





Izdajatelj:

**Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Karlovška 3, 1000 Ljubljana, telefon/faks 01 422 4622 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 Tomažević**

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 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 5500 SIT; za študente in upokojenca 2200 SIT; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 40.687,50 SIT za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:  
02017-0015398955

# 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 2005, letnik 54, str. 237-260

## 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](mailto: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

## In memoriam

prof. dr. Janko Bleiweis, univ. dipl. inž. grad., 1909–2005

## Članki • Papers

stran **240**

mag. Tanja Mahne, univ. dipl. inž. grad.,  
Stanislava Cimerman, univ. dipl. inž. grad.

**VODNO MESTO ATLANTIS – TEHNOLOGIJA GRADNJE**  
WATER CITY ATLANTIS – CONSTRUCTION TECHNOLOGY

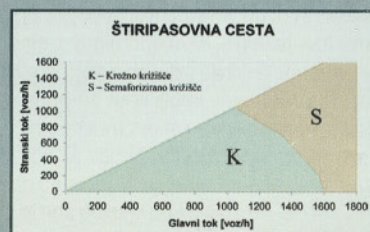


stran **249**

Simona Mrgole, univ. dipl. inž. grad.,  
doc. dr. Tomaž Maher, univ. dipl. inž. grad.

**PRIMERJAVA USPEŠNOSTI RAZLIČNIH TIPOV KRIŽIŠČ GLEDE NA  
KRITERIJ ČAKALNIH ČASOV**

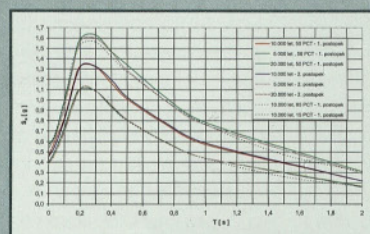
EFFECTIVENESS COMPARISON BASED ON CRITERIA OF WAITING  
TIMES FOR DIFFERENT INTERSECTION TYPES



stran **255**

dr. Janez Lapajne, univ. dipl. inž. fiz.

**POTRESNO TVEGANJE PRI POMEMBNIH OBJEKTIH V SLOVENIJI**  
SEISMIC RISK OF IMPORTANT FACILITIES IN SLOVENIA



## Novi diplomanti gradbeništva

stran **260**

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

## Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Gradbišče vodnega mesta Atlantis, foto Oskar Dolenc



## IN MEMORIAM

### Profesor dr. Janko Bleiweis, 1909–2005

V avgustu 2005 nas je v častitljivi starosti 95 let zapustil profesor Janko Bleiweis. Radi smo ga imeli in vedno nam bo ostal v lepem spominu, s svojim načinom življenja in mišljenja nam je bil vzornik.

#### Življenjepis

Prof. Bleiweis je bil rojen 1. 12. 1909 v Ljubljani. Diplomiral je na gradbenem oddelku tehniške fakultete Univerze v Ljubljani l. 1936. Po služenju vojaškega roka je odšel kot štipendist francoskega ministrstva na enoletno izpopolnjevanje v Francijo. Kot vedno je znal s svojim prijateljskim in plemenitim načinom komuniciranja ustvariti dobre odnose s tamkajšnjimi raziskovalci in vse življenje je ostal strokovno povezan s Francijo. Ko se je vrnil v Slovenijo, je bil nekaj časa zaposlen v železarni Jesenice kot konstruktor. Leta 1940 je v Beogradu opravil izpit za pooblaščenega gradbenega inženirja, nato pa se je zaposlil v Vodogradbenem laboratoriju v Ljubljani. Po osvoboditvi je bil postavljen za obratovodjo gradbenega oddelka Železarne na Jesenicah, od koder je bil z odlokom ministrstva za prosveto 13. 3. 1946 imenovan za docenta na Tehniški fakulteti. Strokovno se je še dalje izpopolnjeval v Ljubljani, kjer je v l. 1958-59 obiskoval podiplomski tečaj iz mehanike nestisljivih tekočin.

Predaval je predmete Hidravlika, Izbrana poglavja iz hidravlike, Hidrotehnični objekti, Oskrba z vodo za prometnike. Pozneje pa je kot izredni in nazadnje kot redni profesor predaval še predmete Hidravlika I in II, Hidravlika nestalnega toka in Hidromehanika. Na podiplomskem študiju je predaval predmeta Meritve in laboratorijske metode in Nestalni hidravlični pojavi. Za izrednega profesorja na FAGG je bil imenovan l. 1958, za rednega profesorja pa l. 1964.

Od svoje namestitve na oddelku za gradbeništvo in geodezijo je stalno sodeloval kot eksperimentator in vodja hidravličnih preiskav v takratnem Vodogradbenem laboratoriju.

Ves čas je ohranjal strokovne stike s francoskimi hidrotehniki. V okviru tehnične pomoči je bil v l. 1959 na dvomesečnem študiju v Toulousu, nato pa še kot francoski štipendist dvakrat po pol leta (1964 in 1965) in nato l. 1966 dva meseca v Grenoblu na visoki šoli za mehaniko tekočin, kjer je preučeval hidravlične izgube pri alternativnem gibanju vode, kakršno nastane predvsem pri plimovanju. Julija 1969 pa je na univerzi v Grenoblu obranil doktorsko tezo z naslovom: *Eksperimentalna raziskava hidravličnih izgub, ki jih pri stalnem in alternativnem gibanju povzročata hrupavostni element posebne oblike* in dosegel akademski naziv doktor-inženir.

Upokojil se je 1. 10. 1975.

#### Funkcije in priznanja

V šolskem letu 1951/52 je bil prodekan na fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. Po letu 1956 je bil predsednik ali član raznih fakultetnih in univerzitetnih komisij in tudi član Zvezne komisije za znanstveno delo. V l. 1970/72 in 72/73 je bil prodekan, v l. 1973/74 in 1974/75 pa dekan FAGG. V l. 1970/71 je bil predstavnik FAGG v študijski komisiji PZS Univerze. Od l. 1962 je bil član komisije Sklada Borisa Kidriča za podeljevanje Kidričevih nagrad in nagrad Sklada Boris Kidriča.

V okviru Jugoslovanskega društva za hidravlične raziskave je bil vsa leta zelo aktiven. V letih 1962/66 je bil predsednik tega društva.

Od leta 1959 pa vse do konca 1971 je bil direktor Vodogradbenega laboratorija.

Za uspešno organizacijsko delo ga je Zveza gradbenih inženirjev in tehnikov l. 1962 imenovala za zaslužnega člana. Za delo na področju hidravlike ga je Jugoslovansko društvo za hidravlične raziskave l. 1966 izvolilo za zaslužnega člana, l. 1971 pa je od istega društva prejel nagrado za znanstveno in raziskovalno delo na tem področju. Bil je tudi častni član Društva slovenskih hidrotehnikov.

#### Znanstveni in strokovni prispevek slovenski hidrotehnik

Gotovo je bil v povojni generaciji eden od najbolj priznanih strokovnjakov na področju hidrotehnik. Njegovi najbližji vedo povedati, da je »...živel za vode in za hidrotehniko«. Zato pa je slovenska hidrotehnika veliko dobila od njega. Po drugi vojni je sodeloval pri projektiranju prvih slovenskih hidroelektrarn, kot npr. pri težavnem projektu HE Moste, pa tudi pri nekaterih hidroelektrarnah v drugih jugoslovanskih republikah. Preučeval je specialne tipe izvedb hidromehanske opreme, detajle servomotorjev zapornic, izpopolnil je hidravlične dele hladilnih stolpov pri termoelektrarnah, preučeval lokalne izgube v pravokotnih razcepah kanalov. Izvršil je celostne hidravlične preiskave za hidrocentrali Moste in Medvode.

Pomemben je njegov prispevek k razvoju hidravličnega modeliranja v takratnem Vodogradbenem laboratoriju, ki je bil prvi inštitut te stroke v tedanji Jugoslaviji. Dejstvo, da je bil 12 let njegov direktor, jasno pove, da je bil priznan strokovnjak na tem področju.

Uvedel je eksperimentalno spremljanje pouka hidravlike in pri tem uporabil več originalnih novosti. Pri njegovi predavanjih nas je študente zelo pritegnilo delo v hidravličnem laboratoriju, kjer je znal na zanimiv in poučen način prikazati mnoge pojave iz mehanike tekočin. Že v začetnem obdobju uporabe računalnikov pri nas, okrog leta 1960, je takoj razumel nujnost uporabe računalništva v hidrotehniko, in je zelo podpiral nabave in izobraževanje v tej smeri. Pozneje, po razvoju in pogosti uporabi matematičnih modelov v hidrotehniko, pa nas je – zelo pravilno – opozarjal, da je treba »...videti in razumeti, kako voda teče«, sicer nepravilna uporaba matematičnih modelov lahko pripelje do hudo napačnih rezultatov, kar v gradbeništvu seveda lahko povzroči veliko škodo ali celo človeške žrtve.

#### Udeležbe na znanstvenih in strokovnih konferencah

Z referati se je udeležil skupščine gradbenih inženirjev na Bledu 1949, II. kongresa za dolinske pregrade v Jablanici 1952, III. kongresa za dolinske pregrade v Bledu 1954 in prvega posvetovanja hidravlikov takratne FLRJ v Beogradu 1954. Udeležil se je tudi I. kongresa za dolinske pregrade v Zagrebu in V. mednarodnega kongresa za dolinske pregrade 1955 v Parizu. Z referati se je udeležil naslednjih strokovnih sestankov: 4. nacionalnega kongresa za dolinske pregrade v Skopju 1957; 7. mednarodnega kongresa za hidravlične raziskave v Lizboni I. 1957; nacionalnega posvetovanja hidravlikov na Bledu I. 1958; 3. kongresa hidravlikov v Beogradu I. 1959; 3. nacionalnega posvetovanja hidravlikov v Opatiji I. 1962; 4. nacionalnega posvetovanja hidravlikov v Sarajevu 1966. L. 1971 se je udeležil 14. kongresa mednarodnega društva za hidravlične raziskave v Parizu, v l. 1970 in 1974 pa kongresov Jugoslovanskega društva za hidravlične raziskave.

#### Bibliografija

Objavil je preko 20 člankov v slovenskih in jugoslovanskih strokovnih revijah ali publikacijah strokovnih in znanstvenih kongresov. Tematika je predvsem s področja njegovega osnovnega raziskovalnega delovanja, tj. zaključki o hidravličnih raziskavah hidrocentral ali hidromehanskih objektov, kot so zapornice, podslapja, preliivi, cevododi, ter o hidravličnih izpopolnitvah hladilnih stolpov termoelektrarn. Razen tega je objavil več člankov o izgubah v pravokotnih razcepkih in o temi svoje raziskave pri doktorski disertaciji. Pomembnejši članki in mednarodnih revijah in publikacijah so navedeni spodaj.

Poleg tega je objavil celo vrsto člankov, ki spadajo med poljudnoznanstvene, kot npr. o razvoju hidravličnega modeliranja pri nas in o razvoju samega Vodogradbenega laboratorija, študiju in študijskih načrtih na FAGG, in drugo.

V okviru svojih predavanj je izdal skripta: Skripta iz hidravlike (1952), Hidravlika (1970), Hidravlika nestalnega toka (1972), Hidromehanika (1974).

Izdelal je celo vrsto recenzij od strokovno tehničnih, do študijskih. Med drugim je bil enajst let recenzent znanstvenih in strokovnih člankov pri Applied mechanics reviews ASME.

Med mednarodnimi objavami so najpomembnejše:

Écoulement et pressions dans une galerie munie d'un retrecissement a la sortie. Comptes rendus Congres AIRH (Association Internationale de Recherches Hydrauliques), theme C8, p 1–7. 1957.

Quelques cas particuliers de la dissipation d'énergie hydraulique aux ouvrages hydrotechniques qui ont été étudiés au laboratoire d'hydraulique de Ljubljana. Referat na konferenci o hidrotehničnih

raziskavah v Brnu. Skupaj s prof. Goljevščkom in inž. Legišo. 1959.

Due recenti indagini sperimentali del laboratorio di idraulica di Ljubljana. L'acqua 1962, 5, p. 3–9.

Eksperimentalna raziskava hidravličnih izgub, ki jih pri stalnem in alternativnem gibanju povzročata hrapavostni element posebne oblike. Grenoble, Faculte des sciences de l'Universite de Grenoble, 1969, 148 str.

Efforts exercés par un fluide à surface libre en mouvement alternatif sur des structures fines. Comptes rendus XIX Congres AIRH, Paris 1971, Vol. 2, Theme B, 169–176 (Skupaj s Ch. D'Hieresiom).

#### Prof. Bleiweis kot človek in ljubitelj gora

Prof. Bleiweis pa je bil tudi po svojem značaju izjemen človek. Bil je plemenit človek z izrednim občutkom do soljudi, pa z velikim smislom za humor. Morda pa nam je bil pri njem najmočnejši vzor njegovo pozitivno mišljenje. Med študenti in sodelavci je bil vedno zelo priljubljen, saj je imel poleg strokovnega znanja tudi pošten in prisrčen odnos do vseh okrog sebe. Neki Francoz, ki je bil v Sloveniji na strokovnem obisku, je izjavil: »Vem, da je iz plemenite rodbine. Taki ljudje so lahko dveh vrst: ali so visoki in ošabni ali pa so zelo plemeniti in priljudni. Prof. Bleiweis je tipičen predstavnik druge vrste«.

Med lastnostmi, ki smo jih tudi zelo cenili, je njegov smisel za humor. Radi smo ga imeli na fakultetnih sejah, saj je včasih ob utrujajočem ali naelektrinem vzdušju znal ob pravem času spustiti duhovito iskrico in s tem zvbati nasmeh na lica in sprostiti napetosti. Celo ko ga je že v poznejšem življenjskem obdobju udarila izguba življenjske družice, ga to ni zlomilo, ni izgubil vere in veselja do življenja, z zanimanjem se je udeleževal strokovnih izletov Društva slovenskih vodarjev in društva bivših študentov.

Treba je občudovati človeka, ki si pri 94 letih zlomi stegenico, ki je v nekaj mesecih spet na nogah. Pri pogovoru z njim mu nikoli ne bi prisodil toliko let: spomin in logika sta bila še vedno mladostna, še v njegovih zadnjih tednih je bilo prav prijetno debatirati z njim, kadar nam je od časa do časa skuhal odlične žgance in nas povabil na kosilo.

Dobro smo ga poznali kot velikega ljubitelja narave in gora. Že pred drugo vojno je obiskal grški Olimp, doživetja je že opisal v Planinskem vestniku. Pozneje pa je veliko planinaril po slovenskih in tujih gorah. Tu je našel mir in sprostitiv. Svoje najbližje je tudi skušal popeljati na Mont Blanc, pa jim je žal slabo vreme to preprečilo. Ker je bil raziskovalnega duha, je nadvse rad imel turno smučanje, v neokrnjeni naravi, medtem ko ga smučanje ob žičnicah »...vedno po istem gor-dol« ni pritegnilo. S svojimi starimi, lesenimi smučmi je s prijatelji vsako pomlad vandrval po turnosmučarskem paradižu na Komni. Njegovi domači so mu za neki rojstni dan hoteli pripraviti prijetno presenečenje in veselje in so mu kupili nove Elanove smuči, seveda z moderno drsno plokvijo iz umetne mase. Ko sem ga pobaral, kako je zadovoljen z njimi, se je smejal v svojem značilnem slogu: »Oh, kaj – zanič! V hrib z njimi sploh ne morem več hoditi – dol gre pa prehitro!«

Še v svojih devetdesetih letih je iz skromne sobice v Ratečah rad odhajal na krajše izlete po bližnjih hribovih. Precej svojih doživetij je opisal v Planinskem vestniku.

Za njegov naravni in skromni način življenja se nam je zdelo tudi značilno, da smo ga videvali brzeti po mestu na biciklu, in to poleti in pozimi, tudi v hudem mrazu brez kape in rokavic.

Prepričan sem, da mu je poleg ljubezni do gora, prav to pozitivno mišljenje pripomoglo, da je bil dolga leta tako trdnega zdravja in bistrega duha in da je dosegel tako visoko starost.

V našem spominu ostaja profesor Bleiweis kot velik strokovnjak, ljubitelj gora, pri tem pa plemenit človek z izrednim občutkom do soljudi.

Na ljudi, kot je bil profesor Bleiweis, smo Slovenci lahko ponosni.

prof. dr. Rudi Rajar

# VODNO MESTO ATLANTIS – TEHNOLOGIJA GRADNJE WATER CITY ATLANTIS – CONSTRUCTION TECHNOLOGY

mag. Tanja Mahne, univ. dipl. inž. grad.  
Stanislava Cimerman, univ. dipl. inž. grad.

SCT, d. d., Tehnični sektor, Vošnjakova 8a, 1000 LJUBLJANA

Strokovni članek

UDK 624.1:725.74:69

**Povzetek** | Članek predstavlja projekt Vodno mesto Atlantis iz dveh zornih kotov. Prvi se osredotoča na opis karakteristik objekta in gradbenega projekta, drugi pa podrobneje predstavi štiri tehnološke probleme, s katerimi smo se srečali med gradnjo. To so problemi pri izkopu gradbene jame in temeljenju objekta ter izvedba obodne betonske konstrukcije kleti, bazenov in strešne plošče nad bazeni. Predstavljene tehnološke rešitve so v glavnem rezultat sodelovanja tehnologa z različnimi subjekti v podjetju in zunaj njega, ki je potekalo v formalni in neformalni obliki.

