mehanički sklop za generiranje strukturnih oscilacija vjetroagregata te sustav upravljanja za kompenzaciju vibracija.

Važan doprinos izgradnji laboratorijskih kapaciteta za energiju vjetra dali su, uz prof. emer. dr. sc. Nedjeljka Perića, također i dr. sc. Mate Jelavić te prof. dr. sc. Branimir Matijašević (Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, FSB), prof. dr. sc. Milan Kostelac (FSB), prof. dr. sc. Hrvoje Domitrović i Stjepan Mikac, dipl. ing. [4]. Arhitektonski su laboratorij osmislile arhitektice Dubravka Vranić i Ivana Perić.

Ubrzo potom prof. dr. sc. Željko Ban i prof. dr. sc. Nedjeljko Perić nadodali su ovom sustavu i eksperimentalni postav za sustav pohrane energije temeljen na vodikovoj tehnologiji. To je bilo usko vezano uz istraživanja koje je prof. Ban provodio vezano uz upravljanje energetskim pretvaračima za svežnjeve gorivnih članaka uz značajan doprinos dr. sc. Tonija Bjažića. Kombiniranjem obnovljivih izvora sa sustavima pohrane naglašena je već i u samim početcima Laboratorija jasna vizija da je sustave nestalnih obnovljivih izvora energije potrebno uvezivati sa sustavima pohrane s ciljem osiguranja stabilne opskrbe trošila obnovljivom energijom. Na Slici 3. dan je tlocrtni prikaz laboratorijskog prostora s vjetrotunelom u sredini te

Slika 3: Tlocrtni pogled na prostor Laboratorija na 13. katu neboderske zgrade FERa.

dvije prostorije za "simulacijski" i "eksperimentalni" rad, lijevo i desno od tunela, kao i s malom prostorijom za elektrolizator, pohranu vodika (metalhidridni spremnik) i svežanj gorivnih članaka izvedenom uz sve mjere protueksplozijske zaštite. Slika 4. daje prikaz laboratorijskog vjetroagregata u vjetrotunelu te uvid u izgled novoizgrađenih laboratorijskih prostora, a Slika 5. fotografiju iz prostorije s vodikovom tehnologijom. U nepromijenjenom tlocrtnom obliku ovaj se laboratorijski prostor održao do danas. Zajedno s dizajnom i izgradnjom prostora dizajniran je i prvi logo LARESa koji LARES duguje dizajnerskoj inspiraciji Katarine Perić, mag. art. Taj logo dan je na Slici 6.

Slika 4: Laboratorijski vjetroagregat u vjetrotunelu i uređeni laboratorijski prostori na 13. katu neboderske zgrade FERa.

Slika 5: Eksperimentalni postav za istraživanje vodikove tehnologije u sklopu LARES-a (lijevo je metalhidridni spremnik, a u središnjem dijelu fotografije, u pozadini, je svežanj gorivnih članaka).

Slika 6: Prvi logo LARESa.

Kao što će se pokazati još dosta puta u godinama koje slijede, sustavski pristup istraživanju kroz principe automatskog upravljanja i optimizacije prirodno je od istraživanja pojedinačnog sustava vjetroagregata vodio do istraživanja vjetroelektrana u kojima skupina vjetroagregata treba koordiniranim upravljanjem ostvariti čim bolje vladanje, i u smislu planirane isporuke energije u mrežu i u smislu čim manjeg kumulativnog zamaranja konstrukcija pojedinih vjetroagregata. LARES je 2008. otpočeo ovu istraživačku temu provedbom svog prvog projekta financiranog iz EU fondova – radi se o EU FP7 projektu pod nazivom AEOLUS – Distributed Control of Large-scale Off-shore Wind Farms (2008.-2011.) na kojem je FER bio partner, koordinator je bilo Sveučilište u Aalborgu, a ključan industrijski partner bio je Vestas. Istraživanje na ovome projektu sa strane FERa neformalno je vodio prof. dr. sc. Mato Baotić (formalni voditelj bio je prof. dr. sc. Nedjeljko Perić), uz velik doprinos dr. sc. Vedrane Spudić i dr. sc. Mate Jelavića. Konačno rješenje za upravljanje vjetroelektranom bilo je u domeni modelskog prediktivnog upravljanja [5].

Daljnji razvoj obnovljivih izvora vezanih uz fazu 1 energetske tranzicije [2] i dalje sadrži brojne tehničke izazove te LARES kontinuirano odgovarajućim istraživačkim projektima ostaje prisutan u tom dijelu sve do danas [6-10]. Poglavito se to odnosi na projekt MultiWind (2008.-2011.) u kojem su važnu istraživačku ulogu, uz prof. Perića (voditelja projekta) i dr. sc. Matu Jelavića, imali dr. sc. Vlaho Petrović i dr. sc. Nikola Hure, te na suradnju s Laboratorijem za numeričku mehaniku FSBa koji vodi prof. dr. sc. Zdenko Tonković te s kojim LARES uz partnerstvo s Građevinskim fakultetom Sveučilišta u Rijeci provodi projekte iz naprednog upravljanja vjetroagregatom za očuvanje cjelovitosti konstrukcije (CEEStructHealth – Centre of Excellence for Structural Health (2013.-2015.) i ZaCjel – Zaštita cjelovitosti konstrukcija u energetici i transportu (2020.-2023.)). U sklopu CEEStructHealth zanimljivo je napomenuti da je uz značajne napore dr. sc. Nikole Hurea i Gorana Benčića iz Končar Inženjeringa za energetiku i transport d.d. uspostavljena mogućnost razvoja i testiranja naprednih algoritama upravljanja uključujući prediktivne algoritme od simulacijske okoline s detaljnim aerodinamičkim simulatorom do prijenosa koda u ciljanu

implementacijsku platformu samog vjetroagregata. To je iskorišteno za uspostavu nadbrzinske zaštite temeljene na invarijantnim skupovima [9] na samom KO-VA 57/1 vjetroagregatu. Time su se otvorile izuzetno velike mogućnosti za daljnji rad, no nažalost one nisu dalje kapitalizirane. Ključnom se odrednicom za smanjenje udjela istraživanja u domeni energije vjetra u LARESu od 2011. godine nadalje pokazuje napuštanje strateškog usmjerenja na razvoj vjetroagregata u koncernu Končar.

Istraživanju u sklopu Laboratorija pridružio se značajnije od 2008. godine i prof. dr. sc. Mario Vašak čije je istraživanje također bilo metodološki usmjereno na modelsko prediktivno upravljanje i matematičke optimizacije. Njegov ulazak u istraživačke aktivnosti Laboratorija vezan je uz nekoliko stvari: i) zaokruživanje eksperimentalnih postava Laboratorija fotonaponskom elektranom i mikromrežom, ii) istraživanje postupaka upravljanja generatorom vjetroagregata otpornog na kvarove kroz FP7 SEE-ERA.net PLUS projekt MONGS – Monitoring of Wind Turbine Generator Systems 2010.-2012. na kojem je FER bio partner i prof. dr. sc. Mario Vašak voditelj ispred FERa, ključni istraživač bio je doc. dr. sc. Vinko Lešić, koordinator projekta je bio prof. Thomas Wolbank s TU Beč, a partner uz FER i Elektrotehnički fakultet iz Podgorice, te iii) istraživanje energetski učinkovitog upravljanja klimatizacijom kao najvećim energetskim potrošačem u zgradi. Ovim potonjim je istraživačka djelatnost LARESa proširena i na mjere energetske učinkovitosti koje su komplementarne obnovljivim izvorima energije u procesu smanjenja ugljičnog otiska energetskog sustava, te su zajedno s obnovljivim izvorima karakteristične za fazu 1 energetske tranzicije [2].

U razdoblju do 2013. godine Laboratorij je upotpunjen fotonaponskom elektranom snage 21 kWp izgrađenom na krovu neboderske zgrade FER-a zajedno s mjernim sustavom za karakterizaciju Sunčeva ozračenja (Slika 7.). Fotonaponska elektrana je zajedno s vjetroagregatom i postavom za pohranu energije korištenjem baterijskih spremnika i vodikove tehnologije uključena putem odgovarajućih pretvarača snage u laboratorijsku mikromrežu LARESa. Izgradnja je provedena kao dio aktivnosti podizanja istraživačkih kapaciteta FERa kroz EU FP7 projekt ACROSS – Centre of Research Excellence for Advanced Cooperative Systems (2011.-2015.) kojem je koordinator bio prof. dr. sc. Ivan Petrović, a sama izgradnja fotonaponske elektrane provedena je pod vodstvom prof. dr. sc. Marija Vašaka. Vezano uz fotonaponski sustav, Sunčevo ozračenje i mikromrežu u Laboratoriju proveden je niz značajnih istraživanja u kojima su ključnu provedbenu ulogu imali dr. sc. Marko Gulin i dr. sc. Tomislav Pavlović [11-13]. Istraživanja u sklopu Laboratorija vezano za upravljanje pretvaračima provodila je i dr. sc. Tamara Hadjina, dr. sc. Goran Kujundžić provodio je istraživanja vezano za upravljanje sustavima s baterijskim spremnicima [14,15], a dr. sc. Aleksander Radovan vezano uz kratkotrajnu prognozu Sunčeva ozračenja [16].

Slika 7: Fotonaponska elektrana, sustav za mjerenje Sunčeva ozračenja i istraživači iz LARESa na krovu neboderske zgrade FERa.

2.1. Istraživanje integracije u zgradama i infrastrukturi

Od 2010. godine nadalje u Laboratoriju je sve izraženije usmjerenje na povezivanje distribuiranih obnovljivih izvora energije na zgradi u jedinstvenu cjelinu mikromreže zgrade koja ima cilj ostvarenja optimalnog profila razmjene energije s vanjskim distribucijskim energetskim mrežama, pri čemu se objedinjeno razmatra i mogućnosti oblikovanja čim povoljnijeg profila potrošnje energije zgrade uz udovoljenje svim komfornim zahtjevima. Time se istraživanje širi na sustave upravljanja koji integriraju pojedine cjeline zgrade što odgovara značajkama faze 2 energetske tranzicije [2] u koju LARES ulazi istraživački pravovremeno u odnosu na period 2020.-ih kada je projicirana šira ekspanzija tehnika pametne integracije u energetskim sustavima s velikim udjelom obnovljive energije. Ovdje tehnike upravljanja i estimacije u složenim sustavima, koje su u suštini temeljna ekspertiza članova Laboratorija, dolaze do punog izražaja.

Prvi takav integracijski projekt bio je HRZZ projekt Microgrid – Optimiranje sustava obnovljivih izvora električne energije povezanih u mikromrežu (2011.-2014.), suradni projekt s FSBom, Državnim hidrometeorološkim zavodom (DHMZ) i Končar – Institutom za elektrotehniku d.d. koji je vodio prof. dr. sc. Mato Baotić. Zanimljiva crtica jest da se od tada Laboratorij, tada još neformalno, na prijedlog prof. dr. sc. Mate Baotića, počinje nazivati njegovim današnjim imenom – Laboratorij za sustave

obnovljivih izvora energije. Akronim LARES vezan uz engleski naziv Laboratorija ostao je nepromijenjenim – od Laboratory for Renewable Energy Sources prije ove izmjene do Laboratory for Renewable Energy Systems nakon nje. Novim nazivom jače se naglašava sustavski pristup temeljen na principima automatskog upravljanja i matematičke optimizacije u kojem obnovljivi izvori energije predstavljaju dio cjelokupnog razmatranog sustava. Zbog tendencije povećanja udjela nestalnih obnovljivih izvora energije u energetskim sustavima i sveprisutnosti obnovljive energije u različitoj infrastrukturi i u zgradama, naziv Laboratorija ostaje trajno aktualan.

Uslijedio je prvi projekt vezan uz energetski učinkovito upravljanje zgradama pod nazivom ENHEMS Buildings – Enhancement of Research, Development and Technology Transfer Capacities in Energy Management Systems for Buildings (2013.-2015.) kojim je snažno istraživački pokrenut i segment energetski učinkovitog upravljanja u zgradi. Projekt je bio financiran iz IPA III.c pretpristupnih fondova EU za Republiku Hrvatsku, a vodio ga je prof. dr. sc. Mario Vašak. U sklopu ovog projekta započeta je izgradnja infrastrukture živućeg laboratorija za energetski učinkovito upravljanje klimatizacijom u zgradi – sustav koji omogućuje prediktivno upravljanje uspostavljen je na 9. i 10. katu neboderske zgrade FERa. Istraživanje je bilo vezano samo za tzv. razinu zone odnosno upravljanje klimatizacijom za održavanje komfora. Vrlo je važno napomenuti da je kroz ovaj projekt uspostavljena stalna suradnja LARESa s DHMZom koji je na ovome projektu bio partner. Kroz projekt je uspostavljena mreža za mjerenje Sunčeva ozračenja širom Hrvatske čime se postavljaju temelji za uspostavljanje sustava prognoziranja Sunčeva ozračenja za različite potrebe na cijelom njenom teritoriju jer se prognostički modeli za ozračenja od tada mogu podešavati na temelju mjerenja ozračenja relevantnih za cjelokupni teritorij Hrvatske. DHMZ je u sklopu projekta uspostavio prognostičku podršku za ključne meteorološke varijable, uključivo i Sunčevo ozračenje, za nebodersku zgradu FERa i od tada do danas stalno generira prognoze za FERovu zgradu na satnoj rezoluciji svakih 6 sati za 72 sata unaprijed. DHMZ to od 2015. godine do danas provodi bez ikakve novčane kompenzacije i za to mu LARES duguje izuzetnu zahvalnost.

Potom se HRZZ projektom 3CON – Control-based Hierarchical Coordination of Large Consumers for Integration in Smart Grids (2014.-2017.) pod vodstvom prof. dr. sc. Marija Vašaka počinje razmatrati koordinacija između razine mikromreže i razine zona u zgradi, pri čemu svoja istraživanja združuju doc. dr. sc. Vinko Lešić (upravljanje mikromrežom i koordinacija) i doc. dr. sc. Anita Banjac (upravljanje grijanjem/hlađenjem u zonama zgrade) [17]. Istraživanje u ovome području kulminiralo je projektom 3Smart – Smart Building – Smart Grid – Smart City (2017.-2019.) financiranim iz Programa transnacionalne suradnje Dunav (Interreg Dunav) na kojem je koordinator bio prof. dr. sc. Mario Vašak. U sklopu ovog projekta cjelokupna je neboderska zgrada FERa opremljena odgovarajućom senzorskom i informacijsko-tehnološkom (IT) podrškom koja omogućuje prediktivno upravljanje klimatizacijom

u 248 ureda smještenih kroz 13 katova zgrade od otprilike 10.000 m^2, prediktivno upravljanje pripremom medija za grijanje odnosno hlađenje zgrade (toplinska stanica odnosno rashladnik) i prediktivno upravljanje na razini mikromreže zgrade korištenjem potpuno upravljivog Li-ion baterijskog sustava 32 kWh/10 kW uvezanog s mjerilima potrošnje zgrade i fotonaponskim sustavom. Pritom je uspostavljen princip hijerarhijske koordinacije među svim sustavima uz velik doprinos doc. dr. sc. Anite Banjac, dr. sc. Nikole Hurea i dr. sc. Hrvoja Novaka [18]. Projekt je proveden uz suradnju s FER-ovim Laboratorijem za napredne elektroenergetske mreže (izv. prof. dr. sc. Tomislav Capuder) s ciljem uvezivanja sustava zgrade u naprednu elektroenergetsku distribucijsku mrežu uz uspostavljene principe odziva potrošnje na koje je prilagođeno cjelokupno koordinirano upravljanje na sve tri razine u zgradi. Projekt 3Smart je uz zgradu FERa uključivao uspostavu sustava prediktivnog upravljanja na pilotima u staroj upravnoj zgradi Hrvatske elektroprivrede (HEP) u Ulici grada Vukovara u Zagrebu, osnovnoj školi u Idriji (Slovenija), osnovnoj školi i staračkom domu u Stremu (Austrija), zgradi Elektroprivrede Hrvatske Zajednice Herceg Bosne u Tomislavgradu (Bosna i Herecegovina) te zgradi EONa u Debrecenu (Mađarska). Time su istraživači u LARESu stekli značajnu ekspertizu uspostave IT infrastrukture za sustave naprednog upravljanja u zgradama koje su kapitalizirali kroz naredne projekte vezane uz prediktivno upravljanje u zgradama s hrvatskim tvrtkama Klima-oprema (PC-ATE Buildings 2018.-2022.), King ICT (Inuking 2020.-2023.) i Iskon Internet (SUPEER 2020.-2023.), te kroz međunarodni projekt Store4HUC (2019.-2022.) financiran iz sheme Interreg središnja Europa.

Još jedan naglašeni smjer istraživanja u LARES pokrenut je 2012. godine EU FP7 projektom UrbanWater – Intelligent Urban Water Management System (2012.-2015.) koji je sa strane FERa kao partnera vodio prof. dr. sc. Mario Vašak, a koordinator projekta bila je tvrtka Aqualia iz Španjolske. Projekt se ticao vođenja sustava pripreme i distribucije vode u gradovima, a zadatak LARESa bio je predviđanje potrošnje vode po točkama distribucijskog sustava, adaptivno određivanje cijena vode s ciljem oblikovanja potrošnje i prepoznavanje potrošnje vode na individualnim uređajima u kućanstvu iz potpisa na mjerilu potrošnje. Time je istraživački rad LARESa proširen i na razmatranje različite infrastrukture u kojoj je odgovarajućim upravljačkim akcijama potrebno osigurati učinkovit rad. U periodu 2013.-2016. u LARESu je provođen EU FP7 projekt DYMASOS – Dynamic Management of Physically Coupled Systems of Systems koji je koordinirao TU Dortmund i u kojem je uz FER sudjelovao niz značajnih europskih istraživačkih centara iz područja automatskog upravljanja – ETH Zürich, TU Sevilja i dr. Projekt je na FERu vodio prof. dr. sc. Mato Baotić, a naglasak je bio na koordiniranom upravljanju infrastrukturom, uz studiju slučaja elektrodistribucijske mreže HEP Operatora distribucijskog sustava u gradu Koprivnici, pri čemu je pokazano kako je prediktivnim upravljanjem rekonfiguracijom mreže moguće postići značajno smanjenje gubitaka u mreži [19]. Uz ovaj značajan rezultat, prof. dr. sc. Mato Baotić je u suradnji s doc. dr. sc. Branimirom Novoselnikom razvio

i važne teoretske rezultate o računski efikasnom načinu parametarske koordinacije niza neovisnih sustava povezanih zajedničkim ograničenjima [20].

Važan daljnji rezultat u upravljanju infrastrukturom postignut je kroz već spomenuti projekt 3CON, a tiče se upravljanja vučnih sila željezničkih kompozicija napajanih iz iste elektrovučne podstanice na koje je dr. sc. Hrvoje Novak primijenio principe prediktivnog upravljanja i hijerarhijske koordinacije te pokazao značajnu mogućnost ušteda [21, 22].

Primjena prediktivnog upravljanja u infrastrukturi dovela je u nastavku do aktualnog Obzor 2020 projekta REWAISE – Resilient Water Innovation for Smart Economy (2020.-2025.) u sklopu kojeg je LARES zadužen za i) uspostavu sustava za pomoć pri donošenju odluka na temelju prediktivnog upravljanja i optimizacije u sva četiri sustava u urbanom vodnom ciklusu – postrojenju za pripremu pitke vode, vodoopskrbnom sustavu, kanalizaciji i postrojenju za pročišćavanje otpadnih voda – te za ii) njihovu međusobnu koordinaciju na principu tržišnih mehanizama ponude i potražnje. Projekt u LARESu vodi prof. dr. sc. Mario Vašak, a koordinator je tvrtka Aqualia iz Španjolske.

Razmatrajući segmente distribucijskih mreža odnosno cjelokupnih vodnih sustava te prometne infrastrukture koji su obuhvaćeni istraživanjima u LARESu, može se reći da je opseg istraživanja proširen na infrastrukturu pametnih gradova i zajednica. Tome svjedoče i nedavno pokrenuti projekti upravljanja rasvjetom u gradovima te urbane i pametne poljoprivrede – projekti SmartCityLight (2020.-2023.) i AgroSPARC (2019.-2023.) koje vodi doc. dr. sc. Vinko Lešić, kao i projekti koje provodi prof. dr. sc. Željko Ban u dijelu elektromobilnosti: projekt izgradnje punionice za električne bicikle akronima PUELBI, koji on i koordinira, (2020.-2023.) te projekti razvoja sustava neprekidnog napajanja za željezničku i industrijsku infrastrukturu Mareton (2018.-2022.) i Mareton-2 (2020.-2023.). Također se u području elektromobilnosti provodi i projekt EVBattPredtect vezan uz zaštitu baterija električnog vozila od prekomjernog starenja, a vodi ga prof. dr. sc. Mario Vašak u suradnji s tvrtkom Rimac Technology.

U jeku različitih istraživanja u LARESu, Laboratorij je službeno oformljen kao istraživački laboratorij FERa odlukom Fakultetskog vijeća FERa na njegovoj 681. redovitoj sjednici od 17. listopada 2018. godine. Voditeljem LARESa imenovan je prof. dr. sc. Mario Vašak.

3. Sadašnja istraživačka usmjerenja u LARESu

Laboratorij za sustave obnovljivih izvora energije danas broji oko 45 istraživača te četvero administrativnog osoblja. Ukupno je 8 istraživača u znanstveno-nastavnom

zvanju od docenta naviše. To su: prof. dr. sc. Mario Vašak (voditelj Laboratorija), prof. emer. dr. sc. Nedjeljko Perić, prof. dr. sc. Željko Ban, prof. dr. sc. Mato Baotić, prof. dr. sc. Jadranko Matuško, doc. dr. sc. Branimir Novoselnik, doc. dr. sc. Vinko Lešić i doc. dr. sc. Anita Banjac. Također je 7 istraživača s doktoratom znanosti: dr. sc. Nikola Hure, dr. sc. Hrvoje Novak, dr. sc. Nigar Ahmed, dr. sc. Damir Muha, dr. sc. Slaven Begović, dr. sc. Marijo Šundrica i dr. sc. Husam Shaheen. Osoblje laboratorija smješteno je u već spomenutim prostorima 13. kata, a također i u uredima na 9. i 2. katu neboderske zgrade FERa. Dio laboratorijskih prostora nalazi se i u suterenu neboderske zgrade.

