

DOPRINOS INSTITUTA IMS RAZVOJU GRAĐEVINSKIH MATERIJALA (KRATAK ISTORIJAT, PREGLED STANJA I POGLEDI KA BUDUĆNOSTI)

CONTRIBUTION OF THE IMS INSTITUTE TO THE DEVELOPMENT OF BUILDING MATERIALS (BRIEF HISTORY, STATE-OF-ART, AND OUTLOOK TO THE FUTURE)

Pregledni rad / Review paper
UDK /UDC:
Rad primljen / Paper received:

Adresa autora / Author's address:
Institute for Materials Testing (IMS), Belgrade, Serbia
email: zagorka.radojevic@institutims.rs

Ključne reči

- građevinski materijali
- keramika
- cement
- beton
- zaštita životne sredine

Izvod

Institut IMS ima leadersku poziciju među multidisciplinarnim naučno-istraživačkim organizacijama u Srbiji i regionu. Visoko je pozicioniran u oblasti građevinarstva i inženjerstva. IMS poseduje jedinstveni spoj naučno-istraživačkog rada i saradnje sa privredom kao vrlo važne karike u lancu primenljivosti i održivosti rešenja i rezultata istraživačkog rada. IMS je decenijama simbol znanja u oblasti građevinarstva i industrije građevinskih materijala, što aktivno nastavlja kroz aktuelne i planirane naučno-istraživačke aktivnosti - razvojna istraživanja, realizaciju u privredi, primenu najnovijih saznanja i savremenih tehnologija.

DOPRINOS INSTITUTA IMS NAUCI

Ciljevi naučno-istraživačkog rada IMS-a se zasnivaju na znanju akumuliranog tokom godina uspešnog rada, praćenju savremenih svetskih trendova razvoja nauke u građevinskoj oblasti i proceni potreba i uslova okruženja. Pravci istraživanja se utvrđuju na osnovu kompleksnosti problematike koju projekti rešavaju, kao i kompleksnosti okruženja. Prednost imaju pravci istraživanja koji najefikasnije rešavaju probleme u ovom trenutku, odnosno, zasnivaju se na uspešnosti i profitabilnosti dosadašnjeg rada, postojanju odgovarajućeg kadra i opreme u Institutu, potreba šire društvene zajednice kao okruženja i procene da će za takvu vrstu rešenja/usluga i u budućnosti postojati tražnja na tržištu. Naučno-istraživački rad u Centru za materijale usmeren je u dva glavna pravca: (1) novi materijali i poboljšanje tradicionalnih, i (2) zaštita životne sredine i energetska efikasnost.

Centar za materijale kao ključni pokretački segment u naučno-istraživačkom radu se bavi ispitivanjem sirovina za proizvodnju građevinskih materijala, kontrolom kvaliteta gotovih građevinskih proizvoda, ispitivanjem konstrukcija i elemenata zgrada u pogledu zvučne, toplotne i protivpožarne zaštite. Sačinjen je iz niza laboratorija sa kompletnom infrastrukturom u pogledu opreme i kadra koje učestvuju u naučno-istraživačkoj delatnosti: Laboratorija za veziva, hemiju i maltere, Laboratorija za građevinsku keramiku, Laboratorija za beton, Laboratorija za kamen i agregat, Labo-

Keywords

- construction materials
- ceramics
- cement
- concrete
- environmental protection

Abstract

The IMS Institute has a leader position among multidisciplinary scientific and research organizations in Serbia and in the region. It is highly positioned in the field of engineering. IMS offers a unique combination of scientific research and cooperation with the market as an important link in the chain of applicability and sustainability of research solutions. For decades, IMS has been a symbol of knowledge in the field of construction and building materials industry, where it actively continues through current and planned science research activities - development strategies, implementation in the economy, applied knowledge and modern technologies.

ratorija za toplotnu tehniku i zaštitu od požara, Laboratorija za akustiku i vibracije, Laboratorija za drvo i sintetičke materijale, i Laboratorije za hidroizolacije i antikorozivnu zaštitu.

Institut IMS funkcioniše u skladu sa propisanom politikom integrisanog sistema menadžmenta kako bi ostvario kontinuiran visok nivo usluga, transparentnost poslovanja, smanjenje rizika pri ugovaranju i poslovanju, i bolje iskorišćenje poslovnih prilika, ali i primenljivosti naučno-istraživačkih rezultata. Strateški plan IMS-a u skladu je sa Strategijom o nauci i istraživanju (2020-2024) i Agendom 2030. Lako je prilagodljiv promenljivim međunarodnim naučno-istraživačkim stremljenjima i novim tendencijama u građevinskoj oblasti (pametni gradovi i materijali, savremene reciklažne tehnologije, podizanje ekološke svesti, očuvanje prirodnih resursa, principi cirkularne ekonomije, energetska efikasnost, itd.). Planovi i strategije se konstantno ažuriraju i proširuju uvažavajući mišljenje i predloge zaposlenih. Postoje mehanizmi za redovno preispitivanje, obnavljanje i prilagođavanje strateškog plana: sistem menadžmenta kvalitetom koji nalaže poslovanje u skladu sa najaktuelnijim nacionalnim i međunarodnim standardima iz oblasti građevinarstva i menadžment u naučno-istraživačkoj oblasti koji se bavi prikupljanjem podataka o publikacijama, praćenjem poziva za projekte iz oblasti nauke, inovacione delatnosti i privrede, i koordinisanjem rada istraživačkog kadra. U strategiji naučno-istraživačkog rada se insistira na dobroj koordinisanosti i saradnji između različitih laboratorija zbog

aktuelnog akcenta na multidisciplinarnosti timova. Multidisciplinarnost je jedan od aduta koji Institut IMS poseduje. Postoji sinergija koja je proizašla iz dosadašnjeg načina formiranja projektnih istraživačkih jedinica. Ove veze se produbljuju i učvršćuju kroz dalji naučnoistraživački rad. U Institutu postoji i odgovarajuće tehničko osoblje koje podržava rad inženjera i istraživača. Permanentno se radi na obuci i razvoju karijere tehničkog osoblja - postoje planovi obuke koji su predviđeni procedurama sistema menadžmenta.

