





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 knjigo RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**
prof. dr. Matjaž Mikoš
Jakob Presečnik
MSG IZS: **Gorazd Humar**
mag. Črtomir Remec
doc. dr. Branko Zadnik
FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**
FG Maribor: **Milan Kuhta**
ZAG: **akad. prof. dr. Miha Tomaževič**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristjan Juteršek

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

3400 izvodov

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 22,95 EUR; za študente in upokojene 9,18 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 169,79 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je vstet 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 presledkom 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. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavja 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, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja 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 in opisana z naslednjimi podatki: priimek, začetnica imena prvega avtorja, 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 **274**

Miro Vrbek, univ. dipl. inž. grad.

VOŠČILO PREDSEDNIKA ZDGITS

Članki • Papers

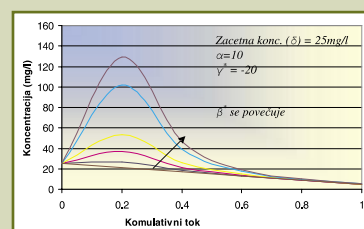
stran **275**

asist. dr. Mario Krzyk, univ. dipl. inž. grad.

izr. prof. dr. Jože Panjan, univ. dipl. inž. grad.

OBČUTLJIVOSTNA ANALIZA PARAMETROV MODELIRANJA PRVEGA VALA ONESNAŽENIH VODA S CESTNIH POVRŠIN

A SENSITIVITY ANALYSIS MODELING PARAMETERS OF THE FIRST
WAVE OF POLLUTED WATER FROM ROAD SURFACE



stran **284**

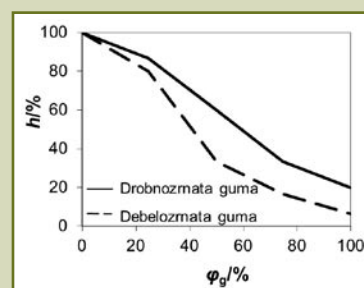
dr. Andreja Popit, univ. dipl. inž. geol.

dr. Anatolij Nikonov, univ. dipl. inž. str.

prof. dr. Igor Emri, univ. dipl. inž. str.

PREGLED RAZISKAV LASTNOSTI IN UPORABNOSTI BETONOV Z DODATKOM MLETE GUME IZ ODPADNIH PNEVMATIK

OVERVIEW ABOUT RESEARCH OF PROPERTIES AND APPLICABILITY
OF CONCRETE WITH ADDED GRANULAR RUBBER FROM
SCRAP TIRES



Vsebina letnika 61/2012

stran **298**

Novica iz ZDGITS

stran **300**

Eva Okorn, prof. um. zgod., univ. dipl. geogr.

ZDGITS SPET NA KARLOVŠKI CESTI 3

Novi diplomanti

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Koledar prireditev

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: Pogled iz predora Pod stenom na Poljanski obvoznici v Škofji Loki proti
Suhi, foto Janez Duhovnik

VOŠČILO PREDSEDNIKA ZDGITS



Spoštovani inženirji in tehniki

Lep pozdrav v decembrskem času in ob koncu leta 2012. V teh prazničnih dneh vam želim veliko sreče in miru. Ne glede na vse dogodke v zadnjem času upam, da imate delo, da ste si zagotovili sredstva za svoje in družinske potrebe, da boste vsaj v prazničnih dneh lahko nekoliko odmislili skrbi.

Vse, kar smo si želeli v preteklem letu, se žal ni uresničilo, vsaj ne vsem. Prav v gradbeništvu se kriza še pogloblja. Naložbe v infrastrukturo, kot so ceste, železnice in vodno gospodarstvo, se še bolj zmanjšujejo, ne začnejo se nove. Nekoliko bolje je v elektrogospodarstvu, kjer se nadaljujejo naložbe v hidroelektrarne na Savi in TEŠ 6.

Opazen je prodor tujih gradbenih podjetij, ki večajo svoj tržni delež v že tako zmanjšanem obsegu del. Industrijska in stanovanjska gradnja je prav tako zelo zmanjšana, gradnja za trg je zaradi nizkega povpraševanja zelo omejena oziroma zasičena z neprodanimi zalogami iz preteklih let. Povečuje se tudi ponudba nepremičnin iz virov propadlih investitorjev, kar samo povečuje krizo na trgu nepremičnin. Ta ne deluje, ker morebitni kupci nimajo razpoložljivih finančnih virov, saj bančni sektor ne ponuja ustreznih uslug financiranja, imamo pa tudi strah pred večjim zadolževanjem. Vlada je sicer izvedla nekaj manjših posegov v pogoje za oddajo del z javnimi naročili, vendar je proračun prazen kot že dolgo ne. Skratka, kriza traja in ji še ni videti konca.

Verjetno se je v tem letu zgodilo tudi kaj lepega in spodbudnega, pa tega sploh ne opazimo ali pa se o takih stvareh ne piše toliko. Zatorej predlagam, da gledate naprej z optimizmom, da se držite sončne strani ulice. Tudi pogovor pravi, da za dežjem posije sonce. Do tedaj pa se veselite vsakega dne in ga vzemite kot osebno darilo, da lahko spet naredite nekaj dobrega zase in za druge.

V novem letu želim vsem inženirjem in tehnikom predvsem dela.

Vsako delo je dobro, tako v naši stroki kot tudi kje drugje, tako doma kot na tujem. Kot sem napisal lani in predlani, velja tudi letos, ne glede na vse: moramo predvsem delati, da ohranimo znanje, pa tudi zaradi svojega osebnega veselja in zadovoljstva. Za vse, ki pa ostajamo »doma«, velja več potrpljenja, in ne čakajte predolgo, počnite karkoli, pišite, se izobražujte in še kaj.

Vsem članom društev ZDGITS želim v novem letu veliko uspeha in zadovoljstva pri svojem delu ter veliko zdravja in sreče v novem letu 2013.

Miro Vrbek, univ. dipl. inž. grad.
Predsednik ZDGITS

*Vsem bralcem, avtorjem in recenzentom Gradbenega vestnika želita
vesele božične praznike in srečno ter zdravo novo leto 2013
Izdajateljski svet in uredništvo*

OBČUTLJIVOSTNA ANALIZA PARAMETROV MODELIRANJA PRVEGA VALA ONESNAŽENIH VODA S CESTNIH POVRŠIN

A SENSITIVITY ANALYSIS MODELING PARAMETERS OF THE FIRST WAVE OF POLLUTED WATER FROM ROAD SURFACE

asist. dr. Mario Krzyk, univ. dipl. inž. grad.

mario.krzyk@fgg.uni-lj.si

izr. prof. dr. Jože Panjan, univ. dipl. inž. grad.

joze.panjan@fgg.uni-lj.si

UL FGG, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko

Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 628.196:656.13

Povzetek | Onesnažene vode s cest vsebujejo velike količine anorganskih in organskih onesnažil. Njihov izvor je v disperznih virih na sami površini cestišča in v točkovnih izvori. Konične koncentracije onesnažil v padavinski odpadni vodi se pojavijo v začetni fazi padavin kot prvi val onesnaženja. Teoretično in praktično ga danes izražamo z izrazom kritični naliv. Modeliranje prvega vala je zahtevno, saj se lahko obravnava do 30 parametrov oziroma spremenljivk. Večina modelov uporablja razmerje masnih emisij kot vodilne enačbe in izraža koncentracije ali kopičenje onesnažil kot funkcijo časa. Spremenljivke so odvisne od volumna odтока, intenzitete padavin, intenzitete prometa, predhodnih sušnih dni, rabe tal in drugih parametrov. V članku obravnavamo občutljivostno analizo za nekatere parametre – kot so α koeficient delnega odтока, β^* , ki se nanaša na padavine, γ^* , ki poveča končen preostanek koncentracije onesnažil, in δ kot začetna koncentracija –, ki vplivajo na koncentracijo onesnažila na cestnih površinah.

Ključne besede: ceste, kritični naliv, prvi val, odvodniki, koncentracije, onesnažila

Summary | Polluted water from roads contains large amount of inorganic and organic pollutants. Their origin is in the dispersed sources on the surface of the road itself and in local origins. Peak concentrations of pollutants in stormwater effluent occur in the initial stage of precipitation known as the "first wave". Theoretically and practically it is expressed as critical rainfall. Modeling of the first wave is difficult because it can deal up to 30 parameters, ie. variables. Most of the models use mass emission rate as the governing equation and express concentration or accumulation of pollutants as a function of time. Variables depend on the volume of runoff, precipitation intensity, the intensity of traffic, the previous dry days, the land use and other parameters. In this paper sensitivity analysis for some parameters, such as coefficient α partial outflow, β^* relating to rainfall, which increases γ^* remainder of the final concentration of pollutants δ as initial concentration and affecting concentration of pollutants are considered.

Key words: roads, critical rainfall, the first wave, surge, concentrations, pollutants

1 • UVOD

Prvi val onesnaženja oziroma čistilni val s cestnih površin je odtok ob začetku zelo intenzivnih nalivov. Padavinska voda izpere največji del onesnaženja, ki se je (na)kopičilo v času sušnega vremena, v jeseni tudi zaradi vegetacijskega odmiranja, spomladi pa tudi zaradi cvetenja (pelod), pozimi in v zgodnji pomladi zaradi posipavanja in soljenja cestišč. Največji vzroki za onesnaženje so torej zaradi: prometa – normalna obraba cestišč, gum in zavor (obrus), naftni derivati, soljenje cestišč v času zmrzovanja, težke kovine, nesnaga voznikov (predvsem organska), vegetacije – listje, pelod idr. V odtoku prvega vala se izprana zračna in površinska nesnaga (pesek, olja, smeti, kemikalije, kovine idr.) s cest, parkirišč in urbanih površin pojavijo v zelo visokih koncentracijah. Koncentracije onesnažil v začetnem odtoku so mnogo večje v primerjavi z odtokom, ki sledi. Prvi val onesnaženja je definiran po različnih avtorjih takole:

- z uporabo statističnih metod, ki vključujejo mnogokratni regresijski model, je prvi val velikega onesnaženja, omejen na prvih 20 % odtoka (Deletic, 1998),
 - to je najmanj 80 % nakopičenih onesnažil, prisotnih v prvih 30 % odtočnega volumna (Bertrand-Krajewski, 1998),
 - to so nakopičene koncentracije onesnažil v padavinskem odtoku, ki se pojavijo na začetku padavinskega dogodka, ki traja od 5 do 15 minut (Panjan, 2001).
- Problematika bo obravnavana v dveh člankih, v prvem bodo podana teoretična izhodišča in občutljivostna analiza parametrov prvega vala onesnaževanja, v drugem pa večletne meritve in primerjave koncentracij onesnažil na cestišču, v kanalu in odvodniku na isti lokaciji naselja v različnih letnih obdobjih. Lovljenje in čiščenje onesnaženih padavinskih voda izključno s cestnih površin v Nemčiji urejajo smernice za odvodnjavanje cestišč RAS – Ew »Richtlinie für die Anlage von

Straßen, Teil Entwässerung« (Maleiner, 2005). Z rahlim medsebojnim odstopanjem se bazeni za čiščenje deževnice lahko dimenzionirajo tudi po delovnih poročilih ATV – AG 1.3.2: »Behandlung des Regenabflusses beim Trennverfahren« (1980).

Zanima nas predvsem masna bilanca snovi prvega vala onesnaženja in celotnega padavinskega dogodka najpomembnejših onesnažil, da bomo lažje v skladu s predpisi ugotavljali obremenitve vodotokov in njihovo zaščito, na primer z zadrževalnimi bazeni.

Računalniški modeli prvega vala onesnaženja za ugotavljanje masnih bilanc se razvijajo šele v zadnjih treh desetletjih. Pri tem pa se upoštevajo temeljni principi odvodnje cest, osnovna hidrološka in hidravlična načela odvodnje avtocest ter kriteriji za kvalitetno odvodnjavanje in čiščenje padavinskih voda s cest oziroma njihovega izpuščanja v odvodnike – recipiente, tako z vidika emisij kot imisij. Za ovrednotenje vplivov prvega vala so pogosto uporabljeni modeli za napovedovanje koncentracij, kot so regresijski modeli, stohastični in deterministični simulacijski modeli (Menganiet, 2005).

2 • PRISTOPI REŠEVANJA

Za simulacijo prvega vala smo uporabili hidravlični in kakovostni model **SWMM** (Storm Water Management Model) (Rossman, 2005), za zadrževanje onesnaženih voda pa nemške smernice ATV (Abwasser Technische Vereinigung) 128 E. SWMM-model je eden od najbolj uporabljenih matematičnih modelov v slovenski praksi dimenzioniranja kanalizacijskih sistemov. To je časovno odvisni simulacijski model. Uporablja načela ohranitve mase, energije in gibalne količine. Program uporablja različne metode preračuna količinskega in kvalitativnega odtoka za naslednje fizikalne procese: površinski odtok, infiltracija, podtalnica, taljenje snega, transport toka, površinsko zbiranje vode, transport onesnažil itd. (Rep, 2007).

Program ima možnost analize samega kopičenja onesnažil kot tudi izpiranje, transport in obravnavo kakršnegakoli števila onesnažil. Predpostaviti oziroma podati pa moramo naslednje:

1. onesnažilo, ki bo analizirano,

2. definirati različne kategorije rabe tal, kjer se ustvarja podano onesnažilo,
3. podati parametre funkcije kopičenja in izpiranja, ki določijo kvaliteto odtoka iz posamezne kategorije rabe tal, in določiti mešanico rabe tal za posamezno prispevno območje, na primer urbana področja, prometna, kmetijska (njive, travniki ...) idr.

Za koeficient odtoka in posameznega onesnažila moramo podati ime onesnažila, uporabljene enote za koncentracijo posameznega onesnažila (mg/l, µg/l ...) v padavinski onesnaženi vodi, podzemne vode idr. S programom lahko določimo t. i. kopolutante (ang. Co-pollutants), kar pomeni naslednje: onesnažilo X lahko ima kopolutant Y, zato je pri vsebovani koncentracijski vrednosti X v odtoku prisotna tudi določena fiksna frakcija koncentracijske vrednosti Y.

V primeru večjega števila onesnažil mora uporabnik za vsakega od teh določiti njegove karakteristike kopičenja. Za vsako posamezno

onesnažilo je treba določiti tudi t. i. začetno kopičenje, ki je izprano med padavinskim dogodkom. To je lahko določeno na dva možna načina:

- določitev števila predhodnih sušnih dni,
- neposredna določitev začetne nakopičene mase na vsakem prispevnem območju.

Kopičenje onesnažil, ki se akumulirajo znotraj posamezne prispevne površine, je opisano kot masa (kg) na enoto prispevne površine (ha) in enoto volumna (l), za metrične (EU) enote (v programu so podane tudi ZDA enote) (Stenstrom, 2005). Količina nakopičenih onesnažil je tako funkcija predhodnega sušnega obdobja in je lahko izračunana z izborom ene od spodnjih funkcij:

Kopičenje onesnažil (B) je odvisno od časa (t), ki raste do neke vrednosti, do nekega maksimalnega limita (glej preglednico 1):

$$B = \text{Min}(C_1, C_2 t^{C_3}) \quad (1)$$

kjer pomenijo:

t – čas (sušni dnevi) (min)

C₁ – maksimalno možno kopičenje (kg/ha),

C₂ – konstantna vrednost kopičenja (l/dan)

C₃ – časovni eksponent.

Kopičenje največkrat sledi eksponentni rasti krivulje, ki se asimptotično približuje maksimalnemu limitu:

$$B = C_1(1 - e^{-C_2 t}) \quad (2)$$

Kopičenje se začne z linearno vrednostjo, ki se s časom odklanja, dokler ni dosežena vrednost saturacije,

$$B = \frac{C_1 t}{C_2 + t} \quad (3)$$

kjer pomenita:

C_1 – maksimalno možno kopičenje (kg/ha),
 C_2 – polovična (razpolovna) saturacijska konstanta (dnevi, ki so potrebni za doseg polovične vrednosti maksimalnega kopičenja) (min).

V primeru večjega števila onesnažil moramo, tako kot pri sami določitvi kopičenja, za vsakega od teh določiti njegove karakteristike izpiranja.

Izprana onesnažila (s prispevnih površin ali iz kanalizacijskega sistema) (W – (mg, µg/h)) so proporcionalna produktu eksponentialne funkcije odtoka, ki se večja do neke vrednosti in vrednosti manjkajočih nakopičenih onesnažil:

$$W = C_1 q^{C_2} B, \quad (4)$$

kjer pomeni:

C_1 – koeficient izpiranja (-),
 C_2 – eksponent izpiranja (-),
 Q – odtočna vrednost na površino (mm/h),
 B – nakopičena onesnažila (kg/ha).

Izpiranje po vrednostni krivulji (Rating Curve Washoff)

Vrednost izprane mase onesnažil W je proporcionalna z odtočno vrednostjo, ki raste do neke meje:

$$W = C_1 Q^{C_2}, \quad (5)$$

kjer pomenita:

C – koncentracijo (mg/l),
 Q – odtočno količino (l/s).

Srednja koncentracijska vrednost dogodka (Event Mean Concentration – EMC je C_{EM})

Gre za poseben primer krivulje vrednosti odtoka, kjer je eksponent enak 1 in koeficient C_1 predstavlja koncentracijo izpranih onesnažil (mg/l).

Treba je opozoriti, da se v vseh primerih kopičenje posledično zmanjša s pričetkom procesa izpiranja, kakor se tudi izpiranje prekine, ko nakopičenih snovi ni več na voljo.

Poimenski prikaz funkcij kopičenja onesnažil v programu SWMM je podan v preglednici 2.

Vsaka funkcija izpiranja izraža rezultate v svojih enotah. Pri eksponentni funkciji je odtok izražen v višini na časovno enoto (mm/h), medtem ko je pri vrednostni krivulji odvisno, katere merske enote je uporabnik programa določil na začetku dela s podprogramom (CFS, CMS itd.). Parameter kopičenja pri eksponentni funkciji predstavlja »tekoče« kopičenje na prispevnih površinah v masnih enotah. Enote, v katerih je izražen koeficient C_1 , so (mm/h)^{C2} na uro. Pri vrednostni krivulji je enota koeficienta C_1 odvisna od izbranih merskih enot. Funkcija srednje koncentracijske vrednosti pa ima izražen

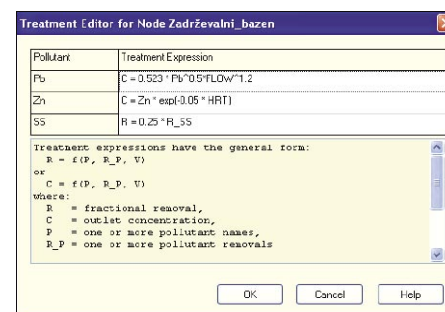
koeficient C_1 vedno v koncentracijskih enotah (Kim, 2004).

Čiščenje

Čiščenje določa v SWMM stopnjo odstranjevanja določenega onesnažila v kateremkoli vozlišču odvodnega sistema. Funkcijo stopnje odstranjevanja onesnažila določi uporabnik programa sam z matematičnim izrazom oziroma kompletom funkcij.

Komplet funkcij je mišljen kot kakršenkoli dobro zasnovan izraz za posamezno onesnažilo, ki vsebuje:

- koncentracijo onesnažil vseh tokov, ki vstopijo v neki požiralnik ali jašek, (uporaba imena, ki predstavlja koncentracijo nekega onesnažila),
- odstranitev drugih onesnažil (uporaba predpone R_{-} pred onesnažilom, kar predstavlja odstranitev),
- katerokoli od naslednjih spremenljivk:
 - (v)tok Q_i – za vrednost vtoka v sam jašek (l/s),
 - globino h – za globino vode nad vozliščem (m),
 - območje F_i – za prispevno območje, ki pripada nekemu jašku (m²),
 - DT – za časovne korake izračuna (s),
 - HRT – za hidravlični zadrževalni čas (h).



Slika 1 • Primer zapisa funkcije stopnje odstranjevanja onesnažil

Rezultat t. i. čiščenja je lahko koncentracija (C) ali pa frakcijska odstranitev (R). Kot primer prvostopenjskega izraza za BPK (KPK), ki izteka iz zadrževalnega bazena, je enačba 6:

– **koncentracija:** npr.: prvostopenjska funkcija

$$C = BPK \cdot \exp(-0.05 \cdot HRT) \quad (6)$$

– oziroma **odstranitev onesnažil v sledeh:** npr.: odstranitev svinca predstavlja 25 % odstranitve SS

$$R = 0.75 \cdot R_{-} SS \quad (7)$$

Ime	Funkcija	Enačba
POW	Moči (Power)	$Min(C_1, C_2 * t^{C_3})$
EXP	Eksponentna (Exponential)	$C_1 * (1 - \exp(-C_2 * t))$
SAT	Zasičenja (Saturation)	$C_1 * t / (C_3 + t)$

Preglednica 1 • Pregled funkcij kopičenja onesnažil (t predstavlja št. predhodnih sušnih dni)

Ime	Funkcija	Enačba	Enote
EXP	Eksponentna (Exponential)	$C_1(\text{odtok})^{C_2}(\text{kopičenje})$	Izprana masa/h
RC	Vrednostna krivulja (Rating Curve)	$C_1(\text{odtok})^{C_2}$	Izprana masa/s
C_{EM}	Srednja koncentracijska vrednost (Event Mean Concentration)	C_1	Izprana masa/l

Preglednica 2 • Pregled funkcijskih enačb za izpiranja onesnažil

Samo čiščenje je lahko uporabljeno na vsakršni kategoriji rabe tal za periodično zmanjšanje nakopičenih onesnažil. Parametri, ki opišejo čiščenje, so:

- čas med zaporednimi čiščenji,
- čas, ki je pretekel od zadnjega čiščenja do začetka simulacije,
- frakcije vseh nakopičenih onesnažil, ki so na voljo za samo redukcijo s čiščenjem,
- frakcije posameznih nakopičenih onesnažil, ki so reducirana s čiščenjem.