U LARESu se trenutno provodi preko 20 istraživačko-razvojnih projekata. Danas je glavni naglasak u radu LARESa velika potreba za integracijom individualnih sustava obnovljivih izvora, pohrane i potrošnje u sustavima naprednih zgrada, infrastruktura i gradova, gdje koncepti upravljanja i estimacije temeljeni na matematičkoj optimizaciji postaju neminovnima.

Kako se energetskom tranzicijom, zbog nestalnih izvora obnovljive energije, mijenja paradigma energetskih sustava iz „proizvodnja slijedi potrošnju“ u „potrošnja slijedi proizvodnju“, ova neminovnost posebno proizlazi iz potrebe da sustavi upravljanja u zgradama i infrastrukturi pametnih gradova podržavaju mehanizam odziva potrošnje. Pritom postaje ključno da se metodama matematičke optimizacije i prediktivnog upravljanja dan za danom odlučuje o sudjelovanju zgrade odnosno infrastrukture u usluzi odziva potrošnje te o iznosu fleksibilnosti potrošnje koju se nudi, a potom je potrebno upravljanjem na pomičnom horizontu omogućiti optimalan rad zgrade odnosno infrastrukture uračunavši potencijalnu mogućnost poziva za pružanje fleksibilnosti u potrošnji i različite poremećaje.

Također se dužna pažnja posvećuje algoritmima optimalnog zajedničkog rada sustava za slučaj kada oni čine pravno monolitnu cjelinu (primjerice klimatizacija i mikromreža u zgradi), kao i algoritmima međusobne koordinacije pravno razdvojenih sustava (primjerice više zgrada s različitim vlasnicima). Primjer pristupa za koordinaciju pravno monolitnih sustava jest hijerarhijska koordinacija, a za koordinaciju pravno razdvojenih sustava jest mehanizam autonomnog trgovanja koji se u sklopu projekta PC-ATE Buildings uvodi u zajednicu zgrada koje su okupljene pod istim agregatorom za pružanje fleksibilnosti energetskom sustavu.

Korištenje algoritama optimizacije i prediktivnog upravljanja kroz različite se projekte prirodno raslojilo na tri međusobno povezane razine, pri čemu su pojedini projekti mahom fokusirani na jednu do maksimalno dvije od njih:

1. Optimalno parametriranje sustava zgrade ili infrastrukture pri radu na duljim vremenskim skalama (npr. tjedan, mjesec, godina), uz određivanje optimalne politike rada;

2. Određivanje optimalnog načina rada parametriranog sustava na kraćoj vremenskoj skali (npr. jedan dan unaprijed) kojim se omogućuje nastup na tržištima energije i fleksibilnosti u smislu generiranja različitih ponuda;

3. Rad u stvarnom vremenu kojim se prediktivnim upravljanjem omogućuje čim bolje slijeđenje ranije danih ponuda na tržištima energije i fleksibilnosti često na način da se između različitih mogućih scenarija rada minimizira štetu za najgori slučaj.

Iako se tek očekuje puni zamah pametne integracije sustava u sklopu faze 2 energetske tranzicije [2], naslonjeno na nju nastoji se i istraživački poduprijeti fazu 3 energetske tranzicije [2] u kojoj na scenu dolaze sintetička goriva. LARES od polovice 2020. godine sudjeluje u projektu DanuP2Gas – Innovative model to drive energy security and diversity in the Danube Region via combination of bioenergy with surplus renewable energy u sklopu kojeg se razmatra parametriranje i rad elektroplinskih čvorišta kod kojih se sustječu energetski vektori biomase, plina, električne i toplinske energije te se također i isprepliću s mobilnošću pogonjenom vodikom. Pritom se pojavljuju različiti oblici sintetičkih goriva, uključivo i vodik, za koji je vrlo izvjesno da postaje medij za pohranu velikih količina obnovljive energije. LARES zasad pristupa izazovu elektroplinskih čvorišta kroz DanuP2Gas projekt kroz prizmu optimalnog parametriranja brojnih podsustava elektroplinskog čvorišta, a istraživanje planira nastaviti dalje kroz odziv potrošnje koji takva čvorišta mogu pružati elektroenergetskoj i plinskoj distribucijskoj odnosno prijenosnoj mreži.

S obzirom da je LARES usmjeren na sustave upravljanja koji objedinjuju različite domene i ekspertize u izazovnom području niskoenergetskih zgrada i infrastrukture, prirodno je da bude jako dobro povezan s drugim istraživačkim laboratorijima na FERu i šire. LARES je dio Centra za umjetnu inteligenciju FERa koji obuhvaća veći broj istraživačkih laboratorija FERa okupljenih oko teme umjetne inteligencije, a također kroz brojne projekte surađuje s različitim istraživačkim laboratorijima FERa. To su: Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku (LAMOR, voditelj prof. dr. sc. Ivan Petrović), Laboratorij za električne strojeve, učinsku elektroniku i pogone (LESUEP, voditelj prof. dr. sc. Damir Žarko), Laboratorij za informacijsku sigurnost i privatnost (LISP, voditelj prof. dr. sc. Stjepan Groš), Laboratorij za mehatroničke sustave (LAMES, voditelj prof. dr. sc. Jadranko Matuško), Laboratorij za napredne elektroenergetske mreže (SGLab, voditelj prof. dr. sc. Igor Kuzle), Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS, voditelj prof. dr. sc. Zdenko Kovačić), Laboratorij za odziv potrošnje (DRLab, voditelj prof. dr. sc. Hrvoje Pandžić).

Veliki broj kvalitetnih sadašnjih i budućih istraživačkih rezultata predstavlja i veliki izazov za istraživače LARESa da svoja istraživanja značajnije usmjeravaju na

primjene u raznim gospodarskim sektorima, pri čemu je ključni partner Inovacijski centar Nikola Tesla (ICENT).

4. Zaključak

Laboratorij za sustave obnovljivih izvora energije (engl. Laboratory for Renewable Energy Systems, LARES) nastao je početkom 2000.-ih godina sistematizacijom nastojanja da se napredne tehnike upravljanja primijene u sustavima obnovljivih izvora energije. Kroz godine značajno je širio svoj istraživački opseg, u skladu s tehničkim potrebama i izazovima energetske tranzicije koja je danas u punom zamahu. Laboratorij se danas bavi brojnim problemima optimiranja i upravljanja složenih sustava zgrada i infrastrukture.

Literatura

[1] Europska Komisija, 2021. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, Pristupljeno: 2022-01-30.

[2] Sterchele P.; Brandes, J.; Heilig J.; Wrede, D.; Kost, C.; Schlegl, T.; Andreas Bett, A. & Henning, H.-M: Paths to a Climate-neutral energy system: The German Energy Transition in its Social Context, Dostupan na https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/paths-to-a-climate-neutral-energy-system.html, Pristupljeno: 2022-01-30.

[3] Jelavić, M.: Upravljanje vjetroagregatom s ciljem smanjenja dinamičkih opterećenja konstrukcije, doktorska disertacija, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2009.

[4] Perić, N. ; Jelavić, M. ; Ban, Ž. ; Domitrović, H. ; Matijašević, B. ; Kostelac, M. & Mikac, S.: Wind turbine control research in the Laboratory for renewable energy sources, Zbornik skupa 2010 European Wind Energy Conference & Exhibition, Varšava, Travanj 2010., European Wind Energy Association, Varšava, (2010).

[5] Spudić, V.; Jelavić, M. & Baotić, M.: Supervisory controller for reduction of wind turbine loads in curtailed operation, Control Engineering Practice, 36 (2015), str. 72-86, ISSN 0967-0661.

[6] Lešić, V.; Vašak, M.; Perić, N.; Joksimović, G. & Wolbank, T.: Fault-tolerant Control of a Wind Turbine with Generator Stator Inter-turn Faults, Automatika, 54 (2013), Br. 1, str. 89-102, ISSN 0005-1144.

[7] Lešić, V.; Vašak, M.; Perić, N.; Wolbank, T. & Joksimović, G.: Fault-tolerant Control of a Wind Turbine with a Squirrel-cage Induction Generator and Rotor Bar Defects, Automatika, 54 (2013), Br. 3, str. 316-328, ISSN 0005-1144.

[8] Vašak, M.; Lešić, V.; Wolbank, T. & Perić, N. Generator-fault-tolerant Control for a Variable-speed Variable-pitch Wind Turbine. Patent US8,928,165 od 6. siječnja 2015.

[9] Hure, N.; Vašak, M. Jelavić, M. & Perić, N.: Wind turbine overspeed protection based on polytopic robustly invariant sets, Wind Energy, 19 (2016), Br. 9, str. 1713-1731, ISSN 1095-4244.

[10] Petrović, V.; Jelavić, M. & Baotić, M.: MPC framework for constrained wind turbine individual pitch control, Wind Energy, 24. (2021), Br. 1, str. 54-68, ISSN 1095-4244.

[11] Gulin, M.; Vašak, M. & Perić, N.: Dynamical Optimal Positioning of a Photovoltaic Panel in All Weather Conditions, Applied Energy, 108 (2013), str. 429-438, ISSN 0306-2619.

[12] Gulin, M.; Pavlović, T. & Vašak, M.: Photovoltaic panel and array static models for power production prediction: Integration of manufacturers' and on-line dana. Renewable Energy, 97 (2016), str. 399-413, ISSN 0960-1481.

[13] Gulin, M.; Pavlović, T. & Vašak, M.: A one-day-ahead photovoltaic array power production prediction with combined static and dynamic on-line correction. Solar Energy, 142 (2017), str. 49-60, ISSN 0038-092X.

[14] Kujundžić, G.; Ileš, Š.; Matuško, J. & Vašak, M.: Optimal charging of valve-regulated lead-acid batteries based on model predictive control. Applied Energy, 187 (2017), str. 189-202, ISSN 0306-2619.

[15] Vašak, M. & Kujundžić, G.: A Battery Management System for Efficient Adherence to Energy Exchange Commands under Longevity Constraints. IEEE Transactions on Industry Applications, 54 (2018), Br. 4, str. 3019-3033, ISSN 0093-9994.

[16] Radovan, A.; Šunde, V.; Kučak, D. & Ban, Ž.: Solar Irradiance Forecast Based on Cloud Movement Prediction. Energies 14 (2021), Br. 13, članak broj 3775, 25 stranica, ISSN 1996-1073.

[17] Lešić, V.; Martinčević, A. & Vašak, M.: Modular energy cost optimization for buildings with integrated microgrid. Applied Energy, 197 (2017), Str. 14-28, ISSN 0306-2619.

[18] Vašak, M.; Banjac, A.; Hure, N.; Novak, H.; Marušić, D. & Lešić, V.: Modular Hierarchical Model Predictive Control for Coordinated and Holistic Energy Management of Buildings. IEEE Transactions on Energy Conversion, 36 (2021), Br. 4, str. 2670-2682, ISSN 0885-8969.

[19] Novoselnik, B.; Bolfek, M.; Bošković, M.; Baotić, M.: Electrical Power Distribution System Reconfiguration: Case Study of a Real-life Grid in Croatia. IFAC-PapersOnLine, 50 (2017) Br. 1, Str. 61-66, ISSN 2405-8963.

[20] Novoselnik, B.; Spudić, V. & Baotić, M.: Parametric Optimization Based MPC for Systems of Systems with Affine Coordination Constraints, IEEE Transactions on Automatic Control, 65 (2020), Br. 2, str. 649-663, ISSN 0018-9286.

[21] Novak, H.; Lešić, V. & Vašak, M.: Hierarchical Model Predictive Control for Coordinated Electric Railway Traction System Energy Management, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 20 (2019). Br. 7, str. 2715-2727, ISSN 1524-9050.

[22] Novak, H.; Lešić, V. & Vašak, M.: Energy-Efficient Model Predictive Train Traction Control With Incorporated Traction System Efficiency, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, (2021), Early Access, doi: 10.1109/TITS.2020.3046416, str. 1-12, ISSN 1524-9050.

Uspostava i ustrojstvo Laboratorija za termoizolacijska svojstva odjeće

Snježana Firšt Rogale[1] i Dubravko Rogale[2]

[1] Član suradnik, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, sfrogale@ttf.unizg.hr

[2] Redoviti član, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, dubravko.rogale@ttf.unizg.hr

Sažetak: *U sklopu istraživačkog projekta IP-2018-01-6363 Razvoj i toplinska svojstava inteligentne odjeće (ThermIC) financiranog od Hrvatske zaklade za znanost, u Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta uspostavljen je Laboratorij za termoizolacijska svojstva odjeće. U laboratoriju je instaliran integrirani mjeriteljski sustav za cjelovita ispitivanja termofizioloških svojstava odjevnih kompozita i odjeće. Većina uređaja koji čine mjeriteljski sustav predstavlja originalna patentirana rješenja. Integrirani mjerni sustav za termofiziološka svojstva odjeće sastoji se od mjernog sustava za određivanje statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava kompozita i odjeće (vruće ploče i termalnog manekena), uređaja za mjerenje fizioloških parametara ljudskog tijela pri egzaktnom vrednovanju toplinske udobnosti odjeće, višenamjenskog diferencijalnog konduktometra za tekstilne kompozite i odjeću, uređaja za mjerenja temperaturnih gradijenata u odjevnim kompozitima, uređaja za nedestruktivno mjerenje otpora prolazu topline i propusnosti vodene pare/otpora prolazu vode (Permetest), termovizijske kamere, te više pomoćnih uređaja i naprava.*

Ključne riječi: *odjeća, termoizolacijska svojstva, inovativni mjerni sustavi, Laboratorij za termoizolacijska svojstva odjeće*

1. Uvod

U Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta uspostavljen je 2002. godine Laboratorij za procesne parametre. U laboratoriju su, pod vodstvom prof. dr. sc. Dubravka Rogalea, kroz istraživačke, stručne i nastavne djelatnosti provođena istraživanja procesnih parametar odjevnog inženjerstva. Voditelj laboratorija bio je ujedno voditelj i glavni istraživač znanstvenih projekata financiranih od Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske *Procesi proizvodnje i dizajn odjeće*

(1996.-2002.), *Procesni parametri proizvodnje i dizajn odjeće* (2002.-2006.) te bilateralnog projekta *Mjerni sustavi i metode u odjevnom inženjerstvu* (2000.-2003.). U sklopu tih projekata laboratorij je opremljen znanstvenom opremom, a dio mjernih sustava bio je rezultat inovativnog rada voditelja laboratorija i suradnika.

2007. godine znanstveno-inovativni tim, pod vodstvom voditelja prof. dr. sc. D. Rogalea, počeo je razvijati inteligentnu odjeću s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima. Bila su to prva istraživanja na području razvoja inteligentne odjeće u Hrvatskoj, ali i u svijetu. S obzirom da *Laboratorij za procesne parametre* nije bio opremljen mjernim uređajima i opremom potrebnom za razvoj inteligentne odjeće, ona se je, najvećim dijelom razvijala u osobnom laboratoriju voditelja znanstveno-inovativnog tima, sl. 1.

a. b.

Slika 1: Razvoj inteligentne odjeće (a.) u privatnom laboratoriju D. Rogalea (b.)

U kućnim uvjetima osmišljene su i realizirane sljedeće inovacije: integrirani mjerni sustav za neovisna mjerenja temperature i stanja aktuatora u inteligentnoj odjeći, sl. 2, (autori: D. Rogale, S. Firšt Rogale), uređaj i metoda za određivanje načina funkcioniranja i mjerenja utjecajnih parametara na rad inteligentnog odjevnog predmeta (autori: D. Rogale, S. Firšt Rogale), uređaj za ispitivanja konstrukcijskih svojstava ekspandirajućih termoizolacijskih komora, sl. 3, (autori: S. Firšt Rogale, D. Rogale), te uređaj za mjerenje protoka zraka pri punjenju termoizolacijskih komora inteligentne odjeće (autori: D. Rogale, G. Čubrić) koji su danas sastavni dio mjerne opreme *Laboratorija za termoizolacijska svojstva odjeće*.

Slika 2: Integrirani mjerni sustav za neovisna mjerenja temperature i stanja aktuatora u inteligentnoj odjeći

Slika 3: Shematski prikaz uređaja za ispitivanja konstrukcijskih svojstava ekspandirajućih termoizolacijskih komora

Razvojem inteligentne odjeće s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima javila se potreba za opremom za ispitivanje termoizolacijskih svojstava odjevnih kompozita i odjeće, čiji je razvoj, realizacija, umjeravanje i patentiranje financiran kroz znanstveni projekt Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske *Inteligentna odjeća i okruženje* (2007.-2011.), tehnologijski projekt financiran od Hrvatskog instituta za tehnologije *Odjeća sa adaptivnim termoizolacijskim svojstvima*, (2009.-2011.), *PoC6_1_189 Diferencijalni toplinski konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću* financiran od Svjetske banke kroz HAMAG BICRO, a nastavljen u sklopu istraživačkog projekta IP-2018-01-6363 Hrvatske zaklade za znanost *Razvoj i toplinska svojstva odjeće*, kroz *Kratkoročne financijske potpora istraživanju Sveučilišta u Zagrebu* istog voditelja te autorice ovog rada, ali i kroz osobna sredstva voditelja znanstveno-inovativnog tima.

S obzirom da je oprema nadmašila i prostorno i namjenom *Laboratorij za procesne parametre* javila se opravdana potreba za razdvajanjem i smještanjem opreme u dva laboratorija. Stoga se, prema ideji i na poticaj autorice ovog rada krenulo u uspostavu *Laboratorija za termoizolacijska svojstva odjeće*. Fakultetsko vijeće Tekstilno-tehnološkog fakulteta je na 8. redovitoj sjednici u akad. god. 2020./2021., održanoj 24. svibnja 2021. godine donijelo odluku o osnivanju i ustrojstvu *Laboratorija za termoizolacijska svojstva odjeće*, što je bila jedna od aktivnosti projekta Hrvatske zaklade za znanost *Razvoj i toplinska svojstva odjeće*.

2. Integrirani mjeriteljski sustav za cjelovita ispitivanja termofizioloških svojstava odjevnih kompozita i odjeće

U *Laboratoriju za termoizolacijska svojstva odjeće*, sl. 4, integrirani su mjeriteljski sustavi za cjelovita ispitivanja termoizolacijskih svojstava odjevnih kompozita i odjeće [1].

Slika 4: Laboratorij za termoizolacijska svojstva odjeće

Integrirani mjeriteljski sustav sastoji se od sustava za određivanje statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava kompozita i odjeće (vruće ploče i termalnog manekena) smještenih u termoizolacijsku komoru.

sklopu projekta Hrvatske zaklade za znanost *Razvoj i toplinska svojstva odjeće*, a za potrebe mjerenja na uređaju za mjerenje fizioloških parametara ljudskog tijela pri egzaktnom vrednovanju toplinske udobnosti odjeće, višenamjenskog diferencijalnog konduktometra za tekstilne kompozite i odjeću, uređaja za mjerenja temperaturnih gradijenata u odjevnim kompozitima, uređaja za nedestruktivno mjerenje otpora prolazu topline i propusnosti vodene pare/otpora prolazu vode) konstruirana je termoizolacijska komora za niske temperature, sl. 5. Temperatura zraka u komori se može spustiti od sobne do -15°C uz regulaciju brzine strujanja zraka. Opremljena je i pokretnom trakom za mjerenja termofizioloških stanja odjeće pri niskim temperaturama i različitim tjelesnim fizičkim opterećenjima.

Slika 5: Termoizolacijska komora za niske temperature

Dio integriranog mjernog sustava je i termovizijska kamera VarioCam Jenoptik, sl. 6, koja se koristi za određivanje raspodjele temperatura na odjeći te na površini mjernih uređaja za određivanje toplinskih svojstava pri njihovom umjeravanju.

Slika 6: Termovizijska kamera VarioCam Jenoptik

2.1. Mjerni sustav za određivanje statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava kompozita i odjeće

Mjerni sustav za određivanje statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava kompozita i odjeće, koji se sastoji od mjernog sustava za određivanje toplinskih svojstava odjevnih kompozita (vruća ploča, sl. 5) i mjernog sustava za određivanje toplinskih svojstava odjeće (termalni maneken, sl. 6) smješteni su u istu klima komoru i rade pod istim ispitnim uvjetima.

Slika 7: Vruća ploča

Slika 8: Unutrašnjost termalnog manekena s pneumatsko-polužnim sustavom, točkastim grijačima, senzorima i mikrokontrolerskim pločicama

U komori se mogu regulirati uvjeti okoliša (temperatura, strujanje zraka i relativna vlažnost zraka) kao i temperatura vruće ploče i termalnog manekena. Mjerni sustav je uspješno uveden u rad, umjeren i ispitan, za njega je dobiven patent pri Državnom zavodu za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske pod oznakom PK20130350. Mjerenja vrijednosti termoizolacijskih svojstava kompozita i odjeće se izvode, za razliku od drugih sustava, pri istim uvjetima okoliša prema standardu ISO 15831, ali se uvjeti mogu regulirati i van područja koje propisuje standard te se na taj način mogu izvoditi mjerenja u realnim uvjetima. Na mjernom sustavu se izvode vrlo opsežna ispitivanja toplinskih svojstava odjeće s posebnim fokusom na namjensku zaštitnu odjeću za vojsku, policiju i specijalne službe te istraživanja toplinskih svojstva inteligentne odjeće. Utvrđeno je da mjerni sustav ima izuzetnu primjenjivost za određivanje toplinskih svojstava već gotovih odjevnih predmeta, ali može poslužiti i za projektiranje novih vrsta odjevnih predmeta od kojih se očekuje točno određena razina toplinske zaštite.

Tekstilna tvorevina veličine veće od 0,4×0,6 m se polaže na pravokutnu površinu vruće ploče, sl. 5 koja je najčešće zagrijana do konstantne temperature koja odgovara temperaturi kože na ljudskom tijelu (tj. 34°C), ali se može podesiti bilo koja temperatura koju mogu osigurati grijači čija je sveukupna snaga koju dovode mjernoj površini do 280 W. Temperatura ploče se mjeri pomoću više digitalnih senzora umetnutih direktno ispod površine ploče. Senzorski elementi mjere promjene temperature, koja se postiže zagrijavanjem 32 neinduktivna mikrogrijača smještena u dva polja,

ravnomjerno postavljenih ispod grijane površine kako bi se osigurala ravnomjerna distribucija topline, odnosno temperature cijele ploče. Svakim poljem mjerne ploče upravlja zaseban mikrokontrolerski sustav tako da radom mjerne ploče, odnosno održavanjem konstantne temperature upravljaju dva mikrokontrolera povezana mjernim protokolom preko digitalnog međusklopa s PC računalom.