**Summary** | Two aspects of Water city Atlantis are presented in the paper. The first includes the characteristics of the facility and the construction project, the second represents four technological problems during the construction. These are the excavation of the foundation cave and the foundation of the facility, and the construction of the concrete parts of the cellar, piscines and the roof of the facility. The presented solutions are the result of the formal and informal cooperation of the technologist with different subjects outside of the construction company.

## 1 • UVOD

Vsakdo, ki je lani zašel v nakupovalno najbolj obiskan del Ljubljane, torej BTC, je dobil vtis, da je prišel na veliko gradbišče. Prednost omenjenega centra pred starim mestnim

jedrom, to so brezplačna parkirišča v neposredni bližini trgovin, je v tem času kar naenkrat postala pomanjkljivost. Kupci so se nehote s svojimi jeklenimi konjički znašli

med raznovrstnimi ograjami treh velikih gradbišč, od katerih je eno pripadlo Vodnemu mestu Atlantis (slika na naslovnici). To je na stičišču Letališke in Bratislavske ceste, tik ob stari letališki zgradbi, ki še edina poleg naziva bližnje ceste spominja na to, da je tu nekoč bilo mestno letališče Ljubljana Moste.

## 2 • PREDSTAVITEV PROJEKTA IN OBJEKTA

### 2.1 OPIS PROJEKTA

Investitor v uvodu napovedanega projekta je delniška družba BTC d.d. iz Ljubljane. Za izvajalca gradbeno-obrtniških del je investitor izbral podjetje SCT d. d. Ljubljana. Pogodba v višini 2.179 milijonov tolarjev je bila od obeh predsednikov uprav podpisana 2. 10. 2003 na gradbišču največjega viadukta v Sloveniji, tj. viadukta Črni Kal. Pogodbeni rok za izgradnjo Vodnega mesta Atlantis je bil 13 mesecev.

Ta se je zaradi nepredvidljivih težav pri izkopu gradbene jame in potrebe po sanaciji slabo nosilnih temeljnih tal nekoliko podaljšal.

Načrt arhitekture je izdelalo projektivno podjetje Biro 71 d. o. o. pod avtorskim vodstvom nemškega strokovnjaka za take vrste objektov prof. Wienandsa (Kacin, 2003a), (Kacin 2003b). Projektant gradbenih konstrukcij je bil Edvard Štok, univ. dipl. inž. grad. iz podjetja Konstat Biro d. o. o.

Pri izvajalcu je projekt vodil Andrej Kušar ob pomoči operativnega vodje Tomaža Hribarja in drugega režijskega kadra.

### 2.2 OPIS OBJEKTA

#### 2.2.1 Funkcionalna zasnova objekta

Vodno mesto Atlantis je dejansko vodni park, v katerem kraljuje voda. Kompleks, ki je razdeljen na tri tematske sklope, bazen z valovi, bazen doživetij in termalni bazen, vsebuje tudi spremljajoče dejavnosti, kot je dežela savn. Bazen z valovi se navezuje na bazen s toboganom, plovnim kanalom in zasidranim

splavom z vodnimi topovi, ki obsega otroški domišljjski in učeči se svet. Bazen doživetij združuje razne vodne atrakcije, namenjene aktivnim odraslim obiskovalcem, kot so mirna in hitra reka, masažna mesta, gejzir, slap in skalnat otok, namenjen počitku. Ta sklop kompleksa je namenjen tudi za prireditvene namene. Mirni sprostivni sta namenjena zunanji in notranji termalni bazen s kaskadnimi kopelmi, ki pričarajo naravno vzdušje rečnega toka z brzicami. Notranji termalni bazen je zasnovan kot zimski vrt s prosojno streho in obodnimi stenami. Največjo spremljajočo dejavnost predstavlja dežela savn, ki je

## 2.2.2 Zmogljivost objekta

Pri dimenzioniranju objekta je bila upoštevana triurna izmena, kar pomeni, naj bi se kopalci izmenjali vsake tri ure. Osnovni parametri za dimenzioniranje zmogljivosti bazenov so bili povzeti iz angleške in ameriške prakse. Ti parametri znašajo za plitve bazene 0,929 m<sup>2</sup> vodne površine na kopalca, za globoke bazene pa 2,230 oziroma 3,344 m<sup>2</sup> na kopalca, pri čemer nižja vrednost velja v Ameriki, višja pa v Angliji. Ob upoštevanju normativa za plitve bazene in ameriškega normativa za globoke bazene

zah 50 ljudi. Tako znaša celotna projektirana kapaciteta obiskovalcev 1468 ljudi/izmeno.

## 2.2.3 Konstrukcija

Konstruktivsko je objekt zasnovan kot armiranobetonska monolitna konstrukcija, katere glavna značilnost je velika razgibanost. Objekt je temeljen prek 50 oziroma 60 cm debele talne plošče, ki smo jo zaradi slabo nosilnih tal izvedli na tamponski blazini debeline okrog 1 m. Medetažne plošče so zasnovane kot monolitne plošče debeline od 20 do 30 cm. Z izjemo kletne etaže, kjer so navpične konstrukcije predvsem stene, sestavljajo navpično konstrukcijo nadzemnih etaž okrogli stebri premera od 40 do 80 cm. Vsi bazeni, razen zunanjih bazenov iz nerjavne pločevine, so izvedeni kot monolitna vodotesna konstrukcija z neoprenskim ležiščem, ločena od okoliške plošče. Razgibanost posameznih bazenskih sklopov se odraža v različnih ločnih oblikah konstrukcije sten bazenov, kar je zahtevalo veliko prilagajanje opažne tehnologije. Talna plošča in obodne stene kletne etaže so hidroizolirane po sistemu "črne kadi". Strešna plošča nad bazeni (2140 m<sup>2</sup>) je bila prvotno projektirana kot monolitno-montažna plošča s ploščami Omnia in navzgor obrnjenimi monolitnimi nosilci, vendar se je investitor na podlagi finančne in terminske primerjave različnih tehnoloških rešitev odločil za popolnoma monolitno izvedbo. Termalni bazen je v celoti prekrit s prosojno streho iz posebne folije, ki leži na jekleni konstrukciji. Fasada je večinoma v stekleni izvedbi različnih barvnih odtenkov. Manjši del navpičnega zaključka objekta predstavljata kontaktna fasada z barvnim opleskom in prezračevana fasada, izvedena z naravnim kamnom. Preglednica 2 kaže količine gradbenih del.

Naziv	Vodne površine	Višina vode
<b>NOTRANJI BAZENI</b>		
bazen doživetij	405 m <sup>2</sup>	1,35 m
bazen z valovi	395 m <sup>2</sup>	0,00 m–2,00 m
bazen otroci	77 m <sup>2</sup>	0,00 m–0,60 m
ciljni bazeni	78 m <sup>2</sup>	0,00 m
termalni bazen	166 m <sup>2</sup>	1,35 m
kaskadne kopeli	50 m <sup>2</sup>	0,90 m
whirlpool	25 m <sup>2</sup>	0,90 m
bazen savne	35 m <sup>2</sup>	0,90 m
<b>SKUPAJ NOTRANJI BAZENI</b>	<b>1.231 m<sup>2</sup></b>	
<b>ZUNANJI BAZENI</b>		
rekreacijski bazen	304 m <sup>2</sup>	1,35 m
pečina – vroča kopel	16 m <sup>2</sup>	0,90 m
bazen savne	100 m <sup>2</sup>	0,90 m–1,35 m
termalni bazen	115 m <sup>2</sup>	1,35 m
<b>SKUPAJ ZUNANJI BAZENI</b>	<b>535 m<sup>2</sup></b>	

Preglednica 1 • Pregled vodnih površin

razdeljena na notranje finske in turške kopeli ter zunanji del z nalivno, bio, kamnito in zemeljsko savno. Slednje so v prosto stoječih brunaricah, ki spominjajo na planšarske hiše Velike planine. Brunarice so nanizane okrog zunanjega savna bazena in tvorijo tako imenovano "savna vas".

Kompleks združuje vse navedene funkcijske sklope v enem objektu, kar pomeni s konstruktorskega stališča velik izziv. Objekt ima v glavnem dve etaži in je v celoti podkleten. Prilličje je namenjeno bazenskim sklopom, v osrednjem delu, kjer so savne, pa sta poleg prilličja še dve nadstropji. Objekt ima 14.805 m<sup>2</sup> bruto oziroma 13.310 m<sup>2</sup> neto površin, ki so poleg vodnim površinam (preglednica 1) namenjene tudi ob-bazenskemu prostoru (3000 m<sup>2</sup>), savnam in masažam ter spremljajočim dejavnostim, kot so garderobe, sanitarije, prhe, gostinski lokali in uprava. Celotna kletna etaža, ki ima 5050 m<sup>2</sup> neto površine, predstavlja podbazeenje objekta, v katerem je del garderob, pa tudi kompenzacijski bazeni ter vsi tehnični prostori, namenjeni funkcioniranju vodnega mesta.

izhaja, da so bazeni dimenzionirani na 1172 kopalcev na izmeno.

Poleg bazenov bodo v objektu tudi ostale spremljajoče dejavnosti. Predvideno je, da se bo v izmeni zvrstilo na toboganih 120 ljudi, v savnah 78, v solarijih 48 in na masažnih mi-

izkop	36.500 m <sup>3</sup>	
zasip	8.100 m <sup>3</sup>	
izboljšava temeljnih tal – tampon	5.400 m <sup>3</sup>	
beton	12.850 m <sup>3</sup>	
armatura	1.700 t	
ravni opaž	35.000 m <sup>2</sup>	78 %
ločni opaž	9.850 m <sup>2</sup>	22 %
estrih	11.050 m <sup>2</sup>	
bazenska keramika	2.500 m <sup>2</sup>	23 %
ostala keramika	8.200 m <sup>2</sup>	77 %
kamen	7.150 m <sup>2</sup>	
spuščeni stropovi	6.000 m <sup>2</sup>	
slikanje stropov	9.100 m <sup>2</sup>	36 %
slikanje sten	15.850 m <sup>2</sup>	64 %
fasada	5.750 m <sup>2</sup>	
streha	4.600 m <sup>2</sup>	

Preglednica 2 • Podatki o glavnih količinah

### 3 • TEHNOLOGIJA

Razgibanost objekta in raznovrstnost funkcijske zasnove sta zahtevala veliko angažiranja tehnološkega oddelka pri optimizaciji tehnologije gradnje. Poleg tega je projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja omogočal predlaganje različnih variantnih rešitev in s tem aktivno vključitev izvajalca v nastajanje projekta za izvedbo. Nekatere variantne rešitve so zagledale luč sveta, druge pa zaradi objektivnih razlogov niso imele te sreče. Ne glede na to pa je vsaka izmed njih zahtevala veliko dela v neformalni in formalni obliki.

O tehnologiji gradnje bi bilo možno veliko napisati, vendar smo se v članku zaradi zanimivosti posameznih področij tehnologije osredotočili predvsem na določene tehnološke probleme. Ti so:

1. izkop gradbene jame in temeljenje objekta,
2. izvedba obodne betonske konstrukcije kleti,
3. izvedba bazenov,
4. izvedba strešne plošče nad bazeni.

#### 3.1 IZKOP GRADBENE JAME IN TEMELJENJE OBJEKTA

Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja je bil izdelan na podlagi geotehničnih podatkov, povzetih iz dokumentacije objekta Kolo-sej, ki je nekoliko stran od lokacije obravnavanega objekta. Uporaba teh podatkov za izvedbo projektne dokumentacije se je izkazala za popolnoma neustrezno, saj so geotehnične raziskave, izvedene na lokaciji Vodnega mesta Atlantis tik pred pričetkom izkopa gradbene jame, pokazale popolnoma drugačno zgradbo temeljnih tal. Zaradi majhnega števila sondažnih vrtnin pa tudi te raziskave niso ugotovile dejanskega obsega nehomogenosti tal, kot se je odkrival sproti z napredovanjem širokega izkopa. Poleg umetnega nasipa iz odpadnega materiala naj bi se po raziskavah v temeljnih tleh do kote temeljne plošče pojavljali zameljeni in zaglinjeni prodi ter mestoma slabo do dobro vezan konglomerat. Pri izkopu gradbene jame se je izkazalo, da je umetnega nasipa bistveno manj, kot smo pričakovali, manj je bilo tudi raznih vrst prodov, bistveno več pa dobro vezanega konglomerata in gline. Slednja se je pojavila ravno na najbolj neugodnem mestu, in sicer v območju temeljne plošče. Ker podatki iz geotehničnega poročila niso ustrezali dejanskemu stanju, se je pojavilo vprašanje glede njene debeline. Z vtiskanjem armaturnih palic v tla smo odkrili, da je

debelina gline na določenih mestih 3 metre in celo več. Ta ugotovitev je bila za nadaljevanje gradnje zelo neugodna, saj je pomenila poleg daljšega trajanja izkopa zaradi večjega obsega konglomerata tudi podaljšanje roka gradnje zaradi novih raziskav in morebitnih sanacijskih ukrepov. Uporaba istega načina raziskav kot na začetku zaradi zelo obsežne nehomogenosti temeljnih tal ni bila primerna, zato se je geomehaničarka inž. Danica Peček v sodelovanju z investitorjem odločila za georadarsko metodo, ki jo je izvedel inž. Najdovski (Peček, 2003). S pomočjo te metode smo dobili dokaj natančno prostorsko sliko o debelini glinene plasti pod talno ploščo, na podlagi katere je geomehaničarka predvidela sanacijske ukrepe. Ti so obsegali zamenjavo glinene plasti do globine minimalno 1 m pod talno ploščo z nekohezivnim dobro zbitim materialom.

Tudi na obravnavanem projektu se je izkazalo, da je obseg in vrsta predhodnih raziskav izrednega pomena za pravilno projektiranje objekta in v nadaljevanju za optimalno izvedbo objekta.

#### 3.2 IZVEDBA OBODNE BETONSKE KONSTRUKCIJE KLETI

##### 3.2.1 Splošno

Po projektu za pridobitev gradbenega dovoljenja je bila obodna konstrukcija kleti predvidena po sistemu "črne kadi", kar pomeni, da se konstrukcija zaščiti z varjenimi bitumenskimi trakovi, po barvi katerih je sistem tudi dobil ime. Trakove pritrdimo na podložni beton talne plošče oziroma na zunanji strani obodne stene kleti in zaščitimo pri talni plošči z zaščitnim betonom, pri steni pa s trdimi, toplotno izolativnimi ploščami. Funkcija varilnih trakov je zaščita armiranobetonske konstrukcije pred vdorom vlage in morebitne vode iz zaledne brežine oziroma temeljnih tal. Enako funkcijo je možno doseči, če se armiranobetonska konstrukcija izvede po sistemu "bele kadi". Ta sistem se je na področju mostov že dodobra uveljavil (Premrov, 2003), na področju stavb pa je še v povojih. Začetki sistema "bele kadi" so povezani z razvojem tehnologije betonskih mešanic, ki je v zadnjih desetih letih doživela prepoved predvsem na področju dodatkov za beton. Sistem "bele kadi" temelji na dejstvu, da že sama AB konstrukcija preprečuje

vdor vlage oziroma vode. To pomeni v prvi vrsti, da mora biti AB konstrukcija izvedena kot popolnoma vodotesna konstrukcija (Peteln, 2003). Večini strokovne javnosti so zahteve zanjo jasne, vendar ni odveč, če jih vseeno ponovimo:

- beton konstrukcije mora biti vodotesen,
- delovni stiki morajo biti izvedeni vodotesno,
- največja dovoljena širina razpok je 0,2 mm,
- konstrukcija mora imeti ustrezne geometrijske karakteristike.

Vodotesen beton izdelamo tako, da betonski mešanici dodamo ustrezen dodatek za vodotesnost. Zaščitna plast nad armaturo mora biti nekoliko večja kot pri običajni AB konstrukciji, s čimer se podaljša pot za prodor vode do armature. Zahteva po vodotesni izvedbi delovnih stikov je logična, da zadostimo pogoju po vodotesnosti celotne AB konstrukcije, saj vodotesen beton brez ustrezne izvedbe delovnih stikov tega ne more zagotoviti. S stališča uporabnosti pa je nujen tudi pogoj glede maksimalne širine razpok. Dovoljena širina razpok uvršča razpoke v vodotesni AB konstrukciji med lasaste razpoke, za katere velja, da se po določenem času zaprejo. Ker se razpoka širine 0,2 mm zapre po nekaj dnevih in doseže enako neprepustnost kot razpoka širine 0,1 mm, je maksimalna dovoljena širina razpok 0,2 mm. Vpliv zadnjega pogoja se odraža pri količini mehke armature, ki je potrebna za preprečitev nastanka razpok nad dopustnim velikostnim redom. Za sistem "bele kadi" je ne nazadnje pomembna tudi geometrija elementov konstrukcije, saj se z definiranjem geometrije vpliva na njeno deformabilnost in nagnjenost k nastanku razpok. Prav pri obravnavanem sistemu je treba težiti k temu, da je geometrija konstrukcije v vertikalni in horizontalni smeri čim bolj enostavna in čimmanj razčlenjena. To zmanjšuje koncentracije napetosti v betonu, ki običajno nastanejo na mestih hitrih sprememb geometrije betonske konstrukcije (debeline, širine, odprtine, lomi osi elementov ipd.).

