





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**
izr. **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

Lektorica:

Alenka Raič Blažič

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Anka Holobar

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski 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 števk. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 22,95 EUR; za študente in upokojence 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 všteti 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, oktober 2007, letnik 56, str. 241-276

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.
- Poglavja 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 **242**

NAGRADE INŽENIRSKÉ ZBORNICE SLOVENIJE

Članki • Papers

stran **244**

Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad.

MOST ČEZ DRAVO NA PTUJU – ZASNOVA KONSTRUKCIJE

BRIDGE OVER THE DRAVA RIVER IN PTUJ – CONCEPTUAL DESIGN

stran **254**

Anžej Kne, univ. dipl. inž. grad.

Ksenija Marc, univ. dipl. inž. grad.

doc. dr. Jana Šelih, univ. dipl. inž. grad.

ODLOČANJE O VZDRŽEVANJU CESTNIH OBJEKTOV – PRIMER SKUPINE NADVOZOV NAD AVTOCESTO

DECISION ON THE REHABILITATION OF THE ROAD FACILITIES –
EXAMPLE OF THE GROUP OF HIGHWAY CROSSOVERS

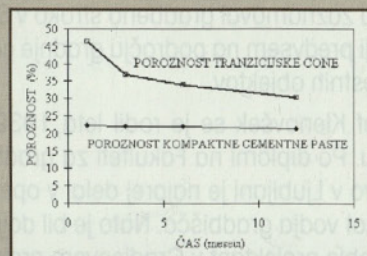
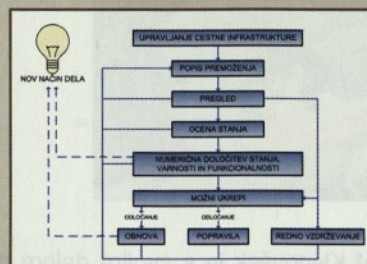
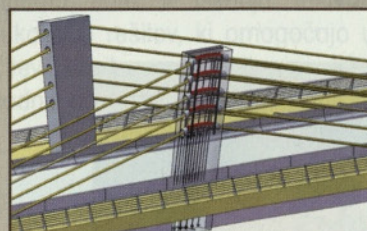
stran **263**

Branko Korošak, inž. grad.

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

APROKSIMATIVNA FUNKCIJA TLAČNE TRDNOSTI BETONA

THE APPROXIMATIVE FUNCTION OF THE COMPRESSIVE STRENGTH
OF CONCRETE



Odmev

stran **270**

Ali je akumulacija Suhorka potrebna? Drugo mnenje.

dr. Uroš Krajnc, univ. dipl. inž. grad.

Vabilo na 18. Mišičev vodarski dan

stran **276**

Novi diplomanti gradbeništva

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

Koledar prireditev

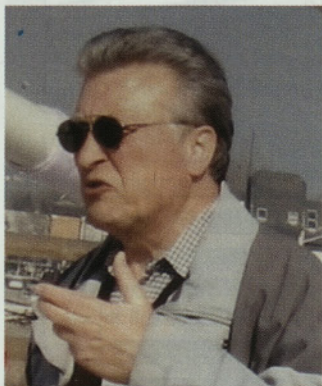
J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: Porušen most na cesti v Davčo, foto Matjaž Mikoš

NAGRADE INŽENIRSKÉ ZBORNICE SLOVENIJE 2007

Na Dnevu inženirjev, ki je bil v torek 9. 10. 2007 v Mariboru, so bili nagrajeni tudi trije gradbeniki.

Nagrado IZS za življenjsko delo je prejel Jožef Klenovšek, univ. dipl. inž. grad., za delo na področju načrtovanja in gradnje mostov.



Jožef Klenovšek je s svojim delom globoko zaznamoval gradbeno stroko v Sloveniji predvsem na področju gradnje cest in cestnih objektov.

Jožef Klenovšek se je rodil leta 1939 v Celju. Po diplomu na Fakulteti za gradbeništvo v Ljubljani je najprej delal v operativni kot vodja gradbišča. Nato je bil daljše obdobje projektant v Gradisovem projektivnem biroju v Mariboru. V tem času je bilo po njegovih načrtih zgrajenih veliko mostov na prvih slovenskih odsekih avtocest Vrhnika–Postojna in Hoče–Levec. Večina teh objektov brez večjih rekonstrukcij še danes odlično služi svojemu namenu.

V zadnjem času je Jožef Klenovšek deloval kot nadzorni inženir pri velikih avtocestnih gradnjah. Tu je treba omeniti celotni avtocestni odsek od Maribora do Šentilja, vključno s hitro cesto skozi Maribor, kjer ni sodeloval le pri gradnji mostov, temveč tudi pri cestnih in geotehničnih gradnjah. V tem času je sodeloval tudi pri izdelavi slovenskih tehničnih specifikacij za objekte na cestah, deloval kot recenzent in revident ter tudi kot javen član večine strokovnih komisij za

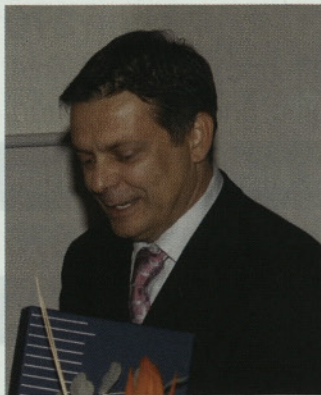
izbor natečajnih rešitev za velike mostove.

Inženir Jožef Klenovšek je neumoren pri prenosu in uvajanju tujih tehničnih predpisov, priporočil in pozitivnih izkušenj v slovensko gradbeno prakso, predvsem na področju načrtovanja in gradnje mostov. To velja zlasti za uporabo sistemov za prednapenjanje, geotehničnih sider, mostnih ležišč in dilatacijskih naprav, sistemov odvodnjavanja in drugih elementov, ki vplivajo na kvaliteto in trajnost objektov.

Kot izjemen prispevek slovenski gradbeni stroki moramo poudariti tudi nepogrešljivo sodelovanje pri treh izjemnih cestnih objektih. Pri avtocestnem mostu čez Muro in Puhovem mostu na Ptujju je bil nadzornik, pri viaduktu Črni Kal revident načrtov.

Z njegovim nenehnim nesebičnim vzemanjem za višjo raven načrtovanja, gradnje in dokazovanja kakovosti elementov in konstrukcije, je v obliki boljših in trajnejših objektov pridobila tako gradbena stroka kot tudi investitor – država oz. davkoplačevalci.

Nagrado IZS za inženirske dosežke je prejel Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad., odgovorni projektant Puhovega cestnega mostu na Ptujju.



Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad., je ponovno dokazal, da spada v sam vrh slovenskih inženirjev. Svoje znanje stalno izpopolnjuje, kar ga uvršča v avant-

gardo iskalcev novih uspešnih in inovativnih inženirskih projektov – predvsem mostov – tudi v svetovnem merilu. To dejstvo je Viktor Markelj potrdil tudi z izredno odmevno zmago na mednarodnem natečaju za idejni projekt mostu čez Savo v Beogradu preko otoka Ada Ciganlija.

Pot do uspešne realizacije Puhovega mostu na Ptujju je bila dolga in zahtevna. Viktor Markelj je že leta 2004 zmagal na anonimnem natečaju za arhitektonsko – konstrukcijsko rešitev mostu čez Dravo na Ptujju, ki ga je razpisala ptujška občina v sodelovanju z DARS in DDC.

Projektant mostov Viktor Markelj se je moral pri zasnovi mostu čez Dravo na Ptujju podrediti mnogim zahtevam naročnika, ki so imele močan vpliv tako na arhitektonski videz kot na konstrukcijsko zasnovo mostu. Zahteva po vključevanju mostu v arhitektonsko uravnoteženo zaporedje mostov ob slikovitem pejzažu mesta Ptuj z okolico je klicala tudi po svežem in tehnično inovativnem konceptu mostu. Mostovi s poševnimi kabli z nizkimi piloni (v tujini imenovani »extradosed«) predstavljajo sedaj uspešen svetovni trend pri gradnji mostov z razponi srednjih vrednosti. Pri Puhovem mostu je bila taka rešitev prvič uporabljena – tudi v svetovnem merilu – za most v izraziti vodoravni krivini ($R = 450$ m) in dolžini 430 m. S tako rešitvijo je premoščena največja vodna površina v Sloveniji širine celih 300 m. Zanimiv in zahteven je tudi način temeljenja mostu.

Viktor Markelj se je zavedal tudi velikega pomena arhitektonskega videza mostu. V sodelovanju z arhitektom prof. Petrom Gabrijelčičem je zato nastala konstrukcija, ki je nova arhitektonska znamenitost slikovitega Ptujja in s katero je Ptuj samo pridobil na svoji zunanji podobi. Uspešno in izvirno je s širokimi hodniki omogočen varen prehod pešcev preko mostu, ki tako lahko uživajo v pogledu na Ptuj iz novega zornega kota tik nad gladino Drave.

Nagrado IZS za inženirske dosežke je prejel Andrej Pogačnik, univ. dipl. inž. grad., odgovorni projektant več stanovanjskih, poslovnih in industrijskih objektov.



Andrej Pogačnik, odgovorni projektant gradbenih konstrukcij, rojen leta 1963, je leta 1988 diplomiral na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. Zaposlen je v podjetju ELEA iC d.o.o. kot direktor in odgovorni projektant gradbenih konstrukcij.

Predlog, da Inženirska zbornica Slovenije podeli nagrado inženirju Andreju Pogačniku je utemeljen predvsem z njegovim izredno strokovnim pristopom k udeležanju drznih arhitekturnih zasnov pri projektih Trnovska vrata in hotel Sotelia. Po eni strani velja pri objektu

Trnovska vrata omeniti 12-metrsko konzolo, ki jo podpirajo robni stenasti nosilci, po drugi pa temeljenje objekta, ki stoji na mehkih barjanskih tleh.

Pri novem hotelu Sotelia pa poleg zahtevnega temeljenja zasluži poudarek konstruktorska rešitev velikih razponov. Za arhitekturo tega objekta so avtorji prejeli Plečnikovo nagrado.

Andrej Pogačnik sledi svojemu profesionalnemu čutu v iskanju takih konstrukcijskih rešitev, ki omogočajo uresničitev novih, naprednih in estetsko skladnih arhitekturnih idej.

MOST ČEZ DRAVO NA PTUJU – ZASNOVA KONSTRUKCIJE BRIDGE OVER THE DRAVA RIVER IN PTUJ – CONCEPTUAL DESIGN

Viktor MARKELJ, univ. dipl. inž. grad.
PONTING, Maribor

Strokovni članek
UDK 624.21: 625.745.1

Povzetek | V prispevku je prikazana zasnova in tehnična rešitev mostu preko reke Drave na območju Ptujskega jezera na novi južni vpadnici, ki predstavlja navezavo mesta Ptuj na bodočo hitro cesto Slov. Bistrica – Ormož ter na bodočo avtocesto Maribor – Gruškovje. Most v dolžini 433 m in širini 18,7 m leži v horizontalni krivini s polmerom 460 m. Uporabljena je moderna zasnova v prednapetem betonu po t.i. sistemu »extradosed bridge«, ki je vmesna stopnja med grednimi mostovi in mostovi s poševnimi zategami (cable-stay bridge). Statični razponi mostu znašajo $65 + 100 + 100 + 100 + 65 = 430$ m. Prečni prezek je enocelična škatla, ki je vzdolžno prednapeta s klasičnimi kabli znotraj preza ter dodatno z »extrados« kabli preko štirih dvojnih nizkih pilonov. Izgradnja mostu po inovativni zasnovi novega mostnega sistema, ki se v svetu uporablja šele zadnje desetletje, predstavlja novo stopnico v referenčni kakovosti slovenske mostogradnje.

Summary | The paper presents design and technical solutions for the bridge over the Drava River on the new south main road, which connects the city of Ptuj with the main road Slov. Bistrica – Ormož and the future motorway Maribor – Gruškovje. The horizontal axes of the 430 m long and 18,7 m wide bridge is in radius of 460 m. The bridge is designed as an »extradosed bridge«, representing an intermediate stage between simple girder bridges and cable-stayed bridges. The structural spans of the bridge amount $65 + 100 + 100 + 100 + 65 = 430$ m. In the cross-section, the bridge is a mono-cellular, box-shaped, longitudinal pre-stressed concrete girder, with internal prestressing cables inside and additional extradosed cables over low double pylons. The construction of the innovative designed »extradosed bridge«, being used for the past ten years now, represents a new, higher step in reference quality of Slovenian bridge design and construction.

1 • UVOD

V mesecu maju 2004 sta Mestna občina Ptuj in Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS) razpisala vabljeni anonimni natečaj za konstrukcijsko in arhitektonsko rešitev mostu čez reko Dravo na novi južni vpadnici. Povabili so štiri slovenske biroje z najvišjimi referencami na področju projektiranja mostov ter dopustili, da je vsak ponudil največ dve rešitvi. V roku so se odzvali trije biroji, dva s po dvema rešitvama ter eden z eno, torej je skupaj prispelo pet natečajnih rešitev. Prvo in drugo nagrado je dobila avtorska ekipa iz Inženirskega biroja Ponting d.o.o. iz Maribora. DARS je še v letu 2004 naročil izdelavo idejnega

Podatki o mostu

Naziv	Most čez Dravo na Ptuj
Lokacija	Južna mestna vpadnica Draženci – Ptuj
Investitor	DARS d.d., Celje
Projektant	Ponting d.o.o., Maribor
Odgovorni projektant	Viktor Markelj, univ. dipl. ing. grad.
Izvajalec	JV SCT d.d., Ljubljana in Porr a.g., Dunaj
Nadzornik	DDC svetovanje inženiring d.o.o., Ljubljana
Velikost	$L = 433$ m, $B = 18,70$ m, $A = 8097$ m ²
Čas gradnje	Oktober 2005 – maj 2007
Pogodbena vrednost	8,8 mio EUR

projekta in projekta za pridobitev gradbene dovoljenja na osnovi prvonagrajene rešitve. Načrti faze PGD so bili zaključeni v naslednjem letu, ko je bil izveden tudi izvajalski razpis.

Z izbranimi izvajalci, Joint venture SCT d.d. Ljubljana in Porr a.g. Dunaj, je bila konec septembra 2005 podpisana izvajalska pogodba za most v vrednosti 8,8 milijonov evrov. Svečana otvoritev mostu, ki so ga

poimenovali »Puhov most« po znanem slovenskem izumitelju, je bila 18. 5. 2007. V tem prispevku je prikazana zasnova in projektna rešitev tega mostu.

2 • POGOJI PREMOSTITVE IN POSEBNOSTI LOKACIJE

2.1 Prostorsko lokacijske osnove

Ptujsko jezero je največje stalno slovensko jezero ter je s 420 ha površine približno trikrat večje od Blejskega. Dolžina jezera znaša preko 5 km, širina dosega do 1,2 km, globina pa do 15 m. Akumulacija je namenjena za napajanje hidroelektrarne Srednja Drava II v Forminu preko kanala, ki poteka od jezera v Markovcih. Na mestu novega mostu, približno 600 m pod železniškim mostom, je jezero široko dobrih 250 m ter globoko 5 m (slika 1). Trenutno poteka evropsko podprt projekt oživiljanja Ptujskega jezera, ki se preureja v turističen in športnorekreacijski center.

Novi most je del nove južne vpadnice v mesto Ptuj, ki je bila zgrajena kot del glavne ceste G1-2 na odseku Hajdina – Ptuj. Cesta je rešila velike prometne zagate v mestni občini Ptuj, ki je do sedaj premogla en sam cestni most preko reke Drave. Kasneje bo južna vpadnica z mostom navezala Ptuj tudi na bodočo avtocesto Maribor – hrvaška meja ter na glavno cesto Slovenska Bistrica – Ormož, katere natančen potek na območju mesta Ptuja pa še ni znan. Morfologija terena na mestu premostitve je izrazito ravninska. Glavno oviro predstavlja jezero samo, predvsem pa njegovi bregovi z vso tehnologijo za delovanje akumulacijskega jezera (varnostni nasipi, tesnilna injekcijska zavesa, drenažna kanalizacija in jarki) kakor tudi fekalna kanalizacija na obeh straneh ter potok Grajena na desnem bregu. Pri posebnosti lokacije je bilo potrebno upoštevati relativno bližino ptujskega starega mestnega jedra s Ptujskim gradom, ki je oddaljen dober kilometer zračne linije. Lokacijski načrt je zahteval rešitev, ki bo skladna z vedutnimi pogledi na mestno jedro Ptuja.

2.2 Prometnotehnični pogoji

Južna mestna vpadnica ($v_R = 70$ km/h) od krožišča »Perutnina« (km 2,450) teče preko kmetijskih površin v smeri severa ter začne v km 2,950 prečkati jezero v izraziti desni krivini z $R_H = 460$ m. Niveleta poteka v konveksni zaokrožitvi $R_V = 12.000$ m s tangentami

2,00 in $-2,50$ % naklona, višinsko na višini ca. 7 do 8 m nad običajnim nivojem vode. V km 3,350 trasa poleg jezera premosti še potok Grajeno ter se v premi spusti do krožišča »Drava« v km 3,700. Most je v celoti v horizontalni krivini $R_H = 460$ m ter v vertikalni krivini $R_V = 12.000$ m, prečni padec vozišča na objektu je konstanten 3 %. Na objektu so predvidene naslednje prometne površine:

- Dvosmerno vozišče $0,5 + 7,10 + 0,5 = 8,10$ m
- Od vozišča ločen prostor za pešce in kolesarje v širini 3,10 m na vsaki strani.

2.3 Vodnogospodarski in hidrotehnični pogoji

Jezero je na mestu prečkanja široko dobrih 250 m ter globoko do 5 m. Znotraj akumulacijskega jezera še vedno potekajo vodni tokovi, ki sledijo starim strugam pred zaježitvijo. Zaradi počasnejših ali stoječih vodnih predelov se na dnu odlaga mulj, ki zmanjšuje akumulacijsko sposobnost jezera. Kot križanja mostu in jezera se zelo spreminja, tako zaradi polmera osi ceste kot tudi zaradi oblike bregov jezera.

Bolj kakor kot križanja je pomembna uređitev obeh bregov, ki zagotavljata tesnjenje in s tem funkcijo akumulacijskega jezera. Tesnilna injekcijska zavesa je nadvišana z varovalnim nasipom na desnem bregu do kote $+221,54$ m in levem bregu do $+221,40$ m. Vzporredno ob nasipih na notranji vodni strani je za povečano tesnjenje položen 60 cm debel meljni tepih, ki sega 50 m v jezero.

Višinske kote vode v jezeru na območju premostitve so naslednje:

- Običajna delovna gladina $+220,15$ m
- Maksimalna gladina Q_{100} $+220,40$ m
- Minimalna gladina $+219,00$ m

Minimalna plovnost pod mostom na vodni površini je bila definirana z zahtevano svetlo višino 4,00 m. Upoštevati je bilo potrebno, da jezero občasno tudi zamrzne.

2.4 Geološko-geomehanski pogoji

Izvedene preiskave izkazujejo v površinskem pokrovu humus, melj in pesek ter umetni nasip iz proda in melja v debelini do 2 m. Do pliocenske podlage na globini 16 m pod površino na levem bregu in 18 m pod površino na desnem bregu so prodno-peščene do prodno-peščeno-meljne zemljine, ki so pretežno srednje gostega do gostega sestava. Talna voda je na globini 1,5 m pod površino



Slika 1 • Lokacija vpadnice poteka po južnem robu sedanje urbanizacije Ptuja

na desnem bregu ter 2,5 m na levem bregu Drave. Podlogo predstavlja pliocenska osnova v obliki zbitega melja, peska in gline in se

nahaja približno na absolutni koti 190 do 200 m n.v., kar pomeni dobrih 20 do 30 m pod običajno vodno gladino.

3 • ZASNOVA MOSTU

3.1 Izbira konstrukcijskega sistema

Zasnova objekta in konstrukcije izhaja iz iskanja optimalnega odgovora na zelo zahtevne opisane pogoje premostitve akumulacijskega jezera. Najpomembnejši pogoji in posebnosti, ki diktirajo zasnovo objekta in konstrukcije, so:

- **ostre omejitve za postavitev podpor ob tlesnih nasipih na bregovih jezera**
- **geometrija osi v veliki horizontalni zakrivljenosti z $R = 460$ m**
- **nizek položaj nivelete in zahtevani svetli in plovni profili pod objektom**
- **relativna bližina mestnega jedra in ptujski vedutni pogoji**
- **zahtevna izvedba temeljenja in težavno vzdrževanje konstrukcije v jezeru**
- **ostalo (obstoječe kanalizacije in drugi komunalni vodi, jarki in potoki, obstoječi objekt razbremenilnika, oster kot križanja z levim bregom)**

Vse to je zelo zožilo izbor možnih variant premostitve, saj so bili istočasno potrebni veliki razponi in relativno tanka voziščna konstrukcija. Najbolj ustrezna vzdolžna dispozicija podpor se je pokazala s štirimi vmesnimi podporami, od tega s tremi v jezeru ter s petimi razponi velikosti:

$$65 + 100 + 100 + 100 + 65 = 430 \text{ m}$$

Taka razporeditev podpor ustreza vsem naštetim omejitvam, temeljenje ne posega v obstoječe grajene strukture. V prečni smeri ni bilo dilem – zaradi razponov, radija in torzije, instalacij ter vzdrževanja, je bil izbran škatlasti prečni prerez v višini 2,70 m, kar je tudi največja konstrukcijska višina, ki so jo dopuščali zahtevani svetli profili.

Tako dosežena vitkost $L/H = 100/2,7 = 37$ je seveda prevelika za običajno gredno konstrukcijo s konstantno konstrukcijsko višino. Običajni prednapeti nosilec s spremenljivo višino, izdelan po metodi proste konzolne gradnje, pa bi nad stebrom potreboval konstrukcijsko višino od 5,0 do 5,8 m ($L/20 - L/17$), kar zaradi zapiranja plovnega profila ni sprejemljivo. Zato je bilo potrebno nosilec podpreti od zgoraj, na primer s kabli

Nosilnost kolov v premeru 150 cm in dolžini 25 do 30 m je bila določena na 9000 do 10.000 kN.

konstrukcija ne »visi« na kablji, ampak kabli le napenjajo prekladno konstrukcijo, ki pa mora zato imeti večjo togost kot v primeru harfe. Osnovne značilnosti teh mostov so razvidne iz skice in preglednice na sliki 2.

Kot prehodnika »extradosed« mostov lahko štejemo Gantar bridge v Švici, vendar so prvo pravo aplikacijo doživeli leta 1994 na Japonskem (Odawara Blueway Bridge), kjer so tudi najbolj razširjeni. Konstrukcijski sistem je še v razvoju, v času snovanja so se pojavile prve smernice (FIB, 2005), s strokovnimi standardi pa elementi in tak tip konstrukcije še ni pokrit.

»Extradosed« mostovi so najbolj primerni za razpone med 100 do 200 m. Če se izbere višina pilona med $L/10 - L/15$, običajno zadoštuje konstrukcijska višina preklade v vrednosti $L/30 - L/40$. Kabli pri »extradosed« mostovih so izpostavljeni precej manjšemu nihanju napetosti pod koristno obtežbo (utrujanje materiala) kot pri mostovih s poševnimi kabli, in sicer velja za $\Delta\sigma$ približno:

Poševni kabli	do 200 MPa
»Extrados« kabli	do 50 MPa
Zunanji kabli	do 15 MPa

Poleg tega zaradi manjše dolžine kablov niso izpostavljeni vibracijam (odločilne za vibracije

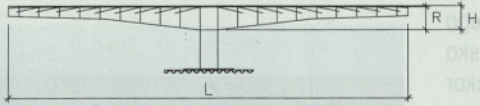
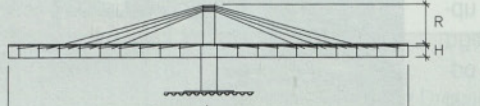
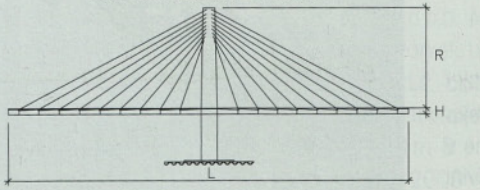
preko pilonov. Vendar je tudi nad voziščem podana omejitev morebitnih konstruktivnih elementov z največjo višino do 10 m zaradi vedutnih pogojev Zavoda za varovanje kulturne dediščine.

