

# Gradbeni vestnik • GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN

TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH

INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICI SLOVENIJE

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, marec 2005, letnik 54, str. 57-84

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovska 3, 1000 Ljubljana, telefon/faks 01 422 4622 v sodelovanju z Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS), ob podpori Ministrstva RS za šolstvo, znanost in šport, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani in Zavoda za gradbeništvo Slovenije

Izdajateljski svet:

ZDGITS: mag. Andrej Kerin  
izr. prof. dr. Matjaž Mikoš  
Jakob Presečnik

MSG IZS: Gorazd Humar

mag. Črtomir Remec

doc. dr. Branko Zadnik

FGG Ljubljana: doc. dr. Marijan Žura

FG Maribor: Milan Kuhta

ZAG: prof. dr. Miha Tomaževič

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristjan Juteršek

Lektorica:

Alenka Raič Blažič

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Anka Holobar

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

3000 izvodov

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na <http://www.zveza-daits.si>.

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 5500 SIT; za študente in upokojence 2200 SIT; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 40.687,50 SIT za en izvod revije; za naročnike iz tujine 100 USD. V ceni je vstet DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:  
02017-0015398955

## 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 presledki med vrsticami.
- Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.
- Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako ali je članek strokoven ali znanstven; nazive, imena in priimke avtorjev ter njihove naslove; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY, in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ..., naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so dodatki označeni še z A, B, C, itn.
- Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni.
- Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.
- Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
- Kot decimalno ločilo je treba uporabiti vejico.
- Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.
- V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko okrajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
- Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
- Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA oz. janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v enem izvodu na papirju in v elektronski obliki v formatu MS WORD in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo

# Vsebina • Contents

## Jubilej

prof. dr. Mitja Rismal, starosta slovenskih inženirjev zdravstvene hidrotehnike, 75-letnik

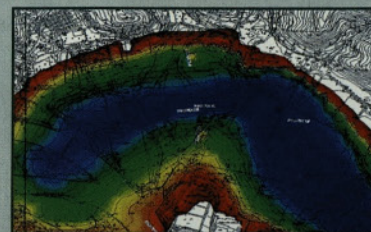
## Popravek

## Članki • Papers

stran 61

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.,  
mag. Irena Kopač

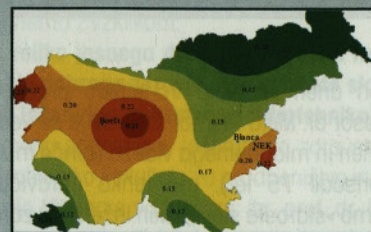
**MARIBORSKA PITNA VODA JE BREZ PESTICIDOV IN NITRATOV**  
DRINKING WATER OF THE CITY OF MARIBOR IS WITHOUT  
PESTICIDES AND NITRATES



stran 70

dr. Janez Lapajne, univ. dipl. inž. fiz.,  
dr. Barbara Šket Motnikar, univ. dipl. inž. mat.

**VERJETNOSTNO OCENJEVANJE POTRESNE NEVARNOSTI  
POMEMBNIH OBJEKTOV V SLOVENIJI**  
PROBABILITY SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF IMPORTANT  
STRUCTURES IN SLOVENIA



stran 79

Radovan Kotnik, univ. dipl. inž. grad.,  
Drago Kristan, univ. dipl. inž. str.,  
Barbara Mušič, univ. dipl. inž. grad.

**RUŠENJE MOSTU ČEZ REKO KRKA PRI ČATEŽU**  
DEMOLITION OF BRIDGE OVER RIVER KRKA NEAR ČATEŽ



## Novi diplomanti gradbeništva

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

## Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Prva polovica novega mostu čez Krko pri Čatežu, foto Arhiv Gradis,  
Gradbeno podjetje Ljubljana d. d.

## JUBILEJ

### Prof. dr. Mitja Rismal, starosta slovenskih inženirjev zdravstvene hidrotehnike, 75-letnik



V teh dneh je svojo 75-letnico praznoval profesor dr. Mitja Rismal. Čeprav je še vedno živahen in mladostnega videza (nihče mu ne bi prisodil 75 let), mu lahko upravičeno rečemo »starosta slovenskih inženirjev zdravstvene hidrotehnike«. Ni ga namreč slovenskega vodarja, ki ga ne bi poznal in mu priznaval njegove veličine, tako duha in srca kot širine in globine njegovih strokovnih izkušenj.

