





## Izdajatelj:

**Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Leskoškova 9e, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, 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: **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:

**Anka Holobar**

## Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

## Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočeovski tisk**

## Naklada:

**3000 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 upokojnence 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 vstrel DDV.

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

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

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, januar 2009, letnik 58, str. 1-28

## Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

- Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
- Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
- Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
- Besedilo mora biti izpisano z znaki velikosti 12 pik z dvojnimi presledkom med vrsticami.
- Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.
- Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako ali je članek strokoven ali znanstven; nazive, imena in priimke avtorjev ter njihove naslove; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek 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 dodatki označeni še z A, B, C, itn.
- Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni.
- Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.
- Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
- Kot decimalno ločilo je treba uporabiti vejico.
- Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.
- V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko okrajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
- 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.
- Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA oz. janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v enem izvodu na papirju in v elektronski obliki v formatu MS WORD in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo



# Vsebina • Contents

## Nagrajeni gradbeniki

stran 2

**NAGRADE INŽENIRSKÉ ZBORNICÉ SLOVENIJE 2008**

## Članki • Papers

stran 3

Danilo Malnar, univ. dipl. inž. grad.  
Matej Jarm, univ. dipl. inž. grad.

### **IZGRADNJA PILOTNE STENE PZ-1 IN PS-1 NA CESTI G1-5 CELJE-SEVNICA-KRŠKO**

CONSTRUCTION OF PILE WALLS PZ-1 AND PS-1 ON THE ROAD G1-5  
CELJE-SEVNICA-KRŠKO

stran 8

mag. Marko Gspan, univ. dipl. inž. grad.  
prof. dr. Mitja Brilly, univ. dipl. inž. grad.  
prof. dr. Viktor Grilc, univ. dipl. inž. kem. tehnol.

### **ORODJA ZA OCENJEVANJE UČINKOVITOSTI UPRAVLJANJA S KOMUNALNO INFRASTRUKTURO (Program COST Action C18, 2004-2008)**

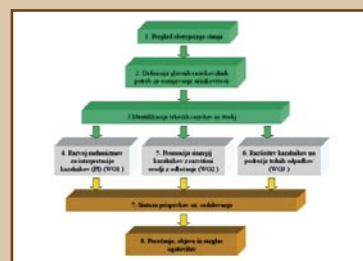
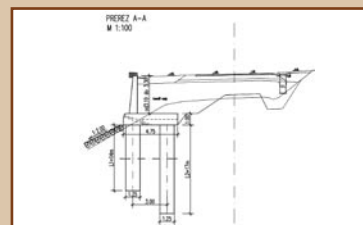
TOOLS FOR PERFORMANCE ASSESSMENT OF URBAN INFRASTRUCTURE SERVICES  
(COST Action C18, 2004-2008)

stran 16

mag. Andrej Ivanič, univ. dipl. inž. grad.  
Samo Lubej, univ. dipl. inž. grad.

### **IZBOLJŠANJE STIKA MED CEMENTNO MALTO IN KONTINUIRANIMI OGLJIKOVIMI VLAKNI**

BOND IMPROVEMENT IN CEMENTITIOUS MORTARS REINFORCED WITH  
CONTINUOUS CARBON FILAMENTS



## Odmev

stran 23

dr. Tomaž Rojc, univ. dipl. inž. grad.

### **PRIPOMBE K ČLANKU BOČNA ZVRNITEV LESENEGA KROŽNEGA LOKA**

## Novice iz ZDGITS

stran 28

dr. Janez Reflak, univ. dipl. inž. grad.

### **SPORAZUM MED ZVEZO GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE IN HRVATSKIM SAVEZOM GRADEVINSKIH INŽENJERA**

## Novi diplomanti

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

## Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Opaž in armatura sekundarnega betona v strojničnem jašku ČHE Avče  
foto Jasmina Hlača

# NAGRADE INŽENIRSKÉ ZBORNICE SLOVENIJE 2008



**Nagrado za življenjsko delo na področju izvajanja programa izgradnje avtocest je prejel prof. dr. Milenko Pržulj, univ. dipl. inž. grad.**

Prof. dr. Milenko Pržulj je diplomiral na Fakulteti za grad-

beništvo Univerze v Sarajevu, kjer je opravil tudi podiplomski študij tehnične mehanike. Z dosežki v projektiranju in gradnji avtocest in mostov se je najprej seznanil v Italiji in Nemčiji, kasneje pa še s študijskimi potovanji in specializacijami v Angliji, Švici in ZDA. Doktoriral je leta 1990 na Fakulteti za gradbeništvo v Zagrebu z zagovorom teze *Analiza intervencij pri porazdelitvi napetosti v mostnih prekladnih konstrukcijah*. Do leta 1994 je objavil dva univerzitetna učbenika, osem monografij in publikacij ter 80 strokovnih člankov. Od leta 1994 sodeluje pri uresničevanju Nacionalnega programa izgradnje avtocest v Republiki Sloveniji, nadgrajuje delo v praksi s znanstvenimi, raziskovalnimi in strokovnimi prispevki, ostaja še naprej predavatelj na podiplomskem študiju na Gradbeni fakulteti v Sarajevu in deluje kot svetovalec v Republiki Bosni in Hercegovini pri najzahtevnejših tehničnih rešitvah pri gradnji mostov. Prof. dr. Pržulj je eden strokovnih stebrov, ki s svojim širokim znanjem pomembno dopolnjuje aktivnosti pri tehnični izvedbi Nacionalnega programa izgradnje avtocest v Republiki Sloveniji. Zaradi navedenega ga utemeljeno in upravičeno uvrščamo v ozko skupino strokovnjakov, ki je pri projektiranju in izvedbi omogočila uporabo najmodernejših tehničnih rešitev, le-te pa se brez zadržkov uvrščajo tudi v učno bazo za študente in mlade inženirje. To potrjuje tudi dejstvo, da je prof. dr. Pržulj napisal pretežni del slovenskih smernic za projektiranje mostov in podpornih konstrukcij. Bil je tudi član ocenjevalnih žirij konstruktorsko-arhitektonskih javnih natečajev mostov v Sloveniji. Prof. dr. Pržulj sodeluje tudi v geološko-geomehanskem konziliju in v komisiji za velike objekte, ki ju je imenoval DARS, d. d., ter v tehničnem odboru za objekte. Sodelovanje prof. dr. Pržulja pri gradnji slovenskih avtocest je mogoče zaslediti na vseh pomembnih trasah in objektih. Posebej je treba poudariti, da je pri tem nenehno iskal dobre tehnične rešitve, upoštevajoč tudi njihovo ekonomsko stran.



**Nagrado za več inženirskih dosežkov v določenem časovnem obdobju na področju varovanja in obnove stavbne dediščine v Sloveniji in tujini je prejel prof. dr. Roko Žarnić, univ. dipl. inž. grad.**

Prof. dr. Roko Žarnić, univerzitetni diplomirani inženir gradbeništva, strokovno, raziskovalno in pedagoško deluje na področju varovanja in obnove stavbne dediščine v Sloveniji in tujini od leta 1979. Izreden pomen njegovega dela je v neprekinjenem delovanju na področju zaščite kulturne dediščine z oblikovanjem trajnostnega pristopa k obnovi stavb z razvojem postopkov, metod in orodij za projektiranje prenove stavb kulturne dediščine in z vodenjem številnih raziskovalno-razvojnih projektov doma in v tujini. Prof. dr. Žarnić je pomembno prispeval k razvoju celovitega inženirskega pristopa k obnovi stavbne dediščine. Jedro njegovega dela je razvoj računskega modela za analizo protipotresne odpornosti zidanih konstrukcij in okvirnih konstrukcij, zapolnjenih z zidanimi polnili, ter metode utrditve konstrukcij. Slednje je kasneje nadgrajeval v povezavi z energijsko učinkovito metodo temperiranja stavbnega tkiva za preprečevanje propadanja materiala. Svoje raziskovalno-razvojno delovanje je ves čas dopolnjeval tudi z aplikacijo razvitih metod v praksi. Metoda ojačitve zidanih obokov z lahki betoni se je uveljavila v slovenskem prostoru in postala ena izmed uspešnejših rešitev za protipotresno utrditev in zvišanje nosilnosti obokov. V praksi je bila na primer uporabljena pri popotresni sanaciji stavb v Posočju, kjer je bila izdelana utrditev zidov na preko sto stavbah kulturne dediščine, med njimi je tudi več kot dvajset sakralnih objektov. Metoda ogrevanja masivnih zidov starih zgradb, s katero se učinkovito uravnava mikroklima in zmanjšuje vlažnost zidov, je s sodelavci računsko utemeljil in prenesel v slovenski prostor, kjer je bila uporabljena v gradu Brežice in cerkvah Mokronog in Teharje. Primer aplikacije trajnostnega pristopa k prenovi in vzdrževanju kulturne dediščine predstavlja vgradnja sistema aktivnega monitoringa mikroklima v cerkvi sv. Trojice v Hrastovljah, katerega namen je preprečevanje klimatsko pogojenih poškodb na stavbnem tkivu. Računski postopki za predvidevanje obnašanja armiranobetonskih okvirnih konstrukcij z zidanimi polnili so naši

pot v vsakdanjo prakso ne samo pri nas, ampak tudi po svetu. Na eni izmed mednarodnih konferenc je projektant prenove okvirnega jeklenega nebotičnika s pomočjo zidanih polnil v Čikagu poročal o uporabi računskega postopka, ki ga je razvil prof. dr. Žarnić. Prof. Žarnić se uspešno posveča strateškemu prizadevanjem gradbene stroke za trajnostno ravnanje s stavbno dediščino. Pri tem povezuje raziskave in tehnološki razvoj na področju obnove stavbne dediščine z aplikativnimi potrebami inženirske stroke.



**Naziv Častni član IZS je prejel Željko Blažeka, univ. dipl. inž. grad., za zasluge ob ustanovitvi Inženirske zbornice Slovenije in delo v njej**

Željko Blažeka, ustanovni član Inženirske

zbornice Slovenije, je bil eden od pobudnikov za njeno ustanovitev že v času nastajanja Zakona o graditvi objektov, ki je bil sprejet v letu 1996. V imenu iniciativne skupine inženirjev je sklical in vodil prvi ustanovni občni zbor 20. novembra 1996 v Mariboru. Bil je izvoljen za prvega začasnega predsednika Inženirske zbornice Slovenije. Njegova posebna zasluga je dogovor z začasnim vodstvom, ki je bilo izvoljeno na ustanovnem občnem zboru v Ljubljani dan kasneje, da veljata oba ustanovna občna zbora, udeleženci obeh zborov pa za ustanovne člane IZS. Ob tem je postal član skupnega začasnega vodstva. Sledil je osnovni ideji in namenu, da steče konstituiranje zbornice in njenih organov čim hitreje, brez neljubih zapletov in da se začne udeležanje njenega zakonsko predvidenega poslanstva ter pristojnosti za zagotavljanje strokovnosti in javnega interesa na področju graditve objektov.

Željko Blažeka ostaja ves čas dejaven v zborničnih dogajanjih zlasti s sodelovanjem v delovnih skupinah pri obravnavi zakonskih predlogov in predpisov na področju urejanja voda in varstva okolja. Njegova aktivnost je bila med drugimi tudi ena od referenc za ustanovitev Regijske pisarne IZS v Mariboru. Z njenim odborom sodeluje v smislu vsebinske podpore in svežih idej. Njegovo strokovno in organizacijsko delo ter odnos do inženirstva predstavljajo nenehen in dragocen doprinos za uveljavljanje in prepoznavanje pomembnosti inženirske stroke.

# IZGRADNJA PILOTNE STENE PZ-1 IN PS-1 NA CESTI G1-5 CELJE–SEVNICA–KRŠKO

## CONSTRUCTION OF PILE WALLS PZ-1 AND PS-1 ON THE ROAD G1-5 CELJE–SEVNICA–KRŠKO

**Danilo Malnar, univ. dipl. inž. grad.**

danilo.malnar@cgp.si

**Matej Jarm, univ. dipl. inž. grad.**

matej.jarm@cgp.si

CGP, d. d., Ljubljanska cesta 36, 8000 Novo mesto

**Strokovni članek**

UDK: 624.154:625.73

**Povzetek** | V sklopu izgradnje hidroelektrarne Blanca je bila potrebna rekonstrukcija ceste G1-5 Celje–Sevnica–Krško. Niveleta obstoječe ceste je bila spremenjena. Kjer ni bilo možno izvesti brežine v ustreznem naklonu, sta bili izvedeni pilotni steni. V članku je predstavljena izvedba pilotne stene PZ-1 in PS-1 na odseku rekonstrukcije ceste G1-5.

**Summary** | In connection with the construction of Blanca hydroelectric power plant a reconstruction of road G1-5 Sevnica-Krsko is required. Due to the changed levelling of the road a pile wall has been constructed in the area where the slope cannot be built in the needed inclination. The construction of the pile walls PZ1 and PS1 within section of the reconstructed road G1-5 is presented in the paper.

### 1 • UVOD

V sklopu izgradnje dela bazena HE Blanca je bila potrebna rekonstrukcija ceste G1-5 Celje–Sevnica–Krško. Članek obravnava del ceste, ki poteka po desnem bregu Save ob akumulacijskem bazenu HE Blanca. Niveleta ceste je bilo treba prilagoditi zaradi višjega nivoja reke Save. Le-ta je sedaj v akumulacijskem bazenu višji za ca. 9 m. Vozišče ceste je sedaj tudi razširjeno.

Zaradi korekcije nivelete ceste in vpliva akumulacijskega bazena so bili izvedeni potrebni ukrepi za stabilnost brežine. Rekonstrukcija glavne ceste je razdeljena na več odsekov v skupni dolžini 3,41 km. Zaradi erozije reke so brežine zavarovane s kamnitimi oblogami. Od km 4 + 096,94 do 4 + 159,03 se je izvedel podporni zid PZ-1. Od km 4 + 174,00 do km 4 + 409,70 se je izvedla pilotna stena PS-1.



Slika 1 • Odsek gradnje pilotne stene PZ-1 in PS-1





## 5 • IZVEDBA OBJEKTOV



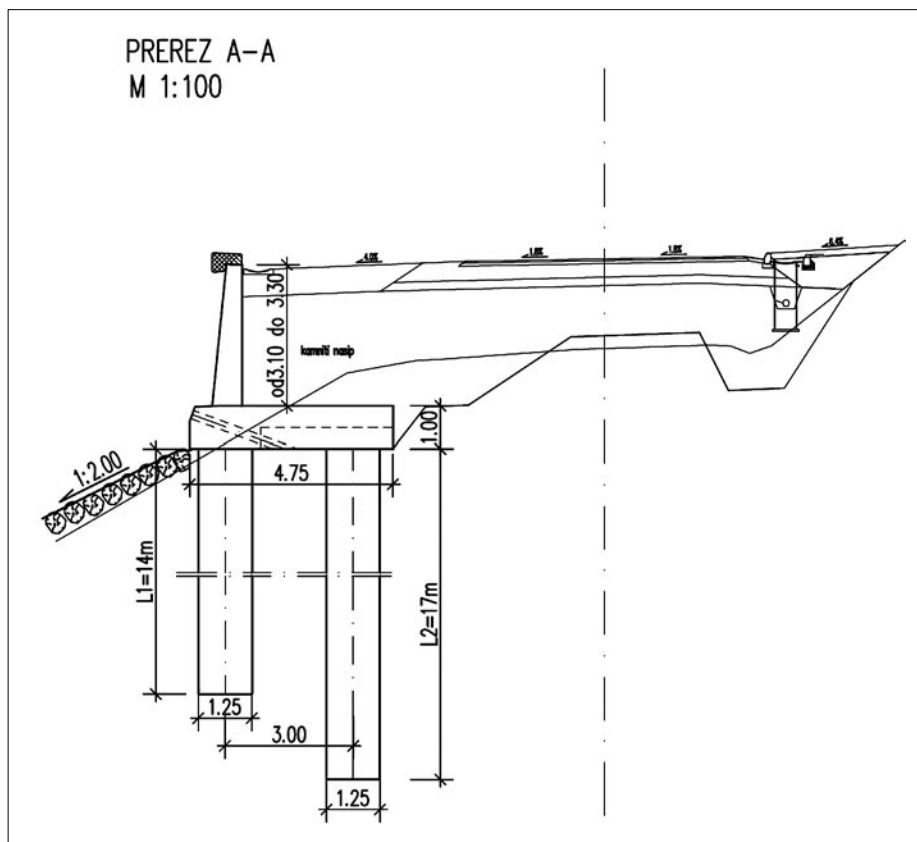
Slika 3 • Betoniranje pilotov pilotne stene PZ-1

Dela so se izvajala v sledečih fazah:

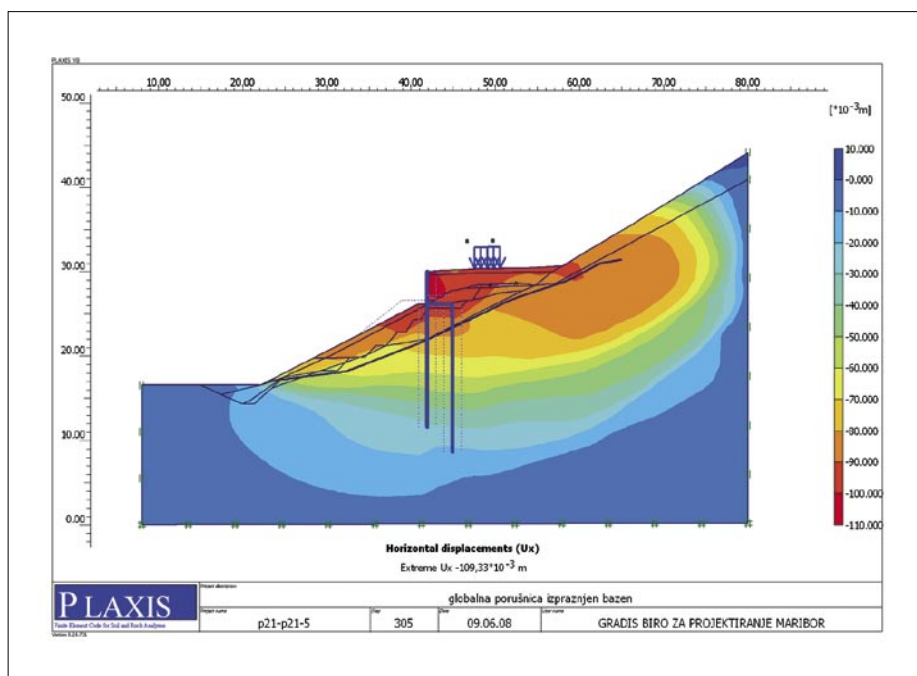
- izvedba povoznega delovnega platoja z zaklinjanjem v brežino,
- izvedba armiranobetonskih uvrtnih pilotov,
- znižanje platoja za 70 cm,
- odsekanje glav pilotov,
- polaganje podložnega betona za grede,
- postavitve opaža in armature za grede,
- betoniranje sidrne grede,
- razopaženje grede in priprava opaža za zid,
- betoniranje zidu,
- razopaževanje in zasip za zidom,
- površinski odkop zemljine in priprava podlage za izvedbo zaščite brežine, izkop za nožico,
- polaganje geotekstila, izdelava obloge brežine,
- ureditev površinskega odvodnjavanja in okolice,
- montaža varovalne ograje.