Rešitev problema je bila uporaba novega nosilnega sistema v mostogradnji, to je tako imenovani »extradosed bridge«, ali po naše nosilec, prednapet po zunanji strani, ki je nekakšna vmesna stopnja med mostovi s poševnimi kabli (harfami) ter nosilci. Voziščni nosilec ima lahko manjšo togost kot običajna greda, piloni pa so nižji kot pri obešenih sistemih.

Ker pri nas takega mostu še ni, bom v naslednjem poglavju na kratko podal nekaj osnovnih značilnosti take mostne konstrukcije.

3.2 Osnovne značilnosti »extradosed« mostov

»Extradosed« mostovi so na pogled podobni kabelskim mostovom, vendar s precej – do 3-krat nižjimi nosilnimi stebri (piloni). Zaradi nižjih pilonov in bolj položnih kablov voziščna

TIP KONSTRUKCIJE	VIŠINA KONSTRUKCIJE	ROČICA KABLOV	IZKORISTEK KABLOV
PROSTO KONZOLNA GRADNJA 	$H = \frac{L}{15} - \frac{L}{20}$	$R = 0.90H$	$f_k = 0.70 f_u$
EXTRADOS PRESTRESSED BRIDGE 	$H = \frac{L}{30} - \frac{L}{40}$	$R = \frac{L}{10} - \frac{L}{15}$	$f_k = 0.60 f_u$
MOST S POŠEVNIMI ZATEGAMI 	$H = \frac{L}{50} - \frac{L}{150}$	$R = \frac{L}{4} - \frac{L}{5}$	$f_k = 0.45 f_u$

Slika 2 • Osnovne značilnosti »extradosed« mostov

ob vetru z močnim dežjem so lastne frekvence pod 3 Hz) kakor tudi ne upogibom pri sidriščih med uporabo. Zato se »extrados« kable lahko bolje izkoristijo, celo do $0,60 f_u$ (slika 3), od klasičnih poševnih kablov. Temu primerna

je tudi cena, ki je v rangi zunanjih kablov (kar je približno dvakrat več od klasičnih in dvakrat manj od poševnih zateg). Prehod skozi pilon se običajno izvede z deviatorskimi sedli, pri večjih kablilih in večjih pilonih

pa z dvojnimi sidrišči. Na sedlu mora biti zagotovljeno dovolj varnosti glede na zdrs kabla. Če te varnosti ne zagotavlja trenje, je potrebno uporabiti posebej za ta namen razvita sedla s pridrževalnimi elementi.

4 • OPIS KONSTRUKCIJE MOSTU

4.1 Splošni opis

Dolžina Puhovega mostu med dilatacijami znaša 433 m, skupna širina 18,70 m. Statični sistem je kontinuirna škatlasta konstrukcija, visoka 2,7 m, prednapeta po t.i. sistemu »extradosed bridge« s statičnimi razponi $65 + 100 + 100 + 100 + 65 = 430$ m (slika 3). Celotna konstrukcija predstavlja eno samo zavorno enoto z dilatacijami samo na krajnih opornikih. Dve srednji podpori imata vzdolžno nepomična ležišča ter prenašata vse vzdolžne horizontalne obtežbe, medtem ko prečne horizontalne obtežbe prenašajo vse podpore. Od štirih vmesnih podpor so tri v akumulacijskem jezeru.

4.2 Zgornja konstrukcija

Zgornja konstrukcija je sestavljena iz treh glavnih elementov:

- gredne voziščne konstrukcije
- nizkih pilonov in
- poševnih kablov.

Voziščna konstrukcija je trapezna prednapeta AB škatla s konstrukcijsko višino 2,70 m (slika 4). Debelina stojine je 0,50 m, zgornja plošča je široka 18,16 m, spodnja pa 9,10 m. Debeline plošč znašajo od 22 do 50 cm. Konzola je dolga 4,24 m, pri vpetju debela 50 cm in je klasično armirana (projektirana za gnečo 3 kN/m^2 , koncentrirano silo 50 kN ter vzdrževalno vozilo v shemi LKV 120 kN). Spodnja plošča je pri podporah zaradi uravnavanja tlačnih napetosti odebeljena na 80 cm. Konstrukcija je izdelana iz betona tlačne trdnosti C45/50.

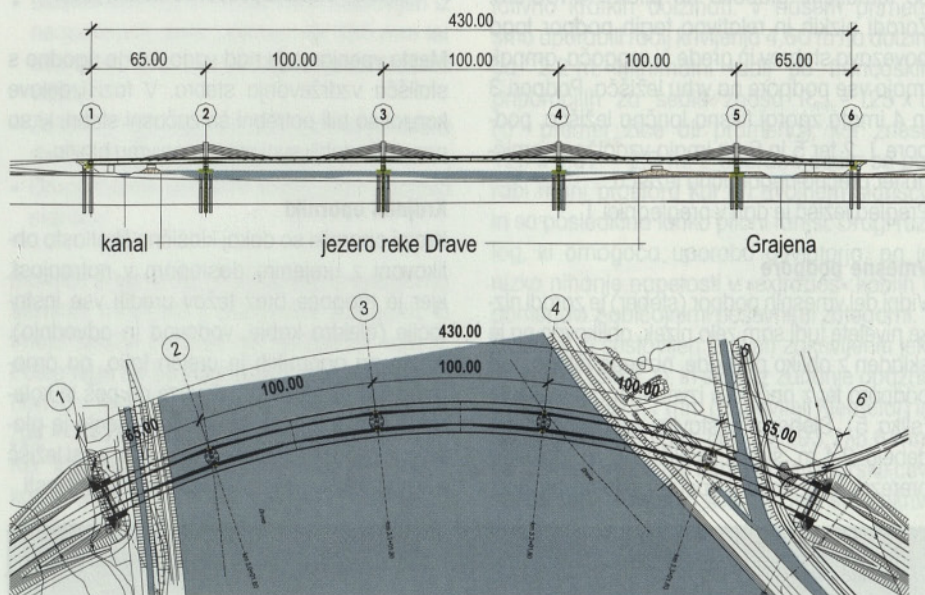
Zgornja konstrukcija je prednapeta z internimi naknadno sovprežnimi kablili (zgornjimi konzolnimi in spodnjimi v polju) ter dodatno še z 2 krat po 5 parov »extrados« kablili $31 \times 0,62$ ". Le-ti podpirajo škatlo na rastru 5 m tik ob stojinah, tako da je vnos sile direkten v vzdolžni nosilni sistem in zato ni problematičen.

Sestavni del zgornje konstrukcije so tudi kratki piloni v skupni višini 8,5 m ($L/11,8$), po dva na vsako podporo. Pilona s prečnim prerezo

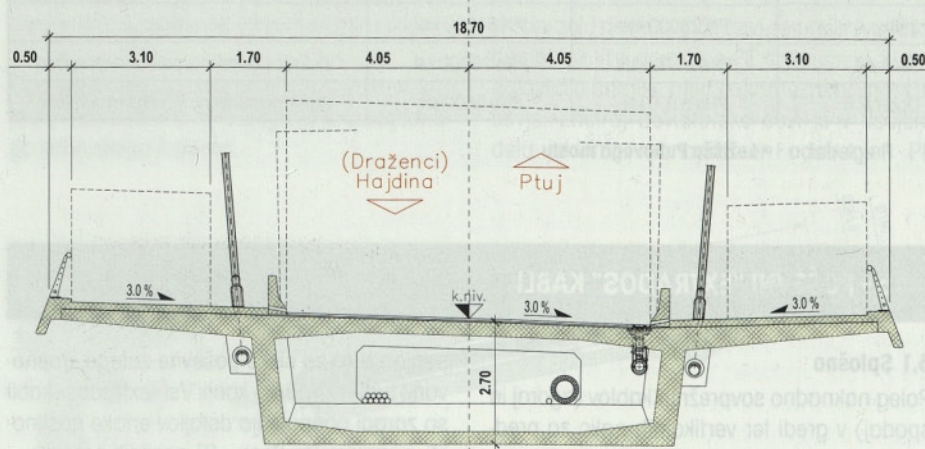
$1,20 \times 2,80$ m sta nagnjena navzven v naklonu 7,5:1, da kable zaradi zakrivljenosti trase ne segajo v svetli profil. Kratki vpeti piloni, ki preko kablov nosijo del preklade, pritiskajo (odklonske sile ekstrados kablov) neposred-

no na prečnik in vnašajo sile v ležišča in podporno konstrukcijo.

Vsak pilon ima vgrajenih 5 deviatorjev za »extradosed« kable, ki so zasnovani tako, da brez težav omogočajo posamično zamenjavo kablov. Deviatorji, skozi katere potekajo poševni kable, imajo zakrivljenost 4,6 m. Za zagotavljanje večje trajnosti (razpoke) so piloni vertikalno prednapeti po natezni strani z dywi-



Slika 3 • Naris in floris Puhovega mostu čez Dravo na Ptuj



Slika 4 • »Extrados« kable ob stojinah vnašajo sile direktno v škatlasti prerez visok 2,70 m

dag palicami $\Phi 40$ WR (950/1050 MPa). Pilon na notranji strani krivine je napet z 11 palicami, pilon na zunanji strani pa s 5 palicami. S tem se kompenzira obremenitev, ki nastaja zaradi krivine objekta. Beton pilonov mora imeti trdnost C45/55.

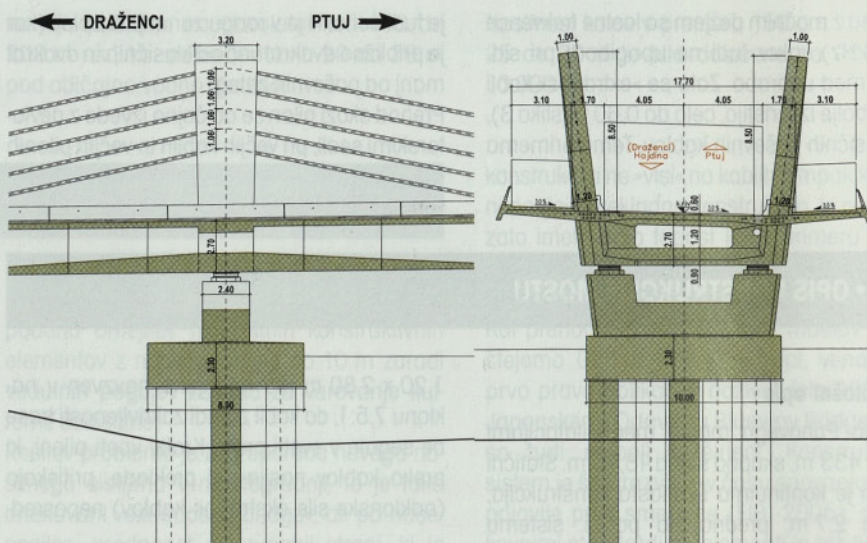
»Extrados« kabli so v dvojini PE zaščiti ter v celotni dolžini zapolnjeni s cementno injekcijsko maso, kar zagotavlja zunanjo mehansko (antivandalistično) odpornost. Zaradi majhne dolžine kablov, visokega izkoristka sile in majhnega nihanja napetosti kabli niso problematični s stališča dinamike in utrujanja.

4.3 Podporna konstrukcija in temeljenje

Podporna konstrukcija je sestavljena iz 2 opornikov in 4 vmesnih stebrov, od katerih so trije v jezeru, eden pa na suhem. Vse podpore so temeljene globoko na pilotih $\Phi 150$ cm. Zaradi nizkih in relativno togih podpor toga povezava stebrov in grede ni mogoča, ampak imajo vse podpore na vrhu ležišča. Podpori 3 in 4 imata zgoraj fiksna lončna ležišča, podpore 1, 2 ter 5 in 6 pa imajo vzdolžno pomično ter prečno nepomična ležišča. Pregled ležišč je dan v preglednici 1.

Vmesne podpore

Vidni del vmesnih podpor (stebrov) je zaradi nizke nivoje tudi sam zelo nizek, oblikovno pa je skladen z obliko preklade, nizkega pilona nad podporo ter z načinom izvedenega temeljenja (slika 5). Steber predstavlja zaobljeno steno debelo 2,4 m, široko približno 8 m, polnega prereza, ki je spodaj vpeta v pilotno blazino.



Slika 5 • Vmesna podpora z nizkimi piloni

Mesto vpenjanja je nad vodo, kar je ugodno s stališča vzdrževanja stebra. V fazi izdelave konzol so bili potrebni še začasni stebri, ki so prav tako dobili svoj prostor na vrhu blazin.

Krajni oporniki

Krajni oporniki so dokaj klasično škatlasto oblikovani z urejenim dostopom v notranjost, kjer je mogoče brez težav urediti vse instalacije (elektro kable, vodovod in odvodnjo). Nasip pri opornikih je urejen tako, da omogoča tudi dostope oz. dovoze do peš in kolesarskih poti z vseh strani. Temeljenje je globoko s piloti $\Phi 150$ cm s tremi piloti v osi ležišč – v prvi vrsti ter dvema pilotoma v drugi vrsti.

Temeljenje

Pri temeljenju v jezeru je bilo potrebno upoštevati tako geomehanske podatke kot tudi možnost izvedbe in vzdrževanja konstrukcije, pa tudi hidravlične posledice. V rešitvi smo za vmesne podpore predvideli temeljenje na 8 pilotih premera $\Phi 150$ cm s »plavajočo« pilotno blazino ovalne oblike. Ker poteka zgornja konstrukcija v krivini, so piloti razporejeni nesimetrično, tako da so pod stalno obtežbo enakomerno obremenjeni (vmesne podpore so na notranji strani zakrivljenosti bolj obremenjenena ležiščih razmerje 58 %–42 %, krajne pa na zunanji strani).

Za izvedbo temeljenja v jezeru so bili zgrajeni umetni otoki z nasipanjem gramozu med zabite jeklene zagatnice. S teh otokov so se izvedli piloti v dolžini 25 do 30 m in betonska blazina ovalne oblike 8 x 10 m. Debelina blazine 2,50 m zagotavlja, da vrh vedno gleda iz vode, dno pa je skrito tudi pri minimalnem nivoju. Kritična točka stebra je pri vpetju v blazino vedno na suhem, dostopna za preglede in vzdrževalna dela. Na površini blazine je bilo enostavno izvesti tudi začasno podpiranje v fazi konzolne gradnje.

Podpora v osi	Ležišče		Opomba
	zunaj	znotraj	
Opornik 1	PNe 6100 kN	PNe 5400 kN	Vzdolžno pomično, prečno nepomično
Steber 2	PNe 21700 kN	PNe 28200 kN	Vzdolžno pomično, prečno nepomično
Steber 3	PN 23000 kN	PN 28200 kN	Nepomično
Steber 4	PN 23000 kN	PN 28200 kN	Nepomično
Steber 5	PNe 21700 kN	PNe 28200 kN	Vzdolžno pomično, prečno nepomično
Opornik 6	PNe 6100 kN	PNe 5400 kN	Vzdolžno pomično, prečno nepomično

Preglednica 1 • Ležišča Puhovega mostu

5 • POŠEVNI »EXTRADOS« KABLI

5.1 Splošno

Poleg naknadno sovprežnih kablov (zgoraj in spodaj) v gredi ter vertikalnih palic za prednapenjanje v kratkih pilonih, je pri mostu uporabljen tudi tretji tip elementov za predna-

penjanje, to so nizke poševne zatege, imenovane tudi »extrados« kabli. Vsi »extrados« kabli so zaradi poenotenja detajlov enake nosilnosti, z enakim številom – 31 nosilnih pramenov.

Vsak poševni kabel je sestavljen iz:

- prostega dela
 - dveh enakih sidrišč na grednem nosilcu ter iz
 - deviatorja oz. sedla na kratkem pilonu.
- Na mostu so bili vgrajeni kabli, navedeni v preglednici 2.

kabel	dolžina/m/* Zunanji / notranji	Napenjalna sila /kN/
C1	46,50 / 45,50	3600
C2	56,84 / 55,61	3800
C3	67,19 / 65,71	3800
C4	77,54 / 75,81	3800
C5	87,89 / 85,91	3700

* Sistemske dolžine od sidrne plošče, preko deviatorja do sidrne plošče; zunanji/notranji označuje stran krivine mostu.

Preglednica 2 • Kabli za posamično konzolno mizo

5.2 Prosti del

»Extrados« kabli so sestavljeni iz 31 monoprarnen 0,62" (150 mm²) v zunanji PE zaščitni cevi, ki se po končani gradnji zainjektira s cementno zmesjo.

Sestava prostega dela poševnega kabla je naslednja:

- Nosilni element: sedemžična vrv z nominalnim premerom 15,7 mm (0,62") in prerezom 150 mm² ter kvalitete 1570/1770 MPa z zelo nizko relaksacijo (< 2,5 % pri napetosti 0,7 f_u v 2000 ur dolgem preizkusu)
- Notranja korozijska zaščita: galvanizacija žic s cinkom, zaščita z mastjo, v PE 80 zaščiti minimalne debeline 1,5 mm (vse skupaj t.i. monoprarnen)
- Zunanja zaščita: zaščitna cev iz gostega polietilena PE, dimenzije 180/10,2 mm. Zaščitna cev je iz črnega polietilena, kostrudirana z zunanjim ovojem v umazano beli barvi RAL 9002, UV stabilizirano. Prostor med monoprarneni in zunanjim PE ovojem se je po končani gradnji glavne konstrukcije zainjektiral s cementno zmesjo za dodatno mehansko odpornost ter preprečitev nastanka kondenza v cevi.

5.3 Sidrišče

Vsaka poševna zatega ima dve sidrišči v gredno konstrukcijo. Uporabljeno je tipsko sidrišče VT 31-150 SK iz programa Vorspann-Technik GmbH Salzburg z manjšo modifikacijo pri zunanji zaščiti glave (slika 6).

Glavni sestavni deli sidrišča VT 31-150 SK so:

- Zagazde dolžine 45 mm, ki prenašajo silo iz vrvi na sidrno glavo (31 kosov/glavo)
- Sidrna glava s koničnimi odprtinami za zagazde in navojem za matico dimenzij Φ 300/115 mm iz jekla C45E + N

- Plastični uvajalni tulec in teleskopska plastična cev, ki prekriva območje, kjer je PE ovoje odstranjen z jeklenih vrvi
- Sidrna navojna matica zunanjega premera Φ 400 mm ter debeline 165 mm, ki prenaša silo na sidrno ploščo iz jekla C45E + N
- Sidrna plošča 550 x 550 x 60 mm, ki prenaša silo na betonsko konstrukcijo in je privarjena na opažno (prehodno) cev dimenzije Φ 355/10 mm, ki zagotavlja prehod skozi betonsko konstrukcijo (dobavitelj tega elementa je bil Klemetal iz Gornje Radgone)
- Notranja jeklena cev dolžine 6507 mm in premera Φ 229 mm je na začetku privijačena na glavo, na koncu na zoženem delu pa se montira centrinski element. V tej cevi poteka kabel, zainjektiran s cementno zmesjo
- Elastomerni centrinski element, sestavljen iz neoprenskih plošč premera Φ 335 mm ter debeline 7 x 15 mm, ki služi tudi kot blažilec vibracij
- Zaščitna kapa dolžine 950 mm ter premera Φ 426 mm za zaščito pramen
- Drugi manjši elementi potrebni za sestavo sidrišča

Sidrišče in sistem je bil vgrajen in preverjen na številnih mostovih s poševnimi zategami, ki imajo strožje zahteve od »extrados« kablov. Poleg tega so bili napravljeni tudi ustrezni dinamični testi celotnega sidra za $\sigma_k = 0,45f_u$, $\Delta\sigma = 200$ Mpa in 2×10^6 ciklov.

Ker ima uporabljeni sistem dodatne modifikacije (pocinkane žice), sta bila posebej za most preko Drave napravljena še dva preizkusa:

- Statični preizkus na posamičnem pramenu in
- Dinamični preizkus na posamičnem pramenu po priporočilih FIB (FIB, 2005), za »extrados« kable, kar pomeni spremembo napetosti $\Delta\sigma = 140$ Mpa pri izkoristku $\sigma_k = 0,55f_u$ in 2×10^6 obremenilnih ciklov

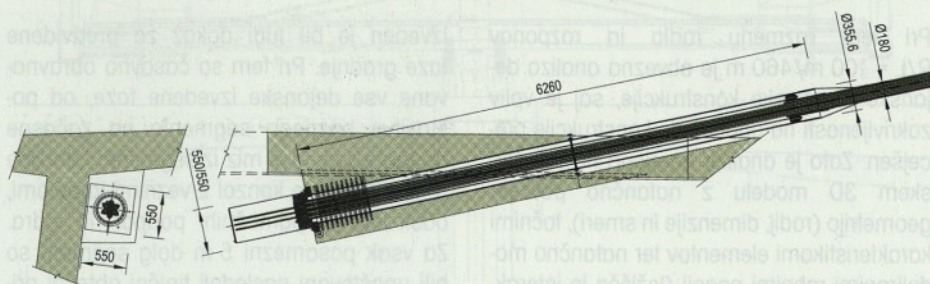
Oba preizkusa sta dala pozitivne rezultate, kar je pomenilo zeleno luč za vgradnjo izboljšane-ga kabskega sistema.

Trajnost sidrišča poševnih zateg je zagotovljena z izborom materialov ter ustrezno antikorozijsko zaščito elementov. Sidrna glava in navojna matica sta narejeni iz nerjavne zlitine, vsi ostali jekleni elementi sidrišča pa so vroče cinkani. Notranji in zgornji del sidrišča in kabla se dodatno injektira s cementno zmesjo, sama glava, zagazde in pramena, ki omogočajo donapenjanje, pa so injektirani z mastmi v zaščitni kapi.

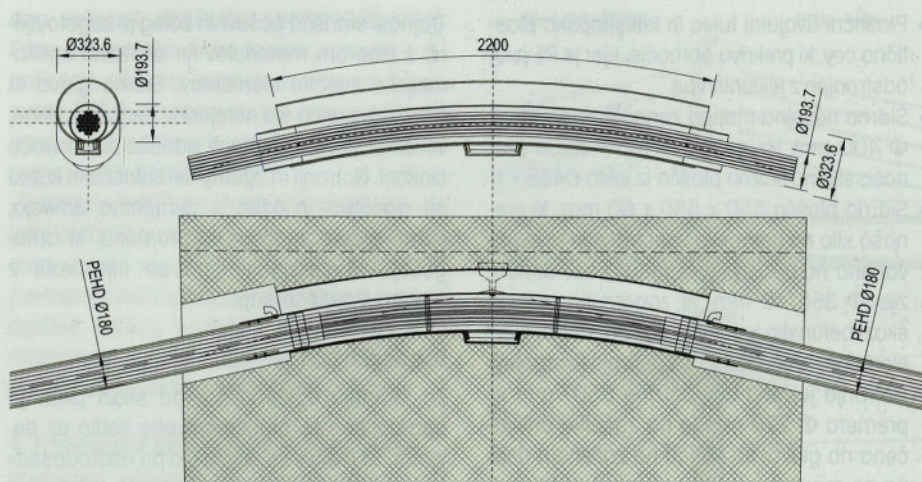
5.4 Sedlo

Za sidranje oziroma prehod skozi pilon je uporabljeno t.i. preusmeritveno sedlo ali deviator. Ta rešitev se uporablja pri »extrados« mostovih, saj je kot loma kablov manjši kot pri mostovih s poševnimi kabli in ga je mogoče izvesti s krivljenjem v dopustnih radijih na relativno kratkih dolžinah. V našem primeru smo uporabili radij krivljenja 4,60 m na dolžini ca. 2,2 m. Minimalni radij po francoskih priporočilih za sedla znaša $R_{min} = 125 \times d$ (d = premer žice ali pramena), kar znese $125 \times 1,57 = 2,0$ m. Z uporabo sedla se porabi manj prostora kot pri dvojnem sidrišču in so posledično lahko piloni tanjši. Drugi razlog, ki omogoča uporabo deviatorja, pa je nizko nihanje napetosti v »extrados« kabliah v primerjavi z običajnimi poševnimi zategami. Deviator je sestavljen iz dveh zakrivljenih jeklenih cevi (slika 7), in sicer iz zunanje opažne cevi Φ 323,6/7,1 mm (dobavitelj Klemetal) in notranje deviatorske cevi Φ 193,7/5,6 mm (dobavitelj VT). V osi kabla in deviatorske cevi znaša radij krivljenja 4,6 m. Cevi sta zakrivljeni tako, da natančno nalegata ena v drugo, kar se preveri v poskusni montaži pred vgradnjo v pilon. Notranja deviatorska cev ima na zunanjih koncih dodane ravne dele in krajšo dolžino loka kot zunanja cev, kar zagotavlja nekaj tolerance pri medsebojnem naleganju cevi.