Termalni maneken sastoji se od 24 segmenta ljudskog tijela unutar kojeg su instalirani električni grijači, senzori temperature, 14 mikrokontrolerskih sklopova i pneumatski sustav za pokretanje ruku i nogu. Namijenjen je određivanju statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava odjeće, simulira hodanje na način da se protufazno pokreću obje ruke i noge. Brzina gibanja ekstremiteta se može mijenjati u širokom rasponu i točno namjestiti brzina pokretanja od 45±2 dvostruka koraka/min i 45±2 dvostruka pokreta rukama/min kod hoda, što odgovara normi HRN EN ISO 15831.

Vrućom pločom i termalnim manekenom se upravlja i izvode mjerenja pomoću računalnih programa preko digitalnog međusklopa LabVIEW. Vruća ploča je povezana sa računalnim programom za upravljanje i mjerenje na vrućoj ploči računalnim programom za upravljanje parametrima u klima komori. Termalni maneken je povezan sa računalnim programom za upravljanje manekenom, računalnim programom za mjerenje na termalnom manekenu, te računalnim programom za upravljanje parametrima u klima komori. Tijekom održavanja konstantnih temperatura mjerne površine vruće ploče, odnosno manekena, mjeri se električna snaga potrebna za zagrijavanje mjerne površine uređaja. Tijek mjerenja se prati na zaslonima monitora te se mjerni rezultati, koji se pohranjuju u bazu podataka, naknadno mogu analizirati i statistički obraditi.

2.2. Uređaj za mjerenje fizioloških parametara ljudskog tijela pri egzaktnom vrednovanju toplinske udobnosti odjeće

Toplinska udobnost pri nošenju odjeće može se odrediti subjektivnim izričajem nositelja ili egzaktnim mjerenjima fizioloških parametara: temperature kože (izmjerene metodom 4, 8 ili 12 mjesta pri čemu se izračunava srednja ponderirana temperatura), relativne vlažnosti kože (znojenja) i frekvencije otkucaja srca. Uređaj za mjerenje fizioloških parametara ljudskog tijela pri egzaktnom vrednovanju toplinske udobnosti odjeće prikazan je na sl. 9.

Uređaj se sastoji od četiri modula: modula za mjerenje temperature kože nositelja odjevnog sustava koji može mjeriti temperaturu kože na 4, 8 ili 12 mjesta te izračunavati srednju ponderiranu temperaturu kože; modula za mjerenje relativne vlažnosti kože (znojenja) nositelja odjevnog sustava i za prikaz mjernih rezultata; modula za mjerenje frekvencije otkucaja srca nositelja odjevnog sustava i za prikaz mjernih

rezultata te modula za mjerenje temperatura između pojedinih slojeva odjeće za određivanje udjela toplinskog izolacijskog efekta svakog pojedinog sloja u odjevnom sustavu.

Ovim uređajem smanjuje se subjektivizam ocjene, a povećava se signifikantnost egzaktnog mjerenja

a.

b.

Slika 9: Uređaj za mjerenje fizioloških parametara ljudskog tijela pri egzaktnom vrednovanju toplinske udobnosti odjeće: a. mjerni uređaj; b. senzori

2.3. Višenamjenski diferencijalni konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću

U sklopu tehnologijskog projekta *PoC6_1_189 Diferencijalni toplinski konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću* je osmišljen, konstruiran, patentiran i realiziran višenamjenski diferencijalni konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću, sl. 10,

koji može izmjeriti utjecaj svakog pojedinog sloja odjeće ili kompozita na njihova ukupna toplinska svojstva, što je vrlo bitno za utvrđivanje kvalitete ispitivanih gotovih odjevnih predmeta kao i pri projektiranju budućih odjevnih predmeta sa zadanim toplinskim svojstvima.

Višenamjenski diferencijalni toplinski konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću mjeri kontaktnu toplinsku vodljivost između dvije ploče različitih temperatura. Jedna ploča predstavlja površinu kože ljudskog tijela, a druga okoliš kompozita ili odjeće. Osim za mjerenja vodljivosti uređaj je opremljen i nizom senzora temperature koji se umeću u svaki sloj kompozita ili slojeva odjeće. Pri tome se mjeri diferencijalni pad temperature po slojevima, odnosno učinkovitost toplinske izolacije svakog pojedinog sloja. Time se omogućio analitički pristup i egzaktno vrednovanje svih utjecajnih parametara kompozita i slojeva odjeće na njihovu toplinsku izolaciju. Ključne tehničke karakteristike uređaja su mehanički dio aparature, električni dio grijanih površina, senzorski dio mjerenja temperatura, regulacijski dio za održavanje konstantnih zadanih temperatura, sustav za mjerenje električne snage grijača površina, upravljačko mjerno mikroračunalo, međusklop za komunikaciju s osobnim računalom i softveri za mikroračunalo i osobno računalo za prijem podataka, pohranjivanje podataka, prikaz podataka mjerenja i potrebnih izračuna u grafičkom i tabelarnom prikazu na zaslonu monitora te za ispis na tiskalu.

Slika 10: Višenamjenski diferencijalni konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću

Mjerni sustav regulira snagu pri održavanju parametara kod uspostave termodinamičke ravnoteže na temelju koje je moguće izmjeriti ukupnu toplinsku vodljivost tekstilnih kompozita i dijelova odjeće te utvrditi utjecaj svakog pojedinog sloja na ukupnu vodljivost.

2.4. Uređaj za mjerenja temperaturnih gradijenata u odjevnim kompozitima

Uređaj za mjerenja temperaturnih gradijenata u odjevnim kompozitima, sl. 9, mjeri pad temperatura između slojeva odjevnih kompozita [2].

Slika 11: Uređaj za mjerenja temperaturnih gradijenata u odjevnim kompozitima

Konstruiran je da određuje temperaturne gradijente za konvencionalnu i inteligentnu odjeću koji imaju kompozitnu strukturu do 5 slojeva. Uređaj ima 4-kanalno pojačalo za termoparove K-tipa s kompenzacijom temperature hladnog kraja termopara i analognim pokazivačima temperatura te izlazima za priključak na AD pretvornike. Termoparovi se postavljaju između slojeva kompozita na tzv. uređaj s vrućom pločom ili na diferencijalni konduktometar, pri čemu se, na temelju mjerenja temperaturnih gradijenata, određuju pojedinačna toplinska izolacijska svojstva svakog sloja kompozita i ukupne strukture još u fazi inženjerskog projektiranja toplinskih svojstava odjeće. Također se može koristiti i pri ispitivanju toplinskih svojstava gotove odjeće, pri čemu se termoparovi ugrađuju u strukturu odjevnog predmeta kako bi se mjerila učinkovitost toplinske izolacije svakog sloja odjeće te donosila ocjena o svrsishodnosti ugradnje i cijene ugradbenih materijala u odjevnim kompozitima. Mjerenja se mogu izvoditi u laboratorijskim uvjetima na termalnim manekenima i na ljudskom tijelu tijekom nošenja odjeće.

Uređaj je izrađen u sklopu projekta IP-2018-01-6363 Razvoj i toplinska svojstava inteligentne odjeće ThermIC financiranog od Hrvatske zaklade za znanost i Kratkoročne financijske potpore istraživanju za 2020. Sveučilišta u Zagrebu Razvoj mjerne opreme za utvrđivanje gradijenata temperatura u višeslojnoj toplinskoj izolaciji odjeće. Za novi, ispravljeni, funkcionalni prototip ovog uređaja je predana patentna prijava (P20211208) Državnom zavodu za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske,

pod nazivom Mjerni uređaj i metoda za simultana mjerenja otpora prolazu topline i temperaturnih gradijenata slojeva kompozita odjeće. Izumitelji uređaja su Dubravko Rogale, Snježana Firšt Rogale i Željko Knezić, a podnositelj prijave Tekstilno-tehnološki fakultet.

2.5. Uređaja za nedestruktivno mjerenje otpora prolazu topline i propusnosti vodene pare/otpora prolazu vode

Permetest, sl. 12, je uređaj za nedestruktivno mjerenje otpora prolazu topline i propusnosti vodene pare i otpora prolazu vode i jedini je uređaj koji nije realiziran u Zavodu za odjevnu tehnologiju, nego je kupljen.

Slika 12: Uređaj za nedestruktivno mjerenje otpora prolazu topline i propusnosti vodene pare i otpora prolazu vode, Permetest

Uređaj je nabavljen sredstvima Kratkoročnih financijskih potpora istraživanju za 2017. Sveučilišta u Zagrebu: Ispitivanje otpora prolazu topline i vodene pare zaštitne i inteligentne odjeće (voditelj: prof. dr. sc. D. Rogale), Termofiziološka svojstva tekstila, kože i kompozita (voditelj: prof. dr. sc. Z. Skenderi) i Termoizolacijska svojstva kompozitnog materijala dobivenog kombinacijom elektroispredanja iz otopine i taline (voditelj: prof. dr. sc. B. Mijović) te sredstva Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta. Uređaj je konstruirao, patentirao i realizirao prof. dr. sc. Lubos Hes sa Technical University of Liberec, Department of Textile Evaluation.

2.6. Pomoćni uređaji u laboratoriju

Za potrebe znanstveno-istraživačkog rada u laboratoriju napravljeno je ili kupljeno više pomoćnih uređaja. To su instrumenti iz grupacije općih elektroničkih uređaja potrebnih za kontrolu rada elektroničkih mjernih sustava (osciloskopi, univerzalni

mjerni instrumenti, mjerni mostovi i dr.), alati za održavanje, mjerni instrumenti za određivanje stanja u okolišu (digitalna mjerila temperature zraka, mjerila relativne vlažnosti zraka, tlaka zraka, anemometri za mjerenja brzine strujanja zraka s vrućom žicom i lopatičastom turbinom i dr.). Mnogi specifični instrumenti su i napravljeni. Tako je, kao jedan primjer, na sl. 13 prikazan precizni digitalni manometar za male tlakove (do 60 mbara).

Slika 13: Digitalni manometar i mjerilo temperatura za ispitivanja termoizolacijskih svojstava ekspandirajućih komora

Prikazani uređaj ima ugrađenas dva digitalna termometra sa tzv. inteligentnim senzorima korištenim za istraživanja termoizolacijskih svojstava ekspandirajućih komora inteligentne odjeće, kao još jedna u nizu manjih inovacija. Pomoćni uređaji u laboratoriju imaju svoju specifičnu namjenu i važni su za ispravno funkcioniranje opisanih mjeriteljskih sustava.

3. Zaključak

Uspostavljen i ustrojen Laboratorij za termoizolacijska svojstva odjeće jedini je laboratorij u ovom dijelu Europe u kojem se mogu izvoditi cjelokupna ispitivanja toplinskih svojstava odjeće ili ispitivanja na već izrađenoj odjeći. Za implementaciju koncepcije integriranog mjeriteljskog sustava za cjelovita ispitivanja termofizioloških svojstava odjevnih kompozita i odjeće u Laboratorija za termoizolacijska svojstva odjeće važno je da svi navedeni uređaji mogu raditi kao jedna smislena povezana mjeriteljska cjelina koja sačinjava složen i sveobuhvatan sustav za određivanja toplinskih svojstava odjeće i kompozita, ali na način da je moguće koristiti svaki od spomenutih uređaja zasebno, kao potpuno izdvojen i autonomni mjerni sustav.

Većina mjernih uređaja realizirana je instalirana i umjerena u Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta, što ukazuje na izniman inovativni potencijal.

Ovo je izvrstan primjer kako se na temelju vlastitih znanstvenih istraživanja može doći do inovacija koje su priznate diljem svijeta i iz kojih su nastali patenti. Na taj način, na vlastitim istraživanjima, se stvara novi originalni fundus znanja koji može poslužiti kao temelj za nova istraživanja, nastavni proces i uspostavu novih mjernih metoda te novog laboratorija.

Rad je izrađen u sklopu aktivnosti na istraživačkom projektu IP-2018-01-6363 Razvoj i toplinska svojstva inteligentne odjeće (ThermIC) financiranog od Hrvatske zaklade za znanost

Literatura

[1] Rogale D., Firšt Rogale S.: Integrirani mjerni sustav za neovisna mjerenja temperature i stanja aktuatora u inteligentnoj odjeći, Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske 2018, Rogale D., Žiljak V. (ur.), Zagreb, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, 2019., 315-318, ISSN 1332-3482

[2] Firšt Rogale, S.; Rogale, D.; Knezić, Ž.; Jukl, N.: Measurement Method for the Simultaneous Determination of Thermal Resistance and Temperature Gradients in the Determination of Thermal Properties of Textile Material Layers, *Materials* 14 (2021), ISSN 1996-1944

Uspostava i razvoj Laboratorija za računalnu konstrukciju odjeće na Tekstilno-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu

Slavenka Petrak[1] i Dubravko Rogale[2]

[1] članica suradnica, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, slavenka.petrak@ttf.unizg.hr

[2] redoviti član, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, dubravko.rogale@ttf.unizg.hr

Sažetak: *PU radu je opisan razvojni put današnjeg suvremenog Laboratorija za računalnu konstrukciju odjeće, koji se nalazi u Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Dan je osvrt na prva znanstvena istraživanja u ovom području, instalaciju i uvođenje u nastavni proces prvog CAD sustava za konstrukcijsku pripremu krojeva u 80-im godinama prošlog stoljeća te značaj koji je to imalo za daljnji razvoj odjevnog inženjerstva. Dalje je opisan razvojni put u nastajanju suvremenog Laboratorija s detaljnim prikazom opremanja cjelovitim CAD/CAM sustavom i njegovom periodičkom nadogradnjom. Opisani su svi aspekti rada i korištenja opreme Laboratorija, u kontekstu znanstvenog, nastavnog i stručnog rada, s osvrtom na ostvarene rezultate te važnost ovog područja u suvremenim procesima industrijskog dizajna i razvoja odjevnih predmeta, temeljenih na digitalizaciji svih segmenta pripreme proizvodnje i računalnoj integraciji u poslovnim i proizvodnim procesima*

Ključne riječi: *odjevna tehnologija, konstrukcija odjeće, CAD/CAM sustavi, 3D skeniranje tijela, računalno 2D/3D projektiranje odjeće*

1. Uvod

Počeci znanstvenog rada u području računalne obrade krojeva odjeće u nekadašnjoj državi bili su na Tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, u Zavodu za odjevnu tehnologiju i datiraju iz 80-tih godina prošlog stoljeća. Zavod za odjevnu tehnologiju osnovan je 1978. godine u okviru tadašnjeg OOUR-a Tekstilno inženjerstvo Tehnološkog fakulteta u Zagrebu, a osnivač zavoda je bio prof. dr. sc. Blaž Knez. U razdoblju od 1986. do 1990. godine, članovi Zavoda su aktivno radili na znanstvenom

potprojektu tadašnjeg SIZ-a znanosti SR Hrvatske pod nazivom "Razvoj i racionalizacija u procesima odjevne tehnologije" na dva znanstvena zadatka: "Projektiranje i konstruiranje odjeće primjenom računala" i "Razvoj novih metoda i postupaka u odjevnoj tehnologiji". U okviru prvog znanstvenog zadatka, znanstveno-istraživački rad je bio usmjeren na istraživanje racionalnog korištenja tkanine i elektroničko gradiranje krojeva odjeće [1]. Utemeljitelj znanstveno-istraživačkog rada u ovom području bio je tada mr. sc. D. Rogale, a uz njega su se tim područjem kasnije bavili i mlađi suradnici u Zavodu.

Sustavnim radom na unaprjeđenju i osuvremenjivanju znanstveno-istraživačke i nastavne opreme u Zavodu je instaliran prvi CAD sustav za elektroničko gradiranje krojeva i izradu krojnih slika, francuske tvrtke Lectra Systemes. CAD sustav je tada bio instaliran u Laboratoriju za odjevno inženjerstvo, sl. 1, a koristio se u nastavi za gradiranje, prekonstruiranje i modificiranje krojeva za različite modele odjevnih predmeta, kao i za elektroničku izradu krojnih slika. Također se opsežno koristio za znanstveno-istraživačke radove i to za istraživanje elektroničkih metoda gradiranja krojeva odjeće [2], stupnja iskorištenja jednoveličinskih i viševeličinskih krojnih slika za različite strukture tkanina, u svrhu što racionalnijeg utroška materijala u proizvodnji odjevnih predmeta [1].

Slika 1: Laboratorij za odjevno inženjerstvo iz 80-ih godina na Tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu u Zavodu za odjevnu tehnologiju

Članovi Zavoda razvili su plodnu suradnju s proizvođačem opreme Lectra Systemes, pri čemu su pripremili više od četrdesetak programskih modula s nazivljem na hrvatskom jeziku, koji su se distribuirali hrvatskim korisnicima. Na temelju te suradnje objavljena je monografija u kojoj su razrađene značajke svih programskih modula,

a mr. sc. D. Rogale dobio je certifikat s licencnim pravom za samostalnu izobrazbu stručnjaka za rad na CAD/CAM sustavima. Zahvaljujući stečenim iskustvima, članovi Zavoda su održali više seminara u našoj zemlji i u Austriji za korisnike novo razvijene opreme i programskih paketa. Umjesto novčane naknade, tvrtka Lectra Systemes je tijekom razdoblja od petnaestak godina više puta Zavodu donirala najnovije programske pakete za digitalizaciju, gradiranje, računalno modeliranje odjeće te izradu i iscrtavanje krojnih slika. Održano je više od četrdeset predavanja u tvornicama odjeće, na seminarima za izobrazbu nastavnika srednjih škola u organizaciji tadašnjeg Ministarstva prosvjete i športa te na stručnim skupovima i skupštinama strukovnih organizacija [3].

2. Kontinuitet ulaganja u opremu i razvoj Laboratorija za računalnu konstrukciju odjeće

Od svog osnutka do danas, Zavod za odjevnu tehnologiju kontinuirano je razvijao svoju djelatnost u segmentu znanstveno-istraživačkog rada, a paralelno s time i u nastavanim procesima. Ujedno je kontinuirano trajala suradnja s gospodarskim sektorom, a u tom kontekstu uloženi su i značajni napori u opremanje Zavoda proizvodnom opremom, kako bi se znanstvena istraživanja više usmjerila prema potrebama gospodarstva, a studentima omogućilo stjecanje znanja i vještina neophodnih za aktivno uključivanje na tržište rada po završetku studija. U tom smislu, prepoznata je i potreba kontinuiranog ulaganja u računalnu opremu i računalno podržane tehnologije koje su s vremenom postale nezaobilazni čimbenik konstrukcijske pripreme proizvodnje odjeće. S obzirom da se računalne tehnologije i programski paketi intenzivno i kontinuirano razvijaju, tako su periodički provedene nabave sofisticirane opreme i programskih paketa, koje su prvotno omogućile osnivanje samostalnog Laboratorija za računalnu konstrukciju odjeće, a kasnije i njegovo osuvremenjivanje, čime su stvorene pretpostavke za kontinuirani razvoj ovog područja na Tekstilno-tehnološkom fakultetu.

2.1. Nabava i instalacija cjelovitog CAD/CAM sustava konstrukcijske pripreme proizvodnje odjeće

Tijekom 2003. godine, tadašnji predstojnik Zavoda za odjevnu tehnologiju, prof. dr. sc. G. Nikolić i dekan Tekstilno-tehnološkog fakulteta prof. dr. sc. D. Rogale, razradili su stručni elaborat kojeg je pozitivno ocijenio tadašnji Fond za razvoj i zapošljavanje Republike Hrvatske te je bespovratno financirao nabavu proizvodne opreme u iznosu od 4.580.000,00 kn [4]. U okviru navedenog elaborata predložena je koncentracija i instalacija suvremene opreme u Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta, s vizijom da ona osim znanstvenicima i studentima fakulteta

bude dostupna i nastavnicima i učenicima srednjih tekstilnih škola te stručnjacima iz gospodarstva, odnosno da se omogući osnivanje svojevrsnog suvremenog tehnologijskog središta za obrazovanje svih zainteresiranih dionika iz sektora Tekstil i koža.

Iz cjelokupnog paketa nabavljene i instalirane opreme u Zavodu za odjevnu tehnologiju 2004. godine, veliku vrijednost i poseban značaj za razvoj i unaprjeđenje područja računalne konstrukcije odjeće predstavljala je i dodatna donacija tvrtke Lectra u vidu novih programskih paketa za dizajn, računalnu konstrukciju, gradiranje i modeliranje krojeva te izradu krojnih slika, kao i laserskog rezača krojnih dijelova, čime je ukupna vrijednost donacije podignuta na oko 7.000.000,00 kn. Od toga je oko 2.500.000,00 kn bila vrijednost opreme nabavljene za razvoj područja računalne konstrukcije odjeće [4]. Nabavljeno je 15 računala za instalaciju programskih paketa tvrtke Lectra, sl. 2a, digitalizator za snimanje krojnih dijelova i crtalo krojnih slika, sl. 2b, računalno vođeni strojevi za automatsko krojenje, sl. 3 te laserski 3D skener tijela za automatsko mjerenje i analizu tijela, sl. 4. Time je Zavod opremljen cjelovitim CAD/CAM sustavom koji pokriva sve segmente u razvoju novih modela odjeće, od inicijalne faze primjene CAD programa za računalni dizajn tekstila i odjeće, preko svih segmenata konstrukcijske pripreme krojeva temeljene na primjeni suvremenih programskih rješenja, zatim faze računale prilagodbe krojeva prema individualnim antropometrijskim karakteristikama tijela utvrđenim 3D skenerom tijela, do konačnog automatiziranog procesa iskrojavanja krojnih dijelova primjenom CNC agregata za automatsko krojenje.

a. b.

