

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, marec 2015, letnik 64, str. 57-80

Izdajatelj:

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

Izdajateljski svet:

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

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Romana Hudin

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

500 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

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

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

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

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

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

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

Uredništvo

Vsebina • Contents

In memoriam

stran **58**

izr. prof. dr. Andraž Legat, univ. dipl. fiz.
dr. Jakob Šušteršič, univ. dipl. inž. grad.
JAŠ ŽNIDARIČ, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., 1931–2014

Članki • Papers

stran **59**

Gregor Cipot, univ. dipl. inž. grad.
Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad.
**RIBJA BRV ČEZ LJUBLJANICO MED RIBJIM TRGOM IN
GERBERJEVIM STOPNIŠČEM V LJUBLJANI**
"RIBJA BRV" FOOTBRIDGE OVER LJUBLJANICA BETWEEN
RIBJI TRG SQUARE AND GERBER STAIRCASE IN LJUBLJANA



stran **70**

mag. Gašper Rak, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.
**VKLJUČITEV HIDRAVLICNE ANALIZE ODTOČNIH RAZMER
PRI NAČRTOVANJU GRADBENIH FAZ**
THE INTEGRATION OF THE HYDRAULIC ANALYSIS OF RUNOFF
REGIME IN PLANNING OF THE CONSTRUCTION PHASES



Poročilo s strokovnega srečanja

stran **79**

dr. Andrej Godec, univ. dipl. inž. prom.
Boris Stergar, univ. dipl. inž. grad.
PROJEKTI IN RAZVOJ SLOVENSKE ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE



Novi diplomanti

Eva Okorn

Koledar prireditev

Eva Okorn

Slika na naslovnici: Podvoz Jablane na železniški progi Pragersko – Hodoš,
foto: Damir Klemenčič

IN MEMORIAM



JAŠ ŽNIDARIČ, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., 1931–2014

V 84. letu je umrl dolgoletni sodelavec in raziskovalni svetnik ZAG g. Jaš Žnidarič, univ. dipl. inž. grad. Rodil se je 24. novembra 1931 v Ljubljani, umrl pa 26. decembra 2014 v Mariboru.

Po končani klasični gimnaziji je leta 1957 diplomiral na Fakulteti za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. V okviru podiplomskega študija je svoje znanje dopolnjeval na Purdue University v ZDA. Zaposlil se je v takrat vodilnem slovenskem podjetju za inženirsko-tehnične gradnje Tehnogradnje Maribor. Tam je deloval kot projektant, vodja projektivnega biroja in tudi kot vodja večjih gradbišč doma in v tujini. Omeniti velja tribuno v Ljudskem vrtu v Mariboru, več prednapetih betonskih mostov čez Dravo in železniški most čez reko Eufkrat. Leta 1974 se je zaposlil na Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij kot raziskovalni svetnik in vodja izpostave v Mariboru. Po razdelitvi ZRMK je bil na Zavodu za gradbeništvo Slovenije pomočnik direktorja za tehnične zadeve in vse do upokojitve vodja izpostave v Mariboru. V obdobju med letoma 1988 in 1993 je bil docent na Fakulteti za gradbeništvo Univerze v Mariboru za predmet Tehnologija betona.

Tehnologija betona je ostala ena njegovih strokovnih ljubezni vse življenje, v Sloveniji je bil začetnik raziskav na področju betonov visokih zmogljivosti in ostal v stiku z njimi še dolgo po upokojitvi, tako na področju standardizacije s sodelovanjem v SIST TC/BBB kot tudi s sodelovanjem v Združenju za beton Slovenije.

Z dobrim poznavanjem teorije tehnologije betona – na eni strani in statistike, na drugi strani – je veliko prispeval k pravilnemu razumevanju in uporabi statističnih metod ocenjevanja in vrednotenja dosežene kakovosti betona. Hkrati je bil tudi med največjimi poznavalci degradacijskih procesov armiranega betona in načrtovalci učinkovitih postopkov sanacij. Predvsem po njegovi zaslugi Slovenija ni popolnoma nič zaostajala za stanjem v svetu, saj je aktivno sodeloval pri nastanjanju evropskih tehničnih dokumentov na omenjenem področju.

V devetdesetih letih je s sodelavci razvil sistem za ugotavljanje zanesljivosti mostnih konstrukcij, vključno z metodo za pregledovanje in ocenjevanje poškodovanosti in varnosti obstoječih mostov. Pri njegovi implementaciji se je zaradi aktualnosti vključila tudi Case Western Reserve University iz ZDA. Omenjeni sistem z nekaterimi nadgradnjami uporabljamo še danes.

Velik del njegovih strokovnih aktivnosti je bil usmerjen v oblikovanje tehničnih zahtev investitorja za posamezne vrste gradbenih del. Skupaj z mag. Damijano Dimić in dr. Janezom Žmavcem je leta 1994 vzpostavil sistem zagotavljanja kakovosti in potrjevanja skladnosti za izvajanje avtocestnega programa. Omenjeni dokument je zaradi pomanjkanja nacionalne tehnične zakonodaje na omenjenem področju dejansko omogočil začetek gradnje avtocestnega križa. Prav tako je aktivno sodeloval pri pripravi številnih tehničnih pogojev za betone in betonerska dela pri gradnji energetskih objektov.

Aktivno je sodeloval tudi pri nadgradnjah omenjenega sistema, predvsem pri njegovih uskladihah z novo evropsko zakonodajo. Žal vsi njegovi predlogi o nujnosti dopolnilne nacionalne tehnične zakonodaje, vključno z zakonodajo za vgradnjo, še do danes niso bili realizirani. Leta 2010 je prejel nagrado Družbe za raziskave v cestni in prometni stroki za življenjsko delo.

V Združenju za beton Slovenije je kot član sveta strokovnjakov veliko pripomogel s svojim znanjem in izkušnjami. S sodelavci je bil tudi avtor Slovarja strokovnih izrazov s področja uporabe betona, ki ga je marca 2005 izdalo Združenje za beton Slovenije. Na 10. letni skupščini ZBS 21. novembra 2014 je zaradi obsežnega, plodnega in strokovnega dela prejel naslov častnega člana Združenja za beton Slovenije.

Hvaležni smo za vse, kar je na svoji poklicni poti storil za ZAG in za razvoj tehnologije betona v Sloveniji.

**izr. prof. dr. Andraž Legat, univ. dipl. fiz.
dr. Jakob Šušteršič, univ. dipl. inž. grad.**

RIBJA BRV ČEZ LJUBLJANICO MED RIBJIM TRGOM IN GERBERJEVIM STOPNIŠČEM V LJUBLJANI

“RIBJA BRV” FOOTBRIDGE OVER LJUBLJANICA BETWEEN RIBJI TRG SQUARE AND GERBER STAIRCASE IN LJUBLJANA

Gregor Cipot, univ. dipl. inž. grad.

gregor.cipot@ponting.si

Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad.

viktor.markelj@ponting.si

Inženirski biro Ponting, d. o. o.
Strossmayerjeva 28, 2000 Maribor
Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo
Smetanova 17, 2000 Maribor

Strokovni članek

UDK 624.014.2:625.745.11(497.4Ljubljana)

Povzetek | V članku je predstavljena nova Ribja brv čez Ljubljano med Ribjim trgom in Gerberjevim stopniščem. Brv je zmagovalna rešitev javnega projektne anonimnega enostopenjskega arhitekturnega natečaja za izbiro strokovno najprimernejše rešitve za zamenjavo obstoječe dotrajane Ribje brvi. Staro mostno konstrukcijo iz dveh lesenih prečno povezanih nosilcev z leseno pohodno površino je zamenjala nova jeklena, vitka in transparentna konstrukcija, z ogrevano protidrsko aluminijasto pohodno površino, brezbarvno stekleno ograjo in linijsko LED-razsvetljavo. Projekt za izvedbo nove brvi smo izdelali v inženirskem biroju Ponting, d. o. o., iz Maribora. Izvedbo objekta je prevzelo gradbeno podjetje Makro 5 gradnje, d. o. o., iz Kopa, jekleno konstrukcijo pa so izdelali v podjetju Metalia, d. o. o., iz Trbovelj.

Ključne besede: Ribja brv, most za pešce, natečaj, jeklena konstrukcija

Summary | The paper presents the design and construction of the new “Ribja brv” footbridge over Ljubljana between Ribji trg square and Gerber staircase. The footbridge is a winning solution of the public, anonymous, single-stage architectural competition for the selection of the most appropriate technical solutions to replace existing and obsolete “Ribja brv” footbridge. Old bridge construction, which was made of two wooden, cross-linked beams with a wooden walking surface was replaced with a new, steel, thin and transparent design, with a heated aluminum anti-slip walking surface, colorless glass fence and LED line lighting. The final and detailed design projects for the new footbridge were made by Ponting Ltd. Consulting Engineering Bureau from Maribor. The construction was carried out by Makro 5 Construction Company Ltd from Koper, the steel construction was made in the company Metalia Ltd. from Trbovlje.

Keywords: Ribja brv, footbridge, competition, steel structure

1 • UVOD

Ribja brv je manjši most za pešce in kolesarje gorvodno od Tromostovja ter povezuje Hribarjevo in Cankarjevo nabrežje. Prvič so brv postavili kot začasno leta 1991 iz ostankov nosilcev iz lepljenega lesa, ki so jih uporabili pri obnovi Tromostovja (slika 1). Ker je brv kljub večim sanacijam z leti dotrajala, se je Mestna občina Ljubljana odločila za zamenjavo le-te z novo in trajnejšo konstrukcijo. S tem namenom je septembra 2012 razpisala javni projektni anonimni enostopenjski arhitekturni natečaj

za izbiro strokovno najprimernejše rešitve za zamenjavo obstoječe brvi. Prvonagrajeno natečajno rešitev, katere predlog je bil, da se nad reko položi čim transparentnejša, minimalistično oblikovana in elegantna brv, ki bo razpirala neokrnjene poglede vzdolž reke, a hkrati povezala oba bregova kot široko razgledišče nad reko, smo zasnovali v podjetju Ponting, d. o. o., v sodelovanju z birojem Arhitektura, d. o. o., iz Ljubljane. Tako je staro mostno konstrukcijo iz dveh lesenih prečno povezanih nosilcev z leseno pohodno

površino zamenjala jeklena, vitka in transparentna konstrukcija z ogrevano protidrsko aluminijasto pohodno površino, brezbarvno stekleno ograjo in linijsko LED-razsvetljavo (slika 2). Projektna faza PGD je bila izdelana in v celoti predana investitorju decembra 2013, projekt PZI pa februarja 2014 (Ponting, 2014). Gradbeno dovoljenje je upravna enota izdala 12. marca 2014. Na javnem razpisu je izvedbo pridobilo podjetje Makro 5 gradnje, d. o. o., jekleno konstrukcijo pa so izdelali v podjetju Metalia, d. o. o., iz Trbovelj. Izdelava jeklene konstrukcije se je v delavnici začela junija 2014, dela na gradbišču pa so se začela v začetku julija z odstranitvijo obstoječe brvi.



Slika 1 • Stara Ribja brv – avgust 2012



Brv je bila narejena v dobrih štirih mesecih in odprta septembra 2014.



Slika 2 • Nova Ribja brv – september 2014 (Foto: M. Kambič)



2 • KONSTRUKCIJA NOVE RIBJE BRVI

2.1 Splošno

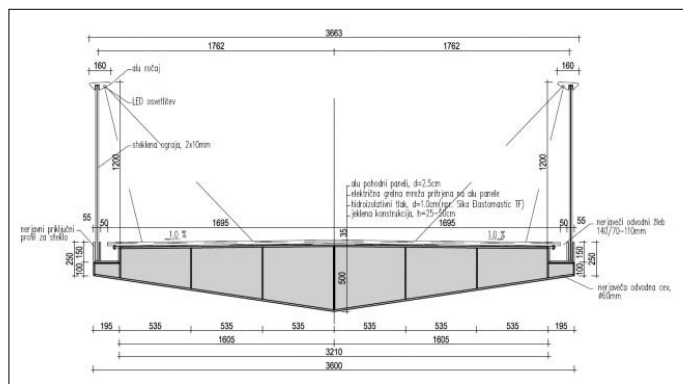
Brv je po statičnem sistemu asimetrična semiintegralna konstrukcija, kjer je prekladna konstrukcija tanka trapezna jeklena škatlja, ki se na desnem bregu Ljubljanice vpenja v betonski element, ki se členkasto naslanja na obstoječi oporni zid Ljubljanice, nato pa se nadaljuje v pilotno gredo, ki je temeljena preko dveh pilotov. S trapeznim prerezom prekladne konstrukcije je vzpostavljena vi-

zualna dinamika pri pogledih z reke (slika 3). Sprva iz daljave vidimo most le kot tanek robni »venec« z eno od spodnjih ploskev nosilne konstrukcije, ta pa se, ko se mostu bližamo, vizualno širi in se pod mostom razvije v celoten pogled na površino prekladne konstrukcije. Ta se v najnižji točki skoraj dotakne osrednje arkadne odprtine Plečnikove fasade pri Makalonci in je z distanco od nje umaknjena. Na tem mestu se konstrukcija

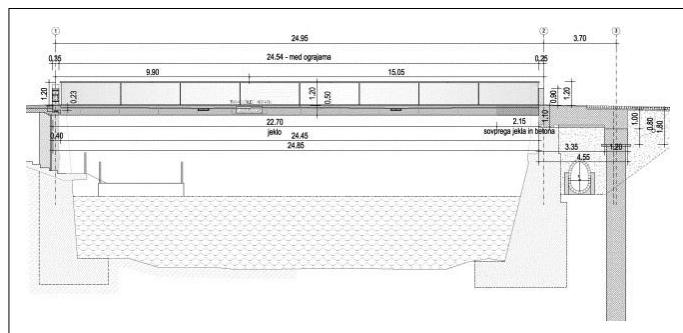
samo prosto naslanja preko elastomernih ležišč na obstoječa masivna betonska stebra (slika 4).