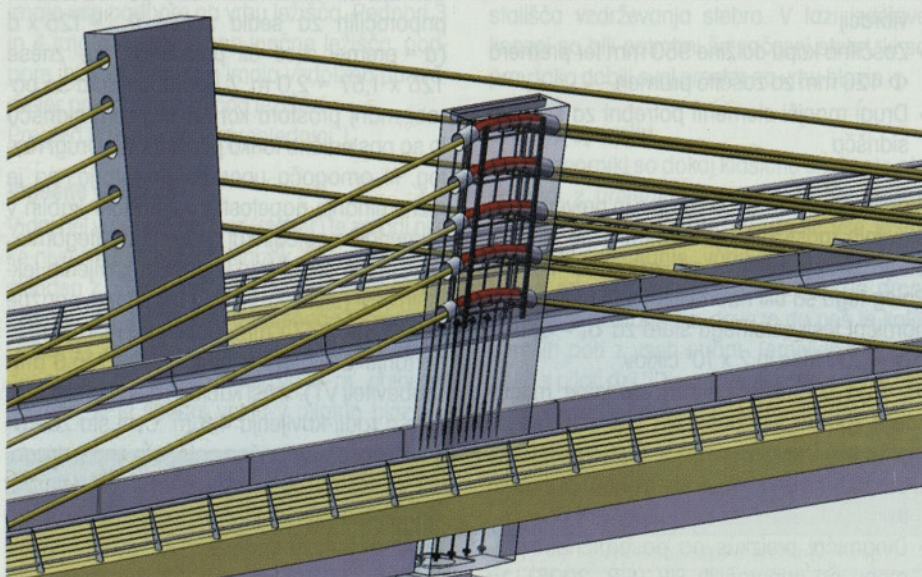
V območju deviatorskih cevi se urejen vzporeden potek vrvi doseže s PE distančniki, ki zagotavljajo odmike med posameznimi vrvmi in cevjo. Znotraj deviatorske cevi je v večjem delu jeklenih monoprarnen odstranjen PE



Slika 6 • Skica spodnjega sidrišča VT poševne zateg



Slika 7 • Sedlo v pilonu je sestavljeno iz dveh zakrivljenih jeklenih cevi



Slika 8 • Zaradi dvojne zakrivljenosti vozišča ima vsako sedlo svojo lego v prostoru

6 • ANALIZA KONSTRUKCIJE

Pri tem razmerju radija in razponov $R/L = 100 \text{ m}/460 \text{ m}$ je obvezna analiza dejanske prostorske konstrukcije, saj je vpliv zakrivljenosti na obnašanje konstrukcije precejšen. Zato je analiza narejena na prostorskem 3D modelu z natančno povzeto geometrijo (radij, dimenzije in smeri), točnimi karakteristikami elementov ter natančno modeliranimi robnimi pogoji (ležišča in interakcija temeljenja s hribino).

Izveden je bil tudi dokaz za predvidene faze gradnje. Pri tem so časovno obravnavane vse dejanske izvedene faze, od postavitve baznega segmenta na začasne podpore, izdelave miz iz segmentov dolžine 5 m, stikovanje konzol z veznimi lamelami, odstranitvijo pomožnih podpor in odra. Za vsak posamezni 5 m dolg segment so bili upoštevani naslednji tipični obtežni pri-

lašč in očiščena mast. Tako pripravljene vrvi se zalijejo s posebno malto iz umetne smole (Sikadur 12 Pronto), ki je kemično nevtralna do pocinkanih vrvi. (Op: po literaturi lahko nekatere vrste cementov hidrogeno reagirajo s pocinkano vrvo).

Karakteristike malte za zalivanje deviatorjev so naslednje:

Tlačna trdnost 60–70 MPa (po eni uri),
70–80 MPa (po 24 urah) ter
75–90 MPa po 10 dneh

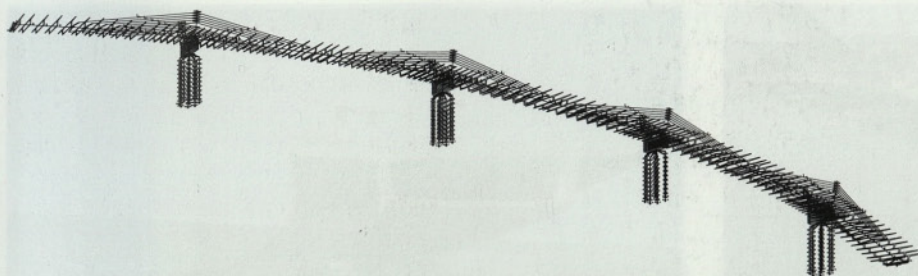
Strižna 1,3 MPa (deklarirano)
srijemnost 3,5 Mpa)

V deviatorju delujejo sile tako vzdolž osi kabla kakor tudi prečni pritiski v ravnini zakrivljenosti sedla. Vse te komponente je potrebno varno vnesti v konstrukcijo pilona. Prečna komponenta sile – gledano na os kabla (v vertikalni in horizontalni smeri) se prenaša preko kontaktnih napetosti med vrvi in malto po celotni dolžini radija na notranjo deviatorsko cev, tam pa preko stika dveh cevi z različnim premerom (t.i. Herzov pritisk) na betonski prečni presek pilona. Diferenčna vzdolžna komponenta, ki nastane pri prometni obtežbi (in tudi pri napenjanju), pa se z vrvi na notranjo cev prenaša s trenjem in strižno sprjemnostjo malte. Iz notranje na zunanjo cev pa se prenaša z jeklenim strižnim trnom, katerega nosilnost je omejena na 400 kN iz statičnih pogojev nosilnosti pilona za mejni obtežni primer pretrganja kabla.

Zunanje opažne cevi za deviatorje se vgradijo skupinsko v pilon s pomožno jekleno konstrukcijo, ki zagotavlja natančnejšo vgradnjo v poševni pilon po izdelanem delavniškem načrtu. Zaradi horizontalne krivine ceste in vertikalne zaokrožitve nivelete ima namreč vsak deviator v pilonu svojo postavitev v prostoru (slika 8).

- Betoniranje novega segmenta (poves opažnega vozička, poves konzole in zasuk vozička)
- Napenjanje internih kablov (dvig konzole)
- Premik opažnega vozička v novo lego (poves konzole)
- Napenjanje poševnih zateg (dvig konzole).

Sledi nadvišanje opaža in sidrnih cevi za zatege v naslednjem taktu. Osnovni račun konstrukcije ter račun nadvišanje je bil narejen s prizanim računalniškim programom RM 2004 za prostorski izračun mostov na osnovi linijskega modela (slika 9). Kontrolni izračun



racunski model konstrukcije

Slika 9 • Linijski 3D model konstrukcije za program RM2004

- Gradbena stanja za konzolno gradnjo in stikovanje konzol s spremembo statičnega sistema
- Izvedba krova – fazno na nedokončani nosilni konstrukciji
- Promet
 - obtežna shema po DIN EN FB101 – razred vozila LM1 ter primerjalno po DIN 1072 – razred vozila SLW600/300;
 - na hodnikih je kot posebni obtežni primer upoštevano vzdrževalno vozilo (LKV 12)
 - zavora sila
- Vsiljene obtežbe (krčenje, lezenje, sprememba temperature, menjava ležišč)
- Veter, ki deluje na konstrukcijo, kable, pileone in na vozila
- Potres $a_g = 10\%$ g
- Obtežni primer zamenjave kablov
- Nezagodna obtežba – pretrganje kabla

je bil narejen s ploskovnimi elementi (lupinami) s programskim paketom TOWER ter volumenski elementi s paketoma Solid-Works in Cosmos.

Upoštevane so bile naslednje obtežbe:

- Lastna teža s časovnim aktiviranjem
- Prednapenjanje klasičnih sovprežnih in »extrados« kablov

7 • GRADNJA

Gradnja mostu, ki se je začela oktobra 2005, je bila izredno zahtevna naloga. Prve naloge so bile predstavitev dveh visokonapetostnih daljnovodov in kanalizacijskega kolektorja ter organizacija temeljenja v širokem akumulacijskem jezeru globine vode do 5 m.

Temeljenje v jezeru se je izvajalo s pomočjo umetnih otokov, ki so se zgradili z nasipavanjem med zabite jeklene zagatnice. Sledilo je globoko temeljenje s piloti premera $\Phi 150$ cm dolžine 25 do 30 m, ki segajo do laporne osnove. Pilotiranje z izkopom v jekleni koloni, ki je bilo v Sloveniji donedavna običajno, ni bilo izvedljivo, ker je prihajalo do problemov pri izvleku kolon. Zato je bil izvajalec prisiljen zamenjati tehnologijo izvedbe pilotiranja, in sicer s tehnologijo z bentonitno izplako. Izkop se je izvajal z vrtno opremo na posebnem bagru skozi jeklene uvedne kolone do globine 8 m, globlje pa se je stabilnost vrtnice zagotavljala s pomočjo bentonitne suspenzije. Ves transport opreme in materiala po jezeru se je izvajal s pomočjo težkih pontonov.

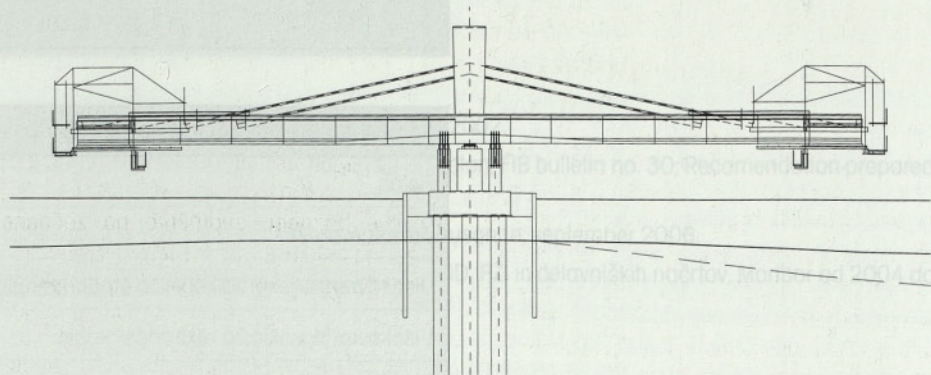
Prekladna konstrukcija se je gradila s tehnologijo proste konzolne gradnje s pomočjo poševnih »extrados« kablov (sliki 10 in 11). Za gradnjo se je uporabljal premični konzolni oder (voziček) z dolžino takta 5 m proizvajalca Wito ter opažerja Doka. Ker ima prekladna konstrukcija konstantno višino, opaža ni bilo potrebno krojiti kot pri običajno spremenljivi višini. V tem pridobljenem času je potekala

montaža in napenjanje »extrados« kablov, tako da je bilo trajanje posameznega takta običajno, to je en teden.

Ena izmed posebnosti gradnje so tudi poševne zatege, ki so sestavljene iz treh osnovnih komponent: prostega dela, dveh sidrišč v gredi ter deviatorja oz. sedla v kratkem pilonu. Sam kabel, to je njegov prosti del je sestavljen iz 31 pletenih vrvi iz visokovrednega jekla s trenutno najkvalitetnejšo antikorozijsko zaščito. Vsaka jeklena vrv je najprej pocinkana, nato zaščitena z mastjo in plastičnim ovojem. Enaintrideset takšnih vrvi, vsaka premera približno 1,5 cm, je zloženo v cev iz trde odporne plastike zunanjega premera 18 cm, vmesni prostor pa je zapolnjen še s cementno maso. Kabli so bili formirani pred objektom, nato pa kot celota montirani

skozi pilon v sidrišča. Napenjanje je potekalo z mononapenjalno obojestransko ter fazno po posamičnih pramenih. Izdelan je bil poseben protokol, ki je zagotavljal, da je imel vsak pramen v kablu na koncu napenjanja enako silo. Kabli imajo mejno nosilnost 8200 kN, v fazi uporabe pa so obremenjeni s približno 4000 kN. Popolnoma unikatna je konstruktorska rešitev sedel za kable v pilonih za skupno 40 poševnih zateg.

Največja težava konzolne gradnje s pomočjo »extrados« kablov je predvsem zahtevna geometrija objekta v ostri krivini in izvedba zahtevnih detajlov vgradnje sidrišč in sedel za kable, ki potrebujejo zelo natančen projekt in izvedbo. Posebna zgodba, ki presega ta prispevek, je tudi projekt nadvišanj in spremljava deformacij v vseh fazah gradnje. Izvedba takega mostu brez najmodernejših programskih rešitev s področja kabelskih mostov in najnatančnejše geodetske opreme ne bi bila mogoča.



Slika 10 • Shema konzolne gradnje s pomočjo nizkih zateg



Slika 11 • Gradnja prekladne konstrukcije



8 • SKLEP

Kabelski mostovi so najzahtevnejše inženirske konstrukcije. Če se kabelski most gradi po konzolnem postopku in v ostrem radiju preko širokega jezera, postane naloga pri načrtovanju in izvedbi še toliko težja. Zato je gradnja predstavljala za investitorja, projektante in izvajalce ter nadzornika izjemen gradbeno-tehnološki izziv, hkrati pa ob uspešnem zaključku predstavlja tudi enkratno referenčno delo svetovnega ranga.

Mesto Ptuj pa je z novim mostom poleg rešitve prometnega problema dobilo tudi unikaten inženirski objekt, ki ne konkurira Ptujskemu gradu in srednjeveškemu mestnemu jedru, ima pa vse možnosti, da postane nova arhitekturna znamenitost in moderni simbol mesta na njegovem južnem obrobju (slike 12, 13 in 14).

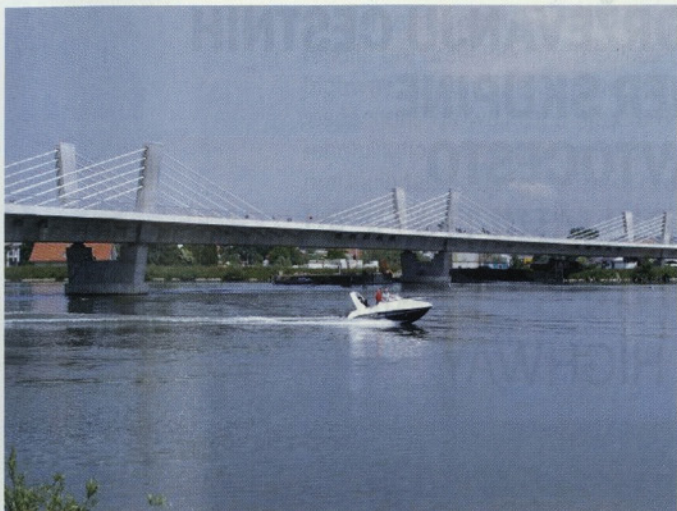
6 • ANALIZA KONSTRUKCIJE

Nekaj posebnosti o mostu

Dolžina, širina, površina	L = 433 m; B = 18,70 m; A = 8.097 m ²
Temeljenje	Betonski piloti premera 1,5 m segajo do 32 m pod vodno gladino
Največja obremenitev posameznega pilota	do 9000 kN
Prekladna konstrukcija	Betonska škatla visoka 2,7 m ter široka 9,2 m
Prometna površina	Dvopasovno vozišče širine 8,1 m, pešci in kolesarji 2 x 3,10 m
»Extrados« kable	Sestavljeni iz 31 jeklenih vrvi premera 1,5 cm nosilnosti 8200 kN, vsak je napet s silo 4000 kN, zunanji premer kablov znaša 18 cm
Ležišča	Lončna mostna ležišča iz jekla, neoprena in teflona nosilnosti od 5400 do 28.200 kN
Ograja	Iz posebej odpornega nerjavnega jekla, ki vsebuje 17 % kroma, 12 % niklja in 2 % molibdena

Poraba glavnih materialov

Beton	m ³	9488
Armaturno jeklo	ton	1300
Visokovredno jeklo za kable za prednapenjanje	kg	189.900
Visokovredno jeklo za »extrados« kable	kg	99.060
nerjavno jeklo	kg	21.000



Slika 12 • Pogled na dokončan Puhov most z gladine Ptujkega jezera



Slika 13 • »Extrados« kabli med stezo za pešce in kolesarje ter voziščem



Slika 14 • Puhov most na Ptju – pogled iz zraka

9 • LITERATURA

Cable Stays, Recommendation of French interministerium comission on Prestressing, SETRA, juin 2002.

FIB, Acceptance of stay-cables system using prestressing steels, Federation internationale du beton, FIB bulletin no. 30, Recommendation prepared by Task Group 9.2, jan 2005.

Kasuga, A., Extradosed bridges in Japan, Structural Concrete – Journal of the FIB, vol.7, no.3, Lausanne, september 2006.

Ponting, Most čez Dravo na Ptju, Projektna dokumentacija vseh faz od natečajne rešitve, IP, PGD, PZI in delavniških načrtov, Maribor od 2004 do 2007.

ODLOČANJE O VZDRŽEVANJU CESTNIH OBJEKTOV – PRIMER SKUPINE NADVOZOV NAD AVTOCESTO

DECISION ON THE REHABILITATION OF THE ROAD FACILITIES – EXAMPLE OF THE GROUP OF HIGHWAY CROSSOVERS

Anže Kne, univ. dipl. inž. grad.

GRADIANI d.o.o, Za prgo 1a, Ljubljana

Ksenija Marc, univ. dipl. inž. grad.

DARS d.d., Dunajska 7, Ljubljana

doc. dr. Jana Šelih, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,

Jamova 2, Ljubljana, jselih@fgg.uni-lj.si

Znanstveni članek

UDK 625.76

Povzetek | V razvitem svetu predstavlja cestna infrastruktura pomemben delež javnega premoženja, ki je v času svoje uporabe izpostavljeno procesu propadanja, zaradi česar se njegova vrednost znižuje. Zato je ključno vprašanje, kako bomo s tem premoženjem upravljali, da bo njegova izguba vrednosti čim manjša. Tipična naloga cestnih upravljavcev je sprejemanje odločitev glede vzdrževanja, popravila ter obnove na podlagi podatkov o obstoječem stanju infrastrukture, tveganosti njene uporabe, stroškov življenjskega cikla, starosti itd. Cestna infrastruktura je po svoji sestavi raznolika, zato je optimalna izbira intervencij celotnega omrežja kompleksna in ponavadi prepuščena subjektivnim presojam upravljavcev.

Članek opisuje posamezne faze upravljanja s cestno infrastrukturo, v svojem jedru pa predstavlja razvoj in aplikacijo odločitvenega modela za določanje vrstnega reda obnove za izbrano skupino objektov, ki sestoji iz sedemindvajsetih nadvozov nad izbranim avtocestnim odsekom. Pri odločanju so podatki, ki izhajajo iz rednih pregledov in se nanašajo na stanje objektov, ključni. Poleg tega ima pomembno vlogo tudi strukturirana podatkovna zbirka podatkov, s pomočjo katere lahko lažje dostopamo do razpoložljivih podatkov. Končni cilj je določitev vrstnega reda izvajanja vzdrževalnih/obnovitvenih del ter ob finančni omejitvi izbira tiste skupine nadvozov, ki najbolje izpolnjuje dane kriterije ter zato rezultira v največji skupni koristi. Rezultati kažejo, da so v odločitvenem procesu izjemno pomembni uporabljeni kriteriji, ki morajo obdržati dejanske pogoje in potrebe uporabnikov.

Summary | Road infrastructure presents a significant part of the public assets in all developed economies. During its use, it is exposed to various deterioration processes that lead to the depreciation of its value. It is, therefore, of vital importance to manage these assets so that the loss of their value with time is reduced to a minimum. A typical task of road managers is making decisions related to maintenance, repair and rehabilitation, which are based on data regarding the existing condition, risk of its use, life cycle costs, age etc. Road infrastructure is diverse, therefore the optimal choice of planned interventions is a delicate task often left to subjective judgements of road managers. The paper presents an overview of the road infrastructure management phases sequence. The main goal of research work, presented in the paper, is the development of a decision

support system to determine the priority ranking of asset rehabilitation projects. The results are presented for a selected case study that consists of 27 crossovers over a highway section. The condition data of the crossovers, which are obtained by regular inspections as well as a structured database, are essential. Priority ranking of asset rehabilitation projects is carried out by using the developed decision support system that includes the budget constraint option. The selected set of asset maintenance/rehabilitation projects meets best the pre-defined combination of several criteria and therefore results in largest overall benefit. The results show that the selection criteria, employed in the decision process, are crucial for the obtained results. The selected criteria should therefore reflect the actual conditions related to the assets and the needs of the users.

1 • UVOD

Javna infrastruktura predstavlja velik in pomemben delež celotne obstoječe infrastrukture v večini razvitih držav. Glede na lastništvo jo v splošnem delimo na tisto, ki je v lasti federacije, države, regije, mestnih občin, lokalnih skupnosti, javnih ustanov (univerze, najrazličnejših šol, bolnišnic itd.) ali podjetij, v katerih državah pa se pojavljajo tudi primeri javno-zasebnega partnerstva, v okviru katerega z določenim infrastrukturnim objektom gospodari zasebni partner. V sodobnem svetu predstavlja premoženje v obliki javne infrastrukture nedvomno pomemben delež vsega premoženja določene države, kar je razumljivo, saj je infrastruktura ena izmed osnov, ki omogoča opravljanje sleherne gospodarske dejavnosti. Infrastruktura je torej izredno širok pojem in zajema energetske objekte, ceste, železnice, komunalne naprave, vodovodne naprave, elektro omrežja, informacijsko komunikacijska omrežja itd. Posebno vlogo ima prometna infrastruktura, saj ima gibanje ljudi in blaga v sodobnem svetu pomembno vlogo. Gradnja, vzdrževanje ter posodabljanje te infrastrukture so zato izjemno pomembne dejavnosti ((Bi in Ruan,

2006), (Hallberg in Racutanu, 2007), (Hegazy, 2006)).

Samo nadomestna vrednost mostov in viaduktov je v EU ocenjena na približno 400 milijard EVR (COST 345, 2002), povprečna cena kilometra avtoceste pa v EU znaša od 4 do 150 milijonov EVR (DARS, 2007). Na slovenskem omrežju avtocest in hitrih cest je trenutno zgrajenih okoli 450 km štiripasovnic in dvopasovnic ter preko 850 cestnih objektov. Nivo obnašanja oz. performans med uporabo kateregakoli gradbenega objekta, tudi cestne infrastrukture, s časom pada. Vzdrževanje, popravilo ter obnova so zato nujni sestavni deli njenega upravljanja, ki zagotavljajo ohranjanje vrednosti ter funkcionalnosti v obdobju načrtovane življenjske dobe.

Navedene ocene vrednosti cestne infrastrukture nedvoumno kažejo, da je nujno uvesti takšen program vzdrževanja in obnove, ki bo v daljšem časovnem obdobju zagotavljal kar najmanjšo izgubo vrednosti tega javnega kapitala.

Članek predstavlja predlog sistemskega pristopa k vzdrževanju, popravilom ter obnovi cestne infrastrukture, kjer kot primer obravnavamo skupino nadvozov nad avtocesto. Pri tem

je glavni namen raziskave izdelava večparametrskega oz. večkriterijskega modela odločanja o izbiri in vrstnem redu obnovitvenih projektov nadvozov na izbranem odseku. Vzdrževanje v tem kontekstu predstavlja najbolj osnovna opravila, ki ohranjajo cestno infrastrukturo v sprejemljivem stanju in so običajno določena že v projektni in tehnični dokumentaciji objekta. Popravilo se nanaša na odpravljanje specifičnih poškodb, ki nastanejo na cestni infrastrukturi in predstavljajo oviro za njeno nemoteno delovanje. Pri obnovi pa gre za temeljitejša ukrepe, ki naj bi objekt povrnil v prvotno fizično in funkcionalno stanje. Potrebe po obnovi so pogosto posledica pomanjkljivega vzdrževanja, razen v primeru izrednih dogodkov. Po mnenju stroke v svetu so ravno te gradbene aktivnosti bolj problematične kot sama izgradnja tako cestne kot druge infrastrukture (Miyamoto, 2006). Za nemoteno funkcioniranje cestne infrastrukture naj bi po raziskavah v EU letni vložek za vzdrževanja, popravila in obnove znašal od 1 do 2 % celotne vrednosti infrastrukture (COST 345, 2000). Vse pre pogosto pa se dogaja, da je v ta namen porabljenih veliko manj sredstev, kot bi bilo potrebno, da bi se to veliko javno premoženje ohranjalo v sprejemljivem stanju. Model odločanja, ki ga predstavljamo, zato vključuje možnost upoštevanja omejenih finančnih sredstev za obnovo, ki so v realnosti vedno prisotna.