Slika 2: a) Računala s instaliranim CAD programskim paketom za dizajn i konstrukcijsku pripremu odjeće; b) Digitalizator krojnih dijelova i crtalo krojnih slika

Digitalizator krojnih dijelova, kao osnovna ulazna jedinica CAD sustava, namijenjen je za snimanje i unos krojnih dijelova u računalni sustav konstrukcije pripreme, a ima aktivnu radnu površinu 152 x 112 cm. Unos krojnih dijelova u računalo izvodi se snimanjem označenih, glavnih i pomoćnih točaka na konturi i unutar konture pojedinog krojnog dijela pomoću uređaja za digitalizaciju, a snimanje se izvodi uz podršku programskog paketa Modaris. Digitalizacija se može izvoditi snimanjem krojnog dijela

u graničnih odjevnim veličina ili snimanjem samo temeljne odjevne veličine uz naknadno definiranje pravila gradiranja tijekom rada u programskom paketu Modaris.

Nabavljeno crtalo Alys 30 je inkjet crtalo koje služi za iscrtavanje krojnih dijelova i krojnih slika. Širina iscrtavanja je 1.83 m, odlikuje se brzim i tihim radom, a krojne dijelove i krojne slike može iscrtavati u rezoluciji od 90 dpi ili 180 dpi. Upravljanje crtalom se izvodi pomoću programskih paketa JustPrint ili VigiPrint, stvarajući pri tome listu prioriteta iscrtavanja krojnih slika. Brzina iscrtavanja je 30m/h krojnih slika u nižoj rezoluciji ili 17 m/h u višoj rezoluciji.

Slika 3: a) Agregat za iskrojavanje PROSPINFASHION 72; b) Agregat za iskrojavanje VERSALIS

Agregat za iskrojavanje PROSPINFASHION 72 namijenjen je za iskrojavanje jednog sloja tekstilnog materijala ili papira, pri čemu se mogu iskrojavati pojedinačni krojni dijelovi ili cjelovite krojne slike. Kao takav, posebno je prilagođen za iskrojavanje prototipova ili malih serija. Dimenzija površine za iskrojavanje iznose 1.83 x 4.5 m. Agregat je upravljan računalom, a pri tom se koristi program ProspinPilot V2R1. S donje strane stola za iskrojavanje sustav za vakumiranje onemogućuje klizanje materijala za vrijeme iskrojavanja, čime se postiže vrlo precizno izrezivanje krojnih dijelova. Agregat za iskrojavanje VERSALIS namijenjen je za iskrojavanje prototi-

pova i šablona te ima iste tehničke karakteristike kao i agregat PROSPINFASHION 72, a razlikuje se jedino u kraćoj duljini površine za rezanje koja iznosi 1.83 x 1.6 m. Računalni programi ProspinPilot V2R1 i VersalisPilot V2R1 omogućuju upravljanje agregatima za iskrojavanje te definiranje svih potrebnih parametara vezanih za strojni rad, za podatke o krojnim dijelovima i krojnim slikama. Također omogućuju vizualizaciju praćenja procesa iskrojavanja na zaslonu monitora, pri čemu su u svakom trenutku dostupni podaci o trenutnoj fazi iskrojavanja. Programi objedinjuju korisne funkcije za iscrtavanje i iskrojavanje šablona iz kartona.

Slika 4: 3D skener tijela BSSCANNER 3D-FX

3D skener je posebna ulazna jedinica računalnog sustava konstrukcijske pripreme, namijenjena snimanju tijela i računalnom utvrđivanju mjera na tijelu te analizi držanja i oblika tijela. Područje skeniranja iznosi 100 x80 cm u ravnini uz maksimalnu visinu do 204 cm. Skeniranje se izvodi sustavom od 8 CCD kamera i 4 lasera u vremenu od 12 s, pri čemu se izdvoji 500 000 do 600 000 prostornih koordinata skeniranog tijela. Snimanje se izvodi primjenom programskog paketa za skeniranje koji ima dva modula: Scan Worx Shop GUI i Scan Worx V 2.7.2. Nakon izvedenog skeniranja, procesiranje podataka traje 40-tak sekundi, na zaslonu monitora ostvaruje se prikaz 3D skupine točaka koja opisuje površinu tijela. Korištenjem programskog paketa ScanWorx V 2.7.2. automatiziranim postupkom se utvrđuju karakteristične mjere ljudskog tijela. Programski paket daje mogućnost korekcije utvrđenih tjelesnih mjera kao i dodavanje novih. Osim automatiziranog postupka utvrđivanja mjera na tijelu, one se mogu odrediti i interaktivno, primjenom dostupnih programskih alata.

Nabavom ovako kompleksnog paketa vrlo vrijedne opreme, 2004. godine je pored osnovanog Laboratorija za računalnu konstrukciju odjeće osnovan i Laboratorij za CAD/CAM sustave odjevnog inženjerstva, u kojem su smješteni nabavljeni agregati za automatsko krojenje, čime je omogućeno zaokruživanje procesa konstrukcijske pripreme odjeće s tehnološkim procesom krojenja. Također, 3D skener tijela, koji je početno bio instaliran u Laboratoriju za računalnu konstrukciju odjeće, 2007. godine je premješten u novoosnovani Studio za 3D uzimanje mjera, koji je uz nazočnost tadašnjeg predsjednika Republike Hrvatske, gosp. S. Mesića otvoren 25. siječnja 2007., na Dan Tekstilno-tehnološkog fakulteta, sl. 5.

Slika 5: Otvorenje Studija za 3D uzimanje mjera uz primjenu 3D skenera tijela 2007. godine

Dodatno osnovani Studio za 3D uzimanje mjera predstavlja vrlo značajnu dopunu CAD sustava instaliranog u Laboratoriju za računalnu konstrukciju odjeće, u cjelovitom procesu razvoja i prilagodbe krojeva odjeće, s obzirom da je opremljen pratećim programskim rješenjima, koje uz automatizirani proces mjerenja i analize tijela te određivanja tjelesnih mjera, omogućuju povezivanje s programskim paketom na računalnu konstrukciju krojeva odjeće te prilagodbu krojeva odjevnih predmeta prema utvrđenim individualnim tjelesnim mjerama ispitanika. Time su stvorene pretpostavke za pokretanje novih istraživačkih pravaca u području antropometrijskih mjerenja tijela i računalne konstrukcije odjeće, na tragu aktualnih svjetskih istraživanja u tom području, ali i za značajno osuvremenjivanje nastavnih sadržaja na studijskom programu Tekstilna tehnologija i inženjerstvo, koji se izvodi na fakultetu, sl. 6, [5]. Također, otvorena je mogućnost intenzivnijeg povezivanja s gospodarskim sektorom u kontekstu znanstveno-stručne suradnje te implementacije 3D skenera tijela u procesima industrijske proizvodnje odjeće prema individualnim mjerama kupaca, što predstavlja područje razvoja novih industrijskih strategija u proizvodnji odjeće, premda se ovaj koncept u okviru znanstvenih istraživanja postupno razvija posljednja dva desetljeća [6].

Slika 6: Implementacija CAD/CAM sustava Lectra i 3D skenera tijela u nastavni proces na Tekstilno-tehnološkom fakultetu

2.2. Nabava i instalacija CAD sustava za računalno 2D/3D projektiranje odjeće

Daljnje opremanje za potrebe osuvremenjivanja i nadogradnje Laboratorija za računalnu konstrukciju odjeće provedeno je 2009. godine, kada su nabavljene licence dodatnog CAD sustava za računalno 2D/3D projektiranje odjeće istaknutog svjetskog proizvođača Optitex. Time je postojeći, tada već konvencionalni CAD sustav proizvođača Lectra za 2D konstrukcijsku pripremu krojeva nadograđen sustavom koji omogućuje izvođenje 3D simulacije odjeće, uz uvođenje parametara tekstilnog materijala te vizualizaciju i analizu 3D modela odjevnog predmeta. Nabava ovog sustava pokrenuta je na inicijativu tada doc. dr. sc. S. Petrak, koju je 2007. godine prof. dr. sc. D. Rogale imenovao za vođenje osnovanih laboratorija, s obzirom da je svoja znanstvena istraživanja u okviru poslijediplomskog studija te magistarskog i doktorskog rada izrađenih pod mentorstvom prof. dr. sc. D. Rogalea usmjerila u razvoj metoda automatske računalne konstrukcije odjeće te matematičkih modela za transformaciju 3D krojnih dijelova u 2D krojeve [7-9]. Vrijednost ulaganja iznosila je 65.000,00 kn, a financiranje nabave realizirano je iz sredstava tehnologijskog projekta "Odjeća sa adaptivnim termoizolacijskim svojstvima", financiranim od Hrvatskog instituta za tehnologije u razdoblju od 2009. do 2011.; voditelj: prof. dr. sc. D. Rogale.

Ovime je ponovo učinjen iskorak u osuvremenjivanju nastavnih sadržaja dijela kolegija koji se izvode u okviru studijskih programa na fakultetu te uvođenja novih kolegija, koji pokrivaju područje računalnog projektiranja i konstrukcije te 3D simulacije i animacije odjeće. Također, dan je značajan poticaj za daljnja znanstvena istraživanja na tragu aktualnih svjetskih istraživanja u navedenom području. U kontekstu daljnjih znanstvenih istraživanja u narednim godinama, doc. dr. sc. S. Petrak uspostavila je suradnju s proizvođačem Optitex te s tvrtkom koja je zastupnik za prodaju u RH, Integra d.o.o., Krapina, temeljem koje je dva puta realizirana nadogradnja licenci CAD programa na najnovije verzije tijekom 2012. i ponovo 2015. godine, kao donacija proizvođača Optitex. S obzirom na vrlo intenzivan razvoj ovog sustava od strane proizvođača, a pogotovo na značaj ovog područja u kontekstu aktualnih znanstvenih istraživanja u svijetu i u narednom periodu će biti potrebno iznaći financijska sredstva za nadogradnju postojećeg sustava.

Nabavljen programski paket CAD sustava Optitex V15.0, koji je instaliran 2015. godine sadrži programe: Pattern Design Software (PDS) 2D, 10 licenci programa namijenjenog za konstrukciju, modeliranje i gradiranje krojeva u odjevnoj, automobilskoj te industriji namještaja i kompozitnih materijala, zatim Marker, također 10 licenci programa namijenjenog za uklapanje krojnih dijelova u krojne slike i 3D Runway (1 licenca) koji se pokreće iz programa PDS, a namijenjen je za 3D simulaciju odjeće na parametarskom modelu tijela, analizu pristalosti modela, razvoj dizajna i animaciju modela. Omogućuje vizualizacija promjena na kroju, analizu ponašanja tkanina

i provjeru pristalosti kroja, što značajno ubrzava i pospješuje kvalitetu u procesu razvoja novih modela. Paket također sadrži i 1 licencu programa 3D Flattener, koji omogućuje konstrukciju modela odjevnog predmeta direktno na površini 3D modela tijela i transformaciju u 2D krojne dijelove te je posebno koristan kod razvoja uskih modela odjeće koji prianjaju uz tijelo i trebaju biti prilagođeni individualnim karakteristikama za različite tipove tijela. Dodatno je također nabavljen program Converter, koji omogućuje konvertiranje podataka i dokumenata kreiranih na CAD sustavima proizvođača Optitex i Lectra, čime je za potrebe znanstvenog i nastavnog rada omogućeno korištenje skupih resursa kao što su digitalizator, crtalo krojnih slika agregati za automatsko krojenje za oba sustava. Početno je CAD sustav Optitex bio instaliran u e-učionici Tekstilno-tehnološkog fakulteta, a od 2020. godine je instaliran u Laboratoriju za računalnu konstrukciju odjeće. Implementiran je za potrebe realizacije vježbi u okviru nekoliko kolegija koji se izvode na diplomskim studijskim programima, što je značajno utjecalo na osuvremenjivanje nastavnih sadržaja kolegija, a ujedno i atraktivnost studijskih programa, sl. 7.

Slika 7: Implementacija CAD sustava Optitex u nastavni proces na Tekstilno-tehnološkom fakultetu

2.3. Nabava novih računala i licenci programa u Laboratoriju za računalnu konstrukciju odjeće

Intenzivan razvoj računalne opreme i CAD programskih paketa za konstrukcijsku pripremu krojeva odjeće nametnuo je potrebu da se nakon godina intenzivnog rada u Laboratoriju za računalnu konstrukciju odjeće računala zamijene novima te da se nadograde licence programa CAD sustava. Opremanje Laboratorija novim računalima postalo je neophodno kako bi se nastavni proces unaprijedio, a studentima omogućilo

stjecanje kompetencija iz područja računalnog dizajna i konstrukcije odjeće, u skladu sa zahtjevima tržišta rada. Aktivna primjena računalnih tehnologija u procesu dizajna i razvoja kolekcija odjeće postala je imperativ koji poslodavci postavljaju kao zahtjev pred svakog mladog dizajnera odnosno inženjera. Također, nabava i osuvremenjivanje opreme Laboratorija izvedeno je i u skladu sa strateškim ciljevima navedenim u dokumentu Strategija razvoja Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta za razdoblje 2014. - 2020. [10], te kao aktualno područje rada na TTF-u, opisano u monografiji Znanstveno-istraživački centar za tekstil - 10 godina [11].

Računalna oprema u Laboratoriju za računalnu konstrukciju odjeće obnovljena je stoga 2018. godine, kada je nabavljeno 12 novih računala visokih performansi i 6 grafičkih tableta te su nadograđene licence programa CAD/CAM sustava Lectra za računalni dizajn tekstila i odjeće te računalnu konstrukciju odjeće, sl. 8. Za obnovu opreme u navedenom laboratoriju Fakultet je dio potrebnih financijskih sredstava dobio kao donaciju grada Zagreba, a preostali dio financiran je iz vlastitih sredstava Fakulteta. Sve aktivnosti oko prikupljanja financijskih sredstava i oko nabave nove računalne opreme vodile su tadašnja dekanica TTF-a prof. dr. sc. S. Bischof i tadašnja predstojnica Zavoda za odjevnu tehnologiju te voditeljica Laboratorija za računalnu konstrukciju odjeće izv. prof. dr. sc. S. Petrak. Ukupan iznos investicije iznosio je oko 250.000,00 kn. Na sva računala instalirane su najnovije licence programa CAD sustava, koji sadrži sljedeće programske pakete: Modaris Classic V8R1, Diamino-Fashion Interactive V6R2, Kaledo Style V4R1 i Kaledo Textile V4R1. Programski paket Kaledo namijenjen je računalnom 2D dizajnu tekstila i odjeće, sl. 9, te pripremi dijela prateće dokumentacije u razvoju novih modela, programski paket Modaris namijenjen je za cjelovitu računalnu konstrukciju ili digitalizaciju krojnih dijelova, gradiranje, modeliranje i pripremu varijanti modela, a paket Diamino koji sadrži module Marker Manager i Marker Making namijenjen je kreiranju i uklapanju krojnih slika, sl. 10.

Slika 8: Laboratorij za računalnu konstrukciju odjeće nakon nabave novih računala i programskog paketa Lectra 2018. godine

Slika 9: Kaledo Textile V4R1 - modul paketa Kaledo za dizajn tekstila

Slika 10: Modaris Classic V8R1 i DiaminoFashion Interactive V6R2 - programski paketi za konstrukcijsku pripremu krojava i uklapanje krojnih slika

3. Djelatnosti u Laboratoriju za računalnu konstrukciju odjeće

Suvremeno opremljen Laboratorij za računalnu konstrukciju odjeće kontinuirano se u Zavodu za odjevnu tehnologiju koristi za obavljanje znanstvene, nastavne i stručne djelatnosti te su njegovi resursi na raspolaganju djelatnicima Zavoda i studentima fakulteta. U nastavku su ukratko opisani važniji rezultati rada koji su ostvareni temeljem svake od navedenih djelatnosti.

3.1. Znanstveno-istraživačka djelatnost

Znanstveno-istraživačka djelatnost iz područja odjevne tehnologije, koja je sadržajno vezana uz računalnu konstrukciju i 3D simulaciju odjeće, razvoj računalnih 3D parametarskih prototipova modela odjevnih predmeta, utjecaja fizikalnih i mehaničkih svojstava tkanina na 3D simulaciju odjeće, kao i antropometrijska mjerenja tijela primjenom 3D skenera i istraživanje utjecaja antropometrijskih karakteristika tijela na konstrukciju odjeće, samo su neka od novijih istraživanja koja su realizirana uz primjenu opreme u Laboratoriju za računalnu konstrukciju odjeće te opreme u ostala dva prethodno navedena laboratorija, koji zajedno čine cjeloviti CAD/CAM sustav.

Oprema laboratorija korištena je u okviru provedbe većeg broja domaćih znanstveno-istraživačkih projekata, jednog tehnologijskog projekta i tri bilateralna projekta, što je rezultiralo objavom velikog broja znanstvenih i stručnih radova u međunarod-

nim i domaćim časopisima te poglavlja u međunarodnim znanstvenim i domaćim znanstveno-stručnim knjigama, kao i u brojnim zbornicima radova s međunarodnih i domaćih znanstvenih i znanstveno-stručnih skupova. Na temelju provedenih istraživanja održana su i pozvana te brojna druga predavanja na međunarodnim i domaćim skupovima. Oprema se također koristi i za rad s doktorandima u okviru doktorskog studija Tekstilna znanost i tehnologija na dva kolegija.

Provedena su istraživanjima antropometrijskih karakteristika tijela primjenom 3D skenera tijela te drugih mjernih sustava, komparacijom rezultata u ovisnosti od primijenjene mjerne opreme, analizom i usporedbom antropometrijskih značajki tijela na uzorku hrvatske i mađarske populacije [12] te razvojem računalne baze 3D modela tijela prema sustavu veličina odjeće. Nadalje, novija istraživanja vezana su za razvoj računalnih parametarskih modela 3D prototipova odjeće [13], kroz koje se povezuju područja računalnog projektiranja odjeće, računalnih antropometrijskih mjerenja i analize tijela, istraživanja utjecaja fizikalnih i mehaničkih karakteristika tekstilnih materijala na pristalost odjeće [14], analizu udobnosti kroz numeričko vrednovanje naprezanja i istezanja tkanina na računalnim 3D prototipovima modela te prilagodbu modela odjeće različitim tipovima tijela [15]. U suradnji s Kineziološkim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu provedena su istraživanja koja su bila usmjerena na povezivanje i nadogradnju sustava za biomehaničku analizu, mjerenje kinematike tijela i 3D skenera tijela [16], kao podloga budućem razvoju deformabilnog modela i nove metode računalne animacije kretanja ljudskog tijela, što je područje istraživanja doktorskog rada doktorandice M. Mahnić Naglić, a provodi se pod mentorstvom prof. dr. sc. S. Petrak.

Provode se i istraživanja iz područja funkcionalnog dizajna zaštitne i odjeće specijalnih namjena [17], kao i modne odjeće, a posebno značajna su istraživanja vezana za razvoj računalnih parametarskih modela odjevnih predmeta, kao inovativan način gradiranja krojnih dijelova [18]. Dio novijih istraživanja realiziran je u okviru Sveučilišnih potpora znanstvenim istraživanjima, tijekom kojih je analiziran utjecaj držanja i oblika ljudskog tijela na pristalost odjeće, zatim istraživanja provedena u okviru dva doktorska rada iz područja volumetrijskih analiza skeniranih 3D modela tijela, računalne obrade modela tijela i utvrđivanja mikroklimatskih pojasa odjeće primjenom 3D skeniranja [19] te istraživanja iz područja analize proporcija tijela sportske i netrenirane hrvatske populacije i utjecaja na pristalost odjeće [20]. Posebno se ističe i suradnja ostvarena s tvrtkom SUBCRAFT d.o.o. iz Zagreba u okviru istraživanja i razvoja inovativnog modela ronilačkog odijela u okviru jednog realiziranog znanstvenog projekta [21]. Od novijih rezultata istraživanja ističe se i razvoj nove metode i algoritma za identifikaciju tipova tijela [22], na temelju provedenog 3D skeniranja ispitanika i obrade rezultata antropometrijskog mjerenja u okviru jednog znanstvenog projekta, a također je razvijen i protokol za automatsko mjerenje 3D skeniranog modela tijela u definiranim položajima tijela, što predstavlja značajan

doprinosu u području dinamičke antropometrije tijela i 3D konstrukcije funkcionalne odjeće specijalnih namjena [23]. Pri tom je ostvarena suradnja s proizvođačem ronilačkih odijela te s profesionalnom i vrlo uspješnom sportašicom u ronjenju sa svrhom verifikacije rezultata. Time je ostvarena direktna i vrlo uspješna sinergija s gospodarstvom, ne samo u verifikaciji ostvarenih rezultata, već i u transferu znanja i razvoju nove metode računalnog 2D/3D projektiranja ronilačkih odijela, sl. 11 [21]. Također je ostvarena i suradnja s Univerzom v Mariboru Fakultetom za strojništvo u kontekstu provedbe laboratorijskih mjerenja i ispitivanja fizikalnih i mehaničkih svojstava tekstilnih materijala [14].

Slika 11: Područja znanstvenih istraživanja u Laboratorijima Zavoda za odjevnu tehnologiju

3.2. Nastavna djelatnost

Oprema Laboratorija za računalnu konstrukciju odjeće vrlo intenzivno i kontinuirano se koristi tijekom izvođenja nastave na većem broju kolegija koji sadržajno pokrivaju područje računalne konstrukcije odjeće te 2D/3D projektiranja odjeće, a izvode se na preddiplomskoj i diplomskoj razini studija Tekstilna tehnologija i inženjerstvo, diplomskoj razini studija Tekstilni i modni dizajn te na stručnom Studiju tekstilne, odjevne i obućarske tehnologije. U okviru navedenih studija izvode se kolegiji: Računalna konstrukcija odjeće, CAD/CAM u odjevnom inženjerstvu, Računalno projektiranje odjeće I, Računalno projektiranje odjeće II, Konstrukcija odjeće IV te Digitalna kostimografija. Za svaki od kolegija sadržaji vježbi koje studenti izvode su razrađeni sukladno definiranim ishodima učenja pojedinog kolegija, a time je i korištenje određenog dijela cjelovitog CAD/CAM sustava u svrhu nastave prilagođeno nastavnom sadržaju. Stjecanje kompetencija iz ovog područja od velike je važnosti za studente na svim studijskim programima, s obzirom na aktualne potrebe tržišta rada, pri čemu poslodavci kontinuirano ukazuju na važnost stjecanja praktičnih vještina u području primjene CAD/CAM sustava u dizajnu i konstrukcijskoj pripremi proizvodnje odjeće

tijekom studija. Potrebe poslodavaca za educiranim visokostručnim kadrom u ovom području nadmašuju broj studenata koji uspješno završavaju fakultet te će u narednom periodu biti potrebno intenzivirati aktivnosti na popularizaciji i promociji studijskih programa, s ciljem povećavanja interesa za upis na navedene studijske programe.

