

Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;

spletna izdaja ISSN 2536-4332.

Ljubljana, december 2017, letnik 66, str. 293-324

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**, predsednik
Dušan Jukić
prof. dr. Matjaž Mikoš
IZS MSG: **Gorazd Humar**
mag. Mojca Ravnikar Turk
dr. Branko Zadnik
UL FGG: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina**
UM FG: **doc. dr. Milan Kuhta**
ZAG: **doc. dr. Matija Gams**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Romana Hudin

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

500 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 23,16 EUR; za študente in upokojene 9,27 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 171,36 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56 0201 7001 5398 955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledki med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja ali kratica ustanove, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Voščilo

stran **294**

doc. dr. Andrej Kryžanowski, univ. dipl. inž. grad.
VOŠČILO PREDSEDNIKA ZDGITS

Nagrade članom društev ZDGITS

stran **295**

dr. Marjetka Levstek, univ. dipl. inž. kem. inž.
PROF. DR. MILENKO ROŠ PREJEL MEDALJO DUNBAR

Članki • Papers

stran **296**

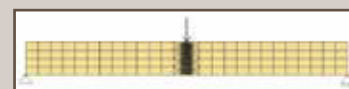
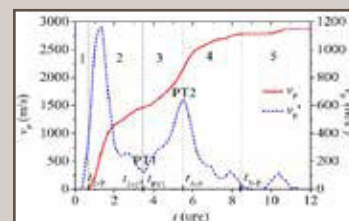
prof. dr. Matjaž Mikoš, univ. dipl. inž. grad.
REČNI SEDIMENTI IN MINERALNI AGREGATI V GRADBENIŠTVU
FLUVIAL SEDIMENTS AND MINERAL CONSTRUCTION AGGREGATES

stran **307**

Nina Vogrič, univ. dipl. inž. grad.
prof. dr. Igor Planinc, univ. dipl. inž. grad.
doc. dr. Gregor Trtnik, univ. dipl. inž. grad.
**EKSPERIMENTALNO SPREMLJANJE ZGODNJEGA OBLIKOVANJA STRUKTURE CEMENT-
NIH PAST**
EXPERIMENTAL MONITORING OF EARLY FORMATION OF CEMENT PASTE STRUCTURE

stran **314**

dr. Andjelka Stanić, univ. dipl. inž. grad.
prof. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž. grad.
MODELIRANJE NASTANKA IN ŠIRJENJA RAZPOK V KRHKIH MATERIALIH
MODELLING OF CRACK OUTSET AND PROPAGATION IN BRITTLE MATERIALS



Poročilo s strokovnega srečanja

stran **320**

Boris Stergar, univ. dipl. inž. grad.
NOVI VIDIKI RAZVOJA JAVNE PROMETNE INFRASTRUKTURE

Obvestila ZDGITS

stran **322**

**PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO
STROKO V LETU 2018**

Vsebina letnika 66/2017

stran **321**

Novi diplomanti

Eva Okorn

Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Gradnja predora Log na AC A4 Draženci – Gruškovje, foto: arhiv Dars

VOŠČILO PREDSEDNIKA ZDGITS



Letošnje leto gradbeniki po dolgem času zaključujemo z optimizmom. Po predolgem obdobju stagnacije je tudi na slovensko gradbeništvo ponovno posijalo sonce. Od vse povsod prihajajo spodbudne novice o krepitvi gradbene dejavnosti, povečuje se povpraševanje po kadrovskih potrebah v panogi, pričete so bile aktivnosti pri gradnji železnice med Koprom in Divačo, trenutno največjega infrastrukturnega projekta v državi. Gradbena dejavnost se kot Feniks dviguje iz pogorišča, ki so ga za sabo pustile posledice globoke ekonomske krize in pogosto tudi nespametne poslovne odločitve akterjev, ki so obvladovali naš prostor. Priložnost za uveljavitev v panogi je bila dana novim obrazom, za katere smo pred časom komaj vedeli ali pa so se ukvarjali s povsem drugimi dejavnostmi. Pokazali so dovolj poguma, znanja in volje za uveljavitev v panogi tako pri nas kot tudi v tujini in s tem temeljito spremenili podobo gradbeništva pri nas.

Pri oživitvi gradbene panoge sta nujna razvojna naravnost in zagotavljanje stabilnosti v panogi skozi daljše obdobje, kar bi morala biti prioriteta politike, če želimo ohraniti gradbeništvo kot pomembni del nacionalne ekonomije. Pred nami je pričakovano daljše obdobje rasti, ko bodo povečane tudi potrebe po kadrih, ki jim bo treba zagotoviti ustrezno izobrazbo ter omogočiti delovno okolje in razmere, primerljive z razvitimi državami, če želimo ohraniti primerjalno konkurenčnost. V tem procesu smo tudi v uredništvu Gradbenega vestnika prideli kamenček k izboljšanju informiranja bralstva in druge strokovne javnosti z uvedbo prostega dostopa do vseh doslej izdanih publikacij našega glasila. Spodbudno je to, da je bila ideja toplo sprejeta pri širši javnosti, ne samo v naši stroki, ker smo s tem omogočili vpogled v zgodovino slovenskega gradbeništva tudi drugim, ki so profesionalno ali ljubiteljsko povezani z našo stroko.

Dovolite mi, da vam ob zaključku leta, ki se za našo stroko zaključuje bolj optimistično, zaželim veliko poslovnih uspehov, predvsem pa zdravja, veselja in osebne sreče v prihajajočem letu.

doc. dr. Andrej Kryžanowski
predsednik ZDGITS

*Vsem bralcem, avtorjem in recenzentom Gradbenega vestnika želita
vesele božične praznike in srečno ter zdravo novo leto 2018
Izdajateljski svet in uredništvo*

PROF. DR. MILENKO ROŠ PREJEL MEDALJO DUNBAR



Prof. dr. Milenko Roš, dolgoletni predsednik Društva za zaščito voda, ki je član Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, je na slovesnosti, ki je bila v okviru 13. konference EWA 6. novembra 2017 v Bruslju, za svoje zasluge prejel posebno priznanje – medaljo Williama Dunbarja.

Medaljo Dunbar podeljuje Evropsko združenje za vodo (European Water Association – EWA), že od leta 1973 pa jo sponzorira nemški Messe München GmbH. Podeljena je v spomin na Williama Philipsa Dunbarja, rojenega leta 1863 v Minnesoti v ZDA. W. P. Dunbar je bil septembra 1892 imenovan za direktorja Hygenic Institute v Hamburgu, da bi pomagal pri obvladovanju katastrofalne epidemije kolere, zaslužen pa je za izboljšave postopka odkrivanja kolere in drugih patogenov. Zaradi njegovih pionirskih izboljšav v mestnih sanitarijah je v tem sektorju še vedno mednarodno priznana avtoriteta.

Profesor Milenko Roš, doktor kemijskih znanosti, je bil od leta 1971 zaposlen na Kemijskem inštitutu v Laboratoriju za kemijo, biologijo in tehnologijo voda. Vodil ga je več kot 25 let, vse do svoje

upokojitve leta 2009. V Sloveniji je uvedel etalon za kemijo (področje voda) in organiziral medlaboratorijske primerjave za slovenske laboratorije, ki so bili vključeni v monitoring in analizo odpadnih voda. V slovenskem jeziku je objavil več knjig o čiščenju odpadnih voda in terminologijo na področju voda. Profesor Roš je v Sloveniji zelo prepoznaven po svojih akademskih delih na področju voda in odpadnih voda. Je avtor knjige *Respirometry of Activated Sludge* (Taylor & Francis, ZDA, 1993), drugih publikacij na področju čiščenja odpadnih voda in izrazov s področja voda v slovenskem jeziku. Profesor Roš je soustanovil in podpiral Slovensko društvo za zaščito voda (SDZV), bil je predsednik društva in član upravnega odbora International Water Association (IWA) med letoma 1995 in 2011 ter ne nazadnje pobudnik, da je Slovensko društvo za zaščito voda postalo član EWA.

dr. Marjetka Levstek, univ. dipl. inž. kem. inž.

predsednica Slovenskega društva za zaščito voda

REČNI SEDIMENTI IN MINERALNI AGREGATI V GRADBENIŠTVU

FLUVIAL SEDIMENTS AND MINERAL CONSTRUCTION AGGREGATES

prof. dr. Matjaž Mikoš, univ. dipl. inž. grad.

matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

STROKOVNI ČLANEK

UDK 556.5:69.034.7(497.4)

Povzetek | Gradbeništvo je pomembna gospodarska panoga, ki jo za glavno dejavnost opravlja dobrih 10 % vseh podjetij v Sloveniji. Kot eden od generatorjev trenutnega in prihodnjega družbenega in gospodarskega razvoja je gradbeništvo podvrženo cikličnim nihanjem. Skupaj z rastjo in padci gradbeništva kot panoge nihajo potrebe in proizvodnja gradbenih materialov. Pomembna mineralna surovina v svetu in v Sloveniji so mineralni agregati. Prispevek povzema proizvodnjo peska in gramoza ter lomljenega kamna v izbranih evropskih državah in v Sloveniji ter jo primerja s proizvodnjo gradbenih materialov (cement, beton, asfaltne mešanice). Prispevek posebej obravnava pomen in pogoje za odzemanje naplavin kot posebne vrste naravnih mineralnih agregatov, ki so kot rečni sedimenti bili ali pa so še danes aktivni del naravnega rečnega sistema. Prispevek se zaključuje z izzivi in vprašanji odzemanja naplavin iz rečnega okolja.

Ključne besede: mineralni agregati, betoni, mineralne surovine, rečni procesi, rečni sedimenti, degradirana območja

Summary | Construction sector is an important industry, carried out as their main activity by more than 10% of all enterprises in Slovenia. As one of the generators of current and future social and economic development, it is subject to cyclical fluctuations. Together with the growth and decline of construction as a branch, the demand for and the production of building materials also fluctuate. An important mineral resource worldwide and in Slovenia is mineral aggregates. The article summarizes the production of sand and gravel and crushed stone in selected European countries and in Slovenia, and compares it with the production of construction materials (cement, concrete, asphalt). The article specifically deals with the significance and conditions for the extraction of alluvium as a special type of natural mineral aggregates that were, as river sediments, in the past or are still nowadays an active part of the natural river system. The paper concludes with the challenges and issues of extracting alluvium from the fluvial environment.

Key words: mineral aggregates, concrete, mineral commodities, fluvial processes, fluvial sediment, brown fields

1 • UVOD

Gradbeništvo v svetu je pomembna gospodarska panoga, nič drugače ni v Sloveniji, kjer je leta 2015 skupaj 14 % vseh podjetij za glavno dejavnost opravljajo gradbeništvo, vsaka deseta zaposlena oseba v letu 2015 pa je delala v dejavnosti gradbeništva (SURS, 2016). Gradbena podjetja so v letu 2015 ustvarila 4,6 milijarde evrov prihodkov

(začasni podatki: (SURS, 2016)), od tega največ podjetja, ki se ukvarjajo s specializiranimi gradbenimi deli (2,2 milijarde evrov), manj prihodkov so ustvarila podjetja z gradnjo stavb (1,1 milijarde evrov) in gradnjo inženjerskih objektov (1,2 milijarde evrov). Za tekočo dejavnost graditve stavb in inženjerskih gradenj in za vso že zgrajeno

infrastrukturo, ki jo je treba redno vzdrževati, si mora gradbeništvo zagotoviti ustrezen gradbeni material. Mineralne surovine, predvsem mineralni agregati, so bistvenega pomena za gradbeništvo. V prispevku bomo namenili poudarek pridobivanju mineralnih agregatov za potrebe gradbeništva v Sloveniji in še posebno pridobivanju mivke, peska in prod po Zakonu o rudarstvu ter odzemanju naplavin po Zakonu o vodah.

2 • MINERALNE SUROVINE IN GRADBENIŠTVO

Vlada Republike Slovenije je aprila 2009 sprejela *Državni program gospodarjenja z mineralnimi surovinami – splošni načrt* (Program, 2009), temelječ na Zakonu o rudarstvu, ki v preambuli določa, da sledi osnovnemu cilju, ki je: »gospodarjenje, ki vodi k zagotavljanju mineralnih surovin ter ohranjanju dostopnosti naravnih virov prihodnji generaciji po načelih

posebno pomemben, saj do njegovega sprejetja nadomešča državno rudarsko strategijo, ki jo predvideva Zakon o rudarstvu (Zakon, 2014) v drugem odstavku 154. člena. Obenem državni načrt v prilogi vsebuje kartografski prikaz vseh nahajališč mineralnih surovin s koncesijo v Sloveniji v merilu 1 : 500.000 (<http://www.energetika-portal.si/>

Mineralni proizvod	Ogljik (kg CO ₂ /t)	Energija (kWh/t)
beton	0,95	1,76
pesek in prod (gramoz)	4,28	8,30
kamen	4,32	9,70
asfalt	34,40	98,11

Preglednica 1 • Ogljični odtis in porabljena energija na tono tipičnega gradbenega proizvoda, ki uporablja mineralne agregate (povzeto po (Mitchell, 2012) – podatki za leto 2008)

trajnostnega razvoja«. Državni program v 3. odstavku točke 4.7 »Organizacija mreže lokacij pridobivanja mineralnih surovin za gradbeništvo« (str. 28) določa, »da morajo biti lokacije oziroma koncentracije lokacij mineralnih surovin za gradbeništvo znotraj transportnega radija prodaje (večinoma med 20 in 30 km), da morajo imeti dovolj zalog (vsaj za 15 let) in da morajo imeti zadostno letno proizvodnjo (najmanj 30.000 m³ raščene mineralne surovine)«.

Država podeljuje za izkoriščanje mineralnih surovin skladno z Zakonom o rudarstvu posameznim nosilcem rudarske pravice, ki morajo izdelati svoj program izkoriščanja. Državni program izkoriščanja je dvodelen, saj ob splošnem načrtu predvideva še načrte gospodarjenja s posameznimi mineralnimi surovinami oziroma skupinami mineralnih surovin – splošni načrt je predvidel 6 skupin, med njimi mineralne surovine za gradbeno industrijo in mineralne surovine za gradbeništvo. *Državni program gospodarjenja z mineralnimi surovinami – splošni načrt* je kot dokument še

fileadmin/dokumenti/publikacije/dp_min_sur/karta_msrp.pdf). Mineralne surovine za gradbeništvo so prikazane s trikotnim znakom in so neenakomerno in razpršeno porazdeljene po Sloveniji, kar seveda takoj odpira vprašanje umeščanja novih lokacij v prostor in sanacije obstoječih lokacij po prenehanju izkoriščanja.

Zasnova prostorskega razvoja območij mineralnih surovin (UIRS, 2002) predlaga delitev mineralnih surovin glede na njihovo uporabnost in tako ob energetske surovine (premog, nafta, plin, uranova ruda ...) pozna tri vrste mineralnih surovin: kovinske, nekovinske in druge nekovinske mineralne surovine. Med nekovinske mineralne surovine se uvrščajo surovine za industrijo gradbenega materiala (lončarska in opekarska glina, naravni kamen, fliš in lapor za cement, apnenec za apno) in surovine za gradbeništvo (prod, grušč, pesek, mivka, ilovica, tehnični kamen). V nadaljevanju razprave se bom omejil le na mineralne agregate kot bistveni gradbeni material, saj so agregati zrna material, ki

se uporablja tako pri gradnji stavb kot pri inženirskih gradnjah. Agregati predstavljajo enega osnovnih materialov v gradbeništvo. Prostorninski delež agregata v betonih je med 60 % in 80 % (Mehta, 2014), v asfaltih med 80 % in 85 % (ZAS, 2016) in v nevezanih plasteh 100 % – masni deleži so zelo povezani z vrsto kamnine v agregatu, zato navajamo prostorninske deleže. Agregati so lahko naravni, umetni ali reciklirani. Naravni agregat je mineralna surovina, pridobljena v naravnem okolju s samo mehansko (procesno) pridelavo in/ali predelavo (mletje, drobljenje ...), kar lahko zahteva veliko porabo energije za njihovo pridelavo in predvsem predelavo (preglednica 1). V svetu prevladuje uporaba naravnih agregatov.

Beton je gradbeni material in predstavlja v svetovnem merilu najbolj uporabljeno vrsto gradbenega materiala, kar velja tudi za Slovenijo (Gligič, 2011). Zaradi vse bolj izrazitih podnebni sprememb, ki so posledica povečanih izpustov toplogrednih plinov, je treba za njihov nadzor in zmanjšanje poskrbeti tudi s pridobivanjem gradbenih materialov. Pri tem je zelo pomemben ogljični odtis, ki meri emisije (izpuste) CO₂ in drugih toplogrednih plinov pri njihovi proizvodnji (enota tona CO₂ na enoto proizvoda). Za proizvodnjo betona ob mineralnem agregatu potrebujemo tudi cement in proizvodnja cementa prispeva 5 % globalnih letnih emisij CO₂ (CEMBUREAU, 2013). Za beton velja, da je delna ali popolna zamenjava enega od njegovih sestavnih delov, tj. cementa Portland, bistvena za zmanjšanje emisij CO₂ in porabe energije, ki jo zahteva njegova proizvodnja (Monteiro, 2017). Mitchell (Mitchell, 2012) navaja tipične vrednosti ogljičnega odtisa in porabljene energije na tono gradbenega proizvoda (preglednica 1). Negativni prizvok zaradi vplivov na okolje je mogoče pri betonu in betonskih konstrukcijah bistveno zmanjšati zaradi dolge življenjske dobe tega materiala in konstrukcij ter možnosti ponovne uporabe (recikliranja materiala v smislu krožnega gospodarjenja z naravnimi viri).

V najnovšem poročilu za obdobje 2011–2015 so zbrani podatki o svetovni proizvodnji več kot 70 različnih mineralnih surovin v svetovnem merilu, med drugim tudi za premog, naravni plin in redke kovine ter druge mineralne surovine (BGS, 2017). V tem poročilu Britanski geološki zavod posebej za Evropo navaja podatke za obdobje 2011–2015 po posameznih državah za proizvodnjo cementa in agregata.

3 • PROIZVODNJA MINERALNIH SUROVIN

3.1 Svetovna proizvodnja mineralnega agregata

Mineralni agregat v obliki drobljenca, tolčenca, peska ali mivke je le ena od vrst mineralnih surovin, ki so v svetovnem merilu izredno

pomembna osnova za gospodarski razvoj. Britanski geološki zavod (British Geological Survey) že od leta 1913 zbira podatke o svetovni proizvodnji mineralnih surovin in jih letno objavlja v poročilih za petletno obdobje.

država	2011	2012	2013	2014	2015
Slovenija					
pesek in gramoz	1.899.770	1.707.455	2.143.013	2.799.006	2.943.870
kamen	9.626.791	7.557.431	7.067.895	8.123.587	8.108.113
Avstrija					
pesek in gramoz	35.507.353	31.285.739	30.123.970	30.276.160	29.487.409
kamen	26.866.150	26.348.996	25.973.740	26.946.973	25.309.156
Hrvaška					
pesek in gramoz	5.012.106	4.345.920	3.779.919	3.496.693	3.544.899
Švica					
pesek in gramoz	51.940.000	49.870.000	49.480.000	53.940.000	49.368.000
kamen	2.432.977	2.328.758	2.445.464	2.401.627	2.463.037
Evropa – vsota	2.578.000.000	2.296.000.000	2.214.000.000	2.188.000.000	2.157.000.000
delež Slovenije	4,47 %	4,04 %	4,16 %	4,99 %	5,12 %

Preglednica 2 • **Proizvodnja mineralnega agregata v tonah za izbrane evropske države**
(Vir: (BSG, 2017), str. 84–85)

država	2011	2012	2013	2014	2015
Slovenija	760.000	745.000	614.000	706.000	706.000
Avstrija (prodaja)	4.291.449	4.162.406	3.967.440	4.048.146	4.175.987
Hrvaška	2.578.017	4.255.014	4.543.358	4.670.807	4.498.264
Švica in Liechtenstein	4.687.138	4.395.084	4.563.931	4.583.355	4.219.466
Evropa - vsota	272.000.000	252.000.000	248.000.000	249.000.000	248.000.000
delež Slovenije	2,79 %	2,96 %	2,48 %	2,84 %	2,85 %

Preglednica 3 • **Proizvodnja cementa v tonah v izbranih evropskih državah**
(Vir: (BSG, 2017), str. 87)

Zbrani podatki za Slovenijo in izbrane primerljive evropske države za proizvodnjo dveh vrst mineralnih agregatov v obdobju 2011–2015 so prikazani v preglednici 2 in enako za cement (cementni klinker) v preglednici 3.

Podatki za svetovno merilo so večinoma plačljivi, ocene na spletu so različne glede na leto objave in vir, saj se svetovni trg hitro spreminja. Leta 2015 je bil največji trg za gradbeni agregat Azija in območje Pacifika (47,9 %), sledili sta Severna Amerika (21,5 %) in Evropa (18,0 %) (Research and Markets, 2016). Napoved za leto 2019 govori o svetovnih potrebah po gradbenih agregatih v višini 51,7 milijarde ton ob ocenjeni 5,2-% letni rasti (World Cement, 2016) – upoštevane so vse vrste agregatov, tudi reciklirani agregati, npr. reciklirani betoni, elektrofiltrski pepel ali jalovine.

3.2 Izkoriščanje nekovinskih (mineralnih) surovin za potrebe gradbeništva v Sloveniji

Dimkovski (Dimkovski, 2012) je v monografski obliki podal prvi izčrpn preizkus površinskega izkoriščanja mineralnih surovin za gradbeništvo v Sloveniji in prikazal zatečeno stanje izkoriščanja mineralnih surovin za gradbeništvo kot tudi površinsko rudarjenje v polpreteklosti. V monografiji je predstavljenih in podrobno opisanih 160 aktivnih površinskih kopov kot tudi nekateri opuščeni kamnolomi in posamezna perspektivna nahajališča. V knjigi so podrobneje prikazane naslednje mineralne surovine in njihova nahajališča za tehnični kamen – apnenec, tehnični kamen – dolomit, tehnični kamen – silikatne kamnine ter prod in pesek; te surovine pa so tudi predmet

obravnave v tem prispevku. Zaradi njihove razpršenosti po Sloveniji se odpira vprašanje njihovih okoljskih vplivov tako med obratovanjem (hrup, onesnaženje zraka in vode ...) kot po opustitvi dejavnosti.

3.3 Okoljski vplivi pridobivanja mineralnih agregatov

V okviru ciljnega raziskovalnega projekta »Sonaravna sanacija okoljskih bremen kot trajnostna razvojna priložnost Slovenije – degradirana območja« so njegovi izdelovalci prvič sistematično evidentirali 194 degradiranih območij v Sloveniji v skupni površini 979 ha (Špes, 2012). V javno evidenco so vključili območja, kjer so degradacijo povzročili industrija, vojaška dejavnost, transport ter infrastrukturne dejavnosti in rudarstvo. Evidentirana območja so prikazana v atlasu Kazalci okolja v Sloveniji pod rubriko TPO2 Degradirana območja zaradi opuščene dejavnosti (TPO2, 2017).