V (ÖBV,1999a), (ÖBV,1999b) so definirane naslednje zahteve glede minimalnih debelin elementov sistema "bele kadi":

KONSTRUKCIJSKI ELEMENT	ZAHTEVA
podložni beton	$d \geq 5$ cm
AB talna oziroma temeljna plošča	$d \geq 25$ cm
AB stena	$d \geq 30$ cm

Preglednica 3 • Zahteve glede minimalnih debelin elementov po ÖBV (1999a)



Prednosti sistema "bele kadi" so:

- enostavnejša konstrukcija kot pri sistemu "črne kadi",
- beton prevzame istočasno nosilno in tesnilno funkcijo,
- skrajšan čas gradnje,
- manjši vpliv vremena na izvedbo kot pri sistemu "črne kadi",
- običajno prihranek pri stroških izvedbe,
- enostavnejša ugotovitev morebitnih prepusnih razpok in enostavnejša sanacija.

Pomanjkljivosti sistema "bele kadi" pa so:

- strožji kriteriji glede trajnosti konstrukcije (omejitev razpok na  $w_k = 0,2$  mm) ter zahteve glede minimalnih geometrijskih karakteristik,
- delovni stiki v konstrukciji morajo biti izvedeni vodotesno,
- pojav višje relativne vlažnosti zraka v objektu, ki je posledica stalnega procesa kapilarnega transporta vlage in difuzije vodne pare v vodotesnem betonu.

### 3.2.2 Primerjava sistema "črne kadi" in sistema "bele kadi"

Zaradi ugotovitev glede prihrankov pri izvedbi AB konstrukcije po sistemu "bele kadi" v primerjavi s sistemom "črne kadi" (Premrov, 2003) smo se odločili, da naredimo primerjavo na konkretnem objektu. Projekt Vodno mesto Atlantis je bil kot naročen za to. Posebnost omenjenega objekta je v tem, da ima talno ploščo razkosano z AB kinetami ( $L_{\text{celotna}} = \text{ca. } 200$  m). Slabost tega pred popolnoma ravno AB talno ploščo se kaže pri obeh sistemih zaščite. Pri sistemu "črne kadi" je izvedba "črne" hidroizolacije okrog kinet zelo zahtevna in zamudna. Po drugi strani pa pri sistemu "bele kadi" pomenijo kinete veliko delovnih faz, kar se odraža v velikem številu delovnih stikov v AB konstrukciji plošče. Poleg tega kinete in preboji povečujejo koncentracijo napetosti v betonu, kar neugodno vpliva na nastanek razpok v betonu.

Končni cilj primerjave obeh sistemov zaščite AB konstrukcije je bil ugotovitev finančno optimalnega sistema zaščite za konkreten objekt. V primerjavo smo vključili tudi konstruktorja objekta, ki je za konkretni objekt določil delež dodatne armature za prevzem primarnega krčenja betona v primeru izvedbe po sistemu "bele kadi" (Štok, 2003). Tako smo pri primerjavi obeh sistemov zaščite betona upoštevali predpostavke iz preglednice 4.

	SISTEM "ČRNE KADI"	SISTEM "BELE KADI"
marka betona	MB 30	MB 30
debelina talne plošče	50–60 cm	50–60 cm
debelina obodne stene kleti	24 cm	30 cm
dodatna armatura za preprečitev primarnega krčenja	–	do + 70 % (upoštevano 50 %)

Preglednica 4 • Predpostavke za primerjavo obeh sistemov

Finančno primerjavo (Mahne, 2004) obeh sistemov smo izvedli ločeno za talno ploščo (preglednica 5) in obodno steno objekta (preglednica 6) ter jo primerjali z ugotovit-

vami v (Premrov, 2003). Primerjava je bila narejena glede na površino talne plošče oziroma obodne stene objekta.

	SISTEM "ČRNE KADI"		SISTEM "BELE KADI"	
	količina	cena (SIT/m <sup>2</sup> )	količina	cena (SIT/m <sup>2</sup> )
beton	3.311 m <sup>3</sup>	9.862,50	0	0
vodotesen beton	0	0	3.311 m <sup>3</sup>	11.088,80
vodotesni delovni stiki	0	0	1.178 m <sup>1</sup>	1.090,70
dodatna armatura	0	0	173.184 kg	7.584,80
HI z zaščito	6.123 m <sup>2</sup>	5.667,20	0	0
<b>SKUPAJ</b>	<b>15.529,70 SIT/m<sup>2</sup></b> (100 %)		<b>19.764,30 SIT/m<sup>2</sup></b> (127,3 %)	

Preglednica 5 • Primerjava sistema "črne kadi" in sistema "bele kadi" pri talni plošči glede na površino plošče (5400 m<sup>2</sup>)

	SISTEM "ČRNE KADI"		SISTEM "BELE KADI"	
	količina	cena (SIT/m <sup>2</sup> )	količina	cena (SIT/m <sup>2</sup> )
beton	365 m <sup>3</sup>	3.893,50	0	0
vodotesen beton	0	0	456 m <sup>3</sup>	5.425,50
vodotesni delovni stiki	0	0	210 m <sup>1</sup>	690,80
dodatna armatura	0	0	19.081 kg	2.968,90
vodotesne vezave opažev	0	0	684 kos	900,00
HI z zaščito	1.520 m <sup>2</sup>	5.050,00	0	0
<b>SKUPAJ</b>	<b>8.943,50 SIT/m<sup>2</sup></b> (100 %)		<b>9.985,20 SIT/m<sup>2</sup></b> (111,6 %)	

Preglednica 6 • Primerjava sistema "črne kadi" in sistema "bele kadi" pri obodni kletni steni glede na površino stene (1520 m<sup>2</sup>)

Če bi stroške obeh sistemov računali na bruto kvadraturu kleti, tj. 5.400 m<sup>2</sup>, bi znašal strošek sistema "črne kadi" 18.047,10 SIT/m<sup>2</sup>, sistema "bele kadi" pa 22.575,00 SIT/m<sup>2</sup>. To pomeni, da je sistem "črne kadi" pri obravnavanem objektu za 25 % cenejši od primerjanega sistema.

### 3.2.3 Končne ugotovitve primerjave

Že bežen pogled na zadnji vrstici preglednic 5 in 6 kaže na to, da je pri konkretnem objektu sistem "bele kadi" manj ugoden od sistema "črne kadi", kar je v nasprotju z ugotovit-

vami iz (Premrov, 2003). Vzroke za to gre iskati v specifičnosti objekta Vodno mesto Atlantis. Medtem ko je bila primerjava v članku narejena na splošnem primeru, je zgornja primerjava upoštevala dejanske geometrijske in konstruktivne karakteristike konkretnega objekta. Odstopanje je delno tudi posledica različnih podatkov o potrebni dodatni armaturi za preprečevanje razpok v betonu. Za konkretni objekt je konstruktor zaradi velikega števila prebojev in geometrijskih karakteristik betonske konstrukcije ocenil do 70 % povečanje armature (upošte-



Slika 1 • Posebnost vodnega mesta Atlantis je velika razgibanost betonske konstrukcije

vano v primerjavi: 50 %), v (Premrov, 2003) pa je to povečanje med 10 in 12 odstotki. Če bi za obod kleti Vodnega mesta Atlantis upoštevali enako povečanje armature, kot je podano v (Premrov, 2003), tj. 7,9 kg/m<sup>2</sup> površine betonske konstrukcije, bi bila primerjava v prid sistema "bele kadi". V tem primeru bi bil ta sistem sicer cenejši od siste-

ma "črne kadi" za 7 %, kar pa je še vedno bistveno manj kot navaja (Premrov, 2003). Primerjava je pokazala, da razgibanost betonske konstrukcije (slika 1) zelo neugodno vpliva na stroške sistema "bele kadi", kar pomeni, da je ta sistem uporaben le pri enostavnejših betonskih konstrukcijah. Iz navedenega izhaja, da so ravno posebnosti



Slika 2 • Neoprensko ležišče na konzolnem ležišču AB konstrukcije bazena

konstrukcije objekta tiste, ki dajejo nekemu sistemu prednost pred drugimi sistemi.

### 3.3 IZVEDBA BAZENOV

Pri izdelavi izvedbenih projektov je prišlo do večjih sprememb tudi pri bazenih. V projektu za izvedbo je bila armiranobetonska konstrukcija bazenske školjke fizično ločena od sosednje armiranobetonske konstrukcije – plošče ob bazenu, kar pomeni drugačno izvedbo za ključkov in prelivnih robov, kot je bilo upoštevano v razpisu. Plošča ob bazenu sedaj nalega prek neoprenskega ležišča na konzolo na steni bazena (slika 2). Druga pomembna sprememba je sprememba oblike nekaterih bazenov iz poligonalne v krožno. V projektu za izvedbo smo za izvedbo ločnih sten predlagali uporabo segmentnih namesto ločnih opažev in poenotenje podobnih radijev, vendar se avtor projekta s tem ni strinjal. Dovolil je uporabo segmentnih opažev le v kletnih kompenzacijskih bazenih.

Zaradi različnosti bazenov (preglednica 1) je število izvedbenih detajlov posledično zelo veliko. Vsak zahteva svojo tehnologijo (sliki 3 in 4). Nekateri elementi, kot so vodotesna vezava opažev, vodotesni delovni stiki, elementi Comax na mestih stikovanj stene s ploščo, neoprenska ležišča, pa so skupni vsem izvedbam.

Za ponazoritev predstavljamo tehnologijo gradnje na primeru bazena z valovi (slika 5). Z izdelavo ločnih in ravnih sten bazenov smo pričeli, ko je bila plošča dna bazena že izvedena. Na mestu delovnega stika plošče in stene bazena smo namestili in pritrdili (sliki 3 in 6) nabrekajoč tesnilni trak, ki zagotavlja vodotesnost stika. Na opaž smo pritrdili vse škatle, ki so bile potrebne za izdelavo kanalov, prebojev, utorov itd. Za ravne stene so bili uporabljeni kovinski okvirni opažni elementi, za ločne stene pa ločni opaži, postavljeni v predpisanih radijih. Zaradi razgibane oblike bazenov je bilo treba ločni opaž večkrat prestavljati in prilagajati predvidenim radijem. Vezavo opažev smo izvedli vodotesno po sistemu Betomax. Na mestih konzolnih ležišč plošče ob bazenu smo na opaž predhodno pritrdili Betomax armaturene elemente – Comax, ki zagotavljajo stikovanje armature z ustrezno sidrno dolžino (slika 7). Elementi Comax omogočajo enostavno povezavo armature stene in plošče in manj faz pri betoniranju sten bazenov. Stene bazenov smo tako zabetonirali naenkrat in zmanjšali število vodotesnih delovnih stikov. V stene bazenov smo beton vgrajevali s pomočjo žerjavov.



Slika 3 • Plošča prve polovice termalnega bazena



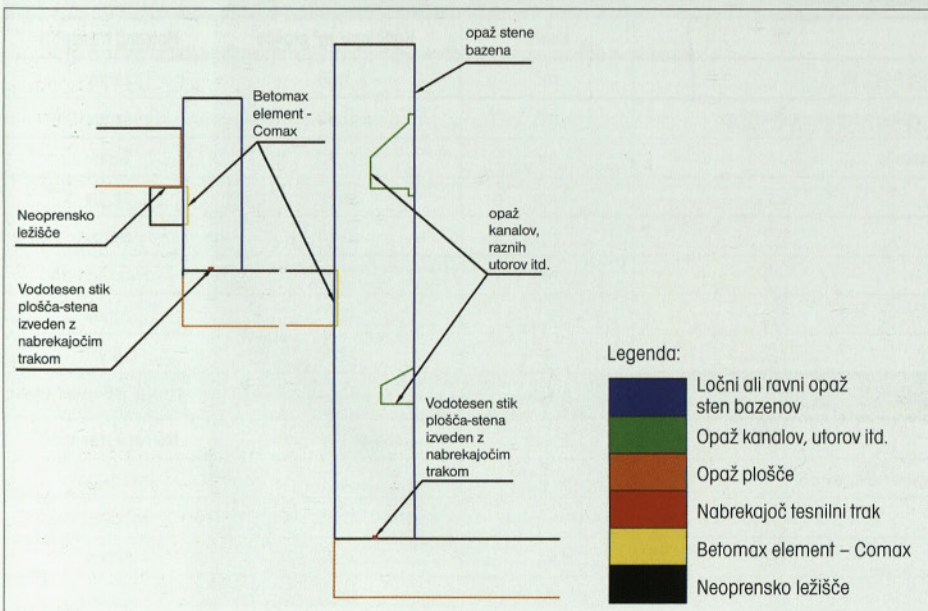
Slika 4 • Prva polovica termalnega bazena z izdelanimi odtočnimi kanali in ploščo ob bazenu



Slika 6 • Nabrekajoč tesnilni trak na stiku plošče s steno bazena



Slika 7 • Elementi Comax, pripravljene za povezavo z armaturo konzolne plošče kanala bazena z valovi



Slika 5 • Detajl bazena z valovi

### 3.4 IZVEDBA STREŠNE PLOŠČE NAD BAZENI

#### 3.4.1 Uvod

Strešna plošča nad bazeni je bila prvotno projektirana monolitno z montažnimi ploščami Omnia in navzgor obrnjenimi monolitnimi nosilci.

Monolitna plošča debeline 22 cm na ploščah Omnia debeline 8 do 10 cm in pri razponih do 12,0 m po izračunu zahteva skoraj 80 % podpiranja klasično izvedenih monolitnih plošč. Zato smo v dogovoru z investitorjem želeli preveriti ustreznost predvidene tehnologije. Termnsko in finančno primerjavo s tremi alternativnimi tehnologijami smo izvedli kot razvojno nalogo (Mahne, 2004).

#### 3.4.2 Primerjane tehnologije

V razvojni nalogi smo primerjali naslednje štiri tehnologije za celotno izdelavo strešne plošče nad bazeni, vključno s pripadajočimi nosilci:

1. Monolitna izvedba stropne plošče s ploščami Omnia in nosilci;
2. Monolitna izvedba stropne plošče in nosilcev;
3. Izvedba stropne plošče z montažnimi prednapetimi votlimi (PVP) ploščami in monolitnimi nosilci;

4. Izvedba stropne plošče z montažnimi ploščami PVP in nosilci.

Vse tehnologije smo natančno opredelili z opisom del, izbrali ustrezne normative za

posamezno postavko in izdelali podrobne analize s popisom virov. Za vsako tehnologijo smo tako izračunali vrednostne deleže podpiranja, opaža, armature, betona in montaže (preglednica 8).

#### 1. Monolitna izvedba strešne plošče s ploščami Omnia in nosilci

Opis postavke	Opomba	Enota	Količina / m <sup>2</sup> plošče	Notranji transport
1. Podpiranje plošč Omnia	plošče Omnia podpiramo v rastru 3 m, kar pomeni 80 % podpiranja monolitne plošče, višina podpiranja 8–12 m	m <sup>2</sup>	1,23	žerjav
2. Podpiranje monolitnih navzgor obrnjenih nosilcev	višina podpiranja 8–12 m	m <sup>2</sup>	0,52	žerjav
3. Montaža plošč Omnia	deb. 8–10 cm, dolžine 12 m	m <sup>2</sup>	1	žerjav
4. Armatura plošče	100 kg/m <sup>3</sup>	kg	22	žerjav
5. Beton plošče MB 40	d = 22 cm	m <sup>3</sup>	0,22	črpalka
6. Opaž nosilcev	opaž brez podpiranja	m <sup>2</sup>	0,58	žerjav
7. Armatura nosilcev	120 kg/m <sup>3</sup>	kg	10,63	žerjav
8. Beton nosilcev MB 40	prerez 0,2–0,3 m <sup>3</sup> /m	m <sup>3</sup>	0,09	žerjav

#### 2. Monolitna izvedba strešne plošče in nosilcev

Opis postavke	Opomba	Enota	Količina / m <sup>2</sup> plošče	Notranji transport
1. Podpiranje ravne plošče	višina podpiranja 8–12 m	m <sup>2</sup>	1,48	žerjav
2. Opaž plošče	2100 m <sup>2</sup> vidni opaž ravne plošče	m <sup>2</sup>	1	žerjav
3. Armatura plošče	110 kg/m <sup>3</sup>	kg	33	žerjav
4. Beton plošče MB 40	d = 30 cm	m <sup>3</sup>	0,3	črpalka
5. Podpiranje nosilcev	višina podpiranja 8–12 m	m <sup>2</sup>	0,52	žerjav
6. Opaž nosilcev	opaž brez podpiranja	m <sup>2</sup>	0,58	žerjav
7. Armatura nosilcev	120 kg/m <sup>3</sup>	kg	10,63	žerjav
8. Beton nosilcev MB 40	prerez 0,2–0,3 m <sup>3</sup> /m	m <sup>3</sup>	0,09	žerjav

#### 3. Izvedba strešne plošče z montažnimi ploščami PVP in monolitnimi nosilci

Opis postavke	Opomba	Enota	Količina / m <sup>2</sup> plošče	Notranji transport
1. Podpiranje nosilcev	višina podpiranja 8–12 m	m <sup>2</sup>	1,66	žerjav
2. Opaž sestavljenega nosilca	s podpiranjem, višina podpiranja 8–12 m	m <sup>2</sup>	0,83	žerjav
3. Opaž sestavljenega nosilca	opaž brez podpiranja	m <sup>2</sup>	0,20	žerjav
4. Armatura nosilcev	120 kg/m <sup>3</sup>	kg	16,00	žerjav
5. Beton nosilcev MB 40	280 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	0,13	žerjav
6. Montaža plošč PVP	95 %	m <sup>2</sup>	0,95	avtodvigalo
7. Armatura tlačne plošče	4,2 kg/m <sup>2</sup>	kg	4,20	žerjav
8. Beton tlačne plošče MB 30	d = 6 cm	m <sup>3</sup>	0,06	črpalka