2 • METODOLOGIJA UPRAVLJANJA CESTNE INFRASTRUKTURE

Z upravljanjem cestne infrastrukture se navadno v imenu lastnika (federacije, države) ukvarjajo izbrani koncesionarji, za ceste nižjih kategorij pa lahko skrbi tudi lastnik sam (lokalne skupnosti, javne ustanove, javno zasebni partnerji). Ker je vrednost, s katero upravljamo, velika, razpoložljiva finančna

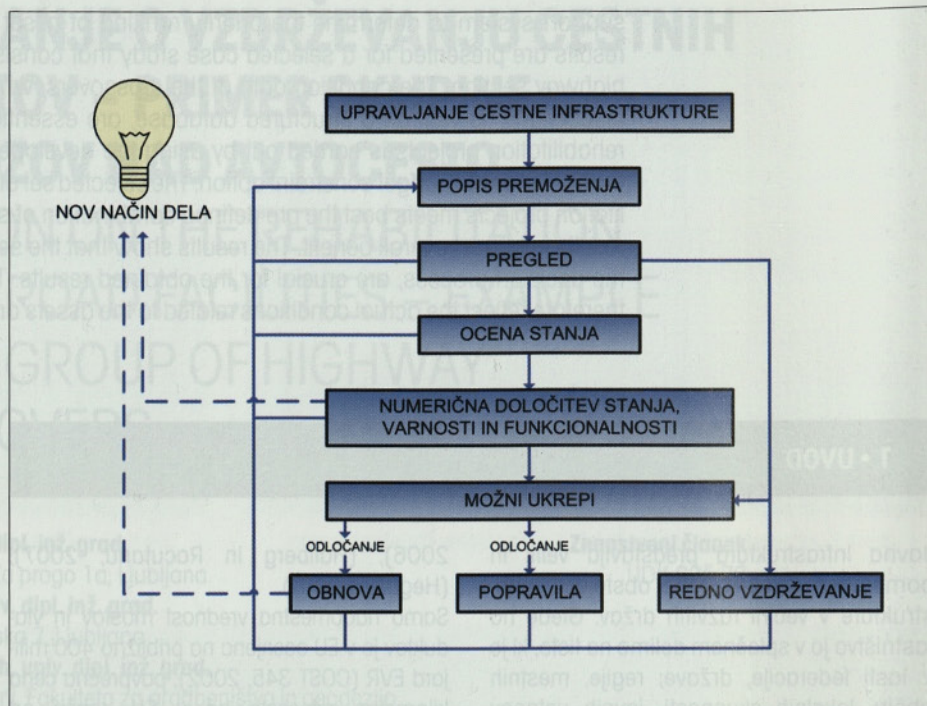
sredstva pa omejena, je sistematičen pristop nujen.

Shematični postopek upravljanja cestne infrastrukture je predstavljen na sliki 1. Upravljanje cestne infrastrukture se začne s popisom celotnega premoženja, s katerim upravljamo. Sledi terenski pregled popisane inventarja,

na podlagi katerega določimo ocene stanja objektov. Ocene stanja v tem primeru zajemajo ocene fizičnega in funkcionalnega stanja, kot tudi varnost objektov. V postopku ocenjevanja dobljene rezultate pretvorimo v kvantitativno oz. numerično obliko, saj so tako transformirani podatki prikladnejši za nadaljnjo obdelavo. Na podlagi pridobljenih numeričnih ocen objektov oz. ratingov sledi vrednotenje posameznih objektov glede na to, kako nujni so intervencijski ukrepi.

V procesu odločanja, ki sledi vrednotenju, nato izberemo (glede na vnaprej izbrane kriterije) najustreznejši nabor skupine objektov, na katerih bomo izvedli intervencijske ukrepe – popravilo ali obnovo objektov. Po morebitni končani obnovi ali popravilu objektov sledi ponovni popis premoženja in tako je cikel upravljanja cestne infrastrukture zaključen (slika 1). Izbira vrstnega reda obnove in metode numeričnega ocenjevanja stanja objektov pa sta področji upravljanja cestne infrastrukture, ki ju lahko še dodatno izboljšamo. Glede na izdatnost vzdrževanja lahko ločimo tri tipe vzdrževanja: redno vzdrževanje, preventivno vzdrževanje in najnujnejše vzdrževanje (COST 345, 2002). Pri rednem vzdrževanju že samo ime pove, da gre za vzdrževanje v vnaprej določenih, ustaljenih časovnih razmakih. S preventivnim vzdrževanjem predvsem želimo preprečiti napredovanje potencialnih poškodb, ki jih odkrijemo pri pregledu objekta. Namen najnujnejšega vzdrževanja pa je ohranitev minimalne varnosti konstrukcij.

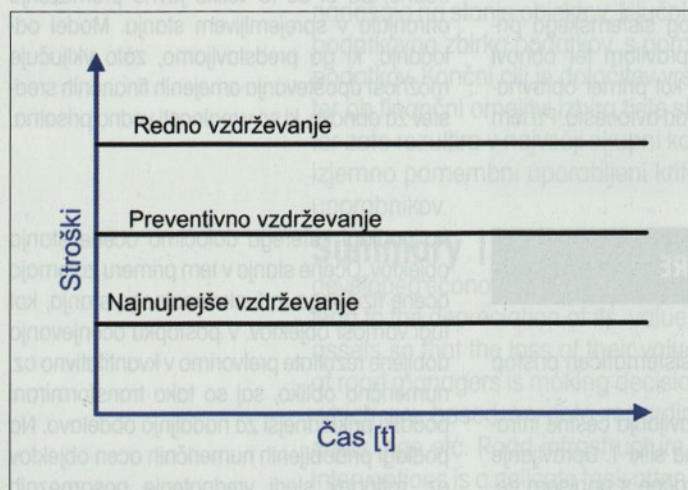
Pri določanju sredstev za vzdrževanje cestne infrastrukture se moramo zavedati, kako velikega pomena je doslednost na tem področju. Že najmanjše odtegotanje sredstev, ki so namenjena vzdrževanju, lahko dolgoročno gledano celo nekajkrat podraži skupne stroške. Stroški rednega vzdrževanja so namreč precej nižji, kot so stroški večje obnove dalj časa nevzdrževanih objektov (slika 2 in slika 3). Izvajalec rednega vzdrževanja mora zato o svojem delu voditi evidenco, iz katere mora biti razvidno, kdaj in katera dela so bila opravljena, obseg in trajanje del, potrošnja materialov, uporabljena delovna sila in mehanizacija ter drugi podatki o opravljenih delih.



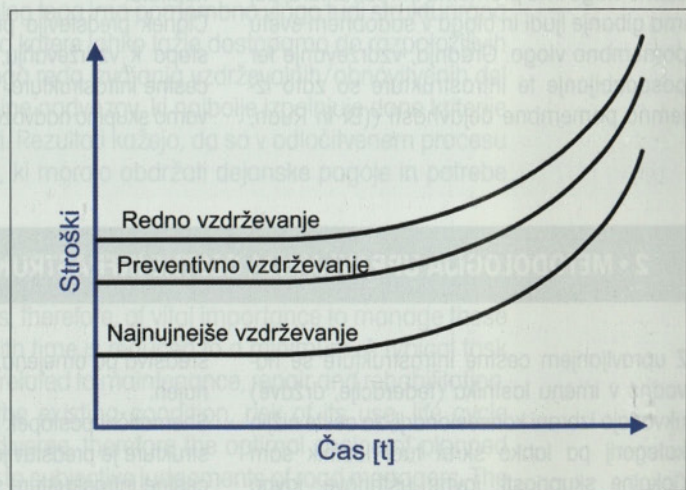
Slika 1 • Cikel upravljanja cestne infrastrukture (COST 345, 2002)

Tipična naloga slehernega upravljalca cestne infrastrukture je sprejemanje optimalnih intervencijskih planov oz. izdelava vrstnega reda vzdrževalnih/obnovitvenih del na podlagi podatkov o obstoječem stanju premoženja, ki pa so ponavadi pomanjkljivi, tveganosti projekta, stroškov projekta, stroškov celotnega življenjskega cikla objektov, proračunskih omejitev, indirektnih stroškov, vrste vzdrževalnih del, želene stopnje obnove itd. Sredstva, namenjena za vzdrževanje in obnovo, so ponavadi veliko manjša od potreb, zato je nujno izdelati vrstni red investicij in dati

prednost tistim intervencijskim projektom, ki najbolje izpolnjujejo cilje upravljalca. Ti cilji bi načeloma morali biti identični ciljem celotne družbe, ki ji obravnavana infrastruktura služi. Zaradi pogosto konfliktnih kriterijev, ki so prisotni v procesu odločanja o vrstnem redu vzdrževalnih/obnovitvenih del, pa je takšna naloga težavna in delikatna. To pomeni, da lahko že relativno majhna sprememba ocene, s katero vrednotimo rešitev glede na določen kriterij, vodi do povsem drugih prednostnih investicij. Poleg tega je relativno enostavno izbrati intervencijski projekt za tekoče leto, pre-



Slika 2 • Shematični prikaz skupnih stroškov v primeru idealnega vzdrževalnega plana (COST 345, 2002)



Slika 3 • Shematični prikaz skupnih stroškov v primeru pomanjkljivega vzdrževalnega plana (COST 345, 2002)

cej težje pa gre pri izbiri projektov za večletno obdobje. Ob vsem tem je sestava cestne infrastrukture že sama po sebi zelo raznolika, saj obsega mostove, viadukte, predore, nadvoze, podvoze in objekte na površini, pod zemljo ter v vodi. Posledica tako širokega spektra gradbenih objektov enega upravljavca je izredno težka medsebojna primerjava koristi in cene izbranih projektov. Proces odločanja o vrstnem redu intervencijskih projektov torej ni samo sprejemanje odločitev na podlagi vnapij določenih kriterijev, temveč se proces začne že precej prej pri zbiranju najrazličnejših podatkov in znanja.

Primeri v svetu kažejo, da je za učinkovit program obnove/vzdrževanja potrebno v shemo upravljanja cestne infrastrukture (slika 1) vključiti tudi računalniško podprt podatkovni sistem, ki vsebuje ažurno in sistematično zbirko podatkov celotnega cestnega inventarja in dodatne module, ki skrbijo za učinkovit dostop do podatkov, pomagajo pri odločanju, modelirajo obnašanje objektov v prihodnosti itd. Poleg neposredne koristi, ki jo sistem prinaša upravljavcem cestne infra-

strukture, predstavlja takšen sistem tudi vir povratnih informacij za projektante ter izvajalce.

V Sloveniji zaenkrat potrebe po računalniško podprtem podatkovnem sistemu še niso dosegle te stopnje, da bi bil opisani informacijski sistem vzpostavljen, vendar pa razmere, predstavljene v uvodu, postajajo čedalje bolj aktualne tudi pri nas. Obstoječa cestna infrastruktura, ki se s pospešeno izgradnjo avtocest še povečuje, predstavlja pomemben delež državnega premoženja, zato je še kako pomembno, na kakšen način se bo to premoženje upravljalo.

Poleg že omenjenih razmer pa se pri nas pojavljajo tudi nekatere specifične. Slovenija je mlada, hitro razvijajoča se država in je trenutno na področju cestne infrastrukture usmerjena predvsem k hitri izgradnji avtocestnega križa skladno z Nacionalnim programom izgradnje avtocest (NPIA). Sami začetki gradnje avtocest na našem ozemlju segajo v leto 1970 nekdanje države. V samostojno Slovenijo smo prenesli relativno majhen delež avtocestnega omrežja. Do leta 1994, ko je bila

sprejeta resolucija o NPIA, je bilo zgrajenih vsega komaj 200 km avtocest in hitrih cest, katerih upravljanje je kot koncesionar prevzela Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS d.d.) leta 1993. Dandanes upravlja DARS že s preko 450 km avtocest in hitrih cest, kar pomeni, da je bilo v obdobju urešničevanja NPIA od leta 1994 pa do danes zgrajenih več avtocest in hitrih cest kot prej v štiriindvajsetih letih. V celotnem načrtu, ki ga obsega NPIA, je predvidenih okoli 606 km avtocest in hitrih cest ter okoli 1200 cestnih objektov. Vsekakor bo za našo mlado državo to izjemen dosežek na področju izgradnje cestne infrastrukture, vendar pa se vzporedno že približuje novo obdobje, ko bodo potrebe po vzdrževanju, popravilu in obnovi obstoječe infrastrukture vse večje. Cestna infrastruktura v Sloveniji je torej relativno mlada, kar pomeni, da je sedaj ravno pravi čas za priprave na prihajajoče izzive na tem področju. Reševanje tega problema pa bo zagotovo uspešnejše, če bomo znali izkoristiti dragocene izkušnje številnih držav, ki so se s tem problemom že dodobra soočile.

3 • ODLOČANJE IN METODE ODLOČANJA

Odločanje je proces, v katerem je potrebno izmed več variant (alternativ, inčič, možnosti) izbrati tisto, ki najbolj ustreza postavljenim ciljem oziroma zahtevam. Poleg izbora najustrežnejše variante je predmet odločanja tudi razvrstitev variant od najboljše do najslabše (Jereb in soavt., 2003). Pri tem so variante lahko objekti, dejavnosti, scenariji, posledice, itd. V nadaljevanju bodo variante odločanja predstavljale odločitve o obnovi posameznega nadvoza nad obravnavanim avtocestnim odsekom.

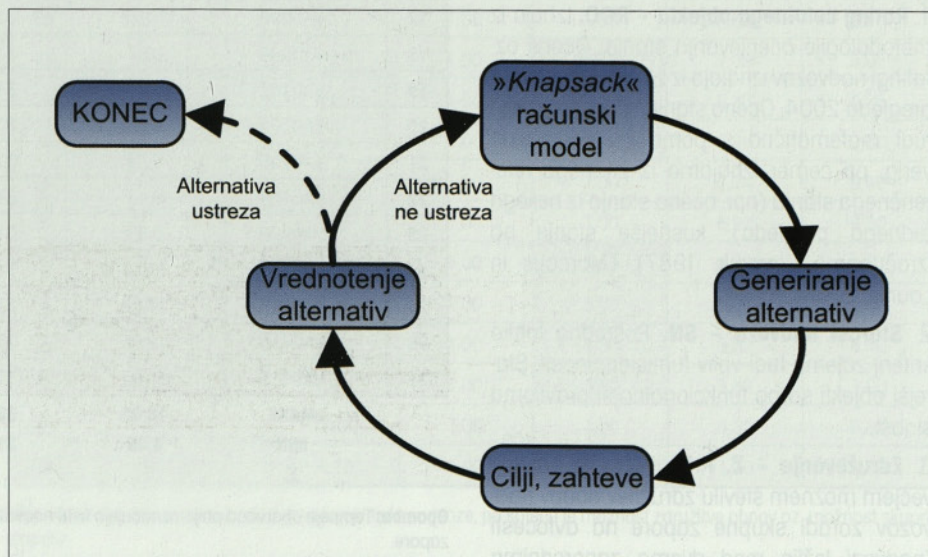
Kot smo že omenili, je osrednji problem upravljanja cestne infrastrukture določitev vrstnega reda vzdrževalnih/obnovitvenih del v izbranem časovnem obdobju. Ker upravljavci cestne infrastrukture praviloma skrbijo za veliko število objektov, je možnih alternativ veliko, zato je odločanje o prioritetah težavno in pogosto nepregledno. Upravljalci oz. odločevalci si zato lahko pomagajo z ustreznim (računskim) modelom odločanja, ki je običajno implicitno umeščen v računalniško podprt podatkovni sistem. Poznamo tudi bolj samostojne enote računalniško podprtega odločanja v obliki sistemov za podporo odločanju. Pri tem je potrebno poudariti, da

namen uporabe odločitvenega modela ni avtomatizirati proces odločanja, temveč izboljšati kakovost same odločitve.

3.1 Večparametrsko odločanje

Večparametrsko odločanje temelji na razgradnji odločitvenega problema na

manjše podprobleme – parametre (kriteriji in podkriteriji). Posamezne variante, ki nastopajo v procesu odločitve, ločeno ocenimo glede na posamezne parametre in nato s postopkom združevanja posameznih ocen parametrov določimo končno oceno variant, ki jo imenujemo korist. Varianta, ki dobi najvišjo oceno, je praviloma najboljša glede na uporabljene parametre oz. glede na njihovo kombinacijo (Jereb in soavt., 2003).



Slika 4 • Ciklogram iterativnega postopka odločanja z metodo nahrbtnika

3.2 Model odločanja na osnovi modela nahrbtnika

Včasih bi radi namesto izbora posameznih variant z najvišjimi koristi izbrali tisto kombinacijo variant, ki najbolje zadošča določenim zahtevam oz. omejitvam.

Reševanja takšnih problemov se lahko lotimo s pomočjo modela nahrbtnika (Čižman, 2004), (Alanne, 2005). Model lahko ponazorimo s planincem, ki ima nahrbtnik z

omejeno prostornino, v katerega želi spraviti zanj najpomembnejše stvari. Podobno kot je omejena velikost nahrbtnika, imamo tudi pri odločanju lahko prisotne določene zahteve, ki jih moramo upoštevati (finančne omejitve, združljivost variant itd.). Sama osnova modela nahrbtnika še vedno temelji na principu večparametrskega odločanja. Ko definiramo omejitve in vezi računskega modela nahrbtnika, je nadaljnji postopek iterativen. Po-

trebno je tvoriti alternative (kombinacije različnih variant) ter za vsako nastalo kombinacijo kontrolirati, ali ustreza ciljem in zahtevam. Pri tvorjenju in ocenjevanju alternativ si običajno pomagamo z računalniškim algoritmom, ki ga vsebuje na primer paket »Solver« v okviru programa MS Excel. Postopek ponavljamo, vse dokler ne najdemo ustrezne rešitve – ustrezne kombinacije variant (slika 4).

4 • DOLOČANJE VRSTNEGA REDA VZDRŽEVALNIH IN OBNOVITVENIH DEL ZA SKUPINO NADVOZOV

V nadaljevanju si bomo pogledali primer uporabe metode nahrbtnika pri odločanju o obnovi objektov iz skupine 27 nadvozov nad izbranim avtocestnim odsekom. Za 27 nadvozov in ob finančni omejitvi 10 milijonov evrov želimo izbrati tisto kombinacijo projektov obnove nadvozov, ki kar najbolje upravičuje porabo sredstev. Pri tem želimo upoštevati tudi vozne pogoje na avtocesti. Zapora avtoceste, ki je pri obnovi nadvozov potrebna, lahko namreč poteka le od najbližjega prehoda preko sredine pred objektom do najbližjega prehoda preko sredine za objektom. Če se več nadvozov nahaja med istima prehodoma preko sredine, pa lahko obnova le-teh poteka ob skupni zapori, kar občutno poceni same stroške zapore, pa tudi indirektno stroške, če jih pri odločanju upoštevamo. Za razčlenitev odločitvenega problema v zvezi z obnovami nadvozov bomo uporabili pet parametrov (kriterijev):

1. Rating celotnega objekta – RCO. Izhaja iz metodologije ocenjevanja stanja. Ocene oz. ratingi nadvozov izhajajo iz zadnjega rednega pregleda 2004. Oceno stanja lahko določimo tudi matematično s pomočjo markovskih verig, pri čemer izhajamo iz znanega referenčnega stanja (npr. ocena stanja iz nekega rednega pregleda), kasnejše stanje pa izračunamo (Jamnik, 1987), (Morcous in Lounis, 2006).

2. Starost nadvoza – SN. Posredno lahko kriterij zajema tudi vpliv funkcionalnosti. Starjši objekti so po funkcionalnosti praviloma slabši.

3. Združevanje – Z. Kriterij temelji na največjem možnem številu združitve obnov nadvozov zaradi skupne zapore na avtocesti (nadvozi ležijo med dvema zaporednima prehodoma čez sredino).

		RCO	SN	Z	IS	SON
	Šifra objekta	/	Let	/	EUR	EUR
1	VA0055	4,29	33	1	199.909	401.370
2	VA0056	9,02	33	3	393.749	411.916
3	VA0057	6,61	31	3	393.749	454.886
4	VA0058	9,03	32	3	376.799	481.644
5	VA0061	9,92	32	1	258.441	387.686
6	VA0062	6,78	31	1	382.792	401.370
7	VA0066	5,45	31	2	394.179	339.922
8	VA0069	12,57	31	2	394.179	385.245
9	VA0071	11,61	31	1	203.428	385.245
10	VA0074	12,57	31	1	214.892	339.922
11	VA0075	9,51	31	1	214.188	560.218
12	VA0077	13,74	31	2	215.696	325.541
13	VA0079	4,77	31	2	215.696	401.370
14	VA0082	11,89	31	2	212.451	481.644
15	VA0083	15,01	31	2	212.451	401.370
16	VA0092	6,29	31	1	282.095	339.922
17	VA0098	10,17	31	3	252.339	454.886
18	VA0099	9,87	31	3	312.420	476.292
19	VA0101	5,27	31	3	312.420	375.222
20	VA0102	6,96	31	1	269.505	375.222
21	VA0106	7,37	31	1	275.051	411.916
22	VA0109	9,11	31	2	295.518	428.128
23	VA0110	9,83	31	2	295.518	470.069
24	VA0112	11,84	31	2	350.463	806.091
25	VA0113	14,89	31	2	350.463	1.434.266
26	VA0116	18,05	31	1	337.523	473.799
27	VA0119	10,07	31	1	419.215	473.799
MAKS		18,05	33	3	419.215	1.434.266
MIN		4,29	31	1	199.909	325.541
Σ					8.035.127	12.678.961

Opomba: Temneje obarvana polja označujejo tiste nadvoze, pri katerih je možnost združitve obnov oz. možnost skupne zapore.

Preglednica 1 • Številčne vrednosti f_{ij} parametrov (kriterijev) odločanja za posamezne nadvoze

4. Indirektni stroški – IS. Indirektne stroške približno ocenimo z upoštevanjem podaljšanja časa, ki ga porabimo pri vožnji preko zapor na avtocesti, kjer je omejitve hitrosti znižana na 60 km/h. Za povprečno (nemoteno) hitrost vozil na avtocesti upoštevamo 130 km/h. Ker vozijo običajno nekoliko počasneje, izgubijo tovorna vozila sicer nekoliko manj časa, vendar lahko upoštevamo, da je zaradi tovara, ki ga prevažajo, v povprečju njihov čas bolj dragocen. To pomeni, da je predpostavka kljub vsemu dokaj konservativna in so indirektni stroški v resnici morda nekoliko višji. Čas, izgubljen zaradi počasnejše vožnje, vrednotimo na podlagi trenutne povprečne neto slovenske plače (830 evrov) ter povprečnega mesečnega števila delovnih ur (176 ur) (Statistični urad republike Slovenije, 2007).

Indirektne stroške torej določimo z izrazom

$$IS = (d_{zapore} / 60 - d_{zapore} / 130) \times$$

$$\times PLDP \times (830 / 176) \times t_{zapore} \quad (1)$$

Kjer je d_{zapore} dolžina avtocestnega odseka med dvema zaporednima odsekoma, t_{zapore} čas zapore, PLDP pa povprečna letni dnevni promet na obravnavanem avtocestnem odseku.

5. Stroški obnove nadvoza – SON. Kriterij stroški obnove nadvoza (SON) zajema ceno obnovitvenih del (COD) ter stroške zapore (SZ) (DARS, 2007).

Za izdelavo računskega modela na osnovi večparametrskega modela odločanja moramo torej poznati številčne vrednosti f_{ij} ($i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$), ki pripadajo navedenim parametrom. n je število variant in m število parametrov. Za obravnavani primer torej velja $n = 27$ in $m = 5$. Vrednosti f_{ij} so predstavljene v preglednici 1.