Oprema cjelovitog CAD/CAM sustava koristi se također za izradu završnih i diplomskih radova studenata, sl. 12 i 13, pri čemu je do sada realiziran veliki broj radova, a na temelju većeg broja obranjenih radova publicirani su i brojni znanstveni i stručni radovi u koautorstvu mentora i studenata [24]. Oprema u laboratoriju se koristi i za izvannastavne aktivnosti studenata, kao što su studentska natjecanja, npr. znanstveni dio natjecanja na Tehnologijadi, radovi koje studenti prijavljuju za Rektorovu nagradu te studentski projekti. U laboratoriju se također izvodila nastava na engleskom jeziku na nekim od prethodno navedenih kolegija, za studente koji na fakultet dolaze u okviru ERASMUS+ programa mobilnosti, a realiziran je i jedan završni rad studentice sa Tallinna Tehnikakõrgkool, TTK University of Applied Sciences, Estonia, 2018. godine.

Slika 12: Računalno gradiranje i razvoj 3D prototipa modela

Slika 13: Računalni dizajn i 2D/3D projektiranje modne odjeće

3.3. Stručna djelatnost

U području stručne djelatnosti oprema Laboratorija za računalnu konstrukciju odjeće te pratećeg Laboratorija za CAD/CAM sustave odjevnog inženjerstva i Studija za 3D uzimanje mjera, korištena je za stručni rad djelatnika Zavoda za odjevnu tehnologiju i studenata fakulteta, što je rezultiralo publiciranjem stručnih radova u časopisima i zbornicima stručnih skupova, te održanim predavanjima na javnim stručnim skupovima [25]. Zavod za odjevnu tehnologiju od svog osnutka je bio usko povezan sa gospodarskim sektorom i odjevnom industrijom, pa je i u tom kontekstu oprema Laboratorija bila korištena u okviru suradnje i realizacije poslova za potrebe proizvođača odjeće iz Republike Hrvatske. Preko Centra za razvoj i transfer tekstilnih i odjevnih tehnologija i modni dizajn koji je na Tekstilno-tehnološkom fakultetu osnovan 2006. godine, pružale su se usluge tvrtkama iz područja 3D skeniranja tijela, računalne konstrukcije odjeće, iscrtavanja krojnih slika i iskrojavanja krojnih dijelova, sl. 14. U suradnji sa Sveučilišnim jedriličarskim klubom ELMAR i tvrtkom Splendor tekstil d.o.o. realizirani su poslovi konstrukcijske pripreme u procesu razvoja programa jedriličarskih košulja Cromarin. Također, oprema Laboratorija korištena je vrlo često za predstavljanje djelatnosti fakulteta tijekom različitih događanja na fakultetu, za izradu promotivnih filmova i drugih sadržaja koji su prezentirani na događanjima kao što je Smotra Sveučilišta, tijekom održavanja znanstvenih i stručnih skupova, seminarima za izobrazbu nastavnika srednjih škola, javnih događanja, sajmova i sl.

Slika 14: Iskrojavanje šablona primjenom agregata PROSPINFASHION 72

4. Zaključak

Laboratorij za računalnu konstrukciju odjeće s pratećim resursima i opremom koja je instalirana u još dva laboratorija u Zavodu za odjevnu tehnologiju, predstavlja vrlo važan dio cjelokupne znanstveno-nastavne opreme Tekstilno-tehnološkog fakulteta.

Primjena modernih računalnih tehnologija u sinergiji s umjetničkim i znanstvenim potencijalom fakulteta, omogućuje kontinuirano izvođenje nastavnog procesa iz područja suvremenog industrijskog dizajna te računalnog 2D/3D projektiranja tekstila i odjeće, na razini koja osigurava uspješno postizanje ishoda učenja grupacije kolegija, a koji se kontinuirano prilagođavaju potrebama tržišta rada. Suvremena konstrukcijska priprema zahtjeva kontinuirano nadograđivanje računalne opreme i pratećih specijaliziranih programskih CAD paketa, sukladno razvojnim trendovima ovog vrlo zahtjevnog područja, kako bi se mogla osigurati provedba relevantnih znanstvenih istraživanja te osigurati kvaliteta nastavnog procesa, kao i sinergija s gospodarskim sektorom. S obzirom da su navedeni laboratoriji opremljeni velikom količinom računalne opreme, njihovo održavanje, kontinuitet nadogradnje i uvođenje u rad novih programskih paketa zahtijeva također veliki angažman u vođenju laboratorija. Najzahtjevniji dio se svakako odnosi na iznalaženje financijskih sredstava za periodička ulaganja u opremu laboratorija. Također, s obzirom na izrazite promjene i kontinuiran razvoj programskih paketa, potrebno je također kontinuirano znanstveno i stručno usavršavanje voditelja laboratorija i korisnika opreme u području razvoja i primjene specijaliziranih digitalnih tehnologija, što je područje koje ujedno predstavlja izazov za znanstvenike diljem svijeta i intenzivno se razvija posljednja dva desetljeća, a sadržano je i u strateškim dokumentima, inicijativama i direktivama Europske unije, kao područje koje je potrebno intenzivirati u kontekstu obrazovnog procesa i implementacije u suvremene procese proizvodnje odjeće.

Literatura

[1] Raffaelli, D.: 30 godina tekstilnog studija 1960-1990 (monografija), Institut za tekstil i odjeću, Tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (1990)

[2] Rogale, D. & Knez, B.: Gradiranje krojeva odjeće modificiranom metodom vektorskih translacija, Tekstil, 35 (1986), 10, 755-764, ISSN: 0492-5882

[3] Soljačić, I: 40 godina tekstilnog studija na Sveučilištu u Zagrebu (monografija) /1960.-2000./ & 10 godina Tekstilno-tehnološkog fakulteta /1991.-2001./, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno- tehnološki fakultet, Zagreb, (2001)

[4] Nikolić, G. & Rogale, D.: Nova suvremena oprema u Zavodu za odjevnu tehnologiju na Tekstilno-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Tekstil , 53, (2004), 4, 177-185, ISSN: 0492-5882

[5] Andrassy, M. & Petrak, S.: Studiji na Tekstilno-tehnološkom fakultetu, U Sveučilište u Zagrebu - 50 godina tekstilnog studija na Sveučilištu u Zagrebu i 20 godina Tekstilno-tehnološkog fakulteta (monografija), 50th Anniversary of Textile Study at University of Zagreb and 20th Anniversary of Faculty of Textile Technology (monography), Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN: 978-953-7105-40-2, Zagreb, (2011)

[6] Petrak, S. & Rogale, D.: Industrijska unikatna proizvodnja odjeće na temelju 3D-CAD modela čovjeka, Tekstil, 48 (1999), 8, 397-410, ISSN: 0492-5882

[7] Petrak, S. & Rogale, D.: Methods of automatic computerised cutting pattern construction, International Journal of Clothing Science and Technology, 13 (2001), 3/4, 228-239, ISSN: 0955-6222

[8] Petrak, S. & Rogale, D.: Systematic Representation and Application of a 3D Computer-Aided Garment Construction Method, Part I 3D garment basic cut construction on a virtual body model, International Journal of Clothing Science and Technology, 18 (2006), 3, 179-187, ISSN: 0955-6222

[9] Petrak, S., Rogale, D. & Mandekić-Botteri, V.: Systematic Representation and Application of a 3D computer-Aided Garment Construction Method, Part II Spatial transformation of 3D garment cut segments, International Journal of Clothing Science and Technology, 18 (2006), 3, 188-199, ISSN: 0955-6222

[10] Bischof, S. i sur.: Strategija razvoja Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta za razdoblje 2014. - 2020., Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN: 978-953-7105-55-6, Zagreb, (2014)

[11] Pušić, T. & Bischof, S.: ZNANSTVENO-ISTRAŽIVAČKI CENTAR ZA TEKSTIL - 10 GODINA / TEXTILE SCIENCE RESEARCH CENTRE (TSRC) - 10 YEARS, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN: 978-953-7105-72-3, Zagreb, (2018)

[12] Tamás, P., Halász, M., Molnár, K., Petrak, S., Ujevic, D. &Vas, L. M.: Human Body's Shape and Data, Book of Proceedings of 12th World Textile Conference AUTEX 2012, Volume I, Inovative Textile for High Future Demands, Mijović, B. et al. (ur), 985-990, ISBN: 978-953-7105-49-5, Zadar, Croatia, June 2012., University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Zadar (2012)

[13] Mahnić, M. & Petrak, S.: Investigation of the Fit of Computer-based Parametric Garment Prototypes, Journal of Fiber Bioengineering and Informatics, 6 (2013) 1, 51-61, ISSN: 1940-8676

[14] Petrak, S., Mahnić Naglić, M. & Geršak, J.: Sizing and fit for swimsuits and diving suits, In Anthropometry, Apparel Sizing And Design, 2nd Ed, Elsevier, ISBN: 9780081026045, (2019), 255-288

[15] Petrak, S., Mahnic, M & Rogale, D.: Impact of Male Body Posture and Shape on Design and Garment Fit, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 23 (2015) 6, 150-158, ISSN: 1230-3666

[16] Mahnic, M., Ujaković, F.; Janjić, S.; Petrak, S.; Medved, V.: Comparative Analysis and Adjustments of Anthropometric Parameters on System for Kinematic Movement Analysis and 3D Body Scanner, Proceedings of 7th International Scientific Conference on Kinesiology "Fundamental and applied kinesiology - steps forward", Milanović, D.; Sporiš, G.(ur.), 165-169, ISBN: 978-953-317-027-5, Opatija, Croatia, June 2014, University of Zagreb Faculty of Kinesiology, Opatija, (2014)

[17] Bogović, S.: Nove tehnologije pri oblikovanju zaštitne odjeće i opreme, 7. Međunarodni stručno-znanstveni skup ZBORNIK RADOVA, Kirin, S. (ur.)., 578-584, Zadar, Croatia, September 2018, Veleučilište u Karlovcu, Zadar (2018)

[18] Petrak, S., Mahnic, M. & Rogale, D.: Computer Parametrization of Men's Trousers Pattern, Book of Proceedings of the 7th International Textile, Clothing & Design Confe-

rence 2014 - Magic World of Textiles, Dragčević, Z.; Hursa Šajatović, A.; Vujasinović, E. (ur.)., 316-321, ISSN: 1847-7275, Dubrovnik, Croatia, October 2014, University of Zagreb Faculty of Textile Technology, Dubrovnik, (2014)

[19] Špelić, I., Rogale, D., Mihelić-Bogdanić, A., Petrak, S. & Mahnić-Naglić, M.: Changes in ensembles' thermal insulation according to garment's fit and length based on athletic figure, Fibres and polymers, 19 (2018) 6, 1278-1287, ISSN: 1229-9197

[20] Brlobašić Šajatović, B., Petrak, S. & Mahnić Naglić, M.: Analysis of body proportions of Croatian basketball players and the untrained population and their influence on garment fit, Textile Research Journal, 89 (2019), 23-24, 5238-5251, ISSN: 0040-5175

[21] Petrak, S., Mahnić Naglić, M. & Pintarić, D.: Sinergija znanosti i poduzetništva-Inovativni razvoj profesionalnog ronilačkog odijela, Zbornik radova 10. znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo - Komplementarnost znanosti, tehnologije i dizajna, Glogar, M. I. (ur.)., 62-73, ISSN 2459-8186, Zagreb, RH, Siječanj 2017, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, (2017)

[22] Mahnic Naglic, M. & Petrak, S.: A method for body posture classification of three- dimensional body models in the sagittal plane, Textile Research Journal, 89 (2019) 2, 133-149, ISSN: 0040-5175

[23] Petrak, S. & Mahnić Naglić, M.: Dynamic Anthropometry – Defining a Protocols for Automatic Body Measurement, Tekstilec, 60 (2017) 4, 254-262, ISSN: 0351-3386

[24] Marjanović, J., Petrak, S.; Mahnić Naglić, M.; Glogar, M.I.: Design and computer construction of structural sleeve forms for women's clothing, Textile & Leather Review, 2 (2019) 4, 183-195, ISSN: 2623-6281

[25] Petrak, S. & Mahnić, M.: Implementacija suvremenih računalnih sustava u procesima industrijskog dizajna i konstrukcije odjeće, Zbornik radova 5. međunarodnog znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo, Ujević, D., Penava, Ž. (ur.)., 25-36 , ISSN 1847-2877, Zagreb, RH, Siječanj 2012., Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, (2012)

Laboratorij za procesne parametre odjevnog inženjerstva

Dubravko Rogale[1] i Snježana Firšt Rogale[2]

[1] Redoviti član, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, dubravko.rogale@ttf.unizg.hr

[2] Član suradnik, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, sfrogale@ttf.unizg.hr

Sažetak: *Opisani su razlozi osnivanja Laboratorija za procesne parametre tijekom 2002. godine pri Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i povijesni počeci samostalnog razvoja mjeriteljske opreme za određivanje vrijednosti procesnih parametara odjevnog inženjerstva još od 80-ih godina prošlog stoljeća. Velik dio opreme laboratorija u ranoj razvojnoj fazi i kasnije nastao je specifičnim vlastitim razvojem mjeriteljske opreme, u pravilu podržane računalima. Kasnije, provedbom brojnih znanstvenih projekata, kupovana je i instalirana tvornički proizvedena oprema ali je do danas zadržana orijentacija razvoja i patentiranja vlastite originalne mjeriteljske opreme na kojoj su izvođena mjerenja za potrebe brojnih objavljenih znanstvenih radova te diplomskih, magistarskih i doktorskih radova kao i radova za industriju.*

Ključne riječi: *Odjevno inženjerstvo, procesni parametri, laboratorij, mjerne metode, mjerenja procesnih parametara*

1. Uvod

Odjevno inženjerstvo počelo se razvijati pojavom industrijske revolucije i s pojavom šivaćih strojeva, a doživljavalo je svoje naknadne razvojne faze i uzlete razvitkom elektrotehnike, elektronike, mehatronike i računalstva. Mjerne metode odjevnog inženjerstva, u početnoj fazi razvoja, su se najviše temeljile na primjeni metoda studija rada i na mjernim metodama drugih struka. Pojavila se potreba za točnijim mjerenjima vremenskih intervala tijekom izvedbi kratkih zahvata u tehnološkim operacijama

proizvodnje odjeće i pojavama koje su vezane uz te intervale, a dostupna tehnika to nije omogućavala. K tome, odjevno inženjerstvo nije imalo dugu mjeriteljsku tradiciju kao neke druge tehničke struke (strojarstvo, elektrotehnika i dr.) pa specijalizirana mjeriteljska oprema nije postojala. Jaz se pokušao smanjiti razvojem elektromehaničkih zapisnih naprava i korištenjem prilagođenih instrumenata. Prve prave mjeriteljske prigode osigurala je pojava mikroprocesora i mikroračunala kasnih 70-ih godina prošlog stoljeća nakon čega se moglo pristupiti konstruiranju i izvedbi primjerenih mjernih sustava.

Stoga se u Zavodu za odjevnu tehnologiju ondašnjeg Instituta za tekstil i odjeću Tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, na početku 80-ih godina prošlog stoljeća, prionulo konstruiranju mjernog sustava s dva mikroračunala. Zamišljeno je da jedno računalo vodi izvođenje tehnološke operacije šivanja i upravlja aktivacijom gazila preko pneumatskog aktivatora, a drugo računalo, opremljeno A/D pretvornikom, služilo je za akviziciju podataka, sl. 1 [1]. Mjerni sustav razvio je i realizirao autor članka koji je napisao i sav upravljački i mjerni softver. Oba računala temeljila su se na ondašnjem vrlo snažnom i poznatom mikroprocesoru Z80A. Kasnije, s pojavom prvih PC računala, sustavom je, zbog znatno veće procesne snage, upravljalo jedno računalo koje je izvodilo upravljačke i mjerne zadaće, a k tome je pohranjivalo, obrađivalo podatke i iscrtavalo dijagrame ovisnosti procesnih parametara, dok je softver je mogao obavljati znatno složenije funkcije, sl. 2 [2].

Slika 1: Mjerni sustav za mjerenja procesnih parametara šivanja s dva mikroračunala

Slika 2: Poboljšani mjerni sustav s jednim snažnim PC računalom

Prikazanim sustavom izvođena su brojna mjerenja u laboratorijskim i industrijskim uvjetima pri čemu se pokazala puna opravdanost uvođenja mikroprocesora i mikroračunala u mjerne sustave odjevnog inženjerstva kao i opravdanost razvoja vlastitih konstrukcija i prototipova mjernih sustava. Takva orijentacija pokazala se opravdanom i dovela je do niza uspješno zamišljenih novih mjernih sustava odjevnog inženjerstva koji su patentirani, a poslužili su pri izradi brojnih diplomskih, magistarskih i doktorskih radova te naposljetku i do osnivanja laboratorija za procesne parametre odjevnog inženjerstva.

2. Razvoj vlastite opreme za laboratorij

Mjerni sustav opisan u uvodu je kasnije usavršen na način da je tahogenerator za mjerenja brzine vrtnje glavnog vratila stroja zamijenjen Hallovom sondom, dodani su pasivni i aktivni mikrovalni detektori za označavanje početka i kraja tehnološke operacije, a u softver su dodane numeričke metode deriviranja i integriranja uz standardne statističke pakete za obradu podataka.

Opremu, sl. 3, su patentirali D. Rogale i Z. Dragčević i za nju je odobren patent PK20010694 u travnju 2003. godine [3]. Na sl. 4 prikazan je mjerni sustav u radu u laboratoriju za procesne parametre.

Slika 3: Usavršeni i patentirani mjerni sustav za mjerenja procesnih parametara šivanja

Slika 4: Rad i mjerenja na mjernom sustavu u laboratorijskim uvjetima

Za mjerni sustav energetskih stanja pogonskih jedinica šivaćih strojeva patent pod oznakom PK20080068, autora D. Rogalea, je priznat 2010. godine [4]. Mjerni sustav pod nazivom Uređaj za mjerenja i kontrolu procesnih parametara pogonskih sustava šivaćih strojeva, sl. 5, ima više mjernih sklopova pa može mjeriti napone i struje napajanja pogonskih sustava za svaku fazu napajanja, snagu po svakoj fazi i ukupnu utrošenu energiju, a izmjerene vrijednosti pohraniti i analizirati na priključenom PC računalu, sl. 6.

Slika 5: Mjerni sustav za mjerenja procesnih parametara šivanja s dva mikroračunala

Slika 6: Poboljšani mjerni sustav s jednim snažnim PC računalom

Prikazani sustav, uvezan s prethodno opisanim sustavom za mjerenja procesnih parametara, predstavlja izuzetno vrijednu istraživačku opremu za područje odjevnog inženjerstva pa je njenom primjenom nastalo desetak obranjenih magistarskih radova i doktorskih disertacija.

Godine 2010. priznat je patent oznake PK20070532, autora N. Bogdanović, G. Nikolić, D. Rogale i M. Bartoš pod nazivom Mjerni sustav za mjerenja početnih volumena i automatizirano dugotrajno praćenje promjena volumena mjernih uzoraka, sl. 7. Sustav može pratiti promjenu volumena tekstilnih vlakana, pređa, tkanina, pletiva, netkanog tekstila, odjevnih kompozita i dijelova odjeće tijekom određenog razdoblja [5].

Slika 7: Sustav za mjerenja početnog i kasnijih promjena volumena

Slika 8: Elementi mjernog sustava s aktivnom i kompenzacijskom posudom te sklopovljem

Prikazani mjerni sustav ima niz kompenzacijskih metoda i sklopova, sl. 8, kako bi se izbjegao utjecaj vrlo dugih mjernih vremena na mjerni sustav.

Uređaj za kontrolirano punjenje, mjerenje i održavanje tlaka zraka u ekspandirajućim komorama obuće i odjeće, sl. 9, autora D. Rogalea, Z. Dragčevića, G. Nikolića i M. Bartoša, oznake P20080011 ima za primarni cilj da se omogući punjenje i pražnjenje ekspandirajućih komora na obući i odjeći do potrebnog tlaka stlačenog zraka ručnim ili automatskim upravljanjem [6].

Slika 9: Mjerni sustav za automatizirano punjenje ekspandirajućih komora obuće i odjeće

Slika 10: Sklopovlje mjernog sustava za automatizirano punjenje

Daljnji cilj izuma je mogućnost mjerenja tlaka i prikazivanje njegove vrijednosti na displeju uređaja kao i mogućnost automatskog mjerenja i transfera podataka na osobno računalo te osiguralo prikupljane, pohranjivanje, analiziranje, statističko obrađivanje i vrednovanje ekspanzijskih svojstava komora. Uređaj je realiziran na način da je izvedena smislena integracija mikrokompresora, elemenata mikropneumatike i senzora tlaka, mikrokontrolerskog sustava s pripadajućim programom, displejom, upravljačkim tipkama i ispravljačem, sl. 10.

U posljednje vrijeme razvijen je mjerni uređaj za istraživanja karakteristika spojeva izrađenih ultrazvučnom tehnikom i tehnikom u visoko frekventnom elektromagnetskom polju, sl. 11, korišten u istraživanjima na HRZZ projektu IP-2018-01-6363 [7]. Za navedeni uređaj predana je patentna prijava. Kao senzor korišten je inovativni sklop kapacitivnog mikrometra, sl. 12, za kojeg je također predana patentna prijava, a korišten je u istraživanjima na HRZZ projektu IP-2018-01-6363.

Slika 11: Uređaj za testiranje ultrazvučnih i VF spojeva dijelova odjeće

Slika 12: Kapacitivni mikrometar za mjerenja istisnutih rubova

Za potrebe mjerenja elektrostatičkih svojstava na konvencionalnoj, radnoj, pametnoj i inteligentnoj odjeći u laboratoriju je razvijen vrlo osjetljiv Q-metar koji može mjeriti vrlo male količine elektrostatičkog naboja nakupljenog na odjeći zbog trenja materijala od kojeg je odjeća načinjena, sl. 13. Navedeni uređaj poslužiti će i pri konstrukciji triboelektričkih generatora na odjeći za napajanje elektroničkih sklopova izraziti male energetske potrošnje.