Naš starosta se je rodil 5. februarja 1930 v Slovenski Bistrici v učiteljski družini. Odraščal je v burnih medvojnih in vojnih časih, kar je tudi pustilo pečat njegovi borbenosti in želji po resnici. Osnovno šolo je obiskoval do tretjega razreda v Slovenski Bistrici, nato pa v Ljubljani, kjer je do l. 1944 obiskoval tudi gimnazijo. Takoj po okupaciji se je vključil v Osvobodilno fronto, leta 1944 pa je kot 14-letni fant odšel v partizane. V tem času je prekinil šolanje na gimnaziji, končal vojaški podoficirski tečaj in pozneje še obveščevalnega. Po osvoboditvi je končal gimnazijo in maturiral l. 1948 v Ljubljani. Tega leta se je vpisal tudi na gradbeni oddelek Tehniške fakultete v Ljubljani. Udeleževal se je mladinskih delovnih akcij po vsej državi. Leta 1951 je bil odlikovan z medaljo zasluge za narod. Diplomiral je leta 1957 na gradbeni fakulteti v Ljubljani.

Kot mlad inženir se je prof. Rismal najprej zaposlil pri Vodni skupnosti v Murski Soboti, leta

1958 pa je šel h Komuna-projekt v Maribor, kjer je delal kot projektant v hidrotehniki. Leta 1967 je s skupino sodelavcev ustanovil »Biro za hidrotehniko« pri Zavodu za urbanizem v Mariboru – ZUM, kjer je bil najprej vodja in pozneje direktor. Skozi svoje angažirano delo je spoznal, da je potrebno znanje stalno nadgrajevati in težiti za odličnostjo. Zaradi velikih strokovnih izzivov in izražene želje po kakovostnem znanju, tako v širino kot v globino, se je prof. Rismal v šolskem letu 1968/69 vpisal in opravil podiplomski študij iz sanitarnega inženirstva na Tehnološki fakulteti v Delftu na Nizozemskem. Leta 1973 je na gradbeni fakulteti v Zagrebu izdelal magistrsko nalogo in po nostrifikaciji podiplomskega študija v Delftu dosegel naziv magistra – specialista s področja sanitarne hidrotehnike. Leta 1977 je uspešno zagovarjal doktorsko disertacijo na Gradbeni fakulteti Univerze v Zagrebu.

V letih 1960–1978 je prof. Rismal predaval na VTŠ v Mariboru predmeta Vodovod in kanalizacija ter Hidravlika. Leta 1978 je bil izvoljen za izrednega profesorja, leta 1983 pa za rednega profesorja na Univerzi v Ljubljani, FAGG. Od leta 1980 do upokojitve l. 1997 je bil zaposlen na Inštitutu za zdravstveno hidrotehniko IZH, kjer je predaval predmete Vodovod, Osnove čiščenja voda ter Čiščenje pitnih voda na univerzitetnem dodiplomskem študiju ter Varstvo okolja na višješolskem študiju. Predaval je tudi na podiplomskem študiju hidrotehnične smeri FAGG. Svoje bogato in plodno tako teoretično kot praktično znanje je predano posredoval študentom, diplomantom, magistrantom ter doktorandom in nenehno vzgajal kader mlajših sodelavcev. Bil je mentor ali somentor pri številnih diplomskih nalogah, 12 magistrantom in 3 doktorandom. Večino teh let je bil tudi predstojnik Inštituta za zdravstveno hidrotehniko na FAGG oz. FGG.

Po upokojitvi se prof. Rismalov iskrivi, raziskovalni in kritični duh ni prepustil »upokojskim užitek«. Še vedno redno prihaja med svoje bivše sodelavce, še vedno je poln idej in projektov, še vedno rad svetuje in priskoči na pomoč, tako sodelavcem kot tudi študentom.

Prof. Rismal še vedno sledi svojim življenjskim načelom in se še vedno bojuje za pravico, za

inženirsko oz. strokovno etiko, za družbeni blagor ... In zato je, priznajmo, še vedno marsikomu trn v peti. Ampak to je tudi usoda vseh pokončnih ljudi! In prav zaradi tega njegovega vztrajanja in angažiranega dela za stroko, za ekonomičnost in za pravičnost mu gre naslov »starosta slovenskih inženirjev zdravstvene hidrotehnike«.

Če poskusimo na kratko prikazati in zaokrožiti prispevke prof. Rismala, staroste slovenskih inženirjev zdravstvene hidrotehnike, ugotovimo, da je njegovo delo tako široko in obsežno, da bi ga težko opisali celo v daljšem eseju. Zato je zelo težko dovolj popolno in kakovostno na kratko v časopisni kolumni predstaviti vso pestro raziskovalno in strokovno delo prof. Rismala. Naj nam bo oproščeno, če smo v nadaljevanju izpustili kakšno pomembno dejstvo.