V monografiji o biotski raznovrstnosti in krajinski pestrosti Slovenije (MOP, 2001) je ugotovljeno, da so med vzroki sprememb in ogroženosti medkrajinske in znotrajkrajinske pestrosti različni posegi: »(...) številni kamnolomi, gramoznice, glinokopi in peskokopi razvrednotijo krajino, zlasti če gre za velike posege dominantnega videza; površinski kopi so redko sanirani, in tudi pri saniranih je bilo vsaj v preteklosti premalo upoštevano, da je treba v opuščeni kopih ohranjati novonastale življenjske prostore redkih in ogroženih vrst«.

Posegi v prostor, namenjeni pridobivanju mineralnih agregatov, lahko imajo po koncu namenske rabe tudi drugačne vplive na okolje – z ustrezno sanacijo lahko postanejo okoljsko in habitatno nova mokrišča. Mokrišča so lahko namreč naravnega ali tudi antropogenega izvora in so del narave, ki so redno zadostno preplavljena s površinsko ali podzemsko vodo, da lahko omogočajo razširjenost rastlin in živali, ki za rast in razmnoževanje potrebujejo mokro ali občasno mokro okolje. Tako med mokrišča uvrščamo kot samostojne tipe tudi z vodo zalite gramoznice, peskokope in glinokope. Obseg mokrišč se v Sloveniji v zadnjih desetletjih zmanjšuje (Barborič, 2017) kljub večanju obsega območij Nature 2000 v Sloveniji (Uredba, 2004a), ki skladno z uredbo o posebnih varstvenih območjih danes obsega 355 območij na podlagi evropske direktive o habitatih in evropske direktive o ptičah ter pokriva 37,16 % površine Slovenije (Natura, 2017).

Primerna mesta za odvzem mineralnih agregatov so zagotovo pomemben element načrtovanja

stroškov gradbenih podjetij in navsezadnje tudi njihove konkurenčnosti na trgu, če imajo zagotovljena mesta za proizvodnjo (pridobivanje) gradbenega materiala. Za primer navedimo drobirski tok v Lagu pod Mangartom novembra 2000. Za načrtovane gradbene ukrepe za odpravo posledic in sanacijo razmer je posebn

zakon (Zakon, 2000) med interventnimi ukrepi v drugem členu navedel tudi: »(...) odvzem kamenja za vgradnjo v varovalne in sanacijske objekte na prizadetem območju na lokacijah, ki jih s posebnim predpisom določi minister, pristojen za okolje in prostor, po predhodno pridobljenem soglasju lokalne skupnosti«. Vzrok takega

ravnanja je bilo dejstvo, da širše na območju celotnega Zgornjega Posočja ni bilo kamnoloma, v katerem bi lahko izvajalci varovalnih in sanacijskih del pridobili gradbeni kamen za vgradnjo v načrtovane objekte. Prevelike transportne razdalje niso gospodarne in podražijo gradbena dela.

4 • PROIZVODNJA ASFALTNIH ZMESI IN BETONA

Kot je predhodno navedeno, je v asfaltnih zmesih visok delež mineralnih agregatov. Vsako nihanje v proizvodnji in porabi asfaltnih zmesi se neposredno prenese na potrebe po mineralnih agregatih. Standarde za agregate, ki so primerni za asfaltno zmes, povzema strokovna monografija ASFALT 3 (ZAS, 2016) v poglavju 13.1 in jih v tem prispevku ne bomo obravnavali.

Svetovna proizvodnja asfaltnih zmesi je med 650 in 700 milijoni ton na leto. V

preglednici 4 prikazujemo letno proizvodnjo hladnih in vročih asfaltnih zmesi v izbranih državah Evrope (Avstrija, Hrvaška, Švica) in v Sloveniji. Opazimo lahko velika nihanja v proizvedenih količinah v Sloveniji, s presežkom proizvodnje v letu 2008, ko je bilo v Sloveniji proizvedenih 2,637 milijona ton asfaltnih zmesi, kar je v evropskem merilu pomenilo 7,80 % celotne evropske proizvodnje. Sledil je strm padec na manj kot 4 % v letih 2011–2013, ko se je

začela letna proizvodnja počasi povečevati proti 1,5 milijona ton letno, kar znaša okoli 5 % evropske proizvodnje. Tudi v Evropi je proizvodnja po letu 2008 upadla (indeks 0,825 leta 2015). V letu 2015 je bilo za proizvedene asfaltno zmesi v Sloveniji (1,578 mio. ton) porabljenih 1,25 mio. ton karbonatnih in 0,27 mio. ton silikatnih zmesi kamnitih zrn – agregati so predstavljali več kot 96 % mase proizvedenih asfaltnih zmesi; veliko agregatov je bilo uvoženih v ta namen.

Iz prikazanega pregleda proizvodnje dokončanega betona v izbranih evropskih državah (preglednica 5) lahko vidimo, da v zadnjih letih proizvodnja v Evropi nazaduje in se je ustalila pri količini 0,5 m³ betona na prebivalca. Avstrija in Švica imata zelo stabilno letno proizvodnjo in nadpovprečno proizvodnjo v evropski primerjavi (Avstrija 1,2 m³ in Švica celo 1,5 m³ na prebivalca). Ocenjena količina za Slovenijo kaže na upad proizvodnje po letu 2011 ob še vedno nadpovprečni proizvodnji 1,2 m³ na prebivalca. Pri tem velja navesti dejstvo, da je v Sloveniji večina betona narejena iz drobljenega agregata in le manjši del iz rečnega prodaja.

država	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Slovenija	2,1	2,6	2,3	1,8	1,3	1,1	1,1	1,4	1,6
Avstrija	-	9,5	9,0	8,2	8,0	7,2	7,0	7,2	7,2
Hrvaška	-	4,2	3,2	2,7	2,6	2,5	2,8	2,3	2,2
Švica	-	5,3	4,4	4,3	5,4	4,8	4,8	6,5	6,5
Evropa – vsota	-	338,0	326,9	309,3	324,3	276,4	277,3	263,7	278,8
delež Slovenije	-	7,80 %	7,04 %	5,82 %	3,93 %	4,00 %	3,80 %	5,33 %	5,66 %

Preglednica 4 • Proizvodnja hladnih in vročih asfaltnih zmesi v milijonih ton v izbranih državah Evrope ((EAPA, 2017), str. 3) in v Sloveniji (Vir: podatki članov Združenja asfalterjev Slovenije – (ZAS, 2017))

Država (m ³ per capita)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Slovenija	-	-	-	2,7 (1,3)	2,6 (1,3)	2,2 (1,1)	2,5 (1,2)	2,5 (1,2)
Avstrija	11,5 (1,4)	10,3 (1,2)	10,2 (1,2)	10,6 (1,3)	10,6 (1,3)	10,5 (1,2)	10,0 (1,2)	10,5 (1,2)
Češka	9,6 (0,9)	7,3 (0,7)	6,4 (0,6)	7,5 (0,7)	6,9 (0,7)	6,5 (0,6)	6,5 (0,6)	6,5 (0,6)
Slovaška	3,7 (0,7)	2,6 (0,5)	2,4 (0,4)	2,3 (0,4)	1,9 (0,3)	1,7 (0,3)	1,6 (0,3)	1,9 (0,4)
Švica	12,1 (1,6)	12,1 (1,6)	12,1 (1,6)	12,5 (1,6)	13,0 (1,6)	12,0 (1,5)	12,0 (1,5)	12,0 (1,5)
Evropa – vsota	368,1 (0,8)	291,7 (0,7)	274,5 (0,6)	273,2 (0,6)	236,8 (0,5)	217,7 (0,5)	216,0 (0,5)	214,8 (0,5)
delež Slovenije	-	-	-	9,9 %	11,0 %	10,1 %	11,6 %	11,6 %

Opomba: Proizvodnja v Sloveniji je preračunana iz podatkov proizvodnje cementa in ob predpostavki o povprečni porabi 285 kg cementa na m³ betona (podatek velja za povprečje Evropske unije).

Preglednica 5 • Proizvodnja betona v izbranih državah Evrope ((ERMCO, 2011), (ERMCO, 2014), (ERMCO, 2016)) in v Sloveniji (Vir: podatki članov Združenja asfalterjev Slovenije – (ZAS, 2017)) – enota prikaza je milijon m³ betona (m³ na prebivalca)

5 • NAPLAVINE KOT GRADBENI MATERIAL

5.1 Izračun višine rudarskih koncesij za odzemanje peska in proda

Zakon o rudarstvu (Zakon, 2014) določa, da je osnova za izračun rudarske koncesinske velikost pridobivalnega prostora in povprečna cena enote določene vrste mineralne surovine v Republiki Sloveniji, kjer je izračun povprečne cene mineralne surovine v trdem stanju predpisana enota kubični meter mineralne surovine v raščinem stanju. Leta 2011 je Vlada Republike Slovenije sprejela prenovljeno *Uredbo o rudarski koncesnini in sredstvih za sanacijo* (Uredba, 2011) in jo dopolnila leta 2013 (Uredba, 2013). V uredbi je zapisan točkovalni sistem izračuna koncesinske, in sicer tako, da je pri površinskem izkoriščanju trdnih mineralnih surovin, kjer je pridobivalni prostor površinski kop, predvidenih 15.000 točk na hektar zemljišča (*Priloga 1: Tabela plačil za pridobivalne prostore*). K temu je treba dodati še plačilo za mineralne surovine, kjer je recimo za mineralne surovine za gradbeništvo predvideno plačilo v višini 30 % za mivko, pesek in prod ter 20 % za grušč in drobljenec, kar znese v točkah na 1 m³ surovine za mivko 324 točk, za pesek 63 točk, za prod 50 točk ter za grušč in drobljenec 30 točk (*Priloga 2: Tabela plačil za mineralne surovine*). Primer plačila koncesinske za odzem 100.000 m³ proda, in sicer kot 1 m debele raščene plasti na površini 10 ha (100.000 m²): 10 ha x 15.000 točk/ha + 100.000 m³ x 50 točk/m³ = 5.150.000 točk. Vrednost točke je trenutno s predpisom postavljena na 0,009 EUR, kar bi v hipotetičnem primeru dalo letno koncesnino v višini 46.350 EUR. Preračunana vrednost rudarske koncesinske je 0,4635 EUR/m³ odzetelega proda. Ker je vrednost točk za pesek nekoliko višja na m³ (63 namesto 50) kot pri prod, bi v hipotetičnem primeru odzema 100.000 m³ peska bila potem rudarska koncesnina izračunana v višini 0,584 EUR/m³. Če bi na enako velikem pridobivalnem prostoru odzeli 10-krat manj surovin, torej le 10.000 m³ proda ali peska, bi se višina rudarske koncesije na enoto povišala na 0,585 EUR/m³ za prod in na 0,7371 EUR/m³ za pesek – v obeh primerih gre za povišanje za približno 26 %. Ob pripravi uredbe o plačevanju rudarskih koncesin (Uredba, 2011) je v gradivu Vlade RS z dne 24. 11. 2011 navedenih 238 koncesionarjev v rudarstvu, ki so vsi skupaj v proračun RS za leto 2009 plačali 1,25 milijona EUR, prav toliko tudi v proračune lokalnih skupnosti (delitev koncesinske v razmerju 50 : 50).

Zakon o rudarstvu (Zakon, 2014) v 1. členu določa, da določila tega zakona ne veljajo za: »(...) raziskovanje in izkoriščanje mivke, peska in proda iz vodnih in priobalnih zemljišč«. V 2. členu je zapisana definicija: »3.2.4. Površinski kop je rudnik s površinskim izkoriščanjem mineralne surovine«, iz česar sledi, da kamnolomi, peskokopi in gramoznice predstavljajo površinsko pridobivanje mineralnih surovin po Zakonu o rudarstvu. Pridobivanje mineralnih surovin, kot so mivka, pesek in prod (gramoz) iz vodnih in priobalnih zemljišč ureja Zakon o vodah (Zakon, 2002), ki s predpisanimi pogoji dopušča splošno uporabo vode, ki je brezplačna. Med posebnimi uporabami voda ima prednost posebna uporaba vode za oskrbo s pitno vodo. Za posebno uporabo, med katero se uvršča tudi odzem naplavin, je treba pridobiti vodno pravico na podlagi vodnega dovoljenja ali koncesije. Vodna pravica se vpiše v vodno knjigo. Za odzem naplavin zakonodaja predvideva možnost pridobitve vodne pravice s podelitvijo koncesije.

5.2 Načrti upravljanja voda in odzemanje naplavin

Vpogled v *Načrt upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje 2016–2021 (Načrt, 2016a)* in v *Načrt upravljanja voda na vodnem območju Jadranskega morja za obdobje 2016–2021 (Načrt, 2016b)* v povezavi z odvzemi naplavin pove:

- Evidentirana sta 2 odvzema naplavin na vodnem območju Donave: Zgornja Sava – prodni zadrževalnik Majdičev Log (v mestu Kranj), Srednja Sava – Sava 2 (Hotič).
- Evidentiranih je 7 odvzemov naplavin na vodnem območju Jadranskega morja: Soča – občina Tolmin, Soča pod Idrskim, Soča - Kamno, Soča pod Volarji, Soča pri Žvikarju, Bača – občina Tolmin, Tolminka – občina Tolmin.
- Ugotovljeno je, da so vsi odvzemi locirani na rekah s prispevno površino, večjo od 10 km², zato so v skladu z lastnimi merili analizirali vse aktivne lokacije odvzemov.
- Za vsako vodno telo površinske vode (VTPV) so izračunali dolžinski delež struge s tovrstno obremenitvijo in rezultat analiz prikazali na publikacijski karti 4.7 *Hidrološke obremenitve površinskih voda – mesta izvajanja vodnih pravic za odzem naplavin*.

- S primerjavo ocenjenih podatkov o vrstah in jakostih obremenitev z oceno stanja vodnih teles površinskih voda so sklenili, da ni mogoče zanesljivo opredeliti pomembnih obremenitev zaradi odzemanja naplavin (op.: ker delež struge z odvzemom naplavin ni večji od 10 % dolžine vodotoka).

Resorno ministrstvo za področje voda, Ministrstvo za okolje in prostor RS (MOP), se je še pred pripravo načrtov upravljanja voda (NUV II) za obdobje 2015–2021 zavedelo, da ureditev načina odzemanja naplavin v načrtih upravljanja voda (NUV I) za obdobje 2011–2015 ni rešena optimalno. V študiji *Pregled pomembnih zadev upravljanja voda na vodnih območjih Donave in Jadranskega morja* (MOP, 2014) izdelovalci ugotavljajo, da so bili v programu ukrepov za NUV I zapisani tudi ukrepi, kot so:

1. Odzem naplavin zgolj na osnovi študije prodne bilance in na mestih, kjer odzem ne ogroža stanja vrst in habitatnih tipov.
2. Dopolnilni ukrepi za preprečitev poslabšanja stanja (t. i. DUPPS) in drugi dopolnilni ukrepi (DDU) so:

- Priprava predpisa o načinu in pogojih odvzema naplavin (DUPPS9.3) – ukrep zajema izdelavo predpisa o načinu in pogojih odvzema naplavin pri neposrednem koncesijskem odvzemu naplavin in pri odvzemu naplavin ter izhaja kot dodatna obveznost iz koncesijskega razmerja za proizvodnjo električne energije oz. za vzdrževanje vodotokov. Gre za nadomestitev *Strokovnega navodila o načinu odzemanja mivke, peska, proda in kamna* (Navodilo, 1984).
- Vzpostavitev in izvajanje monitoringa prodonosnosti (DDU16) – ukrep na podlagi preteklih meritev in analiz prodonosnosti ter kontinuiranega spremljanja nalaga ugotovitev, ali so struge vodotokov v dinamičnem ravnovesju oziroma ali se zaplavljujejo ali poglabljajo. Na podlagi ugotovitev bo možna opredelitev nadaljnjih ukrepov. Rezultati bodo pomemben podatek tudi pri presoji vlog za pridobitev vodne pravice za odvzeme naplavin.

Lahko samo počakamo, da se zgoraj navedene strokovne ugotovitve uresničijo v času izvajanja NUV II (2016–2021), saj se v času izvajanja NUV I (2011–2015) žal niso uresničile.

5.3 Podeljevanje koncesij za odzemanje naplavin

Odzemanje naplavin iz slovenskih rek se je izvajalo kot gospodarska dejavnost že v preteklosti v skladu z vsakokratno veljavno

vodnogospodarsko zakonodajo – npr. na reki Soči (Uredba, 2001). Danes veljavni Zakon o vodah (Zakon, 2002) je v 72. členu (odvzema-nje naplavin) določil:

- (1) *Odvzemanje naplavin je dovoljeno le v obsegu in na način, ki bistveno ne spreminja naravnih procesov, ne ruši naravnega ravnovesja vodnih in obvodnih ekosistemov ali ne pospešuje škodljivega delovanja voda, na podlagi podrobnejšega načrta iz 60. člena tega zakona.*
- (2) *Naplavine se lahko odvezajo v okviru izvajanja javne službe vzdrževanja vodnih in priobalnih zemljišč ali v okviru posebne rabe vodnega ali morskoga dobrega iz vodnih objektov in naprav, namenjenih zadrževanju naplavin, ali v območij, namenjenih odvzemu naplavin.*
- (3) *Izvajalec javne službe iz prejšnjega odstavka ne plačuje vodnega povračila za odvzete naplavine, če se te uporabljajo za gradnjo in vzdrževanje vodne infrastrukture.*
- (4) *Če izvajalec javne službe naplavin, ki jih je odvezel sam ali pridobil skladno s 50. členom tega zakona, ne uporabi za opravljanje javne službe, lahko naplavine proda, razliko med prihodki od prodaje in stroški pridobitve naplavin pa nakaže v Sklad za vode.*

Leta 2008 je sprememba Zakona o vodah (ZV-1) oz. ZV-1A spremenila 72. člen tako, da se je glasil (Zakon, 2008):

- (1) *Odvzemanje naplavin je dovoljeno le v obsegu in na način, ki bistveno ne spreminja naravnih procesov, ne ruši naravnega ravnovesja vodnih in obvodnih ekosistemov ali ne pospešuje škodljivega delovanja voda.*
- (2) *Naplavine se lahko odvezajo zaradi urejanja voda v okviru:*
 - *izvajanja javne službe vzdrževanja vodnih in priobalnih zemljišč,*
 - *posebne rabe vodnega ali morskoga dobrega iz vodnih objektov in naprav, namenjenih zadrževanju naplavin, ali*
 - *z območij, namenjenih odvzemanju naplavin, v okviru posebne rabe iz 5. točke prvega odstavka 136. člena tega zakona.*
- (3) *Izvajalec javne službe iz prejšnjega odstavka pripravi letni program odvzemanja in uporabe naplavin, ki ga potrdi ministrstvo. Odstranjevanje plavja in odvzemanje naplavin je treba pre-dnostno in redno zagotoviti na prodnih zadrževalnikih.*

(4) *Za del naplavin, ki se uporabi za vgradnjo v vodno infrastrukturo, se ne plačuje vodno povračilo.*

(5) *Izvajalec javne službe iz tretjega odstavka tega člena mora del naplavin, ki jih odvzame na podlagi potrjenega programa iz tretjega odstavka tega člena, odstopiti izvajalcu druge državne ali lokalne javne službe na njegovo zahtevo za namen izvajanja njegove javne službe proti plačilu stroškov odvzema naplavin. Preostale naplavine lahko izvajalec javne službe iz tega odstavka uporabi za lastne potrebe, jih proda ali v skladu s predpisi in na lastne stroške poskrbi za njihovo odložitev. Za prodane naplavine mora izvajalec javne službe iz tega odstavka plačati vodno povračilo in plačilo za vodno pravico v višini in na način, ki velja za plačilo za vodno pravico za odvzem naplavin.*

Danes veljavni Zakon o vodah kljub spremembam po letu 2002 še vedno v svojem 136. členu določa, da je treba pridobiti koncesijo za uporabo vode za odvzem naplavin, razen če gre za opravljanje javne službe po tem zakonu. Koncesijo lahko pridobi fizična ali pravna oseba, ki izpolnjuje predpisane pogoje. Koncesija se podeljuje za določen čas, vendar ne več kot za 50 let. Koncesija se lahko na vlogo imetnika podaljša, če so izpolnjeni vsi pogoji, ki so ob izteku koncesije predpisani za njeno pridobitev. Koncesijo v imenu koncedenta podeljuje vlada skladno z določbami Zakona o vodah.

Po sprejetju Zakona o vodah (Zakon, 2002) je skladno z zakonom v dveh letih sledilo sprejemanje uredb Vlade Republike Slovenije, ki so urejale koncesije za odvzemanje naplavin na točno določenih odsekih slovenskih vodotokov, in sicer:

- v strugi reke Save Dolinke na območju občine Kranjska Gora (Uredba, 2003a);
- iz lovilnih jam na rekah Soči, Tolminki in Bači (Uredba, 2003b);
- iz reke Save na območju občine Litija na odvzemnih mestih, za katere je bilo pridobljeno pravnomočno uporabno dovoljenje (Uredba, 2004b);
- iz rek Save in Završnice iz zadrževalnikov proda na vplivnem območju HE Moste, HE Završnica in HE Mavčiče (Uredba, 2004c);
- iz prodnih zadrževalnikov na reki Savi Dolinki in reki Završnici (Uredba, 2004d).

Leta 2010 so sledile uredbe o dopolnitvah osnovnih uredb o koncesiji za odvzem na-

plavin za večino mest z namenom prvega podaljšanja koncesije za imetnike te vodne pravice na osnovi njihove vloge (Uredba, 2010a; b; c; d) in leta 2016 še za odvzem naplavin iz prodnih zadrževalnikov na reki Savi Dolinki in reki Završnici (Uredba, 2016). Večletni pregled odvzetih količin naplavin v slovenskih vodotokih je prikazan v preglednici 6. Poročilo (IzVRS, 2015) ugotavlja, da so na vodnem območju Donave (Sava, Drava, Mura s pritoki) količine letno odvzetih naplavin v desetletju močno narasle: z 77.000 m³ (2002) na 345.000 m³ (2012), število zavezancev za plačilo vodnega povračila pa s 5 na 9. Na vodnem območju Jadranskega morja (Soča s pritoki) je odvzem močno naraščal do leta 2007 (več kot 350.000 m³) in potem močno upadel (na okoli 50.000 m³ letno). Vzrok za ta padec je predvsem v zmanjšani aktivnosti gradbeništva.

Koncesijske pogodbe za odvzem oz. izkoriščanje naplavin iz strug vodotokov obsegajo (IzVRS, 2014), str. 46:

- odvzem in skladiščenje naplavin,
- pripravo frakcij peska iz naplavin za gradbene namene in dajanje v promet posameznih frakcij peska,
- urejanje in vzdrževanje objektov za dostop oziroma dovoz do mesta odvzema naplavin ter urejanje in vzdrževanje vodnih objektov na celotnem območju koncesije.

Količina v koledarskem letu odvzetih naplavin na posameznem delu vodnega telesa reke, kjer se izvaja odvzem naplavin, ne sme presegati količin, ki so določene v načrtu izvajanja koncesije za odvzem naplavin. Količina naplavin za odvzem in čas izvajanja koncesije se določita v aneksu h koncesijski pogodbi, ki se sklene za obdobje koledarskega leta na podlagi načrta izvajanja koncesije za odvzem naplavin, ki ga do 31. decembra tekočega leta za naslednje leto pripravi ministrstvo, pristojno za vode. Letni načrt izvajanja koncesije za odvzem naplavin za naslednje leto mora biti usklajen z naravovarstvenimi smernicami, izdanimi po zakonu, ki ureja ohranjanje narave, in mnenjem po zakonu, ki ureja sladkovodno ribištvo. Tehnični nadzor nad izvajanjem načrta in načina odvzema naplavin opravlja ministrstvo, pristojno za vode (IzVRS, 2014), str. 69.