Račun hidravličnih parametrov v kanalizacijskem sistemu

Za račun transporta vode po kanalih in ceveh lahko v programu SWMM izbiramo med tremi različnimi vrstami pristopov:

- dinamični tok (tok z dinamičnim valom),
- kinematični tok (tok s kinematičnim valom),
- stalni tok.

Z uporabo **dinamičnega vala** za transport vode po kanalih rešuje SWMM popolne Saint-Venantove enačbe za enodimenzijski nestalni neenakomerni tok. Te enačbe sestojijo iz kontinuitetne in dinamične enačbe za kanale, ki jih SWMM rešuje z uporabo Picardove iteracije (metoda zaporednih približkov) in iz prostorninske kontinuitetne enačbe za vozlišča.

Kontinuitetna enačba za posamezni kanal:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (8)$$

Dinamična (momentna) enačba za posamezni kanal:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2 / A)}{\partial x} + g \cdot A \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + g \cdot A \cdot I_t + g \cdot A \cdot h_L = 0 \quad (9)$$

Oznake v zgornjih enačbah pomenijo:

- x – stacionaža (m),
- t – čas (s),
- A – površina omočenega oboda v prečnem prerezu (m^2),
- Q – pretok (m^3/s),
- g – gravitacijski pospešek, ki znaša $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$,
- H – hidravlična višina vode v kanalu (višina gladine + morebitna tlačna višina) (m),
- I_t – padec energijske črte zaradi trenja (trenjske izgube) (m/m),
- h_L – lokalne energijske izgube (m/m).

Trenjske izgube I_t preračuna program iz Manningove enačbe:

$$I_t = \frac{n_g^2 \cdot v^2}{k^2 \cdot R^{4/3}} \quad (10)$$

Oznake pomenijo:

- k – koeficient (-) ($1,0$ za metrične enote in $1,49$ za ameriške enote),
- n_g – Manningov koeficient hrapavosti kanala, katerega tipične vrednosti so v priročniku SWMM 5 (Rossman, 2005) ($sm^{-1/3}$),
- v – hitrost toka po kanalu (m/s),
- R – hidravlični radij (m).

Za reševanje transporta vode med kanalom in vozliščem uporablja SWMM dodatno kontinuitetno enačbo za vozliščne spoje, ki povezujejo dva kanala ali več kanalov med seboj. SWMM predvideva zvezno gladino vode med gladino v kanalu in gladino v vozlišču, ki je povezano s kanalom (izjema je pojav prostega pada v primeru, da je kota dna cevi višja od gladine vode v jašku).

Sprememba hidravlične višine v odvisnosti od časa v vozliščnem spoju:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\sum Q}{A_{store} + \sum A_s} \quad (11)$$

kjer so:

- A_{store} – florisna površina gladine vode v vozlišču (m^2),
- $\sum A_s$ – florisna površina gladine vode v kanalu, ki je povezan z vozliščem (m^2),
- $\sum Q$ – pretok skozi vozlišče (vtok – iztok), ki ga prispevajo vsi kanali, povezani z vozliščem, vključno z vsoto vseh zunanjih vtokov v vozlišče (l/s).

S temi enačbami (kontinuitetne in dinamične) lahko program simulira dinamični tok pod tlakom, povratni tok, skladiščenje (akumulacijo) vode v KS, iztok vode iz KS (preplavitev), tok skozi zankaste povezave in tok izpod zapornic, tok skozi bazene, razbremenilnike, črpališča in odprtine ter preko prelivov. Za izračun po navadi uporabimo krajše časovne korake (5 do 60 s) (Rutar, 2008).

Tok vode z uporabo **kinematičnega vala** rešuje SWMM s poenostavljeno obliko dinamične enačbe za posamezni kanal. Pri tem upošteva, da je padec gladine vode v kanalu enak padcu dna kanala. Največji možni pretok skozi kanal je rezultat Manningove enačbe za polni prerez cevi:

$$Q = k \cdot \frac{\sqrt{I}}{n_g} \cdot A \cdot R^{2/3} = k \cdot \frac{\sqrt{I}}{n_g} \cdot \frac{A^{5/3}}{O^{2/3}} \quad (12)$$

Oznake v zgornji enačbi:

- I – padec kanala (m/m),
- A – površina prečnega prereza cevi (m^2),
- O – omočeni obod (m).

Program z uporabo kinematičnega vala ne more simulirati povratnega toka in toka pod pritiskom, prav tako je omejen na nerazvejane povezave (na vozlišče sta lahko vezana le dva kanala: vtočni in iztočni). Numerično stabilnost lahko ohranja z daljšimi časovnimi koraki (5 do 15 min.). Simulacije, pri katerih za izračun ni potrebna uporaba krajših časovnih korakov, so lahko z uporabo kinematičnega vala zelo učinkovite, predvsem to velja za dolgoročne simulacije.

Uporaba **stalnega toka** predstavlja najenostavnejšo metodo transporta vode. SWMM predvideva, da je tok ves čas stalen in enakomeren. Tako za transport vode po kanalu prenese vtočni hidrogram iz gorvodnega dela kanala do dolvodnega konca brez zadrževanja ali spremembe v obliki. Za preračun pretoka uporablja Manningovo enačbo (10). Z izbiro stalnega toka program simulira le stalni enakomerni tok skozi nerazvejane povezave. Takšen model lahko uporabljamo le za predhodne analize.

Pri transportu onesnažil skozi kanalizacijski sistem se vsak posamezni kanal v SWMM obravnava kot popolnoma premešan pretočni reaktor (continuously stirred tank reactor), čeprav, realno gledano, kanal po obliki bolj spominja na cevni reaktor (plug flow reactor).

Prav tako za transport onesnažil v SWMM delujejo akumulacijska vozlišča. Za vsa druga vozlišča, za katera SWMM predvideva, da nimajo volumna, je v kvalitativnem pogledu iztok iz vozlišča enostavno mešanica koncentracije onesnažil vseh vtokov v vozlišče.

Osnovna enačba masne bilance popolnoma premešanega pretočnega reaktorja je (Panjan, 2001):

$$\frac{d(VC)}{dt} = I(t) \cdot C^I(t) - O(t) \cdot C(t) - K \cdot C(t) \cdot V(t) + \frac{L(t)}{t} \quad (13)$$

Oznake v zgornji enačbi:

- V – prostornina reaktorja (kanala ali akumulacijskega vozlišča) (l),
- C^I – koncentracija onesnažila v vtoku (mg/l),

C – koncentracija onesnažila v reaktorju in iztoku (mg/l),
 I – vtok (l/s),
 O – iztok (l/s),
 t – čas (s),
 K – konstanta razpada onesnažila (s^{-1}),
 L – zaloga onesnažil v reaktorju (akumulaciji) (mg).

Večina modelov uporablja razmerje masnih emisij kot vodilne enačbe in izraža koncentracije ali kopičenje onesnažil kot funkcijo časa. Spremenljivke so po navadi odvisne od volumna odtoka, intenzitete padavin, intenzitete prometa, predhodnih sušnih dni, izrabe tal in drugih parametrov. Vplivne faktorje na spremenljivke je težko določiti, ker obstaja veliko različnih specifičnih pogojev, kot so prisotnost ali odsotnost čiščenja cestišč, solna zasičenost tal ob cestišču, smer vetra ... Statistični regresijski modeli so zato ocenjeni kot specifični in nejasni v napovedovanju dogodkov, ki sledijo.

Število parametrov modela se obdrži, kolikor je le mogoče nizko (zaradi nujnosti številnih poenostavitev in omejitev) glede na bistvene pogoje raziskave. Model naj izpolnjuje zahteve:

- izvedbo simulacije s splošno dostopnimi vhodnimi parametri,
- parametri modela naj temeljijo na fizikalnih parametrih.

V preglednici 3 so prikazane spremenljivke, ki so najpomembnejše pri modelu odtoka posameznega onesnažila.

Model(i) naj zajame(jo) naslednje štiri osnovne procese, če želimo, da je kakovost iztoka padavinske vode v odvodni sistem zadovoljivo simulirana:

- akumulacijo nečistoč na površinah območja v odvisnosti od njihove produkcije (atmosferska imisija in produkcija na površinah) in njihove izgube (odnašanje z vetrom in čiščenje cestišč),
- možne medsebojne reakcije nečistoč s padavinami,
- vnos in iznos snovi s padavinskimi vodami s površin,
- transport nečistoč v odvodni sistem z upoštevanjem njihovega odlaganja, izpiranja in usedanja.

Tako lahko model(e) razdelimo v tri stopnje:

- K prvi stopnji prištevamo zelo enostavne modele povprečnih količin onesnažil (prva ocena), ki zahtevajo malo vhodnih podatkov. Njihov osnovni namen je izračun dolgoročnega povprečja (na primer povprečen volumen vala onesnaževanja in vsebnost polutantov). Ugotovitve so primerne za lociranje problematičnih območij in predlaganje strategij za izboljšavo. Primer modela je osnovna prva verzija SWMM I.
- K drugi stopnji prištevamo računalniško podprte modele, ki omogočajo prikaz hidrogramov in polutogramov v eni oziroma le v nekaj točkah, ter omogočajo enostavno spremljanje prvega vala in polutantov. Ti modeli so po navadi zasnovani za simulacijo obnašanja odvodnega sistema skozi daljša obdobja in omogočajo

uporabniku ugotoviti karakteristike valov skozi daljša načrtovana obdobja. Primer te vrste modela sta STORM (Corps of Engineers Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model) in HSPF (Hydrological Simulation Program).

- K tretji stopnji pa prištevamo modele, ki so sposobni voditi tokove skozi zaprte in odprte kanale, kanalizacijo in žlebove, prav tako pa definirati hidrografe ter polutograde na različnih lokacijah. Med najbolj znane modele štejemo zadnjo verzijo SWMM (the EPA Storm Water Management Model) skupaj z modelom kakovosti odpadne vode QQD (the Quantity-Quality Simulator).

V prispevku nas najbolj zanimajo masna bilanca onesnažil za račun koncentracije onesnažil kot del programa SWMM in dimenzioniranje zadrževalnih bazenov deževnih voda za zadrževanje prvega vala onesnaženja po ATV-A 128E predpisih.

Model masne bilance

Model napoveduje koncentracijo kopičenja onesnažil in določa povprečne vrednosti koncentracije onesnažil, C_{EM} , pred padavinskim dogodkom. Kot vemo, se trajanje padavinskega dogodka spreminja, kar otežuje napovedovanje koncentracij kot funkcijo časa. Zato se model rešuje z uporabo normaliziranega kumulativnega odtoka.

Vpliv onesnažil na vodno telo je lahko povzročen tako z raztapljanjem kot tudi z izpiranjem.

Kopičenje lahko pomeni bodisi celotno maso M v določenem volumnu V :

Onesnažilo	Trajanje naliva	Volumen naliva	Intenziteta naliva	Promet med nalivom	Trajanje predhodnega sušnega obdobja	Predhodno število vozil	Trajanje predhodnega naliva	Volumen predhodnega naliva	Intenziteta predhodnega naliva
lebdeče snovi		*	*		*				*
KPK	*	*	*		*	*			
BPK5		*	*	*		*			
Nitrat		*	*	*		*			
P	*	*	*			*			
Fe		*	*		*				
Zn	*	*				*	*	*	*
Svinec		*	*	*					*
Baker	*	*							

Preglednica 3 • Spremenljivke, ki vplivajo na kopičenje onesnažil v odtoku (Mlakar, 2007)

$$M = C \cdot V \quad (14)$$

bodisi masni tok L:

$$L = C \cdot Q \quad (15)$$

Nas zanimajo tudi masno-prostorninska razmerja prvega vala (MFF – mean first flow):

$$M_{FF} = \frac{\int_0^{t_1} C(t)Q(t)dt}{\int_0^{t_1} Q(t)dt} = \frac{\int_0^{t_1} C(t)Q(t)dt}{\frac{M}{V}} \quad (16)$$

Izračun je lahko predstavljen tako, da je izprana masa ovrednotena v vsaki časovni točki dogodka.

Srednjo koncentracijo onesnažil (Event Mean Concentration – EMC = C_{EM}) izrazimo:

$$C_{EM} = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^t C(t) \cdot Q(t)dt}{\int_0^t Q(t)dt} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot C_i \cdot \Delta t}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \Delta t} \quad (17)$$

Kjer pomenijo:

- M – masa onesnažila med padavinskim dogodkom (mg),
- C – koncentracija onesnažila (mg/l),
- V – celotni padavinski odtok med padavinskim dogodkom (m^3),
- Q – pretok (l/s),
- L – masni tok onesnažila (kg/s),
- M_{FF} – razmerje masnega prvega vala (-),
- C_{EM} – srednja koncentracija onesnažila (mg/l),
- t – čas (min),
- t_1 – delni čas v padavinskem dogodku (min),
- C_t – koncentracija, ki je reprezentativna v času vzorčenja »i« (mg/l),
- Q_t – odtok, ki je reprezentativen v času vzorčenja »i« ($m^3/min.$),
- i – vzorčno zaporedje (-),
- Δt – časovni interval za reprezentativno vzorčenje (min.),
- n – število zajetih vzorcev (-).

Ena ključnih težav pri definiranju srednje koncentracije onesnažil (C_{EM}) je, kako izraziti in ovrednotiti koncentracijo onesnažil. Po navadi so stroški tisti, ki preprečijo ustrezno število merjenj $C(t)$ v frekventnih intervalih, zato je odvzeto manjše število vzorcev. Padavine ali padavinski odtok so po navadi merjeni

samodejno, posneti v intervalih od 1 do 5 min. Celotna masna emisija pa je produkt padavin, prispevne površine, odtočnega koeficienta in koncentracij C_{EM} ter časa. C_{EM} pa ne prispeva informacij o časovnih spremembah koncentracij onesnažil ali masnih emisijah, ki so pogosto pomembni za razvoj sunkovitega masnega kopičenja v prvem valu. Masno kopičenje se določi kot produkt med odtočnim volumnom in koncentracijo za:

Letno masno kopičenje = povprečno dogodkovno masno kopičenje x število padavinskih dogodkov v posameznem letu

Povprečno dogodkovno kopičenje = povprečni odtočni volumen posameznega padavinskega dogodka x srednji C_{EM}

Masno kopičenje onesnažil v odtoku se lahko izraža v različnih enotah: g/km (kanalizacijskega sistema)/leto ali g/ m^2 (prispevne površine)/leto odtoka.

Izprana masa je razlika med celotno maso in preostalo maso. Mehanizem, ki vpliva na spremembe koncentracij v odtoku, vključuje razredčenje začetnih mas onesnažil kot tudi sodelovanje mokrih odločkov med padavinskim dogodkom (Sharifi, 2011).

Odtorni delež je lahko opisan z enačbo (18):

$$\frac{d[C(t)]}{dt} = -\alpha \frac{Q(t) \cdot C(t)}{V_{TRu}} \quad (18)$$

Kjer so:

- α – koeficient delnega odtoka (-),
- $C(t)$ – koncentracija onesnažil v času t ,
- V_{TRu} – celotni odtočni volumen = $\int_0^T Q(t)dt$ (m^3),
- T – čas trajanja naliva (min.).

Enačbo (18) preuredimo v:

$$\frac{d[C(t)]}{C(t)} = -\alpha \frac{Q(t)}{V_{TRu}} dt, \quad (19)$$

jo integriramo in dobimo:

$$\ln[C(t)] = -\alpha \cdot \frac{\int_0^t Q(t)dt}{V_{TRu}} + \ln(\beta), \quad (20)$$

kjer je β integracijska konstanta.

V enačbi (20) je začetna koncentracija pri $t = 0$: $\ln(C(t)) = \ln(\beta)$.

Z upoštevanjem je:

$$\frac{\int_0^t Q(t)dt}{V_{TRu}} = \frac{\int_0^t Q(t)dt}{\frac{M}{V}} = V_{nRu}(t) \text{ je:}$$

$$\ln[C(t)] = -\alpha \cdot V_{nRu}(t) + \ln(\beta). \quad (21)$$

$V_{nRu}(t)$ je normaliziran kumulativni volumen; $0 \leq V_{nRu}(t) \leq 1.0$

Enačba (21) z uporabo eksponenta postane:

$$C(t) = \beta \cdot \text{Exp}[-\alpha \cdot V_{nRu}(t)] \quad (22)$$

Koncentraciji, nastali med padavinskim dogodkom, dodamo še vpliv vozil, vpliv vnosa onesnažil iz zraka in drugih vplivnih faktorjev s koncentracijskim izrazom (γ):

$$C(t) = \beta \cdot \text{Exp}[-\alpha \cdot V_{nRu}(t)] + \gamma \quad (23)$$

kjer je lahko koncentracija določena tudi iz emisijskega masnega deleža:

$$M(t) = C(t) \cdot Q(t) \quad (24)$$

kjer je $M(t)$ emisijski masni delež onesnažila v času t .

$$C(t) = \frac{\Delta M(t)}{\Delta Q(t)} = \frac{\int_{t-1}^t M(t)dt}{\int_{t-1}^t Q(t)dt} =$$

$$= \frac{\int_{t-1}^t M(t)dt}{\int_0^t Q(t)dt - \int_0^{t-1} Q(t)dt} \quad (25)$$

Označba enačbe (25) po integraciji postane:

$$\int_0^t Q(t)dt - \int_0^{t-1} Q(t)dt = [V_{nRu}(t) - V_{nRu}(t-1)] \cdot V_{TRu} \quad (26)$$

Razlika v dveh normaliziranih volumnih v časih t in $t-1$, ki je normalizirani tokovni delež za napoved, pa poda koeficient:

$$\beta_1 = \frac{[V_{nRu}(t) - V_{nRu}(t-1)]}{V_{nRu}(t)} \quad (27)$$

Z upoštevanjem enačbe (27) v enačbi (25) dobimo:

$$C(t) = \frac{1}{\beta_1 \cdot V_{nRu}(t)} \cdot \frac{\int_{t-1}^t M(t) dt}{V_{TRu}} \quad (28)$$

Normalizirani tokovni delež ne bo znan, če je model uporabljen za napovedovanje. Takrat je lahko ocenjen s predhodnim padavinskim dogodkom ali vremensko napovedjo, ki dovoljuje modelu, da je uporabljen za napovedovanje. Enačba (28) ima enoto (masa)/(volumen) oziroma koncentracija. Novi izraz koncentracije je ključ modela. Če upoštevamo

$$\frac{\int_{t-1}^t M(t) dt}{V_{TRu}} = C_{nk} = \text{Nova_koncentracija } [V_{nRu}],$$

je lahko enačba (28) izražena kot:

$$C(t) = \frac{1}{\beta_1 \cdot V_{nRu}(t)} \cdot \{ \text{Nova_konc.} [V_{nRu}] \} = \frac{1}{\beta_1 \cdot V_{nRu}(t)} C_{nk} \quad (29)$$

Če izenačimo vrednosti enačb (23) in (29), dobimo:

$$\beta \cdot \text{Exp}[-\alpha \cdot V_{nRu}(t)] + \gamma = \frac{1}{\beta_1 \cdot V_{nRu}(t)} \cdot C_{nk} \quad (30)$$

Upoštevamo, da je nov model odtoka, izražen kot:

$$C_{nk} = \beta^* \cdot V_{nRu}(t) \cdot \text{Exp}[-\alpha \cdot V_{nRu}(t)] + \gamma^* \cdot V_{nRu}(t) \quad (31)$$

V enačbi (18) je parameter α uporabljen za opis začetnih pogojev, ki bi v idealnih razmerah bili povezani s predhodnim sušnim obdobjem. Nov model odtoka je končno podan kot:

$$C_{nk} = \delta + V_{nRu}(t) \cdot \{ \gamma^* + \beta^* \cdot \text{Exp}[-\alpha \cdot V_{nRu}(t)] \} \quad (32)$$

Nov model ima dva različna dela oziroma funkciji. Prvi je linearen, $\gamma^* \cdot V_{nRu}(t) + \delta$, drugi pa zavzema obliko tipa gama funkcije, $\beta^* \cdot V_{nRu}(t) \cdot \text{Exp}[-\alpha \cdot V_{nRu}(t)]$.

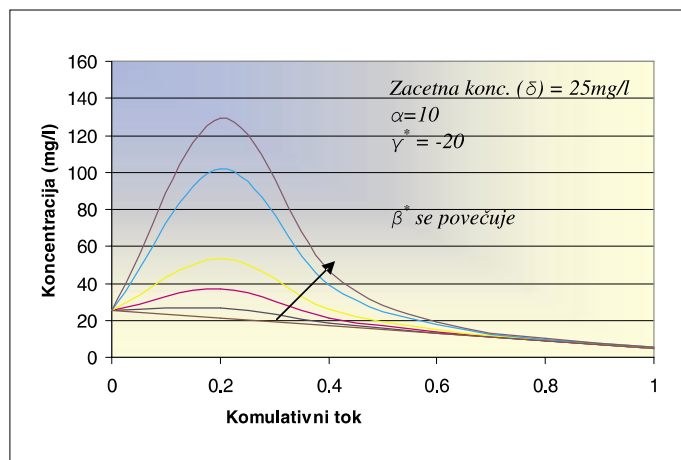
Za uporabo modela kot orodja za napovedovanje je nujno treba predvideti celotni odtočni volumen, ki mora temeljiti bodisi na vremenski napovedi bodisi na drugih informacijah. Enačba (32) ima štiri parametre, ki se navezujejo na predhodno sušno obdobje, intenziteto padavin in na odtočni koeficient. δ je začetna koncentracija, ki se nanaša na predhodno sušno obdobje. Parametra α in γ^* se nanašata na celotni odtok. β^* pa se nanaša na padavine, odtočni koeficient in trajanje padavinskega dogodka.

3 • OBČUTLJIVOSTNA ANALIZA PARAMETROV MODELA PRVEGA VALA

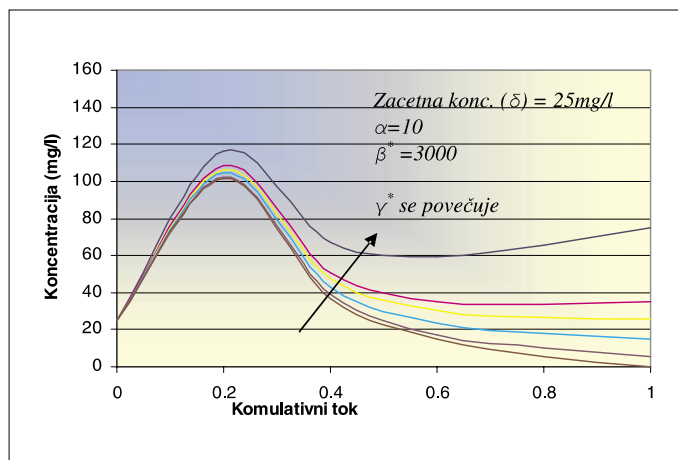
Občutljivostna analiza je predstavljena za definiranje občutljivosti (senzitivnosti) modela za štiri parametre. Model ima v primerjavi s prejšnjimi modeli večjo fleksibilnost, ki je lahko pomembna, saj veliko padavinskih dogodkov ne prikaže idealnega, eksponentnega trenda v koncentraciji. Model je lahko uporabljen za bolj točno prilaganje večjega števila padavinskih dogodkov.

Slike 2, 3, 4 in 5 prikazujejo štiri primere odzivov modela za spreminjajoče se parametre. Povečanje β^* v splošnem pomeni povečanje »vrha« koncentracije oziroma maksimalno vrednost. Ko se β^* nagiba k 0, postane trend koncentracije linearen. Povečanje γ^* poveča končen preostanek koncentracije onesnažil. Povečanje α pa poveča delež in maso odtoka.

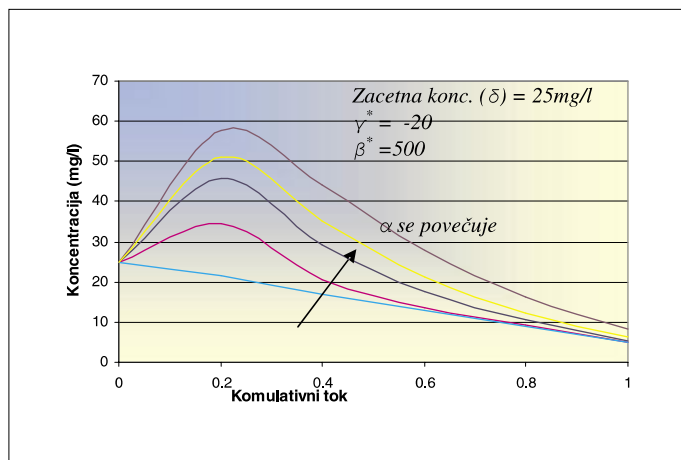
Model zagotavlja določitev koncentracije in je lahko uporaben namesto diskretnih točkovnih podatkov. Uporabimo ga lahko prav tako za napovedovanje kopičenja onesnažil in C_{EM} pred padavinskim dogodkom. Trajanje padavinskega dogodka se spreminja, kar otežuje napovedovanje koncentracij kot funkcije časa. Zato se model izogiba temu problemu z uporabo srednje izprane mase onesnažil.



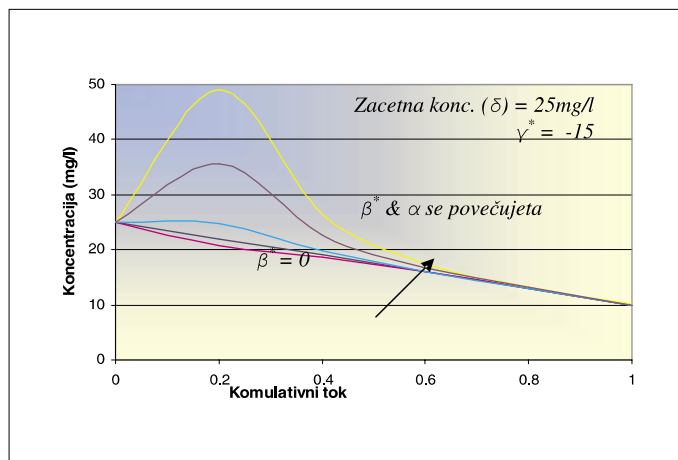
Slika 2 • Občutljivostna analiza parametrov modela za β^* ni konstanta



Slika 3 • Občutljivostna analiza parametrov modela za γ^* ni konstanta



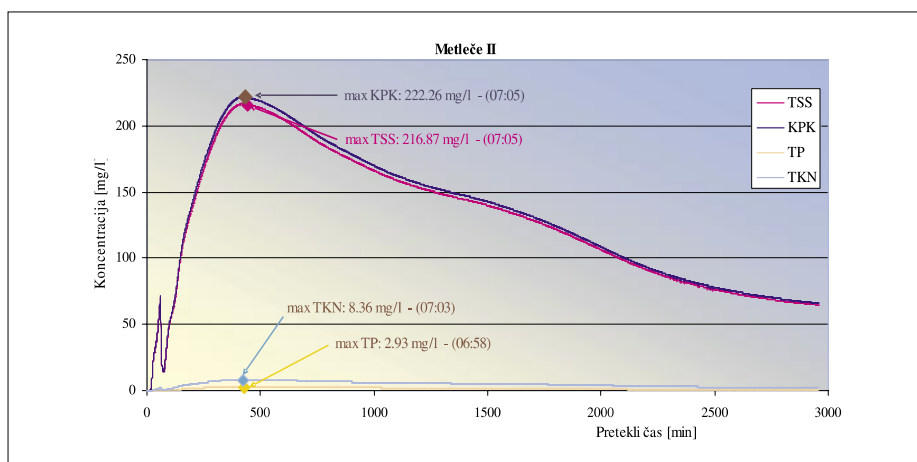
Slika 4 • Občutljivostna analiza parametrov modela za α ni konstanta



Slika 5 • Občutljivostna analiza parametrov modela za α in β^* nista konstantna

4 • REZULTATI SIMULACIJE

Simulacije prvega vala smo delali z dejanskimi podatki. Slika 6 prikazuje za konkretni primer na kanalizacijskem sistemu časovni potek koncentracij prvega vala za suspendirane snovi – TSS, kemijsko porabo kisika – KPK, celotni dušik – TKN, celotni fosfor – TP na razbremenilniku brez zadrževanja.



Slika 6 • Časovni potek koncentracij prvega vala za suspendirane snovi TSS, KPK, TKN in TP (Mlakar, 2007)

5 • SKLEP

Ovrednotili smo fenomen prvega vala onesnaženja, ki se nanaša na začetno stanje padavinskega dogodka, ki vsebuje, odstotkovno gledano, veliko količino onesnažil glede na volumen padavinskega odtočnega vala. Model SWMM uporablja razmerje masnih emisij kot vodilne enačbe in izraža koncentracije ali kopičenje onesnažil kot funkcijo časa. Spremenljivke so odvisne od volumna odтока, intenzitete padavin, intenzitete prometa, predhodnih sušnih dni, obdajajoče izbire tal in drugih parametrov.

Razlika med minimumom in maksimumom izprane mase ter srednjimi količinami (CEM) so velike zaradi karakteristik samega dogodka in vplivov lokacije vzorčenja, intenzitete padavin, velikosti območja, odtočnega koeficienta in predhodnega sušnega obdobja. CEM je torej v povezavi s trajanjem padavin, celotnim padavinskim dogodkom, celotnim odtočnim volumenom in povprečno intenzivnostjo padavin. Večji padavinski dogodki imajo manjši CEM zaradi učinkov razredčenja

ali izpranih mas onesnažil. Zmanjšanje koncentracije onesnažil je včasih nadomeščeno s povečanjem razmerja odтока v odvisnosti od napredovanja padavinskega dogodka.

Prvi val onesnaženja oziroma čistilni val, ki nastane na začetku padavinskega odтока, je treba zadržati in ga po koncu padavinskega dogodka oziroma takrat ko se odtočne razmere v KS umirijo, odvesti na čistilno napravo, kjer se biološko očisti pred izpustom v odvodnik.

6 • LITERATURA

- Bertrand-Krajewski, J.-L., Ghassan, C., Saget, A., Distribution of Pollutant Mass vs. Volume in Stormwater Discharges and the First Flush Phenomenon. *Water Research*, Volume 32, Issue 8, August. Str. 2341–2356, 1998.
- Deletic, A., The first flush load of urban surface runoff, *Water Research*, 32(8), 2462–2470, Rank 1/57, Water Resources Category, 1998.
- Kim, Lee-Hyung., Kayhanian, Masoud., Zoh, Kyung-Duk., Stenstrom, Michael K., Modeling of highway stormwater runoff. *Science of the total Environment*, 348, pp. 1–18, 2005.
- Maleiner, F., Razbremenjevanje padavinskih odtokov po nemških ATV-smernicah, *Gradbeni vestnik*, julij 2005.
- Mangani, G., Berloni, A., Bellucci, F., Tatano, F., Maione, M., Evaluation of the pollutant content in road runoff first flush waters, University of Urbino, Centro di Studio per la Chimica dell' Ambiente e le Tecnologie Strumentali Avanzate, 6, Piazza Rinascimento, Urbino, Italy. *Water, Air and Soil Pollution* pp. 213–228, 2005.
- Mrakar, J., Modeliranje zadrževanja in razbremenjevanja onesnaženosti padavinskih voda v kanalizacijskih sistemih, *Diplomska naloga*, UL, FGG, Vodarstvo in komunalni inženiring, 89 strani, 2007.
- Panjan, J., Prvi val onesnaženja, analiza delovanja in nastavitve GIS obstoječih zadrževalnih bazenov pri avtocestah. *Razvojno-raziskovalna naloga*. Zaključno poročilo v letu 2001. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Gradbeništvo in geodezijo, str. 76, 2001.
- Rep, D., Uporaba programa SWMM in smernic ATV-A 128E za dimenzioniranje kanalizacijskih sistemov in zadrževalnih bazenov. *Diplomska naloga*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer, str. 106, 2007.
- Rossmann, L. A., Storm Water Management Model User`s Manual Version 5.0. Cincinnati, OH, Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency: str. 239. Povzeto po: <http://www.epa.gov/ednrmrl/models/swmm/index.htm>, 2005.
- Rutar, A., Analiza vpliva parametrov po standardu ATV-A 128E, *Diplomska naloga*, UL, FGG, Oddelek za gradbeništvo, Komunalna smer, 86 strani, 2008.
- Sharifi, S., Massoudieh, A., Kayhanian, M., A Stochastic Stormwater Quality Volumen-Sizing Method with First Flush Emphasis, *Water Environment Research*, Volumen 83, Number 11, 2011.
- Stenstrom, M. K., Kayhanian, M., First Flush Phenomenon Characterization, Kalifornian Department of Transportation, Division of Environmental Analysis, Sacramento, str. 69, 2005.
- ATV-A 128E., Standards for the Dimensioning and Design of Stormwater Overflows in Combined Wastewater Sewers, str. 74, 1992.

PREGLED RAZISKAV LASTNOSTI IN UPORABNOSTI BETONOV Z DODATKOM MLETE GUME IZ ODPADNIH PNEVMATIK

OVERVIEW ABOUT RESEARCH OF PROPERTIES AND APPLICABILITY OF CONCRETE WITH ADDED GRANULAR RUBBER FROM SCRAP TIRES

dr. Andreja Popit, univ. dipl. inž. geol.

andreja.popit@isit.si

Inštitut za sonaravne inovativne tehnologije, EGIZ

Pot za Brdom 104, 1000 Ljubljana

dr. Anatolij Nikonov, univ. dipl. inž. str.

anatolij.nikonov@fs.uni-lj.si

prof. dr. Igor Emri, univ. dipl. inž. str.

igor.emri@fs.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo,

Center za eksperimentalno mehaniko, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 504.06:629.11.012.5.004.14

Povzetek | Elastomerni materiali (guma) sodijo v skupino časovno odvisnih (viskoelastičnih) materialov, katerih lastnosti so močno odvisne od časa, temperature in časovnega poteka mehanske obremenitve. Skoraj neizčrpen vir elastomerne komponente so zavržene pnevmatike, ki so obenem velik ekološki problem. Reševanje tega ekološkega problema je mogoče z reciklažo gume, na primer za izdelovanje elastomerno-termoplastičnih in/ali elastomernobetonskih kompozitov. Iz pregleda svetovne znanstvene literature s področja fizikalnih lastnosti betona z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik je razvidno, da imajo vrsto prednosti pred navadnim betonom, kot so večja deformabilnost, boljša sposobnost dušenja mehanskih vibracij, manjša toplotna prevodnost in boljša odpornost proti zmrzovanju/tajanju. Tako bi bilo beton z dodatkom gumenega granulata možno uporabiti v gradbeništvu za aplikacije, kjer je potrebno dušenje mehanskih vibracij (npr. temelji zgradb in strojev).

Summary | Elastomeric materials (tire-rubber) are time dependent (viscoelastic) materials, the characteristics of which highly depend on time, temperature, and the rate of mechanical loading. Almost inexhaustible source of elastomeric component is represented by scrap tires, which are also a major ecological problem. Due to the presence of sulphur, the removal of tire-rubber with combustion is a very expensive and environmentally questionable procedure. Solving this ecological problem is possible by recycling of tire-rubber, for example for producing elastomeric-thermoplastic and elastomeric-concrete composites. The review of world scientific literature in the field of physical properties of the elastomeric concretes shows that they have a number of advantages over conventional concrete, such as: better deformability, better ability of damping mechanical vibrations, lower thermal conductivity, lower capillary water absorption, and better resistance to freezing and thawing. Thus, it would be possible to use elastomeric concrete in construction applications, where damping of mechanical vibration is needed (eg. buildings and machinery foundations) or for thermal insulation of buildings, especially those parts of buildings that are under the surface.

1 • UVOD

Odpadne pnevmatike so velik ekološki problem. Na leto je v svetu odvržena okoli ena milijarda odpadnih pnevmatik (Ozby, 2011). Od tega jih samo v ZDA vsako leto odvržejo več kot 270 milijonov (Siddique, 2004), medtem ko jih Evropska unija letno zavrže okoli 180 milijonov (Skripkiunas, 2009).

V preteklosti so odpadne pnevmatike večinoma skladiščili na odlagališčih ali pa so bile nezakonito zavržene. Sedanji trgi lahko sprejemajo do 80,4 % odpadnih pnevmatik, kar je bistveni porast od leta 1990, ko je bil ta delež le 17-odstoten (<http://www.epa.gov/osw/conservation/materials/tires/basic.htm>). Trgi, ki izkoriščajo odpadne pnevmatike v postopkih recikliranja in ponovne uporabe, še vedno rastejo, dejstvo pa je, da preostale odpadne pnevmatike pristanejo na odlagališčih ali pa so uničene s sežigom. Zakonodaja v ZDA za-

hteva, da se odpadne pnevmatike (v dodatku do 20 % gumenega granulata) uporabljajo za gumiasfaltne cestišča (Jang, 1998).

V zahodni Evropi je problem onesnaževanja z neposrednim odmetavanjem odpadnih pnevmatik skoraj v celoti odpravljen z ustrezno zakonodajo in predvsem z vzgojo ljudi. Pnevmatike se sistematično zbirajo in sežigajo po metodologiji, predpisani z zakonom. V Sloveniji je bila sprejeta Uredba o ravnanju z izrabljenimi gumami (Uradni list RS, št. 63/2009, z dne 7. 8. 2009), ki je namenjena zagotovitvi okolju prijaznega ravnanja z izrabljenimi gumami ter določa pravila zbiranja in predelave izrabljenih gum. V Sloveniji ustreznih predelovalnih zmogljivosti za recikliranje izrabljenih avtomobilskih gum, v skladu z določbami nove Uredbe, še nimamo v potrebnem obsegu. Med ukrepi za okoljevar-

stveno zaščito čedalje večji pomen dobivajo zahteve po zmanjšanju odpadkov v okolju, ki v ospredje prinašajo potrebo po iskanju novih izdelkov na osnovi odpadnih materialov.

Uporaba reciklirane gume pri izdelavi konstrukcijskih elementov v gradbeništvu prispeva po eni strani k reševanju problema onesnaževanja okolja, po drugi strani pa k razvoju novih inovativnih izdelkov z izboljšano funkcionalnostjo, ki bodo prispevali k dvigu konkurenčne sposobnosti slovenskih podjetij. Guma iz odpadnih pnevmatik je lahko idealen vir elastomerne komponente za dodajanje v betonsko mešanico in izdelavo elastomernobetonских kompozitov, pri čemer tovrstna uporaba odpadne gume ne predstavlja dodatne obremenitve za okolje.

Članek podaja pregled sedanjega poznavanja lastnosti betonov z dodatkom gumenega granulata in je namenjen izdelovalcem konstrukcijskih elementov v slovenskem prostoru, ki bi v svoj proizvodni program lahko vključili gumenobetonske izdelke.

2 • FIZIKALNE LASTNOSTI BETONOV Z DODATKOM MLETE GUME IZ ODPADNIH PNEVMATIK

V nadaljevanju so predstavljeni pregled lastnosti svežega betona z dodatkom gumenega granulata (obdelavnost svežega betona) in lastnosti strjenega betona z dodatkom gumenega granulata (tlačna, upogibna in natezna trdnost, statični modul elastičnosti, deformabilnost, dinamični modul elastičnosti, akustične lastnosti, dušenje vibracij, toplotna izolativnost, kapilarna absorpcija vode in vpliv zamrzovanja/tajanja).

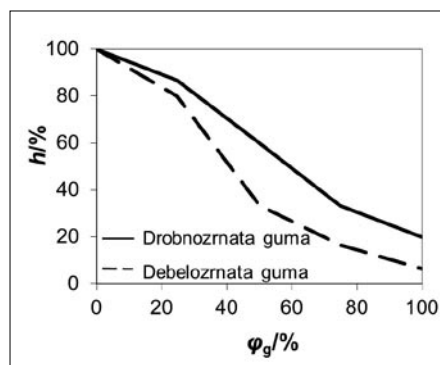
2.1 Lastnosti svežega betona z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik

2.1.1 Obdelavnost svežega betona

Raziskave obdelavnosti svežih gumenobetonskih mešanic so pokazale zmanjšanje posedka ob povečanju deleža gumene komponente, s katero so zamenjali kameni agregat ((Toutanji, 1996), (Khatib, 1999), (Li, 2004), (Khaloo, 2008), (Nehdi, 2001), (Taha, 2008), (Guneyisi, 2010), (Najim, 2010), (Ozby, 2011)).

Taha in sodelavci so merili posedek po ASTM-standardu C-143. Ugotovili so, da se je posedek gumenobetonske mešanice z debelo- zrnato gumo (10–70 mm) zmanjšal bolj kot

v primeru drobnozrnate gume (0,425–4,75 mm) (slika 1) (Taha, 2008). Posedek se je pri zamenjavi 50-odstotnega volumenskega deleža agregata v betonski mešanici z drobnozrnato gumo zmanjšal za 40 %, v mešanici z debelo- zrnato gumo pa za 67 % glede na betonsko mešanico brez gume. Najnižje vrednosti posedka so bile izmerjene pri zamenjavi vsega agregata z gumo, kjer je bil posedek betonske mešanice z drobnozrnato gumo

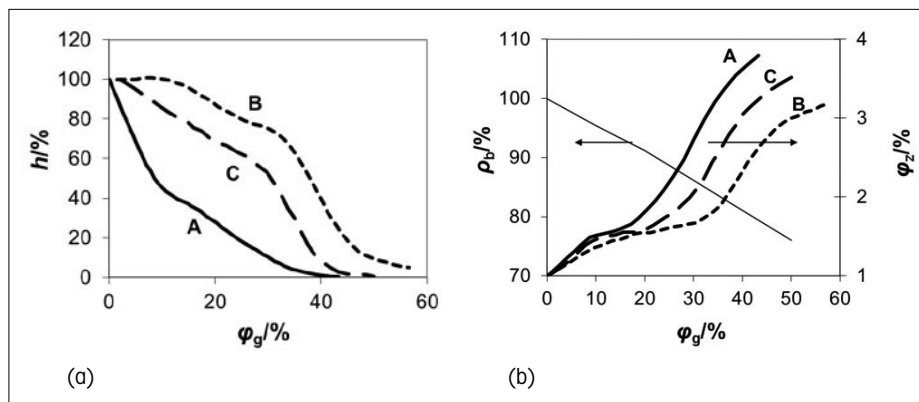


Slika 1 • Vrednosti posedka h (%) glede na volumenski delež ϕ_g (%) zamenjave kamenega agregata z gumenimi delci (Taha, 2008)

za 80 % manjši, v mešanici z debelo- zrnato gumo pa za 93 % manjši glede na betonsko mešanico brez gume, ki se je posedla za 150 mm.

Tudi Khatib in sodelavci (Khatib, 1999) so merili posedek (slika 2a) po standardu ASTM C-125. Posedek vzorca betonske mešanice brez gume je bil 76 mm, kar je za polovico manj, kot so poročali Taha in sodelavci (slika 1). Vrednosti posedka, ki so jih izmerili Khatib in sodelavci, so se približale vrednosti 0 pri 40 % dodane gumene komponente glede na celoten volumen agregata (slika 2a), medtem ko Taha in sodelavci poročajo, da so se vrednosti posedka približale vrednosti 0 šele pri 90-odstotnem volumenskem deležu dodane gume (slika 1). Mešanice, ki so vsebovale drobnozrnate gumene delce dimenzij 0,5–5 mm (krivulja B), so izkazale boljše obdelavnost in manjše zmanjšanje posedka kot mešanice z debelo- zrnatimi gumenimi delci dimenzij 10–50 mm (krivulja A) in tiste z mešano granulacijo, ki so vsebovale drobnoin debelo- zrnate gumene delce (krivulja C) (Khatib, 1999). Podobne ugotovitve o vplivu velikosti delcev gume na obdelavnost svežih gumenobetonskih mešanic so opisane tudi v člankih (Taha, 2008) in (Zheng, 2008a).

Li in sodelavci so merili posedek po standardu ASTM C-125. Pri zamenjavi do 15 % debelo- zrnatega (10–50 mm) mineralnega agregata v betonu z gumenimi delci dimenzij



Slika 2 • Vpliv velikosti (krivulja A – granulacija 10–50 mm; krivulja B – granulacija 0,5–5 mm; krivulja C – mešana granulacija A in B) in volumenskega deleža gumenih delcev φ_g (%) na posede h (%) svežega betona (a), vpliv velikosti in volumenskega deleža gumenih delcev φ_g (%) na gostoto ρ_b (%) svežega betona ter vsebnost zraka φ_z (%) v svežem betonu b) (Khatib, 1999)

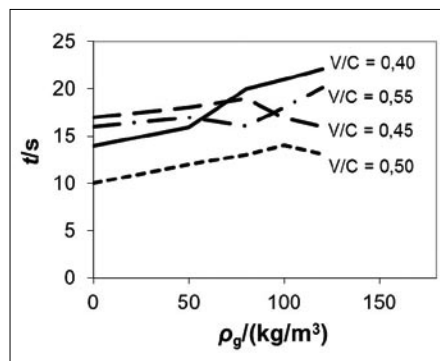
(25 mm × 25 mm × 5 mm ali 50 mm × 5 mm × 5 mm) je bila sprememba obdelavnosti gumenobetonske mešanice zanemarljiva (preglednica 1) (Li, 2004), kar se ujema z rezultati Tahe in sodelavcev (Taha, 2008), prikazanimi na sliki 1, medtem ko rezultati Khatiba s sodelavci (Khatib, 1999) kažejo, da se pri zamenjavi 15 % debelozrnatega agregata z gumenimi delci velikosti 10–50 mm obdelavnost gumenobetonske mešanice značilno zmanjša (slika 2a).

Št. vzorca	Posede h/cm
1	14,7
2	14,4
3	14,3
4	14,2
5	14,6
6	15,2
7	14,0
8	14,8
9	15,2
10	14,8

Preglednica 1 • Posede svežega betona s 15 % dodane gumene komponente (vzorci 2 do 9) glede na posede svežega betona brez dodatka gume (vzorec 1) (Li, 2004)

Jingfu in Zhenli (Jingfu, 2009) sta merila obdelavnost betona po *Vebe*-metodi (BS 1881-104), pri kateri se meri čas, ko se stožčasta oblika svežega betona preoblikuje v valjasto

zaradi vibracij podlage (frekvenca 50 Hz in amplituda 0,5 mm), ta je bil za gumeno betonsko mešanico 5–30 s. Na sliki 3 je prikazan čas vibracijskega kompaktiranja gumenobetonske mešanice v odvisnosti od količine dodane gume (Jingfu, 2009). Vebe-čas z dodajanjem gume narašča, kar pomeni, da je obdelavnost gumenobetonske mešanice z dodajanjem gume slabša. Opažanja so v skladu z ugotovitvami številnih avtorjev ((Toutanji, 1996), (Khatib, 1999), (Li, 2004), (Khaloo, 2008), (Nehdi, 2001), (Taha, 2008), (Guneysi, 2010), (Najim, 2010), (Ozbay, 2011)).



Slika 3 • Vebe-čas t (s) gumenobetonske mešanice v odvisnosti od vsebnosti gume ρ_g (kg/m³) (Jingfu, 2009)

Glede na nizko specifično maso gume se gostota gumenobetonskih mešanic znižuje z naraščajočo vsebnostjo gumene komponente v betonu (slika 2b) ((Khatib, 1999), (Nehdi, 2001), (Khaloo, 2008), (Zheng, 2008a), (Taha, 2008), (Aiello, 2010), (Benazzouk, 2003), (Ozbay, 2011)). Standardni preizkus za merjenje gostote betona določa ASTM C 138. Gostota betonske mešanice se zmanjša

za dobrih 6 % pri 15-odstotni zamenjavi agregata z gumo ter za 21 % pri 45-odstotni zamenjavi agregata z gumo (slika 2b) (Khatib, 1999). Stoodstotna vrednost gostote na sliki 2b ustreza velikosti 2380 kg/m³. Podobne rezultate zmanjšanja gostote betona z dodajanjem gume je objavil tudi Zheng (Zheng, 2008a).

Vsebnost zraka se v gumenobetonski mešanici poveča za 3,8 %, če vsebnost granulirane gume povečamo do 50 % (slika 2b) (Khatib, 1999).

Rezultati meritev posedka betonskih mešanic so pokazali, da se je z naraščajočim deležem gume v svežem betonu njegova obdelavnost zmanjševala. Pri volumenskem deležu gume do 15 % se v večini primerov obdelavnost betonske mešanice ni spremenila značilno glede na obdelavnost svežega betona brez gume. Obdelavnost svežega betona z debelozrnato gumo (10–70 mm) je bila manjša od obdelavnosti betona z drobozrnato gumo (0,425–4,75 mm).

Zmanjšano obdelavnost svežega betona z dodatkom gume avtorji hipotetično pripisujejo višji stopnji trenja med gumenimi delci in drugimi delci v svežem betonu kot tudi zmanjšanju gostote gumenobetonskih mešanic ((Najim, 2010), (Taha, 2008)).

2.2 Lastnosti strjenega betona z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik

2.2.1 Tlačna, upogibna in natezna trdnost betona z dodatkom gumenega granulata

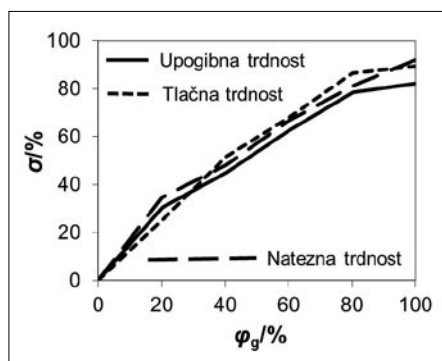
V zadnjih letih je bilo veliko raziskav usmerjenih v analizo trdnostnih lastnosti betonov z dodatkom gume, na primer ((Topcu, 1995), (Toutanji, 1996), (Benazzouk, 2003), (Benazzouk, 2006), (Benazzouk, 2007), (Bignozzi, 2006), (Jingfu, 2008), (Scripiukinas, 2009), (Nehdi, 1999), (Khatib, 1999), (Zheng, 2008a), (Zheng, 2008b), (Khaloo, 2008), (Ganijian, 2009), (Aiello, 2010), (Najim, 2010), (Najim, 2012), (Son, 2011), (Ozbay, 2011)). Iz vseh navedenih virov je razvidno, da se trdnost betonov z dodatkom mlete gume zmanjšuje z večanjem vsebnosti gume v betonu.

Batayneh s sodelavci (Batayneh, 2008) so preučevali vpliv zamenjave drobozrnatega agregata z gumenimi delci velikosti 0,15–4,75 mm na trdnost betona. Tlačni preizkus so opravili po standardu ASTM C39, nateznega po ASTM C496 in upogibni preizkus v skladu s standardom ASTM C78. Ugotovili so, da se z naraščajočo vsebnostjo gume zmanjšujejo

tlačna, natezna in upogibna trdnost, kot je prikazano v preglednici 2 in na sliki 4. Pri zamenjavi 40-odstotnega volumenskega deleža drobozrnatega agregata z gumenimi delci (0,15–4,75 mm) se je tlačna trdnost betona zmanjšala za okoli 50 % (slika 4), z vsebnostjo gume od 40–100 % pa se je tlačna trdnost betona zmanjšala do 90 %. Delež gume v betonu je tako omejen glede na zahtevano trdnost betona.

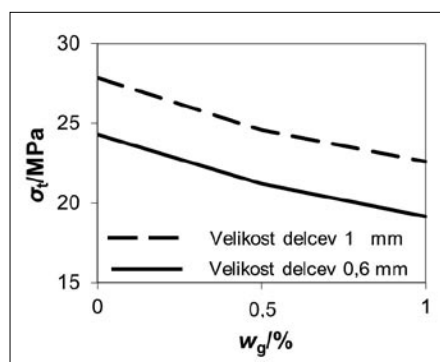
Vsebnost gume φ_g / %	Natezna trdnost σ_n / MPa	Tlačna trdnost σ_t / MPa
0	2,820	25,330
20	1,840	18,960
40	1,470	12,270
60	0,940	8,070
80	0,533	4,470
100	0,220	2,500

Preglednica 2 • Vpliv vsebnosti gume na tlačno in natežno trdnost betona (Batayneh, 2008)



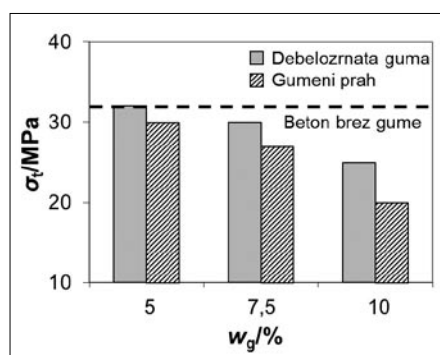
Slika 4 • Zmanjšanje tlačne, upogibne in natezne trdnosti σ (%) betona v odvisnosti od vsebnosti gume φ_g (%) (Batayneh, 2008)

Son in sodelavci (Son, 2011) so preučevali tlačno trdnost betona v odvisnosti od vsebnosti gume. Tlačno trdnost so merili po ko-rejskem standardu KS F 2405 na valjastih vzorcih betona, 28 dni po izdelavi vzorcev. Avtorji članka poročajo, da se je pri betonu s tlačno trdnostjo 28 MPa, ki so mu dodali 0,5- do 1-odstotni masni delež gumenih delcev iz odpadnih pnevmatik velikosti 1 mm, tlačna trdnost zmanjšala za 12–19 %, pri betonu s tlačno trdnostjo 24 MPa, ki so mu dodali 0,5- do 1-odstotni masni delež gumenih delcev velikosti 0,6 mm, pa se je tlačna trdnost zmanjšala za 13–20 % (slika 5).



Slika 5 • Tlačna trdnost σ_t (MPa) betona v odvisnosti od vsebnosti gume w_g (%) (Son, 2011)

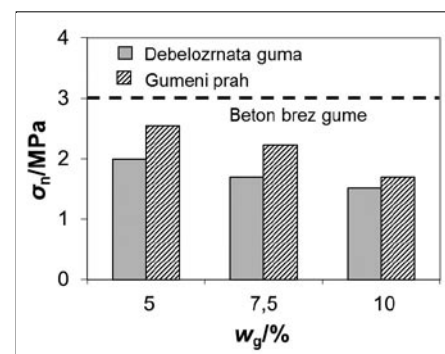
Ganijan in sodelavci (Ganijan, 2009) so preučevali mehanske lastnosti betona, v katerem so masne deleže 5 %, 7,5 % in 10 % kamenega agregata ali cementa zamenjali z gumenimi delci iz odpadnih pnevmatik. Tlačno trdnost so merili po britanskem standardu BS 1881: del 116:1993. Ugotovili so, da se tlačna trdnost betona v splošnem zmanjšuje s povečevanjem deleža zamenjave kamenega agregata z gumenimi delci, pri čemer je zmanjšanje tlačne trdnosti po 28 dneh pri zamenjavi do 5 % debelozrnatega (10–70 mm) kamenega agregata z gumenimi delci velikosti 13–76 mm ali pri zamenjavi 5 % cementa z gumenim prahom (0,075–0,475 mm) manjše od 5 % (slika 6). Pri zamenjavi 7,5–10 % debelozrnatega kamenega agregata z gumenimi delci velikosti 13–76 mm se je tlačna trdnost po 28 dneh zmanjšala za 10–23 %, v primeru zamenjave 7,5–10 % cementa z gumenim prahom granulacije 0,075–0,475 mm pa se je tlačna trdnost zmanjšala za 20–40 % (Ganijan, 2009).



Slika 6 • Rezultati 28-dnevnega preizkusa tlačne trdnosti σ_t (MPa) (Ganijan, 2009)

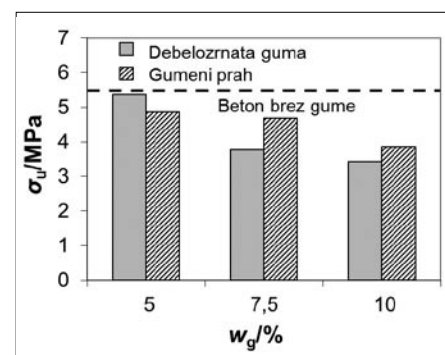
Natežno trdnost so merili po britanskem standardu BS 1881: del 117:1983. Tudi natezna trdnost se je s povečevanjem deleža za-

menjave kamenega agregata ali cementa z gumenimi delci zmanjševala (Ganijan, 2009). V primeru zamenjave 5–10 % debelozrnatega agregata z gumenimi delci granulacije 13–76 mm se je natezna trdnost zmanjšala za 30–60 %, v primeru zamenjave 5–10 % cementa z gumo v prahu (0,075–0,475 mm) pa za 15–30 % (slika 7) (Ganijan, 2009).



Slika 7 • Rezultati preizkusa natezne trdnosti σ_n (MPa) (Ganijan, 2009)

Upogibno trdnost so merili po britanskem standardu BS 1881: del 118:1983 z uporabo vzorcev v obliki prizem dimenzij 100 mm × 100 mm × 500 mm. Zmanjšanje upogibne trdnosti pri zamenjavi 5–10 % debelozrnatega agregata z gumenimi delci granulacije 13–76 mm je bilo okoli 37-odstotno (slika 8), pri zamenjavi cementa z gumenim prahom granulacije 0,075–0,475 mm pa 29-odstotno (Ganijan, 2009).

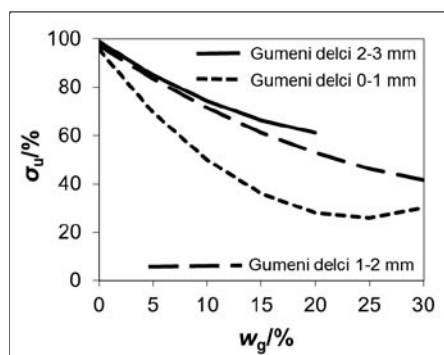


Slika 8 • Rezultati preizkusa upogibne trdnosti σ_u (MPa) (Ganijan, 2009)

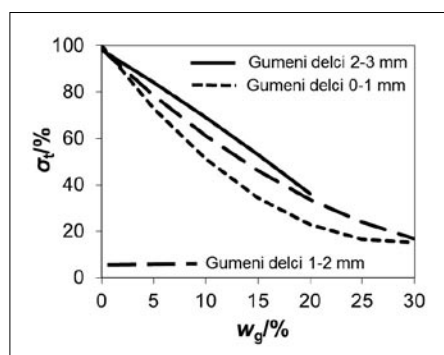
Rezultati analiz Ganijana in sodelavcev so pokazali, da se tlačna, natezna in upogibna trdnost betona z naraščajočim deležem gume v betonu zmanjšujejo (Ganijan, 2009), kar je v skladu z ugotovitvami v članku (Batayneh, 2008). Ugotovili so, da se je tlačna trdnost betona dvakrat bolj znižala v primeru zamenjave 10 % cementa z gumenim prahom kot pa v

primeru zamenjave 10 % kamenega agregata z gumenimi delci, medtem ko je za natežno trdnost veljalo nasprotno.

Zmanjšanje tlačne in upogibne trdnosti z zamenjavo 5- do 30-odstotnega masnega deleža drobnega peska (0–4 mm) v betonu z gumenimi delci različnih granulacij (0–1,1–2 in 2–3) mm so ugotavljali tudi Skripkiunas in sodelavci (Skripkiunas, 2009). Tlačno trdnost so merili po standardu EN 12390-3, upogibno trdnost pa po standardu EN 12390-5. Ugotovili so, da sta se tlačna in upogibna trdnost betona z naraščajočim deležem gumenih delcev zmanjševali v obliki polinoma drugega reda (sliki 9 in 10). Čim manjša je bila velikost gumenih delcev, tem slabše trdnostne lastnosti so imeli vzorci betona.

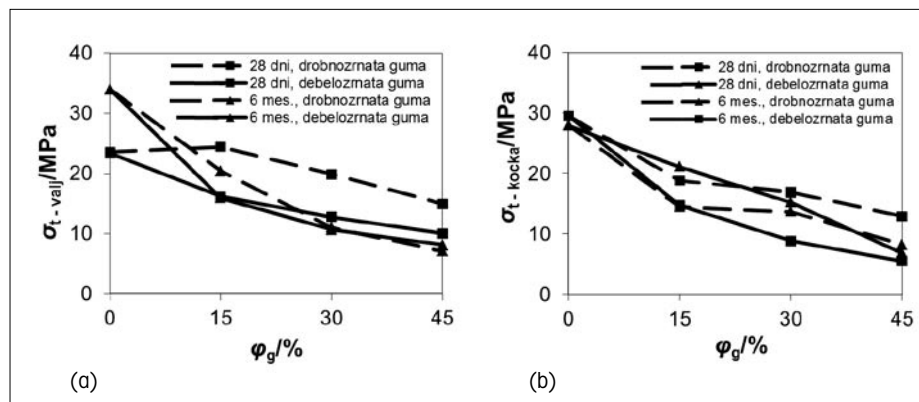


Slika 9 • Upogibna trdnost σ_u (%) betona z različnimi granulacijami in vsebnostjo gumenih delcev w_g (%) (Skripkiunas, 2009)



Slika 10 • Tlačna trdnost σ_t (%) betona z različnimi granulacijami in vsebnostjo gumenih delcev w_g (%) (Skripkiunas, 2009)

Trdnost betonov v odvisnosti od velikosti gumenih delcev je preučeval tudi Topcu (Topcu, 1995). Tlačno trdnost je meril po ameriškem standardu ASTM C39. Pripravil je tri valjaste vzorce (dimenzij 150 mm × 300 mm) in tri kockaste vzorce (dimenzije 150 mm), na ka-



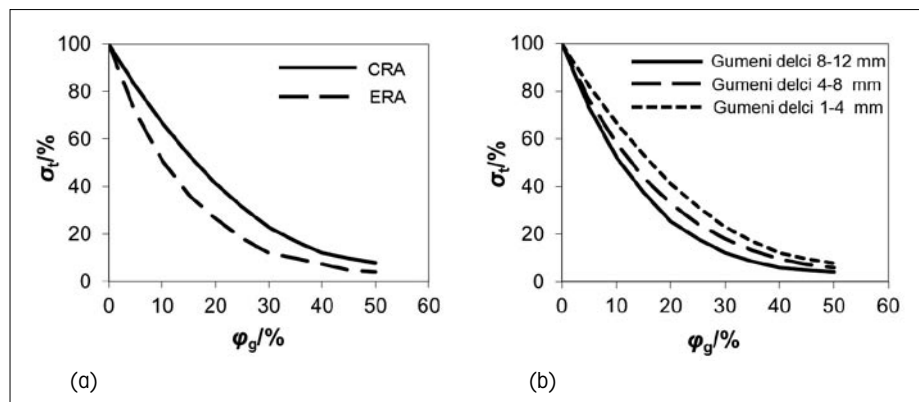
Slika 11 • Tlačna trdnost σ_{t-va} (MPa) vzorcev betona v obliki valja v odvisnosti od vsebnosti gume ϕ_g (%) (a) in tlačna trdnost $\sigma_{t-kocka}$ (MPa) vzorcev betona v obliki kocke v odvisnosti od vsebnosti gume ϕ_g (%) (b) (Topcu, 1995)

terih je opravljal tlačne preizkuse po 7, 28, in 180 dneh. Natežno trdnost je meril na valjastih vzorcih po standardu ASTM C496.

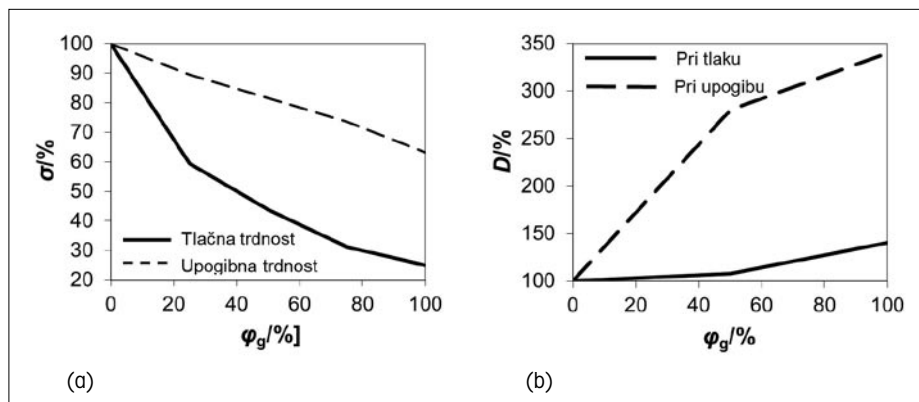
Pri betonu, v katerem je 15- do 45-odstotni volumenski delež kamenega agregata (4–16 mm) zamenjal z drobnozrnato gumo (0–1 mm), se je tlačna trdnost zmanjšala za 50 % (vzorci v obliki valja in kocke) (sliki 11a in 11b), natezna trdnost pa za 64 %, medtem ko se je pri betonu, v katerem je 15- do 45-odstotni volumenski delež kamenega agregata zamenjal z debelo-zrnato gumo (1–4 mm), tlačna trdnost zmanjšala za 60 % (vzorec v obliki valja) (slika 11a) in do 80 % (slika 11b) (vzorec v obliki kocke), natezna trdnost pa do 74 % (Topcu, 1995). Rezultati preizkusov so pokazali, da ima beton z drobnozrnato (0–1 mm) gumo boljše trdnostne lastnosti kot tisti z debelo-zrnato (1–4 mm). Podobne rezultate so objavili tudi Aiello in sodelavci (Aiello, 2010), kar pa je v nasprotju s tem, kar so poročali Skripkiunas in sodelavci (Skripkiunas, 2009).

Benazzouk in sodelavci ((Benazzouk, 2003), (Benazzouk, 2006), (Benazzouk, 2007)) so raziskovali vpliv vrste, velikosti in količine gumenih delcev na mehansko trdnost betona. Cementno-gumeni kompoziti so bili pripravljani z uporabo dveh vrst gumenih agregatov, tj. kompaktnega gumenega agregata (CRA), katerega delci imajo gladko površino, in ekspandiranega gumenega agregata (ERA), katerega delci imajo alveolarno strukturo.

Za pripravo vzorcev so bile izbrane tri skupine granulacij gumenega agregata iz odpadnih pnevmatik: 1–4 mm, 4–8 mm in 8–12 mm (Benazzouk, 2003). Tlačno trdnost so merili v skladu s standardom EN 196-1. Tlačna trdnost se je zmanjševala s povečevanjem dodatka gumenega agregata pri obeh vrstah agregata, tj. kompaktnega gumenega agregata (CRA) in ekspandiranega gumenega agregata (ERA), kot je prikazano na sliki 12a, pri čemer je bila tlačna trdnost višja pri CRA. Stoodstotna vrednost tlačne trdnosti na slikah 12a in 12b ustreza velikosti 82,5 MPa. Pri materialu CRA



Slika 12 • Tlačna trdnost σ_t (%) betona v odvisnosti od vsebnosti gume ϕ_g (%) (a) dveh različnih vrst gumenega agregata CRA in ERA z granulacijo 1–4 mm in (b) za gumeni agregat CRA pri treh različnih granulacijah (Benazzouk, 2003)



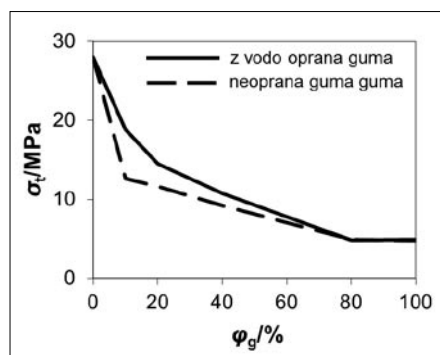
Slika 13 • Tlačna in upogibna trdnost σ (%) (a) ter deformabilnost D (%) (b) v odvisnosti od vsebnosti gumenih delcev ϕ_g (%) (Toutanji, 1996)

se je z 10-odstotnim dodatkom gume tlačna trdnost zmanjšala do 30 %, pri ERA pa do 50 %. Dodatek gume nad 30 % je močno znižal tlačno trdnost (Benazzouk, 2003). Zmanjšanje tlačne trdnosti je večje v primeru kompaktnega gumenega agregata CRA večje granulacije, kot prikazuje slika 12b, kar je v skladu z ugotovitvami, objavljenimi v člankih (Topcu, 1995), (Aiello, 2010), ter v nasprotju z rezultati v (Skripkiunas, 2009).

Vpliv zamenjave 25- do 100-odstotnega volumenskega deleža kamenega agregata (4,76–19 mm) z gumenim granulatom na tlačno in upogibno trdnost je bil objavljen v članku (Toutanji, 1996). Vzorci valjaste oblike višine 200 mm in premera 100 mm so bili izdelani za opravljanje meritev tlačne trdnosti po standardu ASTM C39, meritve upogibne trdnosti so bile opravljene na prizmah dimenzij 100 mm × 100 mm × 350 mm po standardu ASTM C78. Glede na volumenski delež dodatka gumenih delcev je bilo zmanjšanje tlačne trdnosti lahko tudi do 75-odstotno, upogibne trdnosti pa do 35-odstotno (slika 13a). Stoodstotna vrednost tlačne trdnosti na sliki 13a ustreza velikosti 32 MPa, 100-odstotna vrednost upogibne trdnosti pa ustreza velikosti 3,8 MPa.

Rezultati analiz so pokazali, da na trdnost betonov z dodatkom gume vpliva tudi hrapavost površine gumenih delcev (Nehdi, 2001). Čim bolj je površina gumenih delcev hrapava, tem boljša povezanost med gumenimi delci in cementnim vezivom se razvije ter večjo tlačno trdnost ima beton. Adhezijo gumenih delcev je mogoče povečati s pranjem z vodo ali z jedkanjem v kislini ter namakanjem v raztopini NaOH ((Nehdi, 2001), (Segre, 2000)). Rezultati analiz (Tantala, 1996) so pokazali, da je beton, ki je vseboval z vodo oprane gumene

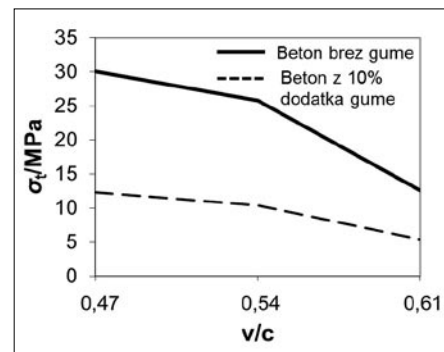
delce, dosegel za okoli 16 % večjo tlačno trdnost kot beton z gumenimi delci, ki niso bili oprani (slika 14).



Slika 14 • Vpliv pranja gumenih delcev z vodo na tlačno trdnost σ_t (MPa) betona z dodatkom gumenega granulata (Tantala, 1996)

Ghaly in Cahill sta analizirala vpliv razmerja voda/cement na tlačno trdnost betonov s 5- do 10-odstotnim volumenskim deležem gumenih delcev velikosti 0,425–4,75 mm (Ghaly, 2005). Uporabljena so bila tri različna razmerja voda/cement: 0,47, 0,54 in 0,61. Iz rezultatov avtorjev lahko povzamemo, da se je tlačna trdnost zmanjševala z naraščajočo vrednostjo razmerja voda/cement (v/c) za vse mešanice z različno vsebnostjo gume. Iz tlačnega preizkusa 28 dni starega betona in gumenobetonских mešanic, ki je prikazan na sliki 15, lahko opazimo, da kontrolni vzorec iz navadnega betona izkazuje zmanjšanje tlačne trdnosti s 30,1 MPa pri razmerju voda/cement 0,47 na 12,6 MPa pri razmerju voda/cement 0,61, kar pomeni za dobrih 58 %. Beton z 10-odstotnim volumenskim deležem gume izkazuje relativno manjše zmanjšanje tlačne trdnosti (za 49 %), in sicer s 15,9 MPa pri

razmerju voda/cement 0,47 na 8,1 MPa pri razmerju voda/cement 0,61.



Slika 15 • Tlačna trdnost σ_t (MPa) 28 dni starega betona z 10 % gumenih delcev in navadnega betona v odvisnosti od razmerja voda/cement (Ghaly, 2005)

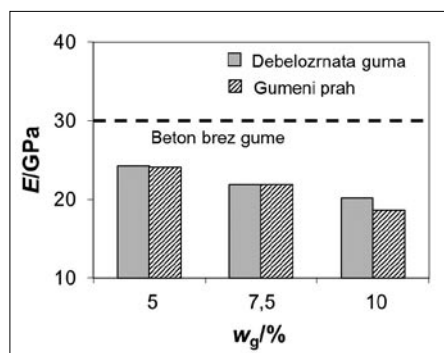
Ekspirimentalni rezultati so pokazali, da se tlačna, upogibna in natezna trdnost v betonu z naraščajočim deležem gumene komponente zmanjšujejo. Zmanjšanje upogibne trdnosti je manjše kot zmanjšanje tlačne trdnosti ((Benazzouk, 2003), (Benazzouk, 2006), (Benazzouk, 2007), (Skripkiunas, 2009)). Nekateri avtorji so priporočili naslednje maksimalne količine gume v betonu, pri katerih se mehanske lastnosti betona pomembno ne poslabšajo: do 20 % (Khatib, 1999), do 25 % (Khaloo, 2008) in do 30 % (Zheng, 2008b). Rezultati preizkusov so pokazali, da ima beton z drobozrnato (0–1 mm) gumo boljše trdnostne lastnosti kot tisti z debelozrnato (1–4 mm). Podobni rezultati so objavljeni tudi v člankih (Aiello, 2010) in (Topcu, 1995), kar pa je v nasprotju s tem, kar so poročali v (Skripkiunas, 2009).

Povzamemo lahko, da ni dovolj dobro raziskan vpliv velikosti gumenih delcev na tlačno in upogibno trdnost betona. Z manjšanjem dimenzij gumenega granulata se povečuje razvita površina gumenih delcev in s tem stična površina med gumo in cementnim kamnom, kar pomeni, da bo povezanost med gumenim granulatom in cementnim kamnom verjetno boljša. To odvisnost velja podrobneje raziskati.

2.2.2 Statični modul elastičnosti betona z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik

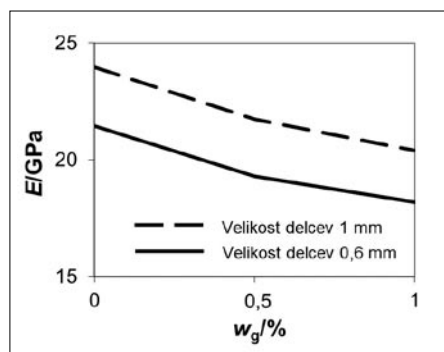
Ganijan je s sodelavci (Ganijan, 2009) preučeval, kako se je spreminjal statični modul elastičnosti betona pri zamenjavi debelozrnatega agregata iz cementa z gumenimi delci

(slika 16). Modul elastičnosti so merili v skladu z britanskim standardom BS 1881: del 121:1983. Zmanjšanje modula elastičnosti pri zamenjavi 5- do 10-odstotnega masnega deleža debeložrnatega (10–70 mm) agregata z gumenimi delci granulacije 13–76 mm je bilo 17- do 25-odstotno, pri zamenjavi cementa z gumenim prahom granulacije 0,075–0,475 mm pa 18- do 36-odstotno. Beton z gumenim prahom je imel nižji modul elastičnosti.



Slika 16 • Rezultati preizkusa modula elastičnosti E (GPa) (Ganijan, 2009)

Son in sodelavci (Son, 2011) so merili modul elastičnosti v skladu s korejskim standardom KS F 2405. Rezultati so pokazali, da se je modul elastičnosti z dodajanjem gume zmanjševal, podobno kot so ugotovili Ganijan in sodelavci (Ganijan, 2009). Son in sodelavci poročajo, da se je pri betonu s statičnim modulom elastičnosti 24 kN/mm², ki so mu dodali 0,5- do 1-odstotni masni delež gumenih delcev velikosti 1 mm, modul elastičnosti zmanjšal za 9–15 %, pri betonu z modulom elastičnosti 21,5 kN/mm², ki so mu dodali 0,5–1 % gumenih delcev velikosti 0,6 mm, pa za 10–15 % (slika 17).



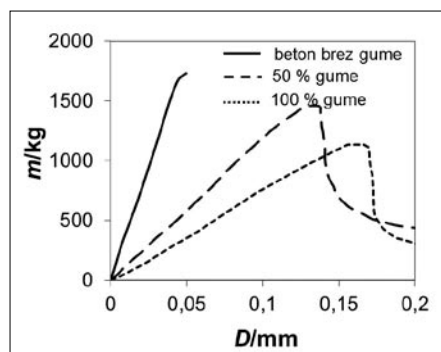
Slika 17 • Statični modul elastičnosti E (GPa) betona v odvisnosti od vsebnosti gumenih delcev, w_g (%) (Son, 2011)

Rezultati preizkusov so pokazali, da se statični modul elastičnosti z naraščajočim deležem gume zmanjšuje.

2.2.3 Deformabilnost betona z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik

Vpliv zamenjave 25- do 100-odstotnega volumenskega deleža kamenega agregata (4,76–19 mm) z gumenim granulatom na deformabilnost betona pri tlačni in upogibni obremenitvi je preučeval Toutanji (Toutanji, 1996). Vzorci valjaste oblike višine 200 mm in premera 100 mm so bili izdelani za opravljanje meritev tlačne trdnosti po standardu ASTM C39, meritve upogibne trdnosti so bile opravljene na prizmah dimenzij 100 mm × 100 mm × 350 mm v skladu s standardom ASTM C78. Maksimalne deformacije v betonu z dodatkom gumenega granulata so bile bistveno večje kot v betonu brez gume, kar pomeni, da je beton z dodatkom gumenih delcev bolj deformabilen. Značilno naraščanje deformabilnosti z večanjem vsebnosti gumenega granulata opazujemo pri upogibu (slika 13b). Stoodstotna vrednost deformabilnosti betona brez gume pri tlačnem preizkusu na sliki 13b ustreza velikosti 0,37 mm, pri upogibnem preizkusu pa velikosti 0,05 mm.

Porušitev vzorcev betona z dodatkom gume pri širitočkovnem upogibnem preizkusu je spremljal duktilni način porušitve v primerjavi z referenčnim vzorcem betona brez gume (slika 18) (Toutanji, 1996). Čim večjo deformacijo je material sposoben prenesti brez preloma, tem bolj je duktilen. Vzorca betona z dodatkom gume sta izkazala večjo kapaciteto za absorpcijo energije. Zdržala sta obtežbo po formiranju prve razpoke in se značilno deformirala, kar je posledica tega, da je gumeni agregat, ki je mnogo bolj deformabilen,

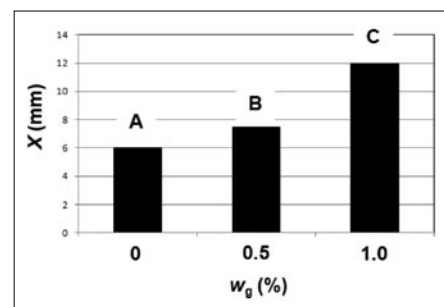


Slika 18 • Upogibna deformacija D (mm) vzorcev betona s 50- in 100-odstotno zamenjavo debeložrnatega agregata z gumo in vzorca betona brez dodane gume pri upogibni obremenitvi m (kg) (Toutanji, 1996)

prevzel del obtežbe, preden se je vzorec porušil (Toutanji, 1996).

Son in sodelavci (Son, 2011) so preučevali deformabilnost betonskih stebrov, dimenzij 200 mm × 300 mm × 1600 mm s tlačno trdnostjo 24 MPa, ki so jim dodali 0,5- do 1-odstotni masni delež gumenih zrn velikosti 0,5 mm (slika 19). Merili so uklonske deformacije na sredini stebra pri tlačni obremenitvi, pri čemer sta bila stebra vpeta zgoraj in spodaj. Maksimalna uklonska deformacija (pred porušitvijo) betonskega vzorca z masnim deležem gumenih zrn 0,5 % je bila za 25 % večja glede na navadni beton, maksimalna uklonska deformacija betonskega vzorca z masnim deležem dodane gume 1 % pa za 100 % večja glede na navadni beton brez gume.

Izkazalo se je, da je uporaba gumenih delcev v betonu ugodna, ker je deformabilnost betona z dodatkom gume pred porušitvijo večja od navadnega betona. Son in sodelavci sklepajo, da bi bilo zaradi večje deformabilnosti betone z dodano gumeno komponento mogoče uporabiti kot konstrukcijske elemente pri protipotresni gradnji, kjer morajo elementi vzdržati velike deformacije, ne da bi se porušili (Son, 2011).



Slika 19 • Uklonska deformacija D (mm) betonskih stebrov višine h (cm) s tlačno trdnostjo 24 MPa: (A) betonski stebel brez gume, (B) betonski stebel z 0,5-odstotnim masnim deležem gumenih delcev granulacije 0,5 mm ter (C) betonski stebel z 1-odstotnim masnim deležem gumenih delcev granulacije 0,5 mm (Son, 2011)

Rezultati tlačnih in upogibnih preizkusov so pokazali, da je beton z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik bolj deformabilen od navadnega betona in pred porušitvijo dosega večje plastične deformacije.

Pri upogibni obremenitvi betona z dodatkom gumenega granulata zaznamo duktilni način porušitve (proces rušenja je postopen) v primerjavi z referenčnim vzorcem betona brez

gume, kjer je porušitev trenutna (material je krhek).

2.2.4 Dinamični modul elastičnosti betona z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik

Veliko raziskav je bilo usmerjenih v analizo dinamičnih lastnosti betonov z dodatkom gume ((Hernandez-Olivares, 2002), (Benazzouk, 2003), (Benazzouk, 2007), (Topcu, 2007), (Zheng, 2008a), (Najim, 2010), (Najim, 2012)). Rezultati raziskav so pokazali, da se dinamični modul betona z naraščajočim deležem gume zmanjšuje.

Zheng in sodelavci (Zheng, 2008a) so dinamični modul elastičnosti merili E_d (GPa) z ultrazvočnim preizkusom, tj. na podlagi meritev hitrosti ultrazvočnega valovanja v vzorcih betona z dodatkom gume:

$$E_d = \rho c_L^2 \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)}, \quad (1)$$

kjer je c_L (m/s) eksperimentalno izmerjena hitrost ultrazvočnega valovanja in ρ (kg/m³) gostota materiala, ν pa Poissonovo število.

Ker je razmerje $\frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \cong 1$, so dinamični modul izračunali po formuli:

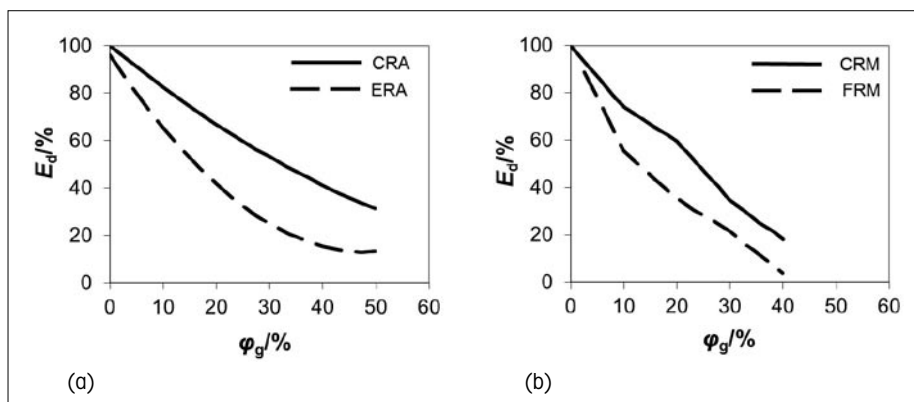
$$E_d = \rho c_L^2, \quad (2)$$

kjer je ρ (kg/m³) gostota materiala, c (m/s) hitrost transverzalnega valovanja v betonu z dodatkom mlete gume in ν Poissonovo število.

Zheng in sodelavci so v betonu, v katerem so volumenski delež 15–45 % debelozrnatega (10–50 mm) kamenega agregata zamenjali z drobnazrnatimi (2,62 mm) ali debelozrnatimi (15–40 mm) gumenimi delci, preučevali statični in dinamični modul elastičnosti. V preglednici 3 so prikazane razlike med dinamičnim modulom elastičnosti in statičnim modulom elastičnosti med betonom z dodatkom mlete gume in betonom brez gume. Dinamični modul elastičnosti betona z dodatkom gumene komponente je nižji kot v betonu brez gume. V betonu s 15- do 45-odstotnim deležem drobnazrnatih gumenih delcev velikosti 2,62 mm se je dinamični modul elastičnosti zmanjšal od 5,7 % do 28,6 % glede na referenčni beton, medtem ko se je v betonu z debelozrnatimi gumenimi delci velikosti 15–40 mm dinamični modul elastičnosti zmanjšal od 19 % do 25 % (Zheng, 2008a).

	Beton brez gume	Beton z drobnazrnatno gumo (2,62 mm)			Beton z debelozrnatno gumo (15–40 mm)		
		15 %	30 %	45 %	15 %	30 %	45 %
Dinamični modul elastičnosti E_d /GPa	43,7	41,2	35,2	31,2	35,4	36,5	32,8
Statični modul elastičnosti E_s /GPa	31,8	27,1	24,1	22,3	23,1	24,3	22,1

Preglednica 3 • Razlike v dinamičnem in statičnem modulu elastičnosti med betonom z dodatkom mlete gume in navadnim betonom brez gume (Zheng, 2008a)



Slika 20 • Sprememba dinamičnega modula elastičnosti E_d (%) betona: a) za gumeni agregat CRA in ERA (Benazzouk, 2003) in b) za kompozit FRM in CRM (Topcu, 2007) v odvisnosti od vsebnosti gume ϕ_g (%)

Statični modul elastičnosti se je v betonu z vsebnostjo 15–45 % drobnazrnatih gumenih delcev velikosti 2,62 mm zmanjšal od 14,8 % do 29,9 % glede na referenčni beton, medtem ko se je v betonu z debelozrnatimi gumenimi delci velikosti 15–40 mm statični modul elastičnosti zmanjšal od 27,3 % do 30,5 % (Zheng, 2008a).

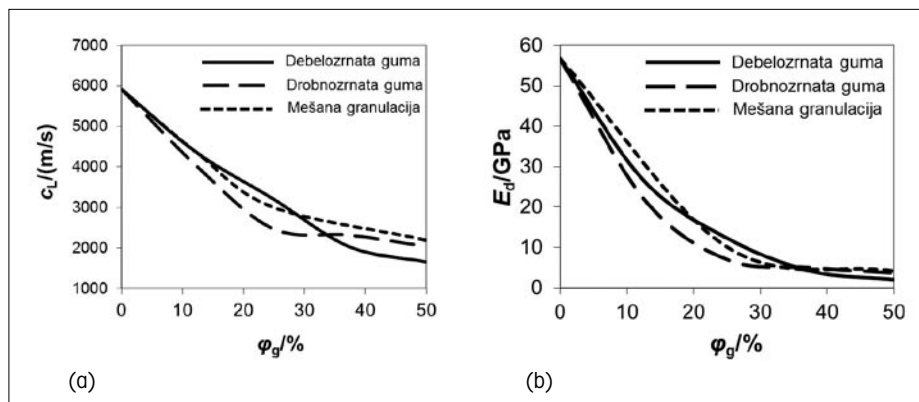
Analize so pokazale, da je imela debelozrnata guma večji vpliv na dinamični in statični modul elastičnosti betona kot drobnazrnata ((Zheng, 2008a), (Najim, 2012)). V referenčnem betonu je bil dinamični modul elastičnosti od statičnega modula elastičnosti za 37,4 % višji, medtem ko je bila ta razlika v betonu z dodatkom mlete gume okoli 50 % (Zheng, 2008a).

Benazzouk in sodelavci ((Benazzouk, 2003), (Benazzouk, 2007)) so merili dinamični modul elastičnosti betona na podlagi longitudinalnih ultrazvočnih vibracij, kot to določa francoski standard NF P 18-418. Preizkus so opravljali na prizmah betona dimenzij 40 mm × 40 mm × 160 mm. Dinamični modul elastičnosti, E_d (GPa) so izračunali po enačbi 2.

Benazzouk in sodelavci (Benazzouk, 2003) so analizirali, kako se hitrost ultrazvočnih valov v betonu spreminja z dodajanjem gumenih

delcev granulacije 1–4 mm. Ugotovili so, da se zmanjšuje. Na podlagi izmerjenih hitrosti ultrazvočnih valov so izračunali dinamične module elastičnosti kompozitov z različno vsebnostjo gumene komponente.

Slika 20a prikazuje spremembe dinamičnega modula elastičnosti betonov v odvisnosti od vsebnosti različnih vrst gumenih agregatov (CRA – kompaktni gumeni agregat, in ERA – ekspanzirani gumeni agregat) z velikostjo granulacije 1–4 mm (Benazzouk, 2003). Vrednosti dinamičnega modula elastičnosti so se zmanjševale z naraščajočim volumenskim deležem gumene komponente (0–50 %) približno od 25 GPa do 10 GPa za beton z gumenim agregatom CRA in od 25 GPa do 4 GPa za beton z gumenim agregatom ERA. Topcu in sodelavci (Topcu, 2007) so preučevali zmanjšanje dinamičnega modula elastičnosti vzorcev betona, v katerem so 10- do 30-odstotni volumenski delež drobnazrnatega kamenega agregata zamenjali z gumenimi delci velikosti 1–4 mm. Dinamični modul elastičnosti so določali na podlagi meritev hitrosti ultrazvočnega valovanja. Preizkus so naredili na dveh vrstah kompozitov, in sicer iz malte z dodatkom drobnazrnate (0–1 mm) gume (FRM) in iz malte z dodatkom debe-



Slika 21 • Hitrost ultrazvočnih valov c_L (m/s) v odvisnosti od vsebnosti gume ϕ_g (%) v betonu (a) in (b) dinamični modul elastičnosti E_d (GPa) v odvisnosti od vsebnosti gume ϕ_g (%) v betonu (Khaloo, 2008)

lozrnate (1–4 mm) gume (CRM) (slika 20b) (Topcu, 2007). Vpliv dodajanja debeložrnate gume na zmanjšanje dinamičnega modula elastičnosti je za 10–20 % manjši v primerjavi z dodajanjem drobnožrnate gume, kar je v nasprotju z ugotovitvami, objavljenimi v člankih (Zheng, 2008a) in (Najim, 2012). Avtorji članka (Khaloo, 2008) so merili hitrost ultrazvočnih valov v betonu, v katerem so 12,5 %, 25 %, 37,5 % in 50 % debeložrnatega (10–50 mm) in drobnožrnatega (0,5–5 mm) kamenega agregata zamenjali z gumenimi delci velikosti 10–70 mm in 0,425–4,75 mm. Hitrost ultrazvočnih valov in dinamični modul elastičnosti sta se značilno zmanjšala z naraščajočo vsebnostjo gume (sliki 21a in 21b). Na podlagi teh rezultatov so avtorji članka (Khaloo, 2008) sklepali, da je beton z dodatkom gumenega granulata potencialno primeren za dušenje zvoka in bi ga lahko uporabili za zvočni izolator.

Rezultati preizkusov so pokazali, da se dinamični modul betona z naraščajočim deležem gume zmanjšuje. Debeložrnata guma je imela večji vpliv na zmanjšanje dinamičnega modula elastičnosti kot drobnožrnata guma ((Zheng, 2008a) in (Najim, 2012)), kar je v nasprotju z ugotovitvami, objavljenimi v članku (Topcu, 2007).

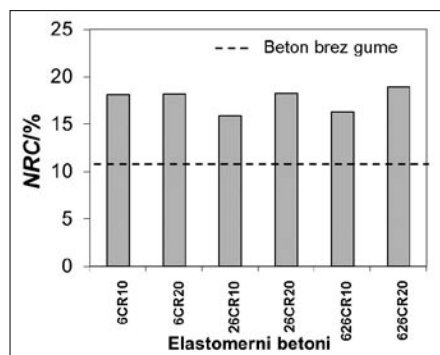
2.2.5 Akustične lastnosti betona z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik

Sposobnost betona z dodatkom gume, da absorbira zvok, lahko pokažemo na podlagi koeficienta dušenja hrupa (Noise Reduction Coefficient, NRC). Koeficient dušenja hrupa je v standardu ASTM 423 90a določen kot aritmetična povprečna vrednost izmerjenih koeficientov absorpcije zvoka pri štirih osrednjih frekvencah terčnih pasov, tj. pri 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz in 2000 Hz:

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4}, \quad (3)$$

kjer je α koeficient absorpcije zvoka pri različnih frekvencah.

Sukontasukkul je meril absorpcijski koeficient betona po standardu ISO 10534-1:1996. Koeficient dušenja hrupa betona, v katerem so drobnožrnati kameni agregat (0,5–5 mm) zamenjali z 10- do 20-odstotnim volumenskim deležem gumenih delcev (0,425–4,75 mm), je bil le za 4–8 % boljši kot v betonu brez dodatka gume (slika 22) (Sukontasukkul, 2009).



Slika 22 • Koeficient dušenja hrupa NRC (%) (Noise reduction coefficient) betona z volumenskim deležem gume 10 % in 20 % v primerjavi z navadnim betonom (prva dva vzorca vsebujeta gumene delce velikosti 5–10 mm, druga dva delce 1–2,5 mm in zadnja dva delce mešane granulacije) (Sukontasukkul, 2009)

2.2.6 Dušenje vibracij betona z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik

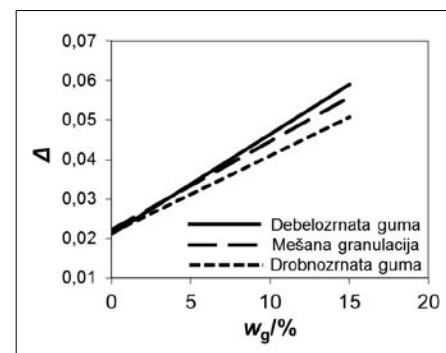
Logaritemski dekrement Δ je fizikalna veličina, ki podaja dušilne lastnosti materiala (tj.

sposobnost dušenja mehanskih vibracij) in ga lahko zapišemo kot (Steidel, 1989):

$$\Delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_n}, \quad (4)$$

kjer je A_0 (m) začetna amplituda, A_n (m) pa amplituda po n ciklih.

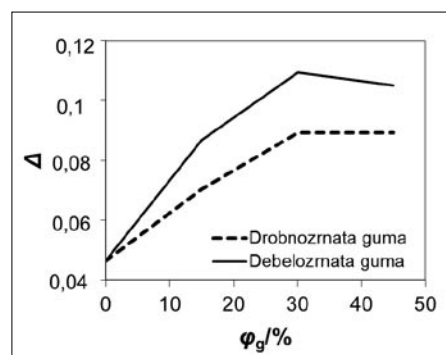
Najim in Hall (Najim, 2012) sta ocenila kapaciteto dušenja vibracij betona na podlagi meritev logaritemskega dekrementa. Avtorja sta preučevala spreminjanje logaritemskega dekrementa v betonu, v katerih so 5- do 15-odstotni masni delež kamenega agregata drobne (0–0,5 mm), debele (0,5–5 mm) ali mešane (0–5 mm) granulacije zamenjali z gumenimi delci velikosti 0,5–5 mm. Logaritemski dekrement v betonu se je z naraščajočo vsebnostjo gumenih delcev večal (slika 23). Za beton, v katerem so 5–15 % drobnožrnatega (0–0,5 mm) kamenega agregata zamenjali z gumenimi delci (0,5–5 mm), se je logaritemski dekrement zvišal z 0,022 na 0,048 (za 116 %), za beton, v katerem so 5–15 % debeložrnatega (0,5–5 mm) kamenega agregata zamenjali z gumenimi delci (0,5–5 mm), pa se je logaritemski dekrement zvišal z 0,022 na 0,0058 (za 163 %). Debeložrnata guma je imela večji vpliv na zvečanje logaritemskega dekrementa kot drobnožrnata.



Slika 23 • Vpliv vsebnosti gume w_g (%) na logaritemski dekrement Δ (Najim, 2012)

Zheng in sodelavci (Zheng, 2008a) so preučevali spreminjanje logaritemskega dekrementa pri dinamičnem upogibu grede iz betona z dodatkom gumenega granulata, nastalega zaradi trka. Meritve logaritemskega dekrementa so opravljali na vzorcih betona, v katerem so 15- do 45-odstotni volumenski delež debeložrnatega (10–50 mm) kamenega agregata zamenjali z drobnožrnatimi (2,62 mm) ali debeložrnatimi (15–40 mm) gumenimi delci. Avtorji so enačbo za loga-

ritemski dekrement (4) delili z 2π . Zaradi primerjave teh rezultatov z drugimi avtorji smo te podatke ustrezno prilagodili, tako da smo vrednosti pomnožili s faktorjem 2 π . Logaritemski dekrement betona se je večal z večanjem vsebnosti gumene komponente od 15–30 %, pri nadaljnjem večanju vsebnosti gumenih delcev na 45 % pa se je pri debelo-zrnati gumi manjšal, pri drobnazrnati pa je ostal enak (slika 24). Optimalna vsebnost gumenih delcev za doseganje najboljšega dušenja je bila pri volumenskem deležu 30 % (Zheng, 2008a).



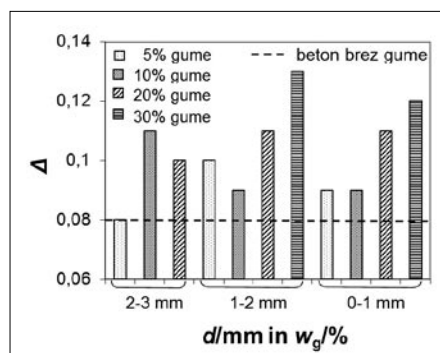
Slika 24 • Logaritemski dekrement Δ betona, v katerem so 15- do 45-odstotni volumenski delež ϕ_g (%) debelo-zrnatega (10–50 mm) kamenega agregata zamenjali z drobnazrnatimi (2,62 mm) ali debelo-zrnatimi (15–40 mm) gumenimi delci (Zheng, 2008a)

Skripkiunas in sodelavci so preučevali vpliv zamenjave 5- do 30-odstotnega masnega deleža drobnega peska (0–4 mm) v betonu z gumenimi delci različnih granulacij (0–1, 1–2 in 2–3 mm) na dušenje vibracij (Skripkiunas, 2009). V ta namen so pripravili vzorce v obliki prizem dimenzij 100 mm × 100 mm × 300 mm in opravili preizkus resonančne frekvence, na podlagi katerega so izmerili resonančno frekvenco (f_0) in frekvenci (f_1 in f_2), kjer amplituda vibracije pade na 0,707 maksimalne vrednosti. Iz izmerjenih frekvenc so izračunali logaritemski dekrement po formuli (Nashif, 1985):

$$\Delta = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (5)$$

Logaritemski dekrement betona z vsebnostjo 20 % gume (glede na celoten masni delež kamenega agregata) se je povečal za okoli 37,5 %, pri čemer je imela količina dodane gume večji vpliv kot velikost delcev gume (slika 25). Čim višji je logaritemski dekrement,

tem boljše je dušenje. Beton z dodatkom gumenih delcev bolje duši strukturni hrup kot beton brez dodatka gume, čeprav se poslabšajo njegove trdnostne lastnosti in bi ga lahko uporabili za aplikacije v gradbeništvu, kjer je potrebno dušenje mehanskih vibracij, npr. temelji zgradb in strojev (Skripkiunas, 2009).



Slika 25 • Logaritemski dekrement Δ betona z dodatkom gumenega granulata v odvisnosti od velikosti delcev d (mm) in vsebnosti gume w_g (%) (Skripkiunas, 2009)

Eksplozivni rezultati so pokazali, da se je logaritemski dekrement betona večal z večanjem vsebnosti gume. Optimalna vsebnost gume za doseganje najboljšega dušenja je bila 30-odstotna. Debelozrnata guma je imela večji vpliv na zvečanje logaritmskega dekrementa kot drobnazrnata.

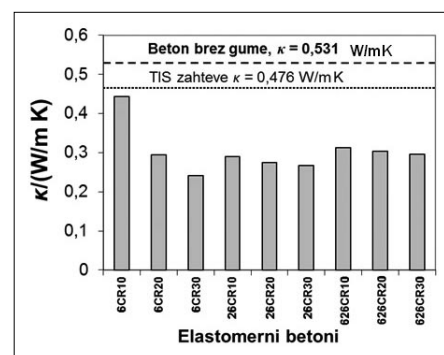
2.2.7 Toplotna izolativnost betona z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik

Sukontasukkul (Sukontasukkul, 2009) je preučeval vpliv zamenjave 10- do 30-odstotnega volumenskega deleža drobnazrnatega kamenega agregata v betonu z gumenimi delci velikosti 0,5–5 mm na toplotno prevodnost betona κ (W/m K), ki so jo računali po naslednji formuli:

$$\kappa = q_s \frac{d}{(T_1 - T_2)}, \quad (6)$$

kjer je q_s (W/m²) specifični toplotni tok, d (m) je debelina stene, $(T_1 - T_2)$ je temperaturna razlika med notranjo in zunanjo temperaturo (K).

Sukontasukkul je pokazal, da je toplotna prevodnost betona z 10–30 % gumenega granulata (0,241–0,443 W/(m K)) za 20–50 % nižja kot v betonu brez dodatka gume (0,531 W/(m K)) (slika 26).



Slika 26 • Toplotna prevodnost κ (W/m K) betona z volumenskim deležem gumenega granulata 10 %, 20 % in 30 % v primerjavi z navadnim betonom (prvi trije vzorci vsebujejo gumene delce velikosti 5–10 mm, drugi trije 1–2,5 mm in zadnji trije delce mešane granulacije) (Sukontasukkul, 2009)

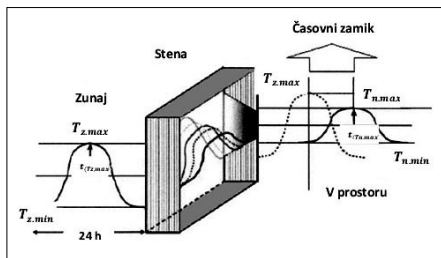
Yesatila in sodelavci (Yesatila, 2011) so preučevali nihanje temperature v modelu sobe dimenzij 139 cm × 139 cm × 106 cm. Stene modelne sobe so bile narejene iz betona, v katerem so 60-odstotni volumenski delež kamenega agregata zamenjali z gumenimi delci velikosti 0,5–5 mm. Strop in talno ploščo modelne sobe so naredili iz betonskih plošč debeline 8 cm, v sredino le-teh pa so vgradili gumene plošče dimenzij 15 cm × 35 cm × 1,5 cm. Poleg tega so zgradili še identični model sobe iz betona brez gume in oba modela postavili na prosto ter celo leto spremljali temperaturna nihanja v obeh modelnih sobah. Meritve sobne temperature so pokazale, da beton z dodatkom gume zmanjša tako nihanje sobne temperature kot tudi vpliv zunanje temperature (Yesatila, 2011). Poleg tega so merili tudi faktor časovnega zamika prehoda toplotne energije (φ) na podlagi časovne (t) razlike med zunanjo maksimalno $T_{z,max}$ (ali minimalno $T_{z,min}$) temperaturo in sobno maksimalno $T_{s,max}$ (ali minimalno $T_{s,min}$) temperaturo (slika 27) (Yesatila, 2011):

$$\varphi(T_{max}) = t_{(T_{z,max})} - t_{(T_{s,max})} \quad (7)$$

$$\varphi(T_{min}) = t_{(T_{z,min})} - t_{(T_{s,min})} \quad (8)$$

Vrednosti faktorja časovnega zamika prehoda toplotne energije za sobo, narejeno iz betona z dodatkom gumenega granulata (φ_{EB}), so bile večinoma višje kot za sobo iz navadnega betona (φ_{NB}). Razmerje $\varphi_{EB}/\varphi_{NB}$ je bilo v glavnem večje ali enako 1, le izjemoma manj kot 1. Povprečna letna vrednost toplotnega

časovnega zamika za sobo iz betona z dodatkom gumenega granulata je bila 3,28 h, za sobo iz navadnega betona pa 2,96 h, iz česar avtorji članka (Yesatila, 2011) sklepajo, da ima soba iz betona z dodatkom gumenega granulata za 11 % boljše toplotno zaščito. To predstavlja tudi prihranek pri ogrevanju in ohlajanju. Avtorji člankov (Turgut, 2008), (Yesilata, 2009), in (Yesilata, 2011) so s študijo pokazali, da beton z dodatkom mlete gume zmanjša toplotno prehodnost in s tem poveča toplotno izolativnost.



Slika 27 • Širjenje toplotnega valovanja z zunanje površine stene na notranjo (Yesatila, 2011)

2.2.8 Kapilarna absorpcija vode betona z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik

Obstojnost materiala je odvisna od njegove odpornosti proti absorpciji vode, zlasti če so v vodi raztopljeni agresivni ioni. Razumevanje transportnih mehanizmov vlage v materialu je pomembno za oceno uporabnosti materiala za gradbeni material in tudi zato, da se v primeru potrebe izboljša njegova kvaliteta (Benazzouk, 2007).

Primarna transportna mehanizma, preko katerih agresivne snovi vstopijo v beton, sta difuzija in kapilarni transport, kjer je slednji dominanten. Čim manjša je kapilarnost, tem večja je trajnost materiala. Da bi lahko ocenili obnašanje materiala, ko ga postavimo v stik z vodo, določimo sorptivnost (merilo sposobnosti materiala absorbirati tekočino) na podlagi preizkusa kapilarne absorpcije vode (Benazzouk, 2007). Preizkus so avtorji opravili tako, da je bil proces difuzije zagotovljen v eni smeri. Stranske ploskve predhodno posušenega vzorca so hermetično zaprli s plastično tanko plastjo in vzorec potopili v posodo z vodo na globino 5 mm tako, da je bila difuzija mogoča le skozi spodnjo ploskev vzorca, nato pa so ohranili konstantno raven te globine. Vzorce so večkrat stehali, dokler se proces absorpcije ni stabiliziral. Ocenjeno je bilo, da 1 g vode odgovarja volumnu 1 cm³. Sorptivnost so izračunali po naslednji enačbi (Hall, 1986):

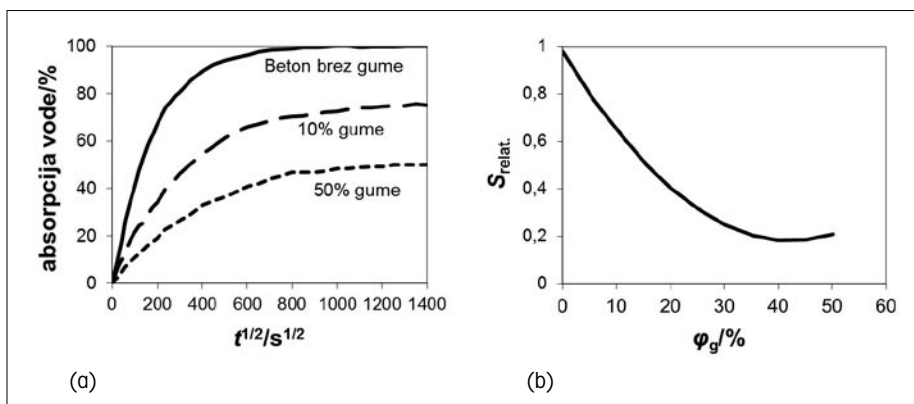
$$S = \frac{i - i_0}{\sqrt{t}}, \quad (9)$$

kjer je i (m³/m²) kumulativni volumen absorbirane vode v vzorcu na enoto ploščine, S (m/s^{1/2}) je sorptivnost materiala, i_0 (m³/m²) je koeficient, ki je odvisen od površinske ploskve vzorca, ki je v stiku z vodo in predstavlja neenotno porazdelitev por (Hall, 1986). Sprememba absorpcije vode v kompozitu je kot funkcija kvadratnega korena časa za različne volumenske deleže gumenih delcev v betonu prikazana na sliki 28a (Benazzouk, 2007). Kompozite so pripravili tako, da so 0- do 50-odstotni volumenski delež cementa zamenjali z gumenimi delci velikosti manj kot 1 mm. Slika 28a prikazuje zmanjšanje kapilarne absorpcije vode in hitrosti absorpcije vode s povečevanjem vsebnosti gume v betonu.

Stoodstotna vrednost absorpcije vode na sliki 28a ustreza velikosti $4,7 \times 10^{-2}$ m³/m². Kapilarna absorpcija vode v betonih z dodatkom gume se z naraščajočo vsebnostjo gume (10–50 %) zmanjšuje (25–50 %).

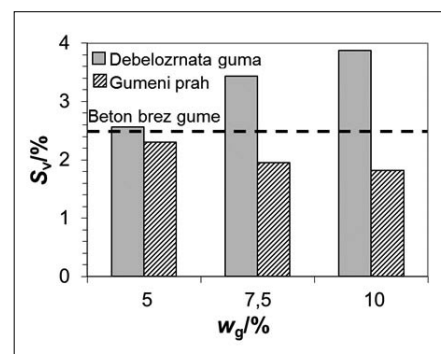
Slika 28b predstavlja relativno sorptivnost v odvisnosti od volumenskega deleža gumenih delcev. Z grafa na sliki 28b je razvidno, da se je relativna sorptivnost S/S' (kjer je S sorptivnost kompozita in S' sorptivnost betona) kompozitnega materiala s 40-odstotnim volumskim deležem gume glede na referenčni beton brez gume zmanjšala za 80 %.

Avtorji članka (Ganjan, 2009) so preučevali absorpcijo vode v betonu, v katerem so masne deleže debeložrnatega kamenega agregata ali cementa 5 %, 7,5 % in 10 % zamenjali z gumenimi delci. Pri zamenjavi 5–10 % debeložrnatega (10–70 mm) kamenega agregata z gumenimi delci velikosti 13–76 mm se je



Slika 28 • Absorpcija vode (%) v kompozitu v odvisnosti od kvadratnega korena časa $t^{1/2}$ (s^{1/2}) (a) in relativna sorptivnost S_{relat} v odvisnosti od volumenskega deleža gumenih delcev ϕ_g (%) (b) (Benazzouk, 2007)

absorpcija vode povečala za 4–44 %. Pri zamenjavi 5–10 % cementa z gumenim prahom (0,075–0,475 mm) pa se je absorpcija vode zmanjšala za 7–22 % (slika 29) (Ganjan, 2009).



Slika 29 • Rezultati absorpcije vode S_v (%) v betonu, v katerem so 5- do 10-odstotni masni delež w_g (%) debeložrnatega kamenega agregata zamenjali z gumenimi delci velikosti 13–76 mm in 5- do 10-odstotni masni deleže cementa z gumenim prahom granulacije 0,075–0,475 mm (Ganjan, 2009)

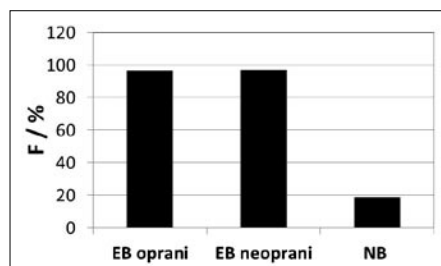
Eksploimentalni rezultati so pokazali, da se je kapilarna absorpcija vode v betonu z naraščajočo vsebnostjo gume povečevala ali zmanjševala v odvisnosti od velikosti gumenih delcev kot tudi od tega, ali so gumeni delci nadomeščali kameni agregat oziroma cementno osnovo. Pri zamenjavi cementa z gumenimi delci dimenzij manj kot 1 mm se je kapilarna absorpcija vode zmanjševala, medtem ko se je pri zamenjavi debeložrnatega kamenega agregata z gumenimi delci velikosti 13–76 mm povečevala.

2.2.9 Vpliv zamrzovanja/tajanja na trajnost betona z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik

Zamrzovanje absorbirane vode je eden izmed glavnih vzrokov za propadanje betonskih konstrukcij.

Avtorji članka (Richardson, 2012) so preučevali faktor trajnosti betona na podlagi preizkusa zamrzovanja/tajanja v skladu s standardom ASTM C 666, 1997. Preučevali so faktor trajnosti betona z 0,6-odstotnim masnim deležem gumenih delcev velikosti 0,5–5 mm v betonu. Preizkus zamrzovanja in odtajevanja so opravili na treh vzorcih, in sicer so pri prvem uporabili z vodo oprane gumene delce, pri drugem neoprane, pri tretjem pa beton brez gume. Zamrzovanje pri $-17,8^{\circ}\text{C}$ je trajalo 7 h, odtajevanje pri $4,4^{\circ}\text{C}$ pa 20 min. Rezultati poskusov (Richardson, 2012) so pokazali, da je po 56 ciklih zamrzovanja in

odtajevanja faktor trajnosti betona z opranimi gumenimi delci 96,4 %, betona z neopranimi gumenimi delci 96,9 % in betona brez gume 18,85 % (slika 30), kar pomeni, da je bil beton z dodatkom gumenih delcev pri teh preizkusih mnogo bolj odporen proti zamrzovanju in tajanju kot navadni beton.



Slika 30 • Faktor trajnosti betona (EB) z 0,6-odstotnim masnim deležem gumenih delcev (oprani in neoprani) in navadnega betona (NB)

Savas in sodelavci (Savas, 1996) so izvedli raziskavo vpliva zamrzovanja in tajanja na trajnost betonov z dodatkom gumenega granulata. Raziskava je pokazala, da so faktorji trajnosti po 300 ciklih zamrzovanja/tajanja v betonu z 10–15 % gumenih delcev več kot 60-odstotni, medtem ko so bili faktorji trajnosti v betonu z 20–30 % gumenih delcev pre nizki, da bi zadostili standardom. Podobne ugotovitve so objavljene tudi v članku (Paine, 2002).

V našem preglednem članku smo trajnost betona z dodatkom gumenega granulata glede na navadni beton povzeli le na podlagi faktorja trajnosti, ki je bil določen s preizkusi zamrzovanja/tajanja. Ker obstajajo številni drugi pokazatelji obstojnosti betona, velja trajnost betona z dodatkom mlete gume podrobneje raziskati.

3 • SKLEP

Odpadne pnevmatike so velik ekološki problem, ki bi ga lahko rešili z reciklažo, na primer za izdelovanje gumenobetonskih kompozitov za uporabo v gradbeništvu. Pregled svetovne znanstvene literature s področja fizikalnih lastnosti betonov z dodatkom gumenega granulata pokaže, da imajo vrsto prednosti pred navadnim betonom brez dodane gume, kot so večja deformabilnost, večja sposobnost dušenja mehanskih vibracij, manjša toplotna prevodnost ter večja odpornost proti zamrzovanju in tajanju. Sklepamo, da bi na podlagi teh lastnosti beton z dodatkom mlete gume iz odpadnih pnevmatik lahko uporabili v gradbeništvu.

Obdelavnost sveže betonske mešanice, ki vsebuje do 15 volumenskih odstotkov gumene komponente, se ne spremeni značilno glede na obdelavnost svežega betona brez gume. Možne aplikacije v gradbeništvu so naslednje:

- Čeprav ima beton z dodatkom gumenega granulata nižjo trdnost kot beton brez dodatka gume, bi ga lahko uporabili za gradbene elemente, za katere so zahtevane nižje vrednosti trdnosti. Nekateri avtorji so priporočili naslednje maksimalne volumenske deleže gumene komponente v betonu, pri katerih se mehanske lastnosti betona ne poslabšajo signifikantno: do 20 % (Khatib, 1999), do 25 % (Khaloo, 2008) in do 30 % (Zheng, 2008b). Priporočajo tudi uporabo drobnnozrnate gume granulacije 0–1 mm, pri kateri ima beton boljše trdnostne karakteristike, kot če bi uporabili debelozrnato gumo granulacije 1–4 mm.
- Izkaže se, da se z dodajanjem gumene komponente trdnost betona na enoto mase zmanjšuje v manjšem obsegu kot trdnost na enoto volumna, kar je lahko konstrukcijska prednost.

- Beton z dodatkom mlete gume kljub manjši trdnosti glede na beton brez dodatka gume izkazuje večjo deformabilnost oziroma prenese večjo deformacijo pred porušitvijo. Avtorji članka (Son, 2011) sklepajo, da bi bilo zaradi večje deformabilnosti betone z dodatkom gumenega granulata mogoče uporabiti kot konstrukcijske elemente pri protipotresni gradnji, kjer morajo elementi vzdržati velike deformacije, ne da bi se porušili.
- Logaritemski dekrement (sposobnost dušenja mehanskih vibracij) betona z dodatkom mlete gume je večji kot logaritemski dekrement navadnega betona brez gume. Optimalna vsebnost gumenih delcev za doseganje najboljšega dušenja je bila 30 volumenskih odstotkov. Debelozrnata guma je imela večji vpliv na zvečanje logaritemskega dekrementa kot drobnnozrnata guma. Beton z dodatkom gumenega granulata bi lahko uporabili za aplikacije v gradbeništvu, kjer je potrebno dušenje mehanskih vibracij, npr. temelji zgradb in strojev.

5 • LITERATURA

- Aiello, M. A., Leuzzi, F., Waste tyre rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state, *Waste Management*, 30, 1696–1704, 2010.
- Batayneh, M. K., Marie, I., Asi, I., Promoting the use of crumb rubber concrete in developing countries, *Waste Management*, 28, 2171–2176, 2008.
- Benazzouk, A., Mezreb, K., Doyen, G., Goullieux, A., Queneudec, M., Effect of rubber aggregates on the physico-mechanical behaviour of cement-rubber composites-influence of the alveolar texture of rubber aggregates, *Cement and Concrete Composites*, 25, 711–720, 2003.
- Benazzouk, A., Douzane, O., Mezreb, K., Queneudec, M., Physico-mechanical properties of aerated cement composites containing shredded rubber waste, *Cement and Concrete Composites*, 28, 650–657, 2006.
- Benazzouk, A., Douzane, O., Langlet, T., Mezreb, K., Roucoult, J. M., Queneudec, M., Physico-mechanical properties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes, *Cement and Concrete Composites*, 29, 732–740, 2007.
- Ganjan, E., Khorami, M., Maghsoudi, A. K., Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete, *Construction and Building Materials*, 23, 1828–1836, 2009.
- Ghaly, A. M., Cahill, J. D., Correlation of strength, rubber content, and water to cement ratio in rubberized concrete, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32, 1075–1081, 2005.
- Guneyisi, E., Fresh properties of self-compacting rubberized concrete incorporated with fly ash, *Materials and Structures*, 43, 1037–1048, 2010.
- Hernandez-Olivares, F., Barluenga, G., Bollati, M., Witoszek, B., Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete, *Cement and Concrete Research*, 32, 1587–1596, 2002.
- Jang, J. W., Yoo, T. S., Oh, J. H., Iwasaki, I., Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea, *Resources, Conservation and Recycling*, 22, 1–14, 1998.
- Jingfu, K., Yongqi, J., Improvement of cracking-resistance and flexural behavior of cement-based materials by addition of rubber particles, *Journal of Wuhan University of Technology – Mater. Sci. Ed.*, 579–583, 2008.
- Jingfu, K., Chuncui, H., Zhenli, Z., Strength and shrinkage behaviors of roller-compacted concrete with rubber additives, *Materials and Structures*, 42, 1117–1124, 2009.
- Khaloo, A. R., Dehestani, M., Rahmatatabadi, P., Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles, *Waste Management*, 28, 2472–2482, 2008.
- Khatib, Z. K., Bayomy, F. M., Rubberized portland cement concrete, *Journal of Materials and Civil Engineering*, 206–213, 1999.
- Li, G., Stubblefield, M. A., Garrick, G., Eggers, J., Abadie, C., Huang, B., Development of waste tire modified concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 2283–2289, 2004.
- Najim, K. B., Hall, M. R., A review of the fresh/hardened properties and applications for plain (PRC) and self-compacting rubberized concrete (SCRC), *Construction and Building Materials*, 24, 2043–2051, 2010.
- Najim, K. B., Hall, M. R., Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete, *Construction and Building Materials*, 27, 521–530, 2012.
- Nashif, A. D., Jones, D.I.G., Henderson J.P., *Vibration Damping*, John Wiley & Sons, Inc., 453 p, 1985.
- Nehdi, M., Khan, A., Cementitious composites containing recycled tire rubber: An overview of engineering properties and potential applications, *Cement, Concrete and Aggregates*, 23, 3–10, 2001.
- Ozbay, E., Lachemi, M., Sevim, U. K., Compressive strength, abrasion resistance and energy absorption capacity of rubberized concretes with and without slag, *Materials and Structures*, 44, 1297–1307, 2011.
- Paine, K. A., Dhir, R. K., Moroney, R., Kopasakis, K., Use of crumb rubber to achieve freeze thaw resisting concrete, v: Dhir, R.K. (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Concrete for Extreme Conditions*, University of Dundee, Scotland, UK, 486–498, 2002.
- Richardson, A. E., Coventry, K. A., Ward, G., Freeze/thaw protection of concrete with optimum rubber crumb content, *Journal of Cleaner Production*, 23, 96–103, 2012.
- Savas, B. Z., Ahmad, S., Fedoroff, D., Freez-thaw durability of concrete with ground waste tire rubber, *Transportation Research Record No. 1574*; Transportation Research Board, Washington, DC, 80–88, 1996.
- Segre, N., Joekes, I., Use of tire rubber particles as addition to cement paste, *Cement and Concrete Research*, 30, 1421–1425, 2000.
- Siddique, R., Naik, T. R., Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview, *Waste Management*, 24, 563–569, 2004.
- Skripkiunas, G., Grinyas, A., Miškinis, K., Damping properties of concrete with rubber waste additives, *Materials Science (Medžiagotyra)*, 15, 266–272, 2009.
- Son, K. S., Hajirasouliha, I., Pilakoutas, K., Strength and deformability of waste tyre rubber-filled reinforced concrete columns, *Construction and Building Materials*, 25, 218–226, 2011.

- Steidel, R. F., An introduction to mechanical vibrations, 3rd edition, John Wiley & Sons, 439 p, 1989.
- Sukontasukkul, P., Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel, *Construction and Building Materials*, 23, 1084–1092, 2009.
- Taha, M. M. R., Asce, M., El-Dieb, A. S., El-Wahab, M. A. A, Abdel-Hameed, M. E., Mechanical, fracture and microstructural investigations of rubber concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20, 640–648, 2008.
- Tantala, M.W., Lepore, J. A., and Zandi I., Quasi-Elastic Behavior of Rubber Included Concrete, *Proceedings, 12th International Conference on Solid Waste Technology and Management*, 1996.
- Topcu, I. B., The properties of rubberized concretes, *Cement and Concrete Research*, 25 (2), 304–310, 1995.
- Topcu, I. B., Demir, A., Durability of rubberized mortar and concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19, 173–178, 2007.
- Toutanji, H. A., The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates, *Cement and Concrete Composites*, 18, 135–139, 1996.
- Turgut, P., Yesilata, B., Physico-mechanical and thermal performance of newly developed rubber-added bricks, *Energy and Buildings*, 40, 679–688, 2008.
- Zheng, L, Huo, X. S., Yuan, Y., Experimental investigation on dynamic properties of rubberized concrete, *Construction and Building Materials*, 22, 939–947, 2008a.
- Zheng, L, Huo, X. S., Yuan, Y., Strength, modulus of elasticity and brittleness index of rubberized concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20, 692–698, 2008b.
- Yesilata, B., Isiker, Y., Turgut, P., Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces, *Construction and Building Materials*, 23, 1878–1882, 2009.
- Yesilata, B., Bulut, H., Turgut, P., Experimental study on thermal behavior of a building structure using rubberized exterior-walls, *Energy and Buildings*, 43, 393–399, 2011.

VSEBINA LETNIKA 61/2012

Članki - Papers

Abram, M., UPORABA METOD KVALITATIVNE ANALIZE ZA OPREDELITEV NAČINOV ODPOVEDI ELEMENTOV ŽELEZNIŠKE PROGE, NJIHOVIH VZROKOV IN KRITIČNOSTI, USING METHODS OF QUALITATIVE ANALYSIS TO IDENTIFY FAILURE MODES OF RAILWAY LINE ELEMENTS, THEIR CAUSES, EFFECTS AND CRITICALITY, oktober, stran 227.

Crnjak, M., Kristek, P., PROMETNO VOZLIŠČE REKA – NOVA VRATA EVROPE, THE TRAFFIC NODE OF RIJEKA – NEW GATE OF EUROPE, maj, stran 94.

Drev, D., Panjan, J., RAZISKAVA VPLIVA IZTOKOV IZ KOMUNALNIH ČISTILNIH NAPRAV NA KAKOVOST POVRŠINSKIH VODA, STUDY OF THE IMPACT OF MUNICIPAL SEWAGE OUTFALLS ON THE QUALITY OF SURFACE WATERS, maj, stran 103.

Dvornik Perhavec, D., Rebolj, D., UČINKOVITEJŠI PRISTOP K OBNOVI ZGODOVINSKIH OBJEKTOV, EFFECTIVE APPROACH TO THE RECONSTRUCTION OF HISTORICAL BUILDINGS, maj, stran 109.

Hribar, D., Tušar, M., VPLIV DELEŽA BITUMNA V SESTAVI BITUMENSKEGA BETONA NA REZULTATE PRESKUSOV PRI NIZKIH TEMPERATURAH, INFLUENCE OF BITUMEN CONTENT IN THE ASPHALT CONCRETE MIXTURES ON THE RESULTS OF TESTS AT LOW TEMPERATURES, oktober, stran 241.

Koler Povh, T., Vitek, A., Lorber, M., Turk, G., DRUGG – DIGITALNI REPOZITORIJ UL FGG, april, stran 86.

Košir, M., Krainer, A., Kristl, Ž., ANALIZA OSONČENOSTI STAVB V SKLADU Z ZAHTEVAMI PURES 2010, BUILDING INSULATION ANALYSIS IN ACCORDANCE TO PURES 2010, avgust, stran 183.

Kunič, R., Tavzes, Č., Kutnar, A., OGLJIČNI ODTIS TOPLOTNOIZOLACIJSKIH MATERIALOV V TOPLOTNEM OVOJU STAVB, CARBON FOOTPRINT OF THERMAL INSULATION MATERIALS IN BUILDING ENVELOPES, september, stran 206.

Krzyk, M., Panjan, J., OBČUTLJIVOSTNA ANALIZA PARAMETROV MODELIRANJA PRVEGA VALA ONESNAŽENIH VODA S CESTNIH POVRŠIN, december, stran 275.

Likar, B., Lenart, S., Majes, B., VPLIV ANIZOTROPNEGA NAPETOSTNEGA STANJA NA

DEFORMACIJSKE LASTNOSTI PEŠČENIH ZEMLJIN, THE EFFECT OF ANISOTROPIC STRESS STATE UPON THE DEFORMATION PROPERTIES OF SANDY SOIL, marec, stran 61.

Maleiner, F., SPLAKOVANJE ZADRŽEVALNIH IN RAZBREMENILNIH NAPRAV, FLUSH CLEANING DEVICES FOR RETENTION AND STORAGE FACILITIES, januar, stran 2.