#### 4. Izvedba strešne plošče z montažnimi ploščami PVP in nosilci

Opis postavke	Opomba	Enota	Količina / m <sup>2</sup> plošče	Notranji transport
1. Montaža nosilcev	dolžina 8 m, število nosilcev 68	m	0,26	avtodvigalo
2. Montaža plošč PVP	95 %	m <sup>2</sup>	0,95	avtodvigalo
3. Armatura tlačne plošče	4,2 kg/m <sup>2</sup>	kg	4,20	žerjav
4. Beton tlačne plošče MB 30	d = 6 cm	m <sup>3</sup>	0,06	črpalka

### 3.4.3 Terminska primerjava

Za terminsko primerjavo smo predpostavili:

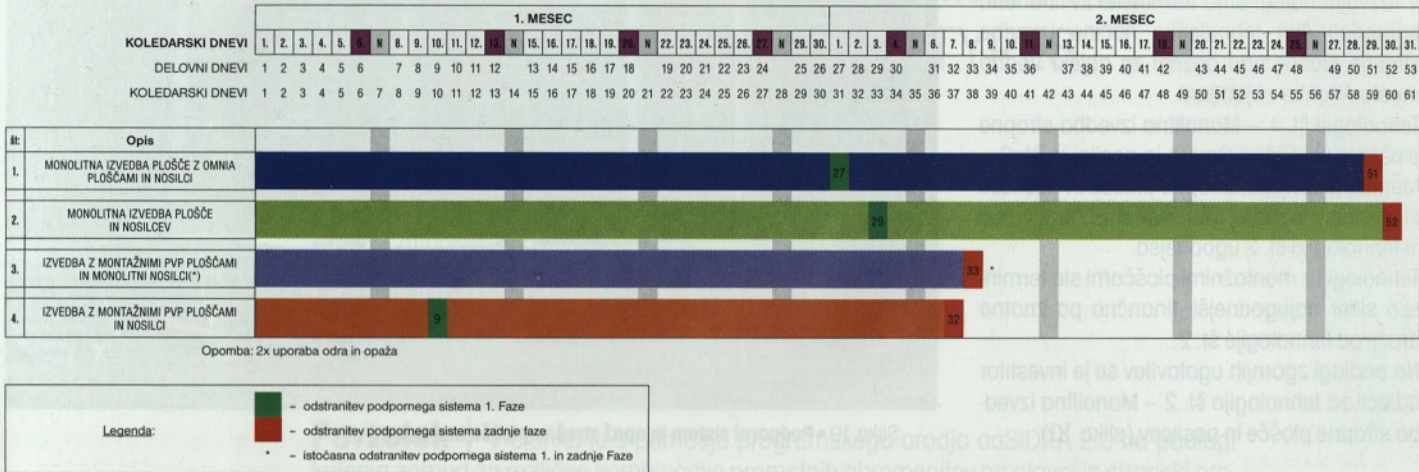
- tlorisno razdelitev plošče na štiri smiselno zaključene delovne faze (415 m<sup>2</sup>, 500 m<sup>2</sup> in 2 x 592 m<sup>2</sup>)
- skupina tesarjev šteje 15 delavcev, skupina železokrivcev 10 delavcev, skupina montažerjev 12 delavcev, velikost skupine betonierjev pa se zaradi izvedbe betoniranja

posamezne delovne faze v enem dnevu spreminja.

Terminska primerjava (slika 8) kaže, da je časovno najdaljša izvedba monolitne plošče z nosilci (tehnologija št. 2), in sicer 52 dni, vendar samo za en dan od naslednje najdaljše, ki je izvedba s ploščami Omnia (tehnologija št. 1). Najkrajši čas imata obe montažni izvedbi 32 oz. 33 dni.

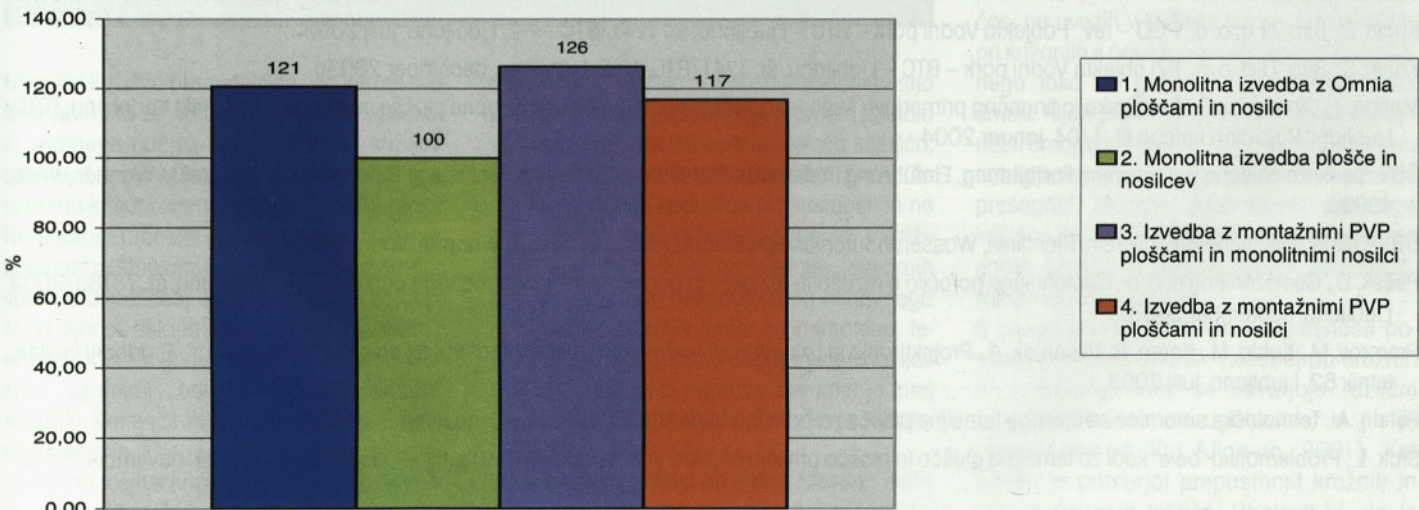
Kljub temu da potrebujemo za monolitno izvedbo strešne plošče največ časa, je bila ta glede na pogodbeni plan še vedno sprejemljiva.

Pri montažnih izvedbah strešne plošče nad bazeni naj omenimo, da celotne plošče zaradi razgibanosti tlorisa ni bilo mogoče izvesti montažno in je bila kombinacija z monolitno ploščo zato logična izbira.



1. MONOLITNA IZVEDBA PLOŠČE Z OMNIA PLOŠČAMI IN NOSILCI	Podpiranje OMNIA plošč v rastru 3 m, kar pomeni 80% podpiranja monolitne plošče!
	Največ časa odpade na doseganje trdnosti AB nosilcev in AB monolitne plošče nad OMNIA ploščami!
	OMNIA plošče predstavljajo le izgubljeni opaž AB plošče!
	Problem predstavlja dejstvo, da ni možno cele plošče izvesti na tak način! Obvezna kombinacija z monolitno ploščo!
2. MONOLITNA IZVEDBA PLOŠČE IN NOSILCEV	Največ časa odpade na doseganje trdnosti AB plošče in AB nosilcev!
	Najzamudnejša izvedba, ki pa ni rokovno bistveno (samo 1 dan!!!) daljša od izvedbe z OMNIA ploščo!
3. IZVEDBA Z MONTAŽNIMI PVP PLOŠČAMI IN MONOLITNI NOSILCI(*)	Največ časa odpade na doseganje trdnosti AB nosilcev!
	Upoštevana je 1x uporaba opaža nosilcev (slabost)!
	Izvedba strešne plošče hitrejša od obeh variant monolitne izvedbe!
4. IZVEDBA Z MONTAŽNIMI PVP PLOŠČAMI IN NOSILCI	Izvedba strešne plošče najhitrejša!
	Problem predstavlja izvedba naklona strešne plošče!
	Problem predstavlja dejstvo, da ni možno cele plošče izvesti na tak način! Obvezna kombinacija z monolitno ploščo!

Slika 8 • Terminska primerjava tehnologij izvedbe strešne plošče nad bazeni



Slika 9 • Finančna primerjava tehnologij izvedbe strešne plošče nad bazeni

### 3.4.4 Finančna primerjava

Primerjava stroškov za m<sup>2</sup> plošče za obravnane tehnologije kaže, da je najcenejša tehnologija monolitna izvedba plošče in nosilcev (slika 10). Montažne tehnologije so dražje za 17–26 %.

### 3.4.5 Izbrana tehnologija za izvedbo strešne plošče

V razvojni nalogi smo terminsko in finančno primerjali štiri tehnološke načine izvedbe strešne plošče nad bazeni za objekt Vodno mesto Atlantis v Ljubljani.

Tehnologiji št. 1 – Monolitna izvedba stropne plošče s ploščami Omnia in nosilci in št. 2 – Monolitna izvedba stropne plošče in nosilcev sta terminsko skoraj enakovredni, finančno pa je tehnologija št. 2 ugodnejša.

Tehnologiji z montažnimi ploščami sta terminsko sicer najugodnejši, finančno pa znatno dražji od tehnologije št. 2.

Na podlagi zgornjih ugotovitev se je investitor odločil za tehnologijo št. 2 – Monolitna izvedba stropne plošče in nosilcev (slika 10).



Slika 10 • Podporni sistem in opaž strešne plošče nad bazeni

## 4 • SKLEP

Tako kompleksni objekti, kot je obravnavani objekt, zahtevajo veliko angažiranja izvajalca in njegovih oddelkov. Večji del angažiranja v zvezi s tehnologijo in načinom gradnje odpade na

tehnologa v tehničnem sektorju, ki poleg osnovnih nalog in sodelovanja z operativo, komercialno ter ostalimi internimi službami sodeluje tudi s projektantom in sodelovanje pri

projektantskih rešitvah. Prav pri objektu Vodno mesto Atlantis je bilo sodelovanje med tehnologom, projektantom in investitorjem zelo intenzivno in plodno. Sodelovanje je potekalo v obliki izdelave raznih tehničnih in finančnih primerjav različnih tehnoloških sistemov, na podlagi katerih je bil izbran v danem trenutku najugodnejši način gradnje objekta.

## 5 • LITERATURA

Kacin, Š., Biro 71 d. o. o., PGD – rev. 1 objekta Vodni park – BTC – Ljubljana, št. 1241/BTC-AP-2, Ljubljana, julij 2003a.

Kacin, Š., Biro 71 d. o. o., PZI objekta Vodni park – BTC – Ljubljana, št. 1241/BTC-AP-2, Ljubljana, december 2003b.

Mahne, T., Cimerman S., Terminska in finančna primerjava štirih tehnoloških načinov izvedbe stropne plošče nad bazeni za objekt Vodni park BTC v Ljubljani, Razvojnna naloga št. 1/04, januar 2004.

ÖBV, Oesterreichische Betonverein, Fortbildung, Einführung in die neue Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen, Wien, 1999a.

ÖBV, Oesterreichische Betonverein, Richtlinie, Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen, Wien, 1999b.

Peček, D., Geoinženiring d. o. o.: Geotehnično poročilo o rezultatih raziskav in pogojih temeljenja Vodnega parka – BTC – Ljubljana, št. 7818a/2003, Ljubljana, september 2003.

Premrov, M., Kuhta, M., Koren, P., Vesenjaka, A., Projektiranje in izvajanje za vodo neprepustnih konstrukcij po sistemu "bele kadi"; Gradbeni vestnik, letnik 52, Ljubljana, julij 2003.

Peteln, A., Tehnološke smernice za izvedbo temeljne plošče po principu "bele kadi", Ljubljana, 20. november 2003.

Štok, E., Problematika "bele" kadi za temeljno ploščo in ploščo pritličja objekta Vodni park – BTC v Ljubljani, dopis, Ljubljana, 24. november 2003.

# PRIMERJAVA USPEŠNOSTI RAZLIČNIH TIPOV KRIŽIŠČ GLEDE NA KRITERIJ ČAKALNIH ČASOV

## EFFECTIVENESS COMPARISON BASED ON CRITERIA OF WAITING TIMES FOR DIFFERENT INTERSECTION TYPES

**Simona Mrgole, univ. dipl. inž. grad.,**

Ulica Sallaumines 9, 1420 Trbovlje,  
simona\_mrgole@yahoo.com

**doc. dr. Tomaž Maher, univ. dipl. inž. grad.,**

FGG, Jamova 2, 1000 Ljubljana,  
tmaher@fgg.uni-lj.si

**Znanstveni članek**

UDK 656.1.05:711.7

**Povzetek** | V članku je s pomočjo programskega orodja aaSIDRA 2.0 na podlagi kriterija zamud za različne kombinacije prometnih obremenitev na glavni in stranski prometni smeri določena najprimernejša oblika in način vodenja križišča. Izdelan je diagram, ki omogoča določitev, kdaj je pri določenih prometnih obremenitvah primernejše krožno križišče in kdaj semaforizirano klasično križišče na dvopasovni in štiripasovni cesti.

**Summary** | The paper defines the form of the most appropriate intersection control and the optimum version among various combinations of traffic volumes on major and minor roads by using the software application aaSIDRA 2.0 based on the criteria of delays. A chart enabling the exact determination of the most suitable solution of choosing between a roundabout or a signalized intersection on two or four lane street depending on certain traffic volume was made.

### 1 • UVOD

Nivojska križišča prometnic so bila zaradi svojega pomena že od nekdaj predmet raziskav in skrbnega načrtovanja prometnih strokovnjakov. Kot vemo, so prav križišča ozka grla oziroma kritični elementi v vsaki cestni mreži. Na podlagi prometnih pogojev določajo prepustnost cestne mreže kot celote. Pomemben vpliv na uspešnost cestne mreže predstavlja soodvisnost sklopa dveh ali več sosednjih križišč, povezanih med seboj z relativno kratkimi cestnimi odseki. Pri zahtevnejših križiščih, kjer so prometne zahteve velike in/ali so na cestah višjega reda, je izbira optimalne projektne rešitve križišč pomemben dejavnik, ki zagotavlja ustrezne nivoje uslug v celotni planski dobi.

S povečano gostoto in različno usmerjenostjo prometnih tokov je potekanje prometa postalo vse večji problem. Mnoga obstoječa križišča, ki so opremljena le s prometnimi znaki, že danes ne nudijo zadostne prepustnosti in ne zagotavljajo ustreznih nivojev uslug. V križiščih, kjer je prihajalo do zastojev, nevarnih situacij in tudi do nezgod, so do nedavnega kot edini sprejemljiv način za nemoteno, tekoče in varno prometno dogajanje postavljali svetlobno signalne naprave. Semafor je torej prevzel funkcijo prometnega vodenja (Kastelic, 1987).

V zadnjem desetletju pa smo v Sloveniji pričeli povečanemu zanimanju za krožna križišča, ki se nedvomno razlikujejo od klasičnih križišč.

Imajo večjo prometno varnost in visoko prepustnost, praviloma se zmanjšajo čakalni časi na uvozih v križišče ter so dobra rešitev pri križanjih s približno enako jakostjo prometnega toka na glavni in stranski prometni smeri. Kljub prednostim, ki jih glede prepustnosti omogočajo krožna križišča, pa je njihova zmogljivost omejena. Ko prometne zahteve presegajo skupno prepustnost krožnega križišča, se čakalni časi večajo hitreje kot na enako prometno obremenjenem semaforiziranem križišču.

S problematiko primerjave uspešnosti posameznih tipov križišč, posebej pa krožnih in semaforiziranih, se ukvarjajo različni avtorji. Zanimive so ugotovitve, ki jih je objavil Jian-an Tan (Jian-an, 2001). Kot kriterij je primerjal prepustnost krožnih in semaforiziranih križišč. Ugotovil je, da je prepustnost mini krožnih križišč vedno

večja od prepustnosti primerljivih semaforiziranih križišč, za majhna krožna križišča pa to velja v večini primerov. Pri srednje velikih krožnih križiščih je prepustnost večja v primeru majhnega deleža levih zavijalcev, sicer pa je večja prepustnost semaforiziranih križišč. Pri velikih večpasovnih krožnih križiščih pa je ugotovil, da je prepustnost v večini primerov manjša od primerljivih semaforiziranih križišč. V članku je določena uspešnost servisiranja prometnih zahtev za nesemaforizirano, sema-

forizirano in krožno križišče. Kot kriterij ni upoštevana samo prepustnost, temveč je najprimernejša oblika in način vodenja križišča določena na podlagi kriterija zamud za različne prometne obremenitve na glavni in stranski prometni smeri (Mrgole, 2004).

## 2 • OSNOVE IN METODOLOGIJA

Osnovni parametri oviranega prometnega toka in karakteristike semaforiziranega, nesemaforiziranega in krožnega križišča so povzete po ameriški metodologiji HCM (TRB, 2000). HCM je priročnik za analiziranje prepustnosti in nivoja uslug različnih elementov cestne mreže.

Namen nivojskih cestnih križišč je zagotavljanje varne, udobne, hitre in ekonomične porazdelitve (križanje, prepletanje, združevanje ali cepljenje) prometnih tokov.

