

31. SLOVENSKI KOLOKVIJ O BETONIH

IRMA, Inštitut za raziskavo materialov in aplikacije je v sodelovanju z IZS organiziral 31. slovenski kolokvij o betonih z naslovom Lahki betoni in malte. Kolokvij je potekal 22. 5. 2024 v dvorani Plečnik 1, Four Points by Sheraton Ljubljana Mons, s 95 udeleženci.

Poleg nizke prostorninske mase imajo lahki betoni in malte tudi druge lastnosti, ki so pomembne za določene vrste aplikacij. Odvisne so od vrste uporabljenih osnovnih materialov vezivne komponente, polnila in dodatkov. Glavni namen 31. slovenskega kolokvija o betonih je bil obravnavati te posebne lastnosti lahkih betonov in malt. Podrobnejši potek kolokvija je razviden iz programa (slika 1).

31. SLOVENSKI KOLOKVIJ O BETONIH 31th SLOVENIAN COLLOQUIUM ON CONCRETE LAHKI BETONI IN MALTE / LIGHTWEIGHT CONCRETES AND MORTARS		irma inštitut za raziskavo materialov in aplikacije d.o.o.	
PROGRAM:	9:00	Pozdravni govor / Welcome speech: Mag. Črtomir Remec, Predsednik Inženirske zbornice Slovenije	
	9:20	Mag. Sandi Viršek, ARAO Potek izvajanja projekta odlagališča NSRAO / Progress in the implementation of the LILW disposal program	
	9:50	Dr. Jakob Šušteršič, IRMA in Mag. Bojan Hortl, ARAO Lahka malta z ekspanziranim vermikulitom kot polnilna in tesnilna malta odlagalnih zabojnikov N2d / Lightweight mortar with expanded vermiculite as filling and sealing mortar for disposal containers N2d	
	10:30	Rok Ercgovič, Sandi Drolc in Dr. Jakob Šušteršič, IRMA Poskusno polnjenje odlagalnih zabojnikov N2d z lahko malto / Experimental filling of disposal containers N2d with lightweight mortar	
	11:10	Prof. Dr. Maria Kadeja, Building Research Institute, Warsaw, Poland Foamed concrete layer - CASE STUDY: Sloj iz penobetona - STUDIJ PRIMERA	
	11:50	Dr. Johannes Horvath, Holcim Österreich GmbH, Wien, Austria Austrian experience with mineral lightweight materials / Avstrijske izkušnje z mineralnimi lahkimi materiali	
	12:20	Odmor / Break time	
	12:50	Asist. Dr. Andreja Padovnik in Prof. Dr. Violeta Bokač Bosiljkov, UL FGG Lahke injekcijske mase za ugotovitev odstopajočih historičnih ometov / Lightweight grouts for consolidation of deviating historic plasters	
	13:20	Ana Brunčič, Dr. Aljoša Šajna in Doc. Dr. Sabina Dolenc, ZAG Stabilnost in viskoelastičnost lahkoagregatnih malt v svežem stanju / Stability and viscoelasticity of light-aggregate mortars in the fresh state	
	13:50	Doc. Dr. Marina Škondrič, Asist. Ognjen Govedarica, Prof. Dr. Vladana Rajaković-Ognjanović, Prof. Dr. Dragica Jevtić in Prof. Dr. Dimitrije Zakić, Građevinski fakultet Beograd Lightweight pervious concrete paving flags - current status and application perspective / Votle betonske plošče iz lahkega agregata - trenutno stanje in možnost uporabe	
	14:20	Prof. Dr. Nina Šturmer in Prof. Dr. Ivana Banjad Pečur, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu Lagani betoni povečane čvrstoče / Lightweight concretes with increased strength	
	14:50	Dr. Blaž Jakopin, Dr. Grega Logar, Žiga Vene, PRIOT, Dr. Tjaša Zupančič Hartner, Marko Gotlin, Pavel Pišek, Dr. Rok Cajzek, GIC GRADNJE Digitalna platforma za napredno kontrolo kvalitete betona / A digital platform for advanced quality control of concrete	
	15:05	Zaključek kolokvija / Conclusion of the colloquium; Delovno kosilo / Working lunch	

Slika 1. Program predavanj v okviru 31. slovenskega kolokvija o betonih.