Maleiner, F., KRITIKA DRŽAVNEGA OPERATIVNEGA PROGRAMA ODVAJANJA IN ČIŠČENJA KOMUNALNIH ODPADNIH VODA, A CRITIQUE OF THE GOVERNMENTAL OPERATIONAL PROGRAM OF COLLECTING AND TREATING MUNICIPAL WASTEWATER, september, stran 215.

Mikoš, M., KALNOST V REKAH KOT DEL EROZIJSKO-SEDIMENTACIJSKEGA KROGA, SUSPENDED LOADS IN RIVERS AS A PART OF THE EROSION AND SEDIMENTATION CYCLE, junij, stran 129.

Mikoš, M., METODE TERENSKIH MERITEV SUSPENDIRANIH SEDIMENTOV V REKAH, METHODS OF FIELD MEASUREMENTS OF SUSPENDED SEDIMENTS IN RIVERS, julij, stran 151.

Mikoš, M., PREDLOG OBRATOVALNEGA HIDROLOŠKEGA MONITORINGA KALNOSTI NA SPODNJI SAVI, A PROPOSAL OF OPERATIONAL HYDROLOGIC MONITORING OF SUSPENDED-SEDIMENT LOADS IN THE LOWER SAVA RIVER, avgust, stran 170.

Obradović, Đ., HIŠE IZ ILOVICE, CLAY HOUSES, junij, stran 137.

Popit, A., Nikonov, A., Emri, I., PREGLED RAZISKAV LASTNOSTI IN UPORABNOSTI BETONOV Z DODATKOM MLETE GUME IZ ODPADNIH PNEVMATIK, december, stran 284.

Pulko, B., PRIMERJAVA METOD ZA STATIČNO ANALIZO TEMELJNIH PLOŠČ, COMPARISON OF METHODS FOR STATIC ANALYSIS OF MAT FOUNDATIONS, september, stran 198.

Remec, Č., Japelj Fir, M., Kralj, A., Žnidaršič, M., S PLINOM POLNJENI PANELI ZA VISOKOIZOLACIJSKE STAVBNE OVOJE 21. STOLETJA, GAS FILLED PANELS AS A HIGH INSULATION FOR BUILDING ENVELOPES OF 21ST CENTURY, julij, stran 159.

Rismal, M., INTERDISCIPLINARNOST IN INTEGRALNO UPRAVLJANJE IN NAČRTOVANJE VODNIH SISTEMOV, INTERDISCIPLINARITY AND INTEGRATED MANAGEMENT AND PLAN-

NING OF WATER RESOURCES, februar, stran 28.

Rismal, M., PRESKRBA S PITNO VODO SLOVENSKE ISTRE IN ZALEDNA KRASA IZ KRAŠKE PODTALNICE V BRESTOVICI, WATER SUPPLY OF SLOVENIAN ISTRA AND KARSTIC HINTERLAND WITH KARST GROUNDWATER OF BRESTOVICA, april, stran 77.

Rismal, M., PROBLEMI UPRAVLJANJA VODA V SLOVENIJI IN GOSPODARJENJA Z NJIMI, PROBLEMS OF WATER GOVERNANCE AND MANAGEMENT IN SLOVENIA, avgust, stran 177.

Skornšek, B., CENE, CENIKI IN VPRAŠANJE PROSTEGA TRGA INŽENIRSKIH STORITEV V SLOVENIJI, PRICES, PRICE LISTS AND LIBERAL MARKET OF ENGINEERING SERVICES IN SLOVENIA, junij, stran 122.

Stegnar, G., Šijanec Zavrl, M., Stankovski, V., UPORABA INFORMACIJSKIH VIROV PRI TIPIZACIJI STAVB V SLOVENIJI, THE USE OF INFORMATION SOURCES FOR TYPIFICATION OF BUILDINGS IN SLOVENIA, november, stran 256.

Širca, A., Josipovič, Z., Rodič, B., GRADNJA HE KRŠKO NA SPODNJI SAVI, CONSTRUCTION OF THE KRŠKO HPP ON THE LOWER SAVA RIVER, april, stran 70.

Trtnik, G., OBČUTLJIVOST ULTRAZVOČNE METODE NA PRISOTNOST PLASTIFIKATORJEV V SESTAVI CEMENTNIH PAST, SENSITIVITY OF ULTRASONIC METHOD TO DETECT A PRESENCE OF PLASTICIZERS IN CEMENT PASTES, februar, stran 37.

Vivoda, Ž., HRVAŠKE IZKUŠNJE PRI NAČRTOVANJU, IZGRADNJI IN GOSPODARJENJU S CESTNIM OMREŽJEM, CROATIAN EXPERIENCES IN PLANNING, CONSTRUCTION AND ROAD NETWORK MANAGEMENT, marec, stran 52.

Zirnstein, E., Franca, V., MOŽNOSTI ZA DEREGULACIJO POKLICEV V GRADBENIŠTVU – MED KONKURENČNOSTJO, KAKOVOSTJO IN VARNOSTJO, POSSIBILITIES FOR DEREGULATION OF PROFESSIONS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY – BETWEEN COMPETITIVENESS, QUALITY AND SAFETY, november, stran 263.

Odmevi

Brilly, M., Kryžanowski, A., PRIPOMBE NA ČLANEK PROF. DR. RISMALA »INTERDISCIPLINARNOST IN INTEGRALNO UPRAVLJANJE IN NAČRTOVANJE VODNIH SISTEMOV«, OBJAV-

LJEN V GRADBENEM VESTNIKU (FEBRUAR 2012), maj, stran 119.

Di Batista, M., GRADNJA SLOVENSKE AVTOCEST V OBDOBJU 1994 – 2009, maj, stran 118.

Ficko, G., ODGOVOR AVTORJA, januar, stran 19.

Gaberščik, B., Gunde, A., Jakše, M., Krajnc, M., PRAVLJIVNA KNJIGA, KI NAJ PRIKRIJE STRANPOTI IN NAPAKE GRADNJE SLOVENSKE AVTOCEST V OBDOBJU 1994-2009, januar, stran 14.

Gregorc, C., NEKAJ POJASNIL K POLEMIKI OB IZDAJI KNJIGE GRADNJA SLOVENSKE AVTOCEST V OBDOBJU 1994-2009, april, stran 89.

Humar, G., STRANPOTI IN NAPAKE GRADNJE SLOVENSKE AVTOCEST V OBDOBJU 1994-2009, marec, stran 68.

Maleiner, F., PRIPOMBE NA ČLANEK BORUTA SKORNŠKA CENE, CENIKI IN VPRAŠANJE PROSTEGA TRGA INŽENIRSKIH STORITEV V SLOVENIJI (GV, JUNIJ 2012), avgust, stran 194.

Maleiner, F., PRIPOMBE K ČLANKU PROF. DR. MITJA RISMALA: PROBLEMI UPRAVLJANJA VODA V SLOVENIJI IN GOSPODARJENJA Z NJIMI (GRADBENI VESTNIK, AVGUST 2012), oktober, stran 247.

Rismal, M., ODGOVOR AVTORJA NA PRIPOMBE PROF. DR. MITJA BRILLYJA IN DOC. DR. ANDREJA KRYŽANOWSKEGA NA ČLANEK INTERDISCIPLINARNOST IN INTEGRALNO UPRAVLJANJE IN NAČRTOVANJE VODNIH SISTEMOV V GRADBENEM VESTNIKU (FEBRUAR 2012), OBJAVLJENE V MAJSKI ŠTEVILKI, junij, stran 143.

Voščila

Vrbek, M., VOŠČILO PREDSEDNIKA ZDGITS, december, stran 274.

Uvodnik

Vilhar, M., SODELOVANJE SLOVENSKE IN HRVAŠKE STROKOVNJAKOV NA PODROČJU CEST IN PROMETA, marec, stran 51.

In memoriam

Humar, G., SAŠA SKULJ, UNIV: DIPL: INŽ: GRAD. (1931 – 2012), november, stran 250.

Jubilej

Duhovnik, J., AKADEMIK PROF. DR. MIHA TOMAŽEVIČ – 70 LET, oktober, stran 226.

Fajfar, P., ZASLUŽNI PROFESOR DR. JANEZ DUHOVNIK – 70 LET, marec, stran 50.

Nagrajeni gradbeniki

Šelih, J., PREŠERNOVE NAGRADE IN PRIZNANJA NAJBOLJŠIM ŠTUDENTOM NA FAKULTETI ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO UNIVERZE V LJUBLJANI V LETU 2011, februar, stran 26.

VIKTOR MARKELJ PREJEL NAGRADO INŽENIRSKO ZBORNICE SRBIJE, julij, stran 150.

Nove knjige

Duhovnik, J., DOSEŽKI SLOVENSKEGA GRADBENIŠTVA (1918–1941) IN STAVBENIK JOSIP SLAVEC, februar, stran 27.

Obiski gradbišč

Širca, A., GRADBIŠČE LOČNE PREGRADE SVETA PETKA V MAKEDONIJI, februar, stran 47.

Mnenje

Godina, J., V TEM TUNELU ŠE NI VIDETI IZHODA, julij, stran 167.

Po WEF 2012

Grilc, M., SVETOVNI INŽENIRSKI FORUM V LJUBLJANI – NAJVEČJI SVETOVNI INŽENIRSKI DOGODEK LETA 2012, november, stran 251.

Novice iz ZDGITS

Okorn, E., POROČILO O SKUPŠČINI ZDGITS, september, stran 223.

Okorn, E., ZDGITS SPET NA KARLOVŠKI CESTI 3, december, stran 300.

Razpisi

Razpis za člane izpitne komisije IZS MSG, april, stran 91.

Obvestila ZDGITS

ZADNJI PRIPRAVLJALNI SEMINAR IN IZPITNA ROKA ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2012, maj, stran 120.

PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2013, november, stran 272.

Vabila

Svetovni inženirski forum 2012, julij, stran 146.

Vabilo na skupščino ZDGITS, april, stran 91.

ZPM Projektni forum, februar, stran 48.

34. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, avgust, stran 3 ovitka.

Vsebina letnika 61/2012

december, stran 298

Navodila avtorjem za pripravo prispevkov

V vsaki številki, stran 2 ovitka.

Novi diplomanti

Juteršek, J. K., januar, stran 3 ovitka; februar, stran 3 ovitka; april, stran 92 in stran 3 ovitka; maj, stran 3 ovitka; junij, stran 3 ovitka; julij, stran 3 ovitka; september, stran 3 ovitka; oktober, stran 248 in stran 3 ovitka; november, stran 3 ovitka; december, stran 3 ovitka.

Koledar prireditev

Juteršek, J. K., 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

Abram, M., AB plošča, na katero bo pritrjen tir v predoru Ležeški na odseku železniške proge med Pivko in Divačo, september.

Blenkuš, M., Gradnja RTV in sodniškega stolpa skakalnic HS139 in HS104 v Planici, januar.

Duhovnik, J., Gradnja novih skakalnic v Planici, oktober.

Duhovnik, J., Hrdeckega most čez Ljubljanico v Ljubljani, avgust.

Duhovnik, J., Kaj teče iz naših čistilnih naprav?, maj.

Duhovnik, J., Pogled iz predora Pod stenom na Poljanski obvoznici v Škofji Loki proti Suhi, december.

Duhovnik, J., Projekt Situla v Ljubljani, marec.

Foto arhiv Skupine Primorje, Gradbišče bloka 6 Termoelektrarne Šoštanj, februar.

Foto arhiv izvajalcev Begrad, d.d. Novo mesto in Granit, d.d., Slovenska Bistrica, Gradnja nove Medicinske fakultete v Mariboru, junij.

Foto arhiv SGP Pomgrad, Galerija pod Meljskim hribom, november.

Počrvina, J., Nov fasadni panel Trimo na stavbi Belimed v Grosupljem, julij.

Širca, A., HE Krško, april.

ZDGITS SPET NA KARLOVŠKI CESTI 3

Od 12. decembra 2012 je sedež Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov (ZDGITS) spet na Karlovški cesti 3 v Ljubljani. Telefonska številka 01/52 40 200, številka faxa 01/52 40 199 in elektronska naslova gradb.zveza@siol.net in gradbeni.vestnik@siol.net ostajajo enaki kot doslej. Poleg ZDGITS je v tej stavbi – med leti 1869 in 1871 v neorenesančnem slogu zgrajeni vili, ki jo je dala pozidati nekdanja znana in ugledna družina livarjev in zvonarjev Samassa – tudi sedež Slovenske inženirske zveze (SIZ), Zveze strojnih inženirjev Slovenije (ZSIS), Zveze lesarjev Slovenije (ZLS), Društva urbanistov in prostorskih planerjev Slovenije (DUPPS) ter Društva arhitektov Ljubljana (DAL).

Na sedežu ZDGITS lahko uredite prijavo na pripravljene seminarje za strokovne izpite za gradbeno stroko in vse v zvezi z naročnino na strokovno in znanstveno revijo Gradbeni vestnik. Uradne ure za stranke so v ponedeljek, torek in sredo med 9.00 in 13.00 uro, v četrtek med 12.00 in 16.00 uro, v petek ni uradnih ur. Več informacij o ZDGITS in njenem delovanju lahko dobite na spletni strani www.zdgits.dobroavila.si.

Iz centra mesta (Ajdovščina) je do novega sedeža ZDGITS približno 15 minut hoje

oziroma 10 minut vožnje z mestnim avtobusom. Obiskovalcem priporočamo, da se do Karlovške ceste 3 pripeljejo z avtobusi št. 3, 11 ali 27 in izstopijo na postajališču Privoz.

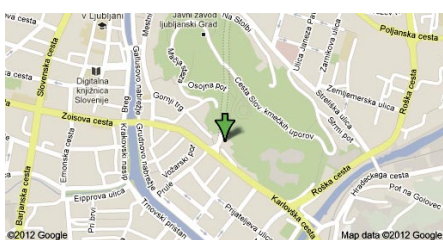
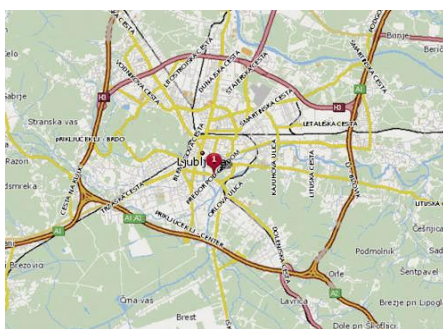
Tisti, ki se boste pripeljali z osebnimi avtomobili, boste parkirni prostor verjetno našli

v območju Prul, Trnovega ali v kateri od garažnih hiš v centru Ljubljane.

**Eva Okorn, prof. um. zgod.,
univ. dipl. geogr.
poslovna sekretarka**



Stavba na Karlovški cesti 3 stoji ob južnem portalu predora pod Gradom



Oznaka 1 in puščica kažeta sedež ZDGITS na zemljevidu Ljubljane



Sejna soba na Karlovški cesti 3

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Luka Zupančič, Primeri uporabe programa Abaqus za stacionarne toplotne analize, mentor prof. dr. Boštjan Brank, somentor dr. Marjana Šijanec Zavrl

Rok Podržaj, Uporaba različne mehanizacije pri vzdrževanju vodotokov, mentor doc. dr. Primož Banovec, somentor viš. pred. mag. Jure Kostanjšek

Aleš Cunjac, Primerjalna študija potresne odpornosti sodobnih večnadstropnih zidanih stavb, mentor izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov, somentor asist. Patricija Cotič

Blaž Pucelj, Uporaba programske opreme Nemetschek Frilo v praksi, mentor izr. prof. dr. Jože Lopatič, somentor doc. dr. Drago Saje

Blaž Škrbec, Preureditev križišča Čolnišče na državni cesti v Zagorju ob Savi, mentor viš. pred. dr. Peter Lipar, somentor viš. pred. mag. Jure Kostanjšek

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Igor Krištof, Zobati spoji lameliranih lepljenih nosilnih elementov lesenih konstrukcij, mentor izr. prof. dr. Jože Lopatič

Nejc Pavlin, Metoda vezi in razpor za projektiranje armiranobetonskih stenastih elementov, mentor prof. dr. Boštjan Brank, somentor izr. prof. dr. Jože Lopatič

Uroš Jakin, Načrtovanje turizma na podeželju na primeru občine Brda, mentor doc. dr. Alma Zavodnik Lamovšek

Žiga Likar, Vpliv napetostnih poti in zrnastostne sestave na mehansko obnašanje drobljivega agregata, mentor izr. prof. dr. Janko Logar, somentor dr. Francesca Casini

Jure Oštrbenk, Potresna analiza in analiza ojačitvenih ukrepov za grad Golnik, mentor izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov, somentor asist. Meta Kržan

Nejc Benedik, Analiza lokacije HE Zalog na srednji Savi, mentor doc. dr. Andrej Kryžanowski

Doris Frank, Obalna konstrukcija veza 12 z zagatno steno, mentor izr. prof. dr. Janko Logar, somentor asist. dr. Primož Može

DOKTORSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Aldo Sošič, Kartografija Istre s posebnim poudarkom na razvoju kartografskega izražanja, mentor doc. dr. Dušan Petrovič, somentor izr. prof. dr. Branko Janez Rojc

Dina Stober, Primerjava vrednostnih ocen slovenskega, madžarskega in hrvaškega prebivalstva o trajnosti na osnovi vidne transformacije obrečnih krajin, mentor prof. dr. Andrej Pogačnik, somentor prof. dr. Ivan Janez Marušič

MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Metka Harej, Odnosi med mestnimi in podeželskimi območji v Sloveniji, mentor doc. dr. Alma Zavodnik Lamovšek

Anja Mozešič Lackovič, Analiza stroškov in koristi legalizacije oziroma odstranitve nelegalno zgrajenih objektov, mentor izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač

Denis Ambruš, Vpliv izgradnje kanala Donava – Sava na primarno strukturo regij Slavonije in Srema, mentor prof. dr. Andrej Černe, somentor prof. dr. Franc Steinman

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Blaž Domitrovič, Poškodbe asfaltnih prometnih površin, vzroki za nastanek in sanacijski ukrepi, mentor pred. mag. Vlasta Rodošek

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO – Bolonjski študijski program 1. stopnje

Študij je zaključila z diplomskim izpitom:

Anja Pintarič

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, univ. dipl. inž. grad.

Vsem diplomantom čestitamo!

Skladno z dogovorom med ZDGITS in FGG-UL vsi diplomanti gradbenega oddelka Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani prejemaajo Gradbeni vestnik (12 števil) eno leto brezplačno. Vse, ki bodo želeli po prejemu 12. številke postati redni naročniki, prosimo, naj to čimprej sporočijo uredništvu na naslov: GRADBENI VESTNIK, Leskoškova 9E, 1000 Ljubljana; telefon: (01) 52 40 200; faks: (01) 52 40 199; e-mail: gradb.zveza@siol.net.

ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika

KOLEDAR PRIREDITEV

5.-7.2.2013

57th BetonTage

Neu-Ulm, Nemčija
www.betontage.com

14.-15.2.2013

IABSE Workshop on Safety, Failures and Robustness of Large Structures

Helsinki, Finska
www.ril.fi/en/international-conferences/iabse-2013-workshop.html

10.4.2013

Bridges 2013

21st Annual Conference and Exhibition

Birmingham, Anglija
<http://2011.bridges.surveyoevents.com/content/>

15.-21.4.2013

BAUMA 2013

30th International Trade Fair for Construction Machinery, Building Material Machines, Mining Machines, Construction Vehicles and Construction Equipment

München, Nemčija
www.bauma.de

16.-18.4.2013

2013 International Highway Technology Summit

Peking, Kitajska
www.bridgeweb.com/MemberPages/Article.aspx?typeid=5&id=2816

22.-24.4.2013

FIB Symposium

Engineering a concrete future: technology, modelling & construction

Tel Aviv, Izrael
www.fib2013tel-aviv.co.il/index.ehtml

6.-8.5.2013

International IABSE Spring Conference

Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructures
Rotterdam, Nizozemska
www.iabse2013rotterdam.nl

17.-19.5.2013

IC-SDCI

International Conference on Sustainable Development of Critical Infrastructure (Co-sponsored by IABSE)

Shanghai, Kitajska
<http://iem.sjtu.edu.cn/IC-SDCI/en/>

20.-22.5.2013

7th National Seismic Conference on Bridges & Highways

Oakland, Kalifornija, ZDA
www.7nsc.info

27.-29.5.2013

1st International Conference on Concrete Sustainability

Tokyo, Japonska
www.jci-iccs13.jp

12.-14.6.2013

COMPDYN 2013

4th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering

Otok Kos, Grčija
<http://compdyn2013.org/>

26.-28.6.2013

FRPRCS11

11th International Symposium on Fibre Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures

Guimares, Portugalska
www.frpres11.uminho.pt/Default.aspx?tabindex=1&tabid=1&lang=en-US&pageid=29

24.-26.7.2013

ICSA 2013

2nd International Conference on Structures and Architecture

Guimares, Portugalska
www.icsa2013.arquitectura.uminho.pt

24.-27.9.2013

26th IABSE Symposium

Long Span Bridge and Roof Structures – Development, Design and Implementation

Kolkata, Indija
www.bridgeweb.com/MemberPages/Article.aspx?typeid=5&id=2443

25.-27.9.2013

IWCS 2013

Third International Workshop on Concrete Spalling due to fire exposure

Pariz, Francija
<http://mfpa-leipzig.de/index.php?id=64>

2.-6.6.2014

3rd World Landslide Forum "Landslide risk mitigation: Constructing a safe geo-environment"

Peking, Kitajska
www.wlf3.org

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: msg@izs.si