Pri semaforiziranem križišču je promet voden s pomočjo semaforjev. Semafor periodično zaustavlja promet na določeni smeri in samo v času zelene luči na semaforju je možna

vožnja skozi križišče. Moderne prometno odvisne svetlobno signalne naprave razporedijo čas za vse smeri od preprostih dvofaznih in časovno fiksnih faz do bolj kompliciranih večfaznih načinov v odvisnosti od prometnih zahtev.

Na nesemaforiziranih križiščih obstajajo pravila, da imajo prometni tokovi na glavni cesti prednost pred prometnimi tokovi na stranski cesti. Vozniku ni prikazano, kdaj naj zapelje v križišče, ampak se mora sam odločiti, kdaj je varno. Naloga voznika na stranski cesti ali levega zavijalca na glavni cesti je izbrati dovolj velik časovni razmak med vozili v prioritetenem toku, da lahko zapelje v zeleno smer.

Krožna križišča so prav tako križišča s kombinacijo prekinjenega in neprekinjenega prometnega toka, vendar se prometni tokovi ne križajo, temveč zlivajo in cepijo. Prednost imajo vozila v krožnem toku pred vozili na uvozih v križišče. Potrebni kritični razmaki za vključevanje v krožni tok so na krožnem križišču krajši od tistih na klasičnem nesemaforiziranem križišču za prečkanje in vključevanje v glavni prometni tok, zaradi česar so krožna križišča tudi prepustnejša od klasičnih nesemaforiziranih.

Zaradi načina vodenja prometa in geometrije križišča pride do različnih zamud pri vožnji skozi različne tipe križišč. Zamude vsebujejo začetne zamude zaradi zaviranja, zamude v koloni, ki se premika proti križišču, zamude zaradi ustavitve ter zamude pri speljevanju in pospeševanju.

## 3 • OPIS PROGRAMSKEGA ORODJA SIDRA

Programsko orodje SIDRA se je prvič pojavilo na trgu leta 1984 (Akcelik, 1997), (Akcelik, 2002). Leta 2002 ga je uporabljalo več kot 1490 podjetij in organizacij v 71 državah po svetu. Avtor Rahmi Akcelik ter programerja Mark Besley in Darren Thompson so skupaj s podjetjem Akcelik & Associates Pty Ltd iz Avstralije leta 2002 izdali verzijo aaSIDRA 2.0, s katero je bil napravljen tudi eksperiment.

Kratice aaSIDRA pomeni aaTraffic Signalised & unsignalised Intersection Design and Re-

search Aid, kar bi lahko prevedli kot »Programsko orodje za znanstveno raziskovanje in načrtovanje semaforiziranih in nesemaforiziranih križišč«.

Programsko orodje deluje v okolju Windows, za vhodne podatke (RIDES) pa potrebuje še okolje DOS.

aaSIDRA uporablja analitične prometne modele skupaj z metodo iterativne aproksimacije za določitev ocene prepustnosti, zamud, dolžine kolone in drugih prometnih parametrov.

aaSIDRA je združljiv z metodologijo HCM 2000 (US Highway Capacity Manual), kjer so že vključena tudi krožna križišča, ter z avstralskim AUSTORROADS. Parametri v modelu programske opreme pa se lahko tudi spreminjajo glede na lokalne pogoje prometnega toka.

Orodje uporabljamo za analizo več vrst križišč: za semaforizirana, krožna in različne tipe nesemaforiziranih križišč. Z analizo dobimo oceno prepustnosti, zamude, dolžino kolone, število ustavljanj, operativnih stroškov, porabo goriva in stopnjo onesnaževanja. Lahko pa s programom optimiziramo obliko križišč ter dolžino ciklov pri semaforiziranih križiščih.

## 4 • EKSPERIMENT

### 4.1 Izbor primerov in potek eksperimenta

Eksperiment je bil izveden za tipično štirikrako klasično in krožno križišče. Osi križišča se sekajo pod pravim kotom. Vse ostale oblike križanj so specifične ter ne predstavljajo karakterističnega križišča, ki bi bilo tipično za postavitev kriterija.

Glede prioritete vožnje v klasičnem nesemaforiziranem križišču je bil izbran primer križanja prednostne z neprednostno cesto. V primeru krožnega križišča je vsaka smer v križišču neprednostna, saj ima prednost krožeči prometni tok. V semaforiziranih križiščih pa je prednost regulirana s semaforji

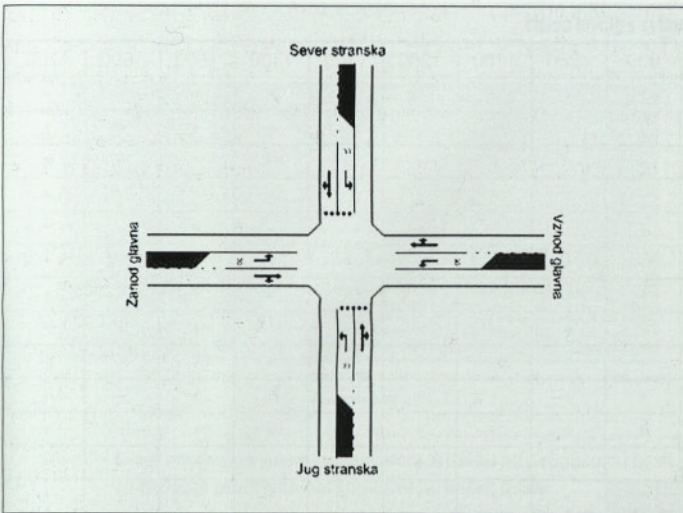
(MP RS, 2002), (MP RS, 2003), (Tollazzi, 2000).

Glade števila pasov glavne in stranske ceste sta bila obravnavana dva primera, in sicer:

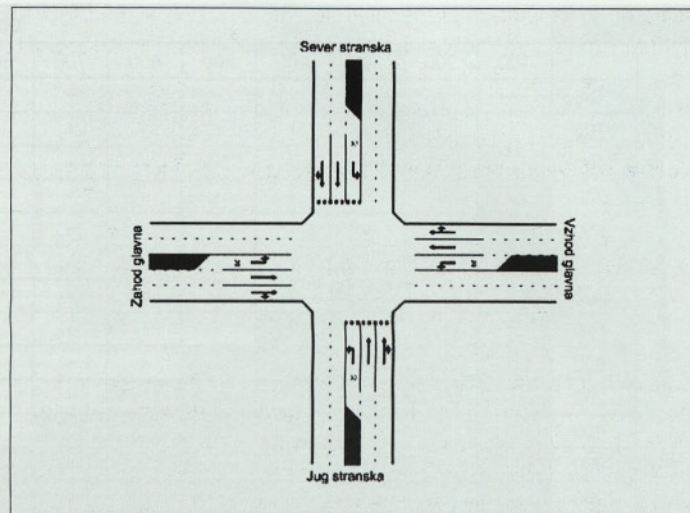
- dvopasovna dvosmerna glavna in stranska cesta;
- štiripasovna dvosmerna glavna in stranska cesta.

Širina voznega pasu, ki je uporabljena pri klasičnih križiščih, je 330 cm, pri krožnem križišču pa 400 cm. Širina krožnega vozišča v

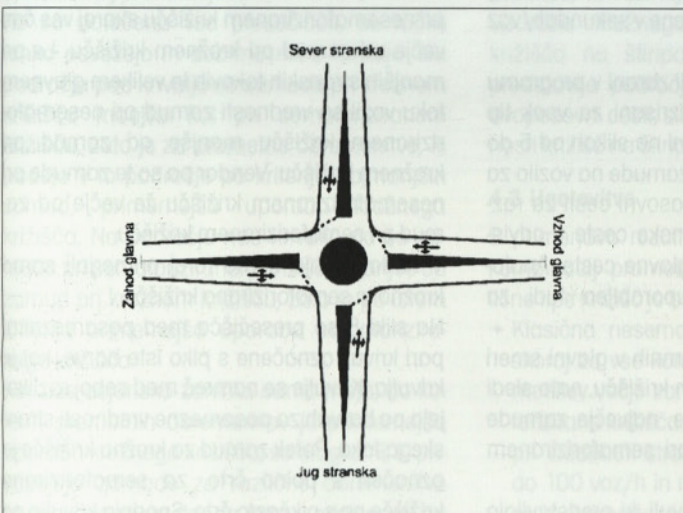




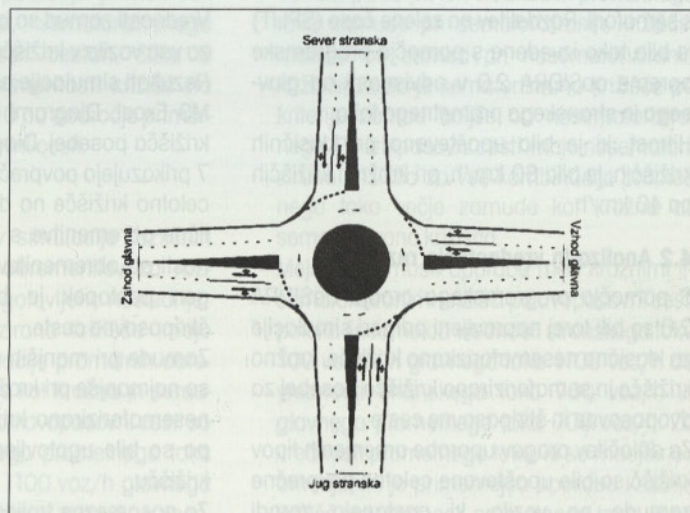
Slika 1 • Primer klasičnega (ne)semaforiziranega križišča, dvopasovna cesta



Slika 2 • Primer klasičnega (ne)semaforiziranega križišča, štiri pasovna cesta



Slika 3 • Primer krožnega križišča, dvopasovna cesta



Slika 4 • Primer krožnega križišča, štiri pasovna cesta

krožnem križišču je v primeru enega krožnega pasu 600 cm, v primeru dveh krožnih pasov pa 1000 cm (Robinson, 2000).

Pri klasičnem križišču je pri dvopasovni in štiri-pasovni cesti upoštevan še posebni pas za leve zavijalce, ki je dolg 30 m. Analizirana križišča so shematično prikazana na slikah 1 do 4.

Prav tako kot cestna mreža so bili tudi prometni tokovi razdeljeni na glavni in stranski prometni tok. Prometne obremenitve so podane v ekvivalentu osebnega vozila (eov).

Prometne obremenitve na glavni cesti so bile povečevane po 100 eov/h, to je od 100 eov/h do 1500 eov/h pri dvopasovni cesti ter do 1700 eov/h pri štiri-pasovni cesti.

V prečni smeri pa so bile prometne obremenitve od 50 eov/h do 300 eov/h povečevane po 50 eov/h, od 300 eov/h do 700 eov/h pri dvopasovni cesti ter do 1100 eov/h pri štiri-pasovni cesti pa po 100 eov/h. Izpuščene so bile tiste obremenitvene kombinacije, kjer je bil na prečni cesti volumen večji od volumna na glavni cesti. Izpuščeni so bili tisti primeri, pri katerih so vrednosti zamud že zelo narasle. Tako je bilo za vsako križišče na dvopasovni cesti pripravljenih v povprečju po 123 obremenitvenih kombinacij, za križišča na štiri-pasovni cesti pa po 146 obremenitvenih kombinacij. Vsega skupaj je bilo tako pripravljenih 805 obremenitvenih kombinacij. Primer kombinacij vseh volumnov je prikazan v preglednici 1.

Delež levih in desnih zavijalcev je v glavnem in stranskem prometnem toku enak, in sicer vsakih 30 %. Naravnost vozečih vozil je tako 40 % na glavni in stranski cesti.

Pri nesemaforiziranem vodenju, kjer se promet vodi z vertikalno signalizacijo, je upoštevano, da je pri klasičnih križiščih prečna cesta opremljena z znakom II-1 (križišče s prednostno cesto) in glavna cesta predstavlja prednostno cesto, pri krožnih križiščih pa je vsak krak križišča opremljen z znakom II-1 in ima krožni tok v krožnem križišču prednost pred ostalimi.

Pri semaforiziranem vodenju je program na podlagi zamud izbral optimalni čas ciklusa. Maksimalni čas ciklusa je bil 120 sekund, kar predstavlja zgornjo mejo pri vodenju prometa

		Obremenitve v glavni smeri																
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
Obremenitve v prečni smeri	50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	150		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	200			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	250				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	300					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	400						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	500							+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	600								+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	700									+	+	+	+	+	+	+	+	+
	800										+	+	+	+	+	+	+	+
	900											+	+	+	+	+	+	+
1000												+	+	+	+	+	+	
1100													+	+	+	+	+	

Preglednica 1 • Primeri kombinacij prometnih obremenitev

s semaforji. Razdelitev na zelene čase (SPLIT) je bila tako izvedena s pomočjo programske opreme aaSIDRA 2.0 v odvisnosti od glavnega in stranskega prometnega toka. Hitrost, ki je bila upoštevana pri klasičnih križiščih, je bila 60 km/h, pri krožnih križiščih pa 40 km/h.

#### 4.2 Analiza in vrednotenje rezultatov

S pomočjo programskega orodja aaSIDRA 2.0 so bili torej pripravljene primeri simulacije za klasično nesemaforizirano križišče, krožno križišče in semaforizirano križišče posebej za dvopasovne in štiripasovne ceste.

Za določitev pragov uporabe omenjenih tipov križišč so bile upoštewane celotne povprečne zamude na vozilo, ki nastanejo zaradi določenega vodenja prometa v križišču. Zamude so namreč tisti kriterij, ki imajo pri izboru in načrtovanju prometnih rešitev odločujočo vlogo.

Vrednosti zamud so izražene v sekundah/voz za vsa vozila v križišču.

Rezultati simulacije so bili zbrani v programu MS Excel. Diagrami so izrisani za vsak tip križišča posebej. Diagrami na slikah od 5 do 7 prikazujejo povprečne zamude na vozilo za celotno križišče na dvopasovni cesti za različne obremenitve s stranske ceste v odvisnosti od obremenitev z glavne ceste. Analogen postopek je bil uporabljen tudi za štiripasovne ceste.

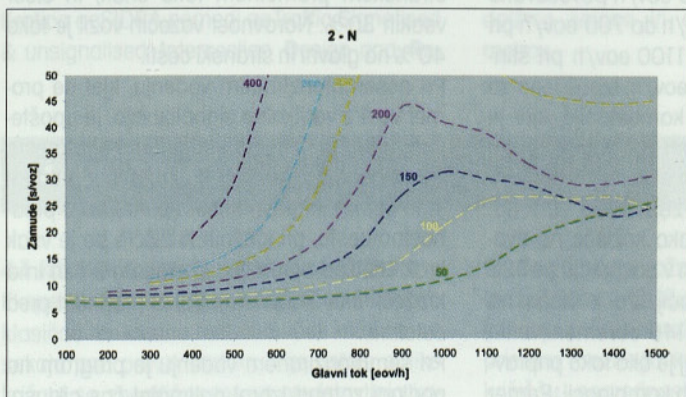
Zamude pri manjših volumnih v glavni smeri so najmanjše pri krožnem križišču, nato sledi nesemaforizirano križišče, največje zamude pa so bile ugotovljene pri semaforiziranem križišču.

Za posamezne trojice krivulj, ki predstavljajo vrednosti zamud enakih intenzitet stranskega prometnega toka, iščemo presečišča med vrednostmi za nesemaforizirano, krožno in semaforizirano križišče. Vidimo, da so zamude

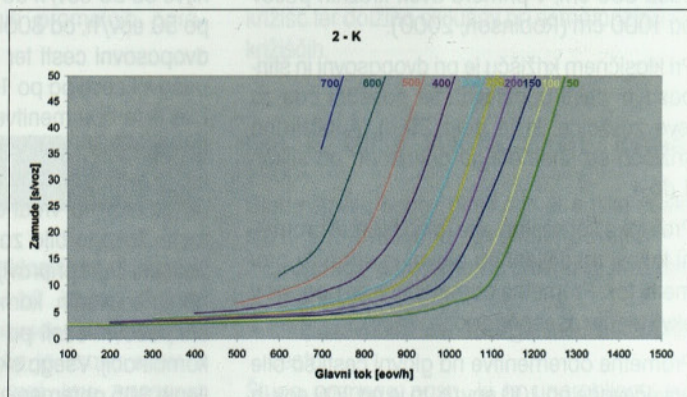
pri nesemaforiziranem križišču skoraj ves čas večje od zamud pri krožnem križišču. Le pri manjših stranskih tokovih in velikem glavnem toku vozil so vrednosti zamud pri nesemaforiziranem križišču manjše od zamud pri krožnem križišču. Vendar pa so te zamude pri nesemaforiziranem križišču že večje od zamud pri semaforiziranem križišču.

V nadaljevanju bomo torej primerjali samo krožno in semaforizirano križišče.

Na sliki 8 so presečišča med posameznimi pari krivulj označene s piko iste barve, kot je krivulja. Krivulje se namreč med seboj razlikujejo po barvah za posamezne vrednosti stranskega toka. Potek zamud za krožno križišče je označen s polno črto, za semaforizirano križišče pa s pikčasto črto. Spodnja krivulja od presečišča levo predstavlja območje, ko ima krožno križišče manjše zamude od semaforiziranega križišča. Od točke presečišča desno pa ima semaforizirano križišče manjše za

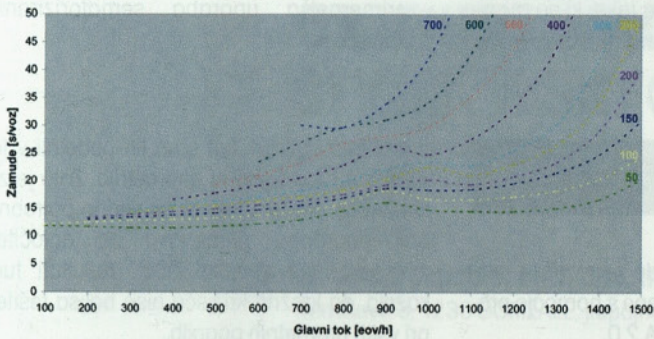


Slika 5 • Diagram zamud v nesemaforiziranem križišču na dvopasovni cesti za različne prometne obremenitve stranske ceste

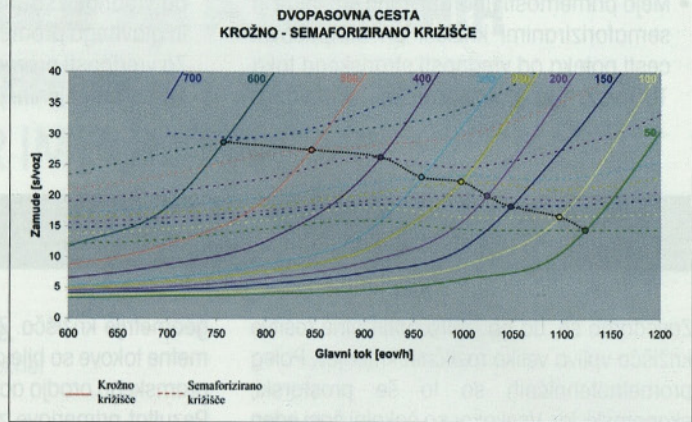


Slika 6 • Diagram zamud v krožnem križišču na dvopasovni cesti za različne prometne obremenitve stranske ceste

2 - 8



Slika 7 • Diagram zamud v semaforiziranem križišču na dvopasovni cesti za različne prometne obremenitve stranske ceste



Slika 8 • Presečišča krivulj med krožnim in semaforiziranim križiščem za dvopasovno cesto

mude kot krožno križišče, zato je semaforizirano križišče v območju desno od presečišča krivulj primernejše.

Ko so določena vsa presečišča, se točke lahko povežejo in dobimo novo krivuljo. Na področju pod krivuljo so zamude pri krožnem križišču manjše kot pri semaforiziranem križišču, zato je za prometne obremenitve, ki padejo v to področje po kriteriju najmanjših zamud, primernejša uporaba krožnega križišča. Na področju nad krivuljo pa so zamude pri semaforiziranem križišču manjše od zamud pri krožnem križišču, zato je po istem kriteriju primernejša uporaba semaforiziranega križišča.

Ker nas dejansko zanima samo meja, do katerih prometnih obremenitev je primernejša uporaba krožnega križišča, so diagrami, ki prikazujejo zamude za različne obremenitve stranskega prometnega toka v odvisnosti od glavnega prometnega toka, spremenijo v diagrame stranskega prometnega toka v odvis-

nosti od glavnega prometnega toka. Podobno kot pri diagramu na sliki 8 dobimo krivuljo oz. premico, ki razmejuje področja primernosti uporabe krožnega oz. semaforiziranega križišča na štiripasovnih cestah. Slika 9 predstavlja področje primernosti križišč na dvopasovni cesti, slika 10 pa področje primernosti križišč na štiripasovni cesti.

### 4.3 Ugotovitve

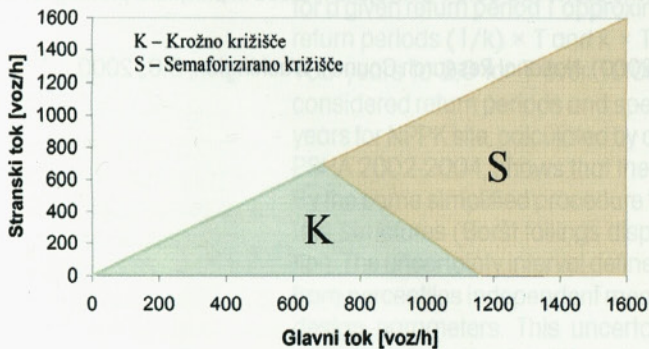
S primerjavo rezultatov simulacije različnih kombinacij prometnih obremenitev za različne tipe križišč je bilo ugotovljeno naslednje:

- Klasična nesemaforizirana križišča imajo skoraj za vse kombinacije prometnih obremenitev večje zamude kot krožna in semaforizirana križišča. Le pri dvopasovni cesti so pri vrednosti stranskega prometnega toka do 100 voz/h in nad 1100 voz/h glavnega prometnega toka vrednosti zamud za nesemaforizirana križišča manjše od vrednosti zamud za krožna križišča. To pomeni, da so

le za majhen stranski in ne prevelik glavni tok vozil primernejša nesemaforizirana križišča. Vendar pa so pri teh vrednostih prometnega toka zamude pri semaforiziranih križiščih manjše od zamud pri nesemaforiziranih križiščih, zato je semaforizirano križišče po kriteriju zamud boljše od nesemaforiziranega. Pri štiripasovni cesti imajo nesemaforizirana križišča za vse kombinacije prometnega toka večje zamude kot krožna ali semaforizirana križišča.

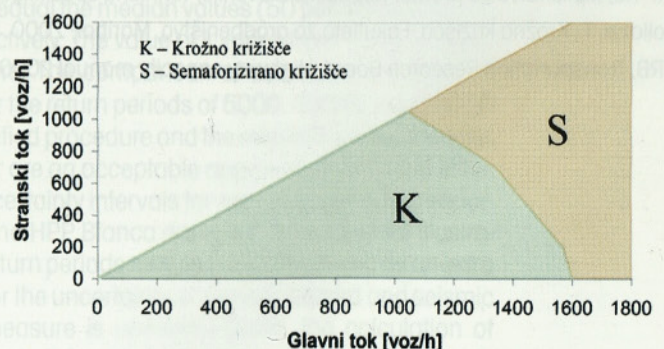
- Meja primernosti uporabe med krožnimi in semaforiziranimi križišči pri dvopasovni cesti poteka linearno od vrednosti stranskega toka 100 voz/h in glavnega toka 1100 voz/h do vrednosti stranskega toka 700 voz/h in glavnega prometnega toka 700 voz/h. Za vrednosti prometnega toka, ki so manjše od omenjenih, je primernejša uporaba krožnih križišč, za vrednosti prometnega toka, ki so večje od omenjenih, pa je primernejša uporaba semaforiziranih križišč.

### DVOPASOVNA CESTA



Slika 9 • Področje primernosti izvedbe določenega tipa križišča na dvopasovni cesti

### ŠTIRIPASOVNA CESTA



Slika 10 • Področje primernosti izvedbe določenega tipa križišča na štiripasovni cesti

• Meja primernosti uporabe med krožnimi in semaforiziranimi križišči pri štiripasovni cesti poteka od vrednosti stranskega toka 100 voz/h in glavnega toka 1600 voz/h

do vrednosti stranskega toka 1000 voz/h in glavnega prometnega toka 1100 voz/h. Za vrednosti prometnega toka, ki so manjše od omenjenih, je primernejša uporaba

krožnih križišč, za vrednosti prometnega toka, ki so večje od omenjenih, pa je primernejša uporaba semaforiziranih križišč.

## 5 • SKLEP

Zavedamo se, da na izbiro optimalne rešitve križišča vpliva veliko različnih kriterijev. Poleg prometnotehničnih so to še prostorski, ekonomski, idr. Vsekakor so čakalni časi eden od pomembnih prometnih parametrov pri izbiri in dimenzioniranju križišč. Namen raziskave je bil določiti mejo, do katerih prometnih obremenitev je primernejša uporaba nesemaforiziranih, krožnih ali semaforiziranih križišč. Kriterij za določitev te meje so bili čakalni časi oziroma zamude, ki nastanejo zaradi vodenja prometa v križišču in zaradi

geometrije križišča. Zamude za različne prometne tokove so bile določene s pomočjo programskega orodja aaSIDRA 2.0.

Rezultat primerjave zamud sta diagrama za dvopasovno in štiripasovno cesto, ki prikazujeta mejo med krožnim in semaforiziranim križiščem. Njihova uporaba je omejena na fazo urbanističnih presoj in idejnih študij. Diagrami služijo za hitro oceno, kateri tip križišča je bolj primeren za določene prometne obremenitve, vendar se zavedamo, da je vsako križišče lahko zelo specifično, z drugačnimi

prometnimi tokovi, kot smo jih obdelali v te analogi, ter z drugačno geometrijo. Zato je za konkretne primere križišč še vedno potrebna bolj podrobna primerjava za določitev primernejšega tipa križišča. Rezultati tudi kažejo, da krožna križišča niso boljše rešitve pri vseh prometnih pogojih.

S to raziskavo je bilo obdelano le področje prometnih obremenitev, nič manj pomembna pa niso ostala področja, kot so na primer prometna varnost, prostorski in ekonomski kriterij. Z raziskavami, ki bi nam dale kompleksen imenovalc za vsa področja prometnega vodenja, bi lahko določili skupen kriterij, ki bi nam dal realne pogoje za odločitev med različnimi tipi križišč.

## 6 • VIRI IN LITERATURA

Akcelik, R., Lane-by-lane modeling of unequal lane use and flares at roundabouts and signalised intersections: the SIDRA solutions, Traffic Engineering and Control, 38 (7/8), pp 388-399, 1997.

Akcelik, R., aaSIDRA 2.0, User Guide, Akcelik & Associates Pty Ltd, Avstralija, 2002.

Jian-an, T., Comparison of capacity between roundabout design and signalised junction design, STRC, 1st Swiss Transport Research Conference, Monte Verita/Ascona, <http://www.strc.ch/tan.pdf>, 2001.

Kastelic, T., Simulacija prometnih tokov na osnovi prometnih volumnov v semaforiziranih križiščih, doktorsko delo, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 1987.

Mrgole, S., Primerjava uspešnosti različnih tipov križišč glede na kriterij čakalnih časov vozil, diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani, Ljubljana, 2004.

Robinson, B. W., Roundabouts: An Information Guide, Kittelson & Associates, Inc, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, USA, 2000.

MP RS, Ministrstvo za promet Republike Slovenije, Tehnična specifikacija za javne ceste, TSC 03.341, Krožna križišča, 2002.

MP RS, Ministrstvo za promet Republike Slovenije, Tehnična specifikacija za javne ceste, TSC 03.344, Nivojska križišča in priključki, predlog, 2003.

Tollazzi, T., Krožna križišča, Fakulteta za gradbeništvo, Maribor, 2000.

TRB, Transportation Research Board, Highway capacity manual 2000 (HCM 2000), National Research Council, Washington, D.C., 2000.

# POTRESNO TVEGANJE PRI POMEMBNIH OBJEKTIH V SLOVENIJI

## SEISMIC RISK FOR IMPORTANT FACILITIES IN SLOVENIA

**dr. Janez Lapajne, univ. dipl. inž. fiz.**

Bernikova 3, 1230 DOMŽALE, jlapajne@siol.net

**Znanstveni članek**

UDK 550.34:699.841

**Povzetek** | Raziskava potresne nevarnosti na lokaciji Nuklearne elektrarne Krško v letih 2002 do 2004 kaže, da obstaja med percentilnimi krivuljami potresne nevarnosti in spektri enotne potresne nevarnosti na eni ter krivuljami in spektri za različne povratne dobe na drugi strani določena zamenljivost (ekvivalenca). Zato je mogoče interval negotovosti ocene namesto s 15. in 80. percentilom v grobem določiti tudi z dvema različnima povratnima dobama. Iz rezultatov omenjene raziskave izhajajo naslednja empirična zveza: 15-percentilne in 85-percentilne vrednosti vršnega in spektralnega pospeška so približno enake medialnim vrednostim za  $(1/k)$ -kratno in  $k$ -kratno povratno dobo. Pri tem ima  $k$  vrednost od 1,5 za povratno dobo okoli 100 let do 2,0 za povratno dobo preko 10000 let. S postopkom, ki je bil uporabljen za izdelavo kart potresne nevarnosti Slovenije, je ponovljen izračun projektnih potresnih parametrov za NEK in ocenjen interval negotovosti, ki ga določata medialni krivulji in spektra za polovično in dvojno povratno dobo, torej za  $k = 2$ . Ponovljen izračun kaže, da daje uporabljeni postopek rezultate, ki so primerljivi z rezultati omenjene dvoletne raziskave za NEK. S povratnima dobama določen interval negotovosti pa lahko privzamemo tudi kot povsem samostojno in od percentilov neodvisno mero negotovosti, ki je primerna za predhodne in začasne ocene, koristna pa utegne biti tudi pri ocenah potresne nevarnosti, pri katerih ni posebnih zahtev za opredelitev negotovosti. Za ponazoritev so izračunani intervali negotovosti, določeni s polovično in dvojno povratno dobo za ocene projektnih potresnih parametrov jalovišča Boršt in pregrade HE Blanca.

**Summary** | The results of the probabilistic seismic hazard assessment for the Nuclear Power Plant Krško (NPPK) site in the years 2002-2004 show a pronounced equivalence between percentile seismic hazard curves and percentile uniform hazard spectra on one, and hazard curves and spectra for different return periods on the other side. Therefore, the uncertainty interval, usually given by 15 and 85 percentile curves and spectra, could be represented by curves and spectra for two appropriate return periods. From the comparison of both kinds of curves and spectra for NPPK follows: 15 and 85 percentiles for a given return period  $T$  approximately equal the median values (50 percentiles) for the return periods  $(1/k) \times T$  and  $k \times T$  respectively. The value of  $k$  varies from 1,5 for  $T$  about 100 years to 2,0 for  $T$  over 10.000 years. The comparison of curves for  $k = 2$  for all considered return periods and spectra for the return periods of 5000, 10000, and 20000 years for NPPK site, calculated by a simplified procedure and the results from the complex PSHA 2002-2004, shows that the former are an acceptable approximation for the latter. By the same simplified procedure the uncertainty intervals for sites of another two important structures (Boršt tailings disposal and HPP Blanca dam) are calculated for illustration. The uncertainty interval defined by return periods may also be considered as an extra from percentiles independent measure for the uncertainty of seismic hazard and seismic design parameters. This uncertainty measure is understandable, the calculation of curves and spectra for different return periods is simple and fast, and the procedure is relatively cheap. It may at least be used for the preliminary estimates for NPPs and the estimates of the uncertainty for important structures other than NPPs.

## 1 • UVOD

V prispevku (Lapajne in Šket Motnikar, 2005) je s stališča formalnih zahtev in metodologije verjetnostnega ocenjevanja primerjalno obravnavano verjetnostno ocenjevanje potresne nevarnosti in določitev projektnih potresnih parametrov za lokacije treh značilnih pomembnih objektov v Sloveniji – jedrske elektrarne Krško (NEK), jalovišča Boršt (JB) in pregrade HE Blanca (HEB). Obravnavanje je omejeno na potresno nevarnost na trdnih tleh oz. tleh vrste A po evropskem standardu Eurocode 8 – EC8 (CEN, 2004a) in ne vključuje opredelilne negotovosti ocen. V drugem prispevku (Šket Motnikar in Lapajne, 2005) je obravnavana splošna problematika negotovosti in opredelitev negotovosti ocene za lokacijo NEK (Fajfar in drugi, 1994; 2004b), (Lapajne in Fajfar, 1995; 1997). Predmet tega

prispevka pa je opredelitev razmeroma preproste mere za določitev negotovosti ocene potresne nevarnosti; ta mera je interval negotovosti, ki ga določata dve povratni dobi. Tudi tu je obravnavanje omejeno na tla vrste A po EC8. Negotovost verjetnostne ocene potresne nevarnosti oziroma projektnih potresnih parametrov je lahko pomemben dejavnik v odločitvi, kako uporabiti rezultate raziskave potresne nevarnosti. Po postopku, ki ga priporoča IAEA (IAEA, 2002; 2003), je opredeljena negotovost ocene potresne nevarnosti vhodni podatek v naslednjih korakih verjetnostne varnostne analize jedrske elektrarne. V splošnem pa omogoča opredelitev negotovosti boljše razumevanje potresne nevarnosti na dani lokaciji, investitorju pa daje ustrezno podlago za izbiro projektnih potresnih parametrov

## 2 • NEGOTOVOST OCENE ZA NEK

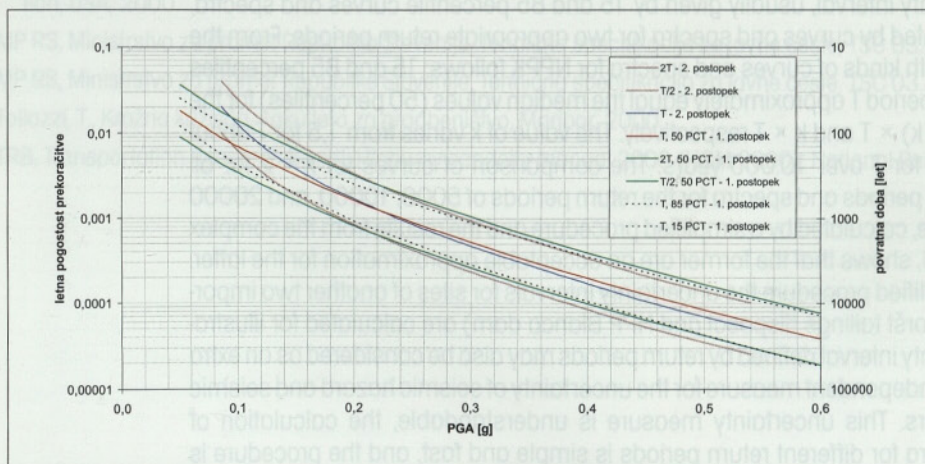
Opredelitev negotovosti ocene potresne nevarnosti za lokacijo NEK je podrobneje opisana v posebnem članku (Šket Motnikar in Lapajne, 2005), zato ni predmet tega prispevka. Tu nas negotovost tudi ne zanima kot dejavnik ukrepanja v nadaljnjem postopku verjetnostne varnostne analize jedrske elektrarne, ampak le pomen intervala negotovosti, ki ga določata 15. in 85. percentil, in kako lahko interval negotovosti opredelimo tudi drugače. V zvezi z izbiro projektnih parametrov se namreč pojavi vprašanje, kaj prak-

tično pomeni odločitev za neki drug percentil namesto za mediano, posebej za 15. ali 85. percentil. Čeprav so vse vrednosti v intervalu negotovosti med tema dvema percentiloma opredeljene za isto raven tveganja, npr. v primeru NEK za povratno dobo 10.000 let oziroma za letno pogostost oziroma verjetnost prekoračitve 0,0001, je očitno, da pomeni 15. percentil povečanje, 85. percentil pa zmanjšanje tveganja glede na 50. percentil. Kolikšno je to povečanje ali zmanjšanje, lahko razberemo s slike 1.

znotraj njenega intervala. To je še posebej pomembno in nujno za projektiranje, ki temelji na določenih ciljih izvedbe objekta (PBD – performance based design).

Pri dosedanjih ocenah potresne nevarnosti za lokacijo NEK (Fajfar in drugi, 1994; 2004b) smo negotovost projektnih potresnih parametrov opredeljevali z intervalom, ki ga določata 15. in 85. percentil krivulj in spektror potresne nevarnosti, s čimer smo zajeli srednjih 70 % izhodnih vrednosti. Znotraj tega intervala se nahaja tudi projektna "najboljša ocena" (best estimate), za katero smo v skladu z mednarodno prakso privzeli 50. percentil ali *mediano*. Najboljša ocena je v praksi navadno privzeta tudi kot najnižja projektna zahteva. Lahko se pa investitor odloči tudi za višje vrednosti projektnih potresnih parametrov in s tem za večjo varnost (manjše tveganje). Pri raziskavah potresne nevarnosti drugih pomembnih objektov v Sloveniji negotovosti rezultatov nismo ocenjevali.

Če potujemo navzdol po 50-percentilni krivulji potresne nevarnosti do vrednosti vršnega pospeška tal (*PGA*), ki je enaka 85. percentilu *PGA* za povratno dobo 10.000, lahko ugotovimo, da doseže 50 percentilna krivulja to vrednost približno pri povratni dobi blizu 20.000 let (letna pogostost prekoračitve 0,00005). Če pa potujemo po 50 percentilni (tj. medialni) krivulji navzgor do vrednosti *PGA*, ki je enaka 15. percentilu *PGA* za povratno dobo 10.000 let, pa ugotovimo, da doseže medialna krivulja to vrednost približno pri povratni dobi 5.000 let (letna pogostost prekoračitve 0,0002). V danem primeru bi torej odločitev za 15. percentil pomenila povečanje tveganja približno za faktor 2, odločitev za 85. percentil pa zmanjšanje tveganja približno na polovico. Tudi primerjava spektrov za povratno dobo 10.000 let, ki jo kaže slika 2, daje podoben rezultat. Nekoliko skrbnejša primerjava pokaže, da faktorja  $\frac{1}{2}$  in 2 ne veljata enako dobro za različne povratne dobe. Tako kaže slika 1, da se pri pomikanju proti manjšim povratnim dobam interval negotovosti, ki ga določata 15- in 85- percentilna krivulja, zožuje glede na razmak med krivuljama polovičnega in dvojnega tveganja. Pri povratni dobi okoli 100 let ustreza 85. percentil le še mediani za povratno dobo približno 150 let, 15. percentil pa mediani za povratno dobo približno 70 let. Je pa mogoče te vrednosti dokaj dobro izraziti z naslednjo empirično zakonitostjo: 15 percentilne in 85 percentilne vrednosti vršnega in spektralnega pospeška

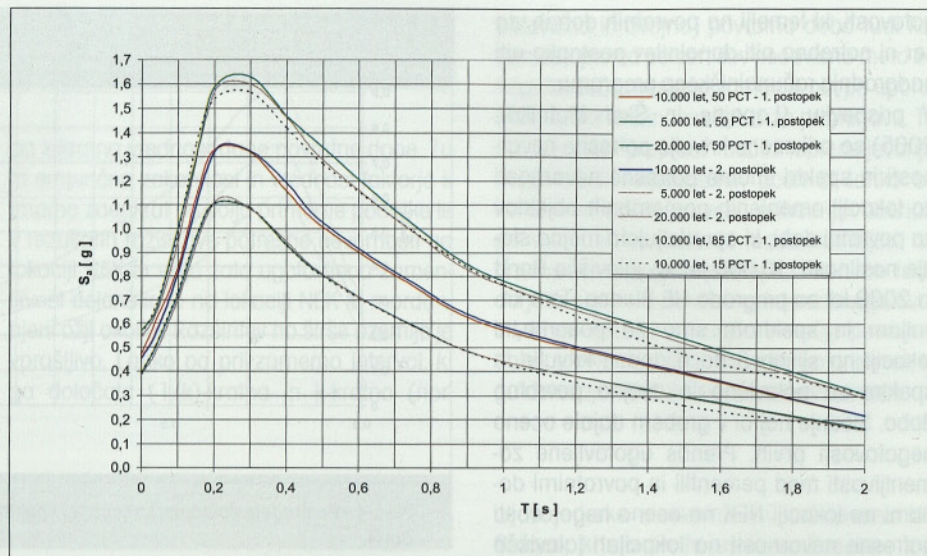


Slika 1 • Po obeh postopkih izračunane krivulje potresne nevarnosti za lokacijo NEK (objavljeno s soglasjem Nuklearne elektrarne Krško).

so v splošnem približno enake medialnim vrednostim za  $(1/k)$ -kratno in  $k$ -kratno povratno dobo. Pri tem je  $k$  približno enak 1,5 za povratno dobo okoli 100 let, 1,7 za 1000, 1,9 za 10.000 do 2,0 za povratno dobo nekaj 10000 let. Treba je opozoriti, da velja ta ugotovitev le za dano oceno potresne nevarnosti na lokaciji NEK. Ob drugačnem modeliranju oziroma pri modeliranju drugih (skupin) strokovnjakov in na drugih lokacijah bi bili lahko ti odnosi podobni ali pa tudi precej drugačni.

Na sliki 1 sta poleg 15-, 50- in 85- percentilnih krivulj dodani še krivulji, katerih vrednosti za določeno povratno dobo ustrezajo polovični in dvojni povratni dobi. Določitev teh vrednosti za projektiranje bi pomenilo sprejetje približno polovičnega oziroma podvojenega tveganja glede na 50 percentilno izhodiščno krivuljo. Na sliki 2 sta poleg 15-, 50- in 85- percentilnih spektrov za povratno dobo 10.000 let dodana še spektra za povratni dobi 5000 in 20.000 let. Spekter za povratno dobo 5000 let se praktično v celoti ujema s 15- percentilnim spektrom za povratno dobo 10.000 let, ujemanje med spektroma za povratno dobo 20.000 let in 85- percentilnim spektrom za 10.000 let pa je za nihanje čase nad približno 0,2 s nekoliko slabše.

V prispevku (Lapajne in Šket Motnikar, 2005) sta opisana dva postopka verjetnostnega ocenjevanja potresne nevarnosti. Po prvem (McGuire, 2004; Reiter, 1990; Risk



Slika 2 • Po obeh postopkih izračunani spektri enotne potresne nevarnosti za lokacijo NEK (objavljeno s soglasjem Nuklearne elektrarne Krško).

Engineering, 1988) je bila narejena ocena za NEK, po drugem (Lapajne in drugi, 2003; Zabukovec, 2000) pa za druga dva obravnavana objekta. (V nadaljevanju ju bomo zaradi preprostosti ločevanja imenovali kar prvi in drugi oziroma 1. in 2. postopek.) Za primerjavo smo izračunali za lokacijo NEK krivulje in spektre potresne nevarnosti še po drugem postopku. Izračunane krivulje kaže slika 1, spektre pa slika 2. Na sliki 2 je vidno

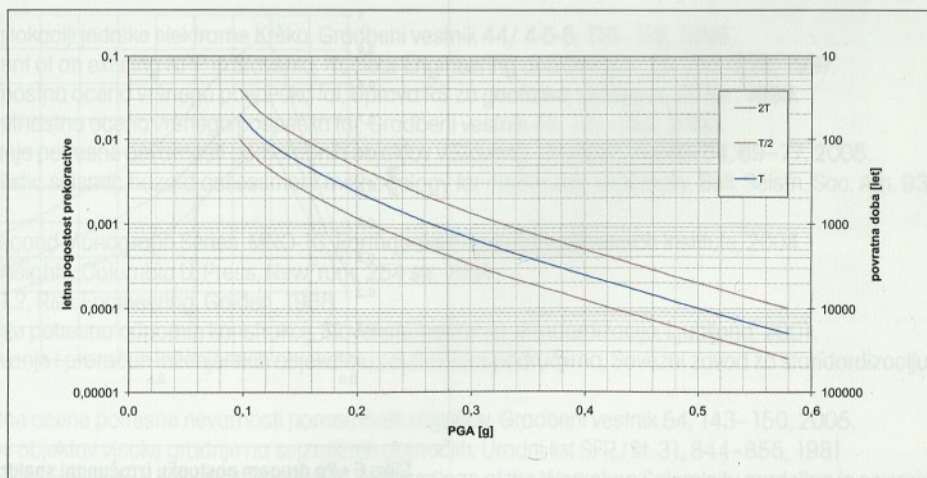
dobro ujemanje naslednjih spektrov: 15-percentilnega spektra in spektra za povratno dobo 5000 let, izračunana po prvem in drugem postopku oziroma 85-percentilnega spektra in spektra za povratno dobo 20.000 let, izračunana po prvem in drugem postopku. Nekoliko slabše je ujemanje pripadajočih krivulj na sliki 1, je pa tudi tu ujemanje razmeroma dobro na območju povratnih dob od 500 do 10.000 let.

### 3 • NEGOTOVOST OCENE ZA JALOVIŠČE BORŠT IN PREGRADO HE BLANCA

Za izračun potresne nevarnosti na lokacijah jalovišča Boršt (Lapajne in Šket Motnikar, 1999; 2000) in pregrade HE Blanca (Fajfar in drugi 2004a) ter na lokacijah nekaterih drugih objektov smo uporabili drugi postopek, ki v sedanjih obliki ne omogoča izračuna negotovosti. Načelno bi lahko pripadajoč računalniški program nadgradili tako, da bi dajal oceno negotovosti in bi tudi drugače zadostil zahtevam, ki jih postavlja IAEA pri ocenjevanju lokacij jedrskih elektrarn. To bi bilo morda smiselno, saj ima drugi postopek kar nekaj prednosti pred prvim postopkom, ki je bil uporabljen za oceno lokacije NEK: manj subjektivnih privzetkov, večja preglednost in lažja ponovljivost. Dopolnitve pa bi zahtevale kar precej vloženega truda, časa in sredstev. To velja še posebej za oceno negotovosti. Ker pa postopek že v sedanjih obliki izpolnjuje priporočene in predpisane for-

malne pogoje za verjetnostno ocenjevanje večine pomembnih objektov v Sloveniji (CEN,

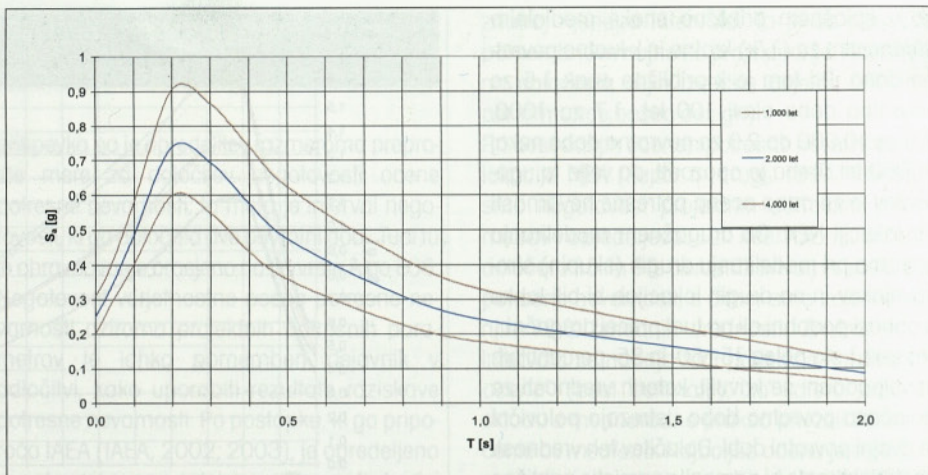
2004a; 2004b; IAEA, 2002; 2003; SIS, 2001; SZS, 1985; UL SFRJ, 1981) in je razmeroma preprost in hiter, zahtevnejša nadgradnja nima posebnega ekonomskega opravičila. Ne glede na to pa bi ga bilo pametno dopolniti vsaj z oceno intervala ne-



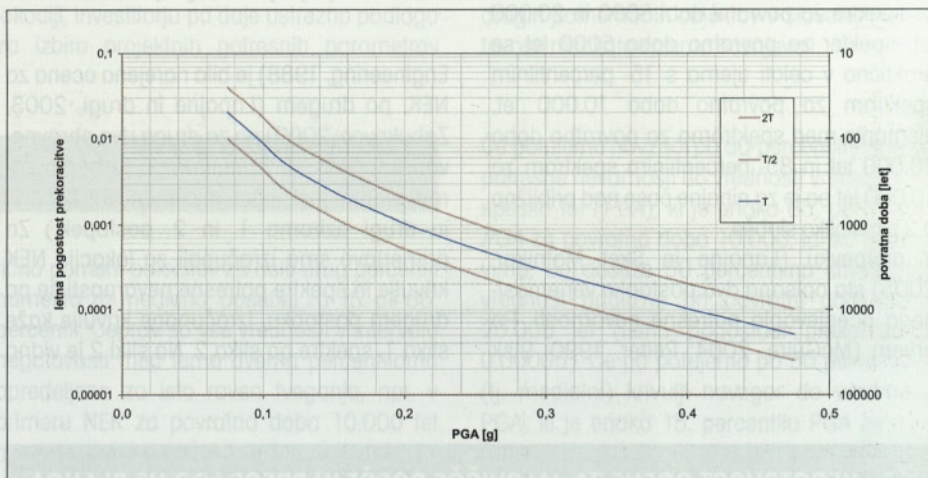
Slika 3 • Po drugem postopku izračunane krivulje potresne nevarnosti za lokacijo jalovišča Boršt.

gotovosti, ki temelji na povratnih dobah, za kar ni potrebna niti dopolnitev postopka niti nadgradnja računalniškega programa.

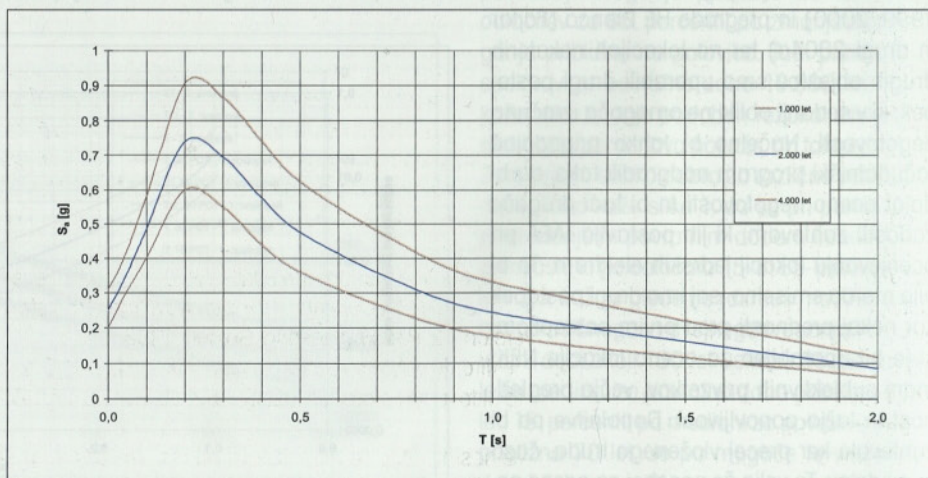
V prispevku (Lapajne in Šket Motnikar, 2005) so prikazane krivulje potresne nevarnosti in spektri enotne potresne nevarnosti za lokaciji omenjenih pomembnih objektov za povratni dobi, ki opredeljujeta mejno stanje nosilnosti: 10.000 let za jalovišče Boršt in 2000 let za pregrado HE Blanca. Tem krivuljam in spektrom smo za posamezni lokaciji na slikah 3 do 6 dodali krivulje in spektre za polovično in dvojno povratno dobo. Slednje naj bi v grobem dajale oceno negotovosti prvih. Prenos ugotovljene zamenljivosti med percentili in povratnimi dobami na lokaciji NEK na oceno negotovosti potresne nevarnosti na lokacijah jalovišča Boršt in pregrade HE Blanca je seveda bolj ali manj vprašljiv, saj za dani lokaciji ne vemo, kakšna je dejansko omenjena zamenljivost za 15 in 85 percentilne vrednosti. Ne glede na to pa krivulje in spektre za polovično in dvojno povratno dobo že sami zase pomenijo neko mero negotovosti ocen potresne nevarnosti in pomenijo koristno informacijo.



Slika 4 • Po drugem postopku izračunani spektri enotne potresne nevarnosti za lokacijo jalovišče Boršt.



Slika 5 • Po drugem postopku izračunane krivulje potresne nevarnosti za lokacijo pregrade HE Blanca (objavljeno s soglasjem HSE Invest, Maribor).



Slika 6 • Po drugem postopku izračunani spektri enotne potresne nevarnosti za lokacijo pregrade HE Blanca (objavljeno s soglasjem HSE Invest, Maribor).



## 4 • SKLEP

Opredelevitev negotovosti ocene potresne nevarnosti na lokaciji NEK je pokazala, da obstaja med negotovostjo in tveganjem določena zamenljivost. Zato je mogoče interval negotovosti, ki ga za dano povratno dobo določata 15. in 85. percentil izbranega parametra gibanja tal, razmeroma dobro opredeliti z intervalom povratnih dob. Pri tem ustreza 15. percentilu (1/k)-kratna vrednost, 85. percentilu

pa k-kratna vrednost dane povratne dobe. Za to empirično zakonitost in vrednost faktorja k imamo zaenkrat na voljo primerne podatke le v rezultatih raziskave potresne nevarnosti na lokaciji NEK in velja zato ugotovljena zamenljivost dejansko le na lokaciji NEK in morda v njeni ožji okolici. Razširitev na širše ozemlje je vprašljivo. Lahko pa privzamemo interval, ki ga določata (1/k)-kratna in k-kratna (npr.

polovična in dvojna) povratna doba tudi kot samostojno od percentilov neodvisno mero za negotovost, omenjeno zamenljivost pa uporabimo le kot možno sredstvo za primerjave. Ta razmeroma preprost način opredeljevanja negotovosti verjetnostnih ocen bi lahko bil koristen dodatek pri vseh prihodnjih ocenah potresne nevarnosti, ki bodo temeljile na omenjenem drugem postopku. Menimo tudi, da je laičnemu uporabniku interval negotovosti, ki ga določata manjša in večja povratna doba, lahko celo bolj razumljiv kot interval, ki ga določajo 15 in 85 percentilne vrednosti.

## 5 • ZAHVALA

Avtor se zahvaljuje Nuklearni elektrarni Krško in družbi HSE Invest, Maribor, ki sta dovolili

objavo nekaterih rezultatov verjetnostnega ocenjevanja potresne nevarnosti na loka-

cijah jedrske elektrarne in načrtovane HE Blanca, ki sta jih financirale. Posebno zahvalo dolgujem tudi kolegici dr. Barbari Šket Motnikar za izračune krivulj in spektrov potresne nevarnosti.

## 6 • LITERATURA

- CEN, Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European standard, EN 1998-1: 2004 (E), Stage 64, European Committee for Standardization, Brussels, 2004a. (*Prevod v slovenščino v pripravi*)
- CEN, Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance, Part 2: Bridges, European standard, prEN 1998-2:200X, Draft No 5, Doc CEN/TC250/SC8/N390, European Committee for Standardization, Brussels, 2004b.
- Fajfar, P., Lapajne, J., Breška, Z., Poljak, M., Prelogović, E., Premru, U., Živčič, M., Aljinović, B., Matičec, D., Logar, J., Vidic, T., Sočan, S., Probabilistic Assessment of Seismic Hazard at Krško Nuclear Power Plant, Revision 1, University of Ljubljana, Department of Civil Engineering, Institute of Structural and Earthquake Engineering, Ljubljana, 1994.
- Fajfar, P., Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Poljak, M., Poljanšek, K., Projektni potresni parametri za HE Blanca in HE Krško, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, s podizvajalcema, Ljubljana, 2004a.
- Fajfar, P., Lapajne, J., Swan, F.H., Poljak, P., Prelogović, E., Šket Motnikar, B., Živčič, M., Hanson, K.L., Youngs, R. R., Herak, M., Tomljenović, B., Poljanšek, K., Revised PSHA for NPP Krško site, PSR-NEK-2.7.2, Revision 2, University of Ljubljana, Department of Civil Engineering, Institute of Structural and Earthquake Engineering, with subcontractors, Ljubljana, 2004b.
- IAEA, Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants, Safety Guide, Safety Standards Series No. NS-G-3.3, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002.
- IAEA, Seismic Evaluation of Existing Nuclear Power Plants, Safety Reports Series No. 28 (STI/PUB/1149), International Atomic Energy Agency, Vienna, 2003.
- Lapajne, J., Fajfar, P., Ocena potresne nevarnosti na lokaciji jedrske elektrarne Krško, Gradbeni vestnik 44/ 4-5-6, 115–118, 1995.
- Lapajne, J.K., Fajfar, P., Seismic hazard reassessment of an existing NPP in Slovenia, Nuclear Engineering and Design 175, 215–226, 1997.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Jalovišče Boršt - Verjetnostna ocena vršnega pospeška tal, Uprava RS za geofiziko, Ljubljana, 20 str., 1999.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Jalovišče Boršt – Verjetnostna ocena vršnega pospeška tal, Gradbeni vestnik 49, 171–184, 2000.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Verjetnostno ocenjevanje potresne nevarnosti pomembnih objektov v Sloveniji, Gradbeni vestnik 54, 69–77, 2005.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Probabilistic seismic hazard assessment methodology for distributed seismicity, Bull. Seism. Soc. Am. 93, 2502–2515, 2003.
- McGuire, R.K., Seismic Hazard and Risk Analysis, Second Monograph Series, MNO-10, Earthquake Engineering Research Institute, 2004.
- Reiter, L., Earthquake Hazard Analysis, Issues and Insights, Columbia U. Press, New York, 254 str, 1990.
- Risk Engineering, FRISK88 User's Manual, Version 1.2, Risk Engineering, Golden, 1988.
- SIS, Slovenski predstandard Eurocode 8: Projektiranje potresno odpornih konstrukcij, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2001.
- SZS, Pravilnik o tehničkih normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seizmičkim područjima, Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, 1985.
- Šket Motnikar, B., Lapajne, J., Negotovost verjetnostne ocene potresne nevarnosti pomembnih objektov, Gradbeni vestnik 54, 143–150, 2005.
- UL SFRJ, Pravilnik o tehničkih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, Uradni list SFRJ št. 31, 844–855, 1981.
- Zabukovec, B., OHAZ – A computer program for spatially smoothed seismicity approach. Proceedings of the Workshop Seismicity modeling in seismic hazard mapping, Poljče, Slovenia, May 22–24, 135–140, 2000.

# NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Primož Glavan**, Operativno planiranje izvajanja zemeljskih del pri projektih v cestogradnji, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor asist. dr. Aleksander Srdić

**Boštjan Jurak**, Sodobne metode za analizo nivojskih križišč – praktični primer krožno križišče Drnovo, mentor doc. dr. Tomaž Maher

**David Rajšter**, Armiranobetonska lupinasta konstrukcija hale A na Gospodarskem razstavišču v Ljubljani, mentor doc. dr. Boštjan Brank

**Tomaž Koretič**, Ureditev križišča na regionalni cesti R2-422 v Brestanici, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc

**Franc Turk**, Zasnova in lastnosti samozgoščevalnih betonov izdelanih z drobljenim agregatom iz kamnoloma Sveta Ana, mentor doc. dr. Violeta Bokan - Bosiljkov

**Borut Gruđen**, Individualne hišne čistilne naprave, mentor doc. dr. Jože Panjan

**Anton Šporin**, Analiza požarne odpornosti montažnih armiranobetonskih konstrukcij, mentor doc. dr. Igor Planinc, somentor asist. dr. Bojan Čas

**Rok Bohinc**, Pregled dejavnosti pri procesu graditve poslovnega objekta, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor asist. dr. Aleksander Srdić

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Samo Forca**, Metodologija za spremljavo in analizo časovnih zamud pri izvajanju projektov, mentor doc. dr. Jana Šelih, somentor asist. dr. Aleksander Srdić

**Gorazd Vrtnik**, Sistemi za ravnanje z okoljem v slovenski gradbenih podjetjih, mentor doc. dr. Jana Šelih

**Luka Zabret**, Sončna ovojnica, mentor doc. dr. Živa Kristl, somentor izr. prof. dr. Aleš Krainer

**Simon Detellbach**, Rekonstrukcija kretniškega območja na strani B Železniške postaje Ljubljana, mentor prof. dr. Bogdan Zgonc, somentor mag. Blagomir Černe

**Sašo Petan**, Bogatenje podtalnice ljubljanskega polja, mentor prof. dr. Mitja Brilly

**Luka Petrač**, Membranski bioreaktorji in njihova primerjava s SBR in PLUG-FLOW reaktorji, mentor doc. dr. Jože Panjan, somentor asist. dr. Mario Krzyk

**Jure Prestor**, Kalibracija standardov za dimenzioniranje gradbenih konstrukcij, mentor izr. prof. dr. Goran Turk

**Tomaž Fabčič**, Obdelava in uporaba blata iz komunalnih čistilnih naprav, mentor doc. dr. Jože Panjan

**Luka Javornik**, Študija primernosti polimernih malt za izdelavo kemijsko odpornih gradbenih izdelkov, mentor izr. prof. dr. Roko Žarnič, somentor Stane Pejovnik

**Blaž Grdina**, Vpliv staranja na mehanske lastnosti TRIMOFORM snegolovov iz umetnih mas, mentor izr. prof. dr. Roko Žarnič, somentor Franci Čepon

**Sebastjan Rozman**, Uporaba programa AQUATERRA za načrtovanje hidrotehničnih ureditev na vodotokih, mentor izr. prof. dr. Matjaž Četina, somentor dr. Gregor Petkovšek

**Maja Vaukan**, Povezava sladkovodnega ribogojstva z vodnim okoljem, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor mag. Leon Gosar

**Maja Kreslin**, Modeliranje konstrukcij stavb za potresne analize po EC 8, mentor prof. dr. Peter Fajfar, somentor asist. dr. Matjaž Dolšek

**Daniel Colnar**, Analiza opornega zidu v karbonskih klastitih, mentor doc. dr. Janko Logar, somentor viš. pred. mag. Ana Petkovšek

**Martin Bombač**, Hidravlična optimizacija natočnega dela pretočnih HE, mentor prof. dr. Franc Steinman

**Vladimir Mijatović**, Semantične spletne storitve, mentor prof. dr. Žiga Turk, somentor Etel Petrinja

**Dragica Tofant**, Koncept ureditve Savinje na odseku Ločica ob Savinji – Paržiže, mentor prof. dr. Franc Steinman

**Dejan Bogataj**, Predlog ureditve levega brega Save na območju Vrbine na bodoči akumulaciji HE Brežice, mentor izr. prof. dr. Matjaž Mikoš, somentor viš. pred. mag. Andrej Kryžanowski

**Jaka Dujc**, Prečne ojačitve v stojinah polnostenskih nosilcev, mentor prof. dr. Darko Beg

### MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Aleš Golja**, Varstvo okolja in možnosti rabe reke Soče za rekreacijske namene, mentor prof. dr. Mitja Brilly

**Moja Radakovič**, Načrtovanje cestne povezave na osnovi ranljivosti okolja, mentor izr. prof. dr. Ivan Janez Marušič, somentor doc. dr. Alojzij Juvanc

**Miloš Bajt**, Kvaliteta storitev javnega prevoza na primeru mestnega prometa v Ljubljani, mentor izr. prof. dr. Tomaž Kastelic, somentor doc. dr. Tomaž Maher

**Marko Gspan**, Tehnično ekonomska analiza stanja in predlog rehabilitacije vodovodnega omrežja, mentor izr. prof. dr. Boris Kompare, somentor doc. dr. Primož Banovec

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Andrej Barat**, Kontrola lastnosti hidroizolacijskih membran za izvedbo ravnih streh, mentor pred. Samo Lubej, somentor mag. Andrej Ivanič

**Gregor Filip**, Dvonnadstropna industrijska jeklena hala razpona 20 m, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor dr. Simon Šilih

**Andrej Jakopič**, Analiza sovprežnega cestnega mostu razpona 70 m iz materiala S 355 in C 40/50, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor mag. Uroš Klanšek

**Branko Jug**, Dvoetažna jeklena hala dimenzij 24 x 50 m z medetažno konstrukcijo iz prefabriciranih montažnih plošč, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor dr. Simon Šilih

**Boštjan Lavrenčič**, Geotehnično projektiranje in izvedba podpornih sistemov v praksi, mentor izr. prof. dr. Stanislav Škrabl, somentor red. prof. dr. Ludvik Trauner

**Darjan Vesenjok**, Navigacijsko – komunikacijski sistem pri vzdrževanju avtocest, mentor izr. prof. dr. Tomaž Tollazzi, somentor doc. dr. Boštjan Kovačič

**Ivan Vrtačnik**, Strukturiranje podatkov in uporaba OLE tehnologije pri izdelavi aplikacij, mentor red. prof. dr. Danijel Rebolj

**Bojan Vučko**, Izbor razreda prereza in analiza sovprežnega cestnega mostu razpona 80 m, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor dr. Simon Šilih

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Damijan Krajnc**, Uporaba geostatističnih metod pri določanju geološke sestave tal, mentor red. prof. dr. Danijel Rebolj

**Tomaž Slokan**, Viseči jekleni most razpona 100 m, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor dr. Simon Šilih

**Miha Štucin**, Računska analiza in primerjava dveh različnih sovprežnih stropnih sistemov tipa slim floor, mentor izr. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor mag. Uroš Klanšek

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

# KOLEDAR PRIREDITEV

**5.11. - 10.11.2005**

**12th World Congress on ITS**

San Francisco, ZDA  
www.itsworldcongress.org  
ntpsales@ntpshow.com

**15.11. - 16.11.2005**

**Bridge Engineering**

Rotterdam, Nizozemska  
www.bridgeneering.com  
info@briskevents.nl

**22.11. - 25.11.2005**

**12th World Water Congress**

New Delhi, Indija  
www.cbip.org  
cbip@cbip.prg

**30.11. - 2.12.2005**

**10. kolokvij o asfaltih in bitumnih**

Hotel Kompas, Kranjska gora, Slovenija  
www.zdruzenje-zas.si  
info@zdruzenje-zas.si

**6.12. - 7.12.2005**

**Road Expo London**

London, Anglija  
www.road-expo.com  
roadexpo@fav-house.com

**11.12. - 14.12.2005**

**International Conference on Science and Technology of Composite**

Buenos Aires, Argentina  
www.comat.fi.mdp.edu.ar  
comat@fi.mdp.edu.ar

**12.12. - 15.12.2005**

**Gulf Traffic**

Dubaj, Združeni Arabski Emirati  
www.gulfrtraffic.com  
davyd.farrell@iirme.com

**8.3. - 9.3.2006**

**Road Expo Ireland**

Dublin, Irsko  
www.road-expo.com  
roadexpo@fav-huse.com

**12.3. - 15.3.2006**

**Roadex 2006**

Abu Dhabi, Združeni Arabski Emirati  
www.roadex-uae.ae  
roadex@gec.ae

**22.3. - 25.3.2006**

**Holz-Handwerk 2004**

Nürnberg, Nemčija  
www.nuernbergmesse.de

**2.4 - 6.4.2006**

**4th International Conference on Unsaturated Soils**

Carefree, Arizona, ZDA  
www.asce.org/conferences/unsat06/

**18.5 - 21.5.2006**

**2006 Structures Congress**

St. Louis, Missouri, ZDA  
www.asce.org/conferences/structures2006/17/

**21.5. - 24.5.2006**

**International conference on BRIDGES**

Dubrovnik, Hrvaška  
secon@grad.hr

**4.7. - 7.7.2006**

**Infrastructure Facilities Asia 2006**

Singapur  
www.infrastructure-asia.com  
enquiry@hqinterfama.com

**4.7 - 7.7.2006**

**Intertraffic Amsterdam 2006**

Amsterdam, Nizozemska  
www.amsterdam.intertraffic.com  
intertraffic@rai.nl

**4.8 - 6.8.2006**

**International Conference on Physical Modelling in Geotechnics 2006**

Hong Kong, Hong Kong  
www.icpmg2006.ust.hk/onlineSubmission.htm  
stse@ust.hk

**6.8. - 10.8.2006**

**WCTE 2006**

**World Conference on Timber**

Portland, Oregon, ZDA  
www.alexschreyer.de/eng/w\_conf.htm  
jamie.legoe@oregonstate.edu

**14.8 - 17.8.2006**

**STESSA 2006**

**Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas**

Yokohama, Japonska  
www.serc.titech.ac.jp/stessa2006/  
wada@serc.titech.ac.jp

**29.8. - 1.9.2006**

**12th European Conference on Composite Materials**

Biarritz, Francija  
www.paginas.fe.up.pt/ECCM12/  
eccm12@lcts.u-bordeaux1.fr

**13.9. - 15.9.2006**

**IABSE Symposium on**

**Responding to Tomorrow's Challenges in Structural Engineering**

Budimpešta, Madžarska  
www.iabse.hu  
iabse@asszisztencia.hu

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