2.2 Podporna konstrukcija

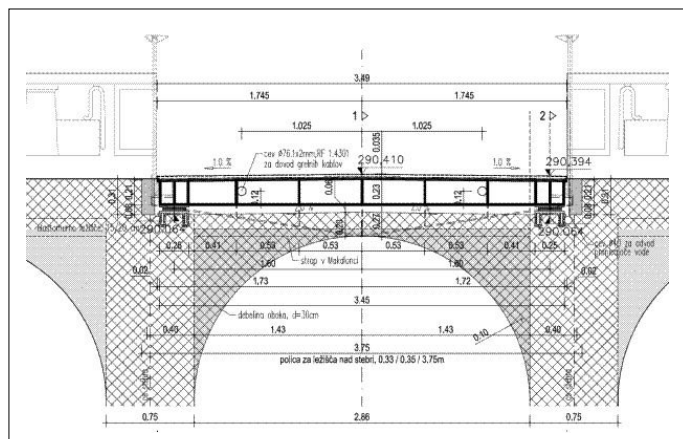
Ob stikih brvi z obalo in namestitvi ležišč novega mostu je bil izbran »arheološki« pristop. Tako se v največji možni meri ohranja obstoječe obrežne fasade v prvotni podobi. V ta namen so temelji in ležišča brvi umaknjeni za fasadne ploskve (slika 5). Zaradi zgoraj navedenega je prečnik v osi 1 pri Makalonci zaradi spomeniško zaščitene fasade in kamnite ograje ožji in tanjši (slika 6). Širok je



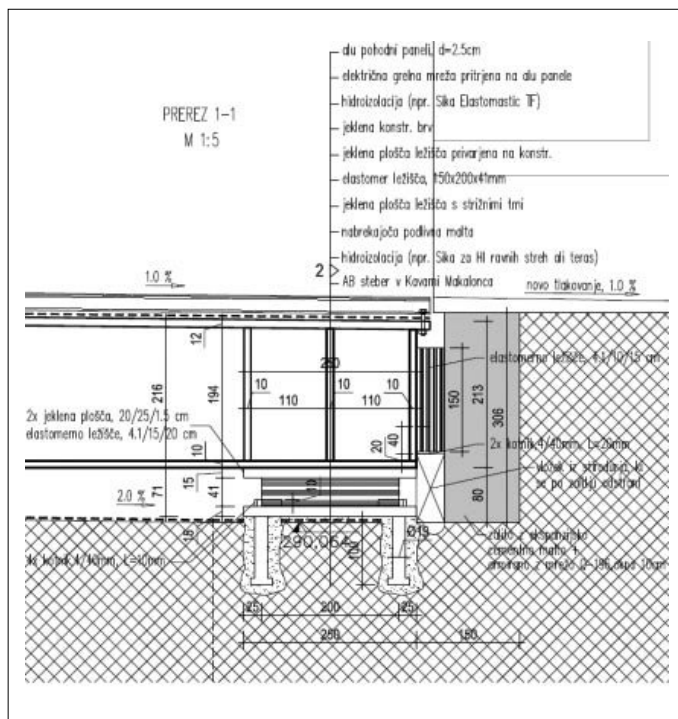
Slika 3 • Karakteristični prečni prerez mostu



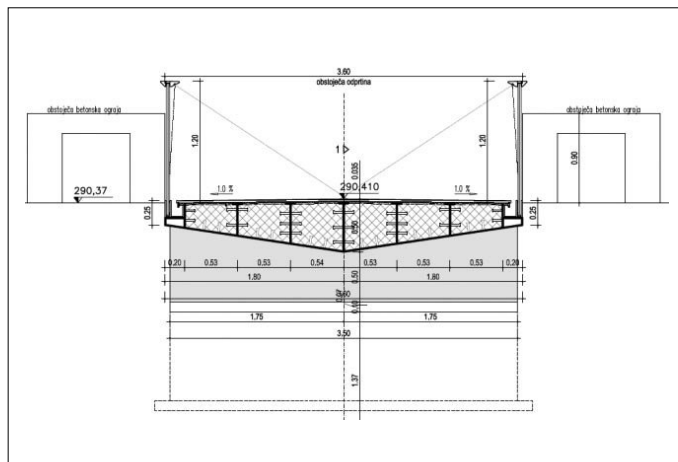
Slika 4 • Vzdolžni prerez mostu



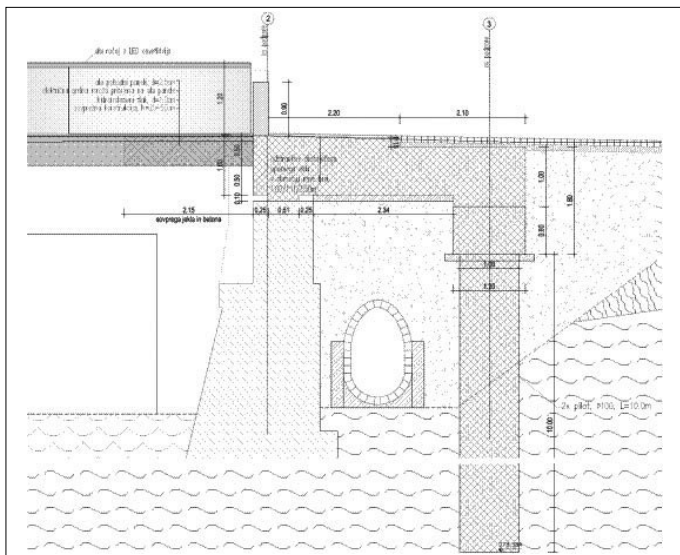
Slika 5 • Prečnik in ležišča na levem bregu pri Makalonci



Slika 6: Detajli ležišča na levem bregu pri Makalonci



Slika 7: Sovpeganje na desnem bregu



Slika 8 • Podporna konstrukcija na desnem bregu

3,49 m na zgornjem robu oz. 3,45 m na spodnjem, njegova debelina pa znaša 21–23 cm. Vertikalna elastomerna ležišča, preko katerih se konstrukcija naslanja na obstoječa masivna stebra, so dimenzij 150/200/41 mm in nosilnosti 300 kN. Dodatni dve bočni ležišči, ki preprečujeta pomike v prečni smeri, pa sta dimenzij 100/150/41 mm in nosilnosti 120 kN.

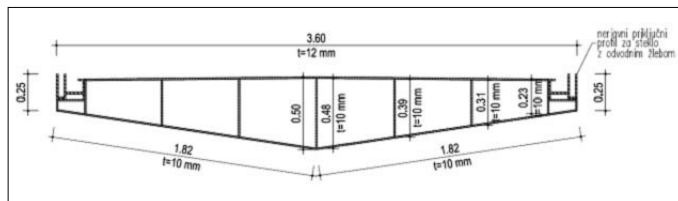
Na desnem bregu Ljubljance (sliki 7 in 8) se prekladna konstrukcija s sovpreganjem, ki je zagotovljena s 600 strižnimi trni $\varnothing 19$, $h = 100$ mm, vpenja v betonski element, ki se najprej členkasto naslanja na obstoječi oporni zid Ljubljance, nato pa nadaljuje v pilotno gredo višine 1,80 m, širine 3,50 m in debeline 1,20 m. Pilota sta premera 100 cm in dolžine 10 m, tako da je objekt na desnem bregu temeljen 12 m pod koto terena.

2.3 Prekladna konstrukcija

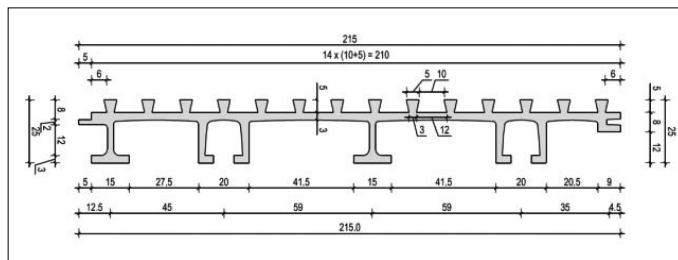
Prekladna konstrukcija (slika 9) je vitka (samo L/50) trapezna jeklena škatla dolžine

24,85 m in širine 3,60 m. Konstrukcijska višina prečnega prereza, ki ima trapezno obliko, je v sredini samo 50 cm, ob vencu pa se stanjša na 25 cm, kar daje konstrukciji izjemno eleganten videz. Venec, ki je iz nerjavnega jekla debeline 12 mm, služi za odvodnjo in vpetje steklene ograje. Debelina zgornje pasnice prečnega prereza je 12 mm, spodnje pasnice 10 mm. Prav tako so debeline 10 mm vzdolžna rebra in prečna rebra, ki so na rastru 2 m. Na večjem rastru sta samo prečni rebri v območju, kjer je prostor za vgradnjo dušilca, prav tako v tem delu ni sredinskega vzdolžnega rebra.

Dostopna jeklena konstrukcija je pred korozijo materiala zaščitena po navodilih in postopkih dobavitelja barve, tj. MCU Coatings International s. l., ki ga je zastopalo podjetje Chemcolor Sevnica, d. o. o. Premazni sistemi zagotavljajo pričakovano visoko trajnost več od 15 let za izpostavljenost konstrukcije C5-M po standardu ISO 12994. Debelina suhega filma znaša 220 μm oz. 270 μm ,



Slika 9 • Prekladna konstrukcija in debeline pločevin



Slika 10 • Načrt aluminijastega pohodnega panela

za po izgradnji nedostopni del prečnika v osi 1, za katerega je bila zahtevana visoka trajnost več od 40 let v skladu z ZTV-ING Korrosionsschutz von Stahlbauten. Nedostopna notranjost je zaščitena pred korozijo po načelu zrakotesne konstrukcije.

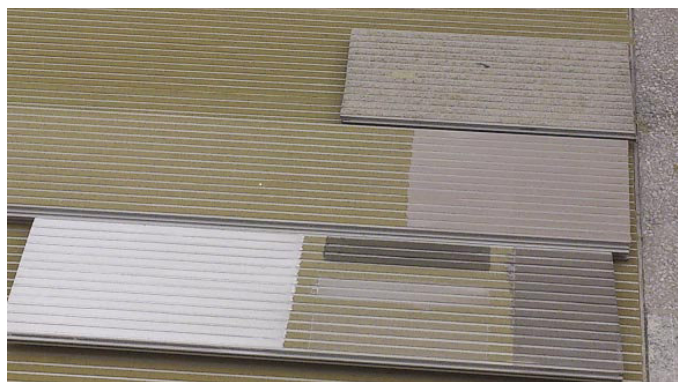
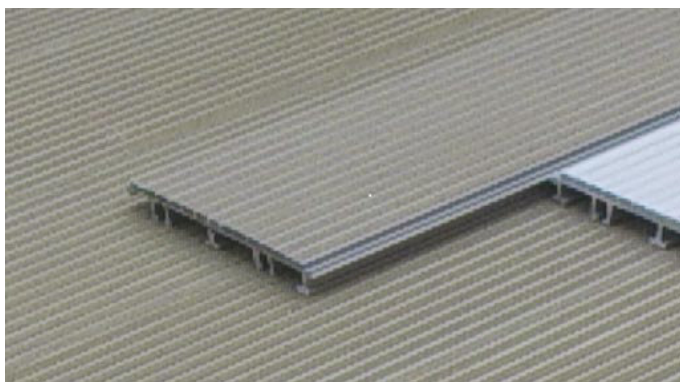
2.4 Oprema in detajli

Pohodna površina

Pohodna površina preko jeklene konstrukcije je večslojna: hidroizolativni tlak (Sikalastomastic TF), električni grelni kabli Deviflex 30, pritrjeni na aluminijaste pohodne panele, ki so eloksirani v svetlo sivi barvi ter dodatno protidrsko obdelani s kremenčevim peskom na poliuretanski masi (sliki 10 in 11). Aluminijasti pohodni paneli so bili razviti v sodelovanju s tehnologi iz podjetja Impol PCP, d. o. o., iz Slovenske Bistrice, kjer so profile tudi izdelali.

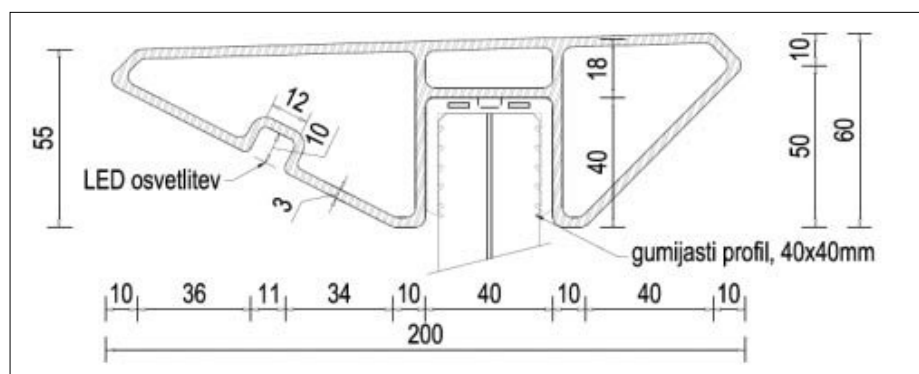
Ograja, ročaj in razsvetljava

Steklena ograja iz brezbarvnega varnostnega stekla je visoka 1,20 m, kar zagotavlja



Slika 11 • Aluminijasti pohodni paneli s protidrsko obdelavo v različnih barvah

varnost pešcev in kolesarjev. Steklo je sestavljeno iz ESG 10 + PVB 1,52 + ESG 10 + PVB 1,52 + ESG 10 in je pritrjeno z vijaki M12 v element iz nerjavnega jekla. Ročaj (slika 12) je iz aluminija in je bil prav tako razvit v sodelovanju s tehnologijo iz podjetja Impol PCP, d. o. o., iz Slovenske Bistrice, kjer so ga tudi kasneje izdelali. Razsvetljava tipa LED STRIP XELIX – 14,4 W, 60 LED s/m, 50/50 IP65, 12V – je vgrajena v predpripravljeno rego na aluminijastem ročaju (slika 13).



Slika 12 • Načrt ročaja iz aluminija



Slika 13 • Pogled na montirani ročaj z razsvetljavo



Odvodnja

Odvodnja poteka vzdolžno preko elementa iz nerjavnega jekla (slika 14), ki služi za odvodnjo in vpefje steklene ograje. Odtok je izveden preko odvodnih cevi direktno v Ljubljano. Velikost odvodnih cevi je 53 cm x 3 cm.

Dilatacija

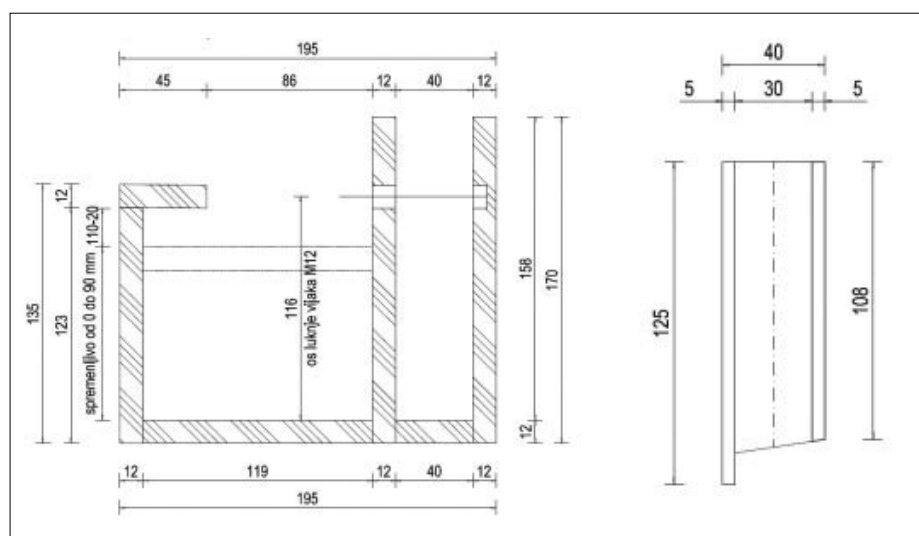
V osi 1 pri Makalonci je vgrajena dilatacija D30 proizvajalca Maurer Söhne, in sicer Maurer K-30, N-B.

Dušilec vibracij (Tuned mass damper – MTMD-V)

Ker je konstrukcija izjemno vitka (L/50), je že dinamična analiza pokazala nesprejemljivo obnašanje v primeru sinhronega teka več pešcev, s tem pa potrebo po vgradnji dušilca vibracij. To je naprava, sestavljena iz koncentrirane mase, ki je povezana s konstrukcijo preko vzmeti in dušilcev, ki imajo zahtevano

togost in dušenje (slika 15). Naprave so projektirane tako, da razdelijo kritično frekvenco v dve novi frekvenci (ena nad začetno frekvenco

in ena pod njo). V Ribjo brv je bil vgrajen dušilec vibracij (MTMD-V) z naslednjimi karakteristikami:



Slika 14 • Element iz nerjavnega jekla (levo) in prerez pravokotne odvodne cevi (desno)

dolžina/širina/višina
1,33 m/0,85 m/0,325 m
nihajna masa/skupna masa:
1500 kg/ 1790 kg
togostna konstanta:
397 kN/m
konstanta dušenja:
6,917 kNs/m
frekvenca dušilca:
2,593 Hz ($\pm 3\%$)

Po zagotovilih proizvajalca vgrajenega MTMD-V (Maurer Söhne) vzdrževanje tega ni potrebno, ob rednih pregledih mosta se le vizualno preveri tudi naprava, za kar je predvidena dostopna komora, v katero je vgrajen MTMD-V. Pokrov komore je privijačen. Doba delovanja naprave je po zagotovilih proizvajalca najmanj 50 let.

