

Podzemni istraživački poligon Rudnik sv. Barbara

Trpimir Kujundžić¹, Mario Klanfar² i Želimir Veinović³

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.

Glavne 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 odvezio 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 ishodaena 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 prostori-ja). 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

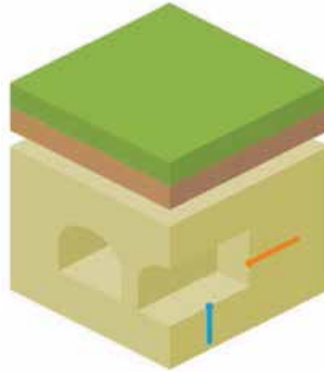
Svrha provođenja terenskih mjerenja termičko-hidro-mehaničkih (THM) efekata na stijeni je u određivanju djelovanja zagrijavanja stijene na njeno ponašanje i promjenu svojstava. U nekim slučajevima pri zagrijavanju stijenske mase (npr. zbrinjavanje istrošenog nuklearnog goriva (ING)) dolazi do ozbiljnih 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 °C (ARAO, 2019), dok se u Finskim stijenama na istoj dubini temperatura procjenjivala, a kasnije i izmjerila u iznosu 10,5-12 °C (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).

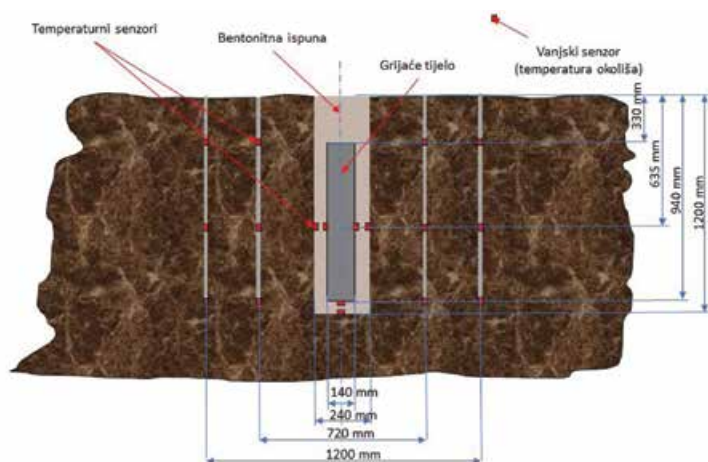


Slika 1: Koncepti odlaganja ING-a u vertikalnim (plavo) ili horizontalnim bušotinama (crveno) (Veinović i dr., 2012).

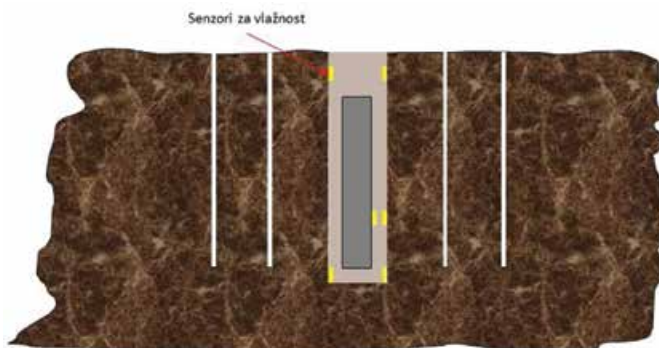
Ispuna predstavlja materijal koji će popuniti iskopani prostor između stijene i spremnika. Zavisno od tipa stijene, obično se predviđa uporaba bentonitne gline (montmorilonit). Način ugradnje bentonita (prešani oblici, sipanje bentonita u prahu ili peletima, ugradnja mlaznog bentonita...) prilagođavaju 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 ispunje.

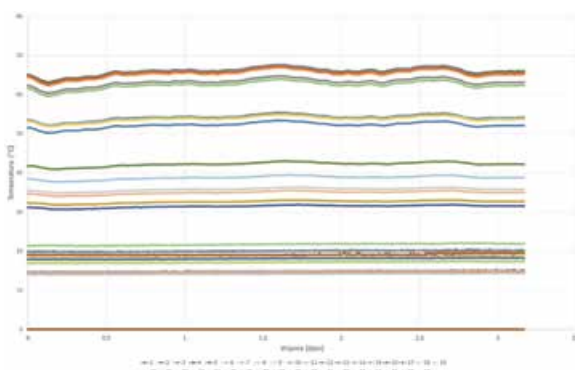


Slika 2: Shematski prikaz presjeka kroz postavljene eksperiment – temperaturni senzori i grijaće tijelo.