Normirane številčne vrednosti posameznih parametrov imenujemo kazalniki, ki jih označimo s K_{ij} ($i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$). Kazalniki so definirani tako, da izraža večja vrednost posameznega kazalnika večji prispevek k skupni koristi. Njihova zaloga vrednosti je številčna vrednost med 1 in 10, kar je posledica normaliziranja vrednosti f_{ij} . Vrednosti kazalnikov so zato medsebojno primerljive.

Za določitev kazalnikov za RCO, SN in Z ($j = 1, 2, 3$) uporabimo tako izraz

$$K_{ij} = 1 + 9 \cdot (f_{ij} - f_{\min,j}) /$$

$$(f_{\max,j} - f_{\min,j}) \quad (2)$$

Za določitev kazalnikov za SON in IS ($j = 4, 5$) pa

$$K_{ij} = 10 - 9 \cdot (f_{ij} - f_{\min,j}) / (f_{\max,j} - f_{\min,j}) \quad (3)$$

Za obravnavano skupino nadvozov so številčne vrednosti kazalnikov (K_{ij}) zbrane v preglednici 2.

Posamezni parametri (kriteriji) pri odločanju običajno niso enako pomembni, kar v računskem modelu upoštevamo z različnimi vrednostmi uteži, ki pripadajo posameznemu kriteriju. Pri vsem tem moramo paziti na sam

izbor uteži, kajti kaj hitro se lahko zgodi, da preko teh vzvodov odločanja vnesemo tudi subjektivni vpliv odločevalca. Za lažjo, predvsem pa objektivnejšo določitev uteži lahko uporabimo metodo AHP (analitično hierarhičen proces, »analytical hierarchy process«) (Saaty, 1988). Vhodni podatki te metode so parne primerjave med posameznimi parametri (kriteriji), na podlagi katerih izračunamo skupen niz uteži parametrov (kriterijev), katerih vsota je ena. S pomočjo opisane metode smo za obravnavani primer določili uteži za posamezne parametre oz. kriterije, ki so zbrane v preglednici 3. Podrobni opis uporabljenega postopka je predstavljen v (Kne, 2007).

	Šifra objekta	RCO	SN	Z	IS	SON
1	VA0055	1,00	10,00	1,00	10,00	9,38
2	VA0056	4,09	10,00	10,00	2,05	9,30
3	VA0057	2,52	1,00	10,00	2,05	8,95
4	VA0058	4,10	5,50	10,00	2,74	8,73
5	VA0061	4,68	5,50	1,00	7,60	9,50
6	VA0062	2,63	1,00	1,00	2,49	9,38
7	VA0066	1,76	1,00	5,50	2,03	9,88
8	VA0069	6,42	1,00	5,50	2,03	9,52
9	VA0071	5,79	1,00	1,00	9,86	9,52
10	VA0074	6,42	1,00	1,00	9,39	9,88
11	VA0075	4,41	1,00	1,00	9,41	8,10
12	VA0077	7,18	1,00	5,50	9,35	10,00
13	VA0079	1,31	1,00	5,50	9,35	9,38
14	VA0082	5,97	1,00	5,50	9,49	8,73
15	VA0083	8,01	1,00	5,50	9,49	9,38
16	VA0092	2,31	1,00	1,00	6,63	9,88
17	VA0098	4,85	1,00	10,00	7,85	8,95
18	VA0099	4,65	1,00	10,00	5,38	8,78
19	VA0101	1,64	1,00	10,00	5,38	9,60
20	VA0102	2,75	1,00	1,00	7,14	9,60
21	VA0106	3,01	1,00	1,00	6,92	9,30
22	VA0109	4,15	1,00	5,50	6,08	9,17
23	VA0110	4,62	1,00	5,50	6,08	8,83
24	VA0112	5,94	1,00	5,50	3,82	6,10
25	VA0113	7,93	1,00	5,50	3,82	1,00
26	VA0116	10,00	1,00	1,00	4,35	8,80
27	VA0119	4,78	1,00	1,00	1,00	8,80

Opomba: Temneje obarvana polja označujejo tiste nadvoze, pri katerih je možnost združitve obnov oz. možnost skupne zapore.

Preglednica 2 • Kazalniki parametrov za posamezne nadvoze

	RCO	SN	Z	IS	SON
Uteži kriterijev	0,653	0,061	0,112	0,061	0,112

Preglednica 3 • Uteži, ki pripadajo posameznim parametrom, določene s pomočjo AHP metode

Na osnovi zgoraj definiranih količin, ki nastopajo v večparametrskem (računskem) modelu odločanja, lahko vektor koristi za posamezen nadvoz zapišemo z izrazom:

$$Y = K * w \quad (4)$$

kjer je

$Y = Y_i$ ($i = 1 \dots n$) vektor koristi,
 $K = K_{ij}$ ($i = 1 \dots n, j = 1 \dots m$) matrika kazalnikov in
 $w = w_j$ ($j = 1 \dots m$) vektor uteži parametrov.

Skupno korist celotnega omrežja 27 nadvozov določimo s pomočjo izraza:

$$Y_{SK} = Y^T * a = [K * w]^T * a \quad (5)$$

Kjer je

$a = a_i$ ($i = 1, \dots, n$) odločitveni vektor.

Če je sanacija nadvoza i izbrana, velja $a_i = 1$, sicer pa velja $a_i = 0$.

S pomočjo predhodno določenih uteži za posamezne parametre (preglednica 3) dobimo za obravnavano skupino nadvozov koristi, pridobljene z obnovo posameznega nadvoza (slika 5). Vidimo lahko, da se najvišje posamezne koristi nadvoza pojavijo na nadvozih št. 26, 15 in 12, najnižje pa na nadvozih št. 1, 6, 7, 13 in 16.

Na podlagi vnaprej znane finančne omejitve lahko s pomočjo metode nahrbtnika določimo odločitveni vektor, pri čemer upoštevamo različne kombinacije parametrov. Vrednost obnovitvenih del omejimo na 8.000.000 evrov, največji skupni dovoljeni indirektni stroški pa znašajo 2.000.000 evrov. V vseh primerih upoštevamo starost (S), rating objekta (RCO) ter ceno obnovitvenih del (COD) (primer A). V primeru B upoštevamo še stroške združevanja (Z), v primeru C indirektno stroške (IS), v primeru D pa vseh 5 obravnavanih parametrov.

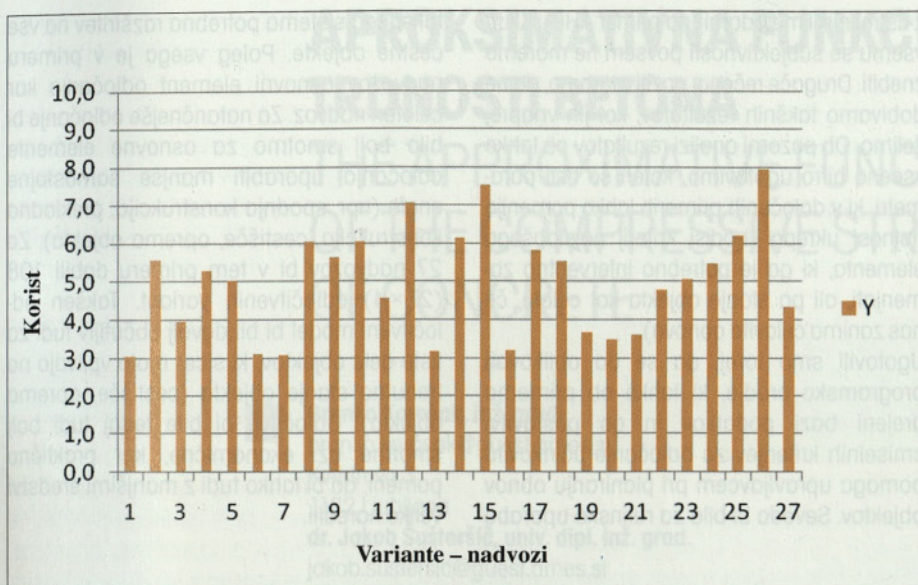
V preglednici 4 prikazujemo izračunane odločitvene vektorje za opisane kombinacije parametrov. Rezultati kažejo, da odločitveni

vektorji do določene mere dobro sledijo koristim posameznih nadvozov, vendar objekti z relativno visokimi koristmi (slika 5) včasih niso izbrani. Vzrok so njihovi relativno visoki

stroški obnove. V tem primeru lahko dvignemo skupno korist z izborom več, a cenejših variant. Če primerjamo odločitveni vektor A in B oz. C in D, vidimo, da prinese združevanje obnov nadvozov ob enakih finančnih omejitvah večjo korist, prav tako pa se poveča tudi število izbranih posameznih objektov.

Variante		A	B	C	D
Omejitev indirektnih stroškov (EUR)		0	0	2·10 ⁶	2·10 ⁶
Združevanje		NE	DA	NE	DA
Finančna omejitev (EUR)		8·10 ⁶	8·10 ⁶	8·10 ⁶	8·10 ⁶
	Šifra objekta	Odločitveni vektor A	Odločitveni vektor B	Odločitveni vektor C	Odločitveni vektor D
1	VA0055	0	0	0	0
2	VA0056	1	1	1	1
3	VA0057	0	1	0	0
4	VA0058	1	1	1	1
5	VA0061	1	1	1	1
6	VA0062	0	0	0	0
7	VA0066	0	1	0	1
8	VA0069	1	1	1	1
9	VA0071	1	1	1	1
10	VA0074	1	1	1	1
11	VA0075	0	0	0	0
12	VA0077	1	1	1	1
13	VA0079	0	0	0	1
14	VA0082	1	1	1	1
15	VA0083	1	1	1	1
16	VA0092	1	1	1	1
17	VA0098	1	1	1	1
18	VA0099	1	1	1	1
19	VA0101	1	1	1	1
20	VA0102	1	1	1	1
21	VA0106	1	0	1	1
22	VA0109	1	1	1	1
23	VA0110	1	1	1	1
24	VA0112	0	0	0	0
25	VA0113	0	0	0	0
26	VA0116	1	1	1	1
27	VA0119	1	1	1	1
Σ		19	20	19	21
Y _{SK}		101,85	105,26	101,85	108,07
Σ SON (EUR)		7.879.468	7.782.919	9.879.468	9.897.944

Preglednica 4 • Rezultati večparametrskega odločanja



Slika 5 • Koristi večparametrskega odločanja za posamezne nadvoze

5 • RAZPRAVA IN SKLEPI

Upravljanje obstoječe cestne infrastrukture postaja vse bolj pomembna dejavnost tudi v Sloveniji. Čeprav ima naša država dokaj mlado cestno infrastrukturo, lahko v zadnjih letih opazimo, da so potrebe po vzdrževanju iz leta v leto večje. To velja tudi za avtocestno omrežje, ki sicer spada med najmlajše cestno omrežje pri nas. Vsaka dograjena infrastruktura je med svojo uporabo izpostavljena procesom propadanja, kar pomeni, da se njena vrednost s časom zmanjšuje. Temu pojavu se v celoti ni moči izogniti, lahko pa s pravilnim ravnanjem poskrbimo, da vrednost vloženega kapitala ne bo upadala prehitro. Zato moramo v prvi vrsti poskrbeti za natančen popis celotnega imetja ter zbrane podatke sistematično shraniti v ustrezno strukturirane zbirke podatkov. Vanje sodijo poleg podatkov iz popisa imetja še drugi podatki, pridobljeni zlasti na podlagi pregledov objektov, akumuliranega znanja in izkušenj. Pri tem je pomembno, da so shranjeni podatki primerljivi. Tako bi na primer določena ocena stanja morala biti primerljiva za različne vrste objektov, za različne tipe konstrukcij ter različne materiale.

V članku obravnavamo skupino 27 nadvozov nad izbranim avtocestnim odsekom ter na podlagi tega vzorca skušamo zajeti glavne probleme, ki se pojavljajo na področju vzdrževanja takšnih objektov. Vsi obravnavani nadvozi so stari nekaj čez 30 let in spadajo

med najstarejše avtocestne objekte pri nas. Vzorec je dovolj reprezentativen, da lahko ugotovitve posplošimo tudi za mlajše nadvoze in druge podobne objekte. Takšno posplošitev opravičuje tudi dejstvo, da srečujemo na nadvozih značilne poškodbe, na podlagi katerih lahko ugotovimo vzrok njihovega nastanka. Te ugotovitve niso pomembne samo pri napovedovanju stanja mlajših objektov, temveč bi morala povratna informacija o poškodbah doseči tudi projektanta in izvajalca. Opravljeni pregledi kažejo, da je pri vseh nadvozih najbolj kritično cestišče ter oprema nadvozov. Eno in drugo sicer zelo malo vpliva na trenutno stanje nadvoza, zavedati pa se moramo, da lahko na primer razpokano cestišče, zablaten jašek itd. dolgoročno gledano pospeši propadanje celotnega objekta. Zelo očitna poškodba, ki se pojavlja pri nadvozih, je tudi močno korodirana zaščitna ograja. Obnova cestišča in opreme nadvoza spada med tiste investicije, ki so v primerjavi s celotno obnovo nadvoza relativno poceni, lahko pa ogromno pripomorejo k celotni kakovosti objekta, pa tudi k varnosti uporabnikov. Reševanje teh težav ne bi smelo biti problematično, če tega ne bi preprečevale nekoliko nerodno razdeljene koncesijske pravice, saj DARS s temi objekti ne upravlja v celoti. Skladno z zakonodajo je upravljanje objekta namreč deljeno med upravljavca avtoceste, ki

poteka pod nadvozom, ter med upravljavca ceste, ki poteka preko nadvoza. Za doseganje večje učinkovitosti vzdrževanja bi bilo smiselno vpeljati takšno formalno razdelitev pristojnosti, odgovornosti ter pripadajočih finančnih sredstev, da bi DARS-u dovoljevala celotno upravljanje avtocestnih nadvozov, katerih stanje oz. stopnja poškodovanosti lahko vpliva tudi na stanje in prometno varnost avtoceste.

V novejši literaturi zasledimo tri elemente, ki so ključni pri vzpostavljanju učinkovitega celostnega sistema za upravljanje z mostovi in infrastrukturnimi objekti. Ocenjevanje stanja objektov, ki temelji na podlagi sistematičnega pregledovanja, je ključen začetni element sistema. Pri pregledovanju in ocenjevanju je potrebno uporabiti jasno metodologijo dela, ki naj v kar največji meri eliminira vplive subjektivne presoje pregledovalcev oziroma ocenjevalcev objektov. Na tem področju obstajajo programska orodja za zajem podatkov, ki pa jih je možno še dodatno izboljšati.

Drugi ključni element sistema upravljanja z mostovi in infrastrukturnimi objekti je strukturirana zbirka podatkov. Izkazalo se je, da je tu zelo pomembna arhitektonska zasnova zbirke podatkov, ki zagotavlja njeno ekonomičnost, funkcionalnost in omogoča tudi intuitivno uporabo baze, kar uporabniku olajša delo in ga hkrati tudi usmerja.

Tretji ključni element sistema upravljanja z mostovi in infrastrukturnimi objekti pa je učinkovit (računski) model odločanja. V tem članku je podrobneje predstavljen več-

parametrski (računski) model odločanja, ki temelji na modelu nahrbtnika. Njegovo uporabnost smo preverili na izbranem primeru. Rezultati kažejo, da lahko izdelani sistem za podporo odločanju optimizira izbiro objektov, ki jih bomo obnovili tako, da bo dosežena kar največja skupna korist ob hkratnem upoštevanju finančne omejitve. To torej pomeni, da ima razviti model potencial, da ga vključimo v celosten informacijski sistem, s pomočjo katerega upravljavec gospodari s svojim premoženjem.

Glavni problem, ki nastane pri analizi možnih alternativ, se nanaša na določanje uteži posameznih kriterijev, ki so v rokah odločevalcev in zato potencialno subjektivne. Za odpravo teh pomanjkljivosti si lahko pomagamo

z ustreznimi metodami (na primer AHP). Kljub vsemu se subjektivnosti povsem ne moremo znebiti. Drugače rečeno, paziti moramo, da ne dobivamo takšnih rezultatov, kot jih vnaprej želimo. Ob pozorni analizi rezultatov pa lahko vseeno hitro ugotovimo, kateri so tisti parametri, ki v določenih primerih lahko pomenijo nujnost ukrepa (bodisi kriterij najslabšega elementa, ki ga je potrebno interventno zamenjati, ali pa stanje objekta kot celote, če nas zanima celovita obnova).

Ugotovili smo torej, da se da oblikovati programsko orodje, ki lahko ob primerno urejeni bazi podatkov in ob postavitvi smiselnih kriterijev za odločanje učinkovito pomaga upravljavcem pri planiranju obnov objektov. Seveda bi bila za rutinsko uporabo

takšnega sistema potrebna razširitev na vse cestne objekte. Poleg vsega je v primeru nadvozov osnovni element odločanja kar celoten nadvoz. Za natančnejše odločanje bi bilo bolj smotno za osnovne elemente odločanja uporabiti manjše samostojne enote (npr. spodnja konstrukcija, prekladna konstrukcija, cestišče, oprema objekta). Za 27 nadvozov bi v tem primeru dobili 108 (27×4) odločitvenih variant. Takšen odločitveni model bi bil dovolj občutljiv tudi za tiste dele objektov, ki sicer malo vplivajo na trenutno stanje objekta (cestišče, oprema objekta). Odločitve bi bile tedaj tudi bolj smotne oz. ekonomične, kar praktično pomeni, da bi lahko tudi z manjšimi sredstvi veliko naredili.

6 • ZAHVALA

Avtorji se zahvaljujejo DARS d.d., da jim je omogočila dostop do podatkov, ki so bili uporabljeni v članku.

7 • LITERATURA

- Alanne, K., Selection of renovation actions using multi-criteria »knapsack« model. *Automation in Construction* 13. 377–391, 2004.
- Bi, G., Ruan, X., Operation and Maintenance Plan of Donghai Bridge. V: Vincentsen, L.J. in Larsen, E.S. (ur.). *Operation, Maintenance and Rehabilitation of Large Infrastructure Projects, Bridges and Tunnels: IABSE Conference Proceedings*, 15.–17. maj 2006, Kopenhagen, Danska. Paper No. 67, 2006.
- COST 345, <http://cost345.zag.si/> 2002.
- Čizman, A., Operacijske raziskave. Teorija in uporaba v organizaciji. Kranj. Univerza v Mariboru. Fakulteta za organizacijske vede, 2004.
- DARS, Družba za avtoceste v republiki Sloveniji, <http://www.dars.si/>, 2007.
- Hallberg, D., Racutanu, G., Development of the Swedish bridge management system by introducing a LMS concept. *Materials and Structures* 40 (6). 627–639, 2007.
- Hegazy, T., Computerized system for efficient delivery of infrastructure maintenance/repair programs. *ASCE J. of Construction Engineering and Management* 132(1). 26–34, 2006.
- Jamnik, R., Verjetnostni račun, Ljubljana, DMFA, 1987.
- Jereb, E., Bohanec, M., Rajkovič, V., Računalniški program za večparametrsko odločanje, Uporabniški priročnik, Kranj, Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, 2003.
- Kne, A., Odločanje v vzdrževanju cestnih objektov: primer skupine nadvozov nad avtocesto, diplomska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2007.
- Morcous, G., Lounis, Z., Integration of stochastic deterioration models with multicriteria decision theory for optimizing maintenance of bridge decks, *Canadian Journal of Civil Engineering* 33. 756–765, 2006.
- Miyamoto, A., Practical Maintenance Strategies for Bridge Network, V: Vincentsen L.J. in Larsen E.S. (ur.). *Operation, Maintenance and Rehabilitation of Large Infrastructure Projects, Bridges and Tunnels: IABSE Conference Proceedings*, 15.–17. maj 2006, Kopenhagen, Danska, Paper No. 52. 2006.
- Saaty, L. T., Multi criteria decision making: the analytical hierarchy process. Pittsburgh, PA, Univ. of Pittsburgh Press, ZDA, 1988.
- SURS, Statistični urad republike Slovenije, http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?ID=766, 2007.
- Vanier, D., Tesfamariam, S., Sadiq, R., Lounis, Z., Decision models to prioritize maintenance and renewal alternatives, v Rivard, H. (ur.). *Building on IT : Conference Proceedings*, 14.–16. junij 2006, Montreal, Canada, 2594–2604, 2006.

APROKSIMATIVNA FUNKCIJA TLAČNE TRDNOSTI BETONA

THE APPROXIMATIVE FUNCTION OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

Branko Korošak, inž. grad.

branko.korosak@guest.arnes.si

Kvedrova 3

1122 Ljubljana

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

jakob.sustersic@guest.arnes.si

IRMA Inštitut za raziskavo materialov in aplikacije, Ljubljana

www.irma.si

Znanstveni članek

UDK 691.32: 620.173

Povzetek | V članku je podana aproksimativna funkcija za aproksimacijo tlačne trdnosti betona. Funkcija je nastala na osnovi velikega števila rezultatov preizkusov in je plod petindvajsetletnih raziskav. Podatki, ki so navedeni v članku, so iz rednega arhiva inštituta IRMA. Večina avtorjev podaja za pripravo sestav beton razne diagrame, ki ne dajejo standardnega odklona, kakor ta metoda. Poleg tega večina avtorjev računa tlačno trdnost samo na podlagi vodocementnega razmerja, kar je pomanjkljivo. Bistvena je tudi količina cementa. Odvisnost tlačne trdnosti od dveh parametrov da bistveno boljše rezultate. Abrams podaja svojo funkcijo v odvisnosti od vodocementnega razmerja in ne upošteva ukrivljenosti krivulje pri nizkih vodocementnih razmerjih. Ker se v sodobni tehnologiji betona vedno več betonov s superplastifikatorji in hiperplastifikatorji proizvaja z zelo nizkimi vodocementnimi razmerji ($v/c < 0,40$), je predlagana funkcija za to področje zelo uporabna.

Summary | The paper offers an approximative function for the approximation of the compressive strength of concrete. The function is based on a large number of experiments and is the result of twenty-five years of research. The data quoted in the paper are derived from the regular archives of the IRMA institute. In giving their mix-proportions for concrete, most authors offer different diagrams, which – unlike this method – do not include standard deviation. Apart from that, most authors calculate compressive strength solely on the basis of the water-to-cement ratio, which is not completely correct. The quantity of cement is of vital importance as well. The dependence of compressive strength on two parameters gives essentially better results. The Abrams's function is based on the dependence on a water-to-cement ratio and does not take into consideration the bending of the curve at low water-to-cement ratios. As in the recent concrete technology, more and more concrete with superplasticizers and hyperplasticizers are produced with very low water-to-cement ratios ($w/c < 0,40$), the proposed function is very applicable to this field.

1 • UVOD

Podana aproksimativna funkcija tlačne trdnosti betona je plod dolgoletnega raziskoval-

nega dela na področju tehnologije betona (Korošak, 2006). V literaturi obstaja veliko

poskusov definiranja tlačne trdnosti betona. Prvi je to storil že leta 1896 Feret (Neville, 1963), (Umek, 1962), ki je objavil, da je trdnost odvisna od razmerja med količino cementa in celotno prostornino praznin. Praznine so definirane kot prostor, ki je napol-

njen z zrakom in z vodo. Abrams (Abrams, 1918) je že leta 1918 ugotovil, da je tlačna trdnost betona, ki je pripravljen z danimi materiali odvisna samo od vodocementnega (v/c) razmerja. Bolomey je podal svojo funkcijo leta 1925, Hummel pa leta 1951. Sledijo Dutron, Graf, Wieser in Leviant (Umek, 1962).

V Sloveniji je na tem področju v tehnologiji betona naredil največ Anton Umek (Umek,

1962). Svojo funkcijo ima zasnovano na osnovi količine izračunanih notranjih površin mineralnega agregata in cementa. Vendar že leta 1976 (Umek, 1976) to zavrne in izdela aparaturo za eksperimentalno določevanje kakovosti betona, ki se ocenjuje kot ena od večjih idej na področju eksperimentiranja v tehnologiji betona nasploh – žal pa je matematično in fizikalno napačno interpretirana.