Izvedba pilotov je potekala po tehnologiji Benotto. Piloti so se izvajali zaporedno. V fazi projektiranja je bilo predvideno, da se izvedejo sondažni piloti na vsakih 50 m, kar pa je bilo v fazi izvedbe del zaradi vzporednega poteka prometa skorajda nemogoče.

V fazi izvajanja pilotov je bilo ugotovljeno, da je potek geološkega profila drugačen, kot je bil predviden v geotehničnem elaboratu.



Slika 4 • Preprojektiranje vpete pilotne stene na okvirno konstrukcijo



Slika 5 • Analiza okvirne konstrukcije s pomočjo računalniškega programa Plaxis

Dolžina pilotov se je tako sproti prilagajala, s tem da se je ohranjala globina vpetja v trdno podlago. V času izvedbe vrtin za pilote od P8 do P14 je bila ugotovljena neskladnost razmer s projektnimi smernicami. Predvidena kompaktna hribinska podlaga se ni pojavila tudi do globine 15 m. Pod debelim slojem meljne gline (4 m) sta bili plasti zaglinjenega apnenca in pregnetene ter pretrte mase apnenca. Na osnovi geoloških popisov vrtin in ugotovitev se je izvedla ponovna sta-

bilnostna analiza. Nadaljnje poglobljanje ni bilo smiselno, zato se je izvedlo temeljenje podpornega zidu na dveh pilotih premera 125 cm. Na tem delu se je statični model vpete pilotne stene spremenil v okvirni sistem z dvema vrstama pilotov in s pilotno blazino nad njima.

Na območju pilotov od P30 do P80 PS-1 so se pod površjem pojavile trdne plasti mikritnega apnenca. Zaradi ugodne geološke sestave in cilja, izvesti varno in ekonomično konstrukcijo,

se je na tem delu pristopilo k preprojektiranju. Od pilota P30 do P50 (v dolžini ca. 50 m) se je izvedel težnostni zid s plitvim temeljenjem. Od pilota P50 do pilota P80 pa so se skrajšale dolžine pilotov, tako da so sedaj vpeti ca. 3D v mikritni apnenec.

V obe konstrukciji se je vgradilo 3000 m<sup>3</sup> betona C25/30 in 300 t armature tipa Bst 500 S. Za potrebe izvedbe opaža grede in sten se je uporabljal klasičen stenski opaž tipa Doka in Farezin.



Slika 6 • Izvedba okvirne podporne konstrukcije



Slika 7 • Izvedba pilotne stene PS-1

## 6 • NADZOR IN ZAGOTAVLJANJE KVALITETE TER TEHNIČNO OPAZOVANJE – MONITORING

V fazi priprave na izvajanje projekta je bil izdelan tehnološko-ekonomski elaborat, v katerem je podrobno definirana tehnologija izvedbe, organizacija gradbišča, terminski

plan s potrebnimi viri, potrebni načrti opažev in podpornih odrov, vir in kvaliteta vgrajenih materialov, projekt betona in program zagotavljanja tekoče kontrole v fazi

izvedbe. S tekočo kontrolo se je zagotavljalo sproti geomehansko opazovanje s strani izvajalca in nadzora. Sproti se je ugotavljalo dejansko sestavo tal in izvajalo korekcijo geotehničnega profila. Med gradnjo se je zagotavljalo sproti merjenje horizontalnih pomikov s pomočjo reperjev. Ob pilotni steni so bili vgrajeni inklinometri za opazovanje in merjenje horizontalnih deformacij.

## 7 • SKLEP

Rekonstrukcija ceste se je izvajala ves čas vzporedno z gostim prometom. Le-ta je bil urejen s polovičnimi zaporami na več odsekih.

Deloma je bila zato ovirana tudi dobava materialov, predvsem betonov. Dela so bila dodatno otežena v času visokega vodostaja Save,

saj je bil tedaj nemogoč dostop po gradbiščni poti. Projekt se je uspešno zaključil kljub nastalim motnjam. Dela so bila izvedena v šestih mesecih. Za uspešno zaključen projekt je bila ključna dobra koordinacija med projektantom, nadzorom in izvajalcem ter njegovo tehnično službo.



## 8 • LITERATURA

*Načrt pilotne stene PS-1 v trasi G1-5 od km 4 + 174,00 do km 4 + 409,70, projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD), številka IBBL-A200/035A, Lineal, d. o. o., Maribor, 2007.*

*Načrt podpornega zidu PZ-1 v trasi G1-5 od km 4 + 096,94 do km 4 + 159,03, projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD), številka IBBL-A200/035A, Lineal, d. o. o., Maribor, 2007.*

*Pilotna stena PS-1 od km 4 + 174,00 do km 4 + 409,70, projekt za izvedbo (PZI), številka 4141, Gradis biro za projektiranje Maribor, d. o. o., marec-julij, 2008.*

*Podporni zid PZ-1 od km 4+096,94 do km 4 + 159,03, projekt za izvedbo (PZI), številka 4142, Gradis biro za projektiranje Maribor, d. o. o., marec, 2008.*

*Tehnološko ekonomski elaborat za pilotno steno PS-1, štev. 01-TS/3/32-08, CGP, d. d., april 2008.*

*Tehnološko ekonomski elaborat za podporni zid PZ-1, štev. 01-TS/3/27-08, CGP, d. d., april 2008.*

# ORODJA ZA OCENJEVANJE UČINKOVITOSTI UPRAVLJANJA S KOMUNALNO INFRASTRUKTURO (Program COST Action C18, 2004–2008)

## TOOLS FOR PERFORMANCE ASSESSMENT OF URBAN INFRASTRUCTURE SERVICES (COST Action C18, 2004–2008)

**mag. Marko Gspan, univ. dipl. inž. grad.**

Vodovod – Kanalizacija, d. o. o., Vodovodna cesta 90,  
1000 Ljubljana

**prof. dr. Mitja Brilly, univ. dipl. inž. grad.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,  
Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana

**prof. dr. Viktor Grilc, univ. dipl. inž. kem. tehnol.**

Kemijski inštitut, Hajdrihova 19, 1000 Ljubljana

**Strokovni članek**

UDK: 628.1/.4:711.8

**Povzetek** | Članek v strnjeni obliki predstavlja potek in okvirne rezultate štiriletnega dela udeležencev mednarodnega raziskovalnega programa »*Performance assessment of urban infrastructure services: the case of water supply, wastewater and solid waste*«, COST Action C18«.

**Summary** | The aim of the paper is short presentation of four year work in COST Action C18 programme: »*Performance assessment of urban infrastructure services: the case of water supply, wastewater and solid waste*«.

### 1 • UVOD

COST je ustaljena okrajšava za eno izmed najstarejših evropskih znanstvenih omrežij, ki od leta 1971 skrbi za medvladno sodelovanje na področju znanstvenih in tehničnih raziskav (*CO*operation in the field of *Scientific and Technical research*) ter vzpodbuja mobilnost evropskih raziskovalcev na številnih znanstvenih področjih. Glavni urad programa se nahaja v Bruslju. V njegovem okviru je od marca 2004 do maja 2008 potekal tudi mednarodni program (*Action*) C18 z naslovom *Ocenjevanje*

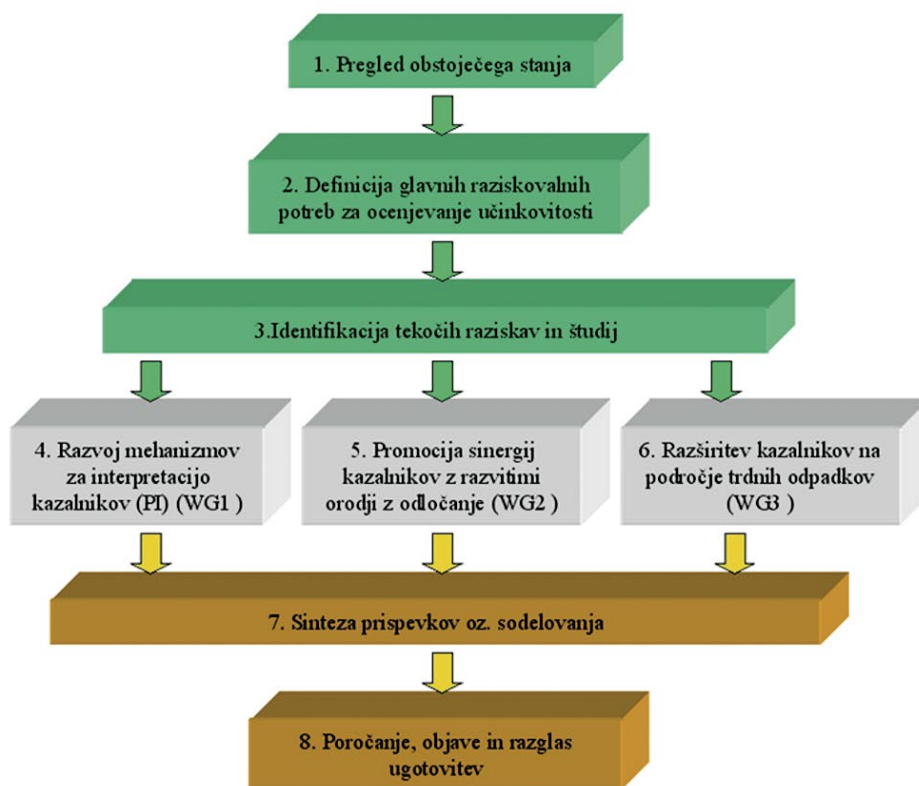
*učinkovitosti upravljanja s komunalno infrastrukturo na področju oskrbe z vodo, odpadnih voda in trdnih odpadkov (Performance assessment of urban infrastructure services: the case of water supply, wastewater and solid waste)*. Programa so se udeležili predstavniki 17 držav članic Evropske unije (Avstrije, Cipra, Češke, Francije, Nemčije, Norveške, Portugalske, Slovaške, Slovenije, Španije, Švedske in Velike Britanije, kandidatka za včlanitev (Srbija) ter dve nečlanici z drugih kontinen-

tov (Avstralija in ZDA). Udeleženci smo lahko svoje izkušnje delili na petih seminarjih, šestih kratkih znanstvenih srečanjih in na sklepni konferenci z vabljenimi predavatelji iz Evrope, Afrike, Avstralije, Kanade in ZDA, tako da je izmenjava aktualnih znanj in izkušenj pri gospodarjenju s komunalno infrastrukturo potekala res na svetovni ravni. Po oceni ocenjevalcev projekta z urada COST je delo potekalo zavzeto in učinkovito, zastavljeni cilji pa so bili na nekaterih področjih celo preseženi. Glavni cilji programa COST Action C18 so bili razvijanje znanja, mednarodna izmenjava izkušenj ter promocija uporabe učinkovitih, znanstveno preizkušenih in domišljenih me-

metodologij, ki temeljijo na uporabi t. i. kazalnikov delovanja (*PI – Performance Indicators*) za komunalna področja oskrbe s pitno vodo, odvajanja in čiščenja odpadnih voda ter zbiranja in ravnanja s trdnimi odpadki. Kazalniki se nanašajo na naslednja področja: dostopnost in kakovost storitev, ekonomsko-finančno področje, zagotavljanje kakovosti in varovanja podatkov ter komunalna infrastruktura in človeški viri. Uporaba sistema kazalnikov omogoča izboljševanje kakovosti odločanja in povečevanje učinkovitosti pri nadzoru, vzdrževanju, načrtovanju, izgradnji ter obnovi vodovodnih sistemov, kanalizacijskih sistemov in čistilnih naprav ter sistemov za zbiranje in ravnanje s trdnimi odpadki. Faze poteka programa projekta so prikazane na sliki 1. Program je potekal v treh vzporednih delovnih skupinah: WG1 – razvoj mehanizmov za interpretacijo kazalnikov, WG2 – praktična uporaba kazalnikov in razvoj orodij za odločanje pri oskrbi s pitno vodo, ter WG3 – uporaba kazalnikov pri ravnanju s trdnimi odpadki. V Sloveniji je koordiniral aktivnosti programa prof. dr. Mitja Brilly (UL, FGG). Soavtorja članka sta zastopala ravnanje s trdnimi odpadki – prof. dr. Viktor Grilc (Kemijski inštitut, Ljubljana), oskrbo s pitno vodo – mag. Marko Gspan (JP Vodovod - Kanalizacija, d. o. o, Ljubljana). Udeleženci smo na delovnih sestankih aktivno sodelovali s pripravo strokovnih prispevkov, njihovih predstavitev in z izmenjavo izkušenj o uporabi različnih sistemov kazalnikov, ki so se uveljavili v evropski in svetovni praksi.

Glavni cilji programa COST Action C18 so bili:

- identificirati glavne uporabnike kazalnikov in njihove potrebe,
- opisati pomen in uporabnost kazalnikov,
- poudariti pomen jasnih definicij kazalnikov za pravilno interpretacijo rezultatov primerjav, za boljše razumevanje in pravilno uporabo kazalnikov,



Slika 1 • Faze poteka programa projekta COST C18

- razložiti različne konceptualne modele in kategorije kazalnikov,
- približati kazalnike iz različnih orodij in sistemov končnemu uporabniku za zadovoljevanje njegovih potreb,
- razširiti uporabo kazalnikov tudi na področje ravnanja s trdnimi odpadki,
- prikazati pomen uporabe statističnih orodij in metod za vrednotenje in interpretacijo kazalnikov,
- vzpodbuditi podjetja, da začnejo redno uporabljati kazalnike kot orodje za upravljanje,
- izdelati poročilo o namenu in ciljih uporabe kazalnikov s praktičnimi primeri učinkovite

uporabe različnih sistemov kazalnikov v državah udeleženkah programa COST Action C18.

Rezultati programa COST Action C18 naj bi vzpodbudili komunalna podjetja k uporabi kazalnikov kot enega od hitrih, relativno enostavnih in učinkovitih pripomočkov pri odločanju za potrebe upravljanja z zahtevnimi komunalnimi sistemi. Pri tem so bile analizirane možnosti uporabe kazalnikov za potrebe načrtovanja, izvajanja in kontrole delovanja ukrepov ter primerjave različnih sistemov.

## 2 • SISTEMI KAZALNIKOV IN OCENJEVANJE UČINKOVITOSTI UPRAVLJANJA V KOMUNALNEM SEKTORJU

Kazalniki so se najprej uveljavili v predpisih in referenčnih dokumentih čistih tehnologij (npr. BREF-ih k direktivi IPPC), statističnih sistemih mednarodnega primerjanja stanja okolja ter zasledovanja regionalnih in globalnih trendov onesnaževanja okolja.

Prve sisteme kazalnikov za vrednotenje stanja in zmogljivosti lokalne komunalne infrastruk-

ture so razvili regulatorni organi. V času privatizacije komunalne infrastrukture v Veliki Britaniji, leta 1989, je začel skrbeti za nadzor nad ekonomsko učinkovitostjo komunalnih podjetij Office of Water Services (OFWAT), s ciljem, da se zagotovi nadzor nad tarifami in izboljša raven komunalnih storitev. Kmalu zatem so našli navdih za uporabo lastnih

sistemov kazalnikov tudi drugi: Svetovna banka (IBNET), skupina šestih nordijskih mest (Stockholm, Gøteborg, Malmö, København, Oslo in Helsinki – 1995), Avstralija (*The Water Services Association of Australia – WSA*), Švica (1997), Danska (DANVA – 2000), Portugalska (IRAR) idr.

V Sloveniji se s problematiko vrednotenja komunalne infrastrukture in metodologijo za določanje cen komunalnih storitev že od osemdesetih let ukvarja Inštitut za komunalno gospodarstvo na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Na podlagi ka-



zalniki so na inštitutu predstavili več primerjalnih analiz delovanja slovenskih izvajalcev komunalne dejavnosti in izdelali predloge (Rakar, 2001) za normative in standarde komunalne oskrbe. Z namenom izboljšati dobro prakso in povečati učinkovitosti pri dejavnosti oskrbe s pitno vodo, poteka v Sloveniji trenutno Operativni program oskrbe s pitno vodo za obdobje 2006–2013, ki ga vodi Ministrstvo za okolje in prostor RS. Spoštovane bralce želimo opozoriti na diplomsko nalogo z naslovom *Uporaba metode benchmarkinga na področju komunalnih dejavnosti* (Petelin, 2008), ki predstavlja svetovne ter domače novosti pri vrednotenju komunalne infrastrukture. V diplomski nalogi je podan zanimiv predlog modela in kazalnikov za vrednotenje izvajanja gospodarske javne službe oskrbe s pitno vodo v Republiki Sloveniji.

Pobudo za vzpostavitev splošno uporabnega sistema kazalnikov je v začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja dalo Mednarodno združenje za oskrbo z vodo (*International Water Supply Association – IWSA*). Vse širše zanimanje za problematiko gospodarjenja s komunalno infrastrukturo je vzpodbudilo akademike in strokovnjake k poglobljenemu delu in mednarodni izmenjavi izkušenj pri uporabi kazalnikov. Na podlagi dolgoletnega dela pionirjev na tem področju ter uspešnih preizkušanj v praksi je v okviru Mednarodnega združenja za vode (*International Water Association – IWA*) nastal priročnik *Performance Indicators for Water Supply Services* ((Alegre et al., 2000), (Alegre et al., 2006)), po katerem danes uporabniki tega sektorja najpogosteje posegajo. Nedavno sprejeti mednarodni standardi ISO 24500 (2007) prav tako predlagajo in priporočajo uporabo kazalnikov pri oskrbi s pitno vodo ter pri odvajanju in čiščenju odpadnih vod, pri čemer se sklicujejo na priporočila IWA.

Ocenjevanje učinkovitosti upravljanja je vsak postopek, ki omogoča oceno učinkovitosti delovanja izbranega produkcijskega ali storitvenega procesa z izdelanimi merili in relevantnimi referencami (ISO 24500). Ocenjevanje učinkovitosti upravljanja s komunalno infrastrukturo je zelo kompleksno in interdisciplinarno. Stanje lahko verodostojno ocenimo na podlagi znanstvenih spoznanj in praktičnih izkušenj ob upoštevanju, da gre na komunalnem področju za prepletenost tehnične, ekonomske, socialne in okoljske problematike. Zato je uporaba kazalnikov na komunalnem področju danes zelo različna tako v vsebinskem smislu kot v praktični izvedbi.

Za ocenjevanje učinkovitosti upravljanja s komunalno infrastrukturo je projekt COST predlagal naslednja merila:

- Ravni učinkovitosti (**Performance levels**), ki so kakovostne ocene stopnje pričakovane učinkovitosti stanja ali delovanja procesa, izražene v diskretnih stopnjah: sprejemljivo – nesprejemljivo, odlično – dobro – slabo; izboljševanje – stabilno – nazadovanje, ipd. Uporabljajo se tam, kjer ni na voljo enostavnih kvantitativnih pokazateljev oziroma so podatki pridobljeni s kvalitativnimi sredstvi (npr. anketa o zadovoljstvu strank).
- **Kazalniki učinkovitosti (Performance indicators, PIs)**, ki kvantitativno merijo učinkovitost delovanja izbrane naprave ali procesa. Na komunalnem področju so kazalniki lahko številne spremenljivke (ali kombinacije spremenljivk) tehnične, ekonomske, socialne in okoljske narave. Praviloma so osnovne (absolutne) spremenljivke relativizirane na neko ciljno ali referenčno vrednost. Kazalniki se lahko uporabljajo za notranje izboljševanje procesov, za merjenje doseganja ciljev podjetja, za primerjanje z drugimi v panogi (*benchmarking*) ipd., zato so namenjeni različnim uporabnikom: lastnikom podjetij, upravljavcem podjetij, uporabnikom storitev, javnosti,

vladnim službam in politikom. Kazalniki za ocenjevanje učinkovitosti upravljanja s komunalno infrastrukturo pri oskrbi s pitno vodo, pri ravnanju z odpadnimi vodami in ravnanju s trdnimi odpadki se nanašajo na naslednja glavna področja:

- splošno zadovoljstvo uporabnikov z dostopnostjo in kakovostjo storitev,
- ekonomsko in finančno področje poslovanja,
- zagotavljanje trajnosti okolja (npr. količina in kakovost vodnih virov, varovanje okolja),
- zagotavljanje trajnosti infrastrukture,
- zagotavljanje obratovalne sposobnosti in njenega stalnega izboljševanja,
- gospodarjenje s človeškimi viri.
- **Indeksi delovanja (Performance indices)** je višja oblika, ki uporablja kombinacije (agregate) posameznih kazalnikov, npr. utežena povprečja kazalnikov učinkovitosti ali merila iz drugih analitičnih orodij (statističnih, stroškovnih). Njihov cilj je združiti več vidikov v enem merilu, zato je glavna prednost pred naborom posameznih kazalnikov sposobnost kompleksnejšega ocenjevanja stanja in njegovega časovnega poteka. Zahtevajo pa veliko ekspertnega znanja in izkušenj za objektivno interpretacijo in uporabo. Zunanji nadzor njihove rabe je zato težaven.

Država	Leto začetka uporabe	Metoda	Št. kazalnikov	Št. sodelujočih podjetij
1	2	3	4	5
-	2000	IWA PI System	138	-
Portugalska	-	IRAR	20	-
Evropa	2002	CARE-W	49	35
Velika Britanija	1999?	Ofwat	14	-
Velika Britanija	2002	LPI (DEFRA)	11	-
Svet	-	IBNET	27	-
Švedska	1995	-	-	6 mest
Švedska	-	VASS	5 - ravn	-
Švedska	1995	WUMP	48	23
Norveška	-	VARFIN	22	-
Norveška	-	NORVAR	-	11
Danska	2000	DANVA	170	15
Francija	2001	ENGREF	54	-
Francija	-	IGD	18	-
Francija	-	FNCCR	21	-
Avstralija	1995	WSSA	60	-
Avstrija	2003	ÖVGW	120	23
Latinska Amerika	2001	ADERASA	80	11
Kanada	1997	-	-	35
ZDA	2000	AWWA	22	187

Tabela 1 • Metode, število kazalnikov in uporabnikov kazalnikov

OZNAKA KAZALNIKOV	OPIS KAZALNIKOV	DEFINICIJA KAZALNIKOV	FORMULA ZA IZRAČUN KAZALNIKOV	ENOTA
<b>Kazalniki izrabe vodnih virov</b>				
WR1	neučinkovitost izrabe vodnih virov – »delež dejanskih vodnih izgub«	dejanske vodne izgube v ocenjevalnem obdobju / dovedeno vodo x 100	$WR1 = A19 / A3 \times 100$	(%)
WR3	razpoložljivost lastnih vodnih virov	(količina dovedene vode v ocenjevalnem obdobju x 365 / ocenjevalno obdobje) / letna izdatnost lastnih vodnih virov x 100	$WR3 = A3 \times 365 / H1 / A1 \times 100$	(%)
<b>Fizikalni kazalniki</b>				
Ph4	izkoriščenost črpalk	vsota obratovalnih ur inštaliranih črpalk, pomnoženih z nominalno inštalirano močjo teh črpalk, v dnevu največje porabe energije v ocenjevalnem obdobju / (maksimalno inštalirano močjo, ki jo je moč hkrati izkoristiti) x 100	$Ph4 = D2 / (C7 \times 24) \times 100$	(%)
Ph5	standardna poraba energije	poraba električne energije v ocenjevalnem obdobju / količina načrpane vode, pomnožena s črpalno višino / 100	$Ph5 = D1 / D3$	(kWh/m <sup>3</sup> / 100 m)
Ph9	gostota hidrantov	število hidrantov / dolžina vodovodnega omrežja	$Ph9 = C23 / C8$	(št./km)
Ph10	gostota merilnih območij	število merilnih območij pretoka / število vodovodnih priključkov x 1000	$Ph10 = C11 / C24 \times 1000$	(št. meril./1000 priključkov)
<b>Operativni kazalniki</b>				
Op3	nadzor omrežja	(dolžina glavnih in transportnih vodovodov, pri katerih so bili v ocenjevalnem obdobju pregledani vsaj zasuni in druge armature x 365 / ocenjevalno obdobje) / celotna dolžina vodovodov x 100	$Op3 = (D8 \times 365 / H1) / C8 \times 100$	(%/leto)
Op4	nadzor vodnih izgub	(dolžina glavnih in transportnih vodovodov, pregledanih z aktivnim iskanjem vodnih izgub, v ocenjevalnem obdobju x 365 / ocenjevalno obdobje) / celotna dolžina vodovodov x 100	$Op4 = (D9 \times 365 / H1) / C8 \times 100$	(%/leto)
Op5	popravila na podlagi aktivnega nadzora vodnih izgub	(število odkritih in odpravljenih okvar v ocenjevalnem obdobju x 365 / ocenjevalno obdobje) / celotna dolžina vodovodov x 100	$Op5 = (D10 \times 365 / H1) / C8 \times 100$	(št. popr. / 100 km/leto)
Op17	obnova glavnih vodovodov	(dolžina obnovljenih glavnih in transportnih vodovodov v ocenjevalnem obdobju x 365 / ocenjevalno obdobje) / celotna dolžina vodovodov x 100	$Op17 = (D21 \times 365 / H1) / C8 \times 100$	(%/leto)
Op23	vodne izgube na priključek	(vodne izgube v ocenjevalnem obdobju x 365 / ocenjevalno obdobje) / število vodovodnih priključkov	$Op23 = (A15 \times 365 / H1) / C24$	(m <sup>3</sup> /priklj. leto)
Op24	vodne izgube na km omrežja	(vodne izgube v ocenjevalnem obdobju x 365 / ocenjevalno obdobje) / dolžina glavnih vodovodov	$Op24 = (A15 / H1) / C8$	(m <sup>3</sup> /km/dan)
Op27	dejanske vodne izgube na priključek	(dejanske vodne izgube v ocenjevalnem obdobju x 1000 / (št. priključkov x število ur, ko je sistem pod tlakom v ocenjevalnem obdobju / 24)	$Op27 = A19 \times 1000 / (C24 \times H2 / 24)$	(l/priklj./dan)
Op28	dejanske vodne izgube na km omrežja	(dejanske vodne izgube v ocenjevalnem obdobju x 1000 / (dolžina glavnih vodovodov x število ur, ko je sistem pod tlakom v ocenjevalnem obdobju / 24)	$Op28 = A19 \times 1000 / (C8 \times H2 / 24)$	(l/km/dan)
Op29	infrastrukturni indeks vodnih izgub	dejanske vodne izgube (Op27) / tehnično dosegljiva najnižja raven vodnih izgub (ko je sistem pod tlakom)	$Op29 = Op27 / (18 \times C8 / C24 + 0,8 + 0,025 \times C25) / (D34 / 10)$	(-)
Op30	okvare črpalk	(vsota dni izpada vseh črpalk v ocenjevalnem obdobju x 365 / ocenjevalno obdobje) / število vseh črpalk	$Op30 = (D27 \times 365 / H1) / C4$	(dni/črpalka/letno)
Op31	okvare glavnih vodovodov	(število okvar glavnih in transportnih vodovodov v ocenjevalnem obdobju (vključno z okvarami hidrantov in armatur) x 365 / ocenjevalno obdobje) / celotna dolžina vodovodov x 100	$Op31 = (D28 \times 365 / H1) / C8 \times 100$	(št./100 km/letno)
Op32	okvare priključkov	(število okvar vodovodnih priključkov v ocenjevalnem obdobju x 365 / ocenjevalno obdobje) / število vodovodnih priključkov x 1000	$Op32 = (D29 \times 365 / H1) / C24 \times 1000$	(št. okvar/1000 priklj./letno)
Op33	okvare hidrantov	(število okvar hidrantov v ocenjevalnem obdobju x 365 / ocenjevalno obdobje) / število vseh hidrantov x 1000	$Op33 = (D30 \times 365 / H1) / C23 \times 1000$	(št. okvar/1000 hidr./letno)

Tabela 2 • Primer nabora kazalnikov za oceno tehnične učinkovitosti delovanja vodovodnih sistemov (Alegre et al, (2006). Performance Indicators for Water Supply Services – Second Edition, IWA Publishing London, ISBN: 1843390515, 2006.)

Udeleženci programa COST Action C18 smo na seminarjih opisali zgodovinski razvoj v različnih državah Evrope in širše ter lastne izkušnje pri uporabi različnih metodologij in kazalnikov, ki se nanašajo na ocenjevanje stanja in učinkovitosti upravljanja s komunalno infrastrukturo.

Posebna pozornost udeležencev seminarjev je bila namenjena zanesljivosti in natančnosti vhodnih spremenljivk, odnosom med spremenljivkami oziroma kazalniki, spremljevalnim informacijam in interpretaciji kazalnikov. Poleg trenutnih absolutnih vrednosti posameznih kazalnikov so pomembni tudi njihovi časovni trendi, ki nam kažejo, kako so to problematiko reševali v preteklosti. Dosedanji trendi kazalnikov nam lahko nakazujejo, kako bodo procesi s precejšno verjetnostjo potekali tudi v prihodnosti, če se glavni dejavniki ne bodo bistveno spreminjali.

## 2.1 Nabori kazalnikov za komunalno infrastrukturo

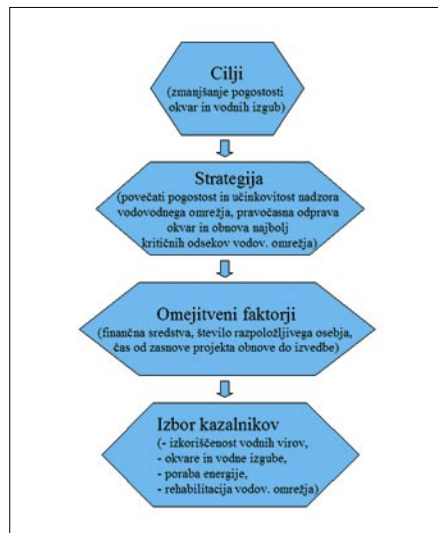
Z uporabo primerne kombinacije mednarodno priznanih in uveljavljenih kazalnikov lahko opišemo, primerjamo in analiziramo stanje komunalne infrastrukture, na primer vodovodnih sistemov. Analiza stanja je le prvi korak na poti do izboljšanja upravljanja in doseganja večje učinkovitosti vodovodnih sistemov. Analizi mora slediti načrtovanje in izvajanje konkretnih ukrepov, kot so, denimo, odprava okvar, zmanjšanje vodnih izgub, obnova najkritičnejših vodovodnih odsekov ter povečanje ali zmanjšanje pogostosti nadzora določenih delov vodovodnega omrežja in naprav.

Metod uporabe kazalnikov, ki se uporabljajo na področju oskrbe z vodo, je veliko in uporabljajo zelo različno število kazalnikov (tabela 1). Tabela 1 smo izdelali na osnovi člankov in predavanj udeležencev programa COST Action C18.

Manj kazalnikov je razvitih za področje kanalizacijskih sistemov, najmanj pa za področje ravnanja z odpadki. Število uporabnikov posameznih metod je različno in se s časom spreminja.

Pri tako velikem številu metod in kazalnikov (tabela 1) se postavlja vprašanje, katere je najprimerneje izbrati.

Praktične izkušnje kažejo (Alegre et al., 2006, da je najbolj smiselno najprej definirati cilje in



Slika 2a • Pot do izbora ustreznih skupin kazalnikov za primer izboljšanja upravljanja z vodovodnim sistemom

zasnovati strategijo (slika 2), ki nas bo vodila do zastavljenih ciljev. Nato se ugotovi omejitvene faktorje in šele zatem izbere skupine kazalnikov ter znotraj teh posamezne kazalnike, ki nam bodo najučinkoviteje predočili, kako uspešno se s časom približujemo zastavljenim ciljem.

V tabeli 2 je predstavljen primer nabora kazalnikov za oceno vrednotenja tehnične učinkovitosti delovanja vodovodnih sistemov.

## 2.2 Primerjalno vrednotenje učinkovitosti (Benchmarking)

Poleg osnovnega pomena kazalnikov kot prikazovalcev stanja in spreminjanja učinkovitosti sistemov (za potrebe odločanja ali poročanja) je pomembna njihova uporaba v primerjalnem vrednotenju s podobnimi sistemi (elementi istega poslovnega sistema ali še pogosteje konkurenčnih sistemov). Ta proces imenujemo primerjalno vrednotenje, z udomačeno tujko tudi *benchmarking*, ki omogoča identifikacijo najboljših tehnik, praks oziroma »najboljšega v razredu«. Benchmarking je torej temeljni instrument za vzpostavljanje sistema upravljanja kakovosti, ki temelji na stalnem izboljševanju.

Načrtovanje:  
 - postavi cilje in zagotovi vire;  
 - definiraj nabor infiktorjev in postopkov za zbiranje podatkov,  
 - poišči partnerje za metrični benchmarking.

Izvedba:  
 - izberi in preveri podatke;  
 - izračunaj in vrednoti indikatorje,  
 - analiziraj podatke.

Integracija:  
 - objavi/izmenjaj rezultate;  
 - ugotovi potencialna področja za izboljšanje.

Ukrepanje:  
 - oblikuj in vpelji ustrezne rešitve za izboljšanje stanja.

Slika 2b • Proces metričnega benchmarkinga (Poročilo COST C18, Fig 13)

*Benchmarking* je glede na namen uporabe kazalnikov dvojen:

- **metrični benchmarking**: redno periodično merjenje relevantnih (internih) metričnih spremenljivk, izračun ustreznih kazalnikov in primerjanje z njihovimi dosedanjimi vrednostmi;
- **procesni benchmarking**: primerjava internih kazalnikov pri določenih procesih s ciljem odkrivanja šibkih točk in pomanjkljivosti ter potreb oziroma priložnosti za izboljševanje učinkovitosti, kompetentnosti in konkurenčnosti (pomembno npr. pri razpisih za javna naročila); analiza učinka uvedbe določenega ukrepa na proces in napoved bodočega stanja.

Metrični *benchmarking* daje torej odgovor na vprašanje tipa »Kje sem, kako delam?«, medtem ko daje procesni *benchmarking* odgovor na vprašanje »Kje in kakšne so možnosti za izboljšave?«. Oba skupaj sta podlaga za različne napredne multikriterijske sisteme za podporo odločanju (*decision support systems – DSS*), za izčrpnije analize in tehnološko-ekonomsko optimizacijo procesa, investicijsko načrtovanje, *cost-benefit* analize ipd.



### 3 • REZULTATI PROJEKTA

V zadnjih petnajstih letih so znanstveniki in raziskovalci razvili veliko metod in zapletenih algoritmov, ki podpirajo analizo in vrednotenje kazalnikov ter precizirajo interpretacije rezultatov benchmarkingov podjetij na komunalnem področju. V programu COST Action C18 smo udeleženci podrobno preučili preskušene nabore kazalnikov za posamezna področja komunalnih storitev, razpoložljiva sodobna analitična orodja ter zadnje dosežke na področju ocenjevanja stanja in upravljanja s komunalno infrastrukturo. Prestavljene metodologije so podprte s številnimi primeri uporabe (case studies), pretežno iz najrazvitejših evropskih držav.