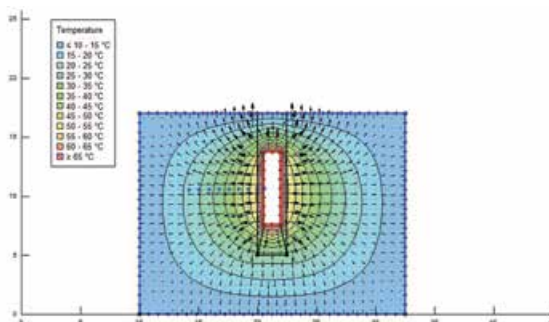


Slika 3: Shematski prikaz presjeka kroz postavljene senzore za vlažnost i grijaće tijelo.

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.

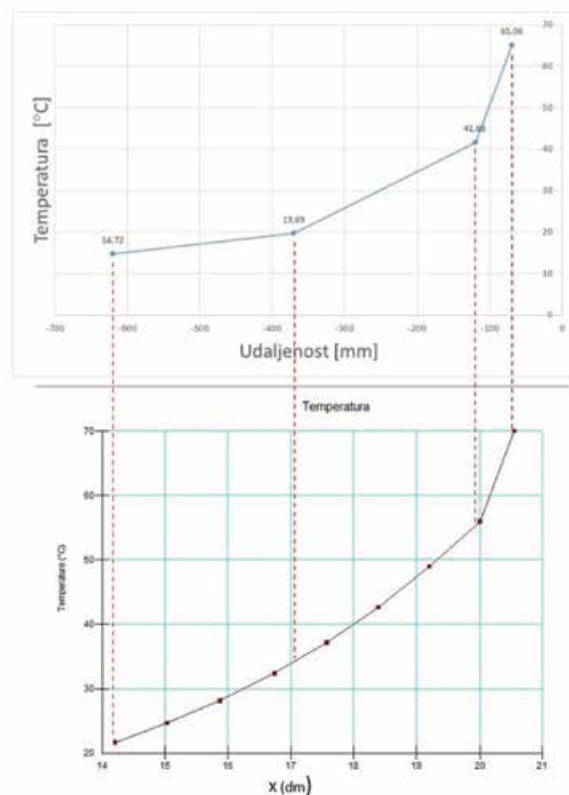


Slika 5: Prikaz simulacije prijenosa topline (temperature po točkama) na modelu eksperimenta (dimenzije u [dm]).

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 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, čime se izbjeglo preopterećenje sustava, ali poradi gubitaka topline izmjerena temperatura je oko $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. U modelu je zadana vrijednost $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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

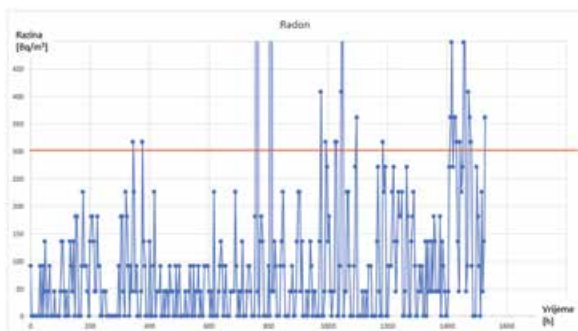
Jedno od istraživanja provedenih u rudniku Sv. Barbara je i mjerenje koncentracije radona u čiju svrhu su korišteni detektori Radon Scout Home tvrtke Sarad, prikazani na slici 7.



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.