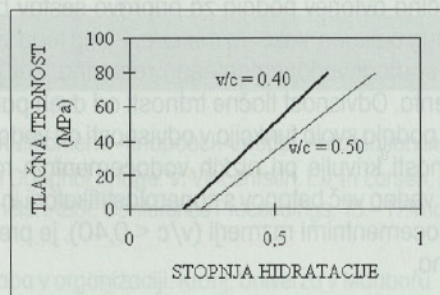
V Nemčiji veljajo Walzove krivulje (Walz, 1971), v Ameriki pa Abramsova funkcija. Obe sta zasnovani na odvisnosti od v/c razmerja. V praksi se danes določa medsebojna odvisnost tlačne trdnosti, v/c razmerja in količine cementa eksperimentalno za vsako kombinacijo izbranih vrst materialov posebej, v skladu s SIST EN 206-1 (Šušteršič 2000).

2 • TLAČNA TRDNOST BETONA

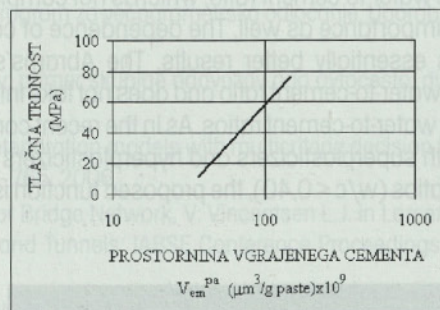
Po definiciji je tlačna trdnost izmerjena največja odpornost betonskega preskušanca na osno tlačno obtežbo (ACI Committee 116, 2007). Za lažje definiranje in ocenjevanje vplivnih parametrov sestave betona na njegovo tlačno trdnost se beton lahko opazuje kot trifazni material, pri čemer predstavlja prvo fazo strjena cementna pasta (ki lahko vsebuje tudi zelo fine inertne delce), drugo fazo predstavlja inertno polnilo – agregat in tretjo fazo stične površine med strjeno cementno pasto in zrni agregata.

Struktura zrn agregata se v zgoščenem betonu nahaja pri prostorninski gostoti okoli 0,70 do 0,75, odvisno od oblike zrn in sejalne krivulje, ki na grobo definira funkcijo distribucije zrn agregata. V ali blizu zgnetenega stanja tvorijo ta zrna mnogokrat povezano mrežno strukturo, ki z nosilnim skeletom s pretežno trdimi in togimi zrni zagotavlja materialu tlak na inženirskem nivoju. Na splošno, bolj zgoščena struktura normalnega agregata bo privedla do višje tlačne trdnosti. Bolj zgoščeno pakirani agregat ustvarja nosilno strukturo v betonu, na katerega deluje tlačna obtežba. Najmanjša mejna distribucija med vsemi zrni agregata je med 0,1 in 200 μm , povprečno okoli 50 μm (Stroeven, 2006). Cementna pasta domnevno prevleče zrna agregata s tanko plastjo in zapolni žepe v skeletu agregata, s čimer ga stabilizira, ko je obremenjen. Z naraščanjem obtežbe se bo v normalnem betonu pričel razvoj razpok, predvsem zaradi postopnega razpada povezave med zrni agregata in cementno pasto v tranzicijski coni stičnih površin (TCSP). Zato so te TCSP nadvse pomembne za obvladovanje mehanskih lastnosti betona (Stroeven, 2006). Pri raztapljanju cementnega zrna v vodi nastajajo novi proizvodi: kristalizirani kalcijev hidroksid (CH) in amorfni kalcijev silikat hidrat (CSH), ki ga je največ in ima lahko različne

oblike (lamelne, vlaknaste ali kompaktne). Obstaja linearna korelacija med tlačno trdnostjo cementne paste z v/c razmerjem 0,40 in 0,50 ter izračunano stopnjo hidratacije (slika 1) (Van Breugel, 1995). Prav tako pa je bila ugotovljena linearna korelacija med tlačno trdnostjo cementne paste in izračunano količino vgrajenega cementa (slika 2) (Van Breugel, 1995).



Slika 1 • Linearna korelacija med tlačno trdnostjo cementne paste z v/c razmerji 0,40 in 0,50 in izračunano stopnjo hidratacije a (Van Breugel, 1995)

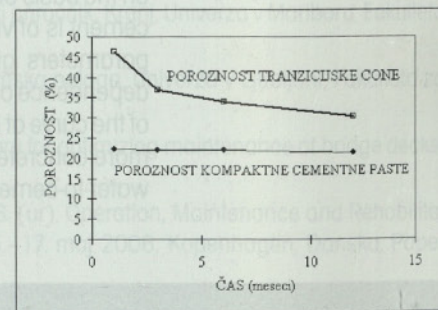


Slika 2 • Linearna korelacija med tlačno trdnostjo istih cementnih past (kot v sliki 1) in izračunano količino vgrajenega cementa (Van Breugel, 1995)

Zveza med trdnostjo in stopnjo hidratacije izkazuje še izrazito odvisnost od v/c razmerja (slika 1), medtem ko je zveza med trdnostjo in prostornino vgrajenega cementa skoraj povsem neodvisna od v/c razmerja (slika 2). Ta informacija potrjuje predpostavko, da trdnost cementne paste korelira s številom kontaktov med delci, ker količina vgrajenega cementa predstavlja mero za število kontaktov med delci.

Iz poskusov je razvidno, da pri običajni cementni pasti nastaja na površinah zrn agregata porozni sloj s kristalno orientacijo z debelino približno 40 nm. Ta sloj ima manjšo trdoto in trdnost od strjene cementne paste. Preskusi kažejo, da se na debelino tranzicijske cone težko vpliva s spremembo v/c razmerja, podobno kot tudi na srednjo razdaljo med zrni agregata v betonu. Zato so mehanske lastnosti betona zelo odvisne tudi od tranzicijske cone.

Rezultati, dobljeni z Bourdettovim modelom (Bourdette et al, 1995), izkazujejo, da je tranzicijska cona približno 3-krat bolj porozna od cementne paste, kar potrjujejo eksperimentalni rezultati (Scrivener et al, 1988). Ti rezultati potrjujejo, da se učinek stene izkazuje v zelo porozni coni v okolici zrn agregata (Escadeillas in Maso, 1990), (Baron, 1982) in da je



Slika 3 • Ocena poroznosti stične površine cementna pasta – zrno agregata in kompaktne cementne paste glede na starost cementne paste (Bourdette et al, 1995)

v/c razmerje večje na stični površini kot v ostalem delu vgrajene paste, ker se v okolici zrn zbira voda zaradi vpliva stene in mikroizločanja vode (Hoshino, 1988). Ocena poroznosti stične površine in kompaktne cementne paste glede na staranje paste je razvidna iz slike 3 (Bourdette et al, 1995).

Opazno je, da se poroznost tranzicijske cone zmanjšuje s staranjem paste, medtem ko ostaja poroznost kompaktne cementne paste relativno enaka. Ta pojav si lahko pojasnimo z različnimi fenomeni. Poroznost stične površine se zmanjšuje zaradi difuzije ionov, ki nastane zaradi gradienta poroznosti od kom-

paktne cementne paste proti tranzicijski coni (Maso, 1980). To omogoči nehidratiziranim delcem cementa hidratacijo. Ker kompaktna cementna pasta vsebuje manj vode v primerjavi s tranzicijsko cono, je kinetika hidratacije manjša in njena poroznost se s staranjem paste ne spreminja veliko.

3 • NASTAVEK ZA APROKSIMATIVNO FUNKCIJO TLAČNE TRDNOSTI BETONA

Za osnovo izberemo brezdimenzionalno funkcijo z naslednjo obliko:

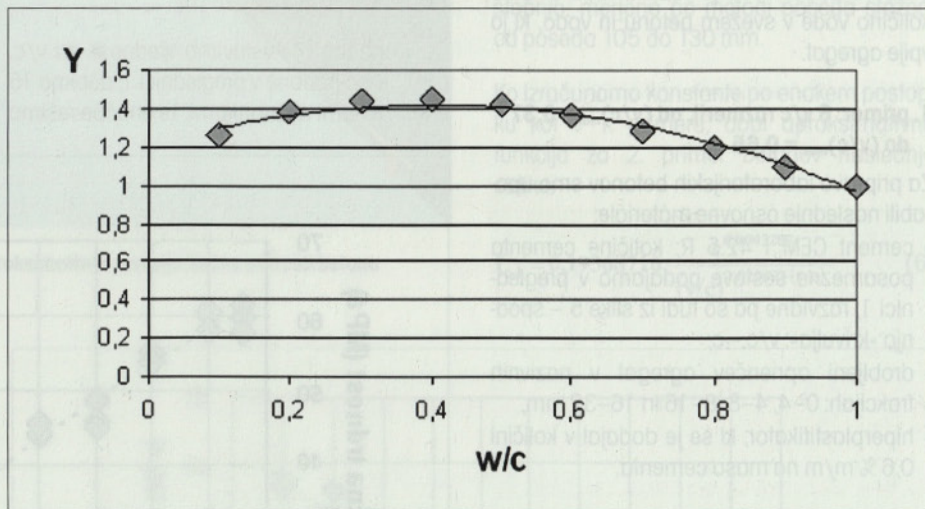
$$Y = (v/c)^{-(v/c)} \quad (1)$$

V sliki 4 je prikazana ta funkcija v grafični obliki.

Ko je $v/c = 0$, je funkcija nedefinirana. Ko je $v/c = 1$, je funkcija enaka 1. Ko je $v/c = 0,37$, funkcija doseže maksimum, ki zavzame vrednost 1,4446.

V nadaljevanju določimo nastavek za aproksimativno funkcijo tlačne trdnosti betona, pri čemer se upoštevajo naslednje hipoteze, ki izhajajo iz eksperimentalno dobljenih medsebojnih odvisnosti rezultatov tlačne trdnosti f_c , v/c razmerja in količine cementa c , kot je razvidno iz slik 5, 7 in 8:

- ker je pri nižjem v/c razmerju dosežena višja tlačna trdnost betona, se da v/c razmerje v imenovalcu;
- ker se pri večji količini cementa doseže višja tlačna trdnost, se da količina cementa v števec in potencira s konstanto; ta hipoteza



Slika 4 • Grafični prikaz izbrane funkcije (1)

velja ob pogoju enake obdelovalnosti svežega betona pri vseh v/c razmerjih oziroma v vsaki točki konsistentne »krivulje« (spodnje »krivulje« v slikah 5, 7 in 8).

Uporabimo še tretjo neodvisno konstanto in dobimo funkcijo:

$$f_c = x_1 \frac{c^{x_3}}{(v/c)^{x_2(v/c)}} \quad (2)$$

Konstante x_1 , x_2 in x_3 izračunamo s pomočjo eksperimentalno dobljenih vrednostih količine cementa c , v/c razmerja in tlačne trdnosti f_c , kot je to razvidno iz primerov v naslednjem poglavju.

4 • IZRAČUN KONSTANT ZA TRI PRIMERE

Najprej pripravimo enačbo (2) tako, da jo bomo lahko uporabili za izračun konstant. Če jo logaritmiramo, dobimo:

$$\ln f_c = \ln x_1 + x_3 \cdot \ln c - x_2 \cdot \left(\frac{v}{c}\right) \cdot \ln\left(\frac{v}{c}\right) \quad (3)$$

Ko v enačbi (3) zamenjamo $\ln x_1$ z novo konstanto x_4 , dobimo enačbo v končni obliki, primerni za izračun konstant:

$$x_4 + x_3 \cdot \ln c - x_2 \cdot \left(\frac{v}{c}\right) \cdot \ln\left(\frac{v}{c}\right) = \ln f_c \quad (4)$$

Izračun konstant prikažemo na treh različnih primerih, ki se med seboj razlikujejo glede na vrste uporabljenih osnovnih materialov, številu v/c razmerij, najmanjšemu v/c razmerju in razponu v/c razmerij, s katerimi smo pripravljali posamezne laboratorijske mešanice betonov. Poleg tabelaričnega prikaza vrednosti posameznih parametrov jih poda-

jamo tudi v grafični obliki kot tako imenovane razredčitvene »krivulje«. Pri vsakem primeru – sklopu podatkov oziroma rezultatov sta podani dve »krivulji«: $v/c - f_c$ in $v/c - c$ (konsistentna »krivulja«).

V naši gradbeniški praksi se je uveljavila statistična metodologija projektiranja sestav betonov s pomočjo razredčitvenih »krivulj«, ki se izdelajo na podlagi eksperimentalno ugotovljenih rezultatov predhodnih preiskav betonov (Mali et al, 1979), (Šušteršič et al, 1985), (Šušteršič in Gečev, 1986). Pojem krivulja se namenoma piše med narekovaji, z namenom, da se poudari približna določitev

oziroma izris krivulje med posameznimi točkami v koordinatnem sistemu, brez določitve funkcije te krivulje. Vrednosti za v/c razmerje in količine cementa c , ki predstavljata osnovna parametra za izračun sestave betona, se lahko določijo grafično iz teh približno določenih razredčitvenih »krivulj«, ko se je določila srednja tlačna trdnost f_{cm} za določeni trdnostni razred betona.

V vseh obravnavanih primerih predstavljajo v/c razmerja efektivna razmerja $(v/c)_{ef}$, kot je definirano v SIST EN 206 – 1: v/c razmerje je razmerje efektivne vsebnosti vode in masne vsebnosti cementa v svežem betonu; efektivna vsebnost vode je razlika med celotno količino vode v svežem betonu in vodo, ki jo vpije agregat.

1. primer: 6 v/c razmerij, od $(v/c)_{min} = 0,37$ do $(v/c)_{max} = 0,65$

Za pripravo laboratorijskih betonov smo uporabili naslednje osnovne materiale:

- cement CEM I 42,5 R; količine cementa posamezne sestave podajamo v preglednici 1, razvidno pa so tudi iz slike 5 – spodnja »krivulja«: $v/c - c$;
- drobljeni apnenčev agregat v nazivnih frakcijah: 0–4, 4–8, 8–16 in 16–32 mm,
- hiperplastifikator, ki se je dodajal v količini 0,6 % m/m na maso cementa.

zap. št.	v/c (-)	c (kg/m ³)	f_c (MPa)
1	0,37	480	59,9
2			61,6
3			57,9
4	0,40	460	60,1
5			60,5
6			58,1
7	0,45	410	55,1
8			54,2
9			53,8
10	0,50	380	48,6
11			45,7
12			45,0
13	0,55	340	43,8
14			44,1
15			45,5
16	0,65	310	32,7
17			32,1
18			30,9

Preglednica 1 • Dobljeni rezultati laboratorijskih preskusov betonov – 1. primer

V preglednici 1 podajamo rezultate laboratorijskih preskusov, ki predstavljajo podatke (v/c – vodocementno razmerje, c – cement, f_c – tlačna trdnost) za izračun konstant po enačbi (4).

Rezultati iz preglednice 1 so grafično predstavljeni v sliki 5. V sliki 5 – zgoraj podajamo »krivuljo«: $v/c - f_c$, iz katere je razvidno, da se pri nizkih v/c razmerjih »krivulja« ukrivi. V sliki 5 – spodaj pa je podana konsistentna »krivulja«: $v/c - c$. Izmerjene vrednosti konsistence (merjene po metodi poseda stožca) posamezne sestave svežega betona so se nahajale med 140 in 170 mm.

Če v enačbo (4) vstavimo vrednosti za v/c , c in f_c , ki so podane v preglednici 1, dobimo 15 enačb s tremi neznankami. Te enačbe rešimo

po metodi najmanjših kvadratov. Če upoštevamo, da je

$x_4 = \ln x_1$, dobimo naslednje rešitve za tri konstante enačbe (2):

$$x_1 = 0,83935826$$

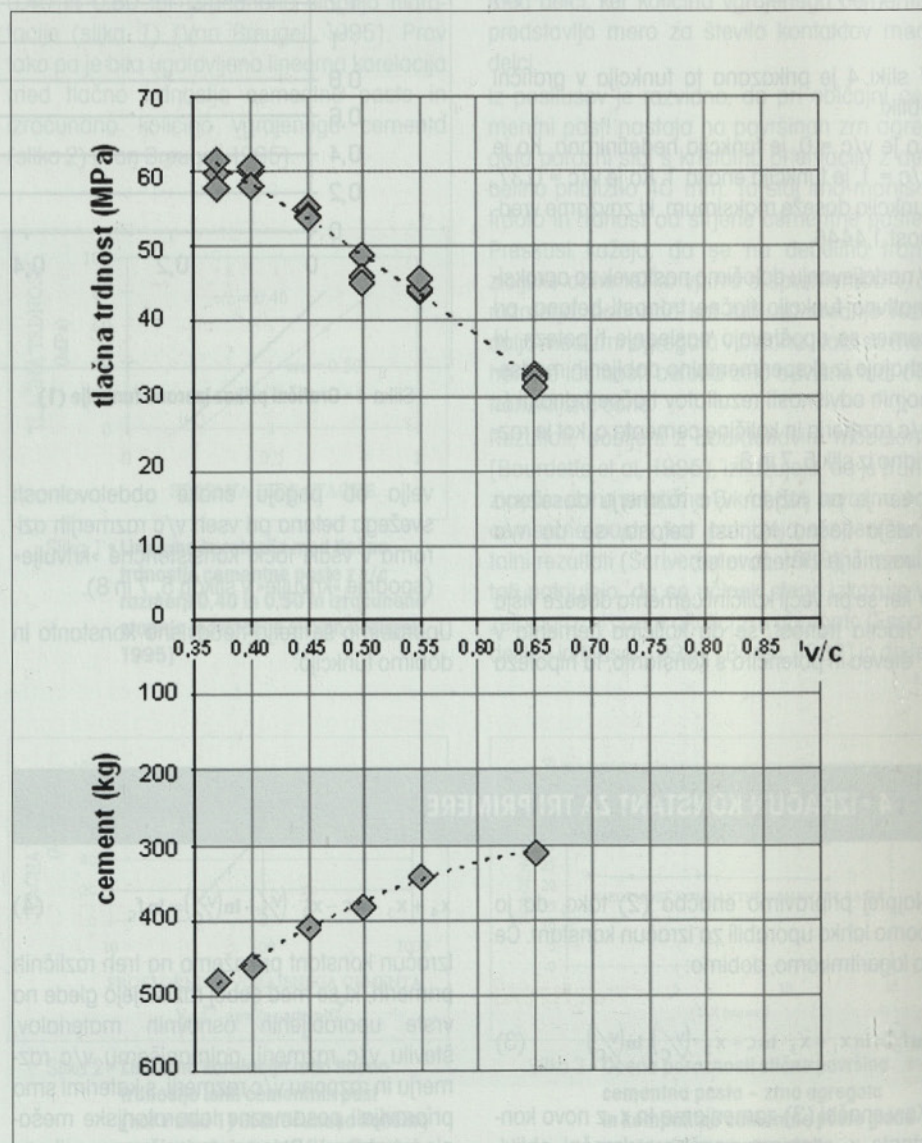
$$x_2 = 5,2459890$$

$$x_3 = 0,3787255$$

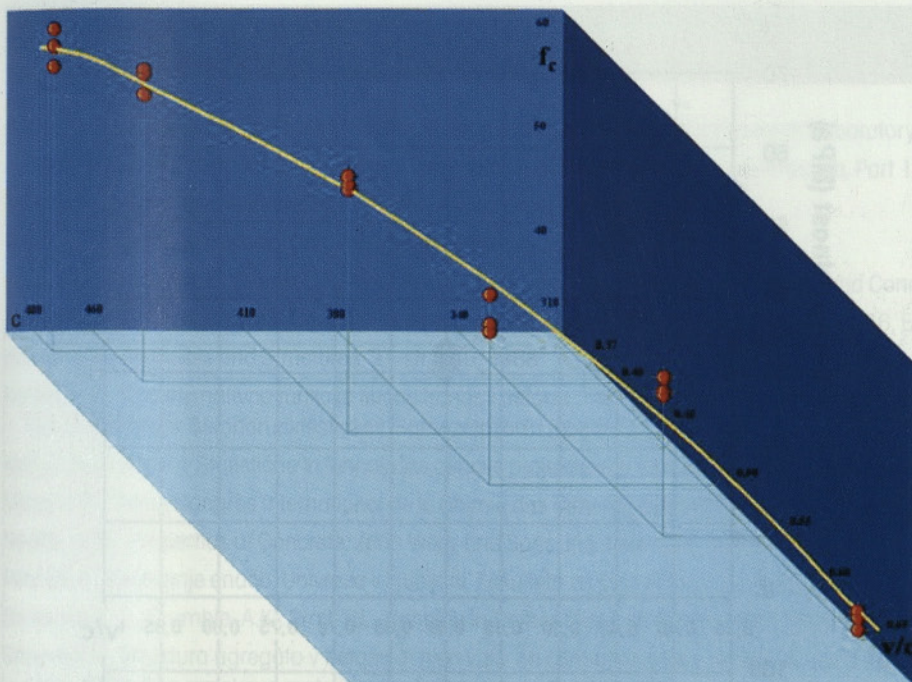
in aproksimativna funkcija tlačne trdnosti betona iz 1. primera dobi končno obliko:

$$f_{c,1} = 0,83935826 \cdot \frac{c^{0,3787255}}{(v/c)^{5,2459890}} \quad (5)$$

Reziduum ali povprečni kvadratni pogrešek znaša: $R = 1,72889$ MPa. Relativno majhna vrednost reziduiuma pomeni, da izračunana funkcija dobro podaja potek prostorske krivulje med točkami v koordinatnem sistemu (v/c , c , f_c), kar je razvidno iz slike 6.



Slika 5 • »Krivulji«: $v/c - f_c$ in $v/c - c$ betonov iz 1. primera



Slika 6 • Potek prostorske krivulje, ki jo podaja aproksimativna funkcija tlačne trdnosti betona iz 1. primera

2. primer: 5 v/c razmerij, od $(v/c)_{\min} = 0,40$ do $(v/c)_{\max} = 0,90$

Za pripravo laboratorijskih betonov smo uporabili naslednje osnovne materiale:

- cement CEM II – 42,5 N; količine cementa posamezne sestave so podane v preglednici 2, razvidne pa so tudi iz slike 7 – spodnja »krivulja«: $v/c - c$;

zap. št.	v/c	c	f_c
(-)	(kg/m ³)	(MPa)	
1	0,40	480	57,0
2			57,7
3			56,2
4	0,45	410	50,8
5			52,4
6			55,7
7	0,55	320	39,6
8			36,7
9			38,1
10	0,70	250	26,4
11			27,5
12			28,1
13	0,90	200	16,3
14			17,3
15			16,4

Preglednica 2 • Dobljeni rezultati laboratorijskih preskusov betonov – 2. primer

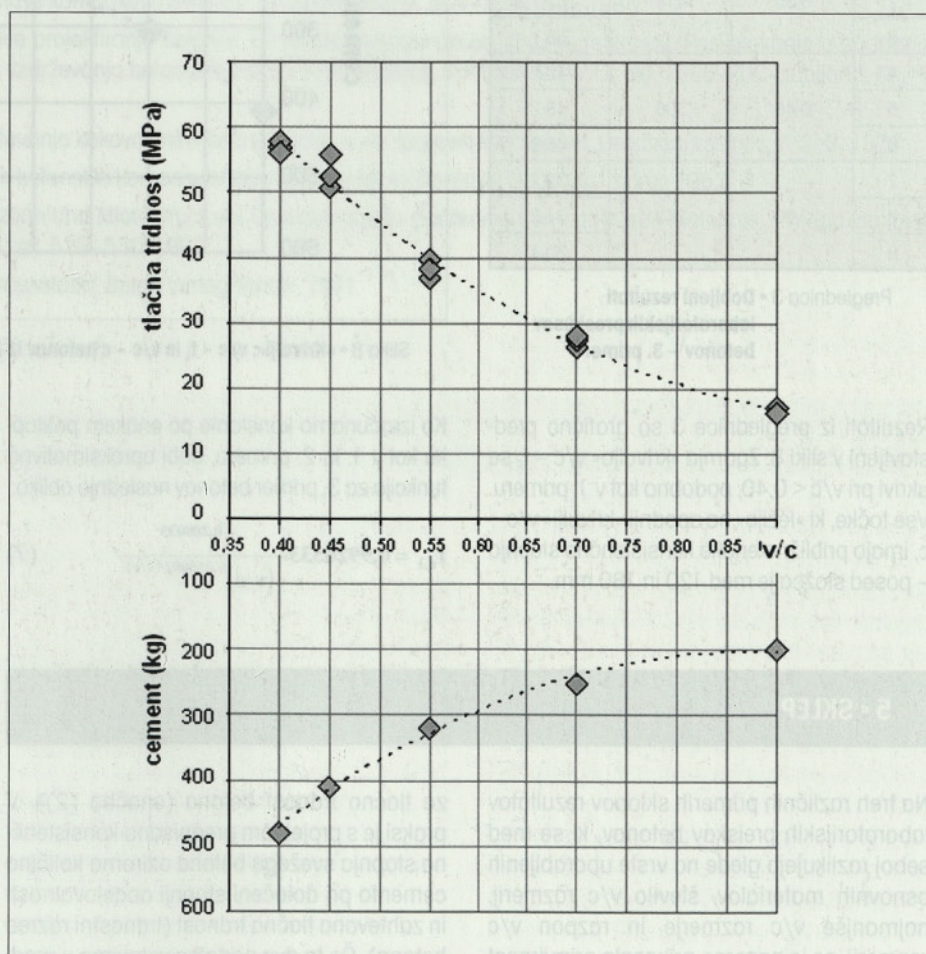
- drobljeni dolomitni agregat v nazivnih frakcijah: 0–4 in 16–32 mm ter drobljeni apnenčev agregat v nazivnih frakcijah: 4–8 in 8–16 mm;
- plastifikator, ki se je dodajal v količini 0,3 % m/m na maso cementa.