2.5 Materiali

| | |
|------------------------------------|---|
| Podložni (nekonstrukcijski beton): | C 12/15, nearmirani beton |
| Piloti: | C 25/30 |
| Pilotna greda: | C 30/37 |
| Prekladna konstrukcija z sovprego: | C 30/37 |
| Armatura: | B 500 B, visokoduktilno jeklo |
| Štrižni trni: | S 235 J2G3 + C450 |
| Jeklena konstrukcija: | S 355 J2G3 po EN 10025 |
| Venec: | nerjavno jeklo kvalitete 1.4404 |
| Ročaj na ograji iz aluminija: | EN – AW 6060 T66 obdelava površine: natur eloksan E6 |
| Pohodni profil iz aluminija: | EN – AW 6005 T6 obdelava površine: natur eloksan E6 |



Slika 15 • Vgrajeni MTMD-V

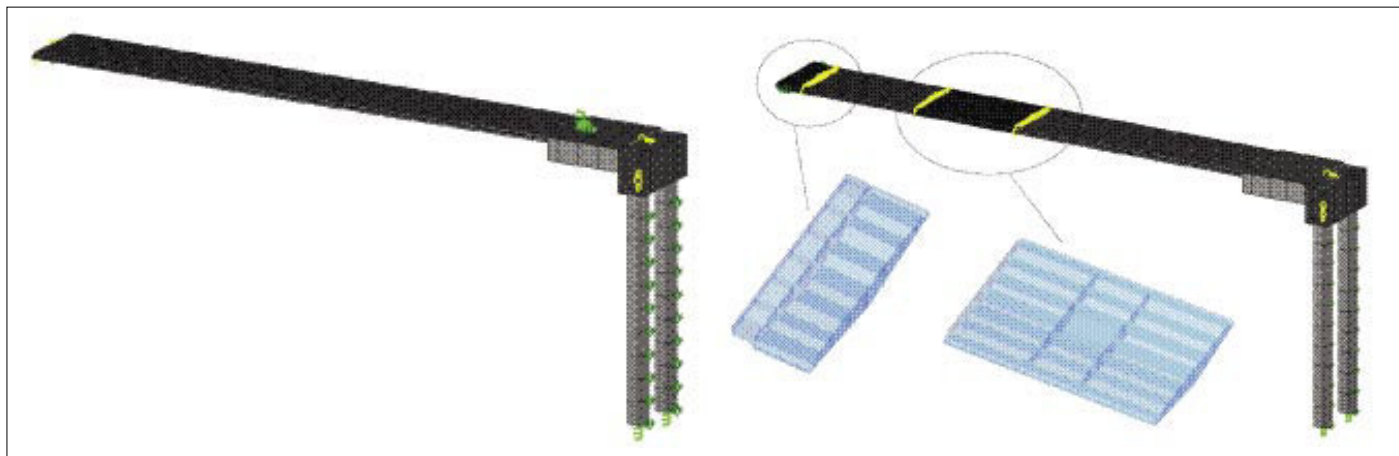
3 • STATIČNA IN DINAMIČNA ANALIZA TER OBTEŽILNI PREIZKUSI

3.1 Statična analiza in obtežilni preizkus

Statična analiza je bila opravljena s programskim paketom SOFISTI^K na linijskem MKE-modelu (globalna analiza) in na kombiniranem modelu iz linijskih in ploskovnih elementov, ki je služil za lokalne dokaze (slika 16). Model konstrukcije je bil opisan z upoštevanjem dejanske geometrije in z upoštevanjem de-

janskih karakteristik uporabljenih materialov. Dodatno sta bila uporabljena še programa LARIX (za kontrolo opornega zidu Ljubljani) in CUBUS (za dimenzioniranje in kontrolo prečnih prerezov). Obtežbe so bile določene v skladu s predpisi SIST EN 1991 – Obtežbe mostov (prometna obtežba). Statična analiza in dimenzioniranje pa sta bila opravljena v

skladu s predpisi SIST EN 1992 – Betonske konstrukcije, SIST EN 1993 – Jeklene konstrukcije, SIST EN 1994 – Sovprežne konstrukcije. Dinamično-potresna analiza pa je bila opravljena v skladu z EUROCODE 8 – del 2. Za porebe določitve kvalitete izvedbe objekta ter ugotovitev točnosti računskih analiz in projektantskih predpostavk se je izvedla poskusna obtežitev nove Ribje brvi. Po veljavnih predpisih (Eurocode) in zakonih (ZGO-1) poskusna obtežitev ni obvezna, zato tudi ni točnih navodil za izvedbo le-te, ker pa gre pri



Slika 16 • Linijski MKE-model (levo) in kombinirani MKE-model (desno)

novi Ribji brvi za inovativno jekleno konstrukcijo z izredno vitkostjo, smo se vseeno odločili, da poskusno obtežitev opravimo. Statični obtežilni preizkus se je izvedel s 4 obtežilnimi žerjavnimi bloki dimenzij 2,50 m x 0,60 m x 0,50 m. Teža 1 bloka je bila 20 kN, skupaj torej 80 kN, kar je približno 22 % skupne koristne projektne obtežbe oz. je obremenitev znašala 53 % največjega projektne upogibnega momenta. Bloki so bili položeni v skladu z navodili za izvedbo obtežilne preizkušnje in so bili nameščeni po konstrukciji na mestu največjih pomikov, in sicer simetrično in asimetrično glede na vzdolžno os konstrukcije. Preverjale so se deformacije konstrukcije pod vplivom predvidenih obtežb. Na mestu neoprenskih ležišč v osi 1 sta bili nameščeni merilni urici z natančnostjo 1/100 mm (slika 17). Pri primerjavi rezultatov poskusne obremenitve in računskih analiz je bilo ugotovljeno, da se konstrukcija obnaša v skladu z opravljenimi računskimi analizami.

3.2 Dinamična analiza in dinamični preizkusi

Mostovi za pešce in kolesarje so zaradi svoje zasnove (vitkost in relativno majhna masa) podvrženi vibracijam, ki jih povzročajo dinamični vplivi koristne obtežbe (pešci) ((Bachmann, 1987), (Heinemeyer, 2009)). Zaradi izjemne vitkosti Ribje brvi (L/50) je bila opravljena dinamična analiza, rezultat le-te pa je bilo nesprejemljivo oz. neudobno obnašanje konstrukcije v primeru sinhronnega teka več pešcev. Razredi udobja glede na pospeške so prikazani v preglednici 1.

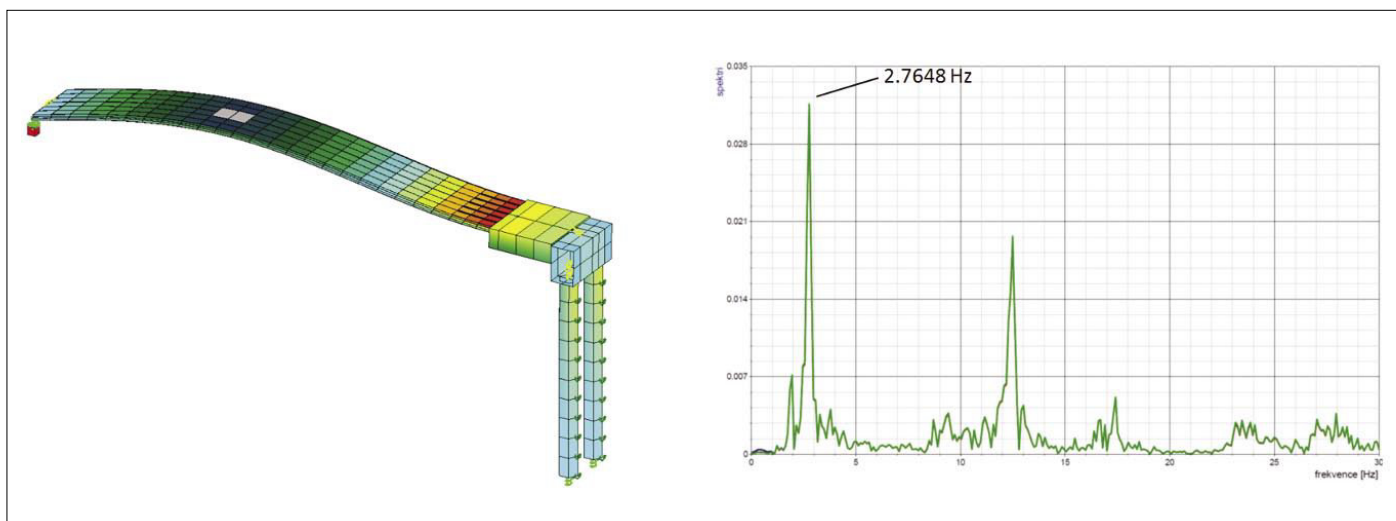
Na splošno je območje kritičnih lastnih frekvenc za vertikalne in vzdolžne vibracije, ki jih povzročajo pešci, naslednje:



Slika 17 • Merilna urica med poskusno obremenitvijo

| RAZRED UDOBJA | STOPNJA UDOBJA | VERTIKALNI POSPEŠEK | PREČNI POSPEŠEK |
|---------------|-----------------------|---|---|
| CL 1 | Maksimalna udobnost | $< 0,50 \text{ m/s}^2$ | $< 0,10 \text{ m/s}^2$ |
| CL 2 | Srednja udobnost | $0,50 \text{ m/s}^2 - 1,00 \text{ m/s}^2$ | $0,10 \text{ m/s}^2 - 0,30 \text{ m/s}^2$ |
| CL 3 | Sprejemljiva udobnost | $1,00 \text{ m/s}^2 - 2,50 \text{ m/s}^2$ | $0,30 \text{ m/s}^2 - 0,80 \text{ m/s}^2$ |
| CL 4 | Neudobno | $> 2,50 \text{ m/s}^2$ | $> 0,80 \text{ m/s}^2$ |

Preglednica 1 • Razredi udobja in mejni dovoljeni pospeški



Slika 18 • Računalniški 3D-model: izračunana frekvenca 2,76 Hz (levo) in rezultati dinamičnih testov po izgradnji brvi (desno) (5)

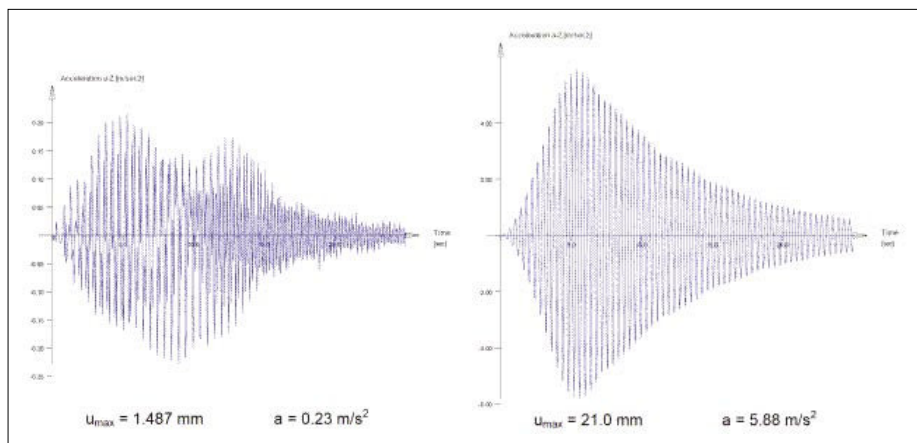
- 1,25 Hz–2,3 Hz – visoka in srednja nevarnost resonance pri hoji
- 1,90 Hz–3,5 Hz – visoka in srednja nevarnost resonance pri teku

Pri dinamični analizi Ribje brvi je bila izračunana prva lastna frekvenca 2,76 Hz, kar je znotraj območja frekvenc, ki so značilne za vzbujanja, ki jih povzročajo pešci (slika 18). Ta frekvenca je bila po izgradnji mostu potrjena tudi z meritvami, ki jih je opravila Fakulteta za gradbeništvo Univerze v Mariboru ((Holtermann, 2014), (Štrukelj, 2014)).

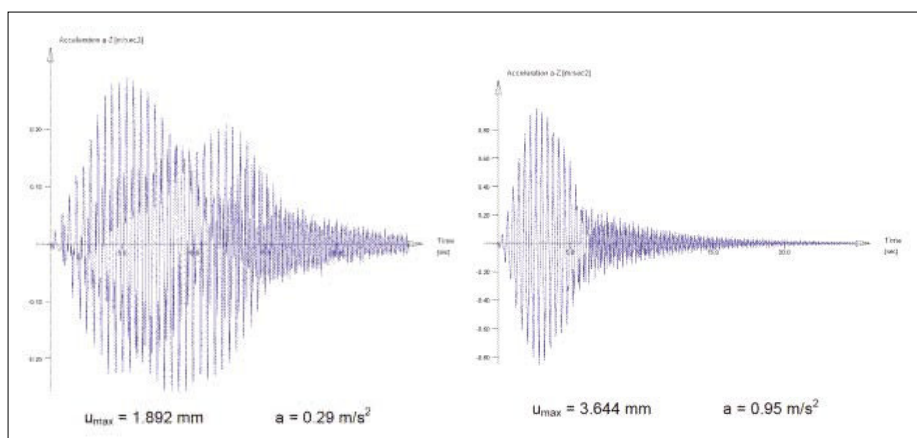
Za analizo vibracij brvi v mejnem stanju uporabnosti sta bili uporabljeni dve metodologiji:

- **metoda s spektrom odziva** (tj. metoda, predstavljena v Tehničnem poročilu JRC, ki je bilo izdano v okviru raziskovalnega programa JRC-ECCS za razvoj Evrokoda 3). Narejena je bila kontrola vseh razredov obremenitev za ugotovitvijo pripadajoče stopnje ugodja.
- **metoda s časovnim odzivom (Time history analysis)**, pri kateri so bile uporabljene smernice iz dokumenta Vibrations in Structures Induced by Man and Machines, ki ga je izdal IABSE v okviru Structural Engineering Documents. Narejena je bila analiza za hojo in tek od enega do štirih pešcev, ki sinhrono hodijo oz. tečejo preko mostu (slika 19).