Podrobnejši pregled veljavne zakonodaje s področja okolja, kamor se pod rubriko vodne pravice uvrščajo tudi koncesije za odvzem naplavin, je mogoče dobiti na spletnih straneh Ministrstva za okolje in prostor RS (MOP, 2017).

Vodna pravica	Nacin porabe		vodotok	Zavezanec	2011 (m ³)	2012 (m ³)	2013 (m ³)	2014 (m ³)	2105 (m ³)	Napoved odvzema (m ³) in leto odvzema
Koncesija ali dovoljenje										
35503-31/2010	Izdelovanje betonskih elementov – Mešič Slavko, s. p.	Mura			600	650	650	650	0	ni napovedi
	VGP Drava Ptuj, d. o. o.	območje koncesije			0	0	3.055	0	0	ni napovedi
	VGP Novo mesto, d. d.	območje koncesije			650	9.200	8.500	0	7.537	ni napovedi
					650	1.200	500	0	7.537	
	INFRA, d. o. o.	območje koncesije			266.434	229.161	10.439	10.061	15.962	ni napovedi
					250.981	225.050	7.034	7.981	10.000	
	Hidrotehnik, d. d.	območje koncesije			23.546	17.555	16.833	12.611	39.148	ni napovedi
					23.546	13.555	16.833	12.611	39.148	
35503-31/2010	PGM Hafič, d. o. o.	Sava – Hafič			23.003	23.768	29.730	25.770	0	2 x 15.000 (2017)
					225	0	0	0	0	
	Savske elektrarne Ljubljana	Završnica – lovlina jama			0	0	0	0	0	ni napovedi
35503-30/2010	Savske elektrarne Ljubljana	Sava – Majdičev Log			0	30.225	38.077	0	0	40.000 (2016)
					91.037	34.704	23.255	19.517	49.003	ni napovedi
	VGP, d. d.	območje koncesije			72.423	23.123	15.384	11.238	34.903	
35503-32/2010	Kolektor CGP, d. d. (CPNG)	Soča – Doline			37.847	24.651	41.538	46.573	0	30.000 (2017)
35503-25/2010	Vladimir Jeklin, s. p.	Soča – pod Kamnim			2.150	2.200	2.500	4.000	4.000	1.000 (2017)
35503-24/2010	Avtoprevoznitvo Robert Žagar, s. p.	Soča – pri Žvikarju			4.700	10.000	6.600	9.746	4.080	5.000 (2017)
					2.500	6.000	0	0	0	
01406-7/2010	Avtoprevoznitvo Damjan Petrica, s. p.	Soča – pod Idrskim			1.707	4.400	2.122	1.248	1.050	4.000 (2017)
35503-29/2010	Vladimir Petrica				2.830	270				
					496	0	0	0	0	ni napovedi
35503-28/2010	Soške elektrarne Nova Gorica	Tolminka – pri ČN			15.242	8.232	20.886	20.766	17.374	25.000 (2017)
35503-26/2010	Soške elektrarne Nova Gorica	Bača – Bača pri Modreju			12.133	7.048	8.547	5.471	10.306	20.000 (2017)
35503-27/2010	ZUPROM, d. o. o.	Soča – Volarje			2.300	1.740	1.750	1.780	2.100	1.000 (2017)
46501-37/01	Soške elektrarne Nova Gorica	Soča – energetska raba			17.392	4.627	6.761	5.452	32.448	ni napovedi
	Slovenija	vse lokacije odzemov skupaj			501.571	408.431	221.243	163.645	183.008	40.000 (2016)
					350.821	268.928	39.751	31.830	91.588	116.000 (2017)

Opomba: • Podčrtane in okrepjene so prikazane odvzete količine naplavin, ki so se uporabile za opravljanje vodarskih del koncesionarjev (javna služba) – zanje vodna povračila niso bila plačana.

• Napoved odvzema je povzeta po Atlasu okolja (2017) in ni na voljo za vse lokacije in vse vrste odvzema.

Preglednica 6 • Letne količine odvzetih naplavin v slovenskih vodotokih po Zakonu o vodah, 2002 (Vir: Atlas okolja in MOP, 2017)

5.4 Višina vodnega povračila državi za odvzete naplavine

Način izračuna koncesnin za odvzem naplavin v izdanih koncesijskih aktih je bil, kot sledi: 10 % povprečne tržne vrednosti 1 m³ frakcije peska velikosti 0/32 milimetra x letna količina naplavin. Delitev koncesnine med državo in občino je predpisano v razmerju 50 : 50 ali 40 : 60, izbira ni jasna. Imetnik vodne pravice mora v skladu s 124. členom ZV-1 za uporabo naplavin plačevati vodno povračilo, sorazmerno obsegu vodne pravice. Način zaračunavanja in plačevanja povračila za odvzem naplavin ureja posebna *Uredba o vodnih povračilih* (Uredba, 2002), dopolnjena leta 2007 (Uredba, 2007). V skladu s 5. členom te uredbe se višina vodnega povračila določa na podlagi letnega obsega uporabe naplavin, ki jo določa vodna pravica. Vodno povračilo se izračuna kot zmožek cene za osnovo vodnega povračila in podatkov o višini osnove, ki jih posreduje zavezanec. Osnova za obračun vodnega povračila je v skladu s 6. členom *Uredbe o vodnih povračilih* za uporabo naplavin količina odvzetih naplavin, izražena v kubičnih metrih. Vlada RS je s posebnim *Pravilnikom o klasifikaciji vrst posebne rabe vode in naplavin* (Pravilnik, 2015) določila v prilogi k pravilniku klasifikacijo vrst posebne porabe

vode in uporabe naplavin ter merske enote, s katerimi se izrazi obseg posebne porabe vode ali uporabe naplavin. Za odvzeme naplavin (točka 14. v prilogi k pravilniku) je določena merska enota kubični meter (m³) kot že v prej navedeni *Uredbi o vodnih povračilih*.

Vlada RS z vsakoletnim *Sklepom o določitvi cene za osnove vodnih povračil za rabo vode, naplavin in vodnih zemljišč* določi cene vodnih povračil za uporabo naplavin, nazadnje je to storila za leto 2017 (Sklep, 2016). V prilogi k temu sklepu so pod točko 14. *Odvzem naplavin* navedene naslednje cene: odvzem proda (3,1 EUR/m³), odvzem mivke (13,9 EUR/m³) in odvzem proda in mivke brez razmejivne količin (13,9 EUR/m³). Tretja kategorija se je uvedla šele leta 2016, ceni za prvi dve kategoriji sta nespremenjeni od leta 2013, leta 2011 in 2012 je bila cena 2,7 EUR/m³ in 12,1 EUR/m³, leta 2010 še 2,4562 EUR/m³ in 11,0166 EUR/m³ ter v letih 2007–2009 (po uvedbi evrske valute v Sloveniji) samo 1,2281 EUR/m³ odvzetega proda in 5,5083 EUR/m³ odvzete mivke. Če privzamemo, da mineralni agregat predstavlja med 60% in 80 % pripravljene betona, je cena vodnega povračila, ki ga koncesionar plača državi, še vedno relativno nizka. Seveda je plačilo vodnega povračila odvisno od koncesionirane

prostornine odzema naplavin, ki se v Sloveniji značilno vrti za eno odzemno (koncesionirano) mesto tipično med 1.000 m³ do nekaj 10.000 m³ letno (preglednica 6). Iz poročila (IzVRS, 2015), str. 213–217, o ekonomski analizi obremenjevanja voda sledi, da se je v obdobju 2005–2012 na vodnem območju Donave plačevalo vodno povračilo za odvzem naplavin okoli 40.000 EUR letno (ali manj) v sektorju industrije in občasno okoli 30.000 EUR letno (2010, 2012) v sektorju energetike. Na vodnem območju Jadranskega morja je bila višina vodnih povračil letno za sektor industrije praktično zanemarljiva (le okoli 3.000 EUR v letu 2005), več je bilo vodnih povračil v sektorju energetike (Soške elektrarne), in sicer med okoli 25.000 EUR (2006, 2007, 2008, 2011) in 80.000 EUR (leto 2009).

Cena 1 m³ betona brez prevoza in vgradnje (franco betonarna) je v razponu med ca. 50 do 100 EUR, cena 1 m³ predelane (presejane in pakirane) odvzete rečne naplavine pa je v primeru odzema pri Hotiču na reki Savi celo dražja: hotiška mivka, pesek ali prod, pakiran v vreče po 900 kg, je velikostnega reda 50 do 100 EUR/1000kg (<http://pesek.si/>). Seveda se tak agregat ne uporablja za pripravo betonov, ki so v Sloveniji večinoma pripravljene iz drobljenih agregatov.

6 • ZAKLJUČKI

Na osnovi predstavljenih dejstev lahko zaključimo:

- Pridobivanje in proizvodnja gradbenih materialov, kot so mineralni agregati (pesek, prod, gramoz, kamen), cement, beton in asfalt, sta pomembna porabnika primarne energije in imata visok ogljični odtis, zato je v gradbeništvu pomembno stremeti h krožnemu gospodarjenju, premišljeni uporabi naravnih virov in večanju deleža recikliranih materialov.
- Primerjava proizvodnje v Sloveniji s proizvodnjo v Evropi pokaže, da ima Slovenija največji delež v proizvodnji betona (več kot 11 %), sledijo mu asfaltna zmes in mineralni agregati (več kot 5 %), najmanjši delež v Evropi ima Slovenija pri proizvodnji cementa (cementnega klinkerja) (manj kot 3 %).
- Cena vodnega povračila za m³ odvzetih naplavin, ki jo plača koncesionar državi in lokalni skupnosti, je predvsem prirodu (gramozu) in pesku prenizka (3,11 EUR/

m³), čeprav se je med letoma 2002 in 2014 povišala za trikrat (najbolj v letu 2010; (IzVRS, 2015), str. 181–186) in je precej višja, kot je rudarska koncesnina za m³ pridobljenega proda ali peska v površinskem kopu (dobrih 0,5 EUR/m³). Če ceno agregata primerjamo s ceno betona, ki običajno presega 50 EUR/m³, je delež agregata v ceni prenizek glede na prostorninski delež tega materiala v betonu.

- Delež rečnih sedimentov, ki se odvezamo v rečnem okolju kot mineralni agregati za proizvodnjo gradbenega materiala, ni zanemarljiv: v obdobju 2011–2015 je bilo odvzetih 1,5 mio. m³ rečnih naplavin ob celotni proizvodnji peska in proda 11,5 mio. m³, kar je 13 %. Najbolj produktivno leto 2011 z več kot 0,5 mio. m³ odvzetih naplavin je dalo v tistem letu več kot 26 % vseh proizvedenih mineralnih agregatov.
- Odzemanje naplavin je treba postaviti na sodobne strokovne podlage. Posodobiti je

treba *Strokovno navodilo o načinu odzemanja mivke, peska, proda in kamna* iz leta 1984 (Navodilo, 1984). Ta dokument se še vedno uporablja pri strokovnih izpiti v Inženirski zbornici za odgovorno projektiranje po Zakonu o graditvi objektov. Pri novih smernicah naj se upoštevajo sodobne geodetske tehnike (terestrična fotogrametrija, terestrično lasersko skeniranje, uporaba zračnega skeniranja z droni ...).

- Podeljevanje koncesij za odzemanje naplavin iz vodotokov (na prodiščih, v lovilih jamah) naj temelji na prodnih bilancah vodotokov in v tem smislu naj se posodobijo vsebine načrtov upravljanja voda (NUV) v Sloveniji. Ocena okoljskega vpliva odzemanja naplavin v vodotokih, ki temelji na deležu dolžine struge, na katerem se izvaja odzem, je strokovno neustrezen, kot je že ugotovilo resorno ministrstvo (MOP, 2014).
- V okviru prenove hidrološkega monitoringa (projekt BOBER), ki ga izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje, naj se smiselno umesti spremljanje premeščanja rinjenih plavin – monitoringu prodonosnosti (s pomočjo analize podatkov ADCP,

meritvami zaprojevanja in zamuljevanja akumulacij, zbiranjem in analizo podatkov o odvzemih naplavin), kar bi skupaj s posodobljeno analizo sproščanja in odpavljanja zemljin v površinskih delih slovenskih vodotokov podalo posodobljeno oceno prodne bilance slovenskih vodotokov. Odvzemanje naplavin po količini in zrnivosti naj bo nujno povezano z oceno prodne bilance in

nadzorovano od države, da bodo dovoljene količine odvzemov tudi res spoštovane in vodna povračila res realna.

- Analiza odvzetih količin naplavin kaže na velika nihanja med leti, kjer je največji vpliv zagotovo povečan ali zmanjšan dotok plavin iz zaledij (povirij) v hidrološko mokrih in suhih letih. Nihanja med leti so hidrološko pogojena in očitna. Usklajenost

med odvzemi naplavin in urejanjem vodotokov je nujna, a v načrtih upravljanja voda na vodnem območju reke Donave in rek Jadranskega morja tega ni zaslediti. Morda tudi zato ni znano, da bi inšpektor, pristojen za vode, v skladu s svojimi pooblastili, do danes že kdaj prepovedal odvzem naplavin iz površinskih voda, ker so se te odvezemale v nasprotju z Zakonom o vodah.

7 • ZAHVALA

Članek je posvečen letošnji včlanitvi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG) v strokovno združenje Zveza asfalterjev Slovenije (ZAS; [http://www.zdruzenje-](http://www.zdruzenje-zas.si/)

[je-zas.si/](http://www.zas.si/)). UL FGG je že članica strokovnega Združenja za beton Slovenije (ZBS; <http://www.zabeton.si/>). Analiza je bila sofinancirana iz raziskovalnega programa P2-0180 »Vodarstvo

in geotehnika: orodja in metode za analize in simulacije procesov ter razvoj tehnologij«, ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS).

8 • LITERATURA

Atlas okolja, Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje, http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso, 2017.
Barborič, B., Mikoš, M., Zorn, M. Prostorske značilnosti rezultatov masovnega zajema 3R-podatkov hidrografije in dejanske rabe vodnih zemljišč v Sloveniji, Geodetski vestnik (poslano v objavo), 2017.

BGS, British Geological Survey, Natural Environment Research Council (NERC), World Mineral Production 2011–2015. Keyworth: Nottingham, str. 87, <https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=3120>, 2017.

CEMBUREAU – The European Cement Association, The role of CEMENT in the 2050 LOW CARBON ECONOMY, Brussels, str. 64, https://cem-bureau.eu/media/1500/cembureau_2050roadmap_lowcarboneconomy_2013-09-01.pdf, 2013.

Dimkovski, T., Pirc, C., Kemperle, C., Rokavec, D., Hötzl, M., Jurečič, M., Nahajališča nekovinskih mineralnih surovin v Sloveniji – Površinski kopi, II. del, Mineralne surovine za potrebe gradbeništva, Ljubljana: Geološki zavod Slovenije. Velenje: RGP – Rudarski gradbeni program, str. 226, 2012.

EAPA, European Asphalt Pavement Association, Asphalt in figures 2015. Version 23-01-2017, Brussels: str. 9, http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2016/AIF_2015_v6.pdf, 2017.

ERMCO – European Ready Mixed Concrete Organization, Ready-mixed concrete industry statistics 2010, Brussels, str. 17, <http://www.ermco.eu/publications/statistics/>, 2011.

ERMCO – European Ready Mixed Concrete Organization, Ready-mixed concrete industry statistics 2013, Brussels, str. 17, <http://www.ermco.eu/publications/statistics/>, 2014.

ERMCO – European Ready Mixed Concrete Organization, Ready-mixed concrete industry statistics 2015, Brussels, str. 17, <http://www.ermco.eu/publications/statistics/>, 2016.

Gligič, D., Zgodovinski pregled proizvodnje cementa in uporabe betona v Sloveniji, diplomska naloga št. 429, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, str. 102, http://drugg.fgg.uni-lj.si/1899/1/GRV_0429_Gligic.pdf, 2011.

IzVRS, Inštitut za vode Republike Slovenije, Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije, Programski sklop: I. Skupna EU politika do voda, Priprava in zagotovitev strokovnih podlag za izvajanje vodne direktive (2000/60/ES) – Integracija vsebin, vezanih na rabo voda, Ljubljana, str. 180, http://gis.arso.gov.si/related/evode/wfd/2014_1_01_01_9.pdf, 2014.

IzVRS, Inštitut za vode Republike Slovenije, Letno poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2013, Naloga: I/1/1/4.1 Zagotovitev popolnega povračila okoljskih stroškov in stroškov vode kot naravnega vira (3ED) – 1. in 2. del, Ljubljana, 2013.

Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., Concrete: Microstructure, Properties, and Materials, 4th Ed. New York: McGraw-Hill, str. 704, 2014.

- Mikoš, M., Fluvial abrasion of gravel sediments – Field investigation of the River Alpine Rhine – experimental study in the abrasion set-up and mathematical modeling of the laboratory processes. *Mitteilungen der VAW ETHZ* 123: str. 322, <https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/vaw/vaw-dam/documents/das-institut/mitteilungen/1990-1999/123.pdf>, 1993a.
- Mikoš, M., Fluvialna abrazija prodnatih plavin, *Acta hydrotechnica* 11(10), str. 107, 1993b.
- Mikoš, M., Fluvialna abrazija v prodonosnih vodotokih – I. del: Terensko raziskovanje procesov in njihov matematični opis. *Gradbeni vestnik* 43(3/4/5): 68–76, 1994a.
- Mikoš, M., Fluvialna abrazija v prodonosnih vodotokih – II. del: Laboratorijsko raziskovanje procesov in njihov matematični opis. *Gradbeni vestnik* 43(6/7/8): 136–144, 1994b.
- Mitchell, C. J., Aggregate Carbon Demand: The hunt for low-carbon aggregate. V: Hunger, E., Walton, G. (Eds.) *Proceedings of the 16th Extractive Industry Geology Conference*, EIG Conferences Ltd, pp. 93–99, <https://eigconferences.squarespace.com/s/Mitchell-93-99.pdf>, 2012.
- Monteiro, P. J. M., Miller, S. A., Horvath, A., Towards sustainable concrete. *Nature Materials* 16(7): 698–699, <https://www.nature.com/nmat/journal/v16/n7/full/nmat4930.html>, 2017.
- MOP, Ministrstvo za okolje in prostor, Pregled stanja biotske raznovrstnosti in krajinske pestrosti v Sloveniji, Hlad, B. (ur.), Skoberne, P. (ur.). Ljubljana, ARSO, str. 224, <http://www.arso.gov.si/narava/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/>, 2011.
- MOP, Ministrstvo za okolje in prostor, Pregled pomembnih zadev upravljanja voda na vodnih območjih Donave in Jadranskega morja, Ljubljana, str. 132, http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/nuv_II/PZUV.pdf, 2014.
- MOP, Ministrstvo za okolje in prostor, Okolje – veljavni predpisi, http://www.mop.gov.si/si/zakonodaja_in_dokumenti/veljavni_predpisi/okolje/zakon_o_vodah/, 2017.
- Načrt upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje 2016–2021, Ljubljana, Vlada Republike Slovenije, str. 287, http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/nuv_II/NUV_VOD.pdf, 2016a.
- Načrt upravljanja voda na vodnem območju Jadranskega morja za obdobje 2016–2021, Ljubljana, Vlada Republike Slovenije, str. 258, http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/nuv_II/NUV_VOJM.pdf, 2016b.
- Natura 2000 v Sloveniji, <http://www.natura2000.si/index.php?id=45>, 2017.
- Navodilo, Strokovno navodila o načinu odzemanja mivke, peska, prod in kamna. Uradni list SRS 27, 1984.
- Pravilnik o klasifikaciji vrst posebne rabe vode in naplavin, Uradni list RS 24: 2678, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/121266>, 2015.
- Program, Državni program gospodarjenja z mineralnimi surovinami – splošni načrt (DPGMN-SN), Ljubljana, Vlada Republike Slovenije, http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/dp_min_sur/dp_spl_nacrt.pdf, 9. 4. 2009.
- Research and Markets, *The Global Construction Aggregates Market - Key Trends and Opportunities to 2020*, Dublin, 116 str., 2016.
- Sklep o določitvi cene za osnove vodnih povračil za rabo vode, naplavin in vodnih zemljišč za leto 2017, Uradni list RS 84: 12664, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/128855>, 2016.
- SURS, Statistični urad Republike Slovenije, STATOPIS Statistični pregled Slovenije 2016, Ljubljana, str. 94, <http://www.stat.si/StatWeb/File/DocSysFile/9199/statopis-2016.pdf>, 2016.
- Sternberg, H., Untersuchungen über Längen- und Querprofil geschiebeführender Flüsse. *Zeitschrift für Bauwesen* 25: 483–506, 1875.
- Špes, M., Krevs, M., Lampič, B., Mrak, I., Ogrin, M., Plut, D., Vintar Mally, K., Vovk Korže, A., Sonaravna sanacija okoljskih bremen kot trajnostno razvojna priložnost Slovenije, Degradirana območja: (Ciljni raziskovalni program (CRP) »Konkurenčnost Slovenije 2006–2013«) : zaključno poročilo, Ljubljana, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani, str. 66, 2012.
- TP02, Degradirana območja zaradi opuščene dejavnosti – Kazalci okolja v Sloveniji. Ljubljana: ARSO, MOP, http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=508, 2017.
- UIRS, Urbanistični inštitut Republike Slovenije, PROSTOR SI 2020, Zasnova prostorskega razvoja območij mineralnih surovin – končno recenzirano poročilo, Ljubljana, Št. UI naloge 2113, str. 70, http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/prostorski_razvoj/prostor2020/4_5_dokument.pdf, 2002.
- Uredba o koncesijah za gospodarsko izkoriščanje naplavin iz struge reke Soče, Uradni list RS 99, 10120, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/33649>, 2001.
- Uredba o vodnih povračilih, Uradni list RS 103, 11607, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2002-01-5136?sop=2002-01-5136>, 2002.

- Uredba o koncesiji za odvzem naplavin v strugi reke Save Dolinke na območju občine Kranjska Gora, Uradni list RS 67, 10383, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/44251>, 2003a.
- Uredba o koncesiji za odvzem naplavin iz lovilnih jam na reki Soči, Tolminki in Bači, Uradni list RS 67, 10385, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/44252>, 2003b.
- Uredba o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000), Uradni list RS 48, 6409, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2004-01-2277?sop=2004-01-2277>, 2004a.
- Uredba o koncesiji za odvzem naplavin iz reke Save na območju Občine Litija na odvzemnih mestih, za katere je bilo pridobljeno pravnomočno uporabno dovoljenje, Uradni list RS 74, 8964, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/50099>, 2004b.
- Uredba o koncesiji za odvzem naplavin iz reke Save in Završnice iz zadrževalnikov prodna na vplivnem območju HE Moste, HE Završnica in HE Mavčiče, Uradni list RS 83, 10082, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/50551>, 2004c.
- Uredba o koncesijah za odvzem naplavin iz prodnih zadrževalnikov na reki Savi Dolinki in reki Završnici, Uradni list RS 83, 10084, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/50552>, 2004d.
- Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o vodnih povračilih, Uradni list RS 122, 17858, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2007-01-6173?sop=2007-01-6173>, 2007.
- Uredba o dopolnitvah Uredbe o koncesiji za odvzem naplavin iz reke Save in Završnice iz zadrževalnikov prodna na vplivnem območju HE Moste, HE Završnica in HE Mavčiče, Uradni list RS 102, 15890, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/101236>, 2010a.
- Uredba o dopolnitvah Uredbe o koncesiji za odvzem naplavin iz reke Save na območju Občine Litija na odvzemnih mestih, za katere je bilo pridobljeno pravnomočno uporabno dovoljenje, Uradni list RS 102, 15891, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/101237>, 2010b.
- Uredba o spremembah Uredbe o koncesiji za odvzem naplavin iz lovilnih jam na reki Soči, Tolminki in Bači, Uradni list RS 102, 15891, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/101238>, 2010c.
- Uredba o spremembah Uredbe o koncesijah za gospodarsko izkoriščanje naplavin iz struge reke Soče, Uradni list RS 102, 15892, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/101239>, 2010d.
- Uredba o rudarski koncesnini in sredstvih za sanacijo, Uradni list RS 91, 11854, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2011-01-3915?sop=2011-01-3915>, 2011.
- Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o rudarski koncesnini in sredstvih za sanacijo, Uradni list RS 57, 6662, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina?urlid=201357&stevilka=2242>, 2013.
- Uredba o spremembah in dopolnitvi Uredbe o koncesijah za odvzem naplavin iz prodnih zadrževalnikov na reki Savi Dolinki in reki Završnici, Uradni list RS 68, 9452, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/128129>, 2016.
- Zakon o ukrepih za odpravo posledic plazov Stože v Občini Bovec in plazov večjega obsega, nastalih na območju Republike Slovenije po 15. oktobru 2000 (ZUPSB), Uradni list RS 124, 13699, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina?urlid=2000124&stevilka=5209>, 2000.
- Zakon o vodah, Neuradno prečiščeno besedilo 7, <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO1244>, 2002.
- Zakon o spremembah in dopolnitvah Zakona o vodah (ZV-1A), Uradni list RS 57, 6199, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina?urlid=200857&stevilka=2417>, 2008.
- Zakon o rudarstvu (uradno prečiščeno besedilo), ZRud-1-NUPB3, Uradni list RS 14, 1373, <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2014-01-0381?sop=2014-01-0381>, 2014.
- ZAS, Združenje asfalterjev Slovenije, ASFALT, 3. izdaja, Ljubljana, str. 404, 2016.
- ZAS, Združenje asfalterjev Slovenije, Proizvodnja asfaltnih zmesi v letu 2016, Ljubljana, <http://www.zdruzenje-zas.si/index.php/si/proizvodnja>, 2017.
- World Cement, World demand for construction aggregates to reach 51.7 billion t, 18. 3. 2016, <https://www.worldcement.com/europe-cis/18032016/world-demand-construction-aggregates-billion-717/>, 2016.

EKSPERIMENTALNO SPREMLJANJE ZGODNJEGA OBLIKOVANJA STRUKTURE CEMENTNIH PAST

EXPERIMENTAL MONITORING OF EARLY FORMATION OF CEMENT PASTE STRUCTURE

Nina Vogrič, univ. dipl. inž. grad.

Barry Griffiths Consulting, Ltd,
6 Mitre Passage, Greenwich Peninsula, Velika Britanija

prof. dr. Igor Planinc, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova 2, Ljubljana

doc. dr. Gregor Trtnik, univ. dipl. inž. grad.

Igmat, d. d., Inštitut za gradbene materiale,
Polje 351 c, Ljubljana

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 624.046:691.54(047.31)

Povzetek | V prispevku so prikazani rezultati eksperimentalnih meritev dveh naprednih neporušnih metod za spremljanje zgodnjega oblikovanja strukture cementnih past. Prva neporušna metoda je zasnovana na merjenju hitrosti prehoda vzdolžnih ultrazvočnih valov v_p , druga pa na merjenju električne prevodnosti C . Rezultati meritev so prikazani za šest različnih cementnih past, ki so se razlikovale v velikosti vodocementnega razmerja in uporabljenem tipu cementa. Z analizo prikazanih eksperimentalnih rezultatov je bilo ugotovljeno, da je na značilnih krivuljah $v_p - t$ in $C - t$ nedvoumno prepoznavnih pet časovnih obdobij z značilnimi točkami. S kombinacijo rezultatov meritev obeh neporušnih metod začetkov in koncev časovnih intervalov oziroma obdobij nedvoumno lahko prepoznamo začetek in konec obdobja vezanja cementnih past, pojav perkolacije trdne faze in deperkolacije z vodo nasičenih por ter trenutek najintenzivnejšega oblikovanja strukture cementnih past v zgodnjem hidratacijskem obdobju.

Ključne besede: cementni materiali, hidratacija, oblikovanje strukture, ultrazvočne meritve, meritve električne prevodnosti

Summary | The paper presents the possibility of using two advanced testing techniques for monitoring solidification process of cement pastes, namely ultrasonic wave transmission and electrical conductivity techniques. The development of the velocity of US longitudinal waves v_p and electrical conductivity C with time t is measured on six cement pastes, which differed in water/cement ratio and cement type. It was shown that five characteristic time periods defined by different characteristic points appear on typical $v_p - t$ and $C - t$ curves. Using a combination of these measurements, the beginnings and ends of these time intervals can be effectively used to define various important phenomena that appear within the formation of structuring process of cement pastes, namely initial and final setting time, percolation of solid phases, depercolation of water saturated pores, and the time of the most intensive solidification process of cement pastes.

Keywords: Cement based materials, hydration, formation of structure, ultrasonic measurements, electrical conductivity measurements.

1 • UVOD

S stikom cementa in vode se v materialih s cementnim vezivom (MCV) začnejo številne kompleksne kemijske reakcije, ki jih s skupnim imenom imenujemo hidratacija. Kot rezultati teh reakcij se tvorijo različni hidratacijski produkti, ki sestavljajo trdno fazo v strukturi MCV. V začetni fazi hidratacijskega procesa so nehidratizirana cementna zrnca bolj ali manj naključno in izolirano razporejena v zamesni vodi. S časom se delež hidratacijskih produktov povečuje do trenutka t_{PS} , ko v strukturi MCV nastopijo prve povezave med t. i. skupki hidratizirajočih se cementnih zrn. Te začetne povezave hidratacijskih produktov imenujemo *perkolacija trdne faze* (Ye, 2003). Povečevanje deleža trdne faze najprej povzroči spremembo agregatnega stanja MCV iz tekočega v trdno, kar imenujemo *vezanje* MCV, nato pa povečevanje mehanskih lastnosti materiala, kar imenujemo *strjevanje* MCV. S povečevanjem deleža hidratacijskih produktov v strukturi MCV se zmanjšuje delež por. Ko so pri času t_{DP} prekinjene vse povezave med omrežjem por, nastopi v strukturi MCV stanje, ki ga imenujemo *deperkolacija por*. Temu stanju sledi faza nepovezanosti por v strukturi MCV.

Perkolacija trdne faze in deperkolacija por vplivata na številne lastnosti MCV tako v svežem kot v strjenem stanju, zato je učinkovita detekcija teh dveh pojavov bistvenega pomena pri razumevanju zgodnjega oblikovanja strukture MCV. Podobno je za natančno modeliranje oblikovanja strukture MCV in razvoja njihovih lastnosti v zgodnjem

obdobju ključnega pomena natančno poznavanje časovnih parametrov t_{PS} in t_{DP} .

Neposredno eksperimentalno določanje perkolacije trdne faze, deperkolacije por in številnih drugih pojavov v procesu zgodnjega oblikovanja strukture MCV je zapleteno in običajno zahteva uporabo kompleksne in drage eksperimentalne opreme. Tako so se za določanje različnih lastnosti MCV v zgodnjem hidratacijskem obdobju v zadnjih letih razvile številne napredne neporušne merilne tehnike ((Trtnik, 2009), (Trtnik, 2013), (Trtnik, 2014), (Voigt, 2003)). Metoda prehoda vzdolžnih ultrazvočnih (UZ) valov in metoda električne prevodnosti sta le dve izmed mnogih. Pomemben del tega razvoja predstavlja tudi primerjava eksperimentalnih rezultatov, dobljenih z različnimi metodami, saj tako določimo najprimernejšo metodo za identifikacijo izbrane lastnosti MCV v zgodnjem hidratacijskem obdobju. Poleg tega s tem ocenimo natančnost in zanesljivost novih neporušnih metod. Končni cilj vseh teh raziskav je implementacija novih naprednih neporušnih tehnik preizkušanja MCV v standarde in druge tehnične specifikacije. S tem bosta dosežena predvsem večja natančnost določitve in boljše razumevanje razvoja posameznih lastnosti MCV ter omogočena uporaba številnih merilnih tehnik neposredno na terenu na dejanskih gradbenih konstrukcijah.

Kot ugotavljajo številni raziskovalci, z neporušnimi metodami dokaj natančno lahko ocenimo pomembne mejnike v procesu oblikovanja strukture MCV. Tako je sprememba hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov v_p skozi

MCV tesno povezana s stopnjo hidratacije cementa, z gibanjem vode v poroznem materialu in z zaznavanjem nastajanja različnih hidratacijskih produktov (npr. (Trtnik, 2015), (Panzera, 2011), (Reinhardt, 2011), (Voigt, 2005), (Robeyst, 2009)). Sprememba električne prevodnosti C v strukturi MCV pa je odvisna predvsem od spreminjanja količine proste vode v odprti strukturi por. Ta se zaradi nastajanja nepovezanih por, ki so posledica nastajanja hidratacijskih produktov, v strukturi MCV zmanjšuje. Ker so tudi elektromagnetne lastnosti materiala različne v tekočem in trdnem stanju, tudi te lastnosti lahko uporabimo za ugotavljanje sprememb v mikrostrukturi MCV med procesom hidratacije (Van Breek, 2000).

V tem prispevku bomo z lastnimi eksperimenti analizirali korelacijo med rezultati metode prehoda vzdolžnih UZ-valov in električne prevodnosti cementnih past v zgodnjem hidratacijskem obdobju. S standardnimi meritvami osnovnih značilnosti cementnih past in vpeljavo značilnih časovnih obdobij oziroma točk na krivuljah časovnega spreminjanja merjenih fizikalnih veličin bomo ocenili primernost obeh metod za zaznavanje pomembnih mejnikov v procesu zgodnjega oblikovanja strukture MCV. Članek ima poleg uvoda in seznama literature še tri poglavja. V drugem poglavju predstavimo vse uporabljene merilne tehnike za spremljanje zgodnjega oblikovanja strukture MCV. Tretje poglavje je osrednje poglavje članka. V tem poglavju prikažemo vse rezultate eksperimentalnih meritev ter analiziramo natančnost in primernost obeh naprednih neporušnih metod za zgodnje spremljanje oblikovanja strukture cementnih past. V četrtem poglavju predstavimo glavne zaključke in ugotovitve raziskave.

2 • TESTNI MATERIALI IN EKSPERIMENTALNE METODE

2.1 Osnovne lastnosti materialov in testnih mešanic

V sklopu eksperimentalnih meritev zgodnjega oblikovanja strukture cementnih past smo uporabili dve vrsti cementa, ki sta se razlikovali predvsem po finosti mletja (preglednica 1). Za analizo smo pripravili šest različnih cementnih past oziroma testnih mešanic, ki so se razlikovale po že omenjeni vrsti uporabljene cementa in velikosti vodocementnega (v/c) razmerja. Vse uporabljene mešanice z oznakami so prikazane v preglednici 2.

Cementne paste smo pripravili v laboratoriju pri konstantnih in kontroliranih pogojih, tj. pri temperaturi okolice 20 ± 1 °C in relativni vlažnosti 60 %. Najprej smo v mešalnik dodali cement, nato smo med mešanjem postopno dodajali potrebno količino destilirane vode. Po zadnjem dolivanju vode je učinkovito mešanje trajalo skupaj 5 minut. Ko je bila mešanica pripravljena, smo cementno pasto vgradili v kalup iz ekstrudiranega polistirena dimenzij $v/\bar{s}/d = 10/5/15$ cm. Iz vsake mešanice smo pripravili po dva vzorca, kjer smo prvega

uporabili za UZ-meritve, drugega pa za meritve električne prevodnosti. Poleg osnovnih meritev smo dodatno v vseh primerih merili potek vezanja cementnih past s standardno Vicatovo metodo in spremembo temperature vzorca v celotnem časovnem obdobju opravljanja meritev. Morebitno izhlapevanje vode iz testnih vzorcev smo preprečili z namestitvijo plastičnih zaščitnih sredstev na površino testnih vzorcev.

2.2 UZ-metoda

Pri UZ-metodi proizvaja značilne impulze vibracij elektroakustični oddajnik (oddajna sonda), električna vezja (sprejemna sonda) pa merijo čas, ki ga pulz potrebuje za prehod

Oznaka cementa	Vrsta cementa	Vsebnost klinkerja	Tlačna trdnost (28 dni)	Finost mletja
C1	CEM I 52,5 N-SR3 CE PM CP2 NF	> 95 %	> 50 N/mm ²	> 2800 cm ² /g
C2	CEM I 52,5 N CE PM-CP2 NF	> 95 %	> 50 N/mm ²	> 4000 cm ² /g

Preglednica 1 • Lastnosti uporabljenih cementov za pripravo cementnih past

Oznaka mešanice	v/c razmerje	tip cementa
C1 0,30	0,30	C1
C1 0,35	0,35	C1
C1 0,40	0,40	C1
C2 0,30	0,30	C2
C2 0,35	0,35	C2
C2 0,40	0,40	C2

Preglednica 2 • Osnovne mešanice cementnih past z oznakami

skozi material oziroma testni vzorec. Med preiskavo z UZ-metodo opazimo vzdolžne, prečne in površinske valove, ki se hkrati širijo skozi vzorec. Ob tem so vzdolžni valovi najhitrejši, površinski pa najpočasnejši.

V sklopu raziskave smo se osredotočili na merjenje hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov, ki jo izračunamo s preprosto enačbo

$$v_P = \frac{L}{t}, \quad (1)$$

kjer so:

v_P hitrost vzdolžnega valovanja ($\frac{m}{s}$) ali ($\frac{km}{s}$),

L dolžina poti, ki jo valovanje opravi med oddajno in sprejemno sondo, ter

t čas, ki ga valovanje porabi od oddajnika do sprejemnika.

Za UZ-meritve smo uporabili komercialno dostopen instrument z ustreznimi modifikacijami (Trtnik, 2015), ki ga sestavljajo osrednja enota

ter oddajne in sprejemne sonde premera 25 mm in frekvence 150 kHz. Obe sondi sta bili nameščeni na obe strani najkrajše dimenzije vzorca in približno 5 mm potisnjeni od roba kalupa v vzorec. S tem smo med opravljanjem meritev zagotovili dobro povezanost med sondama in vzorcem tudi med krčenjem materiala. Razdalja L med oddajno in sprejemno sondo je znašala $L = 40$ mm. Instrument je bil povezan z osebnim računalnikom, v katerega se s posebnim programskim orodjem samodejno beležijo in shranjujejo podatki v vnaprej predpisanih časovnih intervalih. Za to raziskavo smo podatke zapisovali vsakih 60 s, skupni čas merjenja za vsako testno mešanico pa je znašal približno 18 ur.

2.3 Metoda električne prevodnosti

Električno prevodnost cementnih past oziroma mešanic smo merili z napravo ConSensor (Van Breek, 2000). Napravo sestavlja sis-

tem senzorjev, s katerimi primarno določamo tlačno trdnost MCV. To lahko izmerimo na dva načina: z metodo merjenja temperature in uporabo zrelostne funkcije ali z metodo električne prevodnosti. Naprava izmerjene rezultate pošilja na omrežje preko GPRS-oddajnika, potek meritev pa je tako mogoče spremljati preko spletne platforme. Pri merjenju električne prevodnosti cementne paste smo s posebnim programskim orodjem rezultate samodejno zapisovali v 10-minutnih časovnih intervalih.

2.4 Vicatova metoda

Hkrati z meritvami zgodnjega oblikovanja strukture cementnih past z omenjenima neporušnima merilnima metodama smo potek vezanja cementnih past merili še s standardno Vicatovo metodo. Skladno s to metodo smo na posebej pripravljenih vzorcih v ustreznih časovnih intervalih merili globino prodora standardne igle v testni vzorec. Začetek vezanja cementne paste $t_{z,V}$ je definiran kot čas, pri katerem razdalja med spodnjo površino vzorca in jekleno iglo meri 6 ± 3 mm, konec vezanja $t_{k,V}$ pa je določen tako, da vzorec obrnemo in merimo globino ugreza igle. Končni čas vezanja je določen kot čas, pri katerem je ta ugrez manjši od 1 mm.

2.5 Merjenje temperatur vzorcev med hidratacijo

Da smo kontrolirali enakost pogojev oziroma enakost intenzitete hidratacijskega procesa, smo merili tudi temperaturo v središču vsakega preizkušanca. Med UZ-meritvami smo temperaturo merili z vgrajenim termočlenom in instrumentom Almemo. Temperature smo odčitali in shranili vsakih 60 s. Med meritvami električne prevodnosti pa merilni senzori v 10-minutnem intervalu istočasno merijo in beležijo električno prevodnost in temperaturo preizkušanca.

(Trtnik, 2014). Na začetku drugega časovnega intervala, ki ga označimo s t_{2VP} , opazimo hitro naraščanje hitrosti UZ-valov skozi vzorec, kar je verjetno kombinirana posledica oblikovanja faze Afm (iglic etringita), segregacije materiala, povečanja števila stikov med delci in premikanja zračnih mehurčkov proti površju vzorca zaradi gravitacije ((Reinhardt, 2004), (Mikulić, 2011), (Aggelis, 2011), (Ye, 2004)). Pri času t_{PT1} oziroma t_{3VP} ko na krivulji $v_P' - t$ opazimo prvi ekstrem (lokalni minimum), se prične tretji časovni interval. V tem intervalu opazimo najintenzivnejše naraščanje hitrosti

3.1 Značilni obliki krivulj $v_P' - t$ in $C - t$
Številni raziskovalci (npr. (Schindler, 2002), (Ye, 2003), (Trtnik, 2009)) prikažejo rezultate eksperimentalnih meritev v obliki značilne krivulje razvoja hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov v_P skozi cementno pasto v odvisnosti od časa t , ki jo označimo z $v_P - t$. To krivuljo in izpeljano krivuljo $v_P' - t$ (kjer z v_P' označimo numerični odvod hitrosti prehoda vzdolžnih

UZ-valov po času) za naše meritve prikazujemo na sliki 1a. Opazimo, da je krivulja $v_P - t$ sigmoidne (S) oblike z jasno določljivimi značilnimi točkami in petimi časovnimi intervali oziroma obdobji. V prvem intervalu praktično ne opazimo prehoda vzdolžnih UZ-valov skozi vzorec, kar je posledica ujetih zračnih mehurčkov v vzorcu ter s tem močne refleksije in dušenja vzdolžnih UZ-valov v MCV

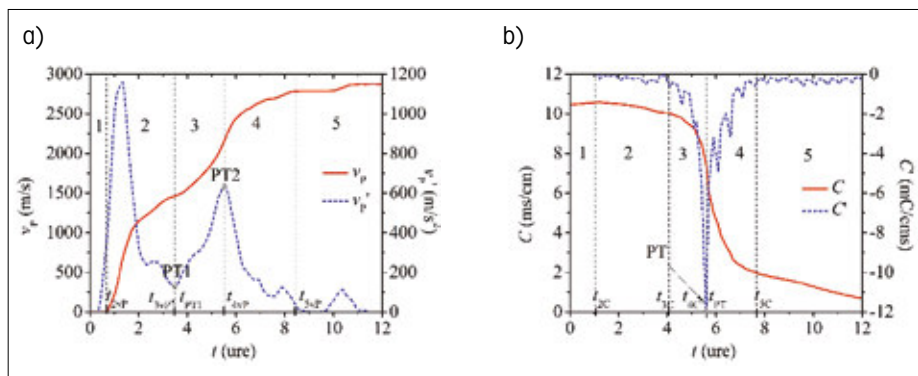
3 • REZULTATI MERITEV

UZ-valov skozi vzorec. Poudarimo, da čas začetka tretjega časovnega intervala dobro sovпада s časom perkolacije trdne faze t_{PS} in začetkom vezanja MCV t_{zV} ((Ye, 2003), (Trtnik, 2009)). Velja ocena:

$$t_{PT1} = t_{3VP} \approx t_{PS} \approx t_{zV}. \quad (2)$$

Konec tretjega časovnega intervala oziroma začetek četrtega določa lokalni maksimum na krivulji $v_p - t$. To točko označimo s PT2 (na sliki $t_{PT2} = t_{4VP}$) in predstavlja konec obdobja najintenzivnejšega naraščanja hitrosti UZ-valov v MCV s časom. V četrtem časovnem intervalu se hitrost UZ-valov v_p še vedno povečuje, vendar precej počasneje kot v tretjem časovnem intervalu. V petem časovnem intervalu, ki se začne pri času t_{5VP} , se hitrost UZ-valov praktično ustali na nivoju največjih vrednosti.

Podobno kot krivuljo spreminjanja hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov $v_p - t$ tudi krivuljo časovnega spreminjanja električne prevodnosti materiala, ki jo označimo s $C - t$ lahko razdelimo na pet časovnih intervalov oziroma obdobj. S polno črto smo na sliki 1b označili krivuljo $C - t$, s prekinjeno črto pa krivuljo $C' - t$, kjer smo s C' označili časovni numerični odvod električne prevodnosti. V prvem časovnem intervalu opazimo na krivulji $C - t$ praktično konstantno električno prevodnost, nato pa na drugem časovnem intervalu rahlo linearno upadanje. Tu krivulja $C - t$ izrazi spremenjeni naklon in preide v značilno sigmoidno obliko. V tretjem časovnem intervalu opazimo intenziven padec električne prevodnosti MCV. Ta se konča pri času t_{PT} , ki predstavlja globalni minimum krivulje $C' - t$. To je hkrati začetek četrtega časovnega intervala (t_{4C}), v katerem se električna prevodnost MCV sicer še vedno zmanjšuje, vendar ne tako intenzivno kot v predhodnem časovnem intervalu. V zadnjem časovnem intervalu opazimo



Slika 1 • Značilni obliki krivulj spreminjanja hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov v_p in električne prevodnosti C s časom t z oznakami časovnih intervalov in značilnih točk; (a) krivulji $v_p - t$, (b) krivulji $C - t$ in $C' - t$.

dotatno zmanjšanje električne prevodnosti. Ta se spreminja linearno in s precej manjšo intenziteto.

S primerjavo slik 1a in 1b opazimo, da velikosti in lege časovnih intervalov obeh značilnih krivulj v splošnem ne sovpadajo. To je pričakovano, saj se metodi fizikalno razlikujeta (glej poglavje 1) in posledično zaznavata različne pojave v procesu oblikovanja strukture MCV. Kljub tem razlikam pa lahko nedvoumno ugotovimo, da ugotovljeni časovni intervali na obeh značilnih krivuljah jasno predstavljajo obdobja različne intenzitete spreminjanja merjenih fizikalnih veličin oziroma različna obdobja in mejnike v procesu oblikovanja strukture MCV. Parametrično študijo in primerjavo med obema metodama oziroma rezultati obeh metod prikazujemo v nadaljevanju.

3.2 Parametrična študija

3.2.1 Vpliv sestave cementnih past na obliko krivulj $v_p - t$ in $C - t$

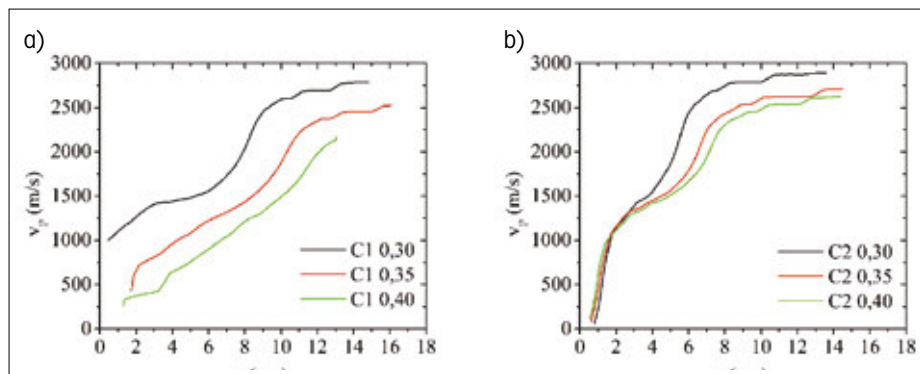
Na slikah 2 in 3 prikazujemo časovno spreminjanje hitrosti vzdolžnih UZ-valov v_p in

električne prevodnosti C za vseh šest analiziranih cementnih past. Zaradi večje preglednosti smo rezultate predstavili ločeno, in sicer na slikah 2a in 3a za cementne paste iz cementa C1, na slikah 2b in 3b pa za cementne paste iz cementa C2.

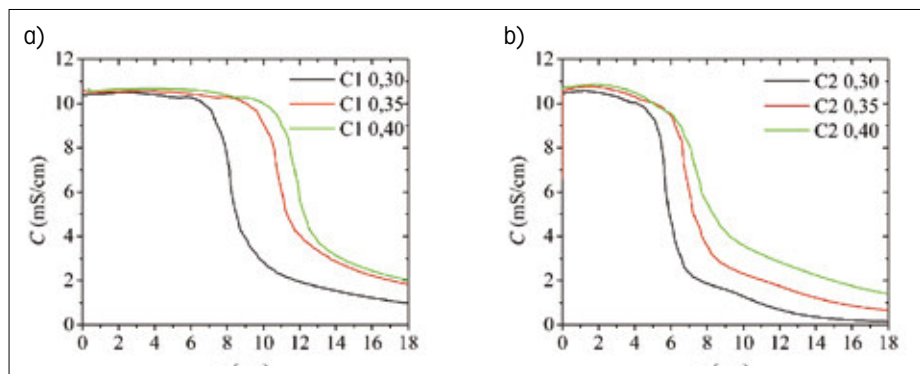
Na sliki 2 opazimo, da je oblika krivulj $v_p - t$ za vse analizirane cementne paste enaka značilni obliki krivulje (slika 1a), odstopanje opazimo le za preskušane C1 0,40. Zelo jasno je na slikah viden vpliv v/c razmerja in vrste cementa na časovno spreminjanje hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov. Pri vzorcih z nižjim v/c razmerjem hitrost v_p pričakovano narašča hitreje, večje pa so tudi hitrosti. To je predvsem posledica nižje poroznosti materiala in večje koncentracije cementnih zrn v raztopini ter s tem večje povezanosti hidratizirajočih cementnih zrn pri mešanich z nižjim v/c razmerjem.

Opazimo tudi, da hitrost vzdolžnih UZ-valov hitreje narašča pri vzorcih z uporabljenim cementom tipa C2, kar je posledica večje finosti mletja cementa tipa C2 in s tem večje koncentracije bolj drobnih zrn. Stična površina cementa in vode je s tem večja, hidratacijski proces oziroma proces oblikovanja strukture materiala pa intenzivnejši.

Na sliki 3 prikazujemo rezultate meritev električne prevodnosti za vse analizirane cementne paste. Tudi sedaj v vseh primerih opazimo značilno obliko krivulj $C - t$. Pričakovano se začne električna prevodnost za vzorce z nižjim v/c razmerjem hitreje zmanjševati, podobno ugotovimo tudi pri vzorcih z uporabljenim cementom tipa C2. To je posledica dejstva, da se v vzorcih z nižjim v/c razmerjem cementi z večjo finostjo mletja hidratacijski produkti tvorijo hitreje, kar povzroči v materialu manjšo količino in povezanost z vodo nasičenih por v njegovi strukturi.



Slika 2 • Časovno spreminjanje hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov za vse preiskane cementne paste; (a) cement tipa C1, (b) cement tipa C2.



Slika 3 • Časovno spreminjanje električne prevodnosti za vse preiskane cementne paste; (a) cement tipa C1, (b) cement tipa C2.

Iz prikazanih rezultatov lahko povzamemo, da obe metodi jasno in logično detektirata vpliv analiziranih parametrov sestave cementnih past na razvoj njihove strukture v zgodnjem hidratacijskem obdobju.

3.2.2 Vpliv sestave cementnih past na pojav značilnih točk na krivuljah $v_p - t$ in $C - t$

V preglednici 3 za vseh šest analiziranih cementnih past prikazujemo začetke vezanja, ki smo jih določili s standardno Vicatovo metodo ($t_{z,v}$), čase prvih ekstremov na krivuljah $v_p' - t$ (t_{PT1}) in čase začetka drugih časovnih intervalov na krivuljah $C - t$ (t_{2c}). Opazimo, da nastopijo v testnih mešanica značilne točke PT1 na krivuljah $v_p' - t$ (čas t_{PT1}) nekoliko pozneje, kot izmerimo začetke vezanja s standardno Vicatovo metodo ($t_{z,v}$). Kot ugotavljajo številni raziskovalci, pojav prvega ekstrema na krivulji $v_p' - t$ relativno dobro določa oceno začetka vezanja cementnih past ((Voigt, 2005), (Reinhardt,

2004), (Trtnik, 2009)), kar smo predhodno izrazili z enačbo (2).

Dodatno iz preglednice 3 vidimo, da se pri vseh vzorcih izmerjeni začetki drugih časovnih intervalov na krivuljah $C - t$ (čas t_{2c} na sliki 1b) dobro ujemajo z začetki vezanja cementnih past, ki smo jih izmerili s standardno Vicatovo metodo. S to ugotovitvijo enačbo (2) lahko razširimo in velja:

$$t_{PT1} = t_{3vp} \approx t_{ps} \approx t_{z,v} \approx t_{2c}. \quad (3)$$

V nadaljevanju primerjamo konce vezanja vseh šestih analiziranih cementnih past, ki smo jih izmerili s standardno Vicatovo metodo ($t_{k,v}$), z izmerjenimi časi drugih ekstremov na krivuljah $v_p' - t$ (t_{PT2}) in časi začetkov tretjih časovnih intervalov na krivuljah $C - t$ (t_{3c}). Primerjavo prikazujemo v preglednici 4. Tudi sedaj se izmerjeni konci vezanja, ki smo jih določili s standardno Vicatovo metodo, pojavijo pred izmerjenimi drugimi ekstremi na krivuljah $v_p' - t$, medtem ko se z izmerjenimi časi t_{3c} , ki določajo izrazito zmanjšanje električne

prevodnosti cementnih past, zelo dobro ujemajo. Ugotovimo naslednje povezave:

$$t_{PT2} = t_{4vp} \approx t_{k,v} \approx t_{3c}. \quad (4)$$

Čas t_{3c} s predpostavko, da je električna prevodnost materiala v največji meri odvisna od količine in povezanosti z vodo nasičenih por v strukturi materiala, lahko povežemo s časom, ko je povezava med omrežjem z vodo nasičenih por v strukturi materiala prekinitvena. Velja torej, da t_{3c} predstavlja čas pojava deperkolacije z vodo nasičenih por v strukturi materiala, kar izrazimo z enačbo

$$t_{3c} \approx t_{DP}. \quad (5)$$

S kombinacijo enačb (4) in (5) velja:

$$t_{PT2} = t_{4vp} \approx t_{k,v} \approx t_{3c} \approx t_{DP}. \quad (6)$$

Omenjeni rezultati kažejo, da tako z UZ-metodo kot z metodo električne prevodnosti lahko dobro ocenimo nekatere pomembne mejnike v zgodnjem oblikovanju strukture cementnih past, kot so: (i) čas začetka in konca vezanja, (ii) čas perkolacije trdne faze in (iii) čas deperkolacije z vodo nasičenih por.

Poudarimo pa, da tako začetke kot konce vezanja v MCV bistveno bolj natančno lahko določimo z uporabo še naprednejših UZ-tehnik, s katerimi v vnaprej predpisanih časovnih intervalih poleg hitrosti potovanja vzdolžnih UZ-valov skozi testno mešanico lahko merimo in analiziramo tudi frekvenco in amplitudo teh valov (Trtnik, 2014).

3.3 Primerjava UZ-metode in metode električne prevodnosti

Na sliki 4 prikazujemo korelacijo med vrednostmi električne prevodnosti C in hitrostmi prehoda vzdolžnih UZ-valov v_p za vse analizirane cementne paste. Vsaka točka na

Oznaka mešanice	$t_{z,v}$ (h)	t_{PT1} (h)	t_{2c} (h)
C1 0,30	3,5	3,7	3,6
C1 0,35	5,5	7,8	5,9
C1 0,40	6,4	8,6	7,4
C2 0,30	2,1	3,5	2,4
C2 0,35	2,3	3,6	2,9
C2 0,40	3,0	4,2	3,2

Preglednica 3 • Začetki vezanja, ki smo jih določili z Vicatovo metodo ($t_{z,v}$), časi ekstremov na krivuljah $v_p' - t$ (t_{PT1}) ter časi začetka drugega časovnega intervala na krivuljah $C - t$ (t_{2c}) za vseh šest analiziranih cementnih past

Oznaka mešanice	$t_{k,v}$ (h)	t_{PT2} (h)	t_{3c} (h)
C1 0,30	6,0	8,3	6,6
C1 0,35	8,1	10,5	8,1
C1 0,40	9,0	11,6	8,2
C2 0,30	4,1	5,6	4,2
C2 0,35	4,5	6,8	4,7
C2 0,40	5,5	7,2	5,6

Preglednica 4 • Konci vezanja, ki smo jih izmerili s standardno Vicatovo metodo ($t_{k,v}$), časi nastopa drugih ekstremov na krivuljah $v_p' - t$ (t_{PT2}) in časi začetka tretjih časovnih intervalov na krivuljah $C - t$ (t_{3c}) za vseh šest analiziranih cementnih past

sliki 4 označuje izmerjeno vrednost električne prevodnosti C in hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov v_p pri istem času. Opazimo, da je korelacija za vseh šest analiziranih cementnih past zelo podobna.

Izkaže se, da korelacijsko zvezo $C-v_p$ najbolje opiše nelinearna arkus tangens triparametrična regresijska funkcija

$$C(v_p) = a (\text{ArcTan}((b-v_p)/c + \pi/2)). \quad (7)$$

Optimalne vrednosti parametrov so:

$$a = 3,666 (3,634 ; 3,697),$$

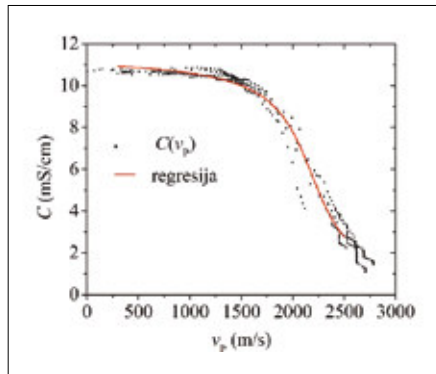
$$b = 2184 (2170 ; 2197),$$

$$c = 296,8 (284 ; 309,6),$$

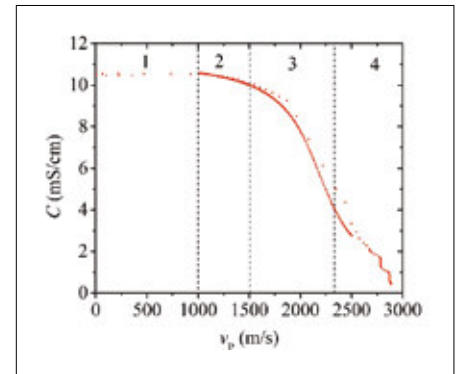
kjer vrednosti v oklepajih pomenijo 95-% interval zaupanja.

Tudi korelacijsko zvezo med hitrostjo prehoda vzdolžnih UZ-valov ter električno prevodnostjo materiala lahko razdelimo na značilne in jasno določljive časovne intervale oziroma obdobja (slika 5). Za prvi časovni interval je ta zveza praktično vodoravna. To pomeni, da hitrost UZ-valov intenzivno narašča, medtem ko električna prevodnost materiala ohranja svojo začetno vrednost. To dodatno potrjuje domnevo številnih raziskovalcev, da začetno naraščanje hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov skozi MCV ni povezano z oblikovanjem strukture materiala, temveč je posledica drugih procesov oziroma pojavov (poglavje 1).

V drugem časovnem intervalu se električna prevodnost cementne paste C s povečevanjem hitrosti v_p zmanjšuje, pri čemer je intenziteta zmanjševanja električne prevodnosti bistveno manjša od intenzitete naraščanja hitrosti vzdolžnih UZ-valov. Za tretji časovni



Slika 4 • Korelacija električne prevodnosti C in hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov v_p za vseh šest analiziranih cementnih past in regresijska krivulja.



Slika 5 • Korelacija električne prevodnosti C in hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov v_p za značilno cementno pasto z označenimi časovnimi intervali.

interval je značilno, da sta tako intenziteta zmanjševanja električne prevodnosti kot intenziteta naraščanja hitrosti prehoda UZ-valov skozi cementne paste podobni in zelo intenzivni. To potrjuje dejstvo, da je v tem obdobju proces oblikovanja strukture MCV najintenzivnejši. Tudi v četrtem oziroma zadnjem časovnem intervalu sta ti intenziteti podobni, vendar ne več tako intenzivni.

V nadaljevanju prikazujemo primerjavo med časovnima odvodoma hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov v_p' in električne prevodnosti cementnih past C' . Za značilno cementno pasto prikazujemo to primerjavo na sliki 6. Opazimo, da značilni točki obeh krivulj, ki smo jih označili s praktično sovpadata. To velja za vseh šest analiziranih cementnih past, kar prikazujemo v preglednici 5.

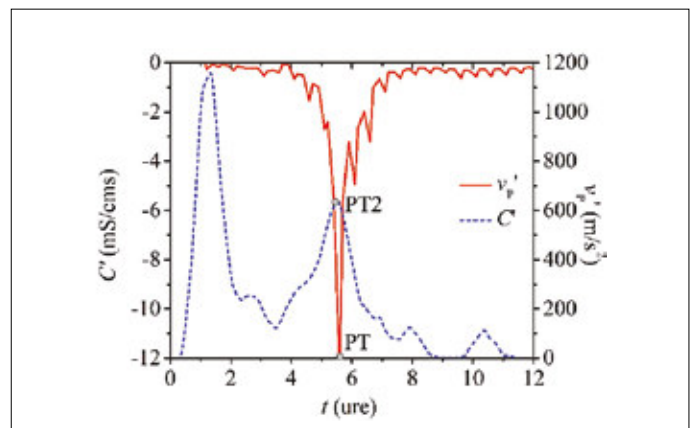
Iz prikazanih rezultatov meritev lahko nedvoumno ugotovimo, da velja:

$$t_{PT} = t_{PT2}. \quad (8)$$

Izjemno zanimivo in pomembno je, da smo z obema metodama, ki se fizikalno razlikujeta in praviloma zaznavata različne pojave v procesu oblikovanja strukture MCV (poglavje 1), identificirali značilni točki obeh krivulj pri istem času. V primeru merjenja hitrosti časovnega naraščanja vzdolžnih UZ-valov je ta značilna točka ekstrem (maksimum) časovnega odvoda hitrosti UZ, v primeru merjenja časovnega padanja električne prevodnosti pa ekstrem (minimum) časovnega odvoda električne prevodnosti. Značilni točki obeh metod določata trenutek najintenzivnejšega spreminjanja merjenih fizikalnih veličin in s tem trenutek najintenzivnejšega oblikovanja strukture cementnih past v hidratacijskem obdobju.

Oznaka mešanice	$t_{PT} (h)$	$t_{PT2} (h)$
C1 0,30	8,3	8,1
C1 0,35	10,5	10,6
C1 0,40	11,6	11,9
C2 0,30	5,6	5,6
C2 0,35	6,8	6,6
C2 0,40	7,2	7,7

Preglednica 5 • Primerjava značilnih točk t_{PT} in t_{PT2} na krivuljah $v_p' - t$ in $C' - t$ za vseh šest cementnih past



Slika 6 • Primerjava značilnih krivulj $v_p' - t$ in $C' - t$.

4 • SKLEP

V članku smo prikazali rezultate eksperimentalnih meritev zgodnjega oblikovanja strukture cementnih past. Meritve smo opravili z dvema neporušima merilnima tehnikama. Prva je zasnovana na merjenju hitrosti prehoda vzdolžnih ultrazvočnih valov skozi preizkušane, druga pa na merjenju električne prevodnosti materiala. Na osnovi prikazanih meritev smo ugotovili povezanost med naraščanjem deleža trdne faze in zmanjševanjem deleža povezanih z vodo nasičenih por v procesu zgodnjega oblikovanja strukture cementnih past. Pokazali smo, da s kombinacijo obeh naprednih neporušnih

merilnih tehnik bolje opišemo proces oblikovanja strukture cementnih past ter da z obema metodama lahko ocenimo čas začetka in konca vezanja, čas perkolacije trdne faze, čas deperkolacije por in čas najintenzivnejšega hidratacijskega procesa oziroma oblikovanja strukture cementnih past v zgodnjem obdobju. Poleg tega smo ugotovili: (i) da sta izmerjena časa najintenzivnejšega oblikovanja hidratacijskih produktov obeh metod praktično enaka, kar pomeni, da sta metodi primerljivi v smislu identifikacije pomembnih mejnikov v procesu oblikovanja strukture cementnih past; (ii) da lahko krivulji in smiselno razdelimo na pet

časovnih obdobj, ki določajo različne intenzitete procesa zgodnjega oblikovanja strukture cementnih past, in (iii) da je korelacija med rezultati meritev obeh metod neodvisna od sestave cementnih past.

Zahvala

Predstavljeni rezultati so pridobljeni v sklopu dela programske skupine Mehanika konstrukcij (P2-0260), ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS). Uporabljeni materiali so bili financirani pri mednarodnem evropskem projektu COST TU1404. V okviru tega projekta je bil omogočen tudi nakup nekatere merilne opreme po ugodnejši ceni. Za omenjeno pomoč se ARRS in EU, ki financira projekt COST TU1404, iskreno zahvaljujemo.

5 • LITERATURA

- Aggelis, D. G., Grammenou, D., Characterization of fresh mortar with chemical admixtures based on stress wave dispersion, O. Buyukozturk, M. A. Tasdemir, O. Gunes, Y. Akkaya (Eds.), Proceedings of NDTMS-2011, Turkey, 459–464, 2011.
- Mikulić, D., Milovanović, B., Gabrijel, I., Analysis of thermal properties of cement paste during setting and hardening, O. Buyukozturk, M. A. Tasdemir, O. Gunes, Y. Akkaya (Eds.), Proceedings of NDTMS-2011, Turkey, Istanbul, 465–472, 2011.
- Panzer, T. H., Christoforo, A. L., Cota F. P., Borges, P. H. R., Bowen C. R., Ultrasonic Pulse Velocity Evaluation of Cementitious Materials, CC BY-NC-SA, 410–436, 2011.
- Reinhardt, H. W. and RILEM Technical Committee, Recommendation of RILEM TC 218-SFC: Sonic methods for quality control of fresh cementitious materials, Materials and Structures, Vol. 44, 1047–1062, 2011.
- Reinhardt, H. W., Grosse, C. U., Continuous monitoring of setting and hardening of mortar and concrete, Construction and Building Materials, Vol. 18 (3), 145–154, 2004.
- Robeyst, N., Grosse, C. U., De Belie, N., Monitoring fresh concrete by ultrasonic transmission measurements: exploratory multi-way analysis of the spectral information, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol. 95 (1), 64–73, 2009.
- Schindler, A. K., Dossey, T., McCullough, B. F., Temperature control during construction to improve the long term performance of portland cement concrete pavements, Texas Department of Transportation, Research project No. 0-1700-2, Austin, The University of Texas at Austin, 2002.
- Trtnik, G., Uporaba ultrazvočne metode za analizo vezanja in strjevanja betona, doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Konstrukcijska smer, 178 str., 2009.
- Trtnik, G., Gams, M., The use of frequency spectrum of ultrasonic P-waves to monitor the setting process of cement pastes, Cement and Concrete Research, Vol. 43, 1–11, 2013.
- Trtnik, G., Gams, M., Recent advances of ultrasonic testing of cement based materials at early ages, Ultrasonics, Vol. 54 (1), 66–75, 2014.
- Trtnik, G., Gams M. Ultrasonic assessment of initial compressive strength gain of cement based materials, Cement and Concrete Research, Vol. 67, 148–155, 2015.
- Van Breek, A., Dielectric properties of young concrete, Non-destructive dielectric sensor for monitoring the strength development of young concrete, doktorska disertacija: str. 176, 2000.
- Voigt, T., Grosse, Ch. U., Sun, Z., Shah, S. P., Reinhardt, H. W., Comparison of ultrasonic wave transmission and reflection measurements with P- and S- waves on early age mortar and concrete, Materials and Structures, Vol. 38 (8), 729–738, 2005.
- Voigt, T., Shah, S. P., Nondestructive Monitoring of Setting and Hardening of Portland Cement Mortar with Sonic Methods, https://www.researchgate.net/publication/237629092_Nondestructive_Monitoring_of_Setting_and_Hardening_of_Portland_Cement_Mortar_with_Sonic_Methods, pridobljeno 3. 5. 2016, 2003.
- Ye, G., Experimental Study and Numerical Simulation of the Development of the Microstructure and Permeability of Cementitious Materials, doktorska disertacija, https://www.researchgate.net/publication/27348719_Experimental_Study_and_Numerical_Simulation_of_the_Development_of_the_Microstructure_and_Permeability_of_Cementitious_Materials, pridobljeno 30. 5. 2016, 2003.
- Ye, G., Lura, P., Van Breugel, K., Fraaij, A.L.A. Study on the development of the microstructure in cement-based materials by means of numerical simulation and ultrasonic pulse velocity measurement, Cement and Concrete Composites, Vol. 26 (5), 491–497, 2004.

MODELIRANJE NASTANKA IN ŠIRJENJA RAZPOK V KRHKIH MATERIALIH

MODELLING OF CRACK OUTSET AND PROPAGATION IN BRITTLE MATERIALS

dr. Andjelka Stanić, univ. dipl. inž. grad.

prof. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova c. 2, 1000 Ljubljana

ZNANSTVENI ČLANEK

UDK 624.048:691-047.58

Povzetek | V delu na kratko opišemo modeliranje nastanka in širjenja razpok v trdnih 2D-telesih iz krhkih materialov. Gre za trdna telesa v ravninskem napetostnem ali ravninskem deformacijskem stanju, ki so npr. iz betona, opeke ali kamnin. Opisano modeliranje ilustriramo z rezultati dveh numeričnih primerov, ki se nanašata na lomljenje betonskih prizmatičnih nosilcev s tritočkovnim in štiritočkovnim upogibnim testom.

Ključne besede: modeliranje odpovedi materiala, metoda končnih elementov z vgrajeno nezveznostjo, krhki materiali, širjenje razpoke

Summary | We briefly describe the modelling of crack initiation and propagation in 2D solids made of brittle material. In particular, we deal with plane stress and plain strain solids made of materials such as concrete, masonry or rock. For an illustration, we present numerical examples related to fracturing of concrete prismatic beams using the three-point and four-point bending tests.

Key words: material failure modelling, embedded-discontinuity finite element method, brittle material, crack propagation

1 • UVOD

Nastanek ene ali več makroskopskih razpok v konstrukcijskem elementu je resna poškodba, saj se razpoke lahko širijo in ustvarijo mehanizem, katerega možna posledica je porušitev konstrukcijskega elementa. V tehniki ima numerično modeliranje nastanka in širjenja razpok v različnih materialih velik praktični pomen, zato se izpeljuje, raziskuje in izboljšuje primerne numerične formulacije. Osnova takšnim formulacijam so teoretična dela, ki jih v grobem lahko razdelimo na dve skupini: na teorije mehanike loma in na teorije, ki spadajo v mehaniko trdnih teles in konstrukcij. Slednje so primernejša osnova za numerične formulacije, ki so zasnovane po metodi končnih elementov.

Pri izpeljavi numerične formulacije po metodi končnih elementov se je treba spoprijeti s

sicer dobro dokumentiranim in raziskanim problemom velike nezanesljivosti rezultatov, ki se pojavi, ko se za modeliranje (razmazane) razpoke uporabi standardni neelastični konstitutivni zakon, ki povezuje specifične deformacije z napetostmi, ki se mu doda še mehčanje. Izraz mehčanje se uporablja za tisti del konstitutivnega zakona, kjer se s povečevanjem specifičnih deformacij napetosti zmanjšujejo. Veliko postopkov je bilo predlaganih za ublažitev problema nezanesljivosti numeričnih rezultatov. Nekaj najbolj uporabljanih je opisanih v npr. (Ibrahimbegovic, 2009). Nedavno sta bila predlagana dva, ki problem nezanesljivosti numeričnih rezultatov praktično v celoti odpravljata. Zaradi tega lahko pripomoreta, da bodo postale numerične simulacije nastanka in širjenja razpoke v različnih

materialih robustnejše in enostavnejše. Gre za XFEM (Extended Finite Element Method), ki je implementiran tudi v komercialnem programu za analizo konstrukcij (Abaqus, 2017), in ED-FEM (Embedded Discontinuity Finite Element Method), npr. ((Linder, 2007), (Dujc, 2010), (Dujc, 2012), (Jukić, 2013), (Pirmanšek, 2017)), ki je soroden XFEM.

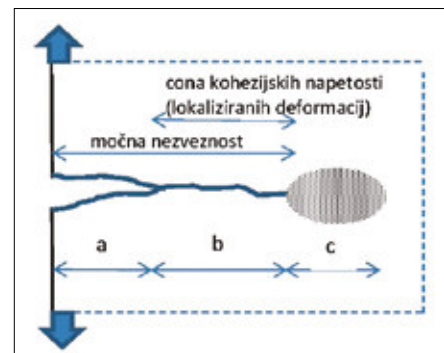
Razpoka se v XFEM in ED-FEM modelira kot ploskev pri 3D-problemih, kot črta pri 2D-problemih in kot točka pri 1D-problemih. Preko razpoke so pomiki nezvezni, specifične deformacije v razpoki pa so neomejene. Imamo t. i. močno nezveznost (tj. skok) v pomikih preko razpoke, ki je vgrajena v končne elemente XFEM in ED-FEM. Pri XFEM se kinematika končnega elementa z vgrajeno močno nezveznostjo opiše z dodatnimi globalnimi prostostnimi stopnjami na nivoju konstrukcije, pri ED-FEM pa so dodatne prostostne stopnje lokalne in se statično kondenzirajo na nivoju končnega elementa. Zaradi tega je

implementacija končnega elementa ED-FEM v računalniški program za analizo konstrukcij precej premočrtna. Mimogrede naj omenimo, da obstaja tudi verzija XFEM in ED-FEM s šibko nezveznostjo, kjer so pomiki zvezni preko ozkega pasu, ki predstavlja razmazano cono razpoke, specifične deformacije pa so tam nezvezne, vendar takšne formulacije v nadaljevanju ne bomo obravnavali.

V članku na kratko predstavimo ED-FEM z močno nezveznostjo za 2D-probleme, tj. za konstrukcije v ravninskem napetostnem in ravninskem deformacijskem stanju. Omejimo se na krhke materiale, kot so npr. beton, opeka in kamen. Koncept modeliranja razpoke v krhkih materialih je prikazan na sliki 1. Na sliki 1 so označena tri območja: (a) območje popolnoma odprte razpoke, (b) območje, kjer je razpoka že nakazana, vendar je še prisotna

kohezija med obema odpirajočima se stranema, in (c) območje z mikropoškodbami materiala (mikrorazpokami). V območju (a) je material že popolnoma odpovedal (lom). V območjih (b) in (c) odpoved materiala še poteka, pri čemer je v območju (b) razpoka že dobro nakazana, v območju (c) pa še ne. Območji (a) in (b) se modelira z močno nezveznostjo v pomikih. V območju (b) se uporabi neelastični kohezijski zakon, ki povezuje kohezijske napetosti s širino razpoke, pri čemer je kohezijski zakon kalibriran tako, da se na geometrijsko enoto novonastale razpoke v obravnavanem materialu sprostijo toliko lomne energije kot pri eksperimentu. V območju (c) se pri krhkih materialih zelo pogosto uporabi elastopoškodbeni konstitutivni zakon z utrjevanjem, katerega glavna značilnost je zmanjševanje elastične togosti materiala zaradi mikropoškodb. Pri

širjenju razpoke se širijo vsa tri območja, pri čemer območje (b) sipa energijo zaradi loma materiala, območje (c) pa sipa energijo zaradi mikropoškodb materiala.



Slika 1 • Ilustracija koncepta ED-FEM z močno nezveznostjo

2 • KONČNI ELEMENT ED-FEM ZA 2D-PROBLEME

Poglejmo si osnovne značilnosti 4-vozliščnega končnega elementa ED-FEM za ravninsko napetostno ali ravninsko deformacijsko stanje. Element naj leži v ravnini xy . Po elementu poteka razpoka Γ^e , ki ga deli na dva dela, Ω^{e-} in Ω^{e+} . Enotska normala na razpoko n kaže od Ω^{e-} proti Ω^{e+} . Pomika po elementu v x in y smereh sta opisana kot (Dujc, 2010):

$$u^e(\xi, \Gamma^e) = \underbrace{\sum_{a=1}^4 N_a(\xi) d_a}_{\text{standardni pomiki}} + \underbrace{\sum_{m=1}^4 p_m(\xi, \Gamma^e) \alpha_m}_{\text{dodatni pomiki zaradi razpoke}}, \quad (1)$$

kjer $\xi = [\xi, \eta]$ označuje izoparametrični koordinati, N_a je standardna Lagrangeva interpo-

lacijska funkcija, povezana z vozliščem a , d_a sta vozliščna pomika, p_m sta interpolacijski funkciji, povezani z eno od osnovnih oblik odpiranja razpoke $m = 1, \dots, 4$, slika 2, α_m pa je pripadajoča amplituda. Odpiranje razpoke se opiše kot linearna kombinacija štiri osnovnih oblik, ki so prikazane na sliki 2 (na sliki 2 je označen tudi vektor med sredino razpoke in vozliščem, ki se pojavi v p_m). Prvi dve obliki ($m = 1, 2$) sta povezani s t. i. normalnim tipom I širjenja razpoke, drugi dve ($m = 3, 4$) pa s t. i. strižnim tipom II. Specifične deformacije dobimo z odvajanjem (1) po x in y (Dujc, 2010):

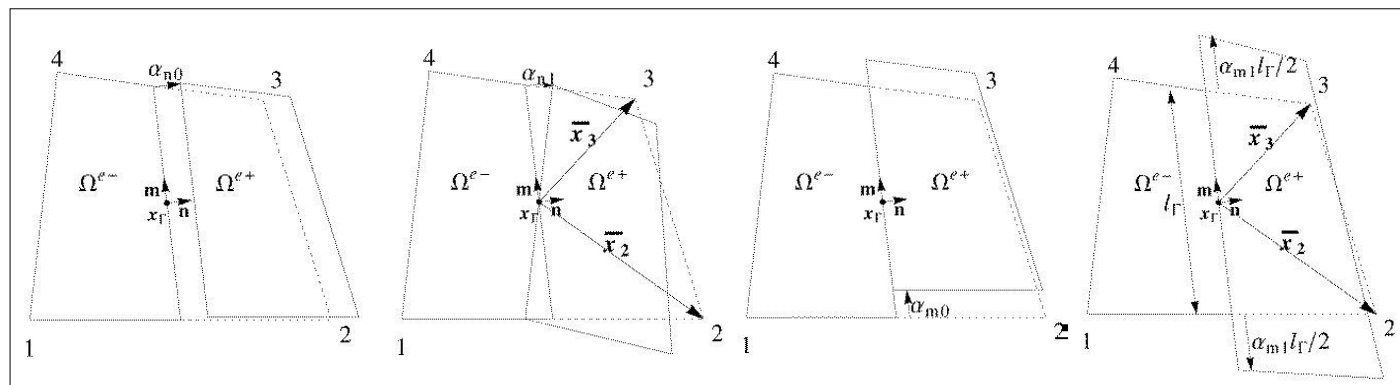
$$\varepsilon(\xi, \Gamma^e) = \underbrace{\sum_{a=1}^4 B_a(\xi) d_a}_{\varepsilon^d} + \underbrace{\sum_{m=1}^4 \bar{G}_m(\xi, \Gamma^e) \alpha_m}_{\bar{\varepsilon}^e}$$

$$+ \underbrace{\sum_{m=1}^4 \bar{G}_m(\Gamma^e) \alpha_m}_{\bar{\varepsilon}}, \quad (2)$$

kjer so $\bar{\varepsilon}$ omejene specifične deformacije na $\Omega^e \setminus \Gamma^e$, $\bar{\varepsilon}^e$ pa so neomejene specifične deformacije na Γ^e . Interpolacijski funkciji p_m ter matrike B_a , \bar{G}_m in \bar{G}_m so izpeljane v (Dujc, 2010). Ravnotežni enačbi sta dve. (i) Prva je enačba virtualnega dela za končni element (virtualno delo napetosti po končnem elementu je enako virtualnemu delu zunanje obtežbe, ki deluje na končni element):

$$\int_{\Omega^e \setminus \Gamma^e} t^e \hat{\varepsilon}^d \cdot \sigma d\Omega - \hat{d}^e \cdot f_{ext}^e = 0, \quad \hat{\varepsilon}^d = \sum_{a=1}^4 B_a \hat{d}_a, \quad \hat{d}^e = [\hat{d}_a^T]^T, \quad (3)$$

kjer je t^e (konstantna) debelina končnega elementa, $\hat{\varepsilon}^d$ so virtualne specifične deformacije



Slika 1 • Osnovne oblike odpiranja razpoke pri končnih 2D-elementih ED-FEM ($\alpha_{n0} = \alpha_1, \alpha_{n1} = \alpha_2, \alpha_{m0} = \alpha_3, \alpha_{m1} = \alpha_4$)

na $\Omega^e \setminus \Gamma^e$ zaradi virtualnih vozliščnih pomikov \hat{d}^e , $\sigma = \sigma(\bar{\varepsilon})$ so napetosti na $\Omega^e \setminus \Gamma^e$, f_{ext}^e pa je zunanja obtežba končnega elementa. (ii) Druga ravnotežna enačba je lokalna enačba virtualnega dela, ki povezuje napetosti σ na $\Omega^e \setminus \Gamma^e$ s kohezijskimi napetostmi t v razpoki Γ^e (Dujc, 2013):

$$\int_{\Omega^e} t^e (\bar{\varepsilon}^\alpha + \bar{\bar{\varepsilon}}) \cdot \sigma d\Omega = 0 \Rightarrow \int_{\Omega^e \setminus \Gamma^e} t^e \bar{\varepsilon}^\alpha \cdot \sigma d\Omega + \int_{\Gamma^e} t^e \bar{\gamma} \cdot t d\Omega = 0 \quad (4)$$

Tisti del leve enačbe (4), ki vsebuje neomejene specifične deformacije, se namreč lahko prevede na integral po razpoki (desna enačba (4)). Strešica v (3) in (4) označuje virtualne količine, črta in dve črti pa omejene in neomejene specifične deformacije. Virtualne specifične deformacije v (4) so povezane s širimi osnovnimi oblikami odpiranja razpoke (slika 3) kot:

$$\bar{\varepsilon}^\alpha = \sum_{m=1}^4 \bar{G}_m \hat{\alpha}_m, \quad \bar{\bar{\varepsilon}} = \sum_{m=1}^4 \bar{\bar{G}}_m \hat{\alpha}_m \quad (5)$$

Matrike \bar{G}_m in $\bar{\bar{G}}_m$ morajo biti pazljivo izpeljane, saj so povezane s projekcijo σ v t , kot je razvidno iz (4) in (5). Dva različna načina izpeljave teh matrik sta prikazana v ((Linder, 2007), (Dujc, 2010)).

Bistvena lastnost krhkega materiala v natezu pred razvojem makrorazpoke je zmanjše-

vanje togosti zaradi mikropoškodb. Zato se pri krhkih materialih za izračun napetosti σ pogosto uporablja elastopoškodbeni materialni model, npr. (Ibrahimbegovic, 2009), ki zna takšno zmanjševanje togosti lepo opisati (tu ga sicer ne bomo podrobneje predstavili). Omenimo naj, da se obnašanje razširjenega krhkega materiala, betona, v tlaku lahko opiše z elastoplastičnostjo, tako da se za beton uporabljajo tudi elastoplastični poškodbeni modeli (Abaqus, 2016). Za izračun kohezijskih napetosti t v razpoki se uporablja neelastični kohezijski zakon, ki povezuje kohezijske napetosti s širino razpoke. Za krhke materiale je primeren poškodbeni kohezijski zakon, npr. (Brancherie, 2009), ki ga prav tako ne bomo podrobneje opisali.

Pri inkrementalno-iteracijskem reševanju nelinearnih enačb (3) in (4), pri katerem iščemo pomike vozlišč d^e in vrednosti $\alpha^e = [\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4]^T$, potrebujemo njuni linearizirani obliki, ki ju lahko napišemo kot:

$$\begin{bmatrix} \int_{\Omega^e \setminus \Gamma^e} \sum_a \sum_b B_a^T C B_b & \int_{\Omega^e \setminus \Gamma^e} \sum_a \sum_l B_a^T C \bar{G}_l \\ \int_{\Omega^e \setminus \Gamma^e} \sum_m \sum_b \bar{G}_m^T C B_b & \int_{\Omega^e \setminus \Gamma^e} \sum_m \sum_l \bar{G}_m^T C \bar{G}_l + \int_{\Gamma^e} \sum_m \sum_l \bar{G}_m^T \frac{\partial t}{\partial \alpha_l} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta d^e \\ \Delta \alpha^e \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -r^e \\ -h^e \end{Bmatrix} \quad (6)$$

V (6) sta n in i inkrement in iteracija, Δ je sprememba rešitve, ki se nanaša na i -to iteracijo n -tega inkrementa, $C = \partial \sigma / \partial \bar{\varepsilon}$ je tangenti modul, $r_n^{e,i}$ in $h_n^{e,i}$ ki sledita iz (3) in (4), pa se izračunata kot:

$$r_n^{e,i} = f_{ext,n}^e - t^e \int_{\Omega^e \setminus \Gamma^e} \sum_a B_a^T \sigma_n^i d\Omega \quad (7)$$

$$h_n^{e,i} = t^e \int_{\Omega^e \setminus \Gamma^e} \sum_m \bar{G}_m^T \sigma_n^i d\Omega + t^e \int_{\Gamma^e} \sum_m \bar{G}_m^T t_n^i d\Omega$$

Pri reševanju enačb (6) se uporabi statična kondenzacija za dodatne prostostne stopnje, pri čemer nastopi inverz matrike. Izkaže se, da je ta matrika slabo pogojena, ko v razpoki ni nobene kohezije in ko razpoka razpolovi element tako, da ostane na Ω^{e*} ali Ω^e samo eno vozlišče. V (Dujc, 2013) je prikazana rešitev tega problema.

Za kriterij, ki pove, kdaj se element razpolovi z razpoko, se pri krhkih materialih zelo pogosto uporablja Rankinov kriterij največje glavne napetosti, npr. (Ibrahimbegovic, 2009). Z njegovo pomočjo se določita tudi smer razpoke in normala na razpoko n .

Najbolj premočrten pristop k računanju distribucije razpok po 2D-mreži končnih elementov je, da se vsakemu elementu, ki izpolni Rankinov kriterij, vstavi razpoko. Vendar se izkaže, da je takšen (direkten) pristop uspešen le pri zelo enostavnih primerih. V splošnem je treba uporabiti algoritem sledenja eni sami razpoki, ki je opisan npr. v (Wu, 2015).

$$\begin{aligned} \text{za smer } n: \bar{\bar{\varphi}}_n &= t_n - (\sigma_{un} - \bar{q}_n(\bar{\xi}_n)), \quad \bar{q}_n(\bar{\xi}_n) = \\ &= \sigma_{um} \left(1 - e^{-\frac{\sigma_{un}}{\sigma_{fm}} \bar{\xi}_n} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{za smer } m: \bar{\bar{\varphi}}_m &= t_m - (\sigma_{um} - \bar{q}_m(\bar{\xi}_m)), \quad \bar{q}_m(\bar{\xi}_m) = \\ &= \sigma_{um} \left(1 - e^{-\frac{\sigma_{um}}{\sigma_{fm}} \bar{\xi}_m} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

V (8) in (9) sta t_n in t_m normalna in strižna kohezijska napetost, $\bar{\xi}$ je parameter (ki ima enoto pomika), ki vodi v zmanjševanje kohezijskih napetosti, σ_{un} in σ_{um} sta natezna in strižna trdnost betona (za kateri predpostavimo, da imata enako vrednost, tj. 0,333 kN/cm²), G_{fn} in G_{fm} pa sta lomni energiji za tip I in tip II, ki sta lastnosti materiala, za kateri prav tako predpostavimo, da je njuna vrednost enaka, in sicer 0,115 10² kN/cm.

Pri analizi uporabimo 4-vozliščni končni element ED-FEM, ki ima matrike \bar{G}_1, \bar{G}_2 in \bar{G}_3 iz (Dujc, 2010), \bar{G}_4 pa iz (Linder, 2007). Za izračun

3 • NUMERIČNA PRIMERA

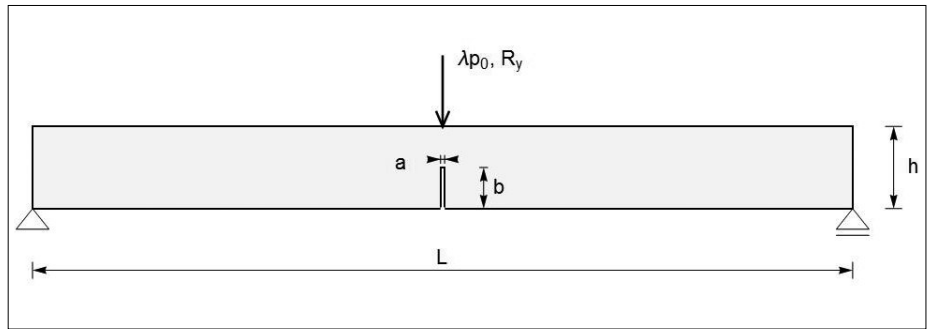
3.1 Tritočkovno lomljenje betonskega nosilca

Obravnavamo prostoležeči betonski nosilec dolžine $L = 200$ cm, višine $h = 20$ cm in debeline $d = 5$ cm (slika 3). Na sredini razpona na spodnji strani ima zarezo (ki se razteza po debelini) dimenzij $a = 0,4$ cm in $b = 10$ cm. Spodnja leva stran nosilca je podprta nepomično, spodnja desna pa drsno. Uporabljena mreža končnih elementov, ki je prikazana na sliki 4, je zgoščena tam, kjer pričakujemo pojav in širjenje razpoke. Na sredini razpona, na zgornjem robu, vsiljujemo vertikalni pomik λp_0 , kjer je $p_0 = 0,1$ cm, λ pa je obtežni faktor, ki se med analizo povečuje. Analizo smo naredili z Newtonovo inkrementalno-iteracijsko metodo, pri kateri se inkrementalna vrednost obtežnega faktorja $\Delta \lambda \leq \Delta \lambda_{max}$ spreminja z algoritmom, npr. (Crisfield, 1991).

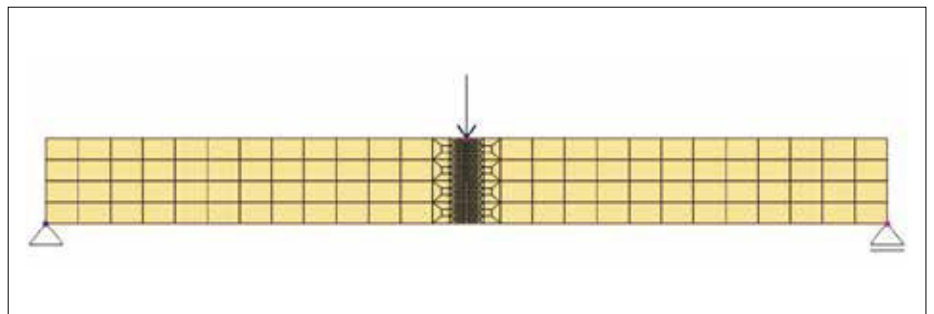
Za opis obnašanja betona uporabimo linearno elastični konstitutivni zakon z elastičnim modulom $E = 3000$ kN/cm² in Poissonovim količnikom $\nu = 0,2$. Razpoko v materialu opišemo z vgrajeno nezveznostjo. Razpoka nastane v trenutku, ko največja glavna napetost v središču končnega elementa preseže natezno trdnost materiala $\sigma_{un} = 0,333$ kN/cm². Normala na razpoko n sovпада s smerjo glavne napetosti. Razpoka se lahko širi v smeri normale (tip I širjenja razpoke) in tudi v smeri tangente na razpoko m (tip II širjenja razpoke). Kohezijske napetosti v razpoki opišemo z dvema neodvisnima poškodbenima konstitutivnima zakonoma; eden velja za normalno smer n , drugi pa za tangentno (strižno) smer m . Bistveni del takšnega zakona sta funkcija porušitve materiala $\bar{\varphi}$ in funkcija mehčanja \bar{q} . Uporabimo naslednje:

integralov po končnem elementu uporabimo Gaussovo numerično integracijo 2x2, za izračun integralov po razpoki pa 2-točkovno Gaussovo numerično integracijo. Uporabimo algoritem za sledenje razpoki, ki omogoča, da se v enem obtežnem inkrementu lahko aktivira več končnih elementov z razpoko.

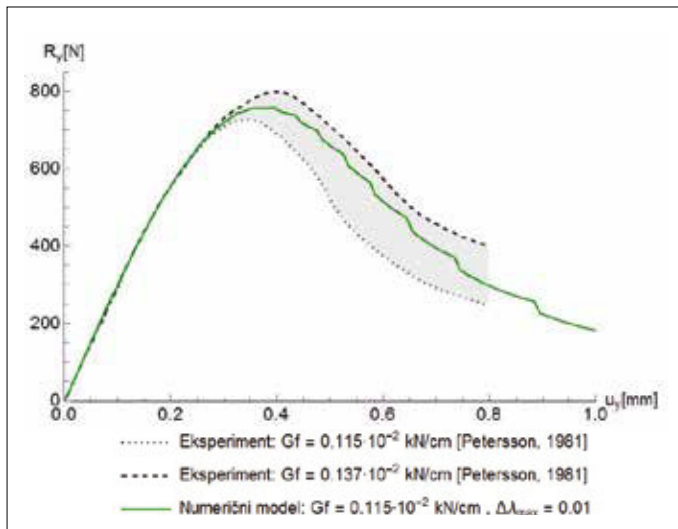
Rezultati so na slikah 5 in 6, kjer prikazujemo odvisnost reakcijske sile R_y od vsiljenega pomika $u_y = \Delta\lambda \cdot \rho_0$ (slika 3). Slika 5 kaže, da izračunani rezultati lepo sovpadajo z območjem eksperimentalnih rezultatov. Na sliki 6 je primerjava rezultatov glede na $\Delta\lambda_{max}$. Izračunane rešitve so praktično enake, vendar je konvergenca boljša pri manjših inkrementalnih obtežnih faktorjih, ki jih dosežemo, če za $\Delta\lambda_{max}$ predpišemo majhno vrednost. Pri velikih inkrementalnih obtežnih faktorjih, ki jih omogoča velik $\Delta\lambda_{max}$, npr. $\Delta\lambda_{max} = 0,10$, se v enem inkrementu lahko aktivirajo tudi trije novi končni elementi z razpoko, kar poslabša konvergenco. V obravnavanem primeru je tip širjenja razpoke I, torej sta aktivni le dve osnovni obliki $m = 1,2$, glej sliko 2, kar je razvidno tudi s slike 7, kjer je prikazana deformirana oblika mreže končnih elementov ob koncu analize.



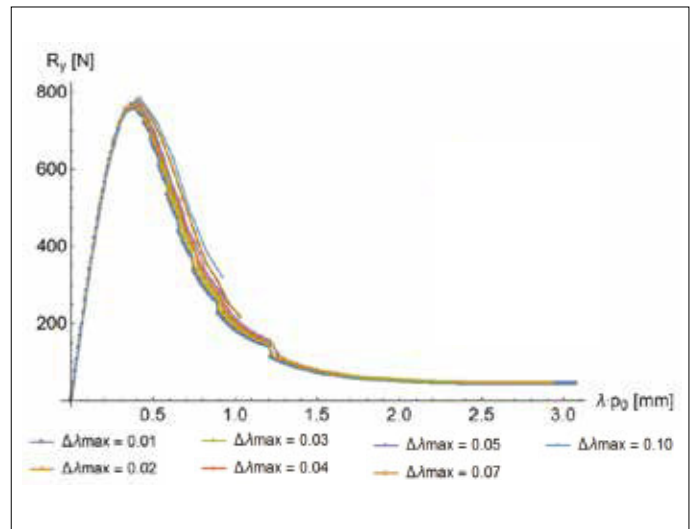
Slika 3 • Geometrija, robni pogoji in obtežba pri 3-točkovnem testu.



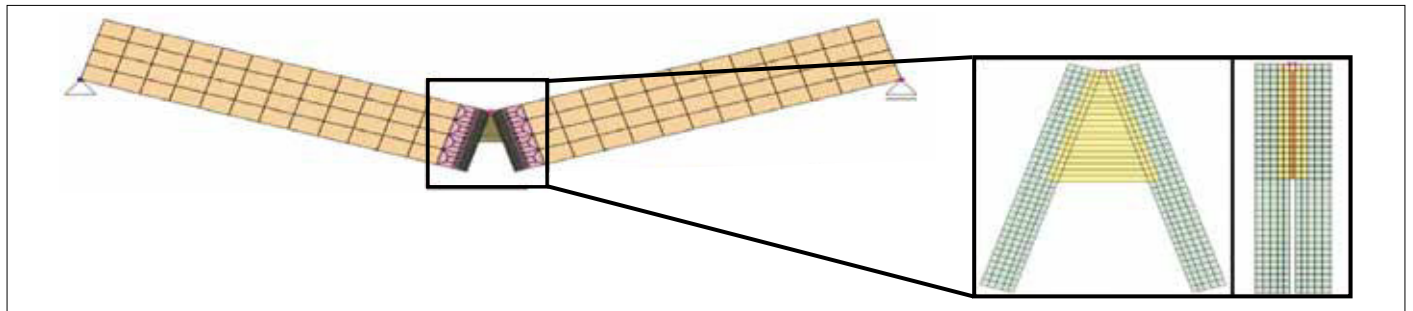
Slika 4 • Mreža končnih elementov za analizo 3-točkovnega testa.



Slika 5 • Reakcijska sila v odvisnosti od vsiljenega pomika ($\Delta\lambda_{max} = 0,01$) in primerjava z rezultati eksperimentov (Petersson, 1981)



Slika 6 • Reakcijska sila v odvisnosti od vsiljenega pomika za različne velikosti obtežnih inkrementov.



Slika 7 • Deformirana mreža končnih elementov pri $\lambda = 3,07$ (deformacije so 100-krat povečane) in izračunana razpoka.

4 • ŠTIRITOČKOVNO LOMLJENJE BETONSKEGA NOSILCA

3.2 Štiritočkovno lomljenje betonskega nosilca

Betonski nosilec dolžine $L = 132,2$ cm, višine $h = 30,6$ cm in debeline $d = 15,6$ cm ima na sredini razpona, na spodnji strani, ozko zarezo, kot je prikazano na sliki 8. Na sliki 8 sta prikazani tudi podpora in obtežba nosilca, ki sta dve vertikalni sili velikosti $0,13 P_y$ in P_y pri čemer je $P_y = \lambda P_0$, kjer je $P_0 = 1$ N, λ pa je obtežni faktor, ki se med analizo spreminja. Nosilec je bil analiziran z nestandardno metodo ločne dolžine ((Pohl, 2014), (Stanić, 2016)), pri kateri smo vodili vertikalni pomik vozlišča na ustju zareze. Mreža končnih elementov, ki je prikazana na sliki 9, je zgoščena

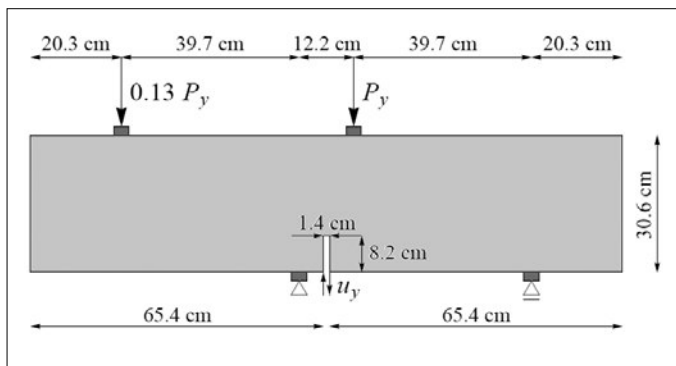
tam, kjer pričakujemo nastanek in širjenje razpoke.

Za opis obnašanja betona uporabimo linearno elastični konstitutivni zakon z elastičnim modulom $E = 2880$ kN/cm² in Poissonov količnikom $\nu = 0,18$. Za kohezijske napetosti v razpoki privzamemo poškodovena konstitutivna zakona s funkcijami porušitve materiala in mehčanja iz (8). Predpostavljeno je, da sta natezna in strižna trdnost betona $\sigma_{un} = \sigma_{um} = 0,28$ kN/cm², energiji loma v normalni smeri (tip I) in strižni smeri (tip II) pa $G_{fn} = G_{fm} = 0,1 \cdot 10^2$ kN/cm².

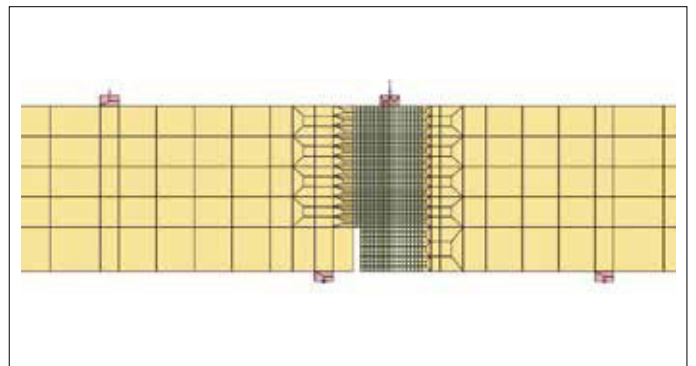
Pri analizi uporabimo 4-vozljiščni končni element ED-FEM, ki ima matriki \tilde{G}_1, \tilde{G}_2 iz (Dujc, 2010) ter matriki \tilde{G}_3, \tilde{G}_4 iz (Linder, 2007). Pravzaprav uporabimo dva različna končna elementa ED-FEM:

enega, ki temelji na standardnem četverkotniku (Q4), ta je bil uporabljen tudi pri tričotkovnem testu, in drugega, ki temelji na četverkotniku z dodanimi nekompatibilnimi oblikami za pomike (Q6), glej npr. (Ibrahimbegovic, 2009). Uporabimo tudi algoritem za sledenje razpoki, ki omogoča pojav več razpokanih končnih elementov v enem obtežnem inkrementu.

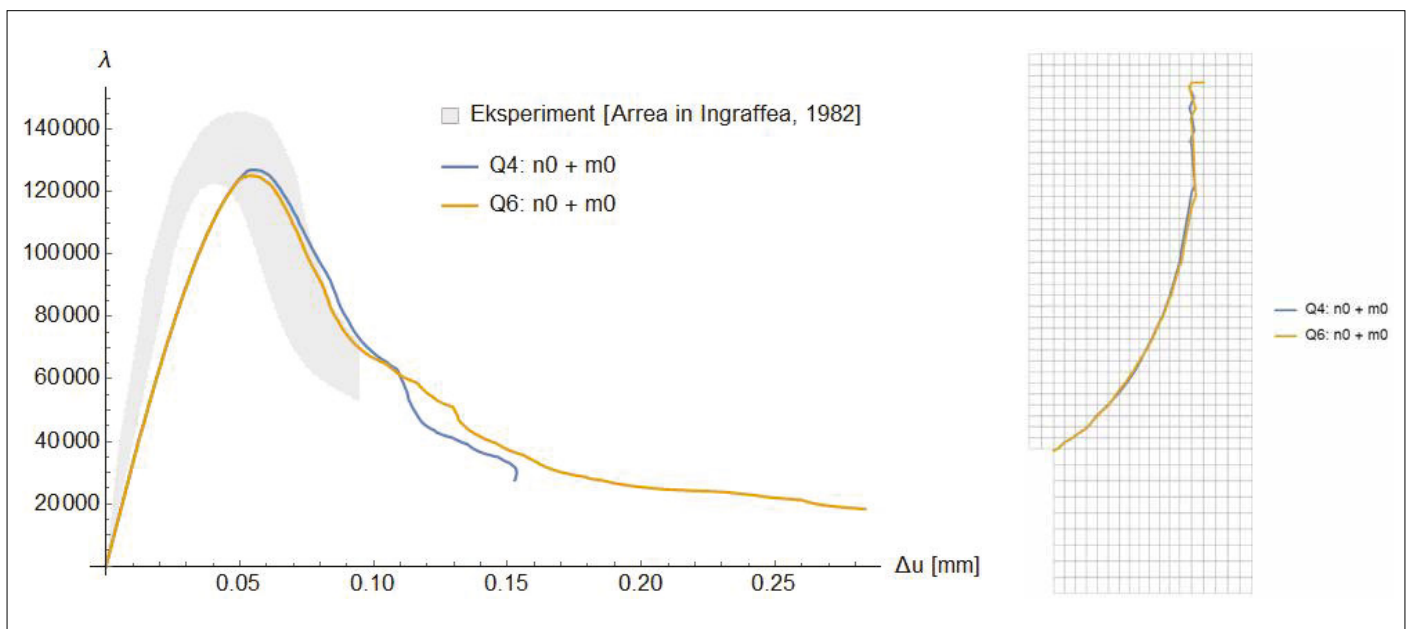
Rezultati so prikazani na sliki 10. Začetek razpoke je na vrhu zareze, razpoka pa se hkrati širi po tipu I in tipu II. Izkazuje se, da najboljšo konvergenco dobimo, če uporabimo samo dve obliki širjenja razpoke izmed štirih, ki so prikazane na sliki 2, in sicer $m=1$ (na sliki 10 je označena kot n0) in $m=3$ (na sliki 10 je označena kot m0). S slike 10 je razvidno, da se rezultati analize ujemajo z območjem eksperimentalnih rezultatov (Arrea, 1982). Prikazan je tudi izračunani potek razpoke po nosilcu, ki je praktično enak za Q4 in Q6. Slika 11 prikazuje deformirano obliko mreže končnih elementov ob koncu analize.



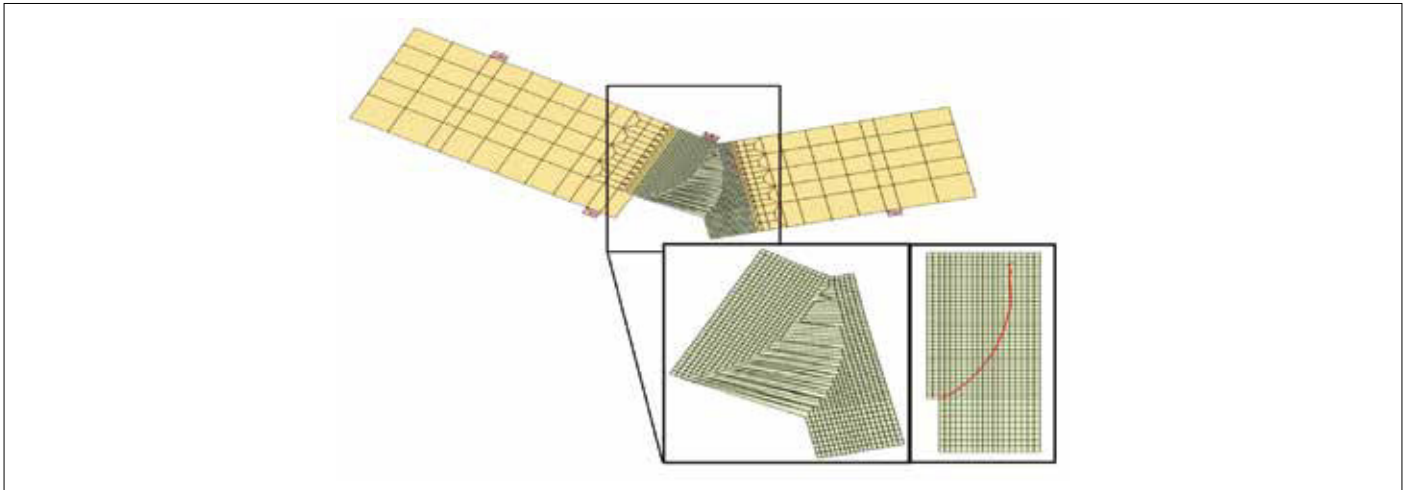
Slika 8 • Geometrija, robni pogoji in obtežba 4-točkovnega testa.



Slika 9 • Mreža končnih elementov pri 4-točkovnem testu.



Slika 10 • Obtežni faktor v odvisnosti od relativnega vertikalnega zamika ustja razpoke (slika 8).



Slika 11 • Deformirana mreža končnih elementov ob koncu analize za Q6 (deformacije so 250-krat povečane).

5 • ZAKLJUČEK

V članku smo na kratko predstavili metodo končnih elementov z vgrajeno (močno) nezveznostjo, t. i. ED-FEM (Embedded Discontinuity Finite Element Method). ED-FEM se razvija kot perspektivno numerično orodje za modeliranje porušitve materiala, posledično pa tudi kot numerično orodje za modeliranje porušitve konstrukcij, katerega namen je

predvideti mejno nosilnost in mejno duktilnost konstrukcije. Obravnavali smo 2D-probleme, tj. konstrukcije v ravninskem napetostnem in ravninskem deformacijskem stanju, pri čemer smo se omejili na krhke materiale, kot so npr. beton, opeka in kamnine. Prikazali smo rezultate dveh numeričnih primerov, ki se nanašata na lomljenje be-

tonskih prizmatičnih nosilcev s tritočkovnim in štiritočkovnim upogibnim testom.

Pričakovati je, da se bo ED-FEM razvil do te mere, da bo postal robustno numerično orodje za porušno analizo konstrukcij v komercialnih računalniških programih za analizo konstrukcij. Zanimanje za robustno numerično orodje za porušno analizo konstrukcij je precejšnje, saj je inženirskih aplikacij, kjer bi jo želeli uporabljati, zelo veliko, med drugim tudi na področju virtualnih eksperimentov.

6 • LITERATURA

- Abaqus Manuals, Dassault Systemes, 2016.
- Arrea, M., Ingraffea, A. R., Mixed-mode Crack Propagation in Mortar and Concrete, Report No. 81–13, Department of Structural Engineering, Cornell University, Ithaca, New York, 1982.
- Brancherie, D., Ibrahimbegovic, A., Novel anisotropic continuum-discrete damage model capable of representing localized failure of massive structures: Part I: theoretical formulation and numerical implementation, *Engineering Computations* 26, 100–127, 2009.
- Crisfield, M.A., *Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Vol. 1: Essentials*, Chichester, John Wiley & Sons, 1991.
- Dujc, J., Brank, B., Ibrahimbegovic, A., Quadrilateral finite element with embedded strong discontinuity for failure analysis of solids, *Computer Modeling in Engineering and Sciences* 69, 223–259, 2010.
- Dujc, J., Brank, B., Ibrahimbegovic, A., Stress-hybrid quadrilateral finite element with embedded strong discontinuity for failure analysis of plane stress solids, *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 94, 1075–1098, 2013.
- Ibrahimbegovic, A., *Nonlinear Solid Mechanics, Theoretical Formulations and Finite Element Solution Methods*, Dordrecht, Springer, 2009.
- Jukić, M., Brank, B., Ibrahimbegovic, A., Embedded discontinuity finite element formulation for failure analysis of planar reinforced concrete beams and frames, *Engineering Structures* 50, 115–125, 2013.
- Linder, C., Armero, F., Finite elements with embedded strong discontinuities for the modeling of failure in solids, *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 72, 1391–1433, 2007.
- Petersson, E., *Crack growth and development of fracture zones in plain concrete and similar materials*, Report No. TVBM-1006, Division of Building Materials, University of Lund, Lund, Sweden, 1981.
- Pirmanšek, K., Češarek, P., Zupan, D., Saje, M., Material softening and strain localization in spatial geometrically exact beam finite element method with embedded discontinuity, *Computers and Structures* 182, 267–283, 2017.
- Pohl, T., Ramm, E., Bischoff, M., Adaptive path following schemes for problems with softening, *Finite elements in analysis and design* 86, 12–22, 2014.
- Stanić, A., Brank, B., Korelc, J., On path-following methods for structural failure problems, *Computational Mechanics* 58, 281–306, 2016.

NOVI VIDIKI RAZVOJA JAVNE PROMETNE INFRASTRUKTURE



18. oktobra 2017 smo v Društvu za ceste severovzhodne Slovenije ob sodelovanju Inženirske zbornice Slovenije in Družbe za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije ter ob podpori Ministrstva za infrastrukturo Republike Slovenije, Univerze v Mariboru in Mestne občine Maribor organizirali tradicionalno letno posvetovanje, tokrat z naslovom Novi vidiki razvoja javne prometne infrastrukture.

Krizno obdobje in manjši obseg investicij sta močno posegla v sposobnost družbe, da učinkovito načrtuje in vodi investicijske procese. Cilj strokovnega posveta je bil poiskati razvojne izzive na področju javne prometne infrastrukture in dobiti odgovore, kako povečati učinkovitost povezanih procesov pri pripravi in vodenju investicij. Tematika je bila toliko zanimiva in privlačna, da je posvetu prisostvovalo kar 174 udeležencev.

Dejstvo je, da je zaradi nekonsistentnega načrtovanja investicijske

dinamike večjih državnih infrastrukturnih projektov, ki se je zgodilo po letu 2009, gradbeništvo kot zelo pomembna industrijska panoga doživelo hud udarec, saj jih je od 30 večjih slovenskih gradbenih podjetij propadlo 23. Ta veliki padec gradbeništva kot panoge, ki ima izredno velik multiplikativen učinek tudi na druge gospodarske panoge, se je drastično odrazil tudi pri padcu družbenega proizvoda, predvsem pa je povzročil izgubo skoraj 80.000 delovnih mest, ki jih je panoga dajala pred nastankom krize. Posledica tega je, da ima zdaj Slovenija ena najbolj nestanovitnih trgov na področju gradbeništva in nestabilno stopnjo gradbenih del, kar negativno vpliva na poslovanje projektantskih in gradbenih podjetij, ki so zaradi tega nekonkurenčna, ta nekonkurenčnost pa se prenaša na gospodarska gibanja celotnega gospodarstva.

Primerno razvito državno prometno omrežje, kamor spadajo predvsem

sodobne ceste in železnice, namreč nedvomno predstavlja zelo pomemben del državne infrastrukture in obenem tudi veliko nacionalno bogastvo. Upravljanje in gospodarjenje s sodobnim prometnim omrežjem je kompleksen proces, na katerega vpliva vrsta dejavnikov, od naravnih, tehničnih, zgodovinskih, socioloških, v največji meri pa predvsem ekonomskih dejavnikov.

Slovenija ima postavljeno vizijo razvoja svojega državnega prometnega omrežja. Osnovni cilj te vizije je izboljšava razmer na cestnem in železniškem omrežju, ki bi prispevale k trajnostnemu razvoju države, predvsem pa k odpravi ozkih grl, ki že predstavljajo omejitveni dejavnik gospodarskega in družbenega razvoja. Investicijski ukrepi morajo biti preventivno usmerjeni v preprečevanje propadanja državne prometne infrastrukture, izboljšanje prometne varnosti in zagotavljanje dostopnosti. Ob tem je treba jasno povedati, da pomanjkanje javnih finančnih sredstev ne more biti izgovor za to, da dopustimo propadanje ali zaviranje razvoja državnega prometnega omrežja.