Slika 2. Pozdravni govor predsednika IZS mag. Črtomirja Remca.

Kolokvij se je začel s pozdravnim govorom predsednika IZS mag. Črtomirja Remca (slika 2). Na kratko je predstavil aktivnosti, ki jih izvaja IZS. Glede na hiter razvoj stroke je nujno sprejemanje in izvajanje programov stalnega izobraževanja inženirskega kadra, ki se izvaja pod okriljem IZS. Med te se lahko prištevajo tudi vsakoletni kolokviji o betonih.

Uvodna predavanja so bila namenjena predstavitvi rezultatov obsežnega projekta »Študija proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih polnilnih in tesnilnih malt za odlagalni zabojnik N2d«, v okviru katerega je bila razvita lahka polnilna cementno-apnena malta z ekspanziranim vermikulitom. S to lahko malto se dosega lastnosti, ki so pomembne za dolgo življenjsko dobo celotnega odlagališča nizko in srednje radioaktivnih odpadkov (NSRAO). Projekt je financirala Agencija za radioaktivne odpadke (ARAO). Ta študija predstavlja le del obsežnega projekta izgradnje odlagališča NSRAO, ki je v teku in je bil predstavljen v uvodnem predavanju direktorja ARAO mag. Sandija Virška (slika 3).

Na ARAO so gradnjo razdelili na 4 glavne dele, za katere so pripravili razpise. V prvem delu so izvedli razpis in podpisali pogodbo za izdelavo odlagalnih zabojnikov, v katere bodo zapakirani vsi NSRAO, preden bodo odloženi v odlagalni silos, katerega premer bo 27,3 m in skoraj 60 m globine. Drugi del je izgradnja vse infrastrukture za odlagališče in vzpostavitev fizičnega in tehničnega varovanja, saj je odlagališče že med gradnjo jedrski objekt in ga je treba varovati. Dela izgradnje infrastrukture so skoraj končana, vzpostavljeno pa je tudi že varovanje objekta. Pričena se tretji del, za katerega je bil tudi že izveden razpis in

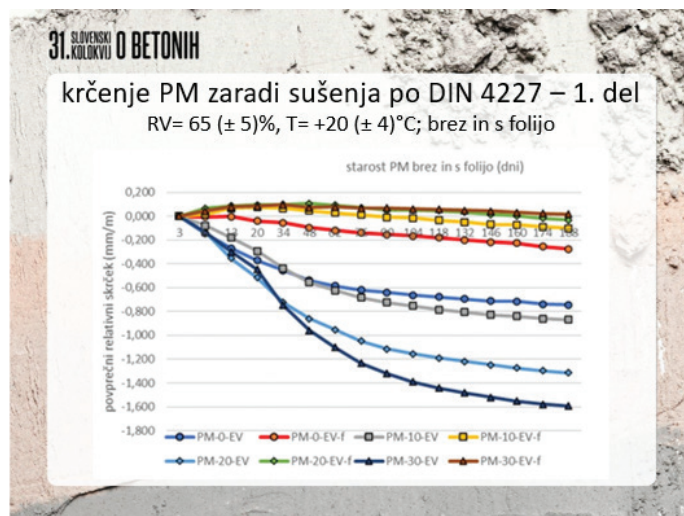
podpisana pogodba. V tej fazi se bodo zgradili vsi objekti odlagališča znotraj ograje. To so odlagalni silos s pripadajočo halo nad silosom, tehnološki in upravno servisni objekt. Dela so se pričela v mesecu maju 2024. Zadnji del pa je še dobava in montaža portalnega dvigala, s katerim bodo odpadki odloženi v silos. Ta del je trenutno v fazi razpisa. Načrtovano je, da bo odlagališče pričelo obratovati v letu 2027.



Slika 3. Predstavitel uvodnega članka direktorja ARAO mag. Sandija Virška.