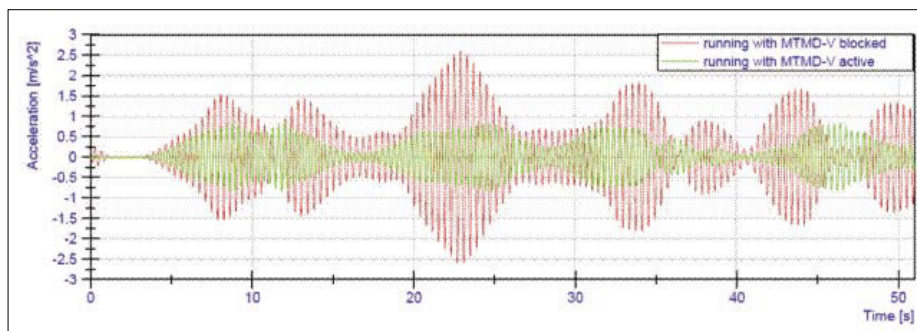
Opravljenе dinamične analize so pokazale nesprejemljivo obnašanje konstrukcije v primeru sinhronega teka več pešcev, saj so bili izračunani pospeški večji od $2,50 \text{ m/s}^2$, kar uvršča konstrukcijo v razred udobja 4 (CL4 – neudobno). Za primer hoje je dinamična analiza pokazala, da je konstrukcija v prvem razredu udobja (CL1 – maksimalna udobnost) za vse razrede prometnih obremenitev. Na podlagi opravljenih dinamičnih analiz (slika 20) so bile nato v skladu s Tehničnim poročilom JRC določene karakteristike MTMD-V, ki so natančneje opisane v poglavju 2.4. Hkrati s kasnejšo vgradnjo MTMD-V so bile opravljene ponovne meritve frekvenc in pospeškov od strokovnjakinje proizvajalca TMD (Maurer Söhne), s čimer se je preverila učinkovitost vgrajenega dušilca vibracij (slika 21). Meritve so se opravile z blokirano in z aktivirano napravo, in sicer s tekom šestih ljudi in s skakanjem štirih ljudi. Tokrat je bila izmerjena frekvenca 2,74 Hz. Malenkostna razlika med predhodno izmerjeno in izračunano frekvenco je najverjetneje bila posledica vgrajenega MTMD-V in s tem dodatne mase konstrukcije. Kot je razvidno s slike 21, je bil izmerjeni pospešek pri teku šestih ljudi $2,61 \text{ m/s}^2$ (CL4) pri blokiranem



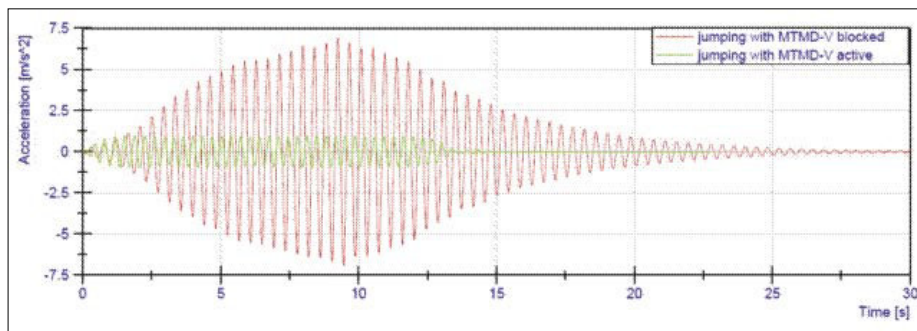
Slika 19 • Rezultati analize za hojo (levo) in tek (desno) štirih pešcev brez MTMD-Vpo izgradnji brvi (desno) (5)



Slika 20 • Rezultati analize za hojo (levo) in tek (desno) štirih pešcev z MTMD-V



Slika 21 • Pospeški pri teku šestih pešcev pri blokiranem in aktiviranem MTMD-V (3)



Slika 22 • Pospeški pri skakanju štirih pešcev pri blokiranem in aktiviranem MTMD-V (3)

MTMD-V in 0.83 m/s^2 (CL2) pri aktiviranem. Pospeški so se zmanjšali za faktor 3.14. Še večja učinkovitost MTMD-V se je pokazala

pri skakanju štirih ljudi. Pospešek 6.88 m/s^2 (CL4) pri blokiranim se je zmanjšal za faktor 7.17 na 0.96 m/s^2 (CL2) pri aktiviranem

MTMD-V, prav tako je bilo dušenje konstrukcije po končanem skakanju precej večje pri aktivirani napravi (slika 22).

4 • GRADNJA

V prvi fazi je bilo treba odstraniti obstoječo leseno in dotrajano Ribjo brv, ki so jo dvignili z avtodvigalom in jo nato po razreзу odpeljali na deponijo. V naslednji fazi so se na lokaciji brvi izvedli betonski uvrtni piloti in del podporne konstrukcije, tako da je bilo nato mogoče izvesti sovpreganje z jekleno konstrukcijo (slika 23). Prav tako se je v osi 1 pri Makalanci pripravil prostor za ležišča. Hkrati z deli na gradbišču se je v delavnici

izdelovala jeklena konstrukcija. Najprej so se izdelali trije posamezni segmenti konstrukcije, ki so jih nato zavarili v zaključeno konstrukcijo dolžine 24,85 m in teže 26 ton. V delavnici sta se že izvedli HI Sikalastomastic TF in končna antikorozijska zaščita brvi, tako da je bila osnova brvi na lokacijo pripeljana praktično končana (slika 24).

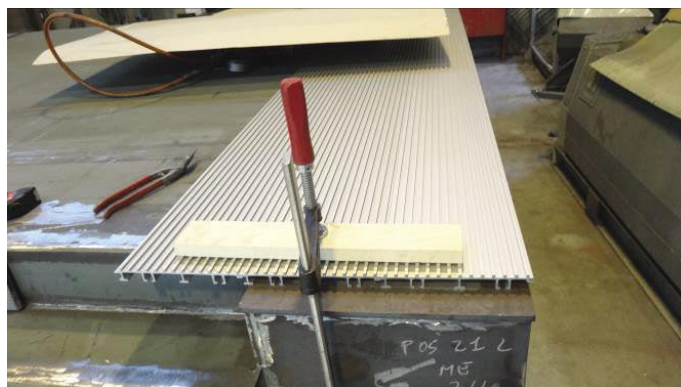
Po dokončanju brvi v delavnici je sledil transport konstrukcije na gradbišče. Transport

je od delavnice do kraja montaže potekal po cesti. Konstrukcija se je z avtodvigalom dvignila in zmontirala na končna ležišča v osi podpore 1 (tj. pri Makalanci), v osi podpore 2 (tj. na desnobrežnem betonskem zidu Ljubljane) pa se je postavila na začasne podpore (slika 25).

Po montaži se je izvedlo sovpreganje jeklenega nosilca s podporno konstrukcijo na Ribjem trgu. Na koncu so se opravile še montaža pohodne površine s talnim gretjem, montaža steklene ograje in aluminijastega ročaja z razsvetljavo ter vgradnja dušilca vibracij (slika 26).



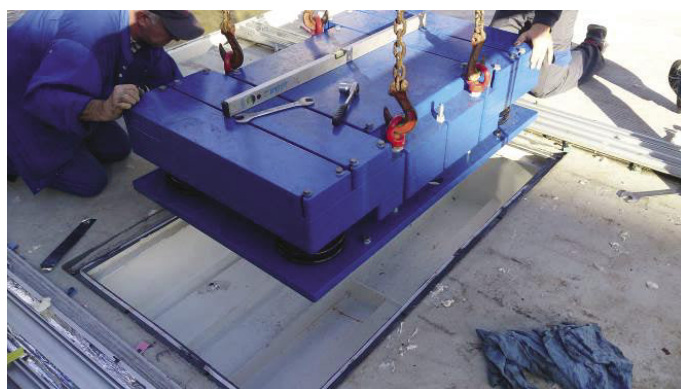
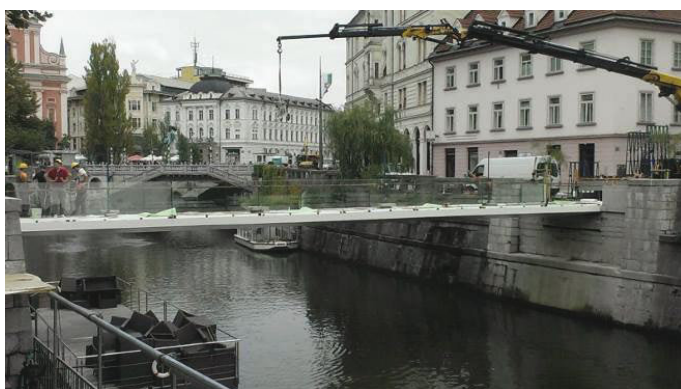
Slika 23 • Odstranitev dotrajane brvi (levo) in izvedba podporne konstrukcije za novo brv (desno)



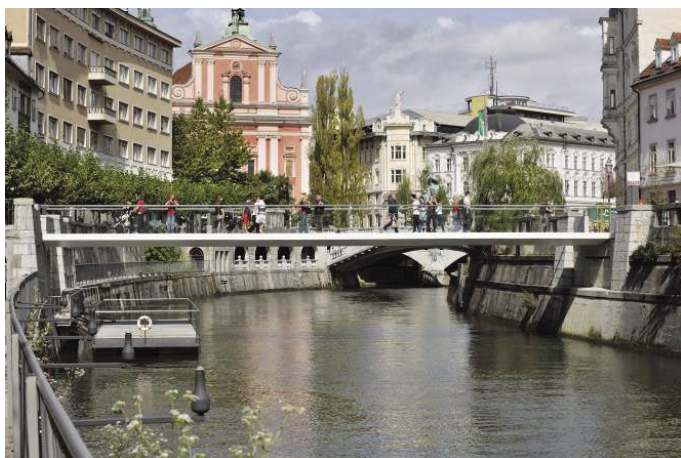
Slika 24 • Izdelava prvega segmenta (levo) in poskusna montaža pohodnih panelov (desno)



Slika 25 • Priprava konstrukcije za transport (levo) in montaža (desno)



Slika 26 • Montaža steklene ograje (levo) in vgradnja dušilca vibracij (desno)



Slika 27 • Končana Ribja brv (Foto: M. Kambič)

5 • SKLEP

Gradnja brvi je trajala dobre štiri mesece. Uradno so jo otvorili konec septembra lani in je glede na dostopne informacije med meščani dobro sprejeta. Za projektante in

izvajalce je nova Ribja brv bila svojevrsten izziv. Zasnova in oblika mostu sta morali odgovoriti na izredno zahtevne robne pogoje premostitve, hkrati pa se je moral most trans-

parentno vključiti v občutljivo okolje starega mestnega jedra (slika 27). Pri novi Ribji brvi so se izrazile iznajdljivost, potrpežljivost in marljivost vseh vpletenih projektantov, izvajalcev, investitorja in nadzornih inženirjev. Prinesla je nove izkušnje, zadovoljstvo in dodatno motivacijo za nadaljnje delo.

6 • LITERATURA

- Bachmann, H., Ammann, W., *Vibrations in Structures Induced by Man and Machines*, IABSE Structural Engineering Documents, No. 3e, 1987.
- Heinemeyer, C., Butz, C., Keil, A., Schlaich, M., Goldack, A., Trometer, S., Lukić, M., Chabrolin, B., Lemaire, A., Martin, P. O., Cunha, A., Caetano, E., *Design of Lightweight Footbridges for Human Induced Vibrations*, JRC-Scientific and Technical Report, Background document in support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocode 3, 2009.
- Holtermann, L., *Vibration measurements at the pedestrian bridge Ribja brv in Ljubljana for the determination of the natural frequencies of the bridge and the efficiency of the installed Tuned Mass Damper (MTMD-V)*, Technical report Maurer Söhne, oktober 2014.
- Ponting, d. o. o., *Ribja brv med Ribjim trgom in Gerberjevimi stopniščem*, PGD, PZI in PID, št. projekta 484/12, 2012–2014.
- Štrukelj, A., *Poročilo o meritvi vibracij in določitvi lastnih frekvenc Ribje brvi v Ljubljani*, poročilo Fakultete za gradbeništvo Univerze v Mariboru, september 2014.

VKLJUČITEV HIDRAVLIČNE ANALIZE ODTOČNIH RAZMER PRI NAČRTOVANJU GRADBENIH FAZ

THE INTEGRATION OF THE HYDRAULIC ANALYSIS OF RUNOFF REGIME IN PLANNING OF THE CONSTRUCTION PHASES

mag. Gašper Rak, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem
Hajdrihova 28, Ljubljana

Strokovni članek

UDK 519.8:627.8.034(497.4)

Povzetek | V fazi načrtovanja posegov v vodni in obvodni prostor so hidravlične modelne raziskave odtočnih razmer uveljavljeno orodje pri iskanju končnih rešitev, ki poleg funkcionalnosti zagotavljajo ohranjanje oziroma izboljšanje poplavne in erozijske nevarnosti. Redkeje pa se hidravlične analize vključuje v postopke priprave načrta poteka gradnje, načrtovanje začasnih objektov in ukrepov itd. Pomembnost analiz odtočnih razmer v posameznih vmesnih fazah gradnje se kaže predvsem pri umeščanju obsežnejših in kompleksnih posegov, katerih gradnja traja dlje časa (več let). V obdobju gradnje ima lahko začasno stanje v prostoru (posamezna vmesna faza gradnje) bistveno bolj neugoden vpliv na odtočne razmere kot končno načrtovano stanje. Pomembnost vključitve hidravlične analize v načrtovanje gradbenih faz je v prispevku prikazana na primeru umeščanja posegov v prostor po državnem prostorskem načrtu za območje hidroelektrarne Brežice. Z analizo odtočnih razmer v posameznih fazah gradnje je bilo mogoče preveriti morebitno povečanje nevarnosti in ogroženosti ter tako posledično prilagoditi oziroma optimizirati predviden potek gradnje, kar prispeva k zmanjšanju tveganj kot tudi stroškov.

Gljučne besede: odtočne razmere, hidravlična analiza, numerično modeliranje, HE Brežice, faznost izgradnje

Summary | In the planning stage of the interventions in water space and riparian areas, hydraulic model research of runoff regime is an established tool in the search of final solution, which in addition to providing the functionality provides preservation or mitigation of flood and erosion hazard. Less frequently, hydraulic analyses are included in the process of construction phase plan preparation, planning of temporary structures and measures, etc. The importance of the analysis of runoff regime in particular intermediate phase of the construction is mainly reflected in siting of an extensive and complex intervention, the construction of which takes a long time (several years). During the construction the temporary state in the area (particular intermediate phase of construction) could have significantly more adverse effect on the runoff regime than the final design state. The importance of hydraulic analysis introduced in the planning of the construction phases is presented on the case of siting intervention according to national spatial plan for HPP Brežice. The analysis of runoff regime during particular stage of construction enabled the verification of a potential increase of hazard and risk, and consequently the planned construction process was adapted and optimized, which contributed to reducing risks as well as costs.

Key words: runoff regime, hydraulic analysis, numerical modelling, HPP Brežice, phases of construction

1 • UVOD

Pri (večjih) posegih v prostor je treba analizirati tako vplive na okolje kot vpliv okolja na objekte. Tudi vpliv voda (poplavnih, podzemnih idr.) projektant upošteva pri dimenzioniranju objektov, v katerih primerih pa se izdelava tudi presoja vplivov na (vodno) okolje, pa določa Uredba o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje (RS, 2014). Ena od strokovnih podlag pri presoji vplivov na okolje za posege v vodotoke ter na vplivnem območju voda je tudi analiza odtočnih razmer, ki pokaže razliko med obstoječim in načrtovanim stanjem vodnih tokov, globlin, strižnih napetosti (erozije) idr. Za dokaz ohranjanja, če že ne izboljšanja, poplavne in erozijske varnosti pri analizi sedanjega stanja ter načrtovanja in optimiziranja predvidenega končnega stanja je fizično ali matematično hidravlično modeliranje ustaljena in uveljavljena praksa.