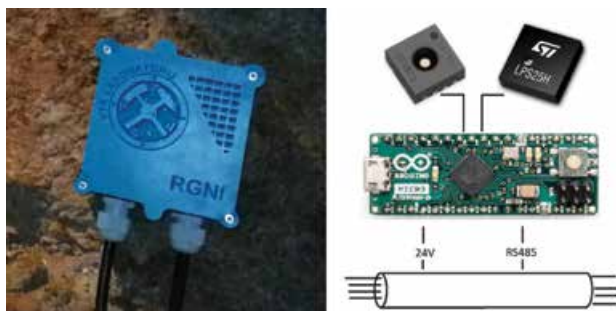
Mjerenja koncentracije radona pokazuju kako su koncentracije redovito niže od zakonski propisanih maksimuma, a po potrebi se vjetrenjem podzemnih prostorija kon-

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 mikroklimatike 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 psihometrijskih 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 mikroklimatike omogućilo je povoljniju 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

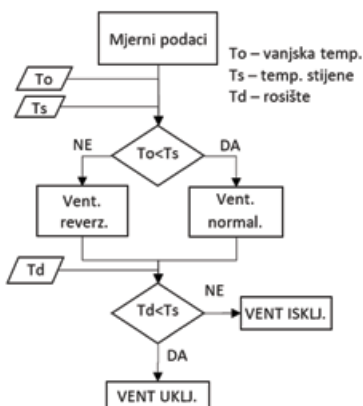
Komunikacija i napajanje mreže osjetila izvedeno je u jednom S/FTP kabelu radi što manjeg broja uvodnica, također kao mjera zaštite od vlage. Razmatrano je nekoliko tehnologija komunikacije, uključujući ethernet, optička vlakna te bežični prijenos sa centralnim ili baterijskim napajanjem. Glavni kriteriji 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>)

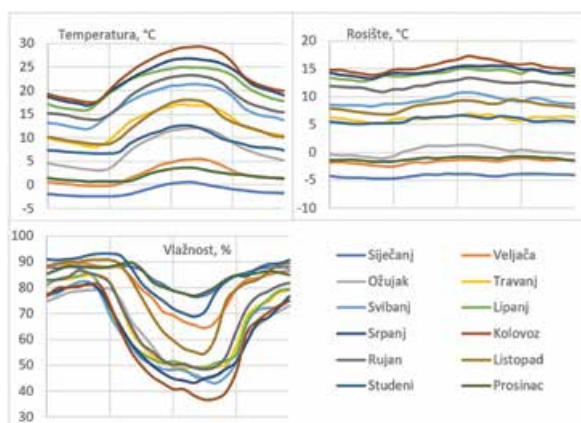
Podaci senzorske mreže šalju se van rudnika gdje se nalazi centralni kontroler za prikupljanje podataka i regulaciju ventilacijskog sustava. Ovdje se odvija lokalno prikupljanje podataka uz pohranjivanje na SD karticu ali istovremeno radi praćenja u stvarnom vremenu odvija se i slanje podataka putem GSM mreže. Za prihvatanje podataka iz GSM mreže i pohranu na server iskorisćena 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 frekvenzijskog 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	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	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	100
Travanj	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	97	100	100	97	97	93	93	97	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	87
Lipanj	40	37	43	47	47	23	33	33	40	33	33	30	23	27	27	27	27	33	23	27	33	30	30	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	29
Kolovoz	19	19	29	29	29	26	23	23	26	23	19	16	13	13	13	16	16	19	13	16	19	23	19	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	
Studen	100	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	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 prikupljeni 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 mikroklimе 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 Brodarac¹, Faruk Unkić², Ljiljana Srećec³, Anita Filipović⁴

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 izvezno orijentiranu industrijsku granu. Izvršnost 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. μεταλλουργείν: 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 prilagodivosti 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!

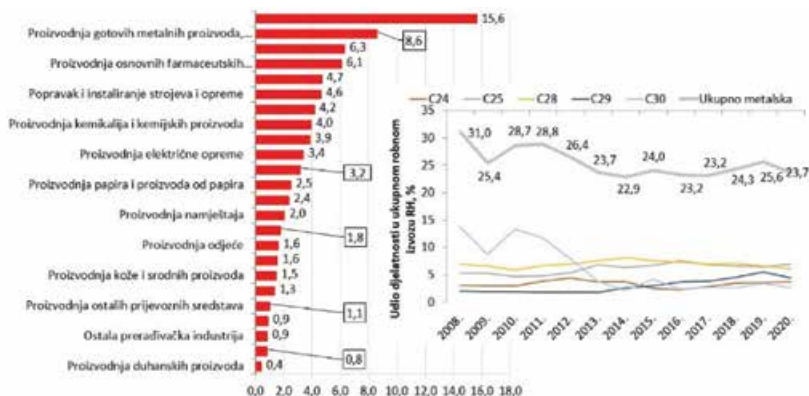
S potrebom za profilom stručnjaka iz polja metalurgija Metalurški fakultet se suočava na tjednoj bazi. Stoga je nužno promijeniti poimanje filozofije struke metalurgija u široj javnosti. Današnja moderna metalurgija je specifično polje koje se bavi dizajnom, razvojem i karakterizacijom metalnih materijala 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 podacima 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 pro-matrane 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 Srećec Anita Filipović Projektne 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.



- ✓ **Nositelj projekta:** Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet
- ✓ **Partner:** Sisačko – moslavačka županija
- ✓ **Projekt:** Centar za ljevarstvo – SIMET (KK.01.1.1.02.0020)
- ✓ **Razdoblje provedbe:** 1.2.2019. – 31.1.2022.
- ✓ **Ukupna vrijednost:** 40.401.494,36 HRK
- ✓ **Postotak EU sufinanciranja:** 100%
- ✓ **Financiranje:** Projekt financira Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj kroz Operativni program „Konkurentnost i kohezija 2014–2020“, Poziv na dostavu prijedloga „Ulaganje u organizacijsku reformu i infrastrukturu u sektoru istraživanja, razvoja i inovacija“.

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj.
Sadrži prezentacije isključivo je odgovornost Metalurškog fakulteta.



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

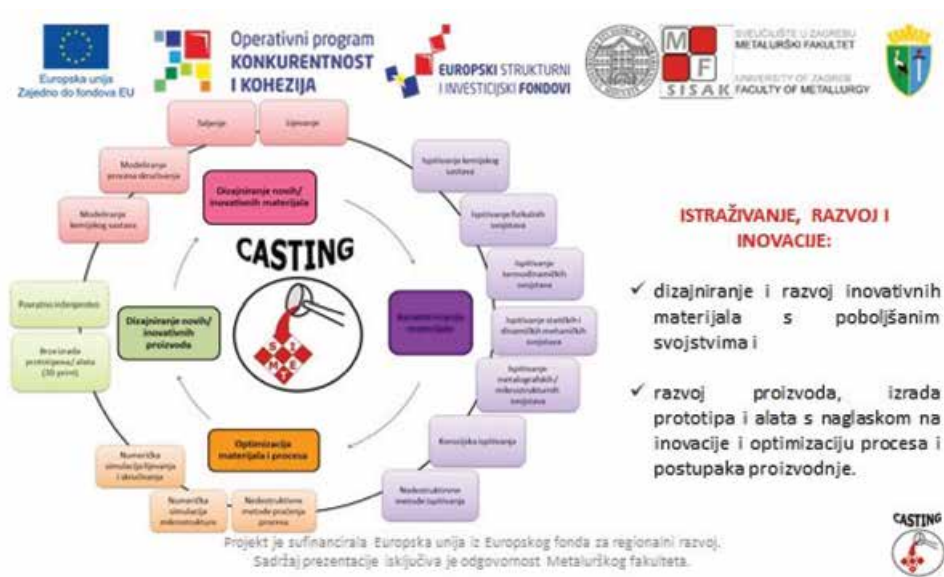
kroz dizajniranje inovativnih materijala prema zahtjevima tržišta te stvaranjem konačnog proizvoda, zatim razvoju proizvoda primjenom specifičnih tehnologija (CAD/CAE tehnologije), računalno podržanom projektiranju procesa razvoja proizvoda i konstrukcije, pripreme proizvodnje, ali i kroz cjeloživotno učenje namijenjeno studentima, stručnjacima iz gospodarstva itd.

Globalno tržište zahtijeva optimizaciju postojećih tehnologija i racionalizaciju troškova proizvodnje. Svršishodnost 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 metalopredrađivačke 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 uporaba 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 ljevova s odgovarajućim softverom i čašicama 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 zarezata 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 projektne - 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.; Srećec, 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; Srećec, 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] ...CROSBİ: 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