Sledilo je predavanje prvega referata predstavitve projekta »Študija proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih polnilnih in tesnilnih malt za odlagalni zabojnik N2d«. Referat z naslovom »Lahka malta z ekspanziranim vermikulitom kot polnilna in tesnilna malta odlagalnih zabojnikov N2d« sta pripravila dr. Jakob Šušteršič iz IRMA in mag. Bojan Hertl iz ARAO. V okviru tega referata so bili predstavljeni rezultati obsežnih laboratorijskih preiskav. V cementno-apneno malto se je dodajal ekspanzirani vermikulit v količini 10 %, 20 % in 30 %, s čimer se je prostorninska masa strjene polnilne malte (PM) brez ekspaniranega vermikulita (EV) v povprečju zmanjšala za 8,3 % pri PM z 10 % EV, za 14,7 % pri PM z 20 % EV in za 24,2 % pri PM s 30 % EV. Pri svežih PM so se ocenjevali obdelovalnost (meril se je razlez po metodi za injekcijsko maso), segregabilnost in krvavenje (ti dve lastnosti sta se ocenjevali vizualno). Določila sta se tudi začetek vezanja in adiabatsko-termične karakteristike posamezne PM. Ugotovil se je zanimiv potek skrčkov pri meritvi krčenja zaradi sušenja, ko so bili preskušanci izpostavljeni neposrednemu sušenju in ko so bili delno zaščiteni pred sušenjem (slika 4). Strjene PM so se preiskovale pri starostih od 3 do 180 dni. Določala so se medsebojna razmerja med tlačno in upogibno trdnostjo ter statičnim modulom elastičnosti. Preiskal in določil se je vpliv dodane količine EV na odpornost proti prodoru vode, skupno poroznost, vsebnost zračnih por in kapilarno sesanje PM po SIA 262, dodatek A, kapilarno vodovpojnost, prepustnost za pline in zrakopropustnost, vodopre-

pustnost in notranjo odpornost proti zmrzovanju/tajanju do 200 ciklov. Na osnovi rezultatov teh preiskav se lahko določi optimalna sestava PM, ki izpolnjuje podane kriterije in izkazuje relativno najboljše obnašanje med preiskanimi PM glede na namensko uporabo.



Slika 4. Velik vpliv dodane količine ekspaniranega vermikulita polnilni malti in zaščite površin preskušancev pred izsuševanjem; iz referata z naslovom »Lahka malta z ekspanziranim vermikulitom kot polnilna in tesnilna malta odlagalnih zabojnikov N2d«.

V drugem referatu predstavitve projekta »Študija proizvodnje, vgradljivosti in karakteristik končnih polnilnih in tesnilnih malt za odlagalni zabojnik N2d« je bila predstavljena 3. faza tega projekta. Referat so pripravili Rok Ercegovič, Sandi Drolc in dr. Jakob Šušteršič, vsi sodelavci IRMA, predstavil pa ga je Rok Ercegovič (slika 5). V referatu so se obravnavali postopki poskusnega polnjenja odlagalnih zabojnikov N2d z lahko cementno-apneno polnilno malto (PM) z ekspanziranim vermikulitom (EV) ter rezultati pripadajočih meritev in preiskav. Polnila sta se dva zabojnika. V prvega se je vgradila PM z 10 % EV, v drugega pa PM z 20 % EV. Z obema PM se je dosegla dobro zapolnitev praznih prostorov (s prostornino 2,6 m³) med štirimi TTC-ji. V vsak TTC so vloženi trije sodi s prostornino 200 dm³, ki bodo v odlagališču napolnjeni z NSRAO. Lahki PM sta se vgrajevali konstruktorsko s črpalko za malte. Pomembne ugotovitve poskusnega polnjenja zabojnika so: za hitrejšo polnjenje zabojnika se bo morala uporabljati črpalka z večjo kapaciteto; z večjo hitrostjo vgrajevanja se bodo povečevali stranski pritiski polnilne malte na TTC-je; z meritvami priraščanja temperature v vgrajeni polnilni malti zaradi razvoja hidratacijske toplote cementa se je dokazalo, da se v sredini zabojnika doseže precej visoka temperatura; zato se priporoča, da bi se za polnjenje zabojnikov uporabljala PM z začetno temperaturo največ 20 °C; dokazalo pa se je, da se stranski pritiski PM z nižjimi temperaturami povečujejo; zato bi bilo primerno, da se dodatno preveri vpliv povečanih stranskih pritiskov PM na deformacijo TTC-jev;

rezultati preiskav strjene PM so skladni z rezultati laboratorijskih preiskav in potrjujejo, da je PM z 10 % EV relativno najprimernejša za zapolnjevanje zabojnikov; prav tako smo dokazali, da je ta PM primerna tudi za tesnjenje stika med pokrovom in stenami zabojnika.



Slika 5. Referat z naslovom »Poskusno polnjenje odlagalnih zabojnikov N2d z lahko malto« je predstavil Rok Ercegovič.

Dr. Johannes Horvath, zaposlen v Holcim (Austria) GmbH, ki je hčerinska družba vodilne svetovne skupine gradbenih materialov Holcim Ltd, je predstavil referat z naslovom »Avstrijske izkušnje z mineralnimi lahкими materiali« (slika 6). Evropa je na poti, da do leta 2050 postane prva podnebno nevtralna celina na svetu. Seveda se ta družbena megamematika ne ustavi pri gradbeništvu. Lastniki stavb vse bolj natančno preučujejo uporabljene gradbene materiale in pripisujejo pomen njihovi okoljski združljivosti. Lahki beton



Slika 6. Dr. Johannes Horvath je predstavil referat z naslovom »Avstrijske izkušnje z mineralnimi lahкими materiali«.

navdušuje z odličnim ekološkim ravnoesjem v celotnem življenjskem ciklu. Med proizvodnjo ni potrebe po veliki porabi energije. Poleg nosilne zmogljivosti material odlično izpolnjuje tudi vse fizikalne gradbene lastnosti. Ker je 100 % mineralni gradbeni material, ga je tudi enostavno reciklirati in ponovno uporabiti. V referatu je bil predstavljen tudi komercialni proizvod AIRIUM, ki je izolacijski material na osnovi cementa z zračnimi prazninami, zato ima visoke izolacijske lastnosti. Zaradi svoje sestave material absorbira vlago in jo postopoma spet izloča, kar uravnava klimo v prostoru in preprečuje strukturne poškodbe.

Prof. dr. Marta Kadela iz Warsaw University of Technology, The Institute of Building Engineering, Poljska, je predstavila svoj referat z naslovom »Sloj iz penobetona – študija primera« po spletu (slika 7). Namen referata je bil predstaviti možnost uporabe penobetona kot temeljnega sloja v sistemu vozišč s slabo podlago. Penobeton ima odlične lastnosti, kot so majhna lastna teža, visoka trdnost, samozgoščevanje, minimalna poraba agregata, uporaba odpadkov ter odlične toplotne in zvočne izolacijske lastnosti. Dolga leta je bila uporaba penobetona omejena na zasipavanje opornih zidov, izolacijo temeljev in ostrejša ter zvočno izolacijo. Vendar je v zadnjih nekaj letih penobeton postal obetaven material tudi za konstrukcijske namene. V svetu se penobeton v gradbeništvu ne uporablja pogosto, uporaba penobetona v gradbeništvu je statistično manjša od 5 % glede na vse materiale, ki se uporabljajo v procesu gradnje. Z ustrezno izbiro in doziranjem sestavin ter penilnega sredstva je mogoče doseči širok razpon gostot (100–2000 kg/m³) za različne konstrukcijske sisteme, predelne stene, izolacijo in polnila. V zvezi s tem je v članku predstavljen primer uporabe penobetona kot temeljnega sloja v sistemu slabe podlage za vozišče.

Rebuilt of foamed concrete



Slika 7. Predstavitev referata prof. dr. Marte Kadela z naslovom »Sloj iz penobetona – študija primera« preko spleta.

Po odmoru je prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov, dekanka Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani podala referat z naslovom »Lahke injekcijske mase za utrditev odstopajočih historičnih ometov« (slika 8), ki ga

je pripravila skupaj z asist. dr. Andrejo Padovnik. Gostota injekcijske mase je pomemben parameter, saj lahko zaradi njene lastne teže pride do poškodb utrjenih dekorativnih ometov, še posebej pri večjih odstopajočih površinah. V predstavljeni študiji so kot sredstvo za zmanjšanje gostote apnene injekcijske mase uporabili tankostenske votle steklene mikrokroglice. Injekcijsko maso običajne gostote s prostorninskim razmerjem med hidriranim apnom in apnenčevim polnilom 1:3 in z 0,5% superplastifikatorja PCE so modificirali z delno zamenjavo apnenčevega polnila z lahkimi steklenimi mikrokroglicami. Z večanjem prostornine steklenih mikrokroglic se gostota injekcijske mase zmanjšuje. Poleg tega se zmanjšata tudi stabilnost in sposobnost injektiranja sveže mešanice. V strjenem stanju se trdnost zmanjšuje, vpojnost malte in odpornost proti prehodu vodne pare pa se bistveno ne spremenita. Odpornost malte proti ciklom zamrzovanja in tajanja ter segrevanja in ohlajanja z destilirano vodo ali raztopino soli se bistveno izboljša, če so prisotne mikrokroglice.



Slika 8. Prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov je predstavila referat z naslovom »Lahke injekcijske mase za utrditev odstopajočih historičnih ometov«.

Referat z naslovom »Stabilnost in viskoelastičnost lahkoagregatnih malt v svežem stanju« so pripravili kolegi iz Zavoda za gradbeništvo Slovenije: Ana Brunčič, dr. Aljoša Šajna in doc. dr. Sabina Dolenec. Referat je predstavila Ana Brunčič (slika 9). Prispevek obravnava reološke lastnosti svežih malt z agregatom iz recikliranega stekla. Analiziranih je osem mešanic z enako granulometrijsko sestavo z zamenjanim volumskim deležem frakcije 0,5/1 in 1/2 oz. obeh hkrati v obsegu 25 in 50 %. Kot referenca je vzeta malta s 100-odstotnim naravnim kremenčevim agregatom. Uporabljeno je vodo-cementno razmerje 0,5 in običajni portlandski cement CEM I 52,5R. Za vse mešanice so določeni: tokovna krivulja in modul elastičnosti oz. akumulacija energije G' . Vpliv volumskega deleža in frakcije lahkega agregata je ovrednoten tudi z vidika mehansko-fizikalnih lastnosti v strjenem stanju: tlačna

trdnost in gostota. Dodajanje lahkega agregata ima izrazit vpliv na reološke, fizikalne in mehanske lastnosti cementnih malt. Iz rezultatov se lahko sklepa, da ima zamenjevanje manjših/finejših frakcij in ne največje frakcije mešanice manjši vpliv na (ne)stabilnost in homogenost. Pri izrazitejšem zniževanju gostote je izrazito tudi znižanje tlačne trdnosti in stabilnosti mešanice, oboje pa odvisno tudi od velikosti zamenjane frakcije: večji učinek zmanjšanja gostote je dosežen z dodajanjem večjih frakcij.



Slika 9. Referat z naslovom »Stabilnost in viskoelastičnost lahkoagregatnih malt v svežem stanju« je predstavila Ana Brunčič.

Doc. dr. Marina Škondrić, asist. Ognjen Govedarica, prof. dr. Vladana Rajaković-Ognjanović, prof. dr. Dragica Jevtić in prof. dr. Dimitrije Zakić z Gradbene fakultete Univerze v Beogradu so pripravili referat z naslovom »Votle betonske plošče iz lahkega agregata – trenutno stanje in možnost uporabe«. Predstavila ga je doc. dr. Marina Škondrić (slika 10). V referatu predstavljena raziskava je namenjena možnostim uporabe in testiranja lahkih prepustnih betonskih plošč. Predstavljeni in obravnavani sta dve fazi raziskav: prva – trenutno znanje in stanje na področju prepustnih betonskih tlakovcev, druga – eksperimentalne raziskave lahkih prepustnih tlakovcev, izdelanih z delnim nadomeščanjem cementa s strjenim blatom iz prečiščenih odpadnih voda. Prepustni tlakovci so eden najučinkovitejših načinov za obvladovanje padavin v urbanih okoljih. Glede na fizikalne in mehanske lastnosti so prepustni betonski tlakovci skupaj z drugimi plastmi v sistemu primerni za pešpoti in kolesarske poti ter parkirnišča. Predstavljeni rezultati so bili pridobljeni pri starosti 28 dni na tlakovcih iz lahkega prepustnega betona, pripravljenih z uporabo ekspandirane gline kot agregata. Pokazalo se je, da ima ta material potencial za tlakovanje pešpoti s tlačno trdnostjo 7,17 MPa, sprijemno trdnostjo 1,05 MPa, prostorninsko gostoto 994,4 kg/m³ in hidravlično prevodnostjo 11,8 mm/s.



Slika 10. Doc. dr. Marina Škondrić je predstavila referat z naslovom »Votle betonske plošče iz lahkega agregata – trenutno stanje in možnost uporabe«.

Prof. dr. Nina Štirmer in prof. dr. Ivana Banjad Pečur s Fakultete za gradbeništvo Univerze v Zagrebu sta pripravili referat z naslovom »Lahki betoni s povečano trdnostjo«. Referat je predstavila prof. dr. Nina Štirmer (slika 11). Lahki betoni se že vrsto let uporabljajo za gradnjo objektov, kjer je lastna teža omejena, dodana vrednost pa so večja vzdržljivost, hitrejša gradnja in nižji stroški (pri montažni gradnji). V referatu je predstavljena raziskava, v kateri so poskušali pripraviti beton, katerega tlačna trdnost bo povečana, njegova gostota pa bo manjša od 2000 kg/m^3 . Ugotavljali so tudi vpliv izvora lahkega agregata iste vrste na lastnosti lahkega betona. Betoni, izdelani z lahkim agregatom iz ekspandirane gline, lahko dosežejo trdnosti, ki ustrezajo kriterijem za visoke razrede tlačne trdnosti. Pri tem je zelo pomembna izbira primerne lahkega agregata, ki lahko zadovolji tako visoke zahteve. V tej raziskavi so bili preizkušeni lahki betoni z ekspandirano glino kot lahkim agregatom, proizvedenim v dveh tovarnah istega proizvajalca, vendar imata betona različne vrednosti tlačne trdnosti. Prav tako je treba poudariti, da vrednosti statičnega modula elastičnosti ne sledijo linearnemu naraščanju tlačne trdnosti lahkega betona, kar je treba upoštevati pri projektiranju zgradb iz lahkega betona s povečano trdnostjo.

Zadnji referat na kolokviju z naslovom »Digitalna platforma za napredno kontrolo kvalitete betona« so pripravili dr. Blaž Jakopin, dr. Grega Logar in Žiga Vene iz podjetja PRIOT, d. o. o., ter dr. Tjaša Zupančič Hartner, Marko Gotlin, Pavel Pišek in dr. Rok Cajzek iz gradbenega podjetja GIC GRADNJE, d. o. o. Referat sta predstavila dr. Tjaša Zupančič Hartner in dr. Blaž Jakopin (slika 12). Prispevek opisuje razvoj in implementacijo pilotnega digitalnega laboratorija v sodelovanju s podjetjem GIC GRADNJE, d. o. o., ki znatno izboljšuje procese kontrole kakovosti betona. Uvedba tehnologij, kot so IoT, umetna inteligenca in napredna senzorika, omogoča avtomatizacijo, izboljšano natančnost

in učinkovitejše upravljanje podatkov. Digitalni laboratorij omogoča natančnejše sledenje procesov, izboljšuje transparentnost in varnost podatkov ter povečuje produktivnost s krajšanjem časa in prihrankom pri stroških dela. Poleg tega digitalna platforma omogoča napredno analitiko in napovedovanje, kar prispeva k optimizaciji porabe surovin in zmanjšanju negativnih vplivov na okolje. Implementacija digitalnega laboratorija tudi podpira učinkovitejše sodelovanje in komunikacijo med oddelki in lokacijami, kar je ključno za uspešno delovanje v gradbeni industriji.



Slika 11. Referat z naslovom »Lahki betoni s povečano trdnostjo« je podala prof. dr. Nina Štirmer.



Slika 12. Referat z naslovom »Digitalna platforma za napredno kontrolo kvalitete betona« sta predstavila dr. Tjaša Zupančič Hartner in dr. Blaž Jakopin.

dr. Jakob Šušteršič, univ. dipl. inž. grad.