Prof. Rismal je bil izredno samodiscipliniran in angažiran aplikativni raziskovalec na področju zdravstvene hidrotehnike, ki ji je z vsemi svojimi močmi in znanjem želel dati tisto mesto v slovenskem prostoru, ki ji objektivno pripada. Zato je z veliko angažiranostjo na najtežjih nalogah sanacij vodnega okolja v Sloveniji kot prvi vpeljal inženirske matematične metode in modele za reševanje teh problemov. Naj pri tem omenimo najprej saniranje Blejskega jezera z uvedbo sodobnih limnoloških metod matematičnega modeliranja in objektivne presoje med površinskim dovodom sveže vode in odvzemom »zagnite« hipolimnijske vode z natego, ki je bila tudi izvedena in dokazano uspešna. Prav tako je vpeljal sodobne modele in rešitve za zaščito in bogatenje podtalnice Vrbankega platoja, kar je tudi izvedeno in zagotavlja Mariboru nemoteno oskrbo z zdravim pitno vodo in zaščito pred onesnaženjem z območja mesta. Za čistilni napravi za pitno vodo v Ljutomeru in Ormožu je zasnoval pilotske poiskuse za eliminacijo amonijaka, železa in mangana iz podtalnice z angažiranjem naravnih samočistilnih procesov v podzemlju, ki so se pokazali kot zelo učinkoviti, tako v tehnološkem kot v ekonomskem pogledu. Na področju vodarskega inženirstva, konkretno aplikativne limnologije, je uvedel v naš prostor metode matematičnega modeliranja kakovosti rečnih in zajezenih voda z uporabo matematičnih

modelov za presojo možnih kakovostnih sprememb Save, Mure in Soče zaradi izgradnje hidrocentral. Modeli omogočajo presojo sprememb kakovosti zajezene vode v bodočih vodnih akumulacijah, kar je pomembno za presojo širših ekoloških posledic zajezitev, še posebej pa, kadar gre za uporabo zajezene vode za pitno vodo, npr. akumulacija Padež.

Poleg navedenih je prof. dr. Rismal realiziral blizu 40 večjih študij in projektov. Naj omenimo le najpomembnejše. Kot prvo lahko navedemo Analizo in določitev potrebnih varnostnih ukrepov za zaščito podtalnice zaradi izkopa gramoza pod gladino talne vode do neprepustne podlage v Hočah. Za ČN (čistilno napravo) odpadnih vod Žalca in okolice v Kasazah je uvedel sodobno tehnološko rešitev z zaključenim cevnim reaktorjem s simultano nitrifikacijo in denitrifikacijo ter aerobno stabilizacijo blata. Sodeloval je pri študiji Ekološko in agronomsko smotrne uporabe gnojevke z velikih prašičjih farm v Sloveniji. Kot prvi v Sloveniji je izdelal tehnološko rešitev III. stopenjskega čiščenja odpadnih voda Rogaške Slatine (eliminacija dušikovih in fosforjevih spojin) za zaščito Vonarskega jezera. Izdelal je hidrološko študijo in limnološki model za načrtovano vodno akumulacijo Padež za preskrbo slovenske obale s pitno vodo ter v okviru jugoslovansko-avstrijske mednarodne komisije, ki obravnava energetska izrabo zajezene Bistrice na slovensko-avstrijski meji, izdelal limnološki model kakovosti v zajezeni vodi. Obe študiji prispevata k pravočasnemu upoštevanju in preprečevanju

možnih negativnih posledic obeh akumulacij na kakovost pitne vode (Padež) oziroma na širše okolje (Bistrica). Kot odgovorni projektant je realiziral deset komunalnih čistilnih naprav (Murska Sobota, Radenci, Črna na Koroškem, Moravci, Rače, Slivnica, Ptuj, Benkovac v Dalmaciji, Dobrna, Beltinci, Ptuj).

Na področju urbane hidrologije je s sodelavci uveljavil sodobne matematične modele, ki omogočajo racionalnejše reševanje odvodnje urbanih površin. Poleg optimiziranih rešitev kanalskih omrežij v Mariboru, Celju, Murski Soboti itd. v preteklosti je v letu 1988 opazen strokovni prispevek k preprečevanju katastrofalnih poplav v Novi Gorici, ki omogoča v primerjavi s konvencionalnimi rešitvami zelo velike prihranke.

Svoje aplikativne rešitve je prof. Rismal prej teoretično dobro premislil. Preučil je tudi poznane rešitve podobnih primerov po svetu in izdelal svoje, v veliko primerih inovativne rešitve. Iz te kombinacije tudi izhaja obširno strokovno publicistično delo, saj je objavil preko 40 člankov doma in v tujini.

Veliko nerazumevanje nekaterih strokovnih in političnih krogov za interdisciplinarni aplikativni pristop k reševanju perečih ekoloških problemov s področja zdravstvene hidrotehnike ga je na eni strani jezilo, na drugi strani pa vzpodbujalo. Nikakor se ni strinjal s tisto "stroko" in sprejetimi rešitvami, ki zagovarjajo parcialne rešitve in prekomerno porabljanje družbenih sredstev za reševanje teh problemov. Želel si je, da bi zdravstvena hidrotehnika, ki ima po svetu že

več kot 150-letno, pri nas pa več kot 50-letno tradicijo za oskrbo in zaščito zdrave pitne vode, imela tisto mesto v reševanju in odločanju, ki ji gre. Zato moramo omeniti njegovo veliko publicistično angažiranost v slovenski pisnih medijih, kjer je z objektivnimi, natančnimi, nekompromisnimi in doslednimi argumenti branil svoja stališča in stališča zdravstvene hidrotehnike. Tako se tudi po upokojitvi še živo zanima za vsa dogajanja na področju hidrotehnike in še vsak dan z nezmanjšanim delovnim zagonom prihaja in dela na hidrotehnični smeri.