#### 3.1 Konferenca PI '08, Valencia

Zaključno srečanje sodelavcev projekta je bilo organizirano kot znanstveni dogodek odprtega tipa z naslovom *International Conference on Performance Assessment of Urban Infrastructure Services* v dneh od 12. do 14. 3. 2008, v izvedbi Univerze v Valencii (Španija). Konferenca je obravnavala ožje področje uporabe kazalnikov kot pripomoček za upravljanje komunalnih sistemov ter mejne discipline, kot so metode za podporo odločitvam, upravljanje teh sistemov, novi ISO-standard serije 24500, za kakovost upravljanja vodnih sistemov, zakonodajni vidiki ter študije primerov. Zaključne konference v Valencii se je udeležilo približno 150 strokovnjakov z različnih koncev sveta. Aktivni udeleženci iz 15 držav so predstavili številne referate in plakate, ki so objavljeni v zborniku (Cabrera, Pardo, 2008). Razvidno je, da razvite države posvečajo učinkovitosti delovanja svojih komunalnih sistemov zelo veliko pozornosti, kar se odraža v stalni rasti kakovosti storitev ob sprejemljivi ceni in ustreznem varstvu virov ter okolja.

#### 3.2 Zaključno poročilo projekta

Rezultati projekta COST C18 so prikazani v zaključnem poročilu *Performance assessment of urban infrastructure services: The case of water supply, wastewater and solid waste* (F. Sjøvold et al., izdal COST Office, Bruselj, april 2008; tudi na spletni strani <http://www.costc18.org>).

Glavne ugotovitve in priporočila programa COST Action C18 lahko na kratko povzamemo v teh ugotovitvah:

- Uporaba sistemov kazalnikov je smiselna le, če so podatki zanesljivi.

- Najprej definiramo cilje, nato izberemo ustrezne kazalnike. Upoštevanje načela čim več kazalnikov, tem bolje, ni priporočljivo.
- Napori za zbiranje podatkov, validacijo, arhiviranje in procesiranje morajo biti stroškovno upravičeni. Kazalniki pa izbrani tako, da nudijo učinkovito podporo pri upravljanju komunalnih sistemov. Število kazalnikov naj bo načeloma čim manjše, izbor kazalnikov pa tak, da z njim čim bolj uravnoteženo pokrijemo opazovane parametre.
- Priporočljiva je uporaba mednarodno preizkušenih in uveljavljenih sistemov kazalnikov (npr. IWA PI, ISO 24500 ...).
- Tudi če uporabljamo priznane sisteme kazalnikov in že dobro uveljavljene metode, moramo preučiti vsak opazovani kazalnik in poiskati vzroke za njegovo trenutno vrednost.
- Rezultati analiz z vrednostmi kazalnikov naj bodo vedno primerno grafično predstavljene.
- Kazalniki so koristni le, če lahko dosežene vrednosti primerjamo z referenčno vrednostjo.
- Rezultati primerjanj morajo vsebovati informacije o kakovosti vhodnih podatkov (zanesljivost in natančnost).
- Vzroke za dosežene vrednosti kazalnikov (predvsem v primeru odstopanj od pričakovanih ali referenčnih vrednosti) vedno opišimo s pojasnjevalnimi faktorji.
- Poenostavljanje interpretacije rezultatov lahko vodi do napačnih zaključkov, zato je potrebna previdnost.
- Tudi če dosežemo slabe rezultate pri primerjanju z drugimi, je to lahko dobro, saj nas kazalniki motivirajo, da se na teh področjih izboljšamo in pri tem odkrijemo ključne dejavnike, ki vplivajo na uspeh.
- Spremljanje vrednosti kazalnikov in sodelovanje pri primerjanih z drugimi (benchmarking) mora postati večleten, transparenten in kontinuiran proces, saj je mogoče dosežke podjetij realno ocenjevati na podlagi srednjeročnih in dolgoročnih trendov.

Rezultati programa COST Action C18 so prispevali k prenosu in izboljšanju znanja pri ocenjevanju učinkovitosti upravljanja s komunalno infrastrukturo tudi širše, zunaj kroga predstavnikov držav udeleženk programa. Kompleksni vidiki problematike, kot so načini merjenja, *benchmarking*, metode napovedovanja, sistemi za odločanje, vizualizacija

in interpretacija rezultatov, konkretni zgledi ter študije iz ocenjevanja učinkovitosti upravljanja s komunalno infrastrukturo na področju vodnega sektorja in ravnanja z odpadki so podrobneje predstavljeni v zaključnem poročilu (Sjøvold, Conroy, Algaard, 2008) in na spletni strani <http://www.costc18.org>.

#### 3.3 Prihodnje potrebe po dodatnih raziskavah

Člani programa COST Action C18 smo na podlagi dosedanjega dela in izkušenj predlagali, da se prične z novimi raziskavami pri upravljanju s komunalno infrastrukturo na naslednjih področjih:

- učinkovito upravljanje malih komunalnih sistemov,
- zagotavljanje trajnostnega razvoja javnih podjetij,
- ocenjevanje zmogljivosti sistemov za podporo pri upravljanju s komunalnimi odpadki.

Potrebe po raziskavah temeljijo na naslednjih ugotovitvah:

Težave pri upravljanju malih komunalnih sistemov (do 5000 prebivalcev) so povezane z omejenimi tehničnimi, človeškimi in finančnimi viri, ki ne dopuščajo uporabe sofisticiranih orodij in informacijskih sistemov. Raven storitev in upravljanja malih komunalnih sistemov se ne more primerjati z velikimi sistemi. Zato bo treba pri malih sistemih preučiti možnosti izboljšanja: zbiranja in upravljanja podatkov, načrtovanja in tehnične podpore, vzdrževanja infrastrukture in upravljanja s tveganjem (Risk Management).

Kljub pogostim zvonečim besedam o trajnostnem razvoju se povečuje prepad med potrebnimi investicijami za dolgoročno zagotavljanje trajnosti komunalne infrastrukture in dejanskimi investicijami. Namen prihodnjega raziskovalnega dela je določiti in definirati kriterije, ki naj jih podjetja upoštevajo v procesu odločanja. Pri raziskovalnem delu bo treba upoštevati potrebe porabnikov, razvojne zahteve na področju infrastrukture, potrebe in modele financiranja storitev, ekološke in okoljske vidike ter ravnanje s človeškimi viri.

Člani delovne skupine WG3, programa COST Action C18, so ugotovili, da se delo pri razvoju kazalnikov in orodij pri ocenjevanju zmogljivosti in ravnanja s trdnimi komunalnimi odpadki šele dobro začne. Na tem področju je bilo razvitih veliko manj primernih kazalnikov za podporo pri odločanju kot na področjih oskrbe s pitno vodo in odvoda odpadnih voda. Veliko manj je tudi oprijemljivih

praktičnih izkušenj, zato bo treba področje podrobneje raziskati ter šele vzpostaviti primerne sisteme kazalnikov za ocenjevanje ravnanja s trdnim komunalnimi odpadki.

#### 4 • OCENA PRIMERNOSTI REZULTATOV PROJEKTA ZA SLOVENIJO

Zbrane izkušnje so pokazale, da so razviti sistemi kazalnikov pri oskrbi s pitno vodo in odpadnih vodah že zreli za mednarodno uporabo ter lahko ugodno vplivajo na izboljšanje ocenjevanja in upravljanja s komunalno infrastrukturo.

To dokazuje tudi izvedba prvega pilotnega projekta *benchmarkinga* (EU Twinning Project SIO6/IB/EN/01, 2008) v Sloveniji, ki je letos potekal na področju oskrbe s pitno vodo pod pokroviteljstvom Ministrstva za okolje in prostor RS. Projekt so vodili tuji strokovnjaki (TU Graz in Rödl & Partner), ki so v preteklih letih izpeljali odmevne projekte primerjanj (*bench-*

*markinge*) pri oskrbi s pitno vodo na Avstrijskem in Bavarskem. Nekateri izmed njih pa so tudi aktivno sodelovali pri programu COST Action C18.

Udeležena slovenska vodovodna podjetja so bila z izvedbo in rezultati pilotnega projekta zadovoljna, saj so uporabljeni kazalniki, povzeti po metodologiji IWA (International Water Association), obsegali širše področje poslovanja (stroški, vodni viri, kakovost vode, poraba vode, vodovodno omrežje, črpališča, vohrani, okvare, vodne izgube, poraba energije, človeški viri), tako da so doseženi rezultati pri večini omenjenih področij tudi mednarodno

primerljivi. Iz preglednih grafičnih predstavitev vrednosti kazalnikov so sodelujoči v projektu lahko jasno razbrali svoje dosežke in možnosti za njihovo izboljšanje.

Uvajanje kazalnikov in *benchmarkinga* v procesih odločanja na področju ravnanja z odpadki je v Sloveniji še povsem na začetku. V teku je diplomska naloga na univerzitetnem študiju vodarstva in komunalnega inženirstva na FGG, Univerza v Ljubljani, ki bo dala osnovno primerjavo med učinkovitostjo delovanja nekaterih največjih podjetij za ravnanje z odpadki pri nas. Rezultati bodo prikazani na enem od naslednjih posvetovanj o ravnanju z odpadki in lahko domnevamo, da bodo animirali tovrstna podjetja za večjo uporabo teh metod v svojem poslovanju.

#### 5 • SKLEPI

V številnih državah se je že uveljavila uporaba kazalnikov in orodij za izboljšanje učinkovitosti pri upravljanju s komunalno infrastrukturo. Pomemben razvoj na tem področju je bil dosežen v vodnem sektorju, kjer so se sistemi kazalnikov uspešno potrdili v svetovnem merilu.

Pomena uporabe kazalnikov za natančnejšo oceno dejanskega stanja, za pomoč pri določanju ciljev in za podporo k boljšem odločanju se zaveda tudi čedalje več komunalnih podjetij v Sloveniji, ki so se v letu 2008 prostovoljno udeležila prvega pilotnega projekta *benchmarkinga* pri oskrbi s pitno vodo (EU

Twinning Project SIO6/IB/EN/01). Rezultati projekta so vsem sodelujočim podjetjem dali objektivni vpogled v trenutno stanje oskrbe z vodo. Dosežene vrednosti kazalnikov so jasno pokazale, da bo treba izboljšati stanje vodovodnih sistemov, predvsem na tehničnem področju.

Za področje ravnanja z odpadki bo potrebno metodologijo še dodelati in preskusiti. Zaradi naglega spreminjanja zakonodaje in uvajanja novih (trajnostnih) načinov ravnanja bodo primerjave z vzorčnimi tujimi zgledi razmeroma težavne.

## 6 • LITERATURA

- Alegre, H., Hirner, W., Melo Baptista, J., Parena, R., Performance Indicators for Water Supply Services. IWA Publishing London, 2000.
- Alegre, H., Melo Baptista, J., Cabrera, Jr., E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., Parena, R., Performance Indicators for Water Supply Services – Second Edition, IWA Publishing London, ISBN: 1843390515, 2006.
- Cabrera, Jr., E., Pardo, M., Performance Assessment of Urban Infrastructure Services. Drinking water, wastewater and solid waste, COST & IWA Publishing, ISBN: 1843391910, 2008.
- Cost Action C18: <http://www.costc18.org>.
- EU Twinning Project SI06/IB/EN/01 – Development of financial instruments for water management based on Water Framework Directive 2000/60/EC, Benchmarking na področju oskrbe z vodo v Sloveniji, poročilo: TU Graz in Rödl & Partner, Nürnberg/Gradec, april 2008.
- ISO 24510: 2007 – Service activities relating to drinking water and wastewater, Guidelines for the improvement and for the assessment of the service to users, International Organization for Standardization, Ženeva, Technical Committee TC 224, 2007.
- Petelin, Š., Uporaba metode benchmarkinga na področju komunalnih dejavnosti, Diplomaska naloga, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za gradbeništvo, Komunalna smer, junij 2008.
- Rakar, A., Strokovne podlage za poenoten način uresničevanje predpisov na področju oblikovanja in določanja cen komunalnih proizvodov in storitev, Projektna naloga, Končno poročilo za poglavje B.2, Ljubljana, Univerza v Ljubljani FAGG, Inštitut za komunalno gospodarstvo, 2001.
- Sjøvold, F., Conroy, P., Algaard, E., Performance assessment of Urban Infrastructure Services, The case of water supply, wastewater and solid waste, COST Office, Formal publisher: SINTEF Building and Infrastructure, ISBN: 978-82-536-1010-6, 2008.



# IZBOLJŠANJE STIKA MED CEMENTNO MALTO IN KONTINUIRANIMI OGLJIKOVIMI VLAKNI

## BOND IMPROVEMENT IN CEMENTITIOUS MORTARS REINFORCED WITH CONTINUOUS CARBON FILAMENTS

mag. Andrej Ivanič, univ. dipl. inž. grad.

andrej.ivanic@uni-mb.si

Samo Lubej, univ. dipl. inž. grad.

samo.lubej@uni-mb.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Smetanova 17, Maribor

Znanstveni članek

UDK: 691.33:691.54

**Povzetek** | Najpomembnejši parameter, ki vpliva na lastnosti vlaknastih cementnih kompozitov, je kvaliteta vezi v stični coni med matrico in vlakni. Članek obravnava vpliv mikrosilike in superplastifikatorja na povečanje trdnosti stika med cementno malto in snopičem kontinuiranih ogljikovih vlaken. Analiza mikrostrukture z elektronskim vrstičnim mikroskopom je pokazala, da je dodatek mikrosilike zmanjšal poroznost in količino kristalov CH in tako utrdil stično cono in ojačal vpetje vlaken. Dodatek superplastifikatorja je sicer izboljšal obdelovalnost sveže malte, kar pa ni bistveno vplivalo na izboljšanje kvalitete vpetja. Trdnost stika je bila kvantitativno ovrednotena z rezultati izvlečnih testov, ki so pokazali, da se z dodatkom kombinacije mikrosilike in superplastifikatorja doseže največje izboljšanje stika med cementno matrico in ogljikovimi vlakni.

**Summary** | Among various parameters that influence the properties of the composite, the bond between the cementitious matrix and the fibres is the most important one. The paper investigates the influence of admixtures – silica fume and super plasticizer – on the improvement of the bond strength between bundled carbon filaments and cementitious mortars. An overall micro structural analysis has shown that the addition of silica fume strengthened the interfacial transition zone by both the reduction of its porosity and the consumption of CH crystals. The addition of a super plasticizer increased the workability of fresh mortars, but the improvement of the bond strength was not significant. Fibre-bundle pull-out tests were carried out to confirm the effectiveness of the admixtures to improve the bond strength. Based on the resulting load-displacement curves, the combination of silica fume and super plasticizer were found to be the most effective in improving the bond strength of the composite.

### 1 • UVOD

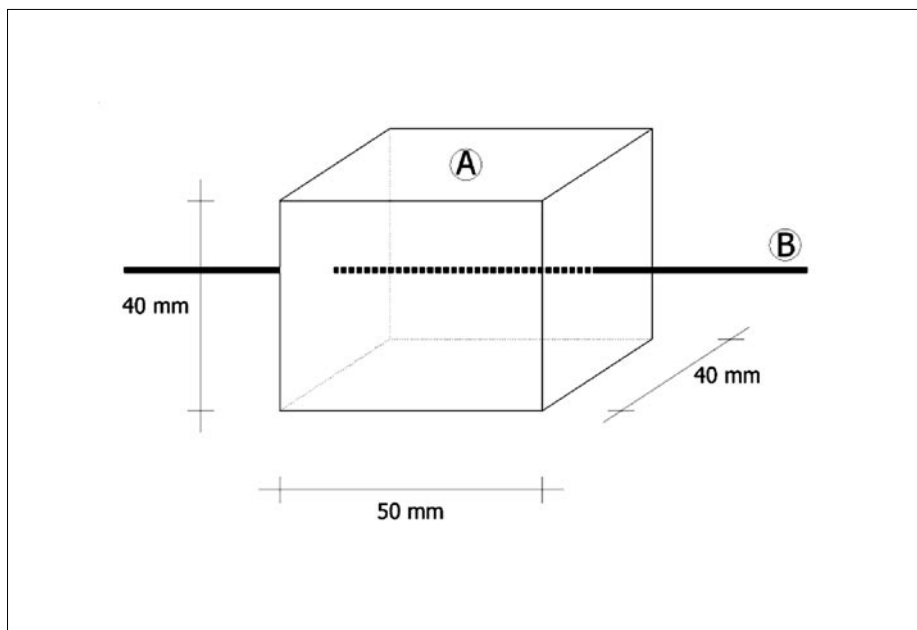
Materiali na osnovi cementa Portland, kot so cementne paste, malte in betoni, so krhki in imajo visoko tlačno trdnost, nizko natezno trdnost ter slabo žilavost. Zaradi teh dejstev je treba te materiale za uporabo v inženirskih

aplikacijah armirati. Kot armatura ali utrjevalna faza se lahko uporabijo tudi različni tipi vlaken, ki glede na svojo sestavo izkazujejo različne mehansko-fizikalne lastnosti ((Bentur, 1990), (Balaguru, 1992)). Največji prenos

napetosti iz matrice na vlakna je dosežen z uporabo kontinuiranih vlaken, zato le-ta omogočajo najučinkovitejše armiranje krhkih cementnih kompozitov ((Peled, 2000), (Wen, 1999)). Kot vlaknasta armatura se pojavljajo tudi različne tkanine, katerih osnovna enota je snopič ali pletenica, ki je sestavljena iz mnogih kontinuiranih mikrovlaken s premerom nekaj mikrometrov.