Rezultati laboratorijskih preskusov oziroma podatki za izračun konstant po enačbi (4) so podani v preglednici 2.

Rezultati iz preglednice 2 so grafično predstavljeni v sliki 7. Zgornja »krivulja«: $v/c - f_c$ ne izkazuje ukrivljenosti kot v 1. primeru. Spodaj »krivulja«: $v/c - c$ pa predstavlja konsistentno stopnjo, merjeno po metodi poseda stožca, od poseda 105 do 130 mm.

Ko izračunamo konstante po enakem postopku kot v 1. primeru, dobi aproksimativna funkcija za 2. primer betonov naslednjo obliko:

$$f_{c,1} = 0,19368716 \cdot \frac{c^{0,8043287}}{(v/c)^{2,025023(v/c)}} \quad (6)$$



Slika 7 • »Krivulji«: $v/c - f_c$ in $v/c - c$ betonov iz 2. primera

Tudi v 2. primeru dobimo relativno majhen reziduum ali povprečni kvadratni pogrešek (tako kot v 1. primeru), ki znaša: $R = 1,71248 \text{ MPa}$.

3. primer: 3 v/c razmerja, od $(v/c)_{\min} = 0,35$ do $(v/c)_{\max} = 0,60$

Za pripravo laboratorijskih betonov smo uporabili naslednje osnovne materiale:

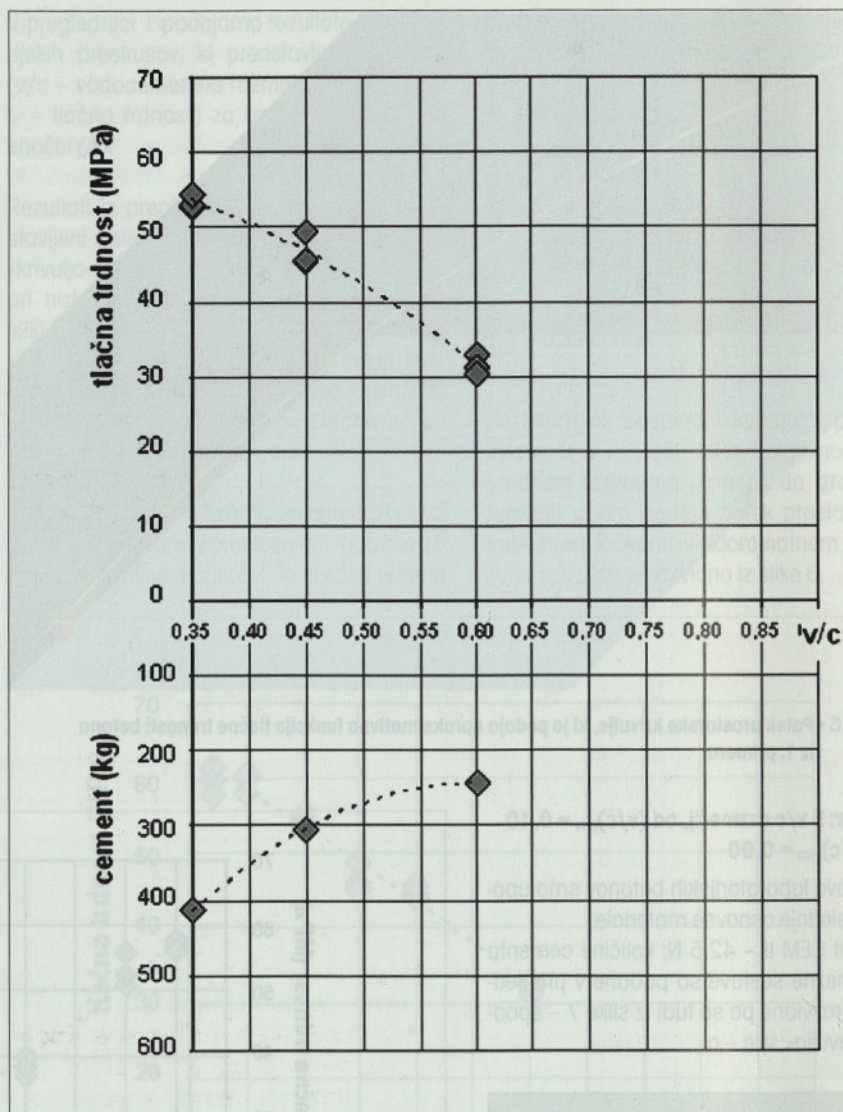
- cement CEM I – 42,5 R; količine cementa posamezne sestave so podane v preglednici 3, razvidne pa so tudi iz slike 8 – spodnja »krivulja«: $v/c - c$;
- naravni prodnati agregat v nazivnih frakcijah: 0–4, 4–8, 8–16 in 16–32 mm;
- hiperplastifikator, ki se je dodajal v količini 0,9 % m/m na maso cementa.

Rezultate laboratorijskih preskusov oziroma podatke za izračun konstant po enačbi (4) podajamo v preglednici 3.

zap. št.	v/c	c	f_c
	(-)	(kg/m^3)	(MPa)
1	0,35	414	52,9
2			52,7
3			53,1
4	0,45	306	49,2
5			45,2
6			45,6
7	0,60	243	32,7
8			31,2
9			30,4

Preglednica 3 • Dobljeni rezultati laboratorijskih preskusov betonov – 3. primer

Rezultati iz preglednice 3 so grafično predstavljeni v sliki 8. Zgornja »krivulja« $v/c - f_c$ se ukrivi pri $v/c < 0,40$, podobno kot v 1. primeru. Vse točke, ki »ležijo« na spodnji »krivulji« $v/c - c$, imajo približno enako konsistentno stopnjo – posed stožca je med 120 in 180 mm.



Slika 8 • »Krivulji«: $v/c - f_c$ in $v/c - c$ betonov iz 3. primera

Ko izračunamo konstante po enakem postopku kot v 1. in 2. primeru, dobi aproksimativna funkcija za 3. primer betonov naslednjo obliko:

$$f_{c,1} = 0,9926533 \cdot \frac{c^{0,280033}}{(v/c)^{6,253092(v/c)}} \quad (7)$$

V tem primeru dobimo najmanjši reziduum ali povprečni kvadratni pogrešek glede na prva dva primera in znaša: $R = 1,24799 \text{ MPa}$.

5 • SKLEP

Na treh različnih primerih sklopov rezultatov laboratorijskih preiskav betonov, ki se med seboj razlikujejo glede na vrste uporabljenih osnovnih materialov, število v/c razmerij, najmanjše v/c razmerje in razpon v/c razmerij, se je nazorno prikazala primernost uporabe predlagane aproksimativne funkcije

za tlačno trdnost betona (enačba (2)). V praksi je s projektom predpisana konsistentna stopnja svežega betona oziroma količina cementa pri določeni stopnji obdelovalnosti in zahtevana tlačna trdnost (trdnostni razred betona). Če ta dva podatka vstavimo v predhodno dobljeno enačbo (ki se jo določi za

vsak primer kombinacije osnovnih materialov, kot je to prikazano za tri primere – enačbe (5) do (7)), dobimo eno nelinearno enačbo z eno neznanko, in sicer z vodo-cementnim razmerjem. To nelinearno enačbo potem rešimo, na primer po Newtonovi tangentni metodi (Bohte, 1978), (Petrišič, 1996). S tem dobimo v/c razmerje (efektivno vodo-cementno razmerje – $(v/c)_{ef}$), ki predstavlja osnovni parameter za projektiranje sestave betona.

6 • LITERATURA

- Abrams, D. A., Design of Concrete Mixtures, Bulletin 1, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago, 1918.
- ACI Committee 116 Cement and Concrete Terminology, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, str. 116R-1–74, 2007.
- Baron, J., Le Béton Hydraulique, Ed.: J. Baron, R. Sauterey, Paris, str. 95, 1982.
- Bohte, Z., Numerične metode, Državna založba Slovenije, Ljubljana, 1978.
- Bourdette, B., Ringot, E., Ollivier, J.P., Modelling of the Transition Zone Porosity, Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 4, str. 741–751, 1995.
- Escadeillas, G. C., Maso, J. C., Ceramic Transactions, Advances in Cementitious Materials, 16. Ed.: S. Mindess, str. 169, 1990.
- Hoshino, M., Materials and Structures, 21, str. 336, 1988.
- Korošak, B., Aproksimativna funkcija tlačne trdnosti betona. The Approximative Function of the Compressive Strength of Concrete. Die Approximative Funktion der Betondruckfestigkeit, Samozaložba, Ljubljana, 2006.
- Mali, E. in sodelavci, Statistične in tehnološke osnove projektiranja in vrednotenja lastnosti betona, Gradbeni vestnik, št. 11–12, 1979.
- Maso, J. C., 7ème Congrès International de la Chimie des Ciments, Septima, Paris, str. VII–1/3, 1980.
- Neville, A. M., Properties of Concrete. John Wiley and Sons, Inc. New York, 1963.
- Petrišič, J., Reševanje enačb, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1996.
- Scrivener, K. L., Crumble, A.K., Pratt, P.L., Bonding in Cementitious Materials, MRS, 114. Ed.: Mindess, S., Shah, S.P., str. 87, 1988.
- Stroeve, P., Struktura agregata v betonu in njen vpliv na cementno pasto, v Zajc, A., (ur.). Agregati v betonu: zbornik gradiv in referatov. Ljubljana: IRMA, Inštitut za raziskavo materialov in aplikacije, str. 9–20, 2006.
- Šušteršič, J., Projektiranje sestave betonov, v Zajc, A., (ur.). Optimizacija kakovosti betona : zbornik gradiv in referatov. Ljubljana: IRMA, Inštitut za raziskavo materialov in aplikacije, 2000, str. 27–32.
- Šušteršič, J., Gečev, T., Postopek projektiranja sestave kompaktnih betonov, Gradbeni vestnik, št. 4–5, str 1–4, 1986.
- Šušteršič, J., Gečev, T., Korla, J., Ceklin, F., Osnove projektiranja betonov za voziščne konstrukcije, Zbornik referatov: Posvetovanje o sodobnih dosežkih na področju projektiranja, gradnje in vzdrževanja betonskih voziščnih konstrukcij, Portorož, 9. do 11. okt. 1985, RUC Ljubljana, Knj. 1, str. 163–175, 1985.
- Umek, A., Nova metoda eksperimentalnega določevanja kakovostnih količnikov betona in njegovih komponent, Gradbeni vestnik, št. 2–3, 1976.
- Umek, A., Numerično določanje kvalitete betona in betonskih komponent. Biro gradbeništva Slovenije, Ljubljana, marec 1962.
- Van Breugel, K., Numerical Simulation of Hydration and Microstructural Development in Hardening Cement-Based Materials, (II) Applications, Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 3., str. 522–530, 1995.
- Walz, K., Herstellung von Beton nach DIN 1045, Düsseldorf, Beton Verlag GmbH, 1971.

ALI JE AKUMULACIJA SUHORKA POTREBNA? DRUGO MNENJE.

Dr. Uroš Krajnc, univ. dipl. inž. grad.
Koroška 57, Maribor

UDK (628.13+556.15): 628.144

Povzetek | Profesor Mitja Rismal je v avgustovski številki 2007 Gradbenega vestnika v članku Ali je akumulacija Suhorka potrebna? postavil tezo, da je možna oskrba Slovenske Obale s pitno vodo z vodo iz obstoječih akumulacij Klivnik in Mola na reki Reki in je gradnja akumulacije Suhorica nepotrebna. Drugo mnenje na isto temo dokazuje, da je izgradnja te akumulacije potrebna.

1 • UVOD

Upokojeni profesor Mitja Rismal je v avgustovski številki 2007 Gradbenega vestnika objavil članek Ali je akumulacija Suhorka potrebna? Avtor članka trdi, da je možna oskrba Slovenske Obale s pitno vodo z vodo iz obstoječih akumulacij Klivnik in Mola na reki Reki in je gradnja akumulacije Suhorica nepotrebna. Svojo utemeljitev te trditve izpelje tako, da projektu akumulacija Suhorica pripiše naslednji izhodišči:

1. V akumulaciji Suhorica bo stalna gladina, zato je potrebno črpati iz reke Reke 400 l/s.

2. Izgradnja akumulacije Suhorica bo omogočila zahtevani biološki minimum reke Reke 1,38 m³/s.

Ta izhodišča, katere potem v članku izpodbija, je akumulaciji Suhorica pripisal Rismal sam in jih v nam znani dokumentaciji za akumulacijo Suhorica ne zasledimo. Rismal v članku ne navaja, iz katere dokumentacije je povzel ta izhodišča.

Dejstva o izhodiščih so naslednja: projekt Suhorica ne predvideva stalne gladine v

akumulacijskem jezeru, s projektom Suhorica ne zagotavljamo biološkega minimuma reke Reke 1,38 m³/s.

Nadalje postavlja trditve, da sta sedaj akumulaciji Klivnik in Mola neizkoriščeni, zato lahko z uporabo prostornine obeh zagotovimo tako potrebe Obale po vodi kot tudi pretok v reki Reki v vrednosti petkratnega najmanjšega zabeleženega pretoka 0,85 m³/s.

Trdimo, da sta akumulaciji Klivnik in Mola ves čas v funkciji in da že sedaj ne moreta v celoti zagotoviti dejansko predpisanega minimalnega pretoka 0,925 m³/s pod Ilirsko Bistrico, določenega z vodnogospodarskim soglasjem.

2 • STALNA GLADINA AKUMULACIJE SUHORICA

Slovenska Obala, ki jo oskrbuje s pitno vodo Rižanski vodovod Koper, uporablja kot vodni vir zajetje na reki Rižani. V sušnih poletnih mesecih ta vodni vir ne zadošča. Rižanski vodovod uvaža pitno vodo iz Hrvaške. Kraški vodovod Sežana uporablja zajetje Brestovica, ki sedaj zadošča za njegove potrebe in v poletnih mesecih pošilja dodatne količine vode na Obalo preko povezave obeh vodovodnih sistemov pri Rodiku.

Projekt Suhorica predvideva tudi dodajanje vode v sistem Kraškega vodovoda, kar je z ekonomskega vidika smiselno zaradi manjše višine črpanja vode, kot je to potrebno v obstoječem vodovodnem sistemu iz vrtine Brestovica. Trenutno se voda prečrpava iz

nadmorske višine 40 m n.m. do 480 m n.m. ter dodatno do Rodika še 80 m. Samo za Kraški vodovodni sistem je skupna geodetska višina črpanja 440 m. V primeru črpanja iz zadrževalnika Padež pa bi bila skupna višina črpanja 280 m, takšna manjša višina črpanja pa pomeni tudi zmanjšanje stroškov oskrbe s pitno vodo. To bi dolgoročno pomenilo, da bi predviden vodni vir Padež postal glavni vodni vir za Kraški vodovod Sežana, vrtina v Brestovici pa bi ostala kot rezervni vodni vir.

Potrebne dodatne količine vode iz povodja reke Reke so odvisne od pretokov v reki Rižani (hidrološki režim reke mokro, povprečno, suho leto). Potrebo po dodatnih količinah vode podaja preglednica 1.

Glede na tehnološke karakteristike pregrade je koristna prostornina, namenjena oskrbi s pitno vodo, le del celotne prostornine akumulacije. Potrebna višina pregrade je določena (slika 1):

$$H_{\text{pregrade}} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$$

H1: globina vode, kjer ni možen odvzem za pitno vodo zaradi usedanja plavin.

H2: višina zaradi koristnega volumna pregrade

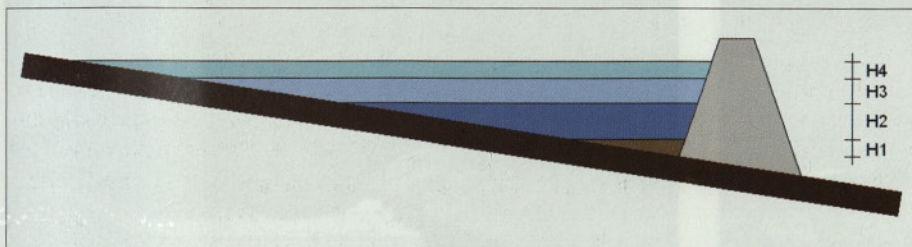
H3: višina zaradi segrevanja vode v akumulaciji

H4: višina zaradi sploščitve poplavnega vala, valovanja, usedanja pregrade

H2: koristni volumen akumulacije izhaja iz primanjkljaja vode, ki ga ne more zagotoviti Rižana v poletni sezoni. Takrat so tudi pretoki

LETO hidrološki	NAPOVEDANA PORABA (RIŽANSKI + KRAŠKI)	VIR RIŽANA	VIR PADEŽ/SUHORICA
2012	(m ³ /leto)	(m ³ /leto)	(m ³ /leto)
MOKRO LETO	10,765,658	8,674,427	2,091,231
SREDNJE LETO	10,765,658	8,600,643	2,165,014
SUHO LETO	10,765,658	6,748,253	4,017,404
2042	(m ³ /leto)	(m ³ /leto)	(m ³ /leto)
MOKRO LETO	12,620,997	8,650,388	3,970,609
SREDNJE LETO	12,620,997	8,577,990	4,043,007
SUHO LETO	12,620,997	6,726,243	5,894,753
2062	(m ³ /leto)	(m ³ /leto)	(m ³ /leto)
MOKRO LETO	13,608,446	8,650,388	4,958,058
SREDNJE LETO	13,608,446	8,577,990	5,030,456
SUHO LETO	13,608,446	6,726,243	6,882,202

Preglednica 1 • Potrebe po dodatnih količinah vode za Rižanski in Kraški vodovod



Slika 1 • Potrebne višine akumulacije Suhorica

3 • ZAGOTOVLJEN BIOLOŠKI MINIMUM V REKI REKI 1,38 m³/s

Nikjer v nam znani do sedaj izdelani dokumentaciji ne zasledimo izhodišča, da bo akumulacija Suhorica omogočila biološki minimum v reki Reki 1,38 m³/s. Resnično izhodišče pa je, da z uporabo vode iz akumulacije Suhorica **ne posegamo oziroma ne poslabšujemo** razmer v reki Reki na profilu pod Ilirsko Bistrico.

Preprosto povedano, ker je akumulacija Suhorica predvidena na profilu reke Reke pred vtokom potoka Padeža, projekt Suhorica ne spreminja sedanjih hidroloških razmer reke Reke do tega profila. Ker je predvideno polnjenje Suhorice z lastnimi vodami povodja, in to v času pred poletno sezono, ko mora biti akumulacija polna z izjemo predvidene prostornine za poplavni val, ne spreminjamo hidrološkega režima reke Reke po celotni dolžini v poletnih mesecih, ki so za reko Reko posebno kritični.

Hidrološki režim reke Reke je umetni hidrološki režim. Na izviru pritoka Bistrice je zgrajen

odvzem vode za oskrbo s pitno vodo vodo-voda Ilirska Bistrica. V sami Ilirski Bistrici odvzema industrija vodo, največji porabnik je tovarna Lesonit, ki ima delno vodno dovoljenje za odvzem vode največ 50 l/s.

Na pritoku Molja sta zgrajeni dve akumulacijski jezери: Klivnik in Mola. Starejša je akumulacija Mola, mlajša pa Klivnik.

Akumulacija Mola pri maksimalni koti gladine 435,10 m obsega zajezni prostor 4,3 mio m³ ojezerene površine 68 ha, pri stalni koti zajezitve obsega zajezni prostor 3,3 mio m³ pri ojezereni površini 60 ha, pri minimalni gladini 424,0 m obsega zajezni prostor 0,3 mio m³ pri ojezereni površini 9,5 ha.

Prostor 1,0 mio m³ med kotama 435,50 in 434,10 je namenjen za sploščenje visokovodnega vala, prostor 3,0 mio m³ med kotama 434,10 in 424,0 pa je namenjen shranjevanju vode, namenjene za bogatenje malih voda notranske Reke pri nihanju gladine blizu 10,0 m (Vir podatkov: Odločba,

Rižane in Reke najmanjši. Izhaja iz potrebnega volumna vode glede na možno koriščenje reke Rižane.

Akumulacijsko jezero mora biti napolnjeno pred začetkom letne sezone, se pravi okvirno do 15. junija. Ob koncu sezone bo koristna prostornina uporabljena in se bo zato gladina jezera zmanjšala za višino H2.

Napajanje akumulacije je predvideno z lastnimi vodami potoka Suhorice. Zajetje in črpalništvo na reki Reki je predvideno samo kot dodatni varnostni ukrep, ki bo lahko v uporabi:

- pri prvem polnjenju akumulacije Suhorica, ko je potrebno zapolniti celotni volumen akumulacije,
- v primeru ekstremnih hidroloških razmer, ko akumulacijskega jezera ne bi napolnile vode iz lastnega povodja.

Trditve o vzdrževanju stalne gladine v akumulaciji Suhorica in dodatne potrebne prostornine po Rismalu je absurda. Potem je povsem nejasno, zakaj sploh gradimo akumulacijo, zakaj je predvidena višina pregrade 57 m. Če ima stalno gladino, bi lahko imela višino bodisi 10 m ali pa 100 m.

štev. 324/A-176/73, dne 5. 10. 1973, izdal Republiški sekretariat za urbanizem).

Akumulacija Klivnik ima minimalno gladino vode jezera na koti 453,40, kar predstavlja mrtvi prostor akumulacije s prostornino 0,3 mio m³. Izkoristljiv volumen akumulacije je 3,4 mio m³. Za zmanjšanje visokovodnega vala je predviden prostor 0,6 mio m³ med kotama 470 m in 471,5 m.

V času gradnje akumulacij so rezultati hidroloških obdelav v vodnogospodarskem delu lokacijske dokumentacije pokazali, da bo po izgradnji akumulacije Klivnik skupno z že izgrajeno akumulacijo Mola mogoče povečati nizke pretoke v Ilirski Bistrici v prerezu V.P. Trnovo od 0,6 m³/s na 0,9 m³/s za tri najbolj sušna leta in zagotoviti 30 l/s vode za morebitno vodooskrbo (Vir podatkov: Vodnogospodarsko soglasje, št. 324/A-92/84-DM/jv, 23. 11. 1984, izdal R. Komite za varstvo okolja in urejanje prostora). Nizki pretoki 0,9 m³/s reke Reke v profilu Trnovo so bili kasneje povečani na 0,925 m³/s.

4 • DELOVANJE AKUMULACIJ KLIVNIK IN MOLA

Akumulaciji Klivnik in Mola imata trojni namen:

1. Zaščito pred poplavami Ilirske Bistrice. Za ta namen morata imeti akumulaciji volumen vsaka po 1.000.000 m³, skupaj 2.000.000 m³.
2. Bogatenje nizkih pretokov reke Reke. Poslovnik za obratovanje na podlagi vodnogospodarskega dovoljenja zahteva minimalni pretok 925 l/s v profilu merske postaje Trnovo. Ta pretok se odčitava na hidrološki postaji Trnovo, na merilni lati ga ves čas kontrolirajo tudi ribiči.