Prof. dr. Mitja Rismal se je s svojimi originalnimi prispevki z vidika aplikativnih in raziskovalnih problemov, njihovih rešitev in realizacij zapisal v slovenski prostor kot pionir v reševanju najzahtevnejših sodobnih zdravstveno hidrotehničnih in ekoloških problemov s področja zaščite voda, ki zahtevajo interdisciplinarno znanje in uporabo sodobnih matematičnih modelov. Tudi zato prof. Rismala zaslužno kličemo starosta slovenskih inženirjev zdravstvene hidrotehnike.

Naj to predstavitev našega spoštovanega in cenjenega prof. Rismala ob njegovi 75-letnici sklenemo z vzklikom:

**Še veliko jasnega duha, ustvarjalnih trenutkov in dobrega zdravja, naš starosta slovenskih inženirjev zdravstvene hidrotehnike!**

V imenu sodelavcev Inštituta za zdravstveno hidrotehniko Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani: izr. prof. dr. Boris Kompare, univ. dipl. inž. grad. in doc. dr. Jože Panjan, univ. dipl. inž. grad.

## POPRAVEK

Bralec Gradbenega vestnika gospod Marko Cvahte, inž. grad. iz Slovenske Bistrice, nas je opozoril, da je v članku F. Maleinerja, Prvo vakuumsko omrežje v Sloveniji, kar na 31 mestih namesto **v svetovnem, na nemškem, na angleškem, v tem, pri spodnjem, pri gravitacijskem...** nepravilno napisano **v svetovnemu, na nemškemu, na angleškemu, v temu, pri spodnjemu, pri gravitacijskemu...** Lektorica in urednik se opravičujeta vsem bralcem, ker sta prezrla tolikokrat ponovljeno napako, gospodu Cvahtetu pa se zahvaljujeta za opozorilo.

# MARIBORSKA PITNA VODA JE BREZ PESTICIDOV IN NITRATOV

## DRINKING WATER OF THE CITY OF MARIBOR IS WITHOUT PESTICIDES AND NITRATES

■ **prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.**      **Strokovni članek** UDK 628.112+628.32

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,  
Hajdrihova 28, 1000 LJUBLJANA

**mag. Irena Kopač**

Inštitut za ekološki inženiring IEI,  
Ljubljanska ul. 6, 2000 Maribor

**Povzetek** | V prispevku je opisana "aktivna" zaščita pitne podtalnice s pomočjo bogatenja z obrežnim filtratom reke Drave. Bogatenje podtalnice združuje več koristnih lastnosti: kapaciteta črpališča ni odvisna od padavin, z bogatenjem ustvarjena "vodna zavesa" pa varuje črpno podtalnico pred onesnaženjem pod bližnjim mestom. Ker obrežni filtrat nima pesticidov in le malo nitratov, ima enake lastnosti tudi obogatena podtalnica. Zaradi možne kontrole kakovosti obrežnega filtrata pred bogatenjem je varnost pitne podtalnice pred onesnaženjem večja kot pri klasičnih zaščitnih pasovih, potrebna velikost strogo zaščitene površine pa je mnogo manjša. Zaradi bližine mesta so investicijski in pogonski stroški za pitno vodo manjši od stroškov za onesnaženju izpostavljeno podtalnico Dravskega polja.

**Summary** | The paper describes the artificial groundwater recharge as an "active protection" of drinking groundwater. The artificial recharge with the bank filtrate of the river Drava combines several useful properties: the "Water-curtain" formed by infiltration protects the drinking groundwater against the pollution from below of the city. The capacity of wells does not depend on dry weather periods of the year. Because the bank filtrate is low in nitrates and without pesticides, the drinking water has the same properties. Because of the possibility to control the quantity and quality of the bank filtrate before it is infiltrated, the smaller size of strict protection areas is the additional advantage against the conventionally determined protection zones. Investment and operation costs are lower as for the 20 km far away groundwater wells on Dravsko polje.

### 1 • UVOD

Zaradi naglega razvoja Maribora po drugi svetovni je bilo potrebno povečati zmogljivost mestnega vodovoda, ki je bil zgrajen že za časa stare Avstro-ogrske monarhije. Zaradi kritičnega pomanjkanja pitne vode v letih 1956–59 so v neposredni bližini mesta na Vrbanskem platoju (slika 1) po nasvetu dipl. ing. Guzelja, tedanjega vodje Oddelka za zdravstveno hidrotehniko na Republiškem za-

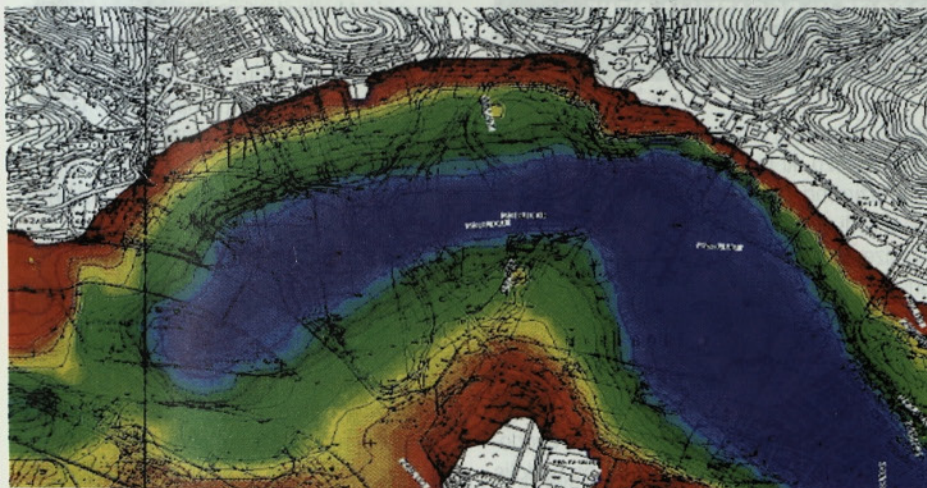
vodu za zdravstveno varstvo v Ljubljani, zgradili preizkusni ca. 40 m globok betonski vodnjak s "pogrezanjem". Preizkusno črpanje vodnjaka 90 l/s in hidrogeološki posnetek vodonosnika sta pokazala, da se iz vodnjaka črpa obrežni filtrat Drave, ki teče po ca. 400 m širokem vodonosniku od Mariborskega otoka pod Vrbanskim platojem in pod mestom, kjer se ponovno izliva v Dravo,

deloma pa pod njo napaja podtalnico na desnem bregu Drave (slika 2).

Hidrogeološka analiza podtalnice pa je pokazala, da je mogoče na Vrbanskem platoju z izgradnjo novih vodnjakov povečati inducirano infiltracijo Drave in s tem zmogljivost podtalnice, ki je napajala izgrajeni vodnjak na Vrbanskem platoju, na ca. 360 l/s do 400 l/s. Za to zmogljivost je bil v letih 1965–67 izdelan načrt črpališča na Vrbanskem platoju z linijo osmih vodnjakov po 50 l/s. Njihova izgradnja pa je sledila porabi pitne vode (Rismal, 1999), (Rismal, 2000).



Slika 1 • Območje črpališča na Vrbanjskem platoju med Mariborskim otokom in mestom s črpalnimi vodnjaki (na zelenem polju med ornimi površinami) in čistilno napravo desno od hipodroma v dolini Vinarskega potoka



Slika 2 • Podtalnica v ca. 400 m širokem koritu vodonosnika pod Mariborskim otokom, Vrbanjskim platojem in Mariborom

Za dolgoročno preskrbo Maribora in njegovega širšega zaledja s pitno vodo je bila sicer na voljo tudi podtalnica Dravskega polja, obrežni filtrat Drave pri Selnici ob Dravi in vode pohorskih potokov.

Zdravstveno-hidrotehnična presoja pa je pokazala naslednje lastnosti in prednosti obrežnega filtrata na Vrbanjskem platoju:

a) Kakovost pitne vode je ustrezala predpisom.

b) Zaradi bližine mesta so bili v primerjavi z drugimi vodnimi viri investicijski in pogonski stroški mnogo nižji. Predvsem pa je bila, spričo pomanjkanja denarja, začetna investicija v glavni cevovod minimalna.

c) Podtalnico napaja obrežni filtrat iz Drave, zato njena izdatnost ni odvisna od padavin

(sušna obdobja), kot so pohorski potoki in podtalnica Dravskega polja.

d) Z infiltracijo (umetnim bogatenjem podtalnice – artificial groundwater recharge) predhodno očiščenega obrežnega filtrata oz. ustvarjeno vodno zaveso je mogoče preprečiti vdor onesnažene podtalnice pod mestom v vodonosnik na ožjem vodovarstvenem območju VVO I črpališča (slika 3). S kontrolo kakovosti in količine infiltrirane vode je tako zagotovljena visoka stopnja zaščite kakovosti in količine črpane pitne vode. Opisani način zaščite smo poimenovali "aktivna zaščita podtalnice".

e) Prednost aktivne zaščite je, da pri enaki površini ožjega varovanega območja VVO I omogoča povečanje zmogljivosti črpališča od 400 l/s na 800 l/s in več. Zaradi visoke stopnje varnosti, ki je zagotovljena na VVO I, pa je mogoče zmanjšanje (odvisno od lokalnih pogojev tudi opustitev) sicer predpisanih varnostnih območij VVO II, III in IV, ki so glede rabe prostora bolj ekstenzivni, zaradi načina varovanja pa delujejo bolj pasivno.

f) Uporaba aktivne zaščite lahko prispeva tudi k bolj racionalni rabi prostora.

Zajetje podtalnice na Dravskem polju (območje Dravskega dvora) bi zahtevalo dolg transportni cevovod in večje stroške črpanja. Zaradi onesnaževanja iz kmetijstva, prometa, industrije in naselij pa podtalnica ni varna pred onesnaženjem.

Zaradi oddaljenosti bi bila dražja tudi uporaba obrežnega filtrata iz območja Selnice ob Dravi, ki ima sicer enako kakovost in podobne hidrogeološke lastnosti kot podtalnica na Vrbanjskem platoju.



Slika 3 • Inducirana (naravna) obrežna infiltracija Drave v vodonosnik pred umetnim bogatenjem

Uporaba pohorskih potokov pa zahteva izgradnjo drage akumulacije za letno izravnavo dotokov in porabe vode, čiščenje in povečanje karbonatne trdote, te zelo mehke in zato za zdravje manj primerne površinske vode.

Poleg opisanih lastnosti "aktivne zaščite podtalnice" je značilnost obravnavanega projekta tudi, da se za bogatenje namesto sicer potrebnega dražjega fizikalno-kemičnega čiščenja dravske vode izkoristi

naravna "samočistilna" sposobnost obrežne filtracije.

Upravičenost aktivne zaščite, čeprav še vedno ni dokončana, je pokazalo onesnaženje podtalnice (1991–93) s trihalometani.

## 2 • LASTNOSTI IN UPORABA OBREŽNE FILTRACIJE V SVETU

Izkoriščanje obrežnega filtrata za pitno vodo ima že dolgo zgodovino. Za velika mesta, kot so Wiesbaden, Düsseldorf, Berlin, Dresden, Köln, Zürich itd. je obrežna filtracija rečne vode nezamenljiv način preskrbe s pitno vodo. Pri filtraciji rečne vode preko brežine in rečnega dna ter obrežnega vodonosnika prispevajo k visokemu učinku čiščenja predvsem naslednji dejavniki in procesi:

- V sloju fino granuliranega sedimenta na dnu in brežinah reke se nahaja neskončna množica mikroorganizmov, ki razgradijo širok spekter organskega, bakteriološkega in kemijskega onesnaženja v rečni vodi.
- Filtracijski in precejalni učinek sedimenta na rečnem dnu in brežinah.
- Adsorpcijske lastnosti sedimenta in obrežnega vodonosnika.

- Bilanca kisika v obrežnem filtratu in njen vpliv na biokemične oksidacijsko-redukcijsko razgradnjo organskega onesnaženja.

- Vpliv razredčenja onesnaženja zaradi različne dolžine filtracijskih poti vode do obrežnih vodnjakov.

Po teh naravnih fizikalnih in biokemičnih procesih lahko primerjamo obrežno filtracijo s počasnimi biološkimi filtri. Prednost obrežne filtracije pred dražjimi počasnimi filtri ali fizikalno-kemičnimi postopki čiščenja rečne vode je v manjših investicijah in predvsem v tem, da poteka povsem samodejno (Huisman, 1976).

## 3 • ZASNOVA IN ETAPNA IZGRADNJA ZAŠČITE IN BOGATENJA PITNE PODTALNICE

### 3.1 Kakovost obrežnega filtrata iz vodnjakov na Mariborskem otoku

Uporaba "aktivne zaščite" podtalnice zahteva dovolj kakovostno primerne vode. Slednje je pomembno predvsem v obravnavanem primeru, ko je bogatenje mogoče le preko negativnih vodnjakov. Ti bi se ob neprimerni kakovosti vode prehitro mašili. Na Mariborskem otoku doseže dravska voda že na 20 do 40 m dolgi filtracijski poti do obrežnih vodnjakov kakovost pitne vode (preglednica 1) v fizikalnem, kemijskem in celo v bakteriološkem

smislu. Izjema je le manjša prisotnost mangan in železa, ki je posledica anoksičnih razmer oziroma porabe kisika pri oksidaciji v rečni vodi prisotnih organskih snovi. Analize obrežnega filtrata tudi ne kažejo na prisotnost Cryptosporidija, Giardije lamblie in Entamoebae histolytike. V nasprotju s podtalnico na Dravskem polju pa je obrežni filtrat tudi brez pesticidov. Vsebnost nitratov 2 do 3 mg/l pod dopustno mejo 10 mgN/l pa je mnogo nižja. Po bogatenju se z zadrževanjem v vodonosniku kakovost rečnega filtrata še nadalje

boljša, (naturalizira) temperaturne razlike pa izravnavajo. Meritve temperature obrežnega filtrata, podtalnice na desnem bregu Drave in dravske vode ter hidravlični model podtalnice kažejo, da je pri nizkih temperaturah Drave v črpanem filtratu ca. 70 % dravske vode in 30 % podtalnice iz desnega brega. Poleti pa je zaradi toplejše Drave njen delež večji, nevarnost pesticidov iz desnega brega pa manjša.

Zato problem pesticidov v izvedeni etapi projekta zaenkrat še ni popolnoma rešen, čeprav jih črpšana pitna voda ne vsebuje ali pa so pod dopustno mejo. Vendar pa je v primeru nevarnega onesnaženja Drave ali pojava pesticidov v obrežnem filtratu to mogoče pravočasno ugotoviti in z ustreznimi ukrepi na čistilni napravi onesnaženje odstraniti, v izjemnih primerih pa z infiltracijo začasno prenehati.

Tudi pri večjem onesnaženju reke se le-to v obrežnem filtratu zaradi hitrega toka reke samočistilnih lastnosti obrežne filtracije in razredčenja močno zmanjša. Mednarodne izkušnje in štiridesetletne izkušnje črpališča na Vrbanškem platuju to potrjujejo. V več kot 40 letih črpanja obrežnega filtrata Drava ni povzročila niti enega poslabšanja kakovosti pitne vode. Nasprotno pa je v tem obdobju onesnažena podtalnica pod mestom povzročila kar dve močni onesnaženji s šest-valentnim kromom in s trihalometani.

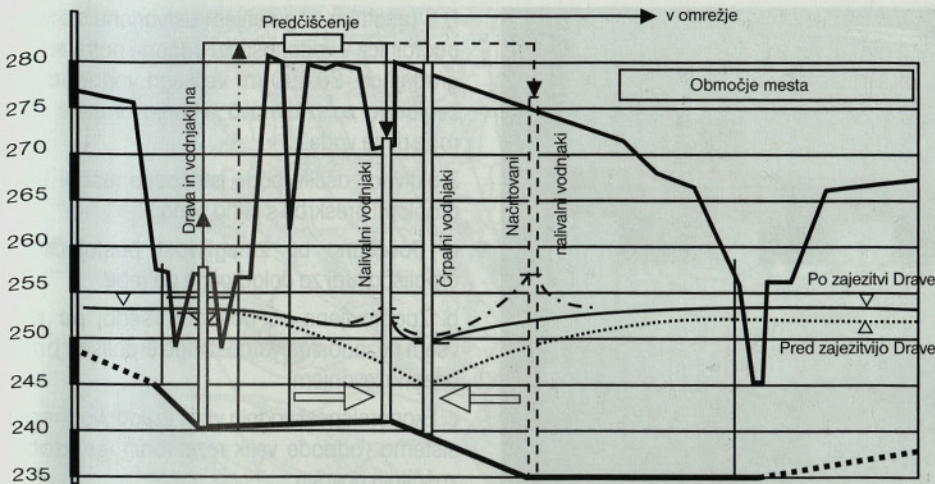
### 3.2 Kratek opis rešitve

Slika 1 prikazuje lego črpališča na Vrbanškem platuju v neposredni bližini mesta. Na slikah 2, 4 in 5 je prikazan koncept in časovni potek izvedbe načrtovane aktivne zaščite in povečanja zmogljivosti črpališča na

Lastnosti in koncentracija snovi	Enota	Drava	Obrežni filtrat	Lastnosti in koncentracija snovi	Enota	Drava	Obrežni filtrat
Temp. vode	°C	17,10	15,60	K	mg/l	1,8	2,3
pH		7,8		Mn	mg/l	<0,005	0,13
El. prevodnost	S/cm	230	295	Fe	mg/l	0,05	0,05
Kisik O <sub>2</sub>	mg/l	8	0,5	Mineralna olja	mg/l	<0,006	<0,006
KMnO <sub>4</sub> , kot O <sub>2</sub>	mg/l	1,0	0,5	AOX	g/l	<2	<2
TOC	mg/l	2,8	2,6	Cu	µg/l	1	<1
NH <sub>4</sub>	mg/l	<0,01	<0,01	Zn	µg/l	5	12
NO <sub>2</sub>	mg/l	0,023	<0,007	Cd	µg/l	<0,2	<0,2
NO <sub>3</sub>	mg/l	2,7	<2,2	Supni Cr	µg/l	<2	<2
SO <sub>4</sub>	mg/l	20	21	Ni	µg/l	2,6	<1
Cl	mg/l	2,5	3,0	Pb	µg/l	<1	<1
PO <sub>4</sub>	mg/l	0,037	<0,015	Skupni fenoli	µg/l	<1	<1
Na	mg/l	2,70	3,50	Skupni pesticidi	µg/l	-	-

Preglednica 1 • Kakovost Drave in obrežnega filtrata (Povzetek kemičnih analiz Drave in obrežnega filtrata 10. 8. 2000. Zavod za zdravstveno varstvo Mb. institut za varstvo okolja)





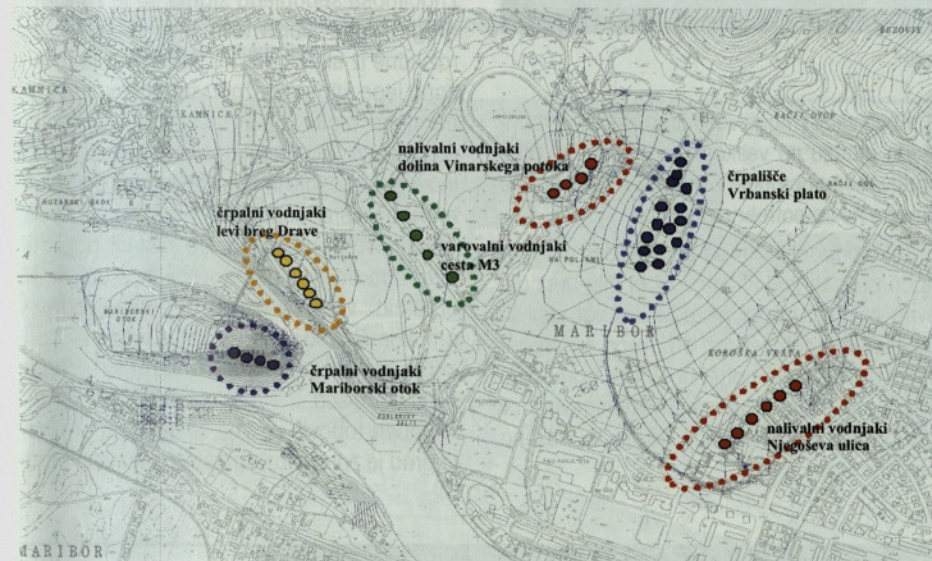
Slika 4 • Potek gladine podtalnice pred bogatenjem (pikčasta črta), sedanje (polna črta) in končno načrtovano stanje (črta pika črta)

Najnižja gladina podtalnice prikazuje razmere pred bogatenjem in pred energetske zajezitve Drave. Srednja depresijska gladina predstavlja današnje razmere, to je, po izgradnji prve faze bogatenja z nalivalnimi vodnjaki ob čistilni napravi zahodno od črpalnih vodnjakov (slika 6). Najvišja gladina pa kaže končno načrtovano stanje, ko bodo nalivalni vodnjaki zgrajeni tudi vzhodno od črpalnih vodnjakov (slika 5).

Za črpanje in pripravo obrežnega filtrata pred infiltracijo so načrtovani 4 vodnjaki na Mariborskem otoku, tlačni cevovod in čistilna naprava že zgrajeni. Čistilna naprava je usposobljena za odstranjevanje finih frakcij vodnjaškega peska, za prezračevanje vode pred infiltracijo in za odstranjevanje železa in mangana ali drugega onesaženja vode na peščenih filtrih. Za primer večjih onesaženj Drave in obrežnega filtrata je v čistilni napravi (slika 6) predvidena še možnost uporabe koagulacije s kosmičenjem, ozoniranja vode in dodajanja aktivnega oglja v prahu. Zaradi konstante kakovosti obrežnega filtrata pa so navedeni postopki čiščenja pripravljeni le v gradbenem pogledu.

**Uporabljajo se naslednji postopki čiščenja:**

1. Eliminacija suspendiranih snovi v lamelnem usedalniku, predvsem finega peska, za preprečevanje mašenja negativnih – infiltracijskih vodnjakov.
2. Nasičenje vode s kisikom na vodnih kaskadah za potrebe bogatenja in za oksidacijo železa in mangana (slika 7).



Slika 5 • Tokovnice načrtovane aktivne zaščite za 700 do 800 l/s črpane podtalnice

Vrbanškem platu od 360 na 700 do ca. 800 l/s. Dodatek infiltrirane vode ca. 170 do 270 l/s pa je predviden za kritje dnevnih konic potrošnje vode in kot rezerva (za primer progresivnega zamuljenja brežin zajezene Drave na območju mesta) za nadomestitev naravnega pretoka podtalnice pod mestom pred izgradnjo črpališča na Vrbanškem platu.

Slika 3 prikazuje tok podtalnice iz Drave proti črpališču pred bogatenjem. Slika 5 kaže tokovnice podtalnice po končani izvedbi načrtovane aktivne zaščite podtalnice z vodnjaki na Mariborskem otoku, nalivalnimi vodnjaki na zahodni in vzhodni strani črpališča ter interventnimi vodnjaki za primer razlitij na glavni cesti Maribor-Dravograd. Na sliki 4 je shematski prikaz depresijskih gladin podtalnice po posameznih etapah obravnavanega projekta.



Slika 6 • Čistilna naprava za prezračevanje obrežnega filtrata in čiščenje železa in mangana. