

# Virtulab – Integrirani laboratorij za primarne i sekundarne sirovine

Sibila Borojević Šošćarić<sup>1</sup>, Marko Rogošić<sup>2</sup>, Igor Petrović<sup>3</sup>, Zdenka Zovko-Brodarac<sup>4</sup> i Božidar Šantek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rudarsko-geološko-maftni fakultet Sveučilišta u Zagreb, Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb, e-mail: [sibila.borojevic-sostaric@rgn.unizg.hr](mailto:sibila.borojevic-sostaric@rgn.unizg.hr)

<sup>2</sup> Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagreb, Trg Marka Marulića 19, 10000, Zagreb, redoviti član u HATZ u Odjelu kemijskog inženjerstva

<sup>3</sup> Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagreb, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin

<sup>4</sup> Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagreb, Aleja narodnih heroja 3, 44000, Sisak

<sup>5</sup> 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 smanjiti uvozu ovisnost Republike Hrvatske i Europske Unije u sektoru ne-energetskih mineralnih sirovina.

**Gljučne 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...

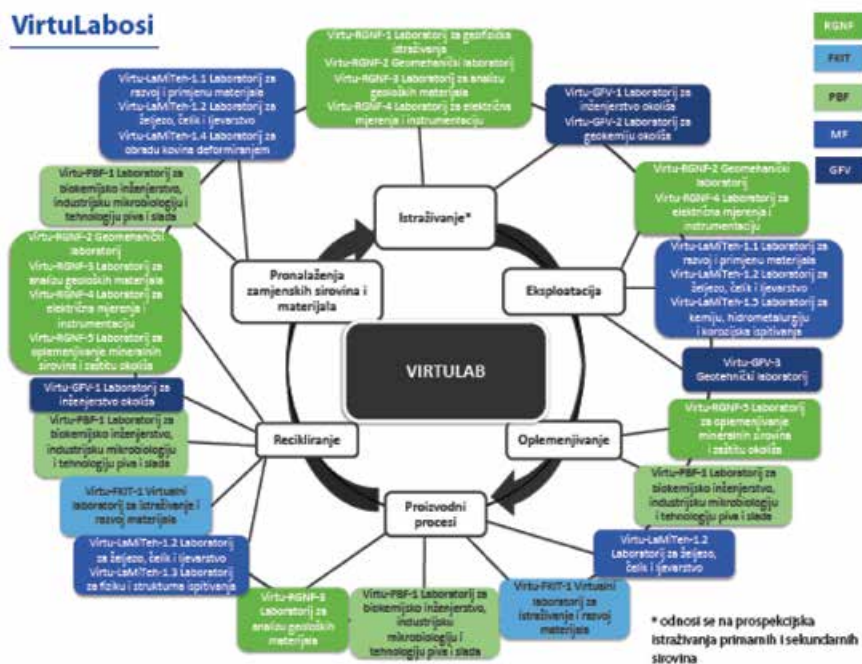
VIRTULAB je virtualno umreženi znanstveno-istraživački laboratorij za primarne i sekundarne sirovine. Nastao je opremanjem i integracijom petnaest laboratorija na pet sastavnica Sveučilišta u Zagrebu. Rezultat je provedbe projekta „Virtulab – Integrirani laboratorij za primarne i sekundarne sirovine“, 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](http://www.virtulab.rgn.unizg.hr) rezultira izradom automatizirane informativne ponude, a članovi Virtulaba stoje na raspolaganju za daljnje dogovore.

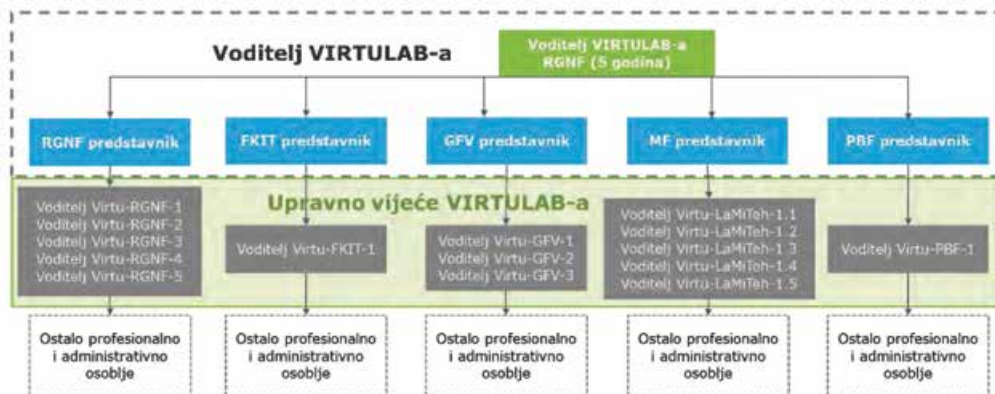
Pronalaženje, prenamjena ili ponovna primjena sirovina je pokretač i poveznica znanstvene zajednice i gospodarstva. Istraživačka shema Virtulaba na slici 1. prikazuje analitičke mogućnosti unutar životnog ciklusa primarnih i sekundarnih sirovina te područja ekspertize uključenih laboratorija. Virtulab 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 strukturalna 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, energetska 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 Controller i Enterprise Level Pressure Controller omogućeno je provođenje ispitivanja u triaksijalnoj čeliji na izrazito stišljivim materijalima bez potrebe za prekidanjem pokusa. Sustavom za elektrokemijska mjerenja i impedanciju omogućene su amperometrijske, voltometrijske i impedancijske analize za karakterizaciju metalnih površina i materijala u segmentu recikliranja i uporabe 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 Pro-Cast, b) snimanje krivulja hlađenja pri skrućivanju te određivanje karakterističnih temperatura tijekom razvoja mikrostrukture, c) standardnu metalografsku pripremu uzoraka ulaganjem u masu, brušenjem, poliranjem te nagrivanjem, 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 mikrostrukтури, i) Određivanje mikrotvrdoće po Vickersu i j) određivanje debljine površinskog sloja.

### **6.3. Virtu-LaMiTeh-1.3 Laboratorij za fiziku i strukturalna ispitivanja**

Laboratorij za fiziku i strukturalna 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 točki, 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 (hidrometalurzijskom) 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 biotehnošku konverziju primarnih i sekundarnih sirovina: a) različite analize (kemijske, fizikalno-kemijske, biokemijske, mikrobiološke i instrumentalne) primarnih i sekundarnih sirovina za provođenje različitih biotehnoških procesa, b) nadzor biotehnoških procesa konverzije različitih primarnih i sekundarnih sirovina i c) procjenu održivosti biotehnoških procesa na osnovi ekonomskih i ekoloških kriterija održivosti. Implementacijom opreme (bioreaktor) nabavljene putem Virtulaba poboljšala se učinkovitost provođenja i nadzora biotehnoških 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 pripremu 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<sup>1</sup> 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 novopripremljenih 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<sup>1</sup>. Posljedično, očekuje se jači lokalni razvoj područja uključenih u projekt (Grad Zagreb, Varaždinska i Sisačko-moslavačka županija<sup>2</sup>).

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<sub>2</sub>. 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 energetske učinkovitost, izolacijske materijale i dijelove za energetske 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 uporabe 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>