Za ugradnju u pametnu i inteligentnu odjeću razvijaju se vlakna, pređe i tekstilne plošne tvorevine koje kontrolirano mijenjaju svoja svojstva upravljanjem primjenom električnog napona ili struje. U tekstilna vlakna mogu se ugrađivati električni vodiči

ili se u tekstilne plošne tvorevine ugrađuju električni vodljive metalne folije. Primjena vodljivih vlakana i folija može biti u vidu prijemnih i emisionih antena u odjeći. Vodiči unutar tekstilnih vlakana mogu poslužiti i za izvođenje vrlo laganih, tankih i nevidljivih električnih i elektroničkih sabirnica za napajanje svih ugrađenih uređaja i za prijenos podataka između njih. Električni vodljiva vlakna i folije mogu se koristiti i kao električni grijači ugrađeni izravno u niti tkanina ili pletiva. Protjecani električnom strujom, zbog svog omskog otpora, vodljiva vlakna i folije mogu razvijati toplinu, koja se podešavanjem vrijednosti napona može regulirati te tako pomoći održavanju tjelesne temperature u hladnijim uvjetima okoliša. Za mjerenje električnog otpora i produženja niti pri opterećenju određenom silom, u sklopu HRZZ projekta IP-2018-01-6363, konstruiran je inovativan mjerni sustav prikazan na sl. 14. Mjerni sustav se sastoji od mehaničke naprave za ostvarivanje napetosti elektrovodljive niti s digitalnim dinamometrom, digitalnog instrumenta za mjerenje produljenja elektrovodljive niti uslijed djelovanja određene sile, laboratorijskog digitalnog mjernog instrumenta za mjerenje vrijednosti električnog otpora elektrovodljivih niti stegnutih u električki izoliranim stezaljkama dinamometra i računala za pohranu i obradu izmjerenih podataka te računalna podrška u radu s kamerom.

Slika 13: Mjerilo količine elektrostatičkog naboja na odjeći

Slika 14: Sustav za mjerenja karakteristika elektrovodljivih konaca i pređa

U laboratoriju su razvijeni i drugi pomoćni uređaji i naprave, a neki su još u fazi razvoja tako da nije primjereno prerano isticati njihova buduća svojstva.

3. Kupljeni strojevi i oprema za laboratorij

Tijekom razvoja inteligentne odjeće s adaptivnom regulacijom termoizolacije u Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, istraživački tim je utvrdio da inteligentnu odjeću nije moguće realizirati isključi-

vom uporabom konvencionalnih metoda spajanja korištenih u odjevnom inženjerstvu. Konvencionalne metode spajanje dijelova odjeće korištenjem metode šivanja se mogu koristiti, u manjoj mjeri, za izradu vanjske školjke inteligentnog odjevnog predmeta, njegove podstave i samo ponekih ugradbenih elemenata. U nekim je slučajevima metoda spajanja šivanjem potpuno nepraktična. Iz tog razloga potrebno je primijeniti nove suvremene metode spajanja dijelova inteligentne odjeće kao i mnogih ugradbenih komponenti (senzori, izvršne naprave, mikrokontrolersko sklopovlje, baterije, displeji, prekidači, mikropneumatski dijelovi, ožičenja i sl.).

Najveći dio spomenutih ugradbenih elemenata nije moguće ugraditi i trajno pričvrstiti u odjevni predmet metodom šivanja. Naprotiv, suvremene metode spajanja koje se koriste u tehničkom-znanstvenom području pokazale su se izvrsnima za spomenute namjene. To se osobito odnosi na tehnike spajanja termoplastičnih polimernih materijala toplinskim učincima uz primjenu efekta kondukcije i konvekcije, ultrazvučnim učincima, te pri djelovanju visokofrekventnih elektromagnetskih polja. Dijelovi inteligentnog odjevnog predmeta izrađeni od umjetnih polimernih materijala mogu se spajati toplotnim spajanjem primjenom kondukcije i konvekcije na način da se zagrijavaju do temperature omekšavanja, a potom se, pod djelovanjem sile pritiska, trajno spajaju. Kod ove vrste spajanja posebni problem predstavlja niska toplinska vodljivost polimernih materijala koji se brzo ugriju na površini a unutrašnjost im ostaje hladna. Češće se koriste za navarivanje adhezivnih traka na šavove koji su izvedeni pomoću konvencionalnih strojnih šivaćih uboda s primjenom igle i konca, kako bi se dobili vodonepropusni ili zrakonepropusni šavovi. Na sl. 15 prikazan je korišteni specijalni stroj za toplotno spajanje primjenom kondukcije (vrućeg klina) i konvekcije (vrućeg zraka), tt. PFAFF Weldchampion 8304-020.

Polimerni materijali se spajaju strojem, sl. 16, ultrazvučnom sonotrodom koja radi na frekvenciji od 35 kHz, a ultrazvučne vibracije prenosi na rotirajući disk od slitine aluminija i titana, promjera 105 mm i širine u rasponu od 2 – 10 mm.

Slika 15: Stroj za toplinsko spajanje termoplastičnih polimernih

Slika 16: Stroj za ultrazvučno spajanje termoplastičnih polimernih materijala

Brzina spajanja može iznositi od 0,6 – 13,6 m/min. Debljina spojenog kompozita materijala mora biti u rasponu od 50 μm do 2 mm. Raspon između sonotrode i protuvaljka može se mijenjati s točnošću od 20 μm uz silu spajanja od 0 - 800 N. Stroj je opremljen procesnim mikroračunalom koje izračunava i podešava kontinuiranu gustoću ultrazvučne energije spajanja pri nejednolikim brzinama spajanja čime se postiže vizualna jednoličnost spajanja i čvrstoća ultrazvučnog spoja.

Strojevi za visokofrekventno (VF) spajanje su prilagođeni specifičnoj tehnici koja se koristi za spajanje umjetnih polimernih materijala. Razlog tome je što se materijal za spajanje od umjetnih polimernih tvari sastoji od makromolekula s izraženom polarizacijom tako da na nekim svojim dijelovima ima izražene električne naboje. Takve molekule se u električnom polju polariziraju u smjeru silnica tog polja. Mijenjanjem smjera silnica započinje i promjena položaja polarizirane molekule. Ukoliko se postigne dovoljno brza promjena električnog polja orijentacija molekula postaje dovoljno brza da dolazi do pojave disipacije topline unutar materijala koji se nalazi u promjenjivom električkom polju. To je razlog što strojevi za visokofrekventno spajanje koriste visokofrekventne oscilatore s pojačalima snage, a najčešća frekvencija rada im je 27,12 MHz. Efekt pojave topline u dielektriku je inače nepoželjna pojava u elektrotehnici koja je zamijećena pri izvrgavanju kondenzatora s lošijim izolatorom visokofrekventnim naponima i naziva se dielektričkim gubicima. Međutim, takva pojava može se učinkovito iskoristiti pri visokofrekventnim spajanjima dijelova odjeće načinjenih od umjetnih polimernih materijala, najčešće od tzv. plastičnih folija.

Na sl. 17 prikazan je stariji stroj za VF spajanje s vakuumskom triodom i ručnim vođenjem, a na sl. 18 novi stroj s keramičkom tetrodom i mikroračunalnim vođenjem, čija je nabava financirana iz sredstava HRZZ projekta IP-2018-01-6363.

Slika 17: Stroj za visokofrekventno spajanje umjetnih polimernih materijala, Siatem

Slika 18: Stroj za visokofrekventno spajanje umjetnih polimerni materijala Depta, Zemat

Oba prikazana stroja koriste se za spajanje dijelova inteligentne odjeće u laboratoriju i ugradnju električkih i elektroničkih komponenti u nju.

Kao dobra tehnika za ugradnju senzora i drugih manjih elektroničkih komponenti pokazala se tehnika tzv. ukrasnog veza na numerički vođenim (NC) šivaćim strojevima. Takvim strojevima mogu se izvoditi složeni oblici VF antena ugrađenih u odjeću koje potom mogu poslužiti kao antene komunikacijskih radio uređaja ili pak kao minijaturne antene za komunikaciju inteligentne odjeće s drugim sustavima u njenom okolišu. Kao vodiči u takvim koncima služe elektrovodljive niti načinjene od metalnih filamenata ili srebrom naslojeni polimerni filamenti. Tehnikom ukrasnog veza mogu se na pametnoj i inteligentnoj odjeći realizirati upravljački gumbi ugrađenih elektroničkih sklopova ili strujne sabirnice. Na sl. 19 prikazana je starija varijanta takvog stroja, a na sl. 20 najsuvremenija varijanta, , čija je nabava financirana iz sredstava HRZZ projekta IP-2018-01-6363.

Starija varijanta može raditi s devet, a novija s 10 različitih konaca, uz veće brzine i znatno složenije geometrijske oblike. Stoga se preko računalnog programa mogu odabirati različite boje veza radi estetskog efekta ili se biraju vodljive niti koje imaju različita električka svojstva (vodljivost, otpor, najveća dozvoljena struja i sl.).

Spajanje šivanjem izvodi se i konvencionalnim šivaćim strojem prikazanim na sl. 21.

Slika 19: Numerički vođen šivaći stroj za ukrasni vez, BAS-412-A, Brother

Spomenuti stroj opremljen snažnim procesnim mikroračunalom širokog spektra automatiziranih funkcija šivanja, a karakterističan je po tome što nema uobičajeno uljno podmazivanje jer su mu ležajevi načinjeni od PTFE materijala. Ta osobitost omogućava ugradnju mnogih senzora ispod ubodnice bez opasnosti od zaprljanja ili oštećenja uljem.

Uz spomenute strojeve za spajanja tehnikom šivanja ili vezenja za podešavanje optimalnih radnih parametara u laboratoriju koristi se tenziometar Towa, sl. 22.

Za ručna spajanja i rezanja materijala koristi se i priručna ultrazvučna tehnika. Na sl. 23 prikazan je ultrazvučni generator snage 400 W koji se u laboratoriju koristi za spajanja punktiranjem i za rezanje plošnih tekstilnih tvorevina s pomoću uređaja za ultrazvučno rezanje, sl. 24.

Slika 20: Suvremeni numerički vođen šivaći stroj za ukrasni vez, 1010, Ricoma

Slika 21: Univerzalni šivaći stroj, Pfaff 1053

Slika 22: Tenziometar za mjerenje napetosti

Slika 23: Ultrazvučni generator tt. Sonic

Slika 24: Uređaj za ultrazvučno rezanje

Kod uobičajenog rezanja uređajima s čeličnim oštricama javljaju se nepravilni rubovi koji se resaju (izvlače se dijelovi potke i osnove, pređe ili tekstilnih vlakana), no kod ultrazvučnog rezanja materijala od umjetnih polimera ili mješavina, rubovi se zataljuju pa se resanje rubova materijala ne pojavljuje.

Spojeve načinjene nekom od suvremenih metoda spajanja valja ispitati na čvrstoću spoja, elastičnost, zrakopropusnost i vodopropusnost. Stoga u laboratoriju postoji više vrsta uređaja za takva ispitivanja. Dinamometrima vodoravnog sl. 25. i okomitog tipa, sl. 26.

Slika 25: Vodoravni dinamometar, Sauter

Slika 26: Okomiti dinamometar, Sauter

Slika 27: Oprema za ispitivanje čvrstoće spoja frontalno fiksirane tkanine tt. Kannegiesser

Slika 28: Mikroskop 40x-1600x, Bresser

Dinamometrima se ispituje čvrstoća i elastičnost linijskih spojeva djelovanjem vlačne sile, a postoji i oprema od 9 cjelina (poz. 1 do 9), sl. 27, za uzimanje uzoraka i provedbu mjerenja čvrstoće spoja frontalno fiksirane tkanine. Vizualni pregled spojeva, osobito detalja, može se ispitati instaliranim mikroskopom s povećanjem od 40 do 1600 puta, sl. 28.Mikroskop je optičkog tipa, sliku prikazuje na LCD monitoru u boji, a može se prenijeti izravno u računalo. U laboratoriju postoji i prijenosna mikroskopska kamera Digital Microscope Camera 2.0 Scale tt, Toolcraft koja omogućuje povećanje od 20 do 200 puta koja se također može spojiti izravno na računalo. Uz kameru je instaliran i kalibracijski listić tako da se može izvesti umjeravanje sustava i izvoditi točna mjerenja zanimljivih detalja spoja u cilju analiza utjecaja procesnih parametara na svojstva spoja.

Istraživanja spojeva na zrakopropusnost može se izvesti uređajem za takva mjerenja, prikazanom na sl. 29.

Slika 29: Uređaj za ispitivanje zrako-nepropusnosti spojeva

Slika 30: Uređaj za ispitivanje vodonepro-pusnosti spojeva

Ispod kružne brtve se pod ispitivani spoj upuhuje stlačeni zrak čiji se tlak očitava na manometru do određene vrijednosti. Pad tlaka nakon definiranog vremena upućuje na zrakopropusnost spoja. Na sličan način radi i uređaj za ispitivanje vodonepropusnosti spojeva, sl. 30, samo se u ovom slučaju kao ispitni medij koristi voda. Ovaj uređaj ima pridodane regulatore tlaka i druge pokazne naprave.

Za mjerenja zrakopropusnosti tekstilnih materijala i odjevnih kompozita u laboratoriju je instaliran uređaj oznake TF164B, tvrtke Testex, sl. 31, koji mjeri zrakopropusnost prema svim relevantnim normama ASTM D737, ISO 9237/7231 i BS 5636. Uređaj je nabavljen iz sredstava HRZZ projekta IP-2018-01-6363, a služi za spomenuta mjerenja na konvencionalnoj, pametnoj i inteligentnoj odjeći.

Na više mjesta spomenuto je da se akvizicija podataka izvodi primjenom računalne tehnike, no u laboratoriju postoje i dodatna dva neovisna sustava za računalnu akviziciju podataka National Instruments i RedLab. Akvizicija podataka prema tt. National Instruments izvodi se primjenom utičnih mjernih modula u sklopu DAQ sustava, a od tt. RedLab koriste se namjenski moduli A/D pretvornika i moduli za mjerenja primjenom termoelemenata s aktivnom kompenzacijom hladnog kraja.

Osim spomenute opreme u Laboratoriju za procesne parametre nalazi se i više računala sa skenerima i tiskalima te više elektroničkih instrumenata (osciloskopi, univerzalni mjerni instrumenti, generatori funkcija, ispravljači, signal generatori, mjerni mostovi i dr.) te mnoštvo različitih vrsta senzora. Uz to postoje i ručni alati za strojarske, elektrotehničke i elektroničke potrebe.

Na temelju svega iznesenog vidljivo je da je Laboratorij za procesne parametre dobro opremljen mjernim uređajima koji su razvijeni za vlastite potrebe, umjereni i patentirani, kao i kupljenim suvremenim mjernim uređajima i napravama. Osim toga laboratorij je opremljen i strojevima za visokotehnološke načine spajanja dijelova konvencionalne, pametne i inteligentne odjeće te sa nizom mjernih uređaja za ispitivanja karakteristika takvih spojeva.

Slika 31: Uređaj za mjerenja zrakopropusnosti tekstilnih materijala i odjevnih kompozita

Slika 32: Sustavi za računalnu akviziciju podataka National Instruments i RedLab

Računalno podržani sustavi za akviziciju podataka u zajednici s dostupnom senzorikom, omogućavaju dopunska mjerenja na strojevima i opremi kako bi se istraživali i utvrđivali optimalni procesni parametri odjevnog inženjerstva. Zahvaljujući dobroj opremljenosti laboratorija, u njemu je izvedeno desetak magistarskih i doktorskih disertacija, više diplomskih i mnoštvo znanstvenih radova, a izvedeno je nekoliko mjerenja i demonstracija rada strojeva i uređaja za potrebe hrvatske odjevne industrije. Osim toga, u njemu se održava i nastava diplomskog i poslijediplomskog stupnja.

4. Zaključak

Na temelju brojne vlastite razvijene opreme i na temelju kupljenih strojeva i opreme tijekom realizacija znanstvenih projekata, na poticaj autora članka, prišlo se osnivanju laboratorija za procesne parametre pri Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilnotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu tijekom 2002. godine, posebno potaknutim uspješnim istraživanjima provođenim još od 80-ih godina prošlog stoljeća. Na temelju 35 godina uspješnih istraživanja, Laboratorij se tijekom proteklih 20 godina uspješno razvija i stalno dopunjava novom mjeriteljskom opremom, strojevima i uređajima tako da danas predstavlja akademsku ustrojbenu jedinicu sa praktički najsuvremenijim tehnikama spajanja dijelova odjeće i mjernim sustavima za mjerenja procesnih parametara tehnoloških operacija odjevnog inženjerstva. U laboratoriju su

se dosad izvodila istraživanja za potrebe desetak magistarskih radova i doktorskih disertacija, za objavu više desetaka zapaženih izvornih i znanstvenih radova i istraživanja za industriju. Osim toga, laboratorij se koristi i za nastavu na diplomskom i poslijediplomskom studiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Pri tome valja istaknuti i činjenicu da je laboratorij započeo i nastavio se razvijati na vlastito razvijenoj istraživačkoj opremi što je i jedna od intencija sveučilišnog obrazovanja: razvoj na temeljima vlastitih istraživanja i ingenioznosti.

Rad je izrađen u sklopu aktivnosti na istraživačkom projektu IP-2018-01-6363 Razvoj i toplinska svojstva inteligentne odjeće (ThermIC) financiranog od Hrvatske zaklade za znanost

Literatura

[1] Knez, B.; Rogale, D.; Dragčević, Z.: Utjecaj strukture strojnog vremena na stupanj iskorištenja šivaćih strojeva, *Tekstil*, Vol (34) 8, 551-557

[2] Vuljanić, N.: Tekstilno-tehnološki fakultet, *Tehnički fakulteti 1919.-1994.* Sveučilište u Zagrebu, ISBN 953-6002-00-0, Zagreb, (1994), str. 595

[3] Rogale, D., Dragčević Z.: Sustav za automatska mjerenja procesnih parametara i struktura tehnoloških operacija proizvodnje odjeće, odobren konsensualni patent od Državnog zavoda za intelektualno vlasništvo 30.travnja 2003. pod oznakom PK20010694

[4] Rogale, D.: Uređaj za mjerenja i kontrolu procesnih parametara pogonskih sustava šivaćih strojeva, Državni zavod za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske, odobren konsensualni patent od Državnog zavoda za intelektualno vlasništvo 31. svibnja 2010. pod oznakom PK20080068

[5] Bogdanović, N., Nikolić, G., Rogale, D., Bartoš, M.: Mjerni sustav za mjerenja početnih volumena i automatizirano dugotrajno praćenje promjena volumena mjernih uzoraka, odobren konsensualni patent od Državnog zavoda za intelektualno vlasništvo 31. ožujka 2010. pod oznakom PK20070532

[6] Rogale, D., Dragčević, Z., Nikolić, G., Bartoš, M.: Uređaj za kontrolirano punjenje, mjerenje i održavanje tlaka zraka u ekspandirajućim komorama obuće i odjeće, odobren konsensualni patent od Državnog zavoda za intelektualno vlasništvo 30. studenog 2010. pod oznakom PK20080011

[7] Rogale, D., Knezić, Ž.: Uređaj i metoda za ispitivanje karakteristika spojeva nastalih visokotehnološkim tehnikama spajanja polimernih materijala, Patentna prijava, Državni zavod za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske, 9. 7. 2021., klasa: 381-03/2021-010/1094; ur.br. 533-21-001 pod oznakom P20211094A

Laboratorij za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja

Sandra Flinčec Grgac[1], Anita Tarbuk[2], Tihana Dekanić[3] i Tanja Pušić[4]

[1] Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, sflincec@ttf.unizg.hr

[2] suradnik, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, anita.tarbuk@ttf.unizg.hr

[3] Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, tihana.dekanic@ttf.unizg.hr

[4] Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, tpusic@ttf.unizg.hr

Sažetak: *Laboratorij za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja osnovan je 2019. godine na Sveučilištu u Zagrebu Tekstilno-tehnološkom fakultetu. Smješten je u prostoriji S-14 na adresi Savska 16/9, Zagreb. Laboratorij je opremljen suvremenim uređajima i metodama koje omogućavaju detaljno istraživanje svojstava kupelji, sorpciju kupelji sa sredstvima za obradu u različitim omjerima, primarno uzevši u obzir međupovršinske pojave tkanina i sredstava u kupelji, praćenje procesa kvašenja, in situ praćenje utjecaja topline na fizikalno-kemijske promjene u uzorku i određivanje sposobnosti upravljanja vlagom što omogućuje preciznije optimiranje operacijskih procesa obrade tekstilija s ciljem minimalnog oštećenja uz postizanje postojanosti ciljanih svojstava na višestruke cikluse održavanja. Minimalno oštećenje će osigurati tekstilije visokih vrijednosti čija primjena može biti i u visokozahtjevnim uvjetima čistog prostora, a njihovo vrednovanje provodi se primjenom uređaj za ispitivanje generiranja tekstilne prašine. Uspostavom Laboratorija i nabavkom nove opreme povećan je institucijski kapacitet te se unapređuje nacionalna i međunarodna prepoznatljivost.*

Ključne riječi: *brojač čestica tekstilne prašine, međupovršinske pojave, kut dodira, sposobnost upravljanja kapljevitom vlagom, FTIR-ATR grijana jedinica do 300 °C.*

1. Uvod

Projekt UIP-05-2017-8780 „Bolničke zaštitne tekstilije“ (HPROTEX) (15. 3. 2018. – 14. 9. 2023.) financiran od Hrvatske zaklade za znanost

(HRZZ) ima dva opća cilja: 1. Osnivanje interdisciplinarne istraživačke skupine; 2. Uspostava Laboratorija za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja. Ovi ciljevi omogućavaju sustavno istraživanje i prijenos znanja usmjerenih ka rješavanju problema pojave tekstilne prašine u bolničkom okruženju uz praćenje postupka umrežavanja pojedinih sredstava za postizanje postojanih svojstava tako razvijenih tkanina [1]. https://hprotex.online/ Zahvaljujući temeljnom financiranju ovog projekta, proširen je znanstveno-istraživački radi u vidu dva nova projekta. Prvi je „Projekt razvoja karijera mladih istraživača - izobrazba novih doktora znanosti“ Hrvatske zaklade za znanost DOK-2018-09-4254 „Bio-inovirani poliesterski materijal za ciljanu primjenu u bolničkom okruženju“ koji omogućava financiranje ukupnog troška plaće doktoranda, s primarnim ciljem izrade doktorskog rada i usvajanja znanja o temeljnim postavkama znanstvenog rada i istraživanja na razdoblje od 4 godine (25.4.2019.-24.4.2023.); a drugi bilateralni znanstveno-istraživački projekt u sklopu zajedničke hrvatsko-srpske suradnje naziva “Bio-inovirani poliesteri” (1.5.2019-30.6.2022.) pri čemu Ministarstvo znanosti i obrazovanja financira troškove putovanja i boravka suradnika na projektu. Uspostavom Laboratorija i nabavkom nove opreme, doći će do mogućnosti realizacije svih ciljeva navedenih projekata uz edukaciju mladih istraživača - doktoranada, čime se povećava institucijski kapacitet te doprinosi se nacionalnoj i međunarodnoj prepoznatljivosti.