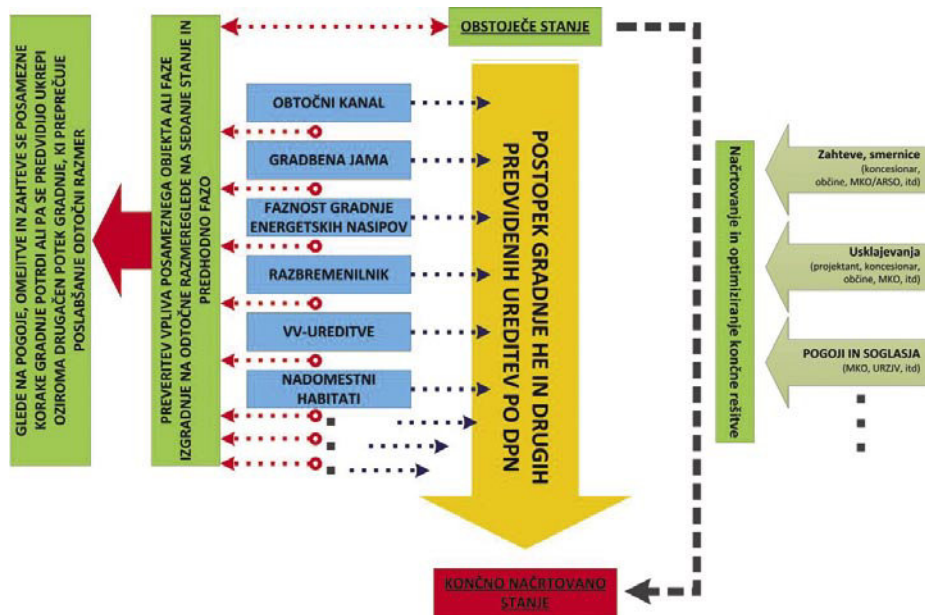
Pri načrtovanju gradnje pa ne sme biti zastavljena ali pomanjkljiva niti analiza stanja v posameznih fazah gradnje niti vpliv začasnih objektov ali ukrepov (dovozne poti, premostitve ipd.). Zlasti v primerih večjih in kompleksnih posegov bi se lahko izkazalo, da posamezna vmesna faza (v primerjavi s končnim načrtovanim stanjem) bistveno bolj neugodno vpliva na odtočne razmere ter posledično na poplavno in erozijsko nevarnost samega gradbišča in drugih uporabnikov prostora. S hidravlično analizo, s katero se določajo obseg poplavljenosti, porazdelitev hitrosti oz. erozijskih sil vodnih tokov in tudi spremembe celotnega odtočnega režima na obravnavanem območju, je treba ugotoviti morebitna tveganja in prilagoditi oziroma optimizirati predvidene faze gradnje posameznih objektov ali ureditev, kar prispeva k zmanjšanju tveganj in stroškov.

Rezultati hidravlične analize posameznih faz omogočajo ovrednotenje tveganj med gradnjo, tj. v prehodnem stanju prostora med sedanjimi in načrtovanimi razmerami. Če se ugotovi možno poslabšanje stanja v neki fazi gradnje, npr. preusmeritev toka vode ali zajezitev zaradi začasnih deponij zemljine, se predvidijo omilitveni ukrepi za preprečitev povečanja nevarnosti in ogroženosti ali pa načrtujejo drugačni ukrepi oz. drugačna faznost izvedbe posameznih objektov, ureditev itd.

Prikazan je primer načrtovanja in izvajanja faz gradnje pri posegu v prostor po državnem prostorskem načrtu (DPN) za HE Brežice. V sklopu DPN se v prostor umeščajo objekti in ureditve, potrebni za delovanje hidroelektrarne,

kot so nasipi akumulacije, pregradni objekti HE idr., vključno z deponijami za odlaganje materiala ob čiščenju struge Save. Hkrati se v prostor umeščajo posegi za rekonstrukcijo obstoječih in gradnjo novih visokovodnih nasipov in drugih ureditev za zagotavljanje poplavne varnosti v vplivnem območju, ureditve izlivnega odseka Krke in obvodnega prostora, kot to zahtevajo smernice Zavoda RS za ribištvo, nadomestni habitati itd. Gre torej za umestitev kompleksnega sistema infrastrukturnega objekta in spremljajočih ureditev v območje, kjer se prepletajo številne zahteve, omejitve in pogoji številnih soglasodajalcev, subjektov, ki so v projekt neposredno vključeni, ter drugih udeležencev, ki sicer v projekt niso neposredno vključeni, bi pa načrtovani posegi morebiti lahko tako ali drugače vplivali nanje oziroma na njihovo opravljanje dejavnosti itd. Zaradi strogih varnostnih zahtev Nuklearne elektrarne Krško, ki leži v neposredni bližini območja urejanja HE Brežice, ter morfološke, hidrološko-hidravlične in antropogene kompleksnosti retenzijskega prostora, ki bi lahko vplivale tudi na odtočne razmere na meji z Republiko Hrvaško, že od leta 2007 potekajo intenzivne hidravlične analize odtočnih razmer pred izgradnjo HE Brežice in HE Mokrice in po njej. Za zagotavljanje ustrezne natančnosti oz. zanesljivosti modelnih napovedi o vplivu predvidenih posegov v prostor po DPN HE Brežice

in DPN HE Mokrice je bilo uporabljeno hibridno hidravlično modeliranje (HHM), ki je bilo že predstavljeno v različnih virih ((Mlačnik, 2011), (Rak, 2010), (Rak, 2012)). Z obsežnim modeliranjem so se analizirale in optimizirale lokacije nasipov akumulacije, dimenzije in lokacije objektov za razbremenjevanje visokih voda, prelivni objekt HE in drugi spremljajoči posegi v prostor. Ker se v dveh DPN obravnava obsežno območje, je bilo treba za načrtovano stanje analizirati še morebitne vplive načrtovanih investicij drugih uporabnikov prostora, kot so npr. ureditev sotočja Save in Krke ter gorvodnega odseka Krke, umeščanje regionalne ceste Krško–Brežice, zagotavljanje poplavne varnosti Nuklearne elektrarne Krško (NEK), morebitno širitev avtoceste za tretji vozni pas idr. Gradnja tako obsežnih objektov traja več let, zato se spremembe odtočnih razmer dogajajo postopoma, npr. v fazi izgradnje jezovne zgradbe, ko je potreben obtočni kanal ob gradbeni jami, oziroma gradnje nasipov in spremljevalnih posegov, kar bi lahko vplivalo na odtočne razmere. Zato so za podrobnejše načrtovanje v fazi izdelave PGD in PZI bile analizirane še odtočne razmere na vplivnem območju HE Brežice v posameznih fazah gradnje. Pri opredelitvi variant oz. faz izvedbe, vključenih v hidravlično raziskavo, pripravo vhodnih podatkov geometrije gradbišča, deponij in faz nasipov, za izbiro scenarijev ter pregled in vrednotenje vmesnih rezultatov izračunov kakor tudi za prevzem končnih rezultatov je bilo ključno dobro sodelovanje s projektantom HE Brežice (IBE, d. d.).



Slika 1 • Konceptualni prikaz aktivnosti pri načrtovanju izvedbe objekta po fazah

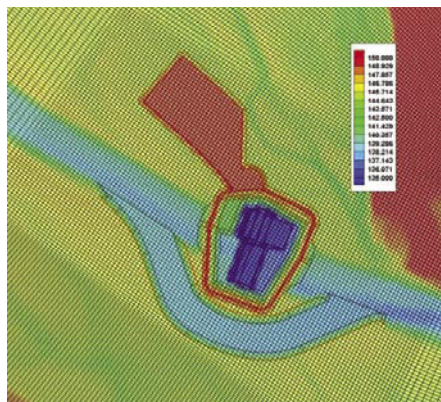
2 • HIDRAVLIČNO MODELIRANJE

V sklopu hibridnega hidravličnega modeliranja (HHM) je bil za programsko orodje uporabljen kombinirani eno- in dvodimenzijski (1D-2D) model MIKE FLOOD, ki je ustrezno zajel hitrejši 1D-tok v strugi Save in počasnejši 2D-tok na poplavnih območjih. Za analize odtočnih razmer v času gradnje HE Brežice pa je bilo opravljeno novo, polno 2D-modeliranje s hidravličnim programskim orodjem CICHE2D (razvil: National Center for Computational Hydroscience and Engineering – The University of Mississippi). Glavni razlog za uporabo polnega 2D-modela je v izraziti dvodimenzijski naravi tokovnih razmer, ko se struga Save na območju gradbene jame preusmerja in nato vrača v staro traso. Na sliki 2 levo je



dimenzionalnih (3D) Navier-Stokesovih enačb po vertikalni smeri. Numerično reševanje teh enačb poteka z implicitno metodo končnih elementov. Strižne napetosti, ki se pojavijo zaradi turbulence, so modelirane z Boussinesqovo aproksimacijo, medtem ko je za izračun vrtnične viskoznosti treba izbrati enega od treh pristopov.

Podlaga za opis topografije v 2D numerični mreži računskih elementov je bil LIDAR-posnetek terena leta 2007 (Flycom, 2007), v letih 2007 in 2010 pa so bili geodetsko izmerjeni še prečni profili struge in bližnjega obrečnega prostora. Hidravlično orodje CICHE omogoča uporabo spremenljive gostote numerične mreže, zato se je velikost posameznih elementov prilaga-



Slika 2 • **Levo – ortofoto posnetek z vrisanim območjem posegov za gradbeno jamo HE Brežice; desno – isto območje, zajeto z numerično mrežo hidravličnega modela 2D (Rak, 2012)**

na ortofoto podlagi prikazano ožje območje gradbene jame, na desni pa numerična mreža istega območja.

Kombinirani model 1D-2D, uporabljen pri HHM, je učinkovito orodje za simuliranje poplavnih scenarijev na širših območjih, kjer so glavni cilji analiziranje spremembe smeri toka po poplavnih površinah, globine in hitrosti vode ter obseg poplavljanja, pri tem pa je pomembno še, da 1D-modul omogoča vgraditev različnih objektov (Jezovi, razbremenilniki) in simuliranje dinamike njihovega obratovanja v odvisnosti od časovne spremembe pretoka. Kljub dinamični povezavi 1D- in 2D-izračunov pa takšen pristop seveda ne more podati dovolj natančnih rezultatov o smeri in jakosti vodnih tokov v strugi in na ožjem obvodnem prostoru (Weisgerber, 2010).

Model CICHE temelji na numeričnem reševanju globinsko povprečenih enačb (Shallow water equations), izpeljanih z integracijo tri-

jala geomorfološkim spremembam in detajlom topografije, ki vplivajo na tokovno sliko. Prav tako je bila mreža zgoščena na območjih objektov (npr. jez NEK) in posegov v prostor, ki so bili predmet raziskave (gradbena jama, obtočni kanal, območje razbremenilnika itd.). Velikost celic uporabljene numerične mreže za opis topografije, ki je zagotavljala sprejemljiv računski čas simulacij in zahtevano natančnost rezultatov, je bila v razponu od 5 x 5 m do 10 x 15 m. Pri tem so se podrobneje obravnavala območja, kjer je bilo treba natančneje zajeti digitalni model reliefa (DMR), da se je uskladilo dejansko stanje višin na terenu in upoštevanih višin v matematičnem modelu (npr. levi nasip za zavarovanje NEK, ožji protipoplavni zidovi, izraziti prelomi v naklonu terena (bivši rokavi Save), telo avtoceste ipd.), saj bi ta odstopanja sicer nerealno vplivala na spremembe odtočnega režima. Digitalni model višin se je za posamezne lokacije natančno preveril in ustrezno dopolnil/nadvišal, da je bila dosežena istovetnost topografije in matematičnega zapisa topografije ter morebitnih ovir vodnemu toku v prostoru.

Analiza detajlnih tokovnih razmer s polnim 2D-pristopom je bila mogoča šele, ko se je opravilo umerjanje – ko je bila dosežena skladnost z izračuni HHM. Umerjanje je bilo opravljeno v 38 točkah, in sicer na istih mestih, kot je potekalo fino umerjanje fizičnega in numeričnega modela v sklopu HHM za pretoke Save med 20- in 100-letno povratno dobo.

Za dodatno umerjanje ožjega območja gradbene jame in pretočne sposobnosti obtočnega kanala ter za kontrolo hitrostnega polja in



Slika 3 • **Fizični model gradbene jame HE Brežice (Hidroinštitut, 2011)**

odtočnih razmer so se za primerjalno stanje upoštevali rezultati hidravlične modelne raziskave, ki je bila na fizičnem modelu opravljena leta 2011 na Inštitutu za hidravlične

raziskave. Z raziskavo na fizičnem modelu, ki je bil izdelan v merilu 1:45 in je obsegal območje celotne gradbene jame hidroelektrarne z obtočnim kanalom ter odsekom reke

Save 600 m dolvodno od predvidene lokacije jezusa, so bili analizirani tokovna in hitrostna polja v času gradnje, gladinska stanja ter erozijska obremenitev brežin in struge (Bombač, 2011).

3 • IZRAČUNI

Numerično modeliranje ima pred fizičnimi modeli prednost, da lažje spreminjamo geometrijo, robne in obratovalne pogoje, žal pa še ne dosega zanesljivosti rezultatov s fizičnih modelov. Številni izračuni so bili opravljeni v dveh večjih sklopih. V prvem je bila opravljena numerična modelna raziskava vpliva gradbene jame z obtočnim kanalom in vplivov lokacij deponij izkopanega materiala, v drugem sklopu pa se je optimiziral vrstni red posameznih faz izgradnje nasipov. Vsi primeri so bili primerjani glede na tokovne slike različnih pretokov pri obstoječem stanju. Upoštevani sta bili ureditev gradbene jame in oblika obtočnega kanala, določena na fizičnem modelu, ki zagotavlja pretočnost ca. 1800 m³/s in pri katerem se ne pojavljajo ostri prelomi brežin, zaradi katerih bi se pojavljala območja vrtilčenja, ki bi zmanjševala pretočnost (Bombač, 2012). Na izbiro možnih lokacij deponij pa so vplivale prostorske omejitve, optimizacija gradbenih del, predvsem pa zahteva, da se ne povečuje poplavna in erozijska nevarnost.

Pri določitvi zaporedja faz gradnje nasipov je bil glavni cilj, da se poskuša čim dlje ohranjati obstoječe odtočne razmere in vzdrževati komunikacijo med glavno strugo in poplavnimi površinami ter s tem retenzijsko funkcijo inundacije. Zato se je v začetnih fazah upoštevala gradnja nasipov na odsekih, v katerih je komunikacija vodnega toka ob Q_{100} med osnovno strugo in inundacijo najmanjša oz. le lokalna. Ocenjeno je bilo, da vzporedna izvedba nasipov na levem in desnem bregu zagotavlja ohranjanje pretokov po levi in desni inundaciji, izvedba nasipa na zgolj enem bregu pa bi povzročila povečanje toka in zvišanje gladine v inundaciji na nasprotnem bregu.

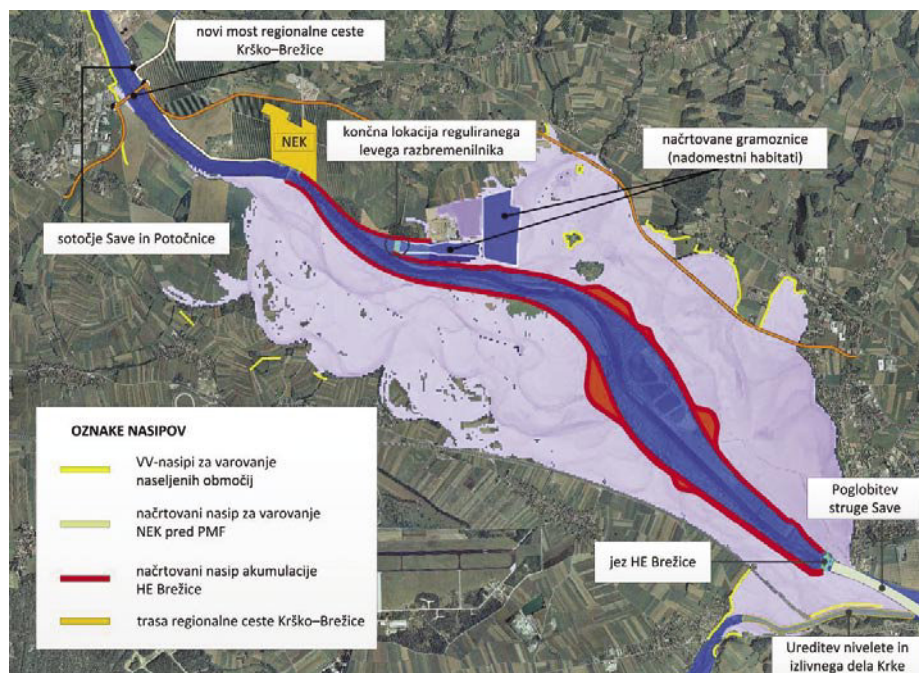
Pri izračunih so bili upoštevani tudi posamezni predvideni posegi in stanje prostora spreminjano postopoma, s čimer je bilo mogoče ugotavljati tudi vpliv posameznega posega v prostor. Večji del nabora obravnavanih posegov oz. faz gradnje je prikazan na sliki 4.

Z izračuni je bilo potrjeno tudi, da se z izvedbo nasipov v spodnjem delu bazena izboljšuje poplavna varnost avtoceste. Glede na rezultate vmesnih izračunov so se v območju modeliranja upoštevale modifikacije, ki bi lahko izboljšale odtočne razmere (predvsem znižanje gladin) v območjih, v katerih bi se v času izgradnje povečala poplavna nevarnost,

in ugotavljale razmere na robovih gradbene jame zaradi nevarnosti vdora savske vode vanjo. Tako se je zmanjšal obseg potrebnih (začasnih) protipoplavnih ukrepov.

Glede na projektantove analize o upravičenosti stopnje varovanja (suhe) gradbene jame so končni izračuni vpliva posameznih predlaganih posegov na odtočne razmere kot tudi vpliva vseh posegov skupaj bili izvedeni za naslednji kombinaciji pretokov Save in Krke:

- stalni tok za hkratni pojav pretokov $Q_{20,Save} = 2900 \text{ m}^3/\text{s}$ in $Q_{Krka} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$ in
 - stalni tok za hkratni pojav pretokov $Q_{100,Save} = 3750 \text{ m}^3/\text{s}$ in $Q_{20,Krka} = 453 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Pretoka Save z 20- in 100-letno povratno dobo sta bila povzeta po Inštitutu za vode RS iz leta 2011 (IzVRS, 2011), za 20-letni pretok Krke pa po študiji IzVRS iz leta 2004 (IzVRS, 2004).



Slika 4 • Situacijski prikaz končnega načrtovanega stanja območja DPN HE Brežice z vsemi predvidenimi posegi

4 • REZULTATI IN DISKUSIJA

Vpliv posameznih vmesnih stanj na terenu v času gradnje se je na podlagi opravljenih

izračunov določal s primerjavo vodostajev posamezne faze izvedbe glede na obstoječe

stanje. Primerjava gladin se je izvajala v 43 točkah, porazdeljenih preko celotnega obravnavanega območja (slika 5).

Dodatno so bile analize gladin in hitrosti vode opravljene še na območjih, kjer bi se v času gradnje zaradi neugodnih vplivov začasno razmerijskih odtočnih razmer morebiti izrazito nevarnost oziroma omejila

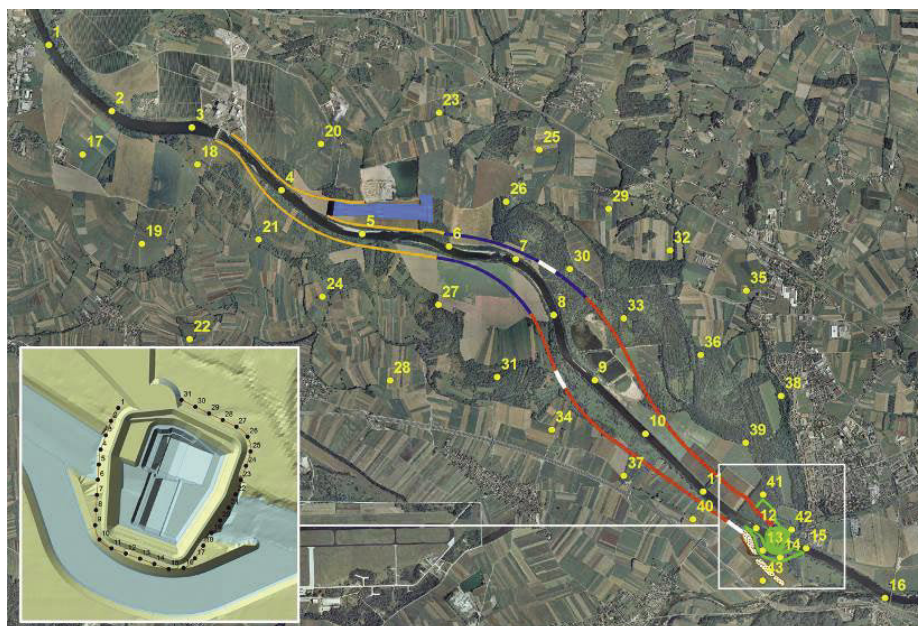
inkcija infrastrukturnih objektov. Zabilježeno je bilo, da je bila stabilnost varovalnih objektov slabša, saj se je analiza izkazala za bolj nevarno. Če bi se analiza izkazala za bolj nevarno, bi se analiza izkazala za bolj nevarno.

! jame in obtočnega kanala na odtočni režim

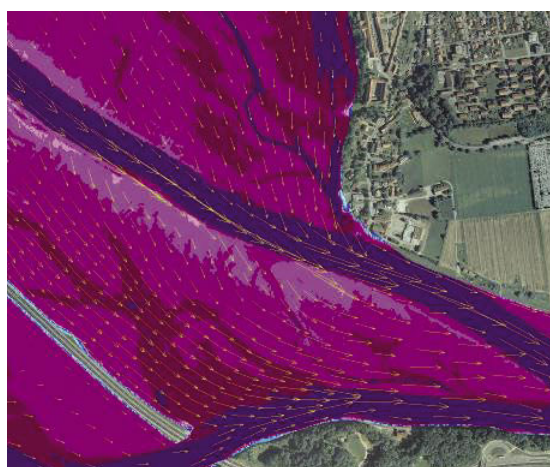
Po prvotni zamisli bi izkopani material iz gradbene jame odložili na desnem bregu Save, izkop iz obtočnega kanala pa na levem bregu. Za zmanjšanje stroškov izkopa obtočnega kanala bi bila najugodnejša lokacija deponij čim bližje kanalu. Upoštevaje tokovno sliko pri obstoječem stanju (slika 6), so bile načrtovane začasne deponije zemljine tako, da bi čim bolj sledile vodnemu toku.

Pri obstoječem stanju bi ob pojavu 100-letne vode (3750 m³/s) po desnem poplavnem prostoru med Savo in avtocesto (AC) Ljubljana–Zagreb tekla četrtina celotnega pretoka (ca. 900 m³/s). Zaradi umestitve gradbene jame in obtočnega kanala Save pa se tokovna slika precej spremeni, saj iz vodnega toka izločeni prostor gradbene jame zmanjša pretočnost v preostalem prečnem prerezu in se vodni tokovi drugače prerazporedijo, s tem pa tudi globine, hitrosti, erozija idr. Odlaganje materiala na predlaganem območju pa bi pretočni prerez na desnem bregu dodatno zožilo, kar bi povzročilo zajezitev oz. dvig gladin gorvodno in s tem povečanje poplavne nevarnosti. Hkrati bi se povečale tudi hitrosti vodnega toka in strižne napetosti med vodo in terenom, s tem pa tudi erozijska ogroženost kmetijskih zemljišč in avtocestnega telesa.

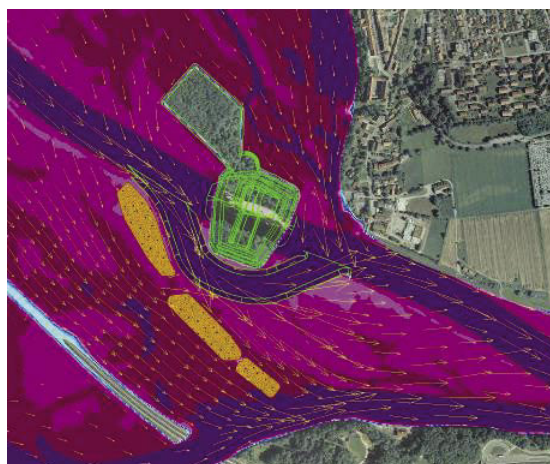
Slika 7 pokaže spremenjeno hitrostno polje (vektorje hitrosti) in porast globin ob AC. Zgolj zaradi izgradnje gradbene jame bi se pri obravnavanih pretokih pojavil dvig gladine na levem in desnem poplavnem območju velikosti do 45 cm, ki bi izzvenel približno 2 km gorvodno po strugi. Zaradi spremenjenih odtočnih razmer bi bilo treba na nekaterih mestih (npr. naselje Šentlenart) protipoplavne nasipe zgraditi že v začetnih fazah gradnje HE Brežice. Skupni izračunani vpliv gradbene jame in deponij bi bil že tolikšen, da bi se ob 100-letni vodi pojavila preplavitev AC, deponije



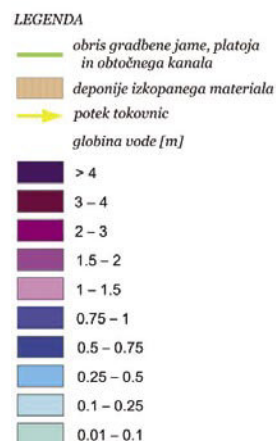
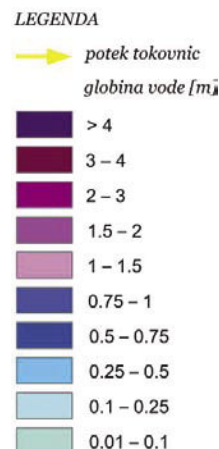
Slika 5 • Lokacije točk, v katerih je bila izdelana primerjava gladin

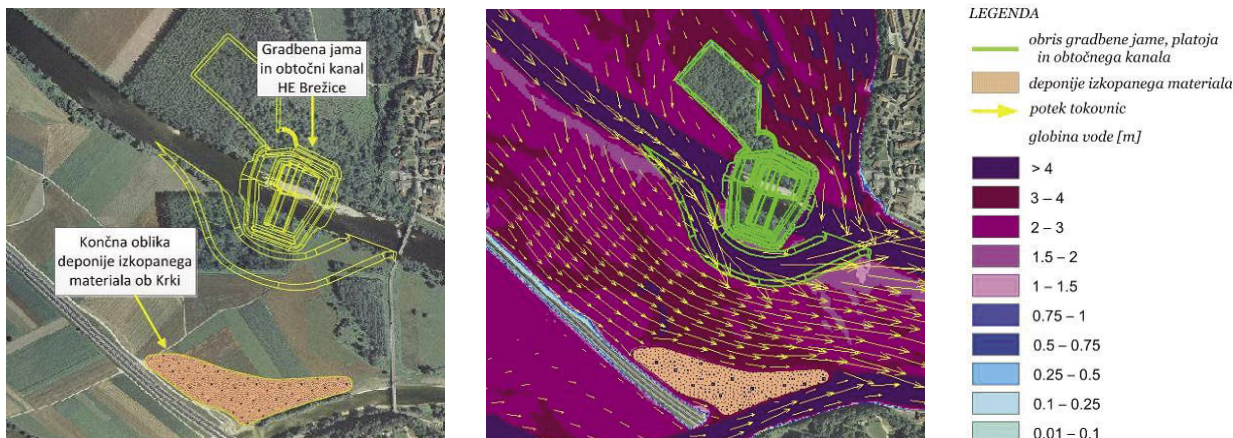


Slika 6 • Polje hitrosti in globin na območju gradbene jame pri obstoječem stanju



Slika 7 • Glede na sedanje stanje (slika 6) so bile oblike deponij izkopa iz obtočnega kanala načrtovane po načinu, ki sledi porazdelitvi lokalnih hitrosti, kar pa poveča globine in hitrosti ob avtocesti





Slika 8 • Končna lokacija in oblika deponije izkopenega materiala gradbene jame in obtočnega kanala ter tokovno polje pri 100-letni visoki vodi



Slika 9 • Fotografija območja gradbene jame in obtočnega kanala ob visokih vodah septembra 2014 (pretok ca. 2000 m³/s) (Vir: 24ur.com)

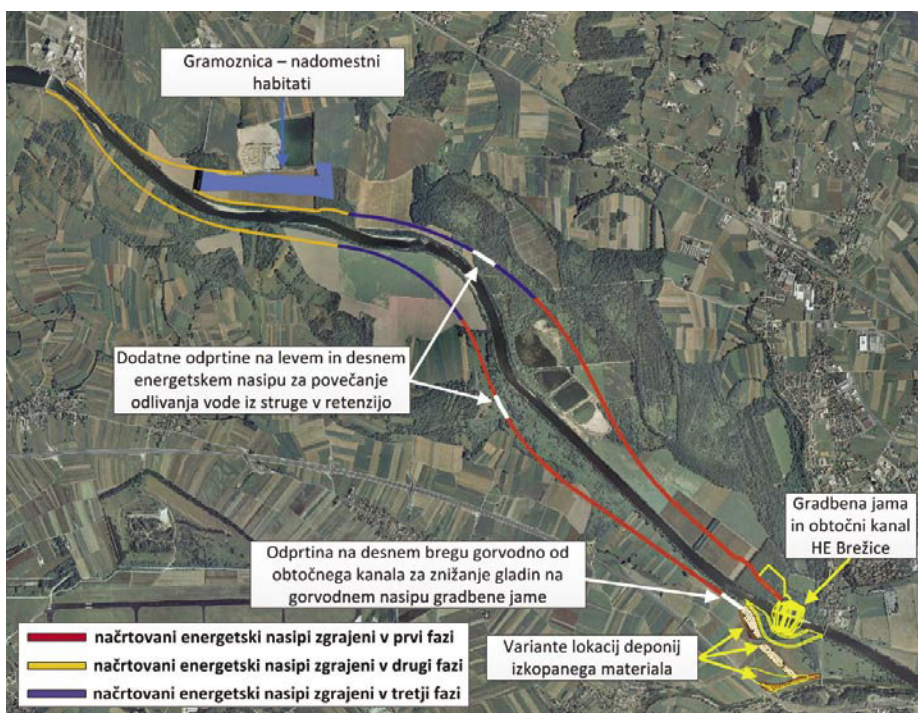
pa bi delno onemogočale tudi vračanje vode iz desne retenzije proti sotočju Save in Krke oziroma bi tok bolj usmerjale proti odseku Krke dolvodno od AC-mostu. Zato bi se gorvodno v strugi Krke pojavile višje gladine ter poslabšale poplavne razmere pri Krški vasi in Velikih Malencah. Začetno umestitev deponij izkopenega materiala je bilo treba zaradi zmanjšanja pretočnega prereza in posledičnega slabšanja odtočnih razmer spremeniti.

S stališča stroškov in poplavne varnosti bi bila ugodnejša predstavitev deponij gorvodno od gradbene jame, kjer je pretočni prerez desne retenzije še velik in bi bil vpliv deponij manjši. Vendar to ni mogoče zaradi arheološkega

najdišča, na katerem bodo raziskave potekale še precejšnji del časa gradnje HE.

Tudi za druge lokacije deponije na desnem bregu Save so izračuni pokazali, da se kritična točka ob izgradnji jezovne zgradbe in nasipov pojavlja na zoženem območju med gradbeno jamo in AC Ljubljana–Zagreb, zato je preostala le možnost, da se deponije čim bolj odmaknejo od Save in se umestijo ob levi breg Krke (slika 8). Tako bi deponija v vogalu med levim bregom Krke in nasipom AC začasno delovala tudi kot visokovodni nasip, ki bo odvrčal vdiranje savske vode iz desne retenzije Save v strugo Krke, s čimer se bo že v fazi gradnje doseglo delno izboljšanje poplavne varnosti Krške vasi in Velikih Malenc. Za ta naselja je bil izračunan ugoden vpliv VV-nasipa na levem bregu Krke že v študiji iz leta 2012 (Rak, 2012). Začasno odlaganje materiala na tem območju bi gladine Krke v profilu avtocestnega mostu znižale (glede na obstoječe stanje) do 50 cm, kar pomeni, da se za približno toliko znižata tudi gladina v Krški vasi in s tem poplavna nevarnost. Deponija pa preusmeri tok vode proti Savi, zato se gladine ob gradbeni jami seveda nekoliko zvišajo.

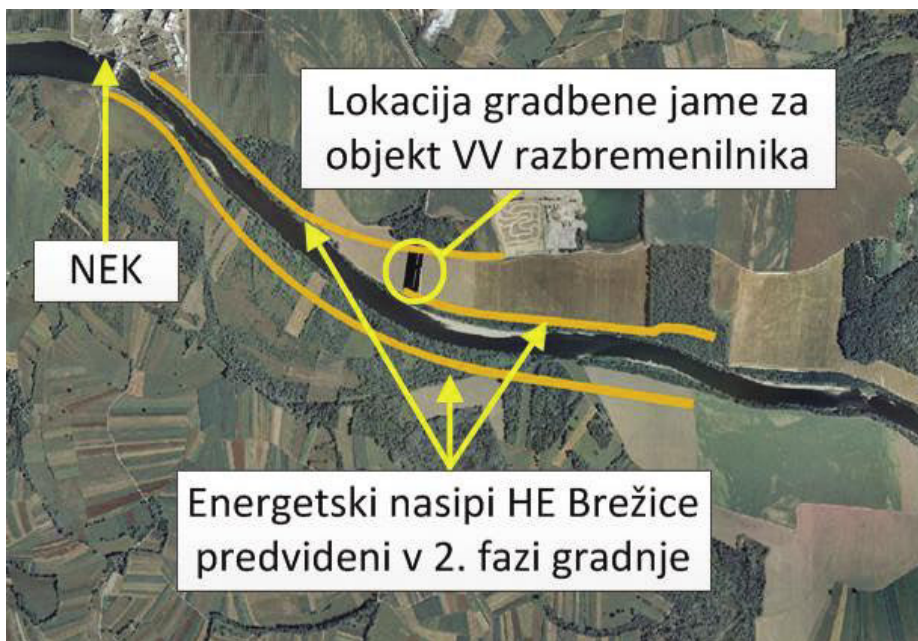
Slika 8 prikazuje končno obliko odlagališča, ki sprejme celotno količino materiala iz kopa obtočnega kanala. Deponija je v smeri vzdolž Krke krajša, kot bo načrtovani protipoplavni nasip, zgrajen po DPN HE Brežice, njena oblika pa je prilagojena glede na tokovnice v desni inundaciji ob gradbeni jami.



Slika 10 • Prikaz faznosti izgradnje posegov, ki so bili upoštevani v hidravlični analizi

4.2 Spreminjanje odtočnih razmer v posameznih fazah gradnje energetskih nasipov HE Brežice

Izračunane razmere primerov za gradbeno jamo z deponijami oziroma brez njih so bile izhodišče za iskanje najugodnejšega



Slika 11 • Energetski nasipi dolvodno od NEK predvideni za drugo gradbeno fazo

zaporedja (faznost) gradnje nasipov akumulacije, takšnega, ki bi v kar najmanjši možni meri dodatno negativno vplival na odtočne razmere oziroma bi se stanje celo izboljšalo, predvsem vzdolž AC Ljubljana–Zagreb (slika 10).

V prvi fazi se je predvideval pričetek gradnje nasipov na obeh bregovih Save od jezovne zgradbe HE Brežice gorvodno, z odprtino na desnem bregu ob gradbeni jami, ob vtoku v obtočni kanal. Pri obstoječem stanju se visoke vode na tem odseku še vedno izlivajo iz struge v retenzijo. Zgrajeni nasipi bodo prekinili dotok vode iz struge na poplavne površine, zato se bo povečal pretok med

zgrajenimi nasipi proti prerezu ob gradbeni jami. V tem obdobju se bodo torej zmanjšali dotoki v obe poplavni območji in se bodo tam znižale gladine (in s tem poplavna nevarnost), večji pretok proti gradbeni jami pa bo vzdolž varovalnih nasipov gladine vode zvišal (za 10 do 40 cm).

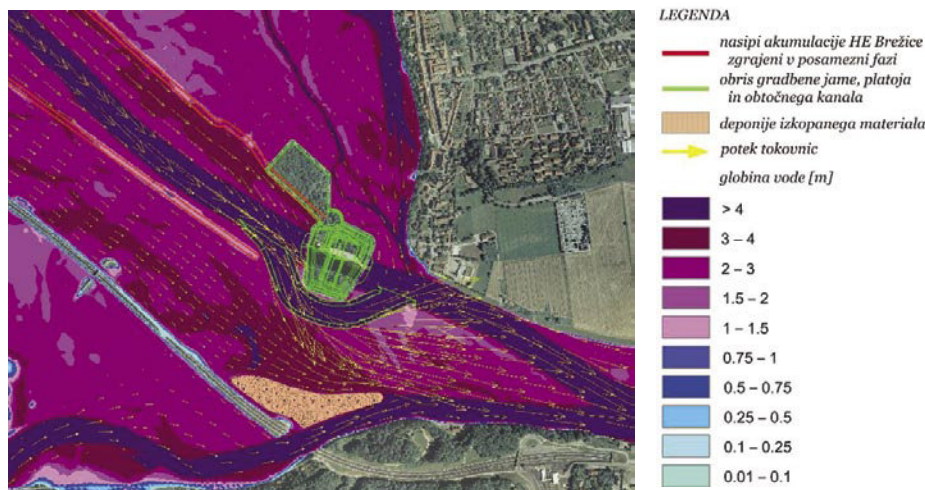
V drugi fazi je predvidena gradnja nasipov od jezovne NEK dolvodno, vključno z visokovodnim razbremenilnikom. Ta bo po končani izgradnji sicer opremljen s hidromehansko opremo, ki pa v fazi izgradnje seveda ni upoštevana. Na odseku med Savo in gradbeno jamo razbremenilnika je predvidena še deponija izkopanega materiala, ki do določene mere štiti

delovišče pred visoko vodo. Kota nasipov ob gradbeni jami razbremenilnika je bila pri izračunih upoštevana kot kota prelivanja pri pojavu višjih voda, ki zalijejo gradbeno jamo.

Po končani izgradnji nasipov predvidenih v 2. fazi se bo visoka voda iz struge lahko izlivala le še na desnem bregu gorvodno od jezovne NEK na desno poplavno območje in na odseku, kjer nasipi 3. faze še ne bodo zgrajeni. Računi pokažejo, da bi se pri višjih visokih vodah leva retenzija delno polnila tudi na mestu načrtovanega razbremenilnika, saj višje visoke vode prelijejo varovalni nasipi gradbene jame razbremenilnika. Nasipi 2. faze dodatno zmanjšajo izlivanje vode iz struge v retenziji, zato se še poveča pretok med nasipi, kar povzroči dvig gladine vode v strugi Save in območju znotraj nasipov glede na obstoječe stanje (do 70 cm), na večjem delu retenzijskih površin pa se gladine znižajo (do 35 cm). Le v spodnjem delu desne retenzije so gladine zaradi vpliva gradbene jame in deponije izkopanega materiala v tej fazi gradnje še vedno nad sedanjim stanjem.

Ko bodo v 3. fazi zgrajeni energetski nasipi v celotni dolžini, bo izlivanje vode iz struge na poplavne površine omejeno na odsek nad jezovno NEK, na krajši del nezgrajenih nasipov neposredno pred gradbeno jamo, kjer je tudi vtok v obtočni kanal, in na pretok čez razbremenilnik. Pri slednjem se je v kot prelivni rob v izračunih upoštevala kota krone preliva povsem odprtega razbremenilnika, torej stanje, ko je betonska konstrukcija zgrajena, ni pa še vgrajena hidromehanske opreme (zapornic). V tem obdobju gradnje bodo retenzijske površine ob visokih vodah aktivirane v podobnem obsegu, kot bodo tudi po izgradnji HE Brežice, kar pomeni, da so v retenzijah že nižji pretoki kot pri sedanjem stanju, posledično pa v večjem delu retenzijskih površin tudi nižje gladine.

Glavnina vode torej teče znotraj nasipov akumulacije HE Brežice do lokacije jezovne zgradbe, kjer je preusmerjena na obtočni kanal in območje spodnjega dela desne retenzije. Izračuni so pokazali, da bi takšen potek gradnje zahteval precej višje varovalne nasipe gradbene jame, kot je bilo predvideno v idejnem projektu. V izogibitev potrebnemu nadvišanju nasipov so bile v izračunih raziskane razmere, ko bi bil desnobrežni energetski nasip v prvi fazi krajši in bi se končal 200 m gorvodno od vtoka v obtočni kanal (slika 10). Tako bi se povečal odliv vodne mase iz struge gorvodno od gradbene jame, kar pozitivno vpliva na gladinsko stanje ob gorvodnem va-



Slika 12 • Hitrostno polje in polje globlin na ožjem območju gradbene jame pred pričetkom zapiranja obtočnega kanala in preusmeritve vodnega toka preko prelivnih polj jezovne zgradbe

rovalnem nasipu gradbišča. Vendar se hkrati poslabša stanje ob AC, saj se vodni tok proti njej, ker je izlivanje visoke vode omejeno le na desno, že tako kritično območje.

Za razbremenitev spodnjega dela desne retenzije in zmanjšanje količine vodne mase, ki se odlije na območju ob gradbeni jami, sta bili zato dodatno predvideni dve 200 m dolgi odprtini v srednjem akumulaciji (slika 10). Z odprtino na levi, ki je locirana na mestu, ki omogoča kar največji odliv (zunanjih del krivine), se aktivira leva retenzija, z odprtino na desni pa se aktivira tudi srednji del desne retenzije, s čimer se doseže ugodnejše tokovno polje na delu med gradbeno jamo in AC. Povečana masa vodnega toka iz srednjega dela v spodnji del desne retenzije pri tem bistveno oslabi moč vodnega toka, ki je zaradi oblike gradbene jame in obtočnega kanala usmerjen prečno, proti AC. Kot je razvidno iz vektorjev hitrosti na spodnji sliki končne variante, je vodni tok iz odprtine ob gradbeni jami in obtočnega kanala na razmeroma kratki razdalji povsem preusmerjen proti sotočju

Save in Krke in tako ne vpliva na povečanje hitrosti (erozijske nevarnosti) in dvig gladin ob telesu AC.

V članku so predstavljene le nekatere ugotovitve iz obsežnega nabora izračunov, ki kažejo, kako raznolik je odziv vodnega toka na posege v poplavnem območju. Projektant je z njimi dobil hidravlične podlage, da je lahko ovrednotil različne zasnove in ustrezno načrtoval izkop gradbene jame in obtočnega kanala, zaporedje faz gradnje energetskih in visokovodnih nasipov ter drugih načrtovanih posegov, ki bi v kar najmanjši možni meri vplivali na poplavno in erozijsko nevarnost. Kljub iskanju najugodnejšega poteka gradnje pa so analize pokazale, da bodo v posameznih gradbenih fazah odtočne razmere na nekaterih območjih nekoliko slabše kot pri obstoječem oziroma končnem načrtovanem stanju. Ker gre pri tem tudi za poseljena območja in infrastrukturne objekte državnega pomena, rezultati izračunov narekujejo potrebo po prioritetni izgradnji nekaterih protipoplavnih nasipov pa tudi do-

datnih začasnih ukrepov za zaščito območij in infrastrukture, ki bo v času gradnje izpostavljena povečani poplavni in erozijski nevarnosti (npr. zavarovanje dela AC-telesa). Sporočilo tega prispevka je tudi, da je treba uporabnike prostora in dejavnosti, ki v njem potekajo, seznaniti s procesi in vplivi postopnega umeščanja posegov v prostor, torej dalj časa trajajoče gradnje objektov in ureditev. Čeprav tega zakonodaja ne zahteva, bo treba pri tako obsežnih umeščanjih posegov v prostor vzdolž daljših odsekov vodotokov z obsežnim vplivnim območjem opravljati periodične izračune, s katerimi se bo preverjalo, ali morebiti spremenjene razmere oz. uporaba prostora ne vpliva na odtočne razmere v tolikšni meri, da niso več izpolnjeni pogoji, pod katerimi je bil DPN sprejet. Kot so pokazale razmere ob poplavih na Dravi jeseni 2012, lahko že čezmerna zarast na poplavnih območjih bistveno vpliva na vodne tokove in povzroči drugačno sliko poplavne nevarnosti. Takšno dodatno tveganje je treba z ustreznim prostorskim redom čim bolj zmanjšati.

5 • SKLEP

Za ustrezno prostorsko umeščanje objektov in načrtovanje ureditev, ki bistveno vplivajo na odtočni režim in bi se lahko zaradi njih povečala poplavna in erozijska nevarnost ter posledično ogroženosti drugih rab prostora, je treba upoštevati vpliv na vodno okolje kot tudi vpliv delovanja voda na objekte in ureditve. Pri ugotavljanju sprejemljivosti posegov je običajno dan poudarek na ugotavljanju razlik med obstoječim stanjem in načrtovanim oz. končanim posegom, ki seveda mora biti izveden v skladu s pogoji, soglasji in dovoljenji.

Pri dalj časa trajajoči gradnji pa je treba upoštevati, da se spreminjajo tudi razmere na vodah in se lahko tudi v času gradnje pojavijo visoke vode. Zaradi začasnih objektov, deponij ipd. ter posameznih faz gradnje, npr. gradnje nasipov po odsekih, se v prostoru pojavi stanje, ko načrtovani poseg še ne deluje kot funkcionalna celota. Zato je treba analizirati tudi morebitne negativne vplive spreminjajočih se (odtočnih) razmer na vsakokratno poplavno in erozijsko ne-

varnost uporabnikov obvodnega in dolvodnega prostora, saj se lahko pomemben vpliv začasnega stanja v prostoru pojavi že pri visokih vodah nižje povratne dobe.

V članku je prikazano, da je vključitev hidravlične analize v postopek načrtovanja faznosti izvedbe enako pomembna kot pri načrtovanju in optimiziranju končnih rešitev posegov v prostor. Na primeru izgradnje objektov in ureditev v sklopu DPN HE Brežice so hidravlični izračuni podali informacije za primerno načrtovanje gradbenih faz in iskanja lokacij oz. gabaritov začasnih objektov ali ukrepov, saj je to pomemben referenčni prostor na odseku med Krškim in državno mejo, ki vpliva na odtočne razmere na mejnem profilu z Republiko Hrvaško. Hkrati je bilo treba upoštevati, da leži na vplivnem območju tudi NEK, kjer kakršnokoli poslabšanje odtočnih ali njihovih obratovnih razmer ni sprejemljivo ne v času gradnje ne pri končnem načrtovanem stanju. S primerjavo vmesnih stanj in rezultatov sedanjega in končnega stanja je bilo mogoče ugotavljati in ovredno-

titi morebitno poslabšanje v posamezni fazi gradnje oz. spremembe v prostoru, da je lahko projektant predvidel drugačno časovno faznost izvedbe posameznih objektov oziroma predlagal in utemeljil dodaten nabor (začasnih) ukrepov za odpravo povečane nevarnosti in ogroženosti.

Z izgradnjo objektov po DPN HE Brežice se bodo za obsežno območje Krško-Brežiškega polja spremenile odtočne razmere. Pogostejšega poplavljanja ob nižjih pretokih ne bo več, preko razbremenilnikov pa se bo vendarle ohranjalo poplavljanje in s tem zadrževanje vode pri višjih visokih pretokih. Zato bo treba upoštevati izkušnje drugih, ki kažejo, da se po izgradnji objektov lahko pomembno spreminja raba prostora, posebno kadar se hkrati izvajajo tudi protipoplavni ukrepi. Zmanjšana poplavna nevarnost namreč »privabi« intenzivnejšo rabo prostora, s tem pa narašča škodni potencial ob nastopu poplav. Od izgradnje objektov po DPN pa do morebitne posodobitve DPN oz. do spremembe/razgradnje teh ureditev bo treba spremljati, po potrebi pa tudi omejevati neprimerne rabe prostora na vplivnem območju v celotni dobi delovanja objektov, da ne bi voda (znova) pokazala svoje moči.