K sodelovanju na posvetu so bili povabljeni visoki predstavniki ministrstev za infrastrukturo, okolje in prostor, kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, največjega inženirskega in svetovalnega podjetja v Sloveniji DRI ter direktorij za infrastrukturo in vode in projektanti, ki so opozorili tudi na kolizijo med posameznimi zakoni s področja okolja, prostora, kmetijstva in infrastrukture.

Po uvodnih nagovorih dekana Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze

v Mariboru red. prof. dr. Miroslava Premrova, župana mestne občine Maribor dr. Andreja Fištravca, generalne direktorice Direktorata za kopenski promet Ministrstva za infrastrukturo RS mag. Darje Kocjan in predsednika Društva za ceste SV Slovenije Borisa Stergarja so bili na posvetu predstavljeni naslednji strokovni prispevki:

- Program razvoja investicij v javno prometno infrastrukturo, **Damir Topolko**
- Prostorska in gradbena zakonodaja problematika vodenja investicij, **Barbara Radovan**
- Pogled inženirja na vodenje investicij v javno prometno infrastrukturo, **Saša Kovačič**
- Problematika izvajanja investicij na glavnih in regionalnih cestah, **Tomaž Willenpart**
- Umeščanje javne prometne infrastrukture v prostor z vidika Zakona o vodah, **Tomaž Prohinar**
- Umeščanje javne infrastrukture v prostor z vidika varovanja kmetijskih zemljišč, **Leon Ravnikar**
- Problematika umeščanja južne obvoznice v Mariboru, **Rajko Sterguljc**
- Umeščanje kolesarskih povezav v prostor, **Uroš Rozman**

Posvet je vodil moderator **Igor E. Bergant**.

Boris Stergar, univ. dipl. inž. grad.
Predsednik društva DCM



PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2018

SEMINAR	IZPIT	
	Osnovni in dopolnilni	Revidiranje
12. - 14. 2. 2018	27. in 28. 3. 2018	27. 3. 2018
9. - 11. 4. 2018	29. in 30. 5. 2018	29. 5. 2018
8. - 10. 10. 2018	27. in 28. 11. 2018	

A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:

Seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana;**

Telefon: (01) 52-40-200; Fax: (01) 52-40-199;

e-naslov: gradb.zveza@siol.net; gradbeni.vestnik@siol.net.

Uradne ure:

od ponedeljka do četrтка od 9.00 do 14.00 ure; v petek NI URADNIH UR za stranke.

Seminar vključuje **izpitne programe** za:

1. odgovorno projektiranje (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
2. odgovorno vodenje del (osnovni in dopolnilni strokovni izpit)
3. odgovorno vodenje posameznih del
4. Investicijski procesi in vodenje projektov (za kandidate, ki opravljajo dopolnilni strokovni izpit; predavanje se odvija v okviru rednih seminarjev).
5. Kandidati lahko poslušajo posamezna predavanja v okviru rednih seminarjev.

(Vsi posamezni programi so dostopni na spletni strani IZS – MSG:

<http://www.izs.si>, v rubriki »Strokovni izpiti«)

Cena za udeležbo na seminarju (za predavanje in literaturo) po izpitnih programih pod 1., 2. in 3. točko znaša 623,22 EUR z DDV, pod 4. točko pa 89,10 EUR z DDV. Cena za obisk posameznega predavanja (točka 5) je 89,10 EUR z DDV.

Kotizacijo za seminar je treba nakazati ob prijavi na poslovni račun ZDGITS: **SI56 0201 7001 5398 955.**

Prijavo je treba poslati organizatorju (ZDGITS) najmanj 14 dni pred pričetkom seminarja. Prijavni obrazec je mogoče dobiti na spletni strani ZDGITS (www.zveza-dgits.si).

Izvedba seminarja je odvisna od števila prijav (najmanj 20).

B. STROKOVNI IZPITI

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije o strokovnih izpiti in izpitnih programih je mogoče dobiti na spletni strani IZS (www.izs.si), po telefonu (01) 547-33-19 (uradne ure: ponedeljek, sreda, četrtek, petek od 10.00 do 12.00 ure; v torek od 14.00 do 16.00 ure) ali osebno na sedežu IZS (uradne ure: ponedeljek, sreda, četrtek, petek od 8.00 do 12.00 ure; v torek od 12.00 do 16.00 ure).

VSEBINA LETNIKA 66/2017

Članki – Papers

Bezak, N., Šraj, M., Mikoš, M., VPLIV PADAVIN NA PROJEKTNE PRETOKE, THE INFLUENCE OF RAINFALL ON THE DESIGN DISCHARGE, oktober, stran 241.

Črep, A., Kramer Stajnkó, J., PRIMERJAVA 1D-, 2D- IN KOMBINIRANEGA HIDRAVLICNEGA 1D/2D-MODELA NA IZBRANEM ODSEKU VODOTOKA S PROGRAMOM HEC-RAS, COMPARISON OF 1D, 2D AND COMBINED 1D/2D HYDRAULIC MODEL OF SELECTED RIVER SECTION USING HEC-RAS, oktober, stran 234.

Dvornik Perhavec, D., Rebolj, D., Zorman, M., PODPORA UMETNE INTELIGENCE PRI PROJEKTIH PRENOVE IN UPRAVLJANJA STAVB, ARTIFICIAL INTELIGENCE AS A SUPPORT IN RENOVATION PROJECT AND FACILITY MANAGEMENT, junij, stran 138.

Đurić, B., Ferlinc, A., Belak, U., POMEN DOBREGA SODELOVANJA IN IZMENJAVE INFORMACIJ MED UDELEŽENCI GRADITVE, IMPORTANCE OF GOOD COOPERATION AND MUTUAL EXCHANGE OF INFORMATION BETWEEN PARTICIPANTS IN THE CONSTRUCTION PROCESS, november, stran 268.

Fajfar, P., RAZVOJ PREDPISOV ZA POTRESNO ODPORNO GRADNJO V SLOVENIJI, DEVELOPMENT OF SEISMIC CODES IN SLOVENIA, april, stran 82.

Gams, M., Lutman, M., Triller, P., Pazlar, T., Kramar, M., Anžlin, A., POŠKODBE STAVB PO POTRESU V OSREDNJI ITALIJI 2016, DAMAGE TO BUILDINGS AFTER CENTRAL ITALY EARTHQUAKE 2016, januar, stran 3.

Hladnik, L., Aleksič, N., NOVOZELANDSKI PRISTOP K ZMANJŠEVANJU ŠTEVILA OBSTOJEČIH POTRESNO NEODPORNH STAVB, NEW ZEALAND APPROACH TO REDUCE THE NUMBER OF EXISTING EARTHQUAKE PRONE BUILDINGS, februar, stran 29.

Hribar, B., Britovšek, M., Dovjak, M., PROIZVODI IZ POLISTIRENA IN MOŽNI VPLIVI NA ŽIVLJENJSKO OKOLJE, POLYSTYRENE PRODUCTS AND POSSIBLE IMPACTS ON LIVING ENVIRONMENT, oktober, stran 249.

Istenič Starčič, A., VLOGA SPLETNIH DRUŽBENIH OMREŽIJ PRI RAZVOJU KARIERNIH KOMPETENC ŠTUDENTOV GRADBENIŠTVA IN GEODEZIJE, THE ROLE OF SOCIAL NETWORK-

ING SITES IN THE DEVELOPMENT OF CAREER COMPETENCES FOR CIVIL AND GEODETIC ENGINEERING STUDENTS, junij, stran 149.

Koren, D., Kropelj, J., J., SISTEM MODULARNE GRADNJE Z NOSILNIMI ELEMENTI IZ KOMPOZITOV S STEKLENIMI VLAKNI, MODULAR BUILDING CONSTRUCTION SYSTEM WITH FIBREGLASS REINFORCED COMPOSITES, november, stran 279.

Levstek, M., SVETOVNI DAN VODA 2017, marec, stran 79.

Lutman, M., Brus, G., SANACIJA LEŽIŠČ NA VIADUKTU PETELINJEK, BEARING REPAIR ON THE PETELINJEK VIADUCT, februar, stran 37.

Malnar, D., Kolar, T., Iskra, A., Zupančič, M., GRADNJA HOTELA INTERCONTINENTAL V LJUBLJANI, CONSTRUCTION OF HOTEL INTERCONTINENTAL IN LJUBLJANA, julij, stran 162.

Markelj, V., Maher, J., POSTOPNO NARIVANJE MOSTOV – ZNAČILNOSTI IN VPLIV VSILJENEGA DEFORMIRANJA, INCREMENTAL LAUNCHING METHOD – CHARACTERISTICS AND INFLUENCE OF IMPOSED DEFORMATION, september, stran 209.

Mikoš, M., REČNI SEDIMENTI IN MINERALNI AGREGATI V GRADBENIŠTVU, FLUVIAL SEDIMENTS AND MINERAL CONSTRUCTION AGGREGATES, december, stran 296.

Praper, P., Pšunder, I., Rebolj, D., INTEGRIRANI MONITORING KOT ORODJE ZA UČINKOVITO IN EKONOMIČNO ENERGETSKO UPRAVLJANJE JAVNIH STAVB, INTEGRATED MONITORING AS A TOOL FOR EFFICIENT AND ECONOMICAL ENERGY MANAGEMENT IN PUBLIC BUILDINGS, maj, stran 109.

Ravnikar Turk, M., Logar, J., Ipavec, A., Tušar, M., VPLIV LABORATORIJSKEGA STARANJA CESTOGRADBENIH BITUMNOV B 70/100 NA NJIHOVE LASTNOSTI, THE IMPACT OF LABORATORY AGING ON 70/100 BITUMEN PENETRATION GRADE PROPERTIES, september, stran 220.

Rismal, M., PRELOŽITEV NOVEGA ŽELEZNIŠKEGA TIRA DIVAČA-KOPER NA TRASO 1/3 VODNOGOSPODARSKO NI UTEMELJENA, RELOCATION OF THE NEW RAILWAY TRACK 1/3 DIVAČA – KOPER FROM WATER RESOURCE MANAGEMENT IS NOT JUSTIFIED, marec, stran 74.

Saje, D., Planinc, I., Bratina, S., VPLIV STIKOVANJA ARMATURNIH PALIC S PREKRIVANJEM NA TOGOST RAZPOKANEGA NATEZNEGA ARMIRANOBETONSKEGA ELEMENTA: NUMERIČNI MODEL, INFLUENCE OF REBAR LAP SPLICES ON STIFFNESS OF TENSIONED REINFORCED CONCRETE ELEMENT: NUMERICAL MODEL, april, stran 97.

Slivnik, L., TRIČLENKASTI LOČNI MOSTOVI: MATERIAL, RAZPON IN POLOŽAJ VOZIŠČA, THREE-HINGED ARCH BRIDGES: MATERIAL, SPAN, AND BRIDGE TYPE, maj, stran 121.

Snoj, J., Dolšek, M., OCENA POTRESNEGA TVEGANJA ZIDANIH STAVB: VPLIV MEHANSKIH LASTNOSTI ZIDOVJA, SEISMIC RISK ASSESSMENT OF MASONRY BUILDINGS: THE INFLUENCE OF MECHANICAL PROPERTIES OF MASONRY, avgust, stran 182.

Štanič, A., Brank, B., MODELIRANJE NASTANKA IN ŠIRJENJA RAZPOK V KRHKIH MATERIALIH, MODELLING OF CRACK OUTSET AND PROPAGATION IN BRITTLE MATERIALS, december, stran 314.

Špegelj, T., Premrov, M., Žegarac Leskovar, V., ENERGIJSKA SANACIJA OBSTOJEČIH VEČSTANOVANJSKIH STAVB, ENERGY REFURBISHMENT OF EXISTING MULTI-FAMILY BUILDINGS, marec, stran 46.

Štok, E., OBJEKTI EXPO 2017, junij, stran 156.

Tekavec, M., KONSTRUKCIJSKO PROJEKTIRANJE ICF-SISTEMA JUBHOME WALL, STRUCTURAL DESIGN OF ICF SYSTEM JUBHOME WALL, januar, stran 13.

Troha, B., REVIZIJA VREDNOSTI 2. TIRA KOPER-DIVAČA, REVIEW OF COST ESTIMATION OF THE 2ND TRACK KOPER - DIVAČA, marec, stran 56.

Vogrič, N., Planinc, I., Trtnik, G., EKSPERIMENTALNO SPREMLJANJE ZGODNJEGA OBLIKOVANJA STRUKTURE CEMENTNIH PAST, EXPERIMENTAL MONITORING OF EARLY FORMATION OF CEMENT PASTE STRUCTURE, december, stran 307.

Zorec, D., HIŠA 2030 – SLOVENSKA NIZKOENERGIJSKA HIŠA PRIHODNOSTI, HOUSE 2030 – SLOVENIAN CONTEMPORARY LOW-ENERGY HOUSE, julij, stran 173.

Žula, T., Kravanja, S., MINLP-OPTIMIRANJE SOVPREŽNEGA STROPNEGA SISTEMA Z I-NOSILCI, MINLP OPTIMIZATION OF A COMPOSITE I BEAM FLOOR SYSTEM, avgust, stran 194.

Voščilo

Kryžanowski, A., Voščilo predsednika ZDGITS, december, stran 294.

In memoriam

Kuhta, M., Brunčič, A., Prof. dr. Branko S. Bedenik, univ. dipl. inž. grad., (6.1.1948-11.12.2016), januar, stran 2.

Jubilej

Duhovnik, J., Doc. dr. Janez Reflak, univ. dipl. inž. grad. - 80 let, februar, stran 26.

Nagrajeni gradbeniki

Nagrade Inženirske zbornice Slovenije gradbenim inženirjem leta 2017, november, stran 266.

Nagrade članom društev ZDGITS

Levstek, M., Prof. dr. Milenko Roš prejel medaljo Dunbar, december, stran 295.

Novice iz DGIT

Preskar, J., Aktivnosti nas povezujejo in krepijo, junij, stran 158.

Poročila s strokovnih in znanstvenih srečanj

Levstek, M., Vodni dnevi 2017, november, stran 292.

Mikoš, M., Bezak, N., Jemec Auflič, M., Četrtri svetovni forum o zemeljskih plazovih – WLF4, Ljubljana, 2017, julij, stran 178.

Može, P., Lopatič, J., 38. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, januar, stran 22.

Pogačnik, A., BIM seminar, avgust, stran 204.

Stergar, B., Novi vidiki razvoja javne prometne infrastrukture, december, stran 320.

Širca, A., Globevnik, L., Drugi slovenski kongres o vodah, maj, stran 134.

Terminološki kotiček

Kuhta, M., Brunčič, A., Koristnost koristne obtežbe, maj, stran 130.

Obvestila ZDGITS

Pripravljalni seminarji in izpitni roki za strokovne izpite za gradbeno stroko v letu 2017, januar, stran 24.

Vabilo Izdajateljskega sveta Gradbenega vestnika, februar, stran 43.

Vabilo Izdajateljskega sveta Gradbenega vestnika, marec, stran 80.

Vabilo na skupščino, april, stran 108.

Zadnji pripravljali seminar in izpitni rok za strokovne izpite za gradbeno stroko v letu 2017, maj, stran 138.

Zadnji pripravljali seminar in izpitni rok za strokovne izpite za gradbeno stroko v letu 2017, avgust, stran 208.

Pripravljalni seminarji in izpitni roki za strokovne izpite za gradbeno stroko v letu 2018, december, stran 322.

Obvestila IZS

Razpis nagrad IZS, junij, stran 160.

Novice iz ZDGITS

Okorn, E., Poročilo s skupščine Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, avgust, stran 206.

Zanimivosti

Duhovnik, J., Spletno mesto Structural Safety, februar, stran 44.

Novi priročnik

Marc, K., Uvajanje BIM v državah EU, september, stran 230.

Vabilo

Dan inženirjev 2017, september, stran 232.

Promocijski članek

Čakš, I., Od kalkulacij do BIM-a, januar, stran 21.

Vsebina letnika 66/2017

December, stran 323.

Navodila avtorjem za pripravo prispevkov

V vsaki številki, stran 2 ovitka.

Novi diplomanti

Okorn, E., januar, stran 3 ovitka; februar, stran 3 ovitka; marec, stran 3 ovitka; april, stran 3 ovitka; maj, stran 3 ovitka; junij, stran 3 ovitka; julij, stran 3 ovitka; avgust, stran 3 ovitka; september, stran 3 ovitka; oktober, stran 264 in stran 3 ovitka; november, stran 3 ovitka; december, stran 3 ovitka.

Koledar prireditev

Okorn, E., januar, stran 4 ovitka; februar, stran 4 ovitka; marec, stran 4 ovitka; april, stran 4 ovitka; maj, stran 4 ovitka; junij, stran 4 ovitka; julij, stran 4 ovitka; avgust, stran 4 ovitka; september, stran 4 ovitka; oktober, stran 4 ovitka; november, stran 4 ovitka; december, stran 4 ovitka.

Naslovnice

Arhiv CGP, d.d., Novo mesto, Hotel Intercontinental v Ljubljani, julij.

Arhiv DARS, Obnova viadukta Ravbarkomanda, avgust.

Arhiv DARS, Gradnja AC A4 med Podlehnikom in Gruškovjem, november.

Arhiv DARS, Gradnja predora Log na AC A4 Draženci – Gruškovje, december.

Duhovnik, J., Razgledni stolp Vivarium v Lendavskih gorica, januar.

Duhovnik, J., Obnovljen železniški most čez Dravo na Ptuj, maj.

Duhovnik, J., Rekonstrukcija cestnega mostu čez Dravo v Vuhredu, junij.

Duhovnik, J., Gradnja armiranobetonske, lesene in jeklene konstrukcije stanovanjskega objekta v Medvodah, oktober.

Kante, P., Podvoz Strnišče na železniški progi Pragersko-Hodoš, februar.

Koležnik, S., AC Draženci – Gruškovje, sklop 1, Nadvoz 0093-1, 4-1, april.

Krstić, I., Montaža opečnih sten sistema Masivna Pasivna, september.

Matekovič, A., Gradnja cestnega podvoza P2 pod obstoječim in novim tirom na progi Divača-Koper pri Dekanih, marec.

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA - VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM OPERATIVNO GRADBENIŠTVO

Nina Predovnik, Preverjanje lastnosti injekcijskih mešanic pripravljeneh z različnimi mešalniki, mentorica prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentorica asist. dr. Andreja Padovnik; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=98383>

Alen Avdić, Analiza vzrokov za nastanek plesni v enodružinski hiši in predlog sanacij, mentor doc. dr. Mitja Košir, somentor asist. Luka Pajek; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=98380>

Martin Moličnik, Določitev sistema protikorozijske zaščite jeklene konstrukcije, mentor viš. pred. dr. Leon Hladnik; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=98382>

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Ines Ahmić, Primerjava metod dimenzioniranja novih asfaltnih voziščnih konstrukcij v Sloveniji, Nemčiji in ZDA, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=98317>

Rok Vodopivec, Primerjava programske opreme Synchro in Vistro za analizo uspešnosti servisiranja prometnih zahtev na primeru križišč vzdolž Tržaške ceste v Ljubljani, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor asist. dr. Rok Marsetič; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=98319>

Rok Kurinčič, Račun požarne odpornosti armiranobetonske okvirne konstrukcije, mentor izr. prof. dr. Tomaž Hozjan, somentor izr. prof. dr. Sebastjan Bratina; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=98314>

III. STOPNJA - DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Matej Čehovin, Optimizacija naprednih oksidacijskih postopkov pri oksidaciji organskih spojin v postopkih priprave pitne in bazenske vode, mentor prof. dr. Boris Kompare, somentorica doc. dr. Andreja Žgajnar Gotvajn; <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=98314>

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO

I. STOPNJA - VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

David Prelogar, Analiza cen poslovnega objekta s podporo programa 4BUILD, mentorica doc. dr. Nataša Šuman, univ. dipl. gosp. inž., somentor asist. ZORAN PUČKO, univ. dipl. gosp. inž.; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=68835&lang=slv>

Tomaž Stepanič, Matematični modeli sodobne enodružinske hiše, mentor doc. dr. Iztok Peruš, univ. dipl. inž. grad., somentor asist. Denis Imamović, univ. dipl. inž. grad.; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=68884&lang=eng>

1. STOPNJA - UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Deniz Hadji Mustafa, študij je zaključil z diplomskim izpitom.

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVA

Andrej Jazbec, Optimizacija jeklenega cestnega mostu razpona 50 m, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Tomaž Žula; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=68733>

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO - EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

2. STOPNJA - INTERDISCIPLINARNI MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA - SMER GRADBENIŠTVA

Marijan Bilić, Organizaacijski izzivi in analiza stroškov na projektu "Hotel Osmine", mentorja red. prof. dr. Andrej Štrukelj in red. prof. dr. Duško Uršič, somentor doc. dr. Bojan Čas; <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=67909>

Rubriko ureja • Eva Okorn, gradb.zveza@siol.net

KOLEDAR PRIREDITEV

25. -26. 1. 2018

ICCEBM 2018 – 20th International Conference on Civil Engineering and Building Materials

Pariz, Francija

www.waset.org/conference/2018/01/paris/ICCEBM

26. -28. 2. 2018

ACSGE 2018 – 2nd International Conference on Advances in Concrete, Structural and Geotechnical Engineering

Pilani, Indija

[www.bits-pilani.ac.in/ACSGE 2018/](http://www.bits-pilani.ac.in/ACSGE%2018/)

8. -10. 3. 2018

ICACE 2018 – International Conference on Architecture and Civil Engineering 2018

Hong Kong, Kitajska

<http://icace.coreconferences.com/>

11. -13. 3. 2018

ICCUUE 2018 – 5th International Conference on Civil and Urban Engineering

Barcelona, Španija

<http://www.iccue.org/>

15. -16. 3. 2018

ICCEABME 2018: 20th International Conference on Civil Engineering, Architecture, Building Materials and Environment

Pariz, Francija

www.waset.org/conference/2018/03/paris/ICCEABME

8. -10. 4. 2018

ICESDP'18-3rd International Conference on Environmental Sustainability, development, and Protection

Budimpešta, Madžarska

<http://icesdp.com/>

8. -10. 4. 2018

ICGRE'18-3rd International Conference on Geotechnical Research and Engineering

Budimpešta, Madžarska

<http://icgre.org/>

6. -10. 5. 2018

2018 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Conference

Nashville, Texas, Združene države Amerike

www.cementconference.org/

15. -17. 5. 2018

Structural Faults & Repair 2018 and European Bridge Conference 2018

Edinburgh, Škotska

www.structuralfaultsandrepair.com/

22. -24. 5. 2018

S.ARCH 2018 – The 5th International Conference on Architecture and Built Environment with AWARDS

Benetke, Italija

<http://s-arch.net/>

6. -8. 6. 2018

3rd International Conference on Protection against Overtopping

Grange-over-Sands, Velika Britanija

<http://protections2018.org/Protections2018/homepage>

21. -22. 6. 2018

International Conference on Civil & Structural Engineering

Pariz, Francija

<https://civilengineering.enggconferences.com/>

28. -31. 10. 2018

IALCCE 2018 – The 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering

Gent, Belgija

www.ialcce2018.org/#/home

Rubriko ureja • **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: gradb.zveza@siol.net