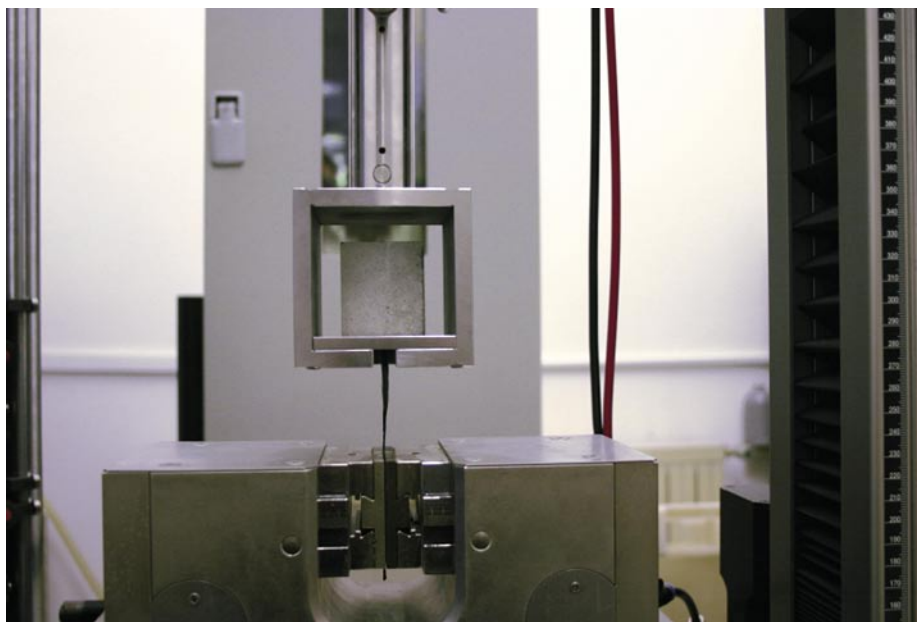
Pri posameznem vodocementnem razmerju sta bili uporabljeni po dve sestavi malte, ena brez in druga z dodatkom mikrosilike. Uporabljeni dodatki so bili dodani v masnih razmerjih, kot je prikazano v preglednici 1. Kot referenčna malta je bila uporabljena sestava z oznako S1 (cementna malta brez dodatkov). Vse malte so bile zamešane v laboratorijskem mešalcu po določilih standarda SIST EN 1015-2, konsistencja sveže malte pa je bila določena po določilih standarda SIST EN 1015-3. Srednje vrednosti razreza obravnavanih malt so podane v preglednici 1. Oblika preizkušanca je prikazana na sliki 2. Za vsako sestavo malte so bili izdelani trije preizkušanci. Kovinski kalup je bil najprej z malto napolnjen do polovice, s smerjo vgrajevanja pravokotno na smer izvleka. Po fiksiranju snopiča vlaken v horizontalni smeri natančno v sredino kalupa je bil kalup napolnjen z malto do vrha. Vibriranje ni bilo potrebno. Po vgraditvi so bili preizkušanci pokriti s folijo PET in negovani pri temperaturi 20°C in relativni vlagi 65 % 24 ur. Za tem so bili preizkušanci razkalupljeni in negovani v vodi s temperaturo 20°C 27 dni.



Slika 2 • Preizkušavec: A) matrica; B) snopič vlaken

### 2.3 Postopek preskusa

Izvlačni preskusi so bili opravljeni na preizkuševalnem stroju ZWICK/ROELL Z010 Materials Testing Machine kapacitete 10.000 N (slika 3) s hitrostjo premikanja glave preizkuševalnega stroja v smeri delovanja sile 0,01 mm/s. Preizkuševalni stroj je med preizkusom beležil pomik glave in sile. Preskus je bil končan pri končni dolžini pomika glave 30 mm. Za vsako sestavo malte so bili preizkušeni trije vzorci. Po končanem izvlečnem testu je sledila priprava vzorcev za mikroskopsko analizo. Vzorci so bili z diamantno žago na polovici dolžine odrezani do oddaljenosti ca. 5 mm od snopiča vlaken, nato pa prelomljeni. Površina preloma je bila pred preiskavo z elektronskim vrstičnim mikroskopom (SEM) neparjena z ogljikom. Tako pripravljene vzorci so bili uporabljeni za SEM- in EDS-analizo mikrostrukture stične cone z elektronskim vrstičnim mikroskopom JEOL JSM 840 A.



Slika 3 • Postavitev izvlečnega preskusa

## 3 • REZULTATI IN DISKUSIJA

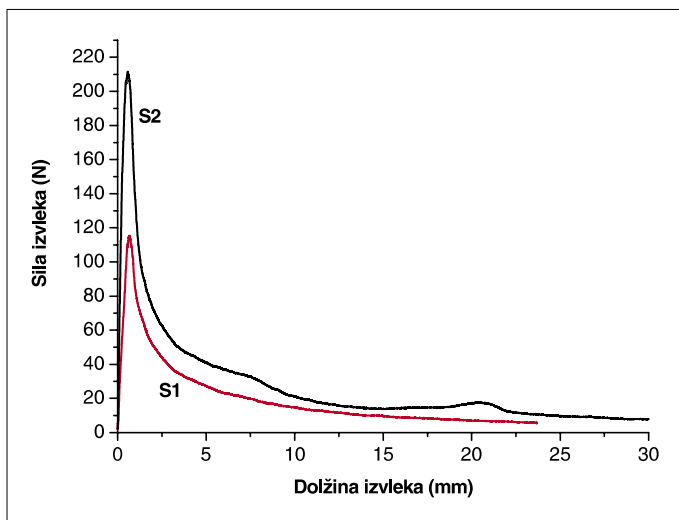
### 3.1 Izvlačni preskus

Za določitev in primerjavo trdnosti stika med cementno matrico in snopičem ogljikovih vlaken je bil v tem prispevku uporabljen izvlečni preskus (angl. pull-out test). Le-ta podaja relacijo med aplicirano silo in dolžino izvleka vlaken iz matrice. Dolžino iz-

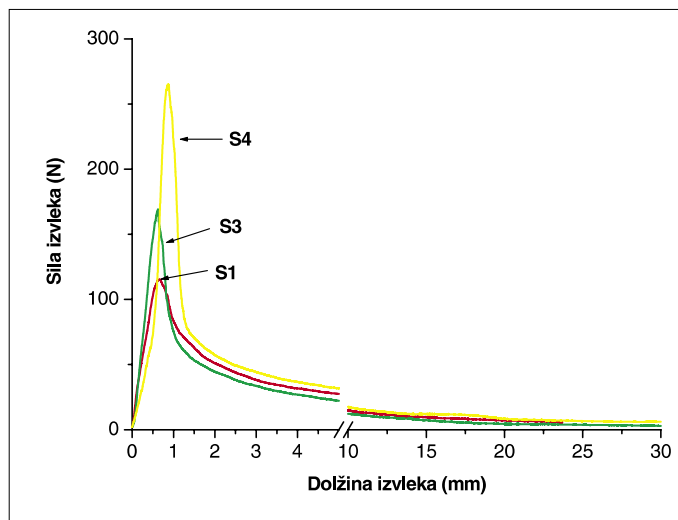
vleka v našem primeru dejansko predstavlja dolžina pomika glave preizkuševalnega stroja. Literatura (Badanoiu, 2003) navaja, da je trdnost stika in s tem velikost izvlečne sile med snopičem vlaken in cementno matrico odvisna predvsem od strukture stične cone med vlakni in matrico ter od penetracije malte

v notranjost snopiča vlaken. Predvidevamo, da je v našem primeru možnost penetracije malte minimalna, kajti vlakna so medsebojno zlepljena zaradi površinske obdelave s poliuretanom. Med samim preskusom pa se vsekakor najprej izvlečejo zunanja vlakna, intenzivnost izvleka notranjih vlaken pa je odvisna predvsem od medsebojne adhezije med notranjimi vlakni snopiča. Na slikah 4 in 5 so prikazane izvlečne krivulje obravnavanih preizkušancev. Prikazane kri-





Slika 4 • Povprečna izvlečna krivulja sestave S2 (dodatek mikrosilike) v primerjavi z referenčno sestavo S1



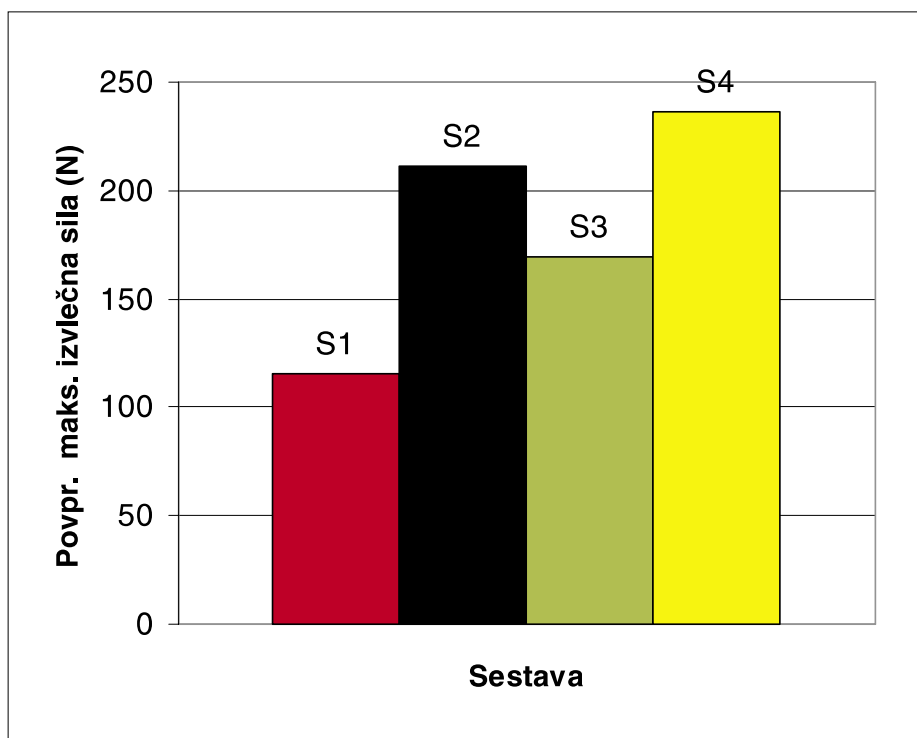
Slika 5 • Povprečni izvlečni krivulji sestav S3 (dodatek superplastifikatorja) in S4 (dodatek superplastifikatorja in mikrosilike) v primerjavi z referenčno sestavo S1

vulje so povprečje treh krivulj za posamezno sestavo malte, ki so generirane s pomočjo programa Zwick TestXpert. Oblika krivulj je odvisna predvsem od trenja na mejni površini med vlakni in matrico ter od razlike med trdnostjo vezi med zunanji in notranji vlakni snopiča.

Dodatek mikrosilike je povzročil povečanje maksimalne izvlečne sile za 83 % glede na referenčno sestavo S1 (slika 6). Ta rezultat je v skladu z ugotovitvami iz literature (Katz, 1995), kjer je pokazano, da izvlečna sila naraste za 95 %, če 10 % mase cementa nadomestimo z mikrosilikom. Poudariti pa je treba, da ta navedba velja za izvek posamičnega vlakna.

Modifikacija cementne malte z dodatkom superplastifikatorja (sestava S3) je povzročila povečanje maksimalne izvlečne sile za 47 % glede na referenčno sestavo S1 (slika 6). Čeprav se je zaradi dodatka superplastifikatorja sposobnost tečenja in s tem možnost penetracije malte v notranost snopiča povečala, to ni bistveno prispevalo k dvigu izvlečne sile. Ta ugotovitev je v skladu s trditvijo, da je v našem primeru vpliv penetracije malte na trdnost stika minimalen, kajti vlakna so pretežno medsebojno zlepljena zaradi površinske obdelave s poliuretanom.

Največji prirast izvlečne sile (za 105 % glede na referenčno sestavo S1) je bil dosežen z dodatkom mikrosilike in superplastifikatorja (sestava S4). Delovanje obeh navedenih dodatkov je povzročilo nastanek zelo kompaktne stične cone z minimalno poroznostjo, posledica tega je povečana trdnost stika med vlakni



Slika 6 • Povprečne maksimalne izvlečne sile

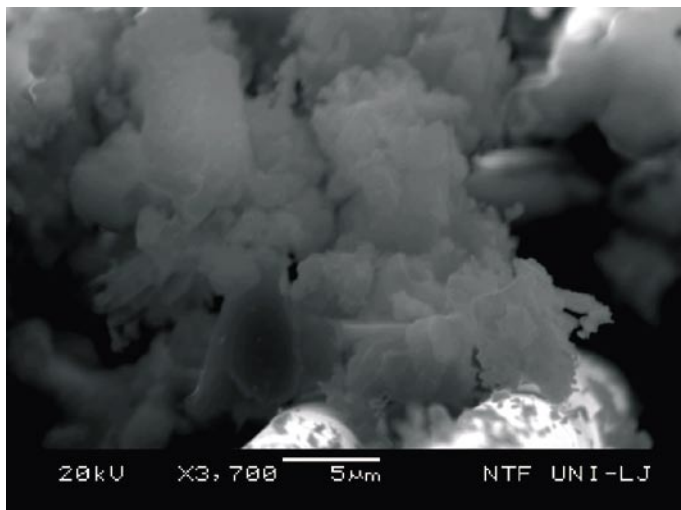
in matrico ter večje trenje, potem ko pride do porušitve stika.

### 3.2 Analiza mikrostrukture stičnega območja

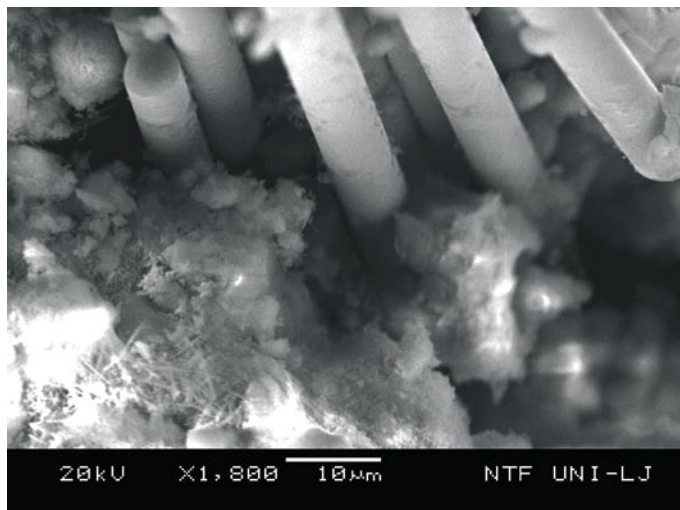
Mikrostruktura stične cone je v primeru snopiča vlaken bistveno drugačna in bolj zapletena kot v primeru posamičnih vlaken, ki so medsebojno ločena. Posamična vlakna

so v celoti obdana z matrico, medtem ko so v primeru snopiča le zunanja vlakna v delnem kontaktu z matrico (Peled, 1998).

Slika 7 prikazuje precej porozno mikrostrukturo stične cone preizkušanca referenčne sestave S1, ki vsebuje predvsem delno razbite kristale CH reda velikosti 5–15  $\mu\text{m}$ . Predvidevamo, da do lomljenja krhkih kristalov CH prihaja med procesom drsenja snopiča po



Slika 7 • Mikrostruktura stične cone referenčne sestave S1



Slika 8 • Mikrostruktura stičnega območja sestave S2 (dodatek mikrosilike)

stični površini kakor tudi pri samem prelomu preizkušanca. Na zunanjih vlaknih snopiča ni vidnih praktično nobenih hidratacijskih produktov, kar je pokazatelj slabe adhezije med vlakni in stično površino.

Na sliki 8 je prikazana mikrostruktura stične cone sestave S2 z 10 % dodatkom mikrosilike. Stična cone je gostejša in kompaktnjša v primerjavi z referenčno sestavo. V literaturi (Taylor, 1997) je navedeno, da se pri cementnih maltah z dodatkom mikrosilike morfologija CSH pojavlja le kot t. i. tip III (gosta, kompaktna, kroglasta), heksagonalni kristali CH pa niso prisotni. Na sliki 8 kristali CH niso vidni, prisotni pa so le kristali CSH.

Slika 9 prikazuje mikrostrukturo stične cone vzorca sestave S3 z dodatkom superplastifikatorja. Zaradi delovanja superplastifika-

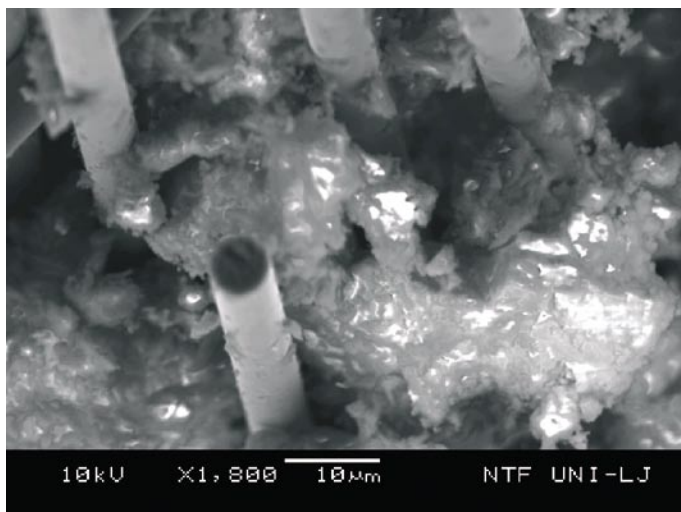
torja se zmanjša količina potrebne vode, kar posledično znižuje poroznost mikrostrukture ((Jolicoeur, 1998), (Papayianni, 2005)).

Najkompaktnjša in najgostejša mikrostruktura stične cone je bila dosežena pri sestavi S4, kjer sta kot dodatka k cementu bila uporabljena mikrosilika in superplastifikator (slika 10). Zunanja vlakna snopiča so tudi po procesu izvleka pokrita s precejšnjo količino zelo finih hidratacijskih produktov. Na podlagi teh ugotovitev lahko sklepamo, da je adhezivna vez med ogljikovimi vlakni in malto, ki je modificirana z mikrosiliko, zelo močna.

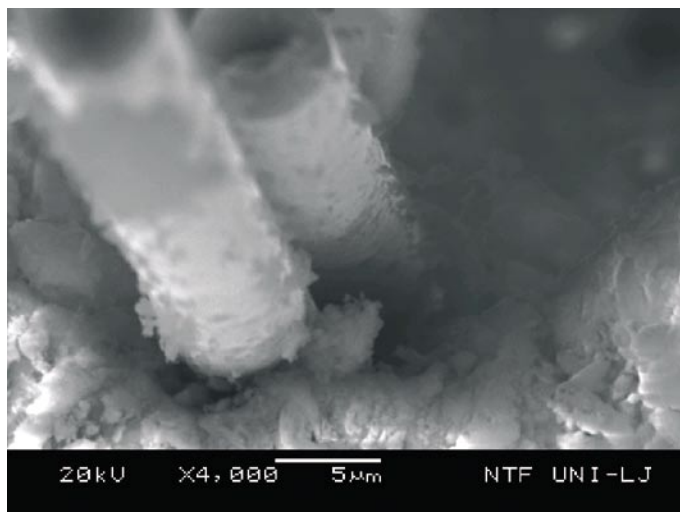
Z namenom kvantitativne ocene sprememb mikrostrukture stične cone je bila na preizkusnih vzorcih opravljena tudi EDS-analiza v isti coni za vse vzorce, na katerih je bila opravljena tudi SEM-analiza. Na podlagi rezultatov

EDS-analize so bila izračunana razmerja Ca/Si, ki so prikazana na sliki 11, medtem ko slika 12 prikazuje tipični spekter EDS. Razmerja Ca/Si podajamo kot razmerja z EDS-analizo ugotovljenih atomskih mas kalcija in silicija, kar nam pove, do kakšnih sprememb med razmerjem CH/CSH prihaja v stični coni. Mikrosilika običajno vsebuje več kot 90 % SiO<sub>2</sub>, zaradi tega je pri sestavah z dodano mikrosiliko možno pričakovati precejšnje zmanjšanje razmerja Ca/Si.

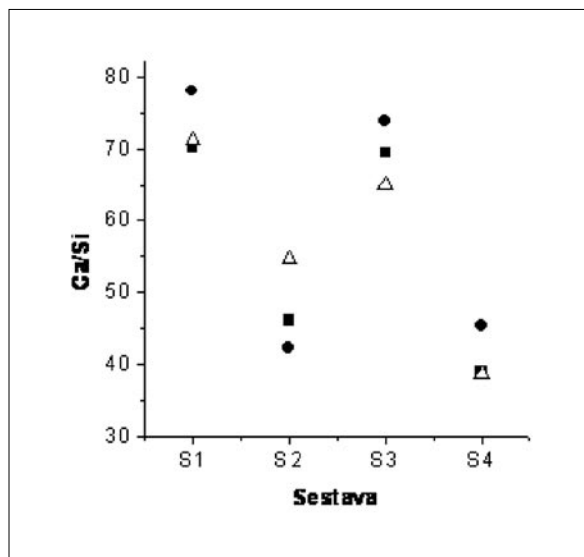
Razmerje Ca/Si za referenčno sestavo S1 je bistveno večje, kot so primerljiva razmerja Ca/Si iz literature, ki so pridobljena z EDS-analizo vzorcev s posamičnim vlaknom (Geng, 1996). Površina snopiča vlaken je bistveno večja, kot je površina posamičnega vlakna, in zato nudi bistveno več nukleacijskih mest za



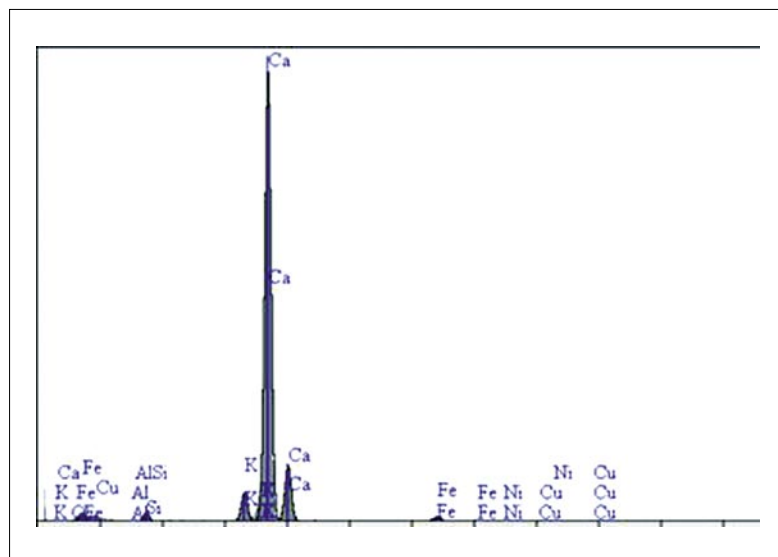
Slika 9 • Mikrostruktura stične cone sestave S3 (dodatek superplastifikatorja)



Slika 10 • Mikrostruktura stične cone sestave S4 (dodatek mikrosilike in superplastifikatorja)



Slika 11 • Razmerje Ca/Si v stični coni



Slika 12 • Tipični EDS-spekter

tvorbo kristalov CH, kar po naših predvidevanjih povzroča povečanje razmerja Ca/Si. Dodatek mikrosilike (sestava S2) je povzročil zmanjšanje razmerja Ca/Si, kar je skladno z ugotovitvami v literaturi (Taylor, 1997). Do-

dani superplastifikator (sestava S3) tega razmerja ni bistveno spremenil. Dodatni dokaz je, da uporabljeni superplastifikator ne spremeni kemične sestave hidratacijskih produktov, saj se zaradi nižjega vodoce-

mentnega razmerja zmanjša le poroznost matrice, medtem ko kristali CH ostanejo. Pri sestavi S4, kjer je superplastifikatorju bila dodana še mikrosilika, je spet opazno zmanjšanje razmerja Ca/Si.

#### 4 • SKLEP

V tem prispevku so bili raziskani vplivi različnih modifikacij stične cone na povečanje trdnosti stika med cementno matrico in snopičem kontinuiranih ogljikovih vlaken. Rezultati potrjujejo, da je bilo povečanje trdnosti stika doseženo z zgostitvijo stične cone, za kar sta bila uporabljena dodatka mikrosilike in superplastifikatorja.

Učinek mikrosilike na povečanje trdnosti stika se kaže v zgostitvi mikrostrukture v stični coni in s povečanjem kontaktne površine med vlakni in matrico, kar vodi v izboljšanje adhezije. Delci mikrosilike pa stično cono utrjujejo tudi s porabo krhkih kristalov CH med pucolansko reakcijo, kar dokazuje tudi zmanjšanje razmerja Ca/Si

pri preizkušancih, kjer je bila uporabljena mikrosilika.

Dodatek superplastifikatorja je zaradi nižjega vodocementnega razmerja zmanjšal poroznost stične cone, kar se odraža na povečanju izvlečne sile.

Kombinacija superplastifikatorja in mikrosilike se je pokazala kot najučinkovitejša tehnika za povečanje trdnosti stika med cementno malto in snopičem kontinuiranih ogljikovih vlaken.

#### 5 • LITERATURA

- Aquino, W., Lange, D. A., Olek, J., The influence of metakaolin and silica fume on the chemistry of alkali-silica reaction products, *Cement Concr Compos*, 23, 485–493, 2001.
- Badanoiu, A., Holmgren, J., Cementitious composites reinforced with continuous carbon fibres for strengthening of concrete structures, *Cement Concr Compos*, 25, 387–394, 2003.
- Balaguru, P. N., Shah, S. P., *Fiber reinforced cementitious composites*, New York, McGraw-Hill, 1992.
- Bentur, A., Mindess, S., *Fibre reinforced cementitious composites*, Amsterdam, Elsevier, 1990.
- Bentz, D. P., Stutzman, P. E., Evolution of porosity and calcium hydroxide in laboratory concretes containing silica fume, *Cement Concr Res*, 24, 1044–1050, 1994.
- Chan, Y., Li, V. C., Effects of transition zone densification on fiber/cement paste bond strength improvement, *Adv Cement Based Mater*, 5, 8–17, 1997.

- Geng, Y., Leung, C. K. Y., A microstructural study of fibre/mortar interfaces during fibre debonding and pull-out, *J Mater Sci*, 31, 1285–1294, 1996.
- Jolicoeur, C., Simard, M. A., Chemical admixture-cement interactions: phenomenology and physico-chemical concepts, *Cement Concr Compos*, 20, 87–101, 1998.
- Katz, A., Li, V. C., Kazmer, A., Bond properties of carbon fibres in cementitious matrix, *J Mater Civil Eng*, 7, 125–128, 1995.
- Khatib, J. M., Mangat, P. S., Influence of superplasticizer and curing on porosity and pore structure of cement paste, *Cement Concr Compos*, 21, 431–437, 1999.
- Li, V. C., Stang, H., Interface property characterization and strengthening mechanisms in fiber reinforced cement based composites, *Adv Cement Based Mater*, 6, 1–20, 1997.
- Ohama, I., Amano, M., Endo, M., Properties of carbon fibre reinforced cement with silica fume, *Concr Int*, 7(3), 58–62, 1995.
- Papayianni, I., Tsohos, G., Oikonomou, N., Mavria, P., Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures, *Cement Concr Compos*, 27, 217–222, 2005.
- Peled, A., Bentur, A., Yankelevsky, D. Z., The nature of bonding between monofilament polyethylene yarns and cement matrices, *Cement Concr Compos*, 20, 319–327, 1998.
- Peled, A., Bentur, A., Geometrical characteristics and efficiency of textile fabrics for reinforcing cement composites, *Cement Concr Res*, 30, 781–790, 2000.
- Taylor, H. F. W., *Cement chemistry*, London, Thomas Telford Publishing, 1997.
- Wen, S., Chung, D. D. L., Piezoresistivity in continuous carbon fiber cement-matrix composite, *Cement Concr Res*, 29, 445–449, 1999



# PRIPOMBE K ČLANKU »BOČNA ZVRNITEV LESENEGA KROŽNEGA LOKA«

(poslano v objavo: 8. oktobra 2008)

dr. Tomaz Rojc, univ. dipl. inž. grad.

Članek z zgornjim naslovom, ki je bil objavljen v avgustovski številki Gradbenega vestnika (Rodman, 2008), vsebuje grobo napako, na katero je treba opozoriti, še zlasti zato, ker je bila enaka napaka storjena tudi na njegovi predhodni skrajšani različici, objavljeni na zborovanju gradbenih konstruktorjev leto poprej (Rodman, 2007). Bilo je torej dovolj časa, da bi jo lahko opazili avtorji sami ali pa nanjo opozorili vsaj udeleženci zborovanja ali bralci zbornika, saj je napaka tako očitna, da ne more biti spregledana. Tema, ki je obravnavana v obeh člankih, tudi ni taka, da ne bi pritegnila nobenega bralca. V obeh je namreč obravnavana obširna parametrična analiza stabilnosti krožnega dvočlenskega loka konstantnega pravokotnega preseka, ki je lahko zanimiva za marsikatero statika. Preden se posvetimo pojasnitvi napake, podajmo kratek opis naloge in metode njenega reševanja, na kateri sta zasnovana članka. Pri tem se omejimo samo na prispevek, objavljen v Gradbenem vestniku.

Osnovni namen članka (Rodman, 2008) je določitev optimalne višine krožnega loka, predpisanega razpona, pri kateri je kritična obtežba, ki sproži pojav bočne zvrnitve, ali točneje, pojav upogibno-torzijskega uklona izven njegove ravnine, največja. Pri tem je lahko lok bočno podprt samo na obeh njegovih koncih ali pa tudi v vmesnih točkah vzdolž njegove dolžine. Razporeditev vmesnih bočnih podpor je lahko enakomerna ali neenakomerna. V primeru dodatnih vmesnih podpor je naloga razširjena še na določitev optimalnih razmakov med vmesnimi podporami, seveda zopet pri pogoju omenjene največje kritične obtežbe.

Zgoraj opisana naloga je omejena samo na slojevit lepljen lesen krožni lok razpona  $L = 40$  m in konstantnega pravokotnega prečnega prereza. Lok je na obeh koncih nepomično podprt, tako da je omogočen zasuk v njegovi ravnini, vsi zasuki iz nje pa so preprečeni. Torej gre za t. i. bočno vpeti dvočlenski lok. Predpisana je tudi vrsta obtežbe, ki je stopnjavana do zgoraj omenjene kritične vrednosti. Lok je v svoji ravnini

obremenjen samo z enakomerno zvezno obtežbo na enoto dolžine nedeformirane osi, ki je usmerjena pravokotno proti vezni premici obeh njegovih krajišč (glej npr. sliko 1 v (Rodman, 2008)). Kritična vrednost te obtežbe je označena s  $q_{cr}$ . Pri analizi mehanskega odziva loka sta predpostavljena njegovo začetno homogeno stanje in časovno neodvisen elastični material. Pri tem so bile privzete ustrezne materialne karakteristike lesa, in sicer elastični modul za smer vzporedno z vlakni  $E_{0,mean} = 1200$  kN/cm<sup>2</sup>, strižni modul za pravokotno smer na vlakna  $G = 80$  kN/cm<sup>2</sup> in specifična teža lesa  $\gamma = 4.4$  kN/m<sup>3</sup>.

V (Rodman, 2008) je cilj opisan nekoliko drugače, in sicer, da je cilj določitev optimalnih dimenzij krožnega loka, ki zagotavljajo največjo bočno nosilnost. Izraz »bočna nosilnost« so avtorji pri tem uporabili za poimenovanje zgoraj opisane kritične obtežbe  $q_{cr}$ . Pod dimenzije krožnega loka s predpisanim razponom  $L$  lahko razumemo višino loka  $H$  (oddaljenost temena od vezne premice obeh njegovih krajišč) kot tudi dimenzije prečnega prereza, tj. širino  $b$  in višino  $h$  ali širino  $b$  in razmerje  $h/b$ . Vendar se iz nadaljnega teksta (Rodman, 2008) izkaže, da je bil cilj naloge predvsem določitev optimalne višine loka oziroma relativne višine  $H_{rel}$ , definirane z razmerjem  $H_{rel} = H/L$ . Ta je v (Rodman, 2008) določena s parametričnimi analizami na dva načina.

Pri prvem načinu so izbrali dimenzije prečnega prereza,  $b = b_0 = 20$  cm in  $h = h_0 = 120$  cm, in spreminjali parameter  $H_{rel}$  od vrednosti  $H_{rel,min} = 0$ , ki opisuje raven lok oziroma raven nosilec, do  $H_{rel,max} = 0,5$ , ki definira polkrožni lok z radijem  $R = H = L/2$ . Ta način so v grafih na slikah označevali kar z  $\mathbf{A} = \mathbf{A}_0 = \mathbf{konstanta}$ , saj je z izbranimi dimenzijami prečnega prereza vnaprej določena tudi njegova površina  $A_0 = b_0 \cdot h_0 = 2400$  cm<sup>2</sup>, ki je za vse možne oblike loka, ki so definirane s parametrom  $H_{rel}$  v območju  $H_{rel} \in (0, 0,5)$ , konstantna.

Pri drugem načinu so avtorji hkrati s spreminjanjem relativne višine loka  $H_{rel}$  manjšali višino prečnega prereza  $h$  tako, da je za vsako obliko loka, definirano s  $H_{rel}$ , njegova prostor-

nina konstantna, tj.  $\mathbf{V} = \mathbf{V}_0 = \mathbf{konstanta}$ . Pri tem je seveda za vse oblike višina prereza vzdolž loka konstantna. Prostornino  $V_0$  avtorji ne podajo, lahko pa jo iz teksta in slik, podanih v (Rodman, 2008), uganemo. Določena je bila s prostornino ravnega loka oziroma ravnega nosilca, ki jo lahko izračunamo iz podatkov, izbranih pri prvem načinu. Torej,  $V_0 = b_0 \cdot h_0 \cdot L^*(H_{rel} = 0) = 0,2 \cdot 1,2 \cdot 40 = 9,6$  m<sup>3</sup>, kjer je  $L^*$  dolžina loka, ki je za  $H_{rel} = 0$ , enaka razpeditini, tj.  $L^*(H_{rel} = 0) = L = 40$  m. Enačba za izračun višine  $h$  pri poljubni obliki krožnega loka iz danega območja  $H_{rel} \in (0, 0,5)$  je pri tem načinu naslednja:

$$h = V_0 / (b_0 \cdot L^*) \quad (1)$$

Ker je ločna dolžina  $L^*$  funkcija  $H_{rel}$ , je zato funkcija  $H_{rel}$  tudi  $h$  ter površina prečnega prereza  $A$  itd. Enačbo (1) lahko zapišemo še takole:

$$\begin{aligned} h &= V_0 / (b_0 \cdot L^*) = b_0 \cdot h_0 \cdot L / (b_0 \cdot L^*) \\ &= h_0 \cdot L / L^*, \end{aligned} \quad (2)$$

ki potrjuje, da se višina  $h$  prečnega prereza z naraščanjem  $L^*$  oziroma  $H_{rel}$  manjša, saj je  $L/L^* \leq 1$ . Torej  $h$  je za vse  $H_{rel} > 0$  manjši od  $h_0 = 120$  cm, kar pomeni, da je višina prečnega prereza loka, definirane po načinu ( $V = \mathbf{konstanta}$ ), za vse  $H_{rel}$  tudi manjša kot pri loku, definirane po načinu ( $A = \mathbf{konstanta}$ ) – razen seveda za lok z  $H_{rel} = 0$ , kjer sta višini enaki.

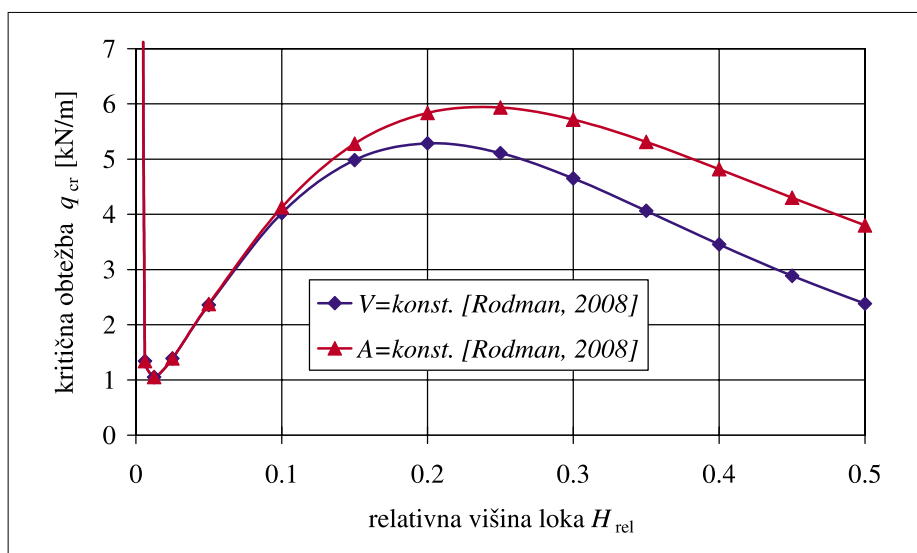
Oba zgoraj opisana načina predstavljata v bistvu dve optimizacijski nalogi z istim ciljem, tj. poiskati optimalno relativno višino  $H_{rel}$  dveh v osnovi različno opisanih lokov, pri kateri je njuna nosilnost glede na bočno zvrnitev največja. O smislu izbire teh dveh nalog oziroma načinov parametrične analize avtorji ne razpravljajo. Verjetno jim je bila vseč predstavitev in analiza njihovih rezultatov na dveh diagramih, od katerih pa so na enem naredili grobo napako, omenjeno že v uvodnem odstavku.

Obe optimizacijski nalogi bi lahko analitično razrešili, če bi poznali funkcijsko zvezo med

kritično enakomerno obtežbo  $q_{cr}$  loka in njegovo relativno višino  $H_{rel}$ , torej  $q_{cr}(H_{rel})$ . Za določitev pogojne enačbe, iz katere bi lahko izračunali optimalni parameter  $H_{rel}$ , bi bilo potrebno samo odvajati funkcijo  $q_{cr}(H_{rel})$ . Pogojna enačba je namreč:  $dq_{cr} / dH_{rel} = 0$ . Vendar v literaturi ne bomo našli ustreznih eksplicitnih formul za izračun kritične obtežbe, na podlagi katerih bi lahko za obe opisani nalogi določili tudi pripadajoči funkcijski odnos  $q_{cr}(H_{rel})$ . Naloga je torej precej zahtevna in so jo zato morali avtorji reševati numerično. Z namenom, da bi problem približali širši strokovni javnosti, so se verjetno odločili za zgoraj napovedano parametrično analizo ali, točneje, za izračun zadosti velikega števila točk na krivulji  $q_{cr}(H_{rel})$ , tako da jo je mogoče grafično predstaviti na celotnem izbranem območju parametra  $H_{rel}$ , tj.  $H_{rel} \in (0, 0,5)$  in nato iz grafa oceniti optimalno relativno višino  $H_{rel}$ .

Osrednja naloga je seveda izračun kritične obtežbe  $q_{cr}$  za posamezne oblike loka oziroma relativne višine loka  $H_{rel}$ . Za ta izračun so avtorji uporabili učinkovit algoritem, ki so ga v preteklosti razvili za reševanje geometrijsko nelinearnih prostorskih problemov ukrivljenih linijskih konstrukcij (Zupan, Saje) in ga kasneje razširili s t. i. metodo ločne dolžine za sledenje deformacijske poti omenjenih konstrukcij v pred- in postkritičnem območju (npr. po uklonu ali bočni zvrnitvi zaradi kritične obtežbe). Algoritem temelji na metodi končnih prostorsko ukrivljenih linijskih elementov, ki so bili razviti ob upoštevanju geometrijsko točne teorije elastičnih ukrivljenih nosilcev, seveda ob predpostavki, da se ravni prečni prerezi nosilca ne deformirajo in da vse točke prečnega prereza ostanejo tudi po deformaciji na ravnini. Pri tem pa v splošnem prečni prerezi niso pravokotni na težiščno os. Metode avtorji v članku ne opišejo, temveč napotijo bralca na ustrezno literaturo. Tu naj omenimo, da je metoda primerna predvsem za linijske konstrukcije s kompaktnimi in zaprtimi prečnimi prerezi, pri katerih je napaka v teoriji – zaradi neupoštevanja zvijanja v začetku ravnih prečnih prerezov – zanemarljiva.

Rezultati izračuna točk na krivulji  $q_{cr}(H_{rel})$ , ki opisuje odvisnost kritične enakomerne obtežbe  $q_{cr}$  od relativne višine  $H_{rel}$ , so za oba načina opisa geometrije loka, tj. ( $A = \text{konstanta}$ ) in ( $V = \text{konstanta}$ ), prikazani z grafi na sliki 1, ki je povzeta po članku (Rodman, 2008) (glej sliko 2 v (Rodman, 2008)). Vsaka točka na posameznem grafu, ki je označena s posebnim znakom, predstavlja verjetno rezultat izračuna kritične obtežbe  $q_{cr}$  za izbrano obliko oziroma relativno višino loka  $H_{rel}$  (npr.

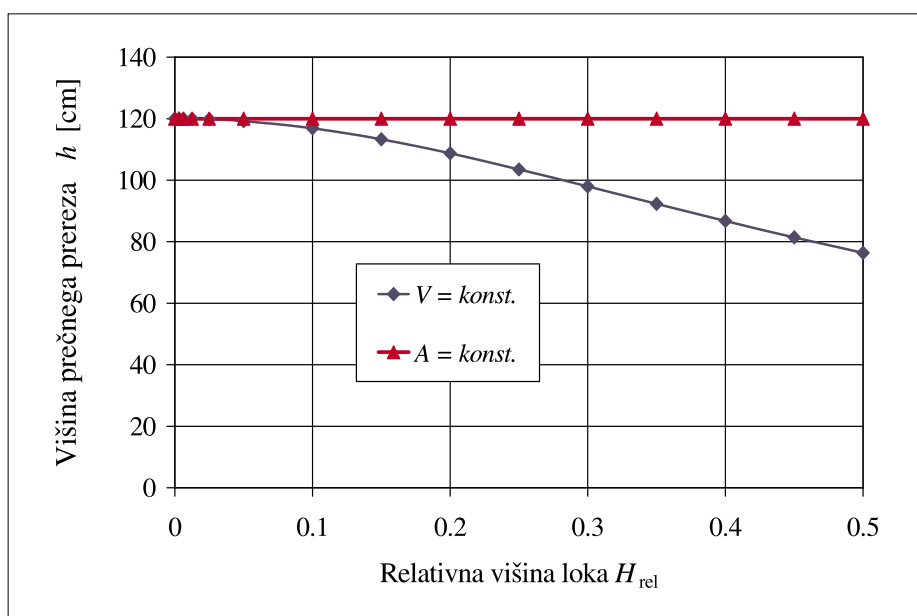


Slika 1 • Spreminjanje kritične obtežbe  $q_{cr}$  z relativno višino loka  $H_{rel}$

0,05, 0,1, 0,15 itd.). Omenjene točke so na sliki 1 povezane z ustrezno gladko krivuljo. Kot je mogoče razbrati iz uvodnega poglavja v članku (Rodman, 2008), so bile vrednosti  $q_{cr}$  ugotovljene na podlagi sledenja deformacijski poti loka in ne z direktno metodo računa stabilnostnih točk, kot je npr. to opisano v delu Planinca in Sajeta, objavljenem leta 1999, in navedenim v spisku literature v (Rodman, 2008). Zato bi bilo zanimivo – če ta domneva drži –, da bi avtorji vsaj za eno ali dve točki na grafih  $q_{cr}(H_{rel})$  iz slike 1 prikazali tudi omenjeno deformacijsko pot z ustreznim diagramom *obtežba – karakteristični pomik*.

Odveč ne bi bil niti opis računskih modelov (število in tip končnih elementov), ki so bili pri tem uporabljeni, in način sproženja deformacije loka v nestabilno obliko.

Iz slike 1 je razvidno, da je največja nosilnost  $q_{cr}$  loka, definirane po načinu konstantne prostornine ( $V = \text{konstanta}$ ), dosežena pri relativni višini  $H_{rel} = 0,2$  (seveda če ne upoštevamo začetnega območja na prikazanih grafih, ki velja za zelo plitve loka, tj. da  $H_{rel} \leq 0,0125$ ). Drugače povedano, optimalna oblika tega tipa krožnega loka ima relativno višino  $H_{rel} = 0,2$ . Za krožni lok, definiran po načinu konstantne površine prečnega pre-



Slika 2 • Spreminjanje višine prečnega prereza z relativno višino loka

reza ( $A = \text{konstanta}$ ), pa je optimalna oblika določena z relativno višino  $H_{\text{rel}} = 0,25$ . Iz omenjene slike lahko tudi razberemo, da je kritična obtežba  $q_{\text{cr}}$  višja za lok, definiran po načinu ( $A = \text{konstanta}$ ). Pri tem tipu loka je namreč prečni prerez večji kot pri loku, definiranim po načinu ( $V = \text{konstanta}$ ), saj je tudi višina prečnega prereza večja za vse  $H_{\text{rel}} > 0$  (glej sliko 2).

Spreminjanje višine prečnega prereza z relativno višino  $H_{\text{rel}}$  je za oba tipa lokov prikazano na sliki (2). To spreminjanje se odraža tudi pri spreminjanju nosilnosti  $q_{\text{cr}}$  obeh tipov lokov, ki je razvidno iz slike 1. Do približno  $H_{\text{rel}} = 0,05$  sta oba grafa na sliki 1 skoraj enaka, od tega mesta dalje pa se opazno razideta.

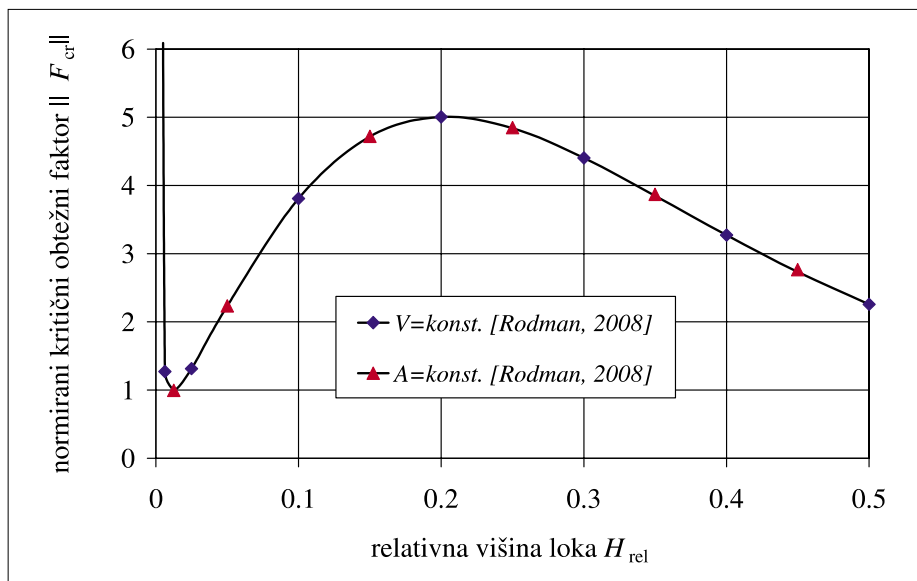
Avtorji so v (Rodman, 2008) predstavili rezultate izračunov, ki so prikazani z grafi  $q_{\text{cr}}(H_{\text{rel}}, V = \text{konst.})$  in  $q_{\text{cr}}(H_{\text{rel}}, A = \text{konst.})$  na sliki 1 še na drugačen način. Če izrazimo kritično obtežbo  $q_{\text{cr}}$  kot mnogokratnik lastne teže loka na enoto njegove ločne dolžine, torej

$$q_{\text{cr}} = F_{\text{cr}} \cdot \gamma \cdot A, \quad (3)$$

kjer je  $F_{\text{cr}}$  omenjeni mnogokratnik, lahko rezultate izračunov kritičnega stanja loka oziroma pojava bočne zvrnitve predstavimo tudi z novo veličino  $F_{\text{cr}}$ , ki jo določimo iz enačbe (3), torej  $F_{\text{cr}} = q_{\text{cr}} / (\gamma \cdot A)$ . Avtorji so v (Rodman, 2008) to spremembo predstavitev rezultatov poimenovali normiranje kritične obtežbe  $q_{\text{cr}}$  z lastno težo loka na enoto dolžine in vpeljali t. i. normirani kritični obtežni faktor  $\|F_{\text{cr}}\|$ , ki so ga definirali na enak način, kot smo mi definirali prej vpeljano pozitivno skalarno veličino  $F_{\text{cr}}$ , tj.:

$$\|F_{\text{cr}}\| = q_{\text{cr}} / (\gamma \cdot A). \quad (4)$$

Grafi  $\|F_{\text{cr}}\|(H_{\text{rel}})$ , ki so jih avtorji predstavili v (Rodman, 2008) (glej sliko 3 v (Rodman, 2008)), so v naši diskusiji prikazani na sliki 3. Krivulji  $\|F_{\text{cr}}\|(H_{\text{rel}})$  sta za oba tipa lokov skoraj enaki (avtorji so obe krivulji združili v eno) in imata največjo vrednost normiranega kritičnega obtežnega faktorja  $\|F_{\text{cr}}\|$  pri  $H_{\text{rel}} = 0,2$ . Lahko se seveda vprašamo, kako je mogoče pri normiranju kritične obtežbe v skladu z enačbo (4) za lok, ki je definiran po načinu ( $A = \text{konstanta}$ ), prišlo do premika točke ekstrema, ki je na sliki 1 pri vrednosti  $H_{\text{rel}} = 0,25$ , na sliki 3 pa pri  $H_{\text{rel}} = 0,2$ . Za ta tip loka je namreč imenovalec v enačbi (4) konstanten za vse relativne višine loka, in sicer  $(\gamma \cdot A) = \gamma \cdot b \cdot h = 4,4 \cdot 0,2 \cdot 1,2 = 1,056 \text{ kN/m}$ . Do tega premika ne more priti, saj je ekstrem neke krivulje, npr.  $f(x)$ , ki jo pomnožimo s



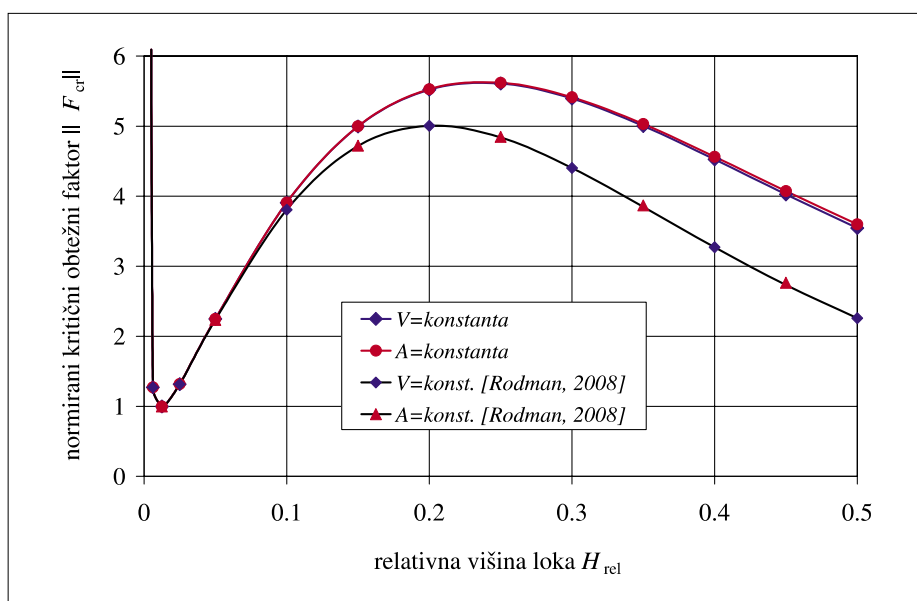
Slika 3 • Spreminjanje normiranega obtežnega faktorja z relativno višino loka po viru (Rodman, 2008) - napačni rezultati

konstanto  $k$ , za novo krivuljo  $g(x) = k \cdot f(x)$  pri isti vrednosti  $x_{\text{ext}}$  kot pri prvotni  $f(x)$ . Pogojna enačba za določitev ekstrema je namreč za obe krivulji,  $f(x)$  in  $g(x)$ , enaka:

$$\begin{aligned} df(x)/dx = 0 \quad \text{in} \quad dg(x)/dx = k \cdot df(x)/dx = \\ = 0 \rightarrow df(x)/dx = 0. \end{aligned}$$

Torej grafi na sliki 3 v obravnavanem članku (Rodman, 2008) so napačni. Pravilni so prikazani na sliki 4 skupaj z napačnimi grafi. Razlika med grafi je seveda velika. Očitno je, da so v (Rodman, 2008) faktorji  $(\gamma \cdot A)$ , ki so

upoštevani pri izračunu grafov  $\|F_{\text{cr}}\|(H_{\text{rel}})$  za oba tipa lokov, med seboj zamenjani. Enaka napaka je v (Rodman, 2008) storjena tudi na vseh ostalih slikah, napačna pa je tudi prva trditev v sklepnem poglavju, ki jo lahko navkljub neeksaktnemu zapisu razumemo, kot da ima krožni lok največjo t. i. bočno nosilnost pri razmerju med njegovo višino in razpetino 0,2 (v (Rodman, 2008) je namesto besede »razpetina« uporabljena »dolžina krožnega loka«). Enaka napaka v grafih je storjena tudi v prispevku (Rodman, 2007) istih avtorjev.



Slika 4 • Spreminjanje normiranega obtežnega faktorja z relativno višino loka

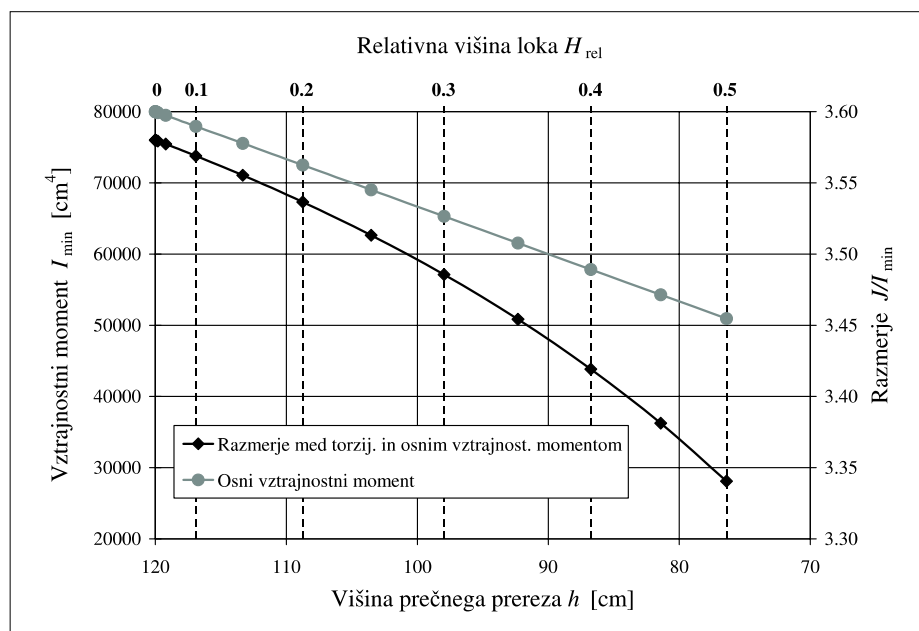
Iz slike 4 lahko razberemo, da ima največjo vrednost faktorja  $\|F_{cr}\|$  krožni lok z razmerjem  $H/L = 0,25$  in ne  $0,20$ , ki seveda velja za napačni graf. Pri  $H_{rel} = 0,25$  pa ima krožni lok, določen po načinu ( $A = \text{konstanta}$ ), tudi največjo nosilnost, medtem ko je največja nosilnost za lok, opisana po načinu ( $V = \text{konstanta}$ ), dosežena pri  $H_{rel} = 0,2$  (glej sliko 1). Je pa treba opozoriti, da so te vrednosti samo ocene za optimalni  $H_{rel}$ , saj ta veličina ni bila določena s kakšno natančnejšo metodo.