6 • LITERATURA

- Bombač, M., Hidravlična raziskava gradbene jame HE Brežice na fizičnem modelu. *Acta hydrotechnica* 25/42 (2012), 1–17, 2011.
- Flycom, d.o.o.; Posnetek stanja terena s tehnologijo LIDAR, snemano 14. do 16. januarja 2007; (naročnik Ministrstvo za okolje in prostor RS), 2007.
- IzVRS, Inštitut za vode RS. Hidrološka študija pritokov Save – na odseku od vtoka Savinje do državne meje, C-1261, Ljubljana, 2004.
- IzVRS, Inštitut za vode RS. 2011, Verjetnostna analiza spremenjenih vrednosti visokih vod Save v.p. Radeče, Dopolnite 2, Ljubljana, 2011.
- Mlačnik, J., Rodič, P., Novak, G., Vošnjak, S., Steinman, F., Rak, G., Šantl, S., Müller, M., Ciuha, D.. Izvedba hibridnih hidravličnih modelov za območje spodnje vode HE Krško, območje HE Brežice in območje HE Mokrice, Hibridni hidravlični model območja HE Brežice, končno poročilo, Ljubljana, Inštitut za hidravlične raziskave, 57 str., 2011.
- Rak, G., Müller, M., Steinman, F., Šantl, S., Novak, G., Hydraulic modeling of future hydro power plants on lower Sava, ICOLD Symposium. Austria, Graz, Verlag der Technischen Universität Graz, 133–138, 2010.
- Rak, G., Müller, M., Šantl, S., Steinman, F., Uporaba hibridnih hidravličnih modelov pri načrtovanju HE na Spodnji Savi, *Acta hydrotechnica* 25/42 (2012), 59–70, 2012.
- Rak, G., Steinman F., Müller, M., Zupančič, G., Analiza vpliva spremembe nivelete struge Krke in visokovodnega nasipa med AC Ljubljana–Zagreb in sotočjem Krke in Save na poplavno varnost Krške vasi in Velikih Malenc, UL FGG, KMTe, 2012.
- RS, Uredba o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje, Uradni list RS, št. 51/14, 2014.
- Weisgerber, A., Gutierrez-Andres, J., Wilson, G., Marias, F., Karanxha, A., Clarke, R., Millington, R., Physical-computational modelling comparison in Ireland. *International Symposium on hydraulic Physical Modelling and Field Investigation*, Nanjing, Kitajska, 192–198, 2010.
- Yafei, J., Wang S. Y., CCE2D: Two-dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model For Unsteady Open Channel Flows Over Loose Bed, School of Engineering, University of Mississippi, 2001.



DCM DRUŠTVO ZA CESTE
SEVEROVZHODNE SLOVENIJE
Smetanova 17, Maribor
Tel.: 02/ 2294-391,
mob.: 051 257 026
e-pošta: dcm@uni-mb.si,
<http://www.dcm-svs.si>
TRR: 04515-0000970605



v sodelovanju z

DCM – Društvo za ceste severovzhodne Slovenije je v sodelovanju z Inženirsko zbornico Slovenije organiziralo strokovni simpozij in ekskurzijo na temo

PROJEKTI IN RAZVOJ SLOVENSKE ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE

8. in 9. 10. 2014

Fakulteta za gradbeništvo, Smetanova 17, Maribor

8. oktobra 2014 je na Fakulteti za gradbeništvo Univerze v Mariboru potekal strokovni simpozij **Projekti in razvoj slovenske železniške infrastrukture**. Dopolodne je bila organizirana okrogla miza z naslovom **Razvoj slovenske železniške infrastrukture in finančne možnosti**. Gostje okrogle mize so kritično in argumentirano podali presek stanja v slovenski prometni infrastrukturi, ocenili možnosti financiranja z zornega koda nove finančne perspektive in modelov financiranja. Kritično so ocenjevali dosedanje razvojne načrte Slovenije in pristope k reševanju težav v prometu. Z različnih zornih kotov so osvetlili potrebo po razvojnih načrtih, celoviti strategiji in zagotavljanju stabilnih finančnih virov za izvedbo največjih infrastrukturnih projektov, ki jih je treba načrtovati in realizirati v daljšem časovnem obdobju.



Univerza v Mariboru
Fakulteta za gradbeništvo



REPUBLIKA SLOVENIJA
Ministrstvo za infrastrukturo



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo



DCM DRUŠTVO ZA CESTE
SEVEROVZHODNE SLOVENIJE
Smetanova 17, Maribor
Tel.: 02/ 2294-391,
mob.: 051 257 026
e-pošta: dcm@uni-mb.si,
<http://www.dcm-svs.si>
TRR: 04515-0000970605



v sodelovanju z

Popoldne je bilo v strokovnem delu simpozija predstavljenih več projektov. Ocenjen je bil vpliv evropskega razvoja transportnih koridorjev in zahtev za pridobivanje evropskih sredstev za infrastrukturne projekte. Predstavljeni so bili tudi konkretni projekti in variante izvedbe posodobitev in nadgradnje železniškega omrežja za doseganje evropskih standardov, ki trenutno potekajo v Sloveniji.

Simpozija se je udeležilo več kot 100 udeležencev iz različnih podjetij in ustanov ter 30 podiplomskih študentov prometnega inženirstva s Fakultete za gradbeništvo v Mariboru, naslednji dan pa se je strokovne ekskurzije z ogledom gradbišč na rekonstrukciji in modernizaciji železniške proge Pragersko–Hodoš udeležilo 75 udeležencev in 15 podiplomskih študentov s Fakultete za gradbeništvo UM.

Zaključke strokovnega simpozija lahko strnemo v naslednje ugotovitve in predloge:

1. Slovenija lahko zaradi svojega geografskega položaja v tem delu Evrope razvije geopolitično pomembne gospodarske dejavnosti. Tod je najpomembnejši promet oz. logistika, ki lahko s povezovanjem luke Koper s sosednjimi regijami postane hrbtenica razvoja, seveda pa brez II. tira to ne bo mogoče.
2. V Sloveniji po zaključku izgradnje avtocest ni bilo stabilnega financiranja javne železniške infrastrukture, kar se kaže v prepočasni in občasno stihijski pripravi projektov. Prometna in logistična infrastruktura zahtevata dolgoročno in konsistentno

razvojno politiko, ki ne sme biti odsev le trenutnih političnih interesov. Za doseg učinkovitega prometnega sistema je treba zagotoviti stabilni vir in model financiranja prometne infrastrukture in večletnih projektov.

3. Obstoječi model financiranja ni odgovor na investicijski cikel, ki ga narekuje Evropska komisija, zato je nujno, da:
 - država zakonsko opredeli zagotavljanje vira financiranja, kar je osnova za sprejem resnih strateških dokumentov o razvoju prometne infrastrukture in logistike, to pa je prvi pogoj za pridobitev sredstev EU;
 - parlament sprejme strategijo razvoja prometne infrastrukture (kar bi bil velik in odgovoren korak in izraz politične volje);
 - vlada oblikuje in imenuje »telo«, ki bo poganjalo izvedbo strategije in z akcijskim načrtom opredelilo projekte in sredstva.

Sprejem takšnih ukrepov bi pomenil stabilnost načrtovanja, zanesljivost izvedbe in nižje stroške ter zmanjšanje negotovosti za gospodarske subjekte, ki so angažirani pri načrtovanju, projektiranju in gradnji. To je osnova za dobro pripravo projektov, usklajeno akcijo na vseh ravneh, uspešno črpanje sredstev EU in konkuriranje Slovenije v hitro razvijajočem se prometno-logističnem okolju.

V Mariboru, 28. 10. 2014

dr. Andrej Godec, univ. dipl. inž. prom.,
predsednik Organizacijskega odbora simpozija
Boris Stergar, univ. dipl. inž. grad.,
predsednik DCM



Univerza v Mariboru
Fakulteta za gradbeništvo



REPUBLIKA SLOVENIJA
Ministrstvo za infrastrukturo



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

JKristjan Cizara, Primerjava dveh variant odvodnje soseske Novo Naselje in industrijske cone v Vipavi, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor asist. dr. Mario Krzyk

Kaja Leban, Analiza pridobljenih predmetno-specifičnih kompetenc na univerzitetnem študiju Gradbeništvo - Komunalna smer, mentorica izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač, somentorica doc. dr. Andreja Istenič Starčič

Aljaž Mihelič, Prometne površine za mirujoči promet, mentor doc. dr. Peter Lipar

Vladimir Perdih, Dopolnitev slovenskega priročnika za projektiranje kolesarskih površin, mentor doc. dr. Peter Lipar

Cene Udovič, Metodologija določanja varnosti prehodov za pešce, mentor doc. dr. Peter Lipar, somentor viš. pred. mag. Jure Kostanjšek

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ VODARSTVA IN KOMUNALNEGA INŽENIRSTVA

Nika Matul, Analiza temperaturnega režima vodotokov v Sloveniji, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš, somentorica asist. dr. Mira Kobold

Samo Miroševič, Uporaba fizikalno-kemijskih postopkov za doseganje zahtevnih parametrov tehnoloških odpadnih voda pred priključevanjem na komunalni sistem, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor doc. dr. Darko Drev

Lea Ribič, Verjetnostna analiza pretočnih volumnov s programskim orodjem HEC - SSP, mentorica doc. dr. Mojca Šraj, somentor doc. dr. Andrej Kryžanowski

Tilen Štrus, Finančne posledice operativnega programa odvajanja in čiščenja odpadne komunalne vode v Občini Litija, mentor izr. prof. dr. Albin Rakar

I. STOPNA - VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM OPERATIVNO GRADBENIŠTVO

Marko Cilenšek, Petetažni stanovanjski objekt z jekleno nosilno konstrukcijo, mentor prof. dr. Jože Korelc, somentor doc. dr. Primož Može

Sara Ana Pelko, Uvajanje reverzibilnih pasov v Sloveniji, preveritev na primeru Škofljica, mentor doc. dr. Tomaž Maher

I. STOPNJA - UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Jan Celar, Idejna rešitev ureditve odseka regionalne ceste R2-411 z ureditvijo križišča s cestami: Cesta na Okroglo, Kranjska cesta in Ulica Toma Zupana, mentor doc. dr. Peter Lipar, somentor viš. pred. mag. Robert Rijavec

Klemen Domjan, Energijska bilanca stavbe po metodi kvazistacionarnega stanja in dinamični metodi izračuna, mentor doc. dr. Mitja Košir, somentorici dr. Živa Kristl in dr. Marjana Šijanec Zavrl

Matic Grahek, Rekonstrukcija obstoječega stanja in predlog obvoznice na odseku LC 480011 Zagorje - V Zideh, mentor doc. dr. Peter Lipar, somentor viš. pred. mag. Robert Rijavec

Tine Leban, Rekonstrukcija ceste R204 na odseku (1012) v skupni dolžini 500 m, mentor doc. dr. Peter Lipar, somentor viš. pred. mag. Robert Rijavec

II. STOPNJA - MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM STAVBARSTVO

Dejan Kastelec, Konstruktivna gradbena fizika upravne stavbe podjetja KRKA d. d., mentor doc. dr. Mitja Košir, somentorica doc. dr. Mateja Dovjak

Luka Pajek, Integralna ocena udobja igralnic v vrtcih, mentorica doc. dr. Mateja Dovjak, somentorica dr. Živa Kristl

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Marko Poštrak, Priprava ponudbenega predračuna za rekonstrukcijo zgornjega ustroja Ulice kneza Koclja v Mariboru, mentorica doc. dr. Nataša Šuman

2. STOPNJA, MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Marko Majerič, Baza podatkov za projektni informacijski sistem na področju sistemov tankoslojnih fasad, mentorica doc. dr. Nataša Šuman, somentor Bogomir Troha, univ. dipl. inž. grad.

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

Vsem diplomantom čestitamo!

Skladno z dogovoroma med ZDGITS in FGG-UL ter ZDGITS in FG-UM vsi diplomanti oddelkov za gradbeništvo in okoljsko gradbeništvo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani ter diplomanti Fakultete za gradbeništvo Univerze v Mariboru prejemaajo Gradbeni vestnik (12 števil) brezplačno. Vse, ki bodo želeli po prejemu 12. številke postati redni naročniki, prosimo, naj to čimprej sporočijo uredništvu na naslov: GRADBENI VESTNIK, Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana; telefon: (01) 52 40 200; faks: (01) 52 40 199; e-mail: gradb.zveza@siol.net.

ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika

KOLENDAR PRIREDITEV

12.-17.4.2015

7th World Water Forum

Daegu-Gyeongbuk, Republika Koreja
<http://worldwaterforum7.org/en>

12.-17.4.2015

EGU 2015 European Geosciences Union – Generalna skupščina 2015

Dunaj, Avstrija
www.egu2015.eu

14.-17.4.2015

24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey IMCET2015

Antalya, Turčija
<http://imcet.org.tr/defaulten.asp>

22.-23.4.2015

12. slovenski kongres o cestah in prometu

Portorož, Slovenija
www.drc.si

5.-7.5.2015

20th International Conference on Urban Planning and Regional Development in the Information Society

Gent, Belgija
www.corp.at/

10.-13.5.2015

ICSDEC 2015 – International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction

Chicago, ZDA
www.icsdec.com/index.html

13.-15.5.2015

IABSE Conference Nara 2015

Nara, Japonska
www.iabse.org/Nara2015

14.-16.5.2015

2. regionalni simpozij o zemeljskih plazovih v Jadransko-Balkanskem območju

Beograd, Srbija
<http://resylab2015.rgf.rs>

17.-21.5.2015

ICONE23 – 23rd International Conference on Nuclear Engineering

Makuhari, Čiba, Japonska
www.icone23.org/about.html

20.-23.5.2015

ICOCEE – Cappadocia - International Conference on Civil and Environmental Engineering

Nevsehir, Turčija
www.icocee.org

21.5.2015

2. konferenca trajnostne gradnje, GBC Slovenia

Brdo pri Kranju, Slovenija
<http://konferencatrajnostnegradnje.si/>

22.-28.5.2015

WTC 2015 – Svetovni kongres o tunelih in podzemni gradnji

Dubrovnik, Hrvaška
http://wtc15.com/marketing_tools

25.-29.5.2015

XVth IWRA World Water Congress

Edinburg, Škotska
www.worldwatercongress.com

3.-7.6.2015

5th International Congress on Construction History

Chicago, ZDA
www.5icch.org

22.6.-2.7.2015

XXVIth IUGG General Assembly

Praga, Češka
www.iugg.org/programmes/grants2015.php

28.6.-3.7.2015

36th IAHR World Congress

Hague, Nizozemska
www.iahr2015.info/

9.-11.7.2015

International Scientific Conference Road Research and Administration, "CAR 2015"

Bukarešta, Romunija
http://car.utcb.ro/page_id=17&lang=en

15.-17.9.2015

NDT-CE – International Symposium on Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE) 2015

Berlin, Nemčija
www.ndt-ce2015.net/home

2.-4.11.2015

6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering

Christchurch, Nova Zelandija
www.6icege.com

26.-27.11.2015

15. kolokvij o asfaltih in bitumnih, ZAS

Bled, Slovenija
www.zdruzenje-zas.si/

7.-9.12.2015

Building Simulation Conference 2015

Hyderabad, Indija
www.bs2015.in/

27.-29.7.2016

3rd International Conference on Structures and Architecture

Guimaraes, Portugalska
www.icsa2016.arquitectura.uminho.pt/

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