Slika 1: Laboratorij za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja

2. Uspostava Laboratorija za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja

Zahvaljujući financiranju HRZZ tijekom prve godine projekta nabavljena je ključna oprema za osnivanje laboratorija: Jedinica za kontroliranje i podešavanje visoke temperature (Golden Gate Controller) i Grijana jedinica ATR (temp. 300 °C) (High temperature, Golden Gate ATR (temp 300°C)) koje su nadograđene na Fourierov transformirajući infracrveni spektrometar, Perkin Elmer, goniometar s analizom kapljice i nagibnim stolićem - Drop Shape Analyzer (DSA30S), KRŰSS GmbH, uređaj za određivanje sposobnosti upravljanja vlagom (Moisture Management Tester, MMT), SDL Atlas nabavljen od strane Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta u okviru osiguranih troškova ustanove vezanih uz projekt UIP-05-2017-8780 HPROTEX. Osim novo nabavljenih uređaja i modularne nadogradnje, postojeći laboratorij obuhvaća ranije nabavljenu/izrađenu znanstveno-istraživačku opremu: Aparature za mjerenje prodora kapljevine izrađene u skladu s AATCC metodama ispitivanja, Aparaturu za određivanje sposobnosti zadržavanja vode, te Uređaj za ispitivanje generiranja tekstilne prašine.

"Laboratorij za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja" uspostavljen je na Sveučilištu u Zagrebu Tekstilno-tehnološkom fakultetu 21. listopada 2019. u sklopu projekta UIP-05-2017-8780 “Bolničke zaštitne tekstilije”. Za uspostavu Laboratorija odgovorne su izv. prof. dr. sc. Sandra Flinčec Grgac (ujedno i voditeljica Laboratorija), izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk, doc. dr. sc. Tihana Dekanić i prof. dr. sc. Tanja Pušić. Oprema je smještena u Zavodu za tekstilnu kemiju i ekologiju Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta. Popis opreme, proizvođači i mogućnosti primjene dati su u tablici 1.

Tablica 1: Naziv opreme, proizvođači i mogućnost primjene

Naziv opreme (proizvođač)	Mogućnost primjene
Drop Shape Analyzer (DSA30S), (KRŰSS GmbH)	Goniometar s analizom kapljice i nagibnim stolićem (DSA30) omogućuje detaljno istraživanje svojstava kupelji. Ima mogućnost određivanja slobodne površinske energije, dodirnog kuta i površinske napetosti kapljevina. Mjerenje površinske napetosti provodi se metodom viseće kapi (pendant drop method) u volumenu od samo 500 µl (oko 10 kapi). Ima jedinicu za doziranje pod pritiskom uz mogućnost doziranja dviju kapljevina istovremeno. Nagibni stolić omogućuje određivanje naprednog i nazadnog dodirnog kuta, odnosno histerezu kontaktnog kuta. Navedeni model goniometra ima mogućnost nadogradnje pikolitrenog sustava doziranja (kapi od 20 pl ili manje).

FTIR spektrometar s ATR grijanom jedinicom do 300°C (Golden Gate ATR), (PerkinElmer) 	Instrument se koristi u infracrvenoj spektroskopiji za identifikaciju nepoznatih materijala, u određivanju omjera pojedinih komponenti u uzorku, kao i u određivanju njegove kvalitete i konzistentnosti. ATR grijana jedinica do 300 °C omogućava in situ praćenje utjecaja topline na fizikalno-kemijske promjene u uzorku.
M290 Moisture Management Tester, (SDL Atlas) 	Uređaj za određivanje sposobnosti upravljanja vlagom (Moisture management tester, MMT) daje kvantitativne pokazatelje kvašenja u skladu s dvije norme (AATCC TM 195:2020; te GB/T21655.2-2009) [2, 3]. Razvijen je za mjerenje dinamičkog prijenosa vlage u tekstilu i tekstilnim kompozitima. Mjeri se prosječna brzina apsorpcije vlage, najveći radijus vlaženja na gornjoj i donjoj površini, te računa jednosmjerni kapacitet prijenosa, te prijenos vlage, ciljani ili inherentni prijenos kapljevina kao što je znoj ili voda i vodena para.
Uređaj za ispitivanje generiranja tekstilne prašine (1) Klimaoprema d.d.; KTV-A, (2) Testing Equipment by Mirta Control; EN ISO 9073-10 (3) Particle Measuring System; Lasair III 310C 	Uređaj za ispitivanje generiranja tekstilne prašine konstruiran iz generatora tekstilne prašine (2), uređaja za mjerenje čestica (3) i kabineta s vertikalnim laminarnim strujanjem zraka koji osigurava čistu atmosferu za ispitivanje (1). Omogućava mjerenje generiranih čestica tekstilne prašine prije i nakon višestrukih ciklusa održavanja primjenom brojača čestica (Particle Counter) prema ISO 9073-10:2003 [4]. Uzorak se stavlja u zatvorenu čistu komoru generatora tekstilne prašine (2) i izlaže kontroliranom gibanju pri kojem se oslobađaju čestice tekstilnog materijala koje su potom mjerene po količini i veličini na uređaju za mjerenje čestica (3). Proces se provodi u kabinetu s vertikalnim laminarnim strujanjem zraka (1) koji osigurava čistu atmosferu za ispitivanje.
Aparature za mjerenje prodora kapljevine, (vlastita izrada)	Aparature za mjerenje prodora kapljevine izrađene su u skladu s AATCC metodama ispitivanja: 1) AATCC TM 79-2018 [5], tzv. Drop test; 2) Mjerenja brzine porasta stupca vode u vertikalno položen uzorak prema AATCC TM 197-2018 [6], tzv. vertikalni test; 3) Mjerenja brzine prodora vode u horizontalno položeni uzorak prema AATCC 198-2018 [7], tzv. horizontalni test

Aparatura za određivanje sposobnosti zadržavanja vode (1) Centric 322A, Tehnica; (2) Primalab d.o.o.; (3) RU-VE d.o.o.	Aparatura za određivanje sposobnosti zadržavanja vode (Water Retention Value, WRV) sastavljena je iz centrifuge (1), nosača kiveta (2) i kiveta (3) prema DIN 53814:1974 [8]. Mogućnost mjerenja prema DIN 53814:1974 i ASTM D 2402-07 [9].

Uspostava Laboratorija za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja doprinosi znanstveno-istraživačkom razvitku tekstilno-kemijske tehnologije. Razvitak se očituje u primjeni i praćenju procesa predobrade i oplemenjivanja sa svrhom postizanja postojanog umrežavanja uz i bez dodatka umreživača s ciljem postizanja različitih višefunkcionalnih svojstava. Moguće je detaljno istražiti svojstva kupelji, sorpciju kupelji sa sredstvima za obradu u različitim omjerima, primarno uzevši u obzir među površinska svojstva tkanina i sredstava u kupelji. Goniometar omogućuje određivanja slobodne površinske energije, dodirnog kuta i površinske napetosti kapljevina, a time i istraživanje sila adhezije za definiranje postojanosti umreženog nanosa. Uređaj nam omogućuje mjerenje površinske napetosti kapljevina što je početan i izuzetno važan podatak prilikom pripreme kupelji i postavljanja operacija oplemenjivanja u doradi tekstilija, te pri optimiranju deterdženta i postupaka održavanja novo razvijenih višefunkcionalnih tekstilija s naglaskom na minimalne promjene svojstava tekstilija. Uređaj posjeduje nagibni stolić pomoću kojeg je moguće odrediti napredni i nazadni dodirni kut i izraziti histerezu kontaktnog kuta neophodnu za karakterizaciju heterogenih površina (koje je nemoguće mjeriti na uobičajenim goniometrima za polimerne filmove). Budući da se FTIR-ATR Golden Gate grijanom jedinicom do 300 °C omogućuje in situ praćenje utjecaja topline na fizikalno-kemijske promjene u uzorku, moguće je preciznije optimiranje operacijskih procesa obrade tekstilija s ciljem minimalnog oštećenja uz postizanje postojanosti ciljanih svojstava na višestruke cikluse održavanja. Minimalno oštećenje će osigurati tekstilije visokih vrijednosti čija primjena može biti i u visokozahtjevnim uvjetima čistog prostora.

Zbog heterogenosti tekstila i višenamjenskih uporabnih svojstava mnogo je metoda za ispitivanje vlaženja (eng. wetting, kvašenje, močenje), prodora kapljevine (eng. wicking; kapilarnost; penetracija; prokvašavanje) i apsorpcije, što dovodi do problema pri raspravi mjernih rezultata. Hidrofilnost tekstilnog materijala može se odrediti različitim metodama: upijanjem kapi; mjerenjem brzine porasta stupca vode ili kapljevine u tankom sloju u horizontalno i/ili vertikalno položeni uzorak; određivanjem sposobnosti zadržavanja vode u tekstilnim vlaknima ili pređi; te određivanjem sposobnosti upravljanja vlagom u tekstilu. Iz tog razloga u laboratoriju se nalaze aparature za mjerenje prodora kapljevine izrađene su u skladu s AATCC metodama ispitivanja, te aparatura za određivanje sposobnosti zadržavanja vode (eng. Water Retention Value, WRV). Uređaj za određivanje sposobnosti upravljanja vlagom (Moisture management tester, MMT) razvijen je za mjerenje dinamičkog prijenosa vlage u tekstilu i tekstilnim kompozitima. Dobiveni rezultati su u skladu s ručnim

AATCC metodama, primjerice vrijeme vlaženja (eng. Wetting time, WT) odgovara Drop testu. Dodatno, MMT omogućuje sustavno i kvantitativno praćenje apsorpcije, razlijevanja i prodora kapljevine. Važno je napomenuti da se primjenom MMT određuje ukupni sadržaj površinske vode – zbroj postotnog sadržaja vode gornje i donje površine, što omogućava razlikovanje celuloznih od sintetskih vlakana, i dodatno radi razliku od metoda kao primjerice WRV (Water Retention Value), gdje ukupni sadržaj vode podrazumijeva mjerenje ukupne ili vezane vode u uzorku.

Razvoj višefunkcionalnog tekstila zahtjevan je i odgovoran posao koji osim navedenih ispitivanja prilikom obrade i nakon uporabe ima još jedan parametar po kojem se tekstilije mogu izdvajati za ciljane namjene, a to je mjerenje generiranih čestica tekstilne prašine prije i nakon višestrukih ciklusa održavanja na uređaju za ispitivanje generiranja tekstilne prašine primjenom brojača čestica.

3. Zaključak

Uspostava Laboratorija za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja značajno će doprinijeti razvitku područja oplemenjivanja tekstilnih materijala. U Laboratoriju za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja moći će se istražiti svojstva kapljevina, sorpcije, međupovršinska svojstva, svi parametri obrade s naglaskom na postupak umrežavanja i in situ praćenja utjecaja topline na fizikalno-kemijske promjene unutar strukture polimernih materijala što će pridonijeti preciznom optimiranju procesa s ciljem što dulje postojanosti svojstava uz minimalna oštećenja prilikom procesa umrežavanja te nakon ciklusa održavanja. FTIR-ATR Golden Gate s grijanom jedinicom do 300 °C i Moisture Management Testera za sada nema u Hrvatskoj. Iz tog razloga ovi uređaji su od velikog interesa za potrebe hrvatskog gospodarstva, te će se moći pružati usluge na ovim uređajima različitim dionicima.

Nadalje, osim za potrebe znanstveno istraživačkog rada, oprema se koristi za izvođenje nastave na diplomskom i doktorskom studiju, što uvelike doprinosi nadogradnji izlaznih kompetencija studenata.

Kontakti: sflincec@ttf.unizg.hr, voditeljica laboratorija
anita.tarbuk@ttf.unizg.hr, tihana.dekanic@ttf.hr, tpusic@ttf.hr, suradnice

Rad je sufinancirala HRZZ projektom UIP-2017-05-8780 “Bolničke zaštitne tekstilije” - HPROTEX.

Literatura

[1] HPROTEX - Uspostavni istraživački projekt "Bolničke zaštitne tekstilije", Dostupan na: https://hprotex.online/ , Pristupljeno 2021-12-29.

[2] AATCC TM 195:2020 Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics (American Association of Textile Chemists and Colorists, 2020)

[3] GB/T21655.2-2009: Textiles - Evaluation of absorption and quick-drying - Part 2: Method for moisture management tests (National Standard of the Peoples republic of China, 2009).

[4] ISO 9073-10:2003 Textiles — Test methods for nonwovens — Part 10: Lint and other particles generation in the dry state (International Standardization Organization, 2003)

[5] AATCC TM 79-2018 Absorbency of Textiles (American Association of Textile Chemists and Colorists, 2018).

[6] AATCC TM 197-2018 Vertical Wicking of Textiles (American Association of Textile Chemists and Colorists, 2018).

[7] AATCC TM 198-2018 Horizontal Wicking of Textiles (American Association of Textile Chemists and Colorists, 2018).

[8] DIN 53814:1974 Testing of textiles; determination of water retention power of fibres and yarn cuttings (Deutsches Institut fur Normung E.V. 1974).

[9] ASTM D 2402-07(2018) Standard Test Method for Water Retention of Textile Fibers (Centrifuge Procedure), (ASTM International, 2018)

Laboratorij za napredne materijale i napredne tehnologije

Sandra Bischof[1], Tanja Pušić[2], Zorana Kovačević[3]

[1] Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, sbischof@ttf.unizg.hr

[2] suradnik, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, tpusic@ttf.unizg.hr

[3] Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, zorana.kovacevic@ttf.unizg.hr

Sažetak: *Laboratorij za napredne materijale i napredne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta je uspostavljen u sklopu projekta KK.01.1.1.02.0024 Modernizacija infrastrukture Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil (MI-TSRC). Cilj projekta je bio provesti obnovu i opremanje objekta na lokaciji Savska 16/9, kao i organizacijsku reformu Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta. Objekt u koji je smješten Znanstveno-istraživački centar za tekstil (TSRC) je opremljen najsuvremenijom istraživačkom opremom u svrhu unapređenja kapaciteta za istraživanja naprednih materijala i naprednih tehnologija te se očekuje povećanje inovacija s primjenom u gospodarstvu naročito u sektoru tekstila i kože (T/K), ali i u ostalim sektorima koji primjenjuju tekstil i kožu poput automobilskog, obrambenog i drvno-prerađivačkog, te kreativnim i kulturnim industrijama.*

Ključne riječi: *Napredni materijali, napredne tehnologije, tekstilna tehnologija, inovacije.*

1. Uvod

U sklopu Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta (Fakultet) od 2008.g. djeluje Znanstveno-istraživački centar za tekstil (TSRC) koji je odnedavno organiziran kao zasebna organizacijska jedinica Fakulteta. TSRC kontinuirano potiče inovativan znanstveno- istraživački i kreativan umjetnički rad, prvenstveno u području tekstilne tehnologije, strateški usmjerava istraživačke potencijale za unapređenje i razvoj procesa ili proizvoda za potrebe gospodarstva te društva u cjelini. Fakultet

aktivnostima Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil, jača suradnju s gospodarskim subjektima, javnim institucijama i europskim tvrtkama, ostvarujući na taj način ne samo kvalitetnu znanstveno– istraživačku suradnju već i prepoznatljivost na međunarodnom tržištu [1].

Dokaz uspješnosti i prepoznatljivosti TSRC-a potvrđen je tijekom 2018. godine kada je projektom Modernizacija infrastrukture Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil (MI-TSRC), koji je financiran iz Europskog socijalnog fonda (ESF), osiguran novi priljev sredstava za obnovu i opremanje prostora TSRC-a i uspostavu Laboratorija za napredne materijale i napredne tehnologije, koji je prepoznat kao ključan za daljnji razvoj materijala i tehnologija na Tekstilno-tehnološkom fakultetu.

2. Opremanje Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil

Organizacijska reforma i opremanje TSRC-a za potrebe vrhunskih istraživanja ostvarena je provedbom aktivnosti podijeljenih u 3 faze Prva faza aktivnosti obuhvaćala je obnovu objekta i prilagodbu prostora dok je druga faza aktivnosti obuhvaćala opremanje adaptiranih prostora (Slika 1) i treninge za korištenje 14 novih uređaja u skladu s čim je veliki broj istraživača stekao certifikate o osposobljenosti.

Slika 1: Novo uspostavljeni Laboratorij za napredne materijale i napredne tehnologije Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil

Organizacijska reforma je započeta osnivanjem Laboratorija za napredne materijale i napredne tehnologije te izradom Plana osposobljavanja istraživača, a zatim i Priručnika kvalitete TSRC laboratorija. U trećoj fazi je pokrenuta akreditacija pri Hrvatskoj akreditacijskoj agenciji (HAA) prema normi [2]. Akreditacija uključuje 5 ispitnih metoda u okviru Laboratorija Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil (TSRC-LAB), čiji je logo prikazan na slici 2.

Slika 2: Logo Laboratorija Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil (TSRC-LAB)

Istraživački kapaciteti TSRC-LAB-a su unaprijeđeni novom opremom opisanom u tablici 1.

Tablica 1: Opis opreme nabavljene za razvoj znanstveno-istraživačkog rada u području naprednih materijala i tehnologija

Naziv uređaja (Proizvođač)	Opis uređaja
Uređaj za mokro čišćenje (Electrolux)	Radne postavke ovog uređaja odgovaraju značajkama KET tehnologija (niski omjeri kupelji i niska temperatura obrade materijala). Uređaj je neophodan za ispitivanje postojanosti svojstava naprednih materijala u suvremenim uvjetima održavanja i procjenu izdržljivosti, kao jedan od elemenata analize životnog ciklusa proizvoda (LCA studija).
AZtecEnergy računalni paket za EDS (Oxford) i nadogradnja postojećeg FE SEM-a sa EDS detektorom (Oxford)	AZtecEnergy je napredni paket za automatsku energijsko dispezivnu spektrometriju (EDS) s veličinom senzora 50 mm^2, rezolucije 127 eV koji pokriva sve elemente od Be do Pu. Namijenjen je ugradnji u skenirajuće elektronske mikroskope te ima softversku platformu za automatsku akviziciju mikroskopske slike i spektrometrijskih podataka.
STEM detektor – nadogradnja postojećeg FE SEM-a (Tescan)	STEM detektor omogućuje akviziciju TEM slike pomoću SEM mikroskopa. Ovim detektorom se funkcionalnost SEM mikroskopa znatno proširuje zbog dodatne mogućnosti istraživanja materijala za koje je nedostatna skenirajuća elektronska mikroskopija. Postojeći SEM mikroskop ima već tvornički ugrađen generator, akvizicijski modul i software za prihvat novog STEM detektora koji će omogućiti dodatnu specijalizaciju u području transmisijske spektroskopije.

Naziv uređaja (Proizvođač)	Opis uređaja
UV-Vis spektrofotometar (Shimadzu)	UV/Vis spektrofotometar je instrument čije su karakteristike prilagođene mjerenju apsorpcije i transmisije u otopini i plošnim tvorevinama zahvaljujući modulu dvije mjerne glave. Omogućuje karakterizaciju naprednih funkcionalnih materijala, npr. UV zaštitnih svojstava u područjima UV-A, UV-B i UV-C.
Remisijski spektrofotometar (DataColor)	Uređaj ima mogućnost mjerenja remisije, apsorpcije i transmisije plošnih površina. Opremljen je s dva softvera, pri čemu jedan omogućava vrednovanje bjeline i tona boje na temelju izmjerenih spektralnih karakteristika, a drugi omogućava receptiranje. Područje mjerenja je u rasponu valnih duljina od 360 do 700 nm.
Uređaj za mjerenje granične vrijednosti indeksa kisika – LOI (Concept)	Uređaj je važan za kvantitativno određivanje otpornosti materijala na gorenje metodom (Limiting Oxygen Indeks-LOI). Ovaj parametar je ključan za razvoj naprednih negorivih zaštitnih materijala s primjenom u sektoru tekstila/kože, namještaja te izolacijskih tehničkih materijala namijenjenih automobilskoj i građevinskoj industriji.
Horizontalna komora za ispitivanje gorivosti (Concept)	Standardna metoda za ispitivanje gorivosti materijala u interijeru je neophodna za razvoj proizvoda dodanih vrijednosti. Namijenjena je za ispitivanje tekstilnih uzoraka za potrebe automobilske industrije ili interijernih tekstilija, npr. podnih obloga, tapeta, dekorativnih materijala i sl.
Viskotermostat (PrimaLab)	Uređaj je namijenjen za osiguranje optimalnih uvjeta prilikom mjerenja viskoziteta otopine polimera. Temeljem izmjerenog viskoziteta izračunava se prosječni stupanj polimerizacije (DP), pri čemu se aplikacija prvenstveno odnosi na određivanje DP celuloze. Ova ispitivanja su neophodna za karakterizaciju celuloznih materijala prije i nakon njihove ciljane modifikacije.
Uređaj za generiranje X-zraka GemX-160 GTC (X-Ris)	Uređaj je dio prijenosnog RTG uređaja, a predstavlja prijenosni generator X-zraka za digitalnu NTD aplikaciju.
Uređaj za detekciju pomoću X-zraka De-ReO (X-Ris)	Navedeni uređaj (detektor X-zraka) namijenjen je RTG analizi (identifikaciji, kvantifikaciji i morfometrijskoj karakterizaciji) različitih materijala, te detekciji eventualnih oštećenja/ proizvodnih nepravilnosti prvenstveno kompozitnih materijala (vlaknima ojačanih kompozita) te ostalim relevantnim materijalima u drugim sektorima.
Uređaj za umjetno starenje materijala (Atlas)	Ovaj uređaj omogućava praćenje utjecaja vanjskih atmosferilija na svojstva materijala, simulirajući umjetno starenje. Ovaj segment ispitivanja je neophodan za praćenje uporabnih svojstava, s primarnim ciljem karakterizacije životnog ciklusa novo razvijenih materijala.
Uređaj za ispitivanje postojanosti obojenja na trljanje (Gester)	Uređaj je namijenjen za ispitivanje otpornosti obojenja naprednih materijala na trljanje, što je jedna od značajnih metoda za dokazivanje kvalitete ispitivanog materijala ili proizvoda.

Naziv uređaja (Proizvođač)	Opis uređaja
Uređaj za ispitivanje otpornosti na habanje (Gester)	Uređaj je namijenjen ispitivanju otpornosti naprednih materijala na abraziju, koja predstavlja jedno od važnih svojstava za predviđanje ponašanja u uvjetima primjene i procjeni uporabnog ciklusa.
Uređaj za ispitivanje udobnosti/opipa tekstila (Atlas)	Uređaj je namijenjen objektivnoj (kvantitativnoj) karakterizaciji opipa kroz simultano mjerenje (18 k karakteristika) svih relevantnih mehaničkih i površinskih svojstava plošnih tekstilija/kože (debljine, kompresije, savijanja/krutosti, hrapavosti/glatkoće, trenja i topline). Ova objektivna mjerenja vrijedni su alati za istraživanje i razvoj novih i/ili modificiranih plošnih proizvoda.

3. Zaključak

Primjenom znanstveno-istraživačke opreme nabavljene projektom MI-TSRC potaknuti će se razvoj tehnološki naprednijih materijala i naprednih procesa proizvodnje. Dodatna suradnja znanstvene zajednice i gospodarstva dovest će do novih rješenja i proizvoda koji će dugoročno potaknuti ekonomski rast, otvaranje novih, kreativnih i visoko kvalitetnih radnih mjesta te u konačnici utjecati na povećanje konkurentnosti nacionalne ekonomije i kvalitete života.

Uspostava Laboratorija za napredne materijale i napredne tehnologije na Sveučilištu u Zagrebu Tekstilno-tehnološkom fakultetu će značajno doprinijeti razvoju područja funkcionalizacije i karakterizacije, prvenstveno naprednih tekstilnih materijala i kože.

Pozivamo sve predstavnike akademskog i gospodarskog sektora na suradnju i umrežavanje primjenom nove opreme uz ekspertizu osposobljenih istraživača i suradnika, bilo da se radi o istraživanjima za potrebe provedbe postojećih projekata, planiranja zajedničkih novih projekata, te izrade studija, elaborata i ekspertiza.

Zahvala projektu KK.01.1.1.02.0024 Modernizacija infrastrukture Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil (MI-TSRC) za financiranje obnove objekta i opremanja 4 laboratorija Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil.

Kontakti za upite:

sbischof@ttf.hr Voditeljica Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil
tpusic@ttf.hr Zamjenica voditeljice Znanstveno-istraživačkog centra za tekstil

Literatura

[1] Pušić, T.; Bischof, S.: Znanstveno-istraživački centar za tekstil -10 godina, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 978-953-7105-72-3, Zagreb, (2018)

[2] HRN EN ISO/IEC 17250:2017 *Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija*, HZN (2019)

Pregled

PREGLED AKTIVNOSTI AKADEMIJE TEHNIČKIH ZNANOSTI HRVATSKEU 2021. 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. Bavi se promicanjem tehničkih i biotehničkih znanosti, okupljanjem i poticanjem međusobne suradnje znanstvenika različitih tehničkih, biotehničkih i drugih područja, kao i njihove suradnje s gospodarstvom radi podupiranja djelotvornoga znanstvenog i gospodarskog razvoja Hrvatske bez namjere stjecanja dobiti.

Danas Akademija broji više od 360 članova u kategorijama individualnih (članovi suradnici, redoviti članovi, članovi emeritusi, međunarodni članovi i članovi gospodarstvenici) i podupirućih članova.

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, te joj je 2009. godine status znanstvene organizacije u sustavu Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH.

2. Suorganizacija znanstvenih konferencija

Organizacija/suorganizacija skupova

Suradnjom Hrvatskog inženjerskog saveza (HIS-a) i Akademije tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ-a) obilježen je 2. ožujka 2021. Dan inženjera Republike Hrvatske, jedan od najznačajnijih skupova tih dviju organizacija. Bio je to sedmi po redu Dan inženjera Republike Hrvatske kojeg su tada inženjeri obilježili temeljnom porukom: „Inženjeri – graditelji budućnosti“.

Slika 1: Dan inženjera RH, 2. ožujka 2021. Izvor: HIS

Mini konferencija – "Primjena mikrosustava u proizvodnji biodizela", održana je 19. travnja 2021. u zajedničkoj organizaciji Centra za zaštitu okoliša i razvoj održivih tehnologija Akademije tehničkih znanosti Hrvatske i Sveučilišta u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, kao jedna od aktivnosti koja se provodi u okviru projekta "Razvoj integriranog mikrosustava za biokatalitičku proizvodnju biodizela" IP-2016-06-7993 Hrvatske zaklade za znanost. Mini konferencija ponajprije je bila namijenjena akademskoj zajednici i gospodarstvu, odnosno svima onima zainteresiranima za intenzifikaciju procesa koja je povezana s prevođenjem procesa iz makro u mikro mjerilo. Na konferenciji je ukupno sudjelovalo 35 sudionika s različitih visokoškolskih i istraživačkih institucija.

Međunarodni znanstveno stručni skup "Tiskarstvo & dizajn" kontinuirano se održava od 2000. godine i okuplja eminentne stručnjake iz Hrvatske i svijeta koji svojim znanjem i razmjenom iskustva doprinose razvoju struke. Odjel grafičkog inženjerstva HATZ-a sudjelovao u organizaciji međunarodnog znanstveno stručnog skupa "Tiskarstvo & dizajn 2021" koji je održan 9. i 10. lipnja 2021.

Slika 2: Prof. dr. sc. Jana Žilja-Gršić, članica HATZ-a u Odjelu grafičkog inženjerstva i predsjednica skupa „Tiskarstvo & dizajn 2021", Izvor: www.tiskarstvo.net

Slika 3: Sudjelovanje članova HATZ-a na skupu „Tiskarstvo & dizajn 2021“, Izvor: www.tiskarstvo.net

Ostale aktivnosti u kojima je Akademija sudjelovala kao suorganizator događanja su:

- Predavanje *„Analog Photonic Systems: Features & Techniques to Optimize Performance“*, 24. veljače 2021., Odjel komunikacijskih sustava HATZ-a, on-line;
- Webinar *„Hydrogen in Energy Transition“*, 4. ožujka 2021., Odjel energijskih sustava HATZ-a, održavanje korištenjem Zoom platforme;
- Online predavanje *„Možemo li mjeriti depresiju?“* povodom Tjedna mozga 2021, 19. ožujka 2021., Odjel sustava i kibernetike HATZ-a, on-line;
- Predavanje *"Applications of Non-Foster Elements in Antennas and Microwave Devices"*, 21. ožujka 2021., Odjel komunikacijskih sustava HATZ-a, on-line;
- Okrugli stol *„Utjecaj masovne integracije obnovljivih izvora energije za stabilnost pogona elektroenergetskog sustava“*, Odjel energijskih sustava, 16. travnja 2021.;
- Znanstveni skup pod nazivom *„Conference on Sustainable of Energy, Water and Environment System (SDEWES 2021)”*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Instituto Superior Tecnico i Odjela energijskih sustava HATZ-a, Dubrovnik, 10.-15.10.2021. u hibridnom ili virtualnom obliku;
- Hackathon *„Brainhack Zagreb 2021“*, Odjel sustava i kibernetike HATZ-a, 11. i 12. prosinca 2021., Zagreb.

3. Publicistička djelatnost

U 2021. godini Akademija je imala redovitu i aktivnu publicističku djelatnost. Otisnuta su tri broja biltena Engineering Power s gostujućim urednicima kako slijedi:

- Vol. 16(1) 2021 – gost urednik: prof. dr. sc. Dragan Primorac (https://www.hatz.hr/hr/engineering-pover-vol-161-2021/);

- Vol. 16(2) 2021 – gost urednik: prof. dr. sc. Lidija Ćurković, redovita profesorica Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu (https://www.hatz.hr/hr/engineering-power-vol-162-2021/)
- Vol. 16(3) 2021 – gost urednik: prof. emer. dr. sc. Nedjeljko Perić, ravnatelj ICENTA i profesor emeritus Sveučilišta u Zagrebu pri fakultetu elektrotehnike i računarstva.

Četvrti broj za godište 2021 je pripremljen i otisnut u siječnju 2022.

- Vol. 16(4) 2021 – gost urednik: prof. dr. sc. Mario Cifrek, redoviti profesor Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

U svibnju 2021. godine otisnut je Godišnjak HATZ-a za 2020. godinu pod nazivom „Projekti suradnje članova Akademije s gospodarstvom – novi proizvodi, usluge i unapređenja od gospodarskog interesa“.

Godišnjak 2020. objedinjuje radove iz kojih je vidljiva aktivnost i akademska izvrsnost pojedinih članova Akademije prikazujući njihova znanja i istraživačke rezultate kroz projekte suradnje s gospodarstvom što je jedna od važnijih misija Akademije.

Radovi otisnuti u ovom Godišnjaku trebali bi biti primjeri dobre prakse rada hrvatskih znanstvenika koji su rezultirali novim proizvodima, uslugama i unaprjeđenja i kao takvi zaživjeli i postali dio hrvatskih proizvodnih aktivnosti.

Godišnjak HATZ-a objavljen je i na mrežnoj stranici Akademije a može se pročitati i na poveznici: https://www.hatz.hr/hr/godisnjak-2020/ .

Slika 4: Godišnjak HATZ-a „Projekti suradnje članova Akademije s gospodarstvom – novi proizvodi, usluge i unapređenja od gospodarskog interesa“ za 2020., Izvor: HATZ

4. Upravljanje Akademijom

Akademija tehničkih znanosti Hrvatske je u 2021. godini održala 15 sjednica Uprave, pet sjednica Predsjedništva, te dvije elektroničke skupštine. Sjednice Uprave održavale su se uz pridržavanje svih mjera HZZJ za sprječavanje širenja bolesti uzrokovane virusom SARS-CoV-2.

U Zagrebu je 16. prosinca 2021. godine u dvorani D1 Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu održana svečana 21. 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, dodijelio je diplome novim članovima suradnicima, članovima emeritusima, podupirućim članovima i članovima gospodarstvenicima te dobitnicima nagrada, medalja i priznanja, koje je prethodno potvrdila Skupština HATZ-a. Donatori financijskih sredstava za Nagrade HATZ-a bile su tvrtka Xellia d.o.o. Zagreb i Centar za vozila Hrvatske d.d.

Slika 5 i 6: Redovita 21. sjednica Predsjedništva HATZ-a održana je 16. prosinca 2021. u na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, 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 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.

Pokroviteljstva

- Stručni skup "nZEB u praksi – Tehnička rješenja za energetiku i statičku sanaciju zgrada", 18. i 19. veljače 2021. na Arhitektonskom fakultetu u Zagrebu, uživo s djelomično popunjenom dvoranom ovisno o epidemiološkim mjerama kao i uz prenošenje putem video linka (live stream);
- Međunarodni znanstveni skup *„1st Croatian Conference on Earthquake Engineering – CroCEE 2021"*, 22.-24. ožujka 2021., Zagreb;
- 14. međunarodna znanstveno-stručna konferencija „Dani kriznog upravljanja", 20. svibnja 2021. i 22.-23. rujna 2021., Veleučilište Velika Gorica;
- Međunarodni znanstveni skup *„6th International Conference on Road and Rail Infrastructure – CETRA 2020*"*, 20. svibnja 2021., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb;
- Konferencija „Vode 2021 – Upravljanje vodenim resursima i smart tehnologije", 20. srpnja 2021., Časopis Komunal, Zagreb;
- 5. Međunarodni energetski forum *(INTERENEF)*, 23. srpnja 2021., Split;
- Međunarodna znanstvena konferencija *MOTSP (Management of technology – Step to sustainable production)*, 8.-10. rujna 2021., Poreč;
- 13. međunarodni znanstveno-stručni skup „Hranom do zdravlja", 16. i 17. rujna 2021., Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek Sveučilišta J. J. Strossmayer u Osijeku;
- 7. međunarodni kongres „Dani inženjera strojarstva", Hrvatska komora inženjera strojarstva, 22.-24. rujna 2021., Vodice;
- 19. međunarodna znanstveno-stručna konferencije *"The science and Development of Transport – Znanost i razvitak prometa –ZIRP 2021"*, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zgrebu, 29. rujna do 1. listopada 2021., Šibenik;

Sudjelovanje na skupovima i sastancima od javnog interesa

- *Online forum Blockchain za cirkularnu ekonomiju*, 25. svibnja 2021., MIPRO, praćenje putem Zoom aplikacije;
- Promocija knjige prof. dr. sc. Mirka Butkovića „Svemir i ja", 15. lipnja 2021., Karlovac;
- Prezentacija tehnološkog priručnika za bioreaktorsko kompostiranje u kontroliranim uvjetima inovativnom tehnologijom Tehnix, 16. lipnja 2021., Tehnix – Donji Kraljevec;
- Poziv na Svečanu sjednicu HAZU BiH u povodu Dana Akademije, 23. lipnja 2021. u Mostaru;
- Svečano otvorenje Regionalnog centra izvrsnosti za robotske tehnologije – CRTA, 28. lipnja 2021., Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb;

- Poziv na proslavu 50. obljetnice Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u sastavu Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku, 1. srpnja 2021. u Osijeku;
- Otvorenje kompostane Herešin, 14. srpnja 2021., Gradsko komunalno poduzeće Komunalac Koprivnica d.o.o., Koprivnica;
- Poziv na tribinu „Inovacije i transfer tehnologije – poticaj hrvatskog gospodarskog razvoja“, novoosnovani studij Mehatronika i robotika, 10. rujna 2021., Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu,
- Poziv na 44. međunarodni skup za informacijsku, komunikacijsku i elektroničku tehnologiju, MIPRO 2021, 27. rujna - 1. listopada 2021., Opatija;
- Svečano obilježavanje Dana Fakulteta organizacije i informatike Sveučilišta u Zagrebu, 16. prosinca 2021., Varaždin;
- Svečana sjednica povodom obilježavanja Dana Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 20. prosinca 2021., Varaždin.

Obavijesti o aktivnostima Akademije te uspjesima i novostima članova redovito se objavljuju na službenoj mrežnoj stranici HATZ-a (https://www.hatz.hr/) te elektroničkim putem dostavljaju svim članovima i suradnim institucijama.

6. Nagrade i priznanja članovima Akademije

Članovi Akademije dobitnici su niza nagrada i priznanja koje dodjeljuju druge institucije u zemlji i inozemstvu. U 2021. godini članovi HATZ-a dodijeljena su sljedeća priznanja:

- Odbor za dodjelu državnih nagrada za znanost, imenovan Odlukom Hrvatskoga Sabora donio je odluku o dojeli Državnih nagrada za znanost za 2020. godinu sljedećim članovima Akademije:
  - *Nagradom za životno djelo* iz područja tehničkih znanosti nagrađen je prof. dr. sc. Frano Barbir, professor emeritus, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu;
  - Nagradom za životno djelo iz područja biotehničkih znanosti nagrađena je prof. dr. sc. Jagoda Šušković, professor emeritus, Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu;
  - Godišnjom nagradom za znanost iz područja tehničkih znanosti nagrađen je prof. dr. sc. Stanislav Kurajica, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu;
  - Godišnjom nagradom za znanost iz područja tehničkih znanosti nagrađen je prof. dr. sc. Mario Cifrek, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu;

- Godišnjom nagradom za znanost iz područja biotehničkih znanosti nagrađena je prof. dr. sc. Đurđica Ačkar, Prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta Josip Juraj Strossmayer u Osijeku;

- Prof. dr. sc. Tanji Pušić, zamjenici tajnice Odjela tekstilne tehnologije, dodijeljena je u listopadu 2021. godine u sklopu sajma inovacija „INOVA 2021“ zlatna medalja i posebna nagrada za uspješan nastup na 45. hrvatskom salonu inovacija INOVA 2021;
- Prof. dr. sc. Biljani Kovačević Zelić, tajnici Odjela rudarstva i metalurgije, dodijeljen je u rujnu 2021. počasni doktorat *Sveučilišta u Miškolcu*;
- Odbor najveće indijske grafičke organizacije *AIFMP (All India Federation of Master Printers)* jednoglasno je izabrao je u rujnu 2021. prof. emer. dr. sc. Vilka Žiljaka te mu produžio certifikat za najboljeg međunarodnog nastavnika u grafičkoj struci;
- Inventivni tim Tekstilno-tehnološkog fakulteta, po vodstvom prof. dr. sc. Dubravka Rogalea, dopredsjednika Akademije, nagrađen je za nekoliko inovacija nizom nagrada koje su uručene od strane vodstva Saveza inovatora Zagreb:
  - zlatnu medalju i posebne nagrade s plaketom na međunarodnoj izložbi inovacija *International Invention and Trade Expo, ITE EXPO 2021*, u prosincu 2021. u Londonu. Autori inovacije su prof. dr. sc. Dubravko Rogale, prof. dr. sc. Snježana Firšt Rogale, doc. dr. sc. Željko Knezić te prof. dr. sc. Siniša Fajt,
  - na izložbi inovacija 2021 Bangkok *International Intellectual Property, Invention, Innovation and Technology Exposition* povodom Dana inovatora Tajlanda, uručio je zlatnu medalju za Uređaj za mjerenja temperaturnih gradijenata u odjevnim kompozitima,
  - Zlatnu medalju za inovaciju na *Kaohsiung International Invention & Design EXPO*, održanom u prosincu 2021. u Kaohsiung na Tajvanu,
  - Istraživanja na području temperaturnih gradijenata u odjevnim kompozitima, koja se provode u sklopu HRZZ projekta IP-2018-01-6363 voditelja, prof. dr. sc. Dubravko Rogale nagrađen je zlatnom medaljom i na izložbi inovacija *Global Invention forum in Cyprus* održanoj u Limassolu u listopadu 2021.,
  - srebrnom medaljom na *International Innovation Show E-nnovation*, održanom u Poljskoj u srpnju 2021.

7. Obavijest o preminulim članovima u 2021. godini

U 2021. godini preminuli su sljedeći članovi HATZ-a:

- prof. dr. sc. Franko Rotim (1939.-2021.), član emeritus HATZ-a u Odjelu prometa HATZ-a;

- akademik Josip Božićević (1929.-2021.), jedan od osnivača i prvi predsjednik HATZ-a (1993.-1997.);
- prof. dr. sc. Ivan Miloš (1948.-2021.), voditelj Centra za prometno inženjerstvo HATZ-a;
- prof. dr. sc. Slavko Krajcar (1951.-2021.), član Uprave HATZ-a;
- prof. emer. dr. sc. Zijad Haznadar (1935.-2021.), član emeritus u Odjelu elektrotehnike i elektronike HATZ-a.

Tanja Miškić Rogić, univ. spec. oec.
Poslovna tajnica HATZ-a

Autorski indeks

Andročec, V., 1
Anita Filipović, A., 249
Ban, Ž., 413
Baotić, M., 413
Baranović, M., 147
Baričević, S., 66
Barković, Đ., 66
Bischof, S., 480
Bogdan, S., 182, 394
Bohanek, V., 293
Bolanča Mirković, I., 137
Bolanča, Z., 104, 120
Bolf, N., 214
Borojević Šoštarić, S., 265
Božidar Šantek, 265
Dekanić, T., 473
Dobrilović, M., 293
Dragović-Uzelac, V., 24
Fajt, S., 40, 56
Fertalj, K., 147
Firšt Rogale, S., 428, 459
Flinčec Grgac, S., 473
Franček, P., 56
Gajski, D., 182
Grgić, M., 182
Grgić, S., 182
Horvat, M., 40
Ivanjko, E., 182

Jajac, N., 7
Jakominić Marot, N., 306
Jambrošić, K., 40
Jerbić, B., 182, 338
Jirouš-Rajković, V., 16
Kalafatić, Z., 182
Kalpić, D., 147
Klanfar, M., 236
Kovačević Zelić, B., 280
Kovačević, Z., 480
Kovačić, Z., 182, 394
Krtalić, A., 182
Kujundžić, T., 236
Lakušić, S., 89
Lončarić, S., 161, 172, 182,
Mandić, L., 182
Marković, I., 373
Matika, K., 79
Miškić Rogić, T., 487
Mornar, V., 147
Mrša, V., 3, 24
Novak, D., 225
Orsag, M., 394
Oršulić, E., 280
Pandžić, I. S., 182
Pedisić, S., 24
Perić, N., 347, 413
Pernar, R., 182
Petković, T., 182
Petošić, A., 56
Petrak, S., 441
Petrović, I., 161, 182, 373
Pribanić, T., 182 , 404
Pušić, T., 473, 480
Ribarić, S., 182
Rogale, D., 3, 428, 441, 459

Rogošić, M., 265
Seder, M., 373
Seršić, D., 182
Skala, K., 201
Srečec, Lj., 249
Stipaničev, D., 321
Subašić, M., 182
Šegvić, S., 182
Škrlec, V., 293
Štirmer, N., 89
Tarbuk, A., 473
Torić, N., 7
Tupek, A.,79
Tušek, D., 7
Unkić, F., 249
Vašak, M., 413
Veinović, Ž., 236
Zelenika, S., 306
Zovko Brodarac, Z., 249, 265
Zrinjski, M., 66, 79