Zaradi zanimivosti si je vredno ogledati tudi rezultate stabilnostne analize, ki so podani v tujem viru (Wollebæk, 2004), saj je ta dostopen na spletu (glej seznam literature). V omenjenem viru je namreč med drugim obravnavan tudi lesen krožni lok z enakimi geometrijskimi in materialnimi karakteristikami, kot jih ima lok, opisan v prispevku (Rodman, 2007) (tip loka  $A = \text{konstanta}$ ). Kritične vrednosti  $q_{cr}$  so (Wollebæk, 2004) izračunane po metodi linearizirane stabilnostne oziroma uklonske analize, in sicer na dveh različnih računskih modelih. To je na modelu, sestavljenem iz 1344 trikotnih ploščnih končnih elementov s 30 prostostnimi stopnjami, ki so primerni za stabilnostno analizo ravnih plošč, in modelu iz 300 ravnih prostorskih končnih elementov – prostorskih nosilcev, ki temeljijo na nelinearni teoriji končnih rotacij (glej literaturo v (Wollebæk, 2004)). Razlika v rezultatih obeh modelov lahko ocenimo na ca. 5 %. Razlog za to razliko je deloma v (Wollebæk, 2004) tudi pojasnjen. Če bi primerjali rezultate iste veličine, tj.  $q_{cr}$ , iz vira (Wollebæk, 2004), z rezultati prikazanimi v viru (Rodman, 2007), bi ugotovili precej večjo razliko (opozorilo: vrednosti  $q_{cr}$  je potrebno določiti iz ustreznih rezultatov, podanih v (Wollebæk, 2004)). Na primer kritična nosilnost  $q_{cr}$  iz (Rodman, 2007) je pri relativni višini loka  $H_{rel} = 0,5$  za ca. 50 % večja od vrednosti po (Wollebæk, 2004), pri  $H_{rel} = 0$  pa kar za več kot 1000 % večja. Kateri rezultati so pravilnejši, tu ne bomo in tudi ne moremo presojati. Po eni strani lahko trdimo, da so končni elementi, ki so bili uporabljeni v ((Rodman, 2007) ali (Rodman, 2008)), precej učinkovitejši kot končni elementi nosilca, ki so bili privzeti v (Wollebæk, 2004). Razlika je lahko tudi posledica različnih metod ugotavljanja kritične obtežbe ali pa napaka v samem algoritmu metode, uporabljene v ((Rodman, 2007) ali (Rodman, 2008)), čeprav naj bi bila ta metoda, ki upošteva razmere deformiranega loka, pravilnejša od tiste iz (Wollebæk, 2004). To dejstvo lahko upravičimo pri določanju kritične obtežbe loka z relativno višino  $H_{rel} = 0$

oziroma ravnega nosilca z nepomičnimi podporami. Pri obremenitvi se namreč nosilec upogne, v njem pa se pojavi tudi natezna osna, ki zmanjša upogibni moment v nosilcu in poveča njegovo odpornost proti pojavu bočne zvrnitve. Zato je lahko kritična obtežba  $q_{cr}$  večja od tiste, ki bi jo določili po metodi, ki ne upošteva dejanske deformacije loka in zaradi nje vzbujene natezne osne sile. Ne glede na ta dejstva bi predlagal, da nekdo na FGG izdela stabilnostno analizo v ((Rodman, 2007) ali (Rodman, 2008)) obravnavanega loka (tipe  $A = \text{konstanta}$ ) na ustreznem modelu s pomočjo programa ABAQUS/Standard ali s kakšnim drugim primernim programom, ki je na FGG namenjen za raziskovalno dejavnost in nato opravi primerjavo rezultatov s tistimi iz ((Rodman, 2007) ali (Rodman, 2008)) oziroma verifikacijo metode, uporabljene v teh dveh virih. Najbolje bi bilo, da bi to primerjalno analizo izdelali kar na katedri za mehaniko.

Vrnimo se zdaj k grafom, prikazanim na sliki 4. Iz nje lahko opazimo majhno razliko med pravilnima krivuljama  $\|F_{cr}\|$  ( $H_{rel}$ ) obeh tipov nosilcev – ( $A = \text{konstanta}$ ) in ( $V = \text{konstanta}$ ). (OPOMBA: podobno razliko bi opazili tudi pri obeh napačnih krivuljah na sliki 3, če bi avtorji prikazali rezultate obeh krivulj in ne samo ene). Poskusimo jo pojasniti. Na velikost kritične obtežbe pri pojavu upogibno-torzijskega bočnega uklona loka imata pomembno vlogo tako upogibna togost okoli šibke osi prečnega prereza kot tudi njegova torzijska togost, ki ju lahko izrazimo

z veličinama ( $E \cdot I_{min}$ ) in ( $G \cdot J$ ). Pri tem sta  $I_{min}$  in  $J$  vztrajnostni moment glede na šibko os in torzijski vztrajnostni moment, ki ga za pravokotni prerez lahko določimo po Saint-Venantovi teoriji (glej npr. (Timoshenko, 1962)). Priključimo na pomoč znane izraze za izračun kritične obtežbe, npr. pri bočni zvrnitvi ravnih nosilcev. Te lahko predstavimo kot produkt dveh faktorjev, od katerih je v enem prisotna samo  $t$ , i. e. upogibna togost ( $E \cdot I_{min}$ ), drugi pa je funkcija razmerja ( $G \cdot J$ ) / ( $E \cdot I_{min}$ ). Predpostavimo, da je zgradba izraza za izračun kritične obtežbe loka sestavljena na podoben način, le da je faktor z omenjenim razmerjem lahko precej zapletena funkcija. Oglejmo si, kakšen vpliv imata po normiranju kritične obtežbe s faktorjem ( $\gamma \cdot A$ ) =  $\gamma \cdot b \cdot h$  upogibna togost in omenjeno razmerje obeh togosti. Širina prečnega prereza obeh tipov lokov je za vse  $H_{rel}$  konstantna in enaka  $b_0 = 20$  cm, višina loka definiranega z ( $V = \text{konstanta}$ ) pa se spreminja (glej sliko 2). Veličini  $A$  in  $I_{min}$  se z višino  $h$  prečnega prereza spreminjata linearno, namreč  $A = b_0 \cdot h$  in  $I_{min} = b_0^3 \cdot h / 12$ , medtem ko za torzijski vztrajnostni moment to ne drži (glej npr. grafe na sliki 5). Pri normiranju kritične obtežbe  $q_{cr}$  s faktorjem ( $\gamma \cdot A$ ) =  $\gamma \cdot b_0 \cdot h$  se normira tudi upogibna togost oziroma osni vztrajnostni moment, ki ga zapišemo takole  $\|I_{min}\| = b_0^2 / 12$ . To pomeni, da je normirani osni vztrajnostni moment za oba tipa enak in konstanten za vse relativne višine loka  $H_{rel}$ . Iz tega lahko sklepamo, da v primeru, ko je torzijska togost zelo majhna v primerjavi z upogibno, torej

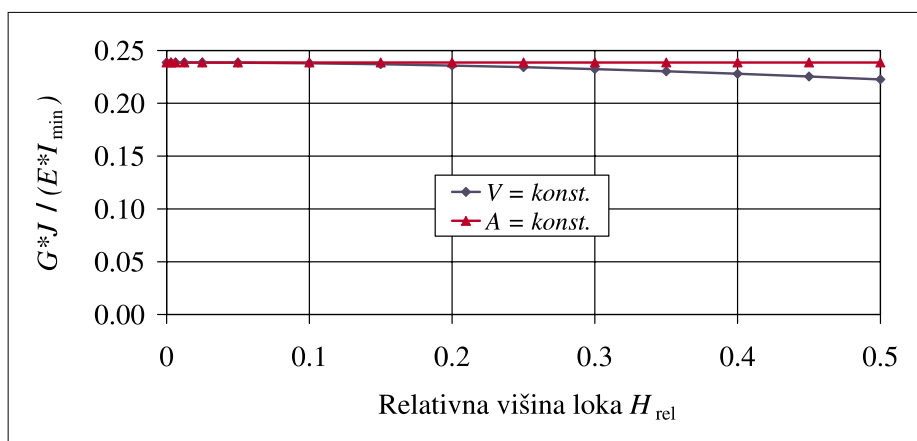


Slika 5 • Spreminjanje preznih karakteristik z višino prečnega prereza



$(G \cdot J) / (E \cdot I_{\min}) \approx 0$ , bosta normirani kritični obtežbi oziroma obtežna faktorja  $\|F_{cr}\|$  za oba tipa lokov enaka, medtem ko se kritični obtežbi  $q_{cr}$  lahko med seboj precej razlikujeta (primerjaj grafe na sliki 1 s pravilnimi grafi na sliki 4). V našem primeru razmerje  $(G \cdot J) / (E \cdot I_{\min})$  ni zanemarljivo majhno, vendar še vedno dovolj majhno (glej graf na sliki 6), da je razlika obtežnih faktorjev  $\|F_{cr}\|$  obeh tipov lokov v grafih na sliki 4 opazna.

Glede na zgoraj navedena pojasnila bi bilo vsekakor zanimivejše, če bi v parametrični analizi namesto načina z ( $V = \text{konstanta}$ ), pri katerem se višina prečnega prereza spreminja s spreminjanjem velikosti  $H_{rel}$ , raje analizirali še en lok, določen na način ( $A = \text{konstanta}$ ), ki bi imel drugačno višino prečnega prereza. V tem primeru bi imeli torej dva loka istega tipa, ki bi ju lahko označili kar z ( $A_1$ ) in ( $A_2$ ). Na ta način bi omogočili analizo vpliva torzijskega vztrajnostnega momenta oziroma razmerja  $(G \cdot J) / (E \cdot I_{\min})$  na velikost kritične obtežbe na celotnem območju relativne višine loka  $H_{rel} \in (0, 0,5)$ .



Slika 6 • Spreminjanje razmerja  $(G \cdot J) / (E \cdot I_{\min})$  z relativno višino loka

Končajmo to diskusijo z nalogo za prvega avtorja obeh člankov ((Rodman, 2008), (Rodman, 2007)), v kateri naj poda dokaz, da so razdalje med bočnimi podporami, ki so postavljene v prevojnne točke posameznih uklonskih oblik, resnično optimalne, tj., da zagotavljajo za izbrano število dodatnih bočnih podpor

največjo nosilnost loka v primeru bočne zvrnitve. Rešitev naj objavi v Gradbenem vestniku skupaj s popravkom enačbe (3.6), ki je objavljena v (Rodman, 2008). V omenjeni enačbi se merske enote v posameznih členih na desni strani ne ujemajo z mersko enoto na levi strani.

## 6 • LITERATURA

- Rodman, U., Saje, M., Planinc, I., Zupan, D., Bočna zvrnitev lesenega krožnega loka, *Gradbeni vestnik*, letnik 57, avgust, 215–221, 2008.
- Rodman, U., Saje, M., Planinc, I., Zupan, D., Bočna zvrnitev lesenega krožnega loka, *Zbornik 29. zborovanja gradbenih konstruktorjev*, Bled, 18.–19. oktober 2007, Ur.: Lopatič, J., Saje, F., Markelj, V., SDGK, Ljubljana, 217–224, 2007.
- Wollebæk, L., Bell, K., Stability of glulam arches. *Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering – WCTE 2004*, Vol. I, Lahti, Finland, June 2004, 61–65, 2004. ([http://www.ewpa.com/Archive/2004/jun/Paper\\_011.pdf](http://www.ewpa.com/Archive/2004/jun/Paper_011.pdf))
- Timoshenko, S., Goodier, J. N., *Teorija elastičnosti*, Građevinska knjiga, Beograd, 1962.

# SPORAZUM MED ZVEZO GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE IN HRVATSKIM SAVEZOM GRAĐEVINSKIH INŽENJERA

Na pobudo Hrvatskega saveza građevinskih inženjera in po sklepu Izvršnega odbora Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije je bil ob priliki Sabora hrvatskih graditelja 2008 v Cavtatu dne 6. 11. 2008 svečano podpisan Sporazum o sodelovanju med Zvezo gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije in

Hrvatskim savezom građevinskih inženjera. V imenu Zveze gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije je sporazum podpisal predsednik Miro Vrbeč, univ. dipl. inž. grad., v imenu Hrvatskega saveza građevinskih inženjera pa predsednik Dragutin Mihelčić, univ. dipl. inž. grad. Poleg večjega števila gostov sta bila

pri podpisu prisotna še dr. Janez Reflak, podpredsednik ZDGITS, in Andrijo Petković, univ. dipl. inž. grad., podpredsednik HSGI. Sabor hrvatskih graditelja 2008, na katerem je bilo preko 900 udeležencev, je v imenu ZDGITS in v imenu IZS – Matične sekcije gradbenikov – pozdravil dr. Janez Reflak.



# NOVI DIPLOMANTI

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Jerneja Čepon**, Hidravlični preračun vodovodnega omrežja Vodice, mentor prof. dr. Boris Kompare, somentor asist. Matej Uršič

**Matjaž Špacapan**, Izbira lokacij odlagališč komunalnih odpadkov, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor dr. Darko Drev

**Metka Jereb**, Idejne rešitve kanalizacijskega sistema in komunalne čistilne naprave za naselje Branik, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor asist. dr. Mario Krzyk

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Silvana Batič**, Sanacija pregrade Vogršček, mentor izr. prof. dr. Eugen Petrešin, somentor viš. pred. Matjaž Nekrep Perc

**Rok Presečnik**, Cestne zapore, mentor izr. prof. dr. Tomaž Tollazzi  
**Denis Zore**, Primer sanacije vlage počitniške hiše na Okroglicah, mentor doc. Uroš Lobnik

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Danijel Ajdnik**, Računska analiza jeklene strešne konstrukcije gimnazije Antona Martina Slomška v Mariboru, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Simon Šilih

**Iztok Černoša**, Izboljšanje ravni prometne varnosti in pretočnosti v skupini križišč, mentor izr. prof. dr. Tomaž Tollazzi, somentor viš. pred. mag. Marko Renčelj

**Igor Novak**, Predlog infrastrukturnih ukrepov za izboljšanje pogojev različnih udeležencev v cestnem prometu – primer mesta Laško, mentor izr. prof. dr. Tomaž Tollazzi, somentor viš. pred. mag. Marko Renčelj

**Gregor Zalokar**, Problematika stavbnih zemljišč v prostorskem načrtovanju – primer Mestna občina Maribor, mentor izr. prof. dr. Metka Sitar

Rubriko ureja • **Jan Kristjan 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 prejemajo 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](mailto:gradb.zveza@siol.net).

ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika

# KOLEDAR PRIREDITEV

10.-12.2.2009

**53. Betonfage**

Ulm, Nemčija  
[www.ovbb.at](http://www.ovbb.at)

4.-6.3.2009

**ISWE4**

**Cooperative Actions for Disaster Risk Reduction – (CADRR)**

Tokio, Japonska  
[www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/ISWE4/index.html](http://www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/ISWE4/index.html)

24.-25.3.2009

**Road Expo Ireland and Civilex**

Dublin, Irska  
<http://www.road-expo.com/re2008s/landing.html>

21.-23.4.2009

**Traffex 2009**

Birmingham, Anglija  
[www.traffex.com](http://www.traffex.com)

3.-5.5.2009

**8th Annual PTI Conference and Exhibition**

Portland, Oregon, ZDA  
[www.post-tensioning.org/annual\\_conference.php](http://www.post-tensioning.org/annual_conference.php)

20.-22.5.2009

**5th International Conference on Construction in the 21st Century**

CITC-V, Carigrad, Turčija  
[www.fiu.edu/~citic](http://www.fiu.edu/~citic)

22.-24.6.2009

**Concrete: 21st Century Superhero**

London, Anglija  
[www.fiblondon09.com](http://www.fiblondon09.com)

13.-15.7.2009

**FRPRCS-9**

**9th International Symposium on Fibre Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures**

Sidney, Avstralija  
[www.iceaustralia.com/frprcs9](http://www.iceaustralia.com/frprcs9)

26.-29.7.2009

**2nd international conference on Fatigue and Fracture in the Infrastructure Bridges and Structures of the 21st Century**

Philadelphia, Pennsylvania, ZDA  
<http://ffconf.atlss.lehigh.edu/index.html>

6.-11.9.2009

**IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium**

**Sustainable Infrastructure - Environment Friendly, Safe and Resource Efficient**

Bangkok, Tajska  
[www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents](http://www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents)

20.-23.9.2009

**8th International Symposium on Cable Dynamics**

Pariz, Francija  
<http://www.aimontefiore.org/iscd2009>

23.-25.9.2009

**14th European Parking Association Congress**

Dunaj, Avstrija  
[www.europeanparking.eu](http://www.europeanparking.eu)

5.-9.10.2009

**17th International Conference for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**

Alexandria, Egipt  
[www.2009icsmge-egypt.org](http://www.2009icsmge-egypt.org)

14.-16.10.2009

**EVACES'09**

**Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures**

Wroclaw, Poljska  
[www.evaces09.pwr.wroc.pl/index.html](http://www.evaces09.pwr.wroc.pl/index.html)

11.-12.11.2009

**Road Expo Scotland**

Edinburgh, Škotska  
<http://www.road-expo.com/re2008s/landing.html>

3.-5.5.2010

**IABSE Conference International Structural Codes**

Dubrovnik, Hrvaška  
[www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents](http://www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents)

29.5.-2.6.2010

**The Third International fib Congress and Exhibition "Think Globally, Build Locally"**

Washington D.C., ZDA  
[www.fib2010washington.com](http://www.fib2010washington.com)

20.-23.6.2010

**8th fib International PhD Symposium in Civil Engineering**

Kopenhagen, Danska  
<http://conferences.dtu.dk/conferenceDisplay.py?confId=21>

14.-16.7.2010

**International Conference on Structures and Architecture**

Guimares, Portugalska  
[www.arquitectura.uminho.pt](http://www.arquitectura.uminho.pt)

9.2010

**IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium**

Benetke, Italija  
[www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents](http://www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents)

20.-23.9.2011

**IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium**

London, Anglija  
[www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents](http://www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents)

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