Teži se ostvarivanju sve jače saradnje sa međunarodnim institucijama srodnog tipa kako bi Institut IMS u skorijoj budućnosti funkcionisao na nivou međunarodnih vodećih institucija iz kompatibilnih oblasti istraživanja. S tim u vezi, IMS, laboratorije i zaposleni su članovi brojnih međunarodnih asocijacija: *ENBRI - The European Network of Building Research Institutes*; *ECERS - European Ceramic Society* (kroz članstvo u Srpskom keramičkom društvu); *RILEM - International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures*; *ModTech - Modern Technologies in Industrial Engineering*; *CEN - European Committee for Standardization*, itd.

Neprestano se ulaže u savremenu opremu i poboljšanje radnog prostora u Institutu u cilju proširenja poslovanja i zadovoljenja visokih zahteva i kompetitivnosti koje nalaže učešće na nacionalnim i međunarodnim naučnoistraživačkim konkursima za projekte. Ulažu se značajna materijalna sredstva za preuređenje objekata koji pripadaju IMS-u (renoviranje laboratorijskog prostora, zamena cevovodnih sistema, remont kotlarnice i grejnih tela, uređenje fasada u cilju podizanja energetske efikasnosti radnog prostora, itd). IMS poseduje specifičnu istraživačku infrastrukturu (povezane sisteme opreme) po kojoj je prepoznat kao jedinstvena institucija i lider u zemlji i regionu. Pomenuti sistemi laboratorija, opreme zajedno sa ljudskim resursima odnose se na celokupno ispitivanje građevinskih materijala na bazi nemetalnih sirovina (od karakterizacije resursa, dizajna materijala, preko monitoringa tehnologije proizvodnje, do ispitivanja finalnih performansi materijala). Oprema koju IMS poseduje se u skladu sa Menadžmentom sistema kvaliteta opreme redovno etalonira, kalibriše i po potrebi opravla ili nadograđuje. IMS poseduje i savremenu istraživačku opremu (ED-XRF, ICP-OES, Rapid Air 457, itd.) koja je specifična za konkretnu oblast istraživanja građevinskih materijala. Sistem povezanih laboratorija sa standardnom opremom za ispitivanje i savremenom naučnoistraživačkom opremom formira zaokružen infrastrukturni sistem za istraživanje i kontrolu građevinskog materijala po kojem je IMS specifičan.

Institut postiže međunarodno priznate rezultate iako se istraživači bave uporedo naučnoistraživačkim i inženjerskim radom. Sinergija nauke i prakse je upravo ono što čini IMS jedinstvenim i što istraživačima omogućava da publikuju svoje rezultate u vrhunskim međunarodnim časopisima. Osim publikacija u časopisima, istraživači aktivno učestvuju na konferencijama bilo kroz diseminaciju rezultata ili kroz učešće u organizacionim i naučnim odborima. IMS je organizator i suorganizator velikog broja nacionalnih i međunarodnih konferencija (*Advanced Ceramics and Application*, Kongres Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije, Međunarodni simpozijum o istraživanjima

i primeni savremenih dostignuća u građevinarstvu, Kongres Društva građevinskih konstruktora Srbije). Istraživači publikuju rezultate i u vidu monografija i tehničkih rešenja. IMS podstiče istraživače da štite intelektualno vlasništvo i pruža im podršku u tome. Istraživači aktivno učestvuju kako u izradi predloga tako i u evaluaciji međunarodnih projekata (Eureka, COST, Erasmus, bilaterale). Takođe su angažovani i kao recenzenti u vrhunskim međunarodnim časopisima (*Construction and Building Materials*, *Journal of hazardous materials*, *Composites: Part B*, *Ceramics International*, *Materials & Design*, *Advanced Powder Technology*, itd.). U IMS-u postoji sistem za prikupljanje informacija o rezultatima istraživača - u okviru *godišnje monografije* Instituta IMS i repozitorijuma na vebajtu gde se publikacije ažuriraju u realnom vremenu. Sistem za promovisanje i diseminacije rezultata podrazumeva i oglašavanje na istraživačkim i profesionalnim *online* platformama (Research Gate, ORCID, Publons, LinkedIn) i učešće na naučni sajmovima i *radionicama*. Institut IMS posebno podstiče istraživanja i publikovanje rezultata postignutih u saradnji sa privredom. Kao što je već navedeno, IMS je jedna od svega nekoliko institucija u RS koja skoro sva svoja istraživanja realizuje kroz neki vid saradnje sa privredom. Sa tim u vezi zaposleni smatraju da se njihovi rezultati vrednuju u instituciji i društvu upravo zato što su rezultati njihovog rada primenjivi i vidljivi u praksi.

AKTUELNA ISTRAŽIVANJA GRAĐEVINSKIH MATERIJALA

Razvoj građevinskih materijala je baza za napredak u svim ostalim sferama građevinarstva. Građevinski sektor je danas jedan od najvećih industrijskih potrošača mineralnih sirovina. Svojstva i kombinacije upotrebljenih materijala određuju energetske potrebe u izgradnji i imaju presudni uticaj na životnu sredinu. Čak i mala poboljšanja u performansama građevinskog materijala mogu u značajnom obimu ostvariti pozitivan uticaj na okruženje. Danas oko 50 % cene izgradnje čini održavanje, popravka i rehabilitacija, tako da svako poboljšanje u funkcionalnoj trajnosti može da donese i značajan ekonomski efekat.

Tematske naučnoistraživačke oblasti vezane za građevinske materijale koje su predmet istraživanja u Institutu IMS su vrlo aktuelne kako na nacionalnom tako i na međunarodnom nivou. Teme su diktirane potrebama domaće industrije građevinskih materijala i potrebama izvođača građevinskih radova u Srbiji, ali i aktuelnim zakonskim stremljenjima na međunarodnom nivou kao što su svetski trendovi u oblasti zaštite životne sredine, smanjenje potrošnje energije i energenata, minimiziranje emisije zagađivača u atmosferu, smanjenje količina otpada za odlaganje, ograničenje delecije prirodnih resursa, itd. Uz sve prethodno, postavlja se i zahtev neprekidnog poboljšanja karakteristika i performansi proizvoda.

Institut IMS nastoji da stalno bude prisutan na naučnoistraživačkim projektima nacionalnog i međunarodnog tipa:

- Nacionalni projekti: TR6705B - Valorizacija sekundarnog sumpora kao nusproizvoda u rafinaciji nafte (2005-2007); TR16004 - Istraživanje savremenih betonskih kompozita na bazi domaćih resursa sa akcentom na mogućnosti primene betona sa recikliranim agregatom u betonskim konstrukcijama (2008-2010); TR19020 - Istraživanje i razvoj novih techno-

loških procesa kao polazne tačke za povezivanje energetske efikasnosti u industriji opekarske gline (2008-2010); TR19017 - Istraživanje, razvoj i primena metoda, postupaka ispitivanja, kontrola i sertifikacija proizvoda i procesa u skladu sa zahtevima međunarodnih standarda i propisa (2008-2010); OI172057 - Usmerena sinteza, struktura i svojstva multifunkcionalnih materijala (2011-2019); III45008: Razvoj i primena multifunkcionalnih materijala na bazi domaćih sirovina modernizacijom tradicionalnih tehnologija (2011-2019); TR36017 - Korišćenje nusproizvoda i recikliranih otpadnih materijala u betonskim kompozitima u okviru održivog razvoja građevinarstva u Srbiji: istraživanje i ekološka procena mogućih primena (2011-2019).

- Bilateralni projekat Slovenija - Srbija: *Application of industrial waste materials in concrete production* (Primena industrijskih otpadnih materijala u proizvodnji betona), 2016-2017.

- COST Action TU 1404: *Towards the next generation of standards for service life of cement-based materials and structures* (Ka sledećoj generaciji standarda za radni vek materijala i konstrukcija na bazi cementa), 2014-2018.

- PROMIS projekat (Fond za nauku): *Mortar design for conservation - Danube Roman Frontier 2000 Years After* (Dizajn maltera za konzervaciju - Dunavska rimska granica 2000 godina posle) (MoDeCo2000), 2020-2022.

- Bilateralni projekat Turska - Srbija: *Tailor made self-compacting heavyweight concrete with waste materials* (Samozbijajući teški beton sa otpadnim materijalima prilagođen nameni), 2021-2023.

IMS sprovodi istraživanja i na brojnim projektima u saradnji sa privredom. Neki od projekata direktno vezanih za aktuelno pitanje zaštite životne sredine, upotrebe otpada i redukcije emisije CO₂:

- Ispitivanje opekarskih sirovina i mešavina iz ciglane „Mladost TMP“, Mala Plana, Srbija - određivanje optimalne mešavine opekarskih sirovina, peska i ugljene prašine za potrebe opekarske industrije (IMS br.41-2263 od 3.03.2017/14.09.2020.);

- Ispitivanje opekarskih sirovina i mešavina iz ciglane PD „Univerzum export-import doo“, proizvodni pogon Indija - određivanje optimalne mešavine opekarskih sirovina i ugljenih prašina različitih kalorijskih vrednosti za potrebe opekarske industrije (23.06.2020/01.08.2020);

- Izrada deklaracije proizvoda o zaštiti životne sredine prema SRPS ISO 14025:2007 i SRPS EN 15804:2020 (Predmet: Crepovi i fazonski komadi od gline), Vlasnik deklaracije: IGM Mladost doo, Leskovac, Srbija. Nosilac programa: Institut za ispitivanje materijala - Institut IMS ad, Srbija. (20.05.2020, Broj deklaracije: EPD-IMS-2020-01-SR);

- Ovlašćenje za karakterizaciju otpada (otpad poreklom od metala, pepela, šljake, građevinski otpad) broj 46, 12.5.2017;

- Višegodišnja saradnja sa termoelektranama u sklopu JP EPS Srbija na analizi i valorizaciji pepela iz procesa sagorevanja uglja.

- Izrada i donošenje Uredbe o tehničkim i drugim zahtevima za zguru, kao građevinski proizvod namenjen za upotrebu u izgradnji, rekonstrukciji, sanaciji i održavanju nasipa, zasipa i posteljica infrastrukturnih objekata javne namene (Službeni glasnik RS, broj 69 od 14.09.2018);

- Ocenjivanje životnog ciklusa proizvoda - *LCA (Life Cycle Assessment)* i *EPD (Environmental Production Declaration)* građevinskih proizvoda - analiza faza životnog ciklusa građevinskih proizvoda uzimajući u obzir različite uticaje tih faza na životnu sredinu. Interpretacija rezultata je u skladu sa standardima ISO 14040 i ISO 14044. Stručni tim iz Centra za materijale je započeo izdavanje Deklaracija proizvoda o zaštiti životne sredine za crepove i fazonske komade od gline prema SRPS ISO 14025:2007 i SRPS EN 15804:2020. U procesu izrade EPD-a za građevinske proizvode, Institut IMS koristi One Click LCA - specijalizovan program razvijen od strane kompanije Bionova Ltd. (Finska), kao i Ecoinvent bazu podataka, koju je razvila Ecoinvent Asocijacija (Švajcarska). U planu je izrada EPD deklaracija i za ostale proizvode od građevinske keramike.

U prethodnim godinama u Institutu IMS urađeno je više doktorskih disertacija:

- *Optimizacija i predviđanje kvaliteta materijala, procesa i krajnjih osobina opekarskih proizvoda matematičkim modelovanjem karakterističnih parametara*, Milica Arsenović, 2013.

- *Modelovanje i optimizacija procesa sušenja opekarskih proizvoda*, Miloš Vasić, 2014.

- *Parametarska analiza nosivosti ankeri na čupanje i smicanje u betonu veoma visokih čvrstoća faktorijalnom analizom i neuronskim mrežama*, Dragan Bojović, 2018.

- *Hemometrijski pristup ispitivanju uticaja hemijskih svojstava elektrofilterskog pepela, zeolita i bentonita na svojstva ekološko prihvatljivih građevinskih materijala*, Nevenka Mijatović, 2022.

STREMLJENJA U ISTRAŽIVANJIMA VEZANIM ZA GRAĐEVINSKE MATERIJALE

Nauka o materijalima kao istraživačka oblast je veoma široka i multidisciplinarna, što je jedna od prednosti Instituta IMS. Pravci istraživanja definisani i usmereni su vrstom građevinskog materijala koji se izučava: cement, vezivo, malter, kamen i agregat, keramika, beton, itd. Cilj modernog građevinarstva je smanjenje uticaja izgradnje objekata i radova na infrastrukturnoj mreži na prirodnu i gradsku životnu sredinu. Imajući prethodno u vidu, kao jedan od istraživačkih prioriteta nameće se korišćenje ekonomičnih primarnih i sekundarnih sirovina kao polaznih sirovina, kao i recikliranje građevinskih materijala. Vrlo aktuelna oblast istraživanja je i energetska efikasnost u građevinarstvu - uvođenje sertifikata energetske efikasnosti (EE) objekata u cilju uštede energije u zgradarstvu. Posebna tematska podoblast bavi se proučavanjem uticaja i zaštite od buke u zgradama.

Keramički materijali i građevinska keramika

Tematska oblast keramički materijali odnosi se na tradicionalne keramičke materijale, nemetalne mineralne sirovine, razvoj procesa za aktivaciju glina, karakterizaciju, optimizaciju i projektovanje mešavina na bazi primarnih i sekundarnih sirovina za proizvodnju građevinske keramike, razvoj i projektovanje tehnoloških procesa proizvodnje građevinske keramike, ispitivanje i sertifikacija proizvoda građevinske keramike, razvoj i primenu novih metoda ispitivanja usaglašenih sa evropskim standardima.

Jedna od podoblasti istraživanja je usklađivanje, modelovanje i uspostavljanje veze između načina prenosa vlage prili-

kom sušenja i prirode opekarskih sirovina radi definisanja optimalnog režima sušenja /1-8/. Razvoj energetske efikasnosti domaćih proizvodnih pogona, njihovom povećanju kapaciteta i kvaliteta opekarskih proizvoda uz ostvarivanje značajnih ekonomskih ušteda. Kriterijumi koji definišu parametre vazduha u novodizajniranim režimima sušenja zasnovani su na teoriji o prenosu vlage tokom izotermnog procesa sušenja koja je razvijena u Institutu IMS. U skladu sa pomenutom teorijom, uz upotrebu matematičkih simulacija i programa *Deff kalkulator* određuje se zavisnost efektivnog koeficijenta difuzije u vremenu i definišu karakteristične tačke koje reprezentuju raspored i redosled odvijanja potencijalno mogućih mehanizama prenosa vlage tokom izotermnog sušenja opekarskog proizvoda.

Druga značajna podoblast istraživanja je optimizacija sastava mešavina sirovina i industrijskog otpada radi dobijanja optimalnih opekarskih proizvoda, /9-11/. Proizvodnja opeke u velikoj meri zahteva potrošnju prirodnih resursa, te ova grana industrije umnogome doprinosi oštećenju životne sredine usled kontinualne eksploatacije. Osim toga, sama proizvodnja zahteva i velike količine energije. Imajući u vidu potrebe za štednjom energije i očuvanjem životne sredine, efikasna reciklaža industrijskog otpada je neophodna. Tradicionalni opekarski proizvodi u nekom udelu mogu da sadrže i industrijski otpad, čime se poboljšava kvalitet u smislu povećane čvrstoće pri pritisku (trajnosti) ili zvučnih i toplotnih izolacionih svojstava. Sprovedena su brojna istraživanja na temu dodataka organskog i neorganskog otpada u opekarske proizvode. Matematičkom analizom (matematički alati se koriste za upoređivanje i analizu prikupljenih rezultata, utvrđivanje optimalnih mešavina, i izbor proizvoda koji pokazuju najbolje karakteristike) dosadašnjih rezultata pokazalo se da najoptimalnije efekte daje na prvom mestu dodatak ugljene prašine u količini od 3 i 6 mas.%, a zatim i pepela suncokretovih ljuspica (5 i 10 mas.%). Ove sekundarne sirovine povećavaju poroznost, te se koriste za proizvodnju olakšanih elemenata za zidanje. Pored prethodno pomenutog, ispitivanje keramičkih gлина postaje sve aktuelnije u Srbiji. Razlika keramičke od opekarske gline je niži sadržaj gvožđa, a viši sadržaj glinenih minerala, i to posebno kaolinita. Stoga se planiraju opsežna ispitivanja nekoliko ležišta u Srbiji radi određivanja optimalnih mešavina za proizvodnju keramičkih pločica sa malim upijanjem vode /9-20/.

Veziva, malteri i primenjena hemija

Tematska oblast veziva i malteri odnosi se na istraživanja vezana za portland cement i razvoj dopunskih cementnih materijala nove generacije (veziva na bazi portland cementa sa mineralnim dodacima primarnog i sekundarnog porekla) koji poseduju niz tehničkih i ekoloških prednosti. Cilj istraživanja je razvoj savremenih multifunkcionalnih vezivnih materijala naprednih performansi koji prate trend ekonomičnosti, energetske efikasnosti, zaštite životne sredine i cenovno su konkurentni na tržištu. Akcenat je na korišćenju sekundarne sirovinske baze kao što su pepeli i šljaka iz sagorevanja uglja u termoelektranama i srodni industrijski nusprodukti. Teži se upotrebi ekonomičnih lako dostupnih primarnih mineralnih sirovina, čija primena još uvek nije

široko rasprostranjena u građevinarstvu (glineni mineralni koji mogu biti pucolan i/ili filer). Stepem reaktivnosti i pucolanska aktivnost mineralnih dodataka pospešuje se kroz postupak mehano-hemijske aktivacije /21-24/. Problem migracije potencijalno toksičnih hemijskih elemenata (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg, As, Ba, Sb, Se) iz industrijskih nusprodukata rešava se njihovom inkapsulacijom unutar strukturne rešetke glinenih mineralnih dodataka. Potvrda efektivnosti ovakvog rešenja dobija se ispitivanjem eluata iz realnih uzoraka (maltera) standardizovanim postupkom pomoću metode optičko emisije spektrometrije sa indukovano spregnutom plazmom (ICP-OES), uz obaveznu ocenu merne nesigurnosti, kao i internu i eksternu kontrolu metode /25-30/. Primenom metoda hemometrijskog modelovanja omogućava se formiranje interrelacija polaznog sastava multikomponentnog materijala sa njegovim hemijskim, fizičkim i mehaničkim karakteristikama, odnosno, mikrostrukturnim i makroskopskim svojstvima. Kroz matematičku evaluaciju sprovodi se predikcija performansi finalnih proizvoda i optimizuje njihov sastav, postupak pripreme, nege, ugradnje, itd. Svojstva novodizajniranih veziva zadovoljavaju ili prevazilaze trenutne zahteve građevinarstva, a primenom sekundarnih sirovina ublažava se aktuelni problem deponovanja industrijskih nusprodukata i neprekidno smanjivanje neobnovljivih resursa.

Beton

Tematska oblast beton vezana je za razvoj održivog građevinarstva i istraživanje cementnih kompozita izuzetno visokih svojstava. Beton, kao najčešće korišćen građevinski materijal u svetu zahteva razvoj i implementaciju novih tehnologija koje se zasnivaju na primeni otpadnih sirovina. Cement je komponenta betona koja je najskuplja i zahteva najviše energije za proizvodnju, a uz to je uzrok 2,5 % svetske emisije CO₂ iz industrijskih kapaciteta. Jedno od održivih rešenja u ovom trenutku je upotreba alternativnih/otpadnih sirovina kao što su: reciklirani agregat, pepeo, različiti tipovi šljake, livački pesak, itd. U nekim slučajevima beton nudi jeftino i efikasno rešenje za stabilizaciju kontaminiranog otpada (Cr, Pb, Zn, itd.). Istraživanja se odnose na inovativne cementne kompozitne materijale dobijeni korišćenjem otpadnih sirovina i procenu njihove trajnosti, /31-37/.

Takođe, radi se na unapređenju mehaničkih svojstava cementnih kompozita kroz korišćenje praškastih materijala (nanočestica) u kombinaciju sa aditivima za redukciju vode. Dodavanje kratkih čeličnih vlakana u betonsku mešavinu, ravnomerno raspoređenih u cementnoj matrici, omogućava se dobijanje inovativnog materijala visoke mehaničke čvrstoće, duktilnog ponašanja posle pojave prslina kao i veoma dobre trajnosti - *UHPC Ultra-High Performance Concrete*/beton ultra visokih performansi. UHPC je relativno nov građevinski materijal koji ima nekoliko prednosti u odnosu na konvencionalni beton i koji je napravljen sa do četiri puta više cementa. Pri projektovanju UHPC mešavina mora se uzeti u obzir ekonomska prihvatljivost primene ove vrste kompozita. Cilj je prevashodno usvajanje odgovarajućih, odnosno, što manjih količina komponentnih materijala čiji je najznačajniji udeo u jediničnoj ceni kompozitnog materijala, uzimajući u obzir ispunjenje zahtevanih mehaničkih svojstava betona, /38, 39/.

Grđevinski kamen i agregat

Tematska oblast *građevinski kamen i agregat* usredsređena je na istraživanja i karakterizaciju ležišta sirovina za proizvodnju građevinskih materijala (npr. ležišta krečnjaka i dolomita, ležišta prirodnih pucolana, itd.), zatim tehničkog i arhitektonsko-ukrasnog kamena, prirodnog šljunka i peska, ocenu primenljivosti kamena i agregata različitih geneza i svojstava. Posebna pažnja je posvećena ispitivanju trajnosti prirodnog kamena u konstrukcijama, naročito istraživanjima i ispitivanjima objekata od kulturno-istorijskog značaja, pre svega objekata izrađenim od kamena ili uz značajno učešće kamena i kamenih agregata. Istraživanja obuhvataju karakterizaciju oštećenja i analizu uzroka njihovog nastanka, sa posebnim osvrtom na antropogeni uticaj okoline. Razvijaju se metode terenske detekcije oštećenja kako bi se pratili svetski trendovi u oblasti očuvanja kulturnog nasleđa /40-47/.

Zaštita životnog okruženja

Tematska oblast *zaštita životne sredine* - energetska efikasnost u građevinarstvu odnosi se na niz teorijskih i eksperimentalnih istraživanja. Naime, kompjuterskim simulacijama u komercijalnim programima poput THERM-a određuju se temperaturska polja i polja strujanja vazduha unutar grejanih prostora i određuju dinamički i statički linijski gubici toplote građevinskih pregrada u softverskim paketima, npr. ANSYS. Eksperimentalno se mere temperatura i fluks pregrada nepoznate strukture i parametara materijala sa obe strane i određuju Grinove transfer funkcije, koje opisuju dinamičko ponašanje pregrada, određuju dinamički termički parametri (dekrement faktor, termičke transmitanse i admittanse, fazno kašnjenje i dinamički toplotni kapaciteti). Istraživanje je pre svega okrenuto ka razvoju uređaja sa zaštitnom grejnom pločom u okviru laboratorije, /48-55/.

Posebna tematska oblast bavi se proučavanjem uticaja i zaštite od buke u zgradama. Zaštita od buke i komfor stanovanja realizuje se, u prvom redu, zvučnom izolacijom građevinskih konstrukcija. Istraživanja se bave i komplementarnim svojstvima građevinskih konstrukcija kojima se istovremeno realizuje i zvučna i toplotna izolacija, što omogućuje adekvatno dimenzionisanje konstrukcija kojima, sa jedne strane treba izbeći moguće negativne efekte rezonantnih sistema koji se formiraju toplotnom izolacijom, a sa druge strane iskorišćenje toplotne izolacije za ostvarivanje najveće moguće zvučne izolacije. Značajne aktivnosti su vezane i za specifičnu problematiku za potrebe zakona o zaštiti od buke /56-58/.

Jedna od tematskih oblasti je razvijanje i plasiranje *zelenih* proizvoda, procesa ili usluga u cilju smanjenja generisanih vrsta otpada iz proizvodnje i smanjenja korišćenja prirodnih resursa. Osnovne oblasti istraživačkog rada su: karakterizacija otpada, ispitivanje otpadnih materijala, integralistički pristup u rešavanju problema vezanih za zaštitu životne sredine i primena remedijacionih tehnologija na odlagalištima industrijskog otpada, metode zaštite životne sredine i nove tehnologije u oblasti podzemne eksploatacije uglja, pravna regulativa u oblasti zaštite životne sredine, /59-62/.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U skladu sa dosadašnjim doprinosom Instituta IMS u oblasti građevinskih materijala i zaštiti životne sredine buduću naučnoistraživački rad biće usmeren na razvoj novih građevinskih materijala i poboljšanje tradicionalnih materijala uz poboljšanje njihovih tehničkih karakteristika i istovremeno smanjenje utroška energije, poštovanje principa održivog razvoja i cirkularne ekonomije; reciklažu i re-upotrebu građevinskih materijala, otpada od rušenja i industrijskih nusprodukata; optimizaciju tehnoloških procesa sa stanovišta energetske efikasnosti, smanjenje emisije gasova u atmosferu i korišćenja prirodnih resursa; uvođenje i praćenje sistema kvaliteta u proizvodnji i kontroli kvaliteta građevinskih konstrukcionih materijala i njihovoj ugradnji; razvoj i implementacija novih laboratorijskih metoda ispitivanja. Rezultati dosadašnjih istraživanja su publikovani u visoko rangiranim međunarodnim časopisima ili predstavljeni na međunarodnim konferencijama i kao takvi bili su uvek vrlo zapaženi i pozitivno citirani. IMS je decenijama simbol znanja u oblasti građevinarstva i industrije građevinskih materijala što aktivno nastavlja kroz aktuelne i planirane naučnoistraživačke aktivnosti - razvojna istraživanja, realizaciju u privredi, primenu najnovijih saznanja i savremenih tehnologija. Istraživačke aktivnosti se usmeravaju ka nacionalnim strateškim prioritetima u istraživanju i razvoju Republike Srbije, kao i na transfer znanja iz sveta ka nacionalnoj privredi i nauci.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci za istraživanja kroz Ugovor br. 451-03-68/2022-14/200012.

REFERENCES

1. Vasić, M., Radojević, Z., Rekecki, R. (2016), *Mathematical Modeling of Isothermal Drying and its Potential Application in the Design of the Industrial Drying Regimes of Clay Products*, In: K. Jian (Ed.), *Operations Research, The Art of Making Good Decisions*, InTechOpen: 71-86. doi: 10.5772/64983
2. Vasić, M., Rekecki, R., Radojević, Z. (2018), *Procedure for setting up the drying regime that is consistent with the nature and properties of clay raw material*, Dry. Tech. 36(3): 267-282. doi: 10.1080/07373937.2017.1324879
3. Vasić, M., Radojević, Z. (2018), *Update of the procedure used for heavy clay dryer optimization*, Rom. J Mater. 48(4): 436-441.
4. Vasić, M., Radojević, Z. (2015), *Non isothermal drying process optimisation - Drying of clay tiles*, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 95: 012025. doi: 10.1088/1757-899X/95/1/012025
5. Vasić, M., Radojević, Z. (2014), *Opis transporta vlage tokom izotermnog sušenja opekarskih proizvoda*, Izgradnja 68(8-9): 64-69. (in Serbian)
6. Vasić, M., Radojević, Z. (2018), *Poređenje razvijene metode optimizacije procesa sušenja sa literaturno dostupnim rešenjem u praksi*, Izgradnja 72(8-9): 501-506. (in Serbian)
7. Radojević, Z., Vasić M. (2020), *Projektovanje teniske šljake od škarta pečenih opekarskih proizvoda uz dodatak adiitva*, Građevinski kalendar 52: 1-15. (in Serbian)
8. Vasić, M., Radojević, Z. (2020), *Određivanje otpornosti na proklizavanje podnih obloga i pešačkih staza - metode vrednovanja*, Građevinski kalendar 52: 34-49. (in Serbian)
9. Vasić, M.V., Pezo, L.L., Radojević, Z. (2020), *Optimization of adobe clay bricks based on the raw material properties (math-*

- emtical analysis), *Constr. Build. Mater.* 244: 118342. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118342
10. Vasić, M., Pezo, L., Zdravković, J., et al. (2018), *Comprehensive approach to the influence of frequently used secondary raw materials on clay bricks quality using mathematical modeling (a systematic review)*, *Ceram. Inter.* 44(2): 1269-1276. doi: 10.1016/j.ceramint.2017.10.191
11. Vasić, M., Pezo, L., Zdravković, J., et al. (2017), *The study of thermal behavior of montmorillonite and hydromica brick clays in predicting tunnel kiln firing curve*, *Constr. Build. Mater.* 150(8): 872-879. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.06.068
12. Arsenović, M., Radojević, Z., Jakšić, Ž., Pezo, L., (2015), *Mathematical approach to application of industrial wastes in clay brick production - Part I: Testing and analysis*, *Ceram. Inter.* 41 (3-Part B): 4890-4898. doi: 10.1016/j.ceramint.2014.12.051
13. Arsenović, M., Radojević, Z., Jakšić, Ž., Pezo, L. (2015), *Mathematical approach to application of industrial wastes in clay brick production-Part II: Optimization*, *Ceram. Inter.* 41 (3-Part B): 4899-4905. doi: 10.1016/j.ceramint.2014.12.050
14. Vidak Vasić, M., Terzić, A., Radovanović, Ž., et al. (2022), *Alkali-activated geopolymerization of a low illitic raw clay and waste brick mixture. An alternative to traditional ceramics*, *Appl. Clay Sci.* 218: 106410. doi: 10.1016/j.clay.2022.106410
15. Mijatović, N., Vasić, M., Miličić, L., et al. (2023), *Fired pressed pellet as a sample preparation technique of choice for an energy dispersive X-ray fluorescence analysis of raw clays*, *Talanta* 252: 123844. doi: 10.1016/j.talanta.2022.123844
16. Vasić, M.V., Mijatović, N., Radojević, Z. (2022), *Aplitic granite waste as raw material for the production of outdoor ceramic floor tiles*, *Materials* 15(9): 3145. doi: 10.3390/ma15093145
17. Vasić, M.V., Pezo, L., Vasić, M.R., et al. (2022), *What is the most relevant method for water absorption determination in ceramic tiles produced by illitic-kaolinitic clays? The mystery behind the gresification diagram*, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* 61(3): 241-251. doi: 10.1016/j.bsecv.2020.11.006
18. Vasić, M.V., Radojević, Z., Pezo, L., *Optimizacija kvaliteta suvih opeka na osnovu karakteristika polaznih sirovina pomoću modela zasnovanog na veštačkim neuronskim mrežama*, *Tech. note*, 2020. (in Serbian)
19. Vasić M.V., Vasić M., Mijatović N., et al., *Optimizacija kompozitne mešavine domaćih prirodnih ilitsko-kaolinskih glina za primenu u proizvodnji keramičkih pločica*, *Tech. note*, 2021. (in Serbian)
20. Radojević, Z., Arsenović, M., Bačkalić, Z., *Definisanje kvaliteta opekarske sirovine sa ležišta Resanac-Polej C kod Male Plane i načina primene ugljene prašine za proizvodnju poroziranih blokova*, *Tech. note*, 2014. (in Serbian)
21. Terzić, A., Radulović, D., Pezo, M., et al. (2020), *Prediction model based on artificial neural network for pyrophyllite mechano-chemical activation as an integral step in production of cement binders*, *Constr. Build. Mater.* 258: 119721. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119721
22. Terzić, A., Pezo, L., Mijatović, N., et al. (2018), *The effect of alternations in mineral additives (zeolite, bentonite, fly ash) on physico-chemical behavior of Portland cement based binders*, *Constr. Build. Mater.* 180: 199-210. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.007
23. Terzić, A., Radulović, D., Pezo, L., et al. (2017), *The effect of mechano-chemical activation and surface treatment of limestone filler on the properties of construction composites*, *Composites Part B: Eng.* 117: 61-73. doi: 10.1016/j.compositesb.2017.02.041
24. Terzić, A., Pezo, L., Andrić, L., et al. (2017), *Optimization of bentonite clay mechano-chemical activation using artificial neural network modeling*, *Ceram. Inter.* 43(2): 2549-2562. doi: 10.1016/j.ceramint.2016.11.058
25. Miličić, L., Terzić, A., Pezo, L., et al. (2021), *Assessment of efficiency of rare earth elements recovery from lignite coal combustion ash via five-stage extraction*, *Sci. Sintering* 53(2): 169-185. doi: 10.2298/SOS2102169M
26. Radomirović, M., Mijatović, N., Vasić, M., et al. (2021), *The characterization and pollution status of the surface sediment in the Boka Kotorska Bay, Montenegro*, *Environm. Sci. Poll. Res.* 28(38): 53629-53652. doi: 10.1007/s11356-021-14382-8
27. Veselinović, G., Životić, D., Penezić, K., et al. (2021), *Geochemical characterization of sediments from the archaeological site Vinča - Belo Brdo, Serbia*, *Catena* 196: 104914, doi: 10.1016/j.catena.2020.104914
28. Mijatović, N., Terzić, A., Miličić, Lj., Živojinović, D. (2020), *Immobilization of heavy metal ions Zn²⁺, Ni²⁺, Pb²⁺ and Cu²⁺ in the structure of cement-based materials*, *Zaštita materijala*, 61(2): 116-127. doi: 10.5937/zasmat2002116M
29. Mijatović N., Terzić A., Pezo L. Et al., *Laboratorijski razvijena metoda za određivanje glavnih elemenata i elemenata u tragovima u uzorcima cementnih veziva pomoću energetske disperzivne rendgensko fluorescentne (ED-XRF) tehnike*, *Tech. note*, 2020. (in Serbian)
30. Mijatović N., Terzić A., Pezo L. Et al., *Modifikacija i unapređenje energetske-disperzivne rendgensko fluorescentne metode za određivanje sadržaja deset elemenata u eluatima cementnih veziva*, *Tech. note*, 2021. (in Serbian)
31. Janković, K., Nikolić, D., Bojović, D. (2012), *Concrete paving blocks and flags made with crushed brick as aggregate construction and building materials*, 28(1): 659-663. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.10.036
32. Jankovic, K., Lončar, Lj., Bojović, D., Stojanović, M. (2016), *Durability of concrete with different types of cement*, *Rom. J Mater.* 46(2): 215-221.
33. Janković, K., Šušić, N., Stojanović, M., et al. (2017), *The influence of tailings and cement type on durability properties of self-compacting concrete*, *Tech. Gazette*, 24(3): 957-962. doi: 10.17559/TV-20160304113800
34. Janković, K., Bojović, D., Lončar L., et al. (2018), *Possibility of using bottom ash in concrete precast products*, *Građevinar*, 70(5): 413-419. doi: 10.14256/JCE.1589.2016
35. Janković, K., Bojović, D., Nikolić, D., *Betonski blokovi za popločavanje sa agregatom od drobljene opeke*, *Tech. note*, 2013. (in Serbian)
36. Janković, K., et al., *Postupak proizvodnje betonskih prefabrikovanih elemenata sa agregatom od recikliranog betona*, *Tech. note*, 2016. (in Serbian)
37. Janković, K., et al., *Betonski prefabrikovani elementi za popločavanje sa jalovinom iz rudnika gvožđa*, *Tech. note*, 2016. (in Serbian)
38. Janković, K., Lončar, Lj., Bojović, D., Nikolić, D., *Unapređenje stepena otpornosti jedinica za sigurno čuvanje primenom betona ultra visokih čvrstoća*, *Tech. note*, 2010. (in Serbian)
39. Janković, K., Stanković, S., Bojović, D., et al. (2016), *The influence of nano-silica and barite aggregate on properties of ultra high performance concrete*, *Constr. Build. Mater.* 126: 147-156. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.026
40. Delić-Nikolić, I., Kurešević, L. Vušović, O. (2021), *Diabase from Drača open pit mine in central Serbia - Quality assessment for building stone purposes*, *IOP Conf. Ser.: Earth Environm. Sci.* 906: 012013. doi: 10.1088/1755-1315/906/1/012013
41. Kurešević, L., Lužaić, D., Delić-Nikolić, I. (2020), *Linearno toplotno širenje građevinskog kamena poreklom iz plutonskih magmatskih kompleksa Eksterne vardarske zone Srbije*, *Tehnika*, 75(5): 580-586. doi: 10.5937/tehnika2005580K
42. Kurešević, L., Delić-Nikolić, I., Vušović, O. (2013), *Vulkaniti Stolova kao građevinski kamen*, *Tehnika* 68 (4): 640-645.

43. Aškriabić, M., Zakić, D., Savić, A., et al. (2021), *Comparison between damage development on composite and standardized mortar specimens exposed to soluble salts*, Proc. SWBSS 2021 Fifth Int. Conf. on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures. ISBN 978-94-6366-439-4
44. Delić Nikolić, I. Ilić, B., Matović, N. (2021), *Osnovni aspekti novog pravilnika o tehničkim zahtevima za frakcionisani agregat za beton i asfalt*, Građevinski materijali i konstrukcije sa aspekta nove tehničke regulative u Republici Srbiji, Beograd, Srbija, 2021: 11-20. (in Serbian)
45. Delić-Nikolić, I. Kurešević, L., Vušović O. (2017), *Kosjerić diabase as building stone*, 1st Int. Conf. on Construction Mater. for Sustainable Future, Zadar, Croatia, 2017: 140-145.
46. Delić-Nikolić, I., Vušović, O., Kurešević, L. (2017), *Testing of stone from the facade of the Cathedral of Saint Teresa*, in: Proc. 10th Int. Conf. Assessment, maintenance and rehabilitation of civil structures and settlements, Vršac, Serbia, 2017: 565-572.
47. Kurešević, L., Vušović, O., Delić-Nikolić, I. (2017), *Geology of gemstone deposit Ugljarevac (central Serbia) and contribution to genetic model*, Geologica Macedonica, 31(1): 67-76.
48. Mirković, N., Mitković, P., Ninić, B., et al. (2017), *Composite structural members in fire conditions and measures of protection*, in: Proc. 5th Int. Conf. Contemporary Achievements in Civil Eng., Subotica, Serbia, 2017, 33: 131-139. doi: 10.14415/konferencijaGFS2017.013
49. Petojević, Z., Mitković, P., Mirković, N., et al. (2017), *Estimation of temperature transfer function in facade wall heat transport*, In: Proc. 5th Int. Conf. Contemporary Achievements in Civil Eng., Subotica, Serbia, 2017: 739-748. doi: 10.14415/konferencijaGFS2017.078
50. Mirković-Marjanović, M., Gospavić, R., Todorović, G. (2019), *An analytical approach based on Green's function to thermal response factors for composite planar structure with experimental validation*, Int. J Therm. Sci. 139: 129-143. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2019.01.020
51. Mirković Marjanović, M., Kijanović, A., Ilić, S., et al. (2022), *The comparative analysis of thermal behaviour of a different thickness walls made from autoclaved aerated concrete blocks exposed to fire*, Proc. 19th Int. Symp. MASE, Ohrid: 587-591.
52. Ilić, S., Malešev, M., Mirković-Marjanović, M., Kijanović, A. (2022), *Determination of ventilation heat losses through building envelope - a case study*, In: Proc. Int. Conf. on Contemporary Theory and Practice in Construction XV, STEPGRAD, 2022: 552-558.
53. Laban, M., Ilić, S., Džolev, I., Draganić, S. (2022), *European and national assessment procedure for the fire performance of facades*, In: Proc. 19th Int. Symp. MASE, Ohrid, 2022: 577-582.
54. Mirković-Marjanović, M., Ilić, S., Kijanović, A., et al. (2022), *Experimental analysis of fire resistance of clay hollow-brick masonry non-load bearing wall*, In: Proc. 8th Int. Conf. Civil Eng.-Science and Practice, Kolašin, Montenegro, 2022.
55. Ilić, S., Mirković-Marjanović, M. Kijanović, A., Laban, M. (2022), *Testing of building materials - reaction to fire*, In: Proc. 17th Conf. with Int. participation Risk and Safety Eng., Kopaonik, Serbia, 2022: 111-119.
56. Mijić, A., Milenković, D., Boljević, D., et al. (2020), *Studija stanja ugroženosti Beograda bukom iz ugostiteljskih objekata*, 64. ETRAN 2020, Beograd: 70-74. (in Serbian)
57. Milenković, A. Boljević, D., Savković D. (2020), *Uticaj različitih tipova pragova na zvučnu izolaciju vrata*, 64. Konf. za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN 2020, Beograd: 92-95. (in Serbian)
58. Popović, Lj., Šumarac Pavlović, D., Mijić, M., et al. (2020), *Analiza varijacija građevinskih izolacionih svojstava konstrukcija baziranih na arhivskim merenjima i proračunima*, 64. Konf. za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN 2020, Beograd: 87-91.
59. Drpić, A., Spasojević-Šantić, T., Radojević, Z. (2021), *Environmental product declaration (EPD) for clay roof tiles - Case study: production plant of clay roof tiles in Republic of Serbia*, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1196: 012031. doi: 10.1088/1757-899X/1196/1/012031
60. Spasojević-Šantić, T., Drpić, A., Radojević, Z. (2021), *Environmental product declaration (EPD) for clay construction product*, In: Book of Abstracts 9th Serbian Ceramic Soc. Conf. Advanced Ceramics and Application, Belgrade, 2021: 74-75.
61. Spasojević-Šantić, T., Radojević, Z. (2019), *Analiza postupka ocenjivanja životnog ciklusa opearskih proizvoda*, Izgradnja, 73(3-4): 197-201. (in Serbian)
62. Radojević, Z., Drpić, A., Vasić, Lj., Santo, Lj. (2018), *Prikaz regulative i pripreme eko-znakova i eko-deklaracija za građevinske proizvode*, Izgradnja, 72(9-10): 529-534.

© 2023 The Author. Structural Integrity and Life. Published by DIVK (The Society for Structural Integrity and Life 'Prof. Dr Stojan Sedmak') (<http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/home.html>). This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](#)