3. Kot biološki minimum mora ostati v vsaki akumulaciji po 300.000 m³, skupno torej 600.000 m³.

Dolgoletne izkušnje pri obratovanju Klivnika in Mole kažejo:

1. Kljub tem volumnom za lovljenje poplavnega vala Reka občasno poplavlja.
2. Zahteve minimalnega pretoka 925 l/s v profilu Trnovo v ekstremnih sušnih obdobjih ni možno vedno zagotoviti. V takih primerih deluje komisija (vodarji, ribiči, inšpektorji), ki dovoli zmanjšanje pretoka oziroma

včasih, da se izpraznita akumulaciji pod dogovorjen biološki minimum. Po oceni vzdrževalcev je v od začetka obratovanja akumulacij Klivnik in Mola nastopil tak primer 10–15-krat. Nekaj teh primerov iz zadnjih let je razvidnih iz slik 2 do 5.

V nadaljevanju (grafi 1 do 6) podajamo neka primerov sušnih let, in sicer pretoke v profilu Trnovo in višine vode v akumulaciji Mola. Iz grafov je razvidno, da so pretoki občasno pod predpisanim in da se akumulacija ob koncu poletja izprazni. To so realni merjeni podatki! Da se zagotovi zahtevani pretok v prerezu pod Ilirsko Bistrico, spremlja vzdrževalec pretoke na reki Reki (vodomerna postaja Trpčane, Trnovo) ter Bistrici (Vodomerna postaja Ilirska



Slika 2 • Akumulacija Klivnik 31. 7. 2006



Slika 3 • Akumulacija Klivnik 31. 7. 2006

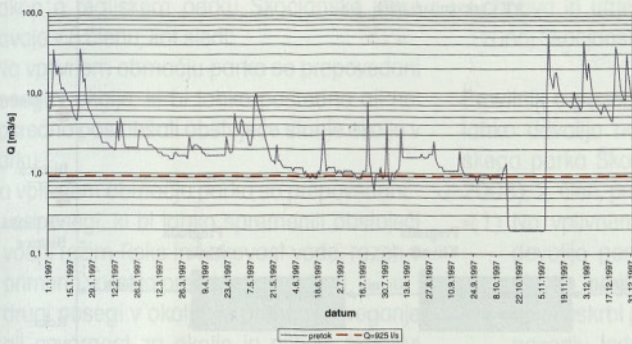


Slika 4 • Akumulacija Klivnik 31. 7. 2006



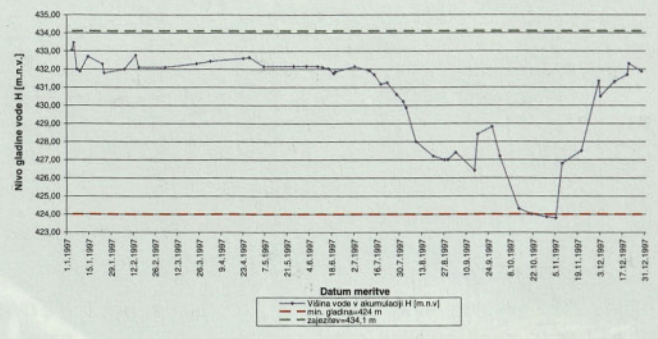
Slika 5 • Akumulacija Mola 30. 6. 2006

SREDNJA DNEVNA VREDNOST PRETOKA ZA LETO 1997
Vodotok: REKA Postaja: TRNOVO



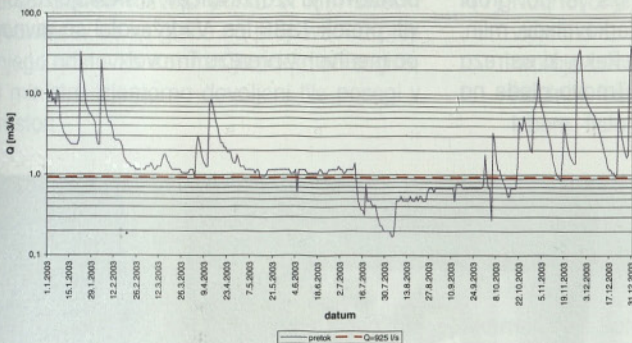
Graf 1 • Dnevne vrednosti pretoka reke Reke Trnovo za leto 1997

NIHANJE GLADINE VODE V AKUMULACIJI MOLA (LETO 1997)



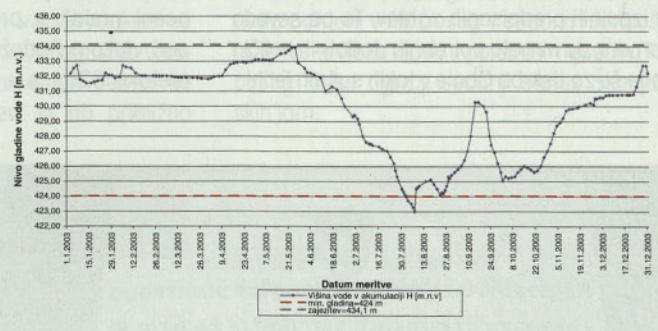
Graf 2 • Nihanje gladine vode v akumulaciji Mola (leto 1997)

SREDNJA DNEVNA VREDNOST PRETOKA ZA LETO 2003
Vodotok: REKA Postaja: TRNOVO



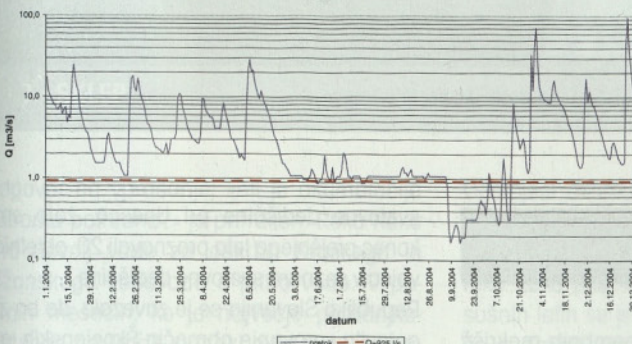
Graf 3 • Dnevne vrednosti pretoka reke Reke Trnovo za leto 2003

NIHANJE GLADINE VODE V AKUMULACIJI MOLA (LETO 2003)



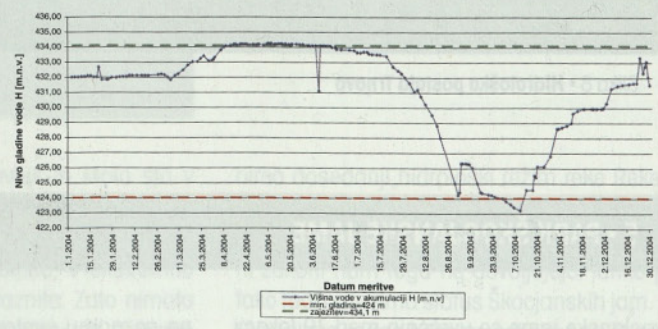
Graf 4 • Nihanje gladine vode v akumulaciji Mola (leto 2003)

SREDNJA DNEVNA VREDNOST PRETOKA ZA LETO 2004
Vodotok: REKA Postaja: TRNOVO



Graf 5 • Dnevne vrednosti pretoka reke Reke Trnovo za leto 2004

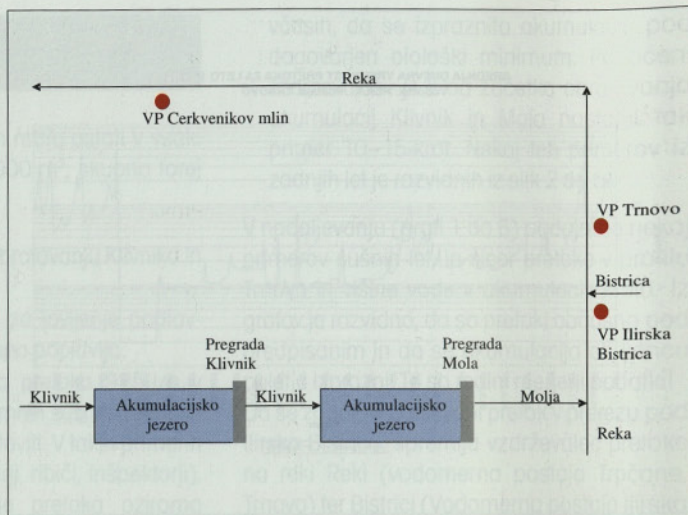
NIHANJE GLADINE VODE V AKUMULACIJI MOLA (LETO 2004)



Graf 6 • Nihanje gladine vode v akumulaciji Mola (leto 2004)



Slika 6 • Akumulacija Mola 30. 6. 2006



Slika 7 • Shema obravnavanih akumulacij in vodomernih postaj

Bistrica) in regulira dotok iz akumulacijskih jezer Klivnik in Mola (slike 7 do 9). Akumulaciji Klivnik in Mola torej ves čas obratujeta, vendar že sedaj občasno ne moreta izpolniti predpisanih zahtev. To pa seveda pomeni, da nimata potrebnih dodatnih količin vode še za oskrbo Obale v takih sušnih letih!

Iz grafov je lepo razvidno, da poskušajo vzdrževalci zagotoviti minimalni pretok v prerezu Trnovo 925 l/s in ne 1388 l/s, kot trdi Rismal. Pretok 1388 l/s je po grobi oceni pretok v prerezu Cerkovnikov mlin, pod vtokom Padeža v reko Reko, ki ustreza pretoku 925 l/s v prerezu Trnovo glede na

velikost povodja. Zato je povsem napačna trditev Rismala, da se akumulaciji Klivnik in Mola preveč praznita zaradi napačnega obratovanja vzdrževalcev, ki skušajo zagotoviti pretok 1388 l/s. Vzdrževalci se ravnavajo po meritvah v prerezu Trnovo!



Slika 8 • Hidrološka postaja Trnovo



Slika 9 • Hidrološka postaja Trnovo

5 • PARK ŠKOCJANSKE JAME

Škocjanske jame se uvrščajo med 19 lokacij na svetu, ki so hkrati na seznamu svetovne dediščine (UNESCO/ WHC), biosferni rezervat (UNESCO / MAB) in kot podzemno mokrišče

na seznamu svetovno pomembnih mokrišč Ramsar. Škocjanske jame so bile zaradi svoje ga izjemnega pomena za svetovno naravno dediščino 1986. leta vpisane v seznam

svetovne dediščine pri Unesco, zato smo konec prejšnjega leta praznovali 20. obletnico vpisa v seznam svetovne dediščine. Republika Slovenija se je zavezala, da bo zagotovila varovanje območja Škocjanskih jam in zato sprejela Zakon o Regijskem parku Škocjanske jame (U.L. RS 57/ 1996). Ta zakon prepoveduje posege v hidrološki režim te reke.

Ob sprejemu Zakona je to že bil umeten hidrološki režim, saj sta akumulaciji Klivnik in Mola že delovala!

Zakon o regijskem parku Škocjanske jame navaja v 8. členu, kot sledi:

»Na vplivnem območju parka so prepovedani posegi v okolje, ki bi lahko posredno ali neposredno poslabšali obstoječe stanje okolja v parku.

Na vplivnem območju parka so prepovedani:

- vsi posegi, ki bi lahko spremenili obstoječi vodni režim Reke in kakovost vode, razen v primerih varstva pred poplavami;
- drugi posegi v okolje, ki pomenijo tveganje ali nevarnost za okolje in njihovi škodljivi vplivi segajo v park.

Minister, pristojen za varstvo narave (v nadaljnjem besedilu: minister) določi primere in pogoje, pod katerimi je mogoče izjemoma dovoliti posege iz prejšnjega odstavka. 9. člen istega zakona pravi, da je na območju parka prepovedano spreminjati vodni režim Reke; Zaradi potreb razvoja parka in tam živečih prebivalcev so ne glede na prepovedi iz prejšnjega odstavka v območju parka ob soglasju ministra izjemoma dovoljeni tile posegi v prostor:

- gradnja infrastrukturnih objektov ali naprav za naselja (električne, vodovodne, kanalizacijske naprave);
- obnova in utrjevanje jezov in obrežij Reke zunaj Škocjanskih jam;«

Pravilnik o posegih v okolje, ki se izjemoma lahko dovolijo na vplivnem območju Regijskega parka Škocjanske jame (U.L. RS 89/2003), 2. člen, pravi:

- »(1) Na vplivnem območju parka se lahko dovolijo posegi v okolje iz prvega odstavka prejšnjega člena, če so namenjeni oskrbi prebivalstva s pitno vodo na povodju Jadranskega morja.
- (2) Poseg v okolje iz prejšnjega odstavka vključuje gradnjo vodne infrastrukture – vodnega zbiralnika (v nadaljnjem besedilu: objekt), namenjenega ohranjanju in uravnavanju vodnih količin ter njegovo uporabo in vzdrževanje.«

3. člen pa zahteva:

- »(1) Načrtovanje, gradnja in uporaba objekta vključno z njegovim vzdrževanjem se morajo izvesti tako, da ne ogrozijo vrednostnih lastnosti parka, pri čemer se izbere tisto odločitev, ki ob približno

enakih učinkih izpolnjuje merilo najmanjšega možnega poseganja v naravo in v primeru obstoja alternativnih tehničnih možnosti ne okrne narave in drugih vrednot parka.«

Trdimo, da s predlaganim posegom – izgradnjo akumulacije Suhorica in njenim polnjenjem v času visokih voda izpolnjujemo merilo najmanjšega možnega poseganja v naravo. Ocenjujemo, da bi bilo z načrtovanim posegom v porečju reke Reke odvzeto približno 1,35 % (maksimalno 2,7 % v času prve polnitve akumulacije) celotne letne količine vode. Pričakovati je tudi zmanjšanje prodonosnosti, kar je možno z ustreznimi omilitvenimi ukrepi preprečiti. Odvzem vode naj bi potekal v najbolj vodnatem obdobju. To izhodišče je potrdila tudi študija Inštituta za raziskovanje krasa. Tudi UNESCO-v center v Parizu je obveščen o nameravanem posegu, izgradnji akumulacije Suhorica.

Nasprotno pa predlagani koncept prof. Rismala pomeni velik poseg v sedanji hidrološki režim reke Reke zlasti v poletnih mesecih. Tak poseg lahko ogrozi sedanji status Škocjanskih jam.

6 • UTEMELJITEV PROJEKTA

Projekt oskrbe prebivalstva s pitno vodo je v zasnovi bistveno širše koncipiran, kot je razumeti iz članka o akumulaciji Suhorica in njeni vodni bilanci. Bistvenega pomena je to, da z realizacijo za območje Slovenske Istre, Kraškega zaledja in Brkinov Republika Slovenija zagotovi strateški vodni vir za oskrbo s pitno vodo v regiji, ki je hkrati tudi rezervni vir za vse sedanje vodooskrbne sisteme v regiji: Rižanski, Kraški in Ilirskobistriški vodovod.

Akumulacija Suhorica leži v stičišču vseh treh vodooskrbnih sistemov in predstavlja dopolnilni vodni vir v času, ko obstoječi vodni viri ne morejo zagotavljati potreb. V projekt-nih zasnovah so vključeni vsi obstoječi vodni viri, tudi obstoječi akumulaciji v zaledju Ilirske Bistrice, vendar s poudarkom na vlogi, ki jima je bila namenjena ob izgradnji, tj. zagotavljanju ustreznega vodnega režima reke Reke na vplivnem območju Škocjanskih jam.

V okviru projektnih aktivnosti, ki potekajo, je prioriten postopek sprejemanja prostorskih izvedbenih aktov, ki je pred fazo javne razgrnitve okoljskega poročila in študije variant. V lanskem letu, ko je bil postopek zaključen, so bila pridobljena pozitivna mnenja nosilcev urejanja prostora in potrjena ustreznost okoljskega poročila. Pomembno je, da so bila pridobljena mnenja vseh naravovarstvenih inštitucij in Parka Škocjanskih jam. Postopek je bil konec lanskega leta s strani investitorja in pobudnika, MOP začasno zaustavljen.

7 • SKLEP

Odgovor na vprašanje: »Ali je akumulacija Suhorka potrebna?« je pritrdilen. Reka Reka ima dovolj vode za oskrbo Kraškega in Rižanskega vodovoda s pitno vodo. V poletnih mesecih, ko je največje pomanjkanje vode na Obali, pretoki reke Reke ne zadostajo. Zato je potrebno zgraditi akumulacijsko jezero in ga napolniti pred začetkom sezone.

Obstoječi akumulaciji Klivnik in Mola sta v obratovanju in imata poleg obrambe pred poplavami nalogo bogatenja nizkih pretokov reke Reke pod Ilirsko Bistrico, v ekstremno sušnih letih se jezeri izpraznita. Zato nimata še dodatnih »prostih kapacitet« za dodatno oskrbo s pitno vodo. Izgradnjo akumulacije Suhorica lahko opustimo pod pogojem, če drastično spre-

nimo dosedanji hidrološki režim reke Reke v poletnih mesecih in bistveno zmanjšamo zagotovljen pretok pod Ilirsko Bistrico. Veljavni zakoni nam tega ne dovoljujejo, lahko pa tako tudi ogrozimo status Škocjanskih jam. Rismalova vodna bilanca, prikazana v članku, ne obsega soočenja z merjenimi vrednostmi pretoki Reke in višine gladin vode v akumulacijah.

18. MIŠIČEV VODARSKI DAN 2007

Organizatorji 18. Mišičevega vodarskega dne, ki bo 7. decembra 2007 v Mariboru, tako kot vedno doslej pripravljajo pester in aktualen program. Tudi letošnje leto smo prejeli nekaj hidroloških opozoril. Najprej huda suša, nato neurja, toče in ekstremne poplave v septembru so svarilo pred pozabo in omalovaževanjem nuje po nenehni skrbi za varovanje in urejanje voda.

Na posvetovanju bodo obravnaven naslednje razpisane tematike:

1. UPRAVLJANJE Z VODAMI

Izvajanje Nacionalnega programa upravljanja z vodami

- Načrti upravljanja vodnih območij Donave in Jadranskih rek z morjem
- Podrobnejši načrti upravljanja porečij ali njihovih delov
- Operativni programi za izvajanje aktivnosti na regionalnem in lokalnem nivoju

2. RABA VODE

Zadrževanje vode kot ukrep za izboljšanje vodne bilance, zmanjševanje obremenitve ob hidroloških in kmetijskih sušah ter izboljšanja odtočnih razmer ob visokih vodah.

3. AKTUALNI PROJEKTI S PODROČJA UPRAVLJANJA Z VODAMI IN UREJANJE VODA

Izmenjava informacij o aktualnih projektih s področja upravljanja in urejanja voda je stalnica Mišičevega vodarskega dne, ki podaja pregled nad strokovnim delom slovenskih vodarjev. Predstavitve najzanimivejših projektov in njihovih rezultatov širši strokovni javnosti.

Zanimivi referati so že napisani, tisknjeni bodo v zborniku posvetovanja, na srečanju pa pričakujemo plodno izmenjavo mnenj, znanja in pobud.

VABLJENI!

Franc AVŠIČ, univ. dipl. inž. grad.

mag. Smiljan JUVAN, univ. dipl. inž. grad.

Organizacijski odbor za Mišičev vodarski dan

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Mitja Žnidaršič, Vpliv konsistence, aeriranja in trajanja mokre nege na odpornost betona z večjim deležem kamene moke proti zmrzovanju/tajanju v prisotnosti soli, mentor doc. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor David Duh

Urška Brglez Noč, Sodobne metode vzdrževanja in sanacije kanalizacijskih sistemov, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan

Sebastijan Grdina, Analiza meritev geotehničnega opazovanja nasipov Ankaranske vpadnice, mentor doc. dr. Janko Logar, somentor asist. dr. Boštjan Pulko

Iztok Pahor, Projekt obnove starega hotela Perla v Novi Gorici, mentor doc. dr. Jana Šelih

Sašo Debeljak, Primerjalna analiza opažnih sistemov za objekt Tehnološki park Ljubljana, mentor doc. dr. Jana Šelih, somentor asist. dr. Aleksander Srdić

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Aleš Kroflič, Analiza obnašanja dvoslojnih elastičnih nosilcev z upoštevanjem zdrs in razmika, mentor doc. dr. Bojan Čas, somentor izr. prof. dr. Igor Planinc

Daniel Celarec, Poenostavljena verzija programa EAVEK, mentor doc. dr. Matjaž Dolšek

Jernej Nučič, Aplikacija metode prislužene vrednosti (EVM) v sistem PRINS, mentor doc. dr. Jana Šelih, somentor asist. dr. Aleksander Srdić

Primož Vitez, Strategija razvoja ITS arhitekture s poudarkom na SNVP v ožjem središču mesta Celje, mentor doc. dr. Marijan Žura, somentor asist. mag. Robert Rijavec

Marjan Zorko, Dvodimenzijski račun poplavnih valov na območju predvidenih akumulacij HE Brežice in HE Mokrice, mentor izr. prof. dr. Matjaž Četina, somentor asist. dr. Mario Krzyk

Natalija Duračak, Vzdrževanje stavbnega fonda v državni lasti: Primer obnove sodnije na Vrhniki, mentor doc. dr. Jana Šelih

Matjaž Knapič, Vpliv zadrževalnika Brezje na poplavne vode reke Horjulščice, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš, somentor mag. Rok Fazarinc

Tanja Zagoršek, Problematika razlaščenja zemljišč pri gradnji cestnega omrežja v Republiki Sloveniji, mentor izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ VODARSTVO IN KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Anja Hrastelj, Vodnogospodarske osnove in podrobnejši načrt upravljanja z vodami za porečje reke Dravinje, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor doc. dr. Primož Banovec

Anton Čotar, Vodna bilanca reke Save – Razvoj algoritma Petton za kalibracijo modela Watbal, mentor prof. dr. Mitja Brilly, somentor asist. dr. Mojca Šraj

Žiga Jeriha, Idejni projekt protipoplavne ureditve kopališkega objekta v Škofji Loki, mentor prof. dr. Mitja Brilly, somentor prof. dr. Matjaž Mikoš

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

KOLEDAR PRIREDITEV

5.- 6.11.2007

RIMC 07

3. Mednarodni znanstveni in strokovni kongres upravljalcev železniške infrastrukture

Rogaška Slatina, Slovenija

www.fg.uni-mb.si/RIMC2007/vabilo.html

29.- 30.11.2007

Kolokvij o asfaltih in bitumnih

Hotel Kompas, Kranjska gora, Slovenija

www.zdruzenje-zas.si

10.- 12.12.2007

Gulf Traffic 2007

Dubai International Exhibition

Dubaj, ZAE

www.gulfttraffic.com

10.- 13.12.2007

7th International Symposium on Cable Dynamics

Dunaj, Avstrija

www.aimontefiore.org/cable/

9.- 12.4.2008

GEOCongress 2008

The Challenge of Sustainability in the Geoenvironment Annual Congress of the Geo-Institute of ASCE

New Orleans, Louisiana, ZDA

www.adsc-iafd.com/files/public/GeoCongress2008.pdf

21.- 25.4.2008

TRA 2008

2nd Transport Research Arena (TRA)

Ljubljana, Slovenija

www.traconference.com

18.- 21.5.2008

EM08

The Inaugural International Conference of the Engineering Mechanics Institute

Minneapolis, Minnesota, ZDA

www.cce.umn.edu/conferences/em08

4.- 6.6.2008

IABSE Conference

ICT for Bridges, Buildings and Construction Practice

Helsinki, Finska

www.iabse.org

30.6.- 4.7.2008

10th International Symposium on Landslides and Engineered Slopes

Xi'an, Kitajska

www.landslide.iwhr.com

8.- 10.7.2008

7th International Congress Concrete: Construction's Sustainable Option

Dundee, Škotska

www.ctucongress.co.uk

3.- 5.9.2008

EUROSTEEL 2008

Gradec, Avstrija

www.eurosteel2008@tugraz.at

17.- 19.9.2008

7th RILEM International Symposium on Fibre Reinforced Concrete (BEFIB 2008)

Chennai (Madras), Indija

www.befib2008.iitm.ac.in

24.- 26.11.2008

2nd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICRRR 2008)

Cape Town, Južna Afrika

www.civil.uct.ac.za/icrrr

5.- 9.10.2009

17th International Conference for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

Alexandria, Egipt

www.2009icsmge-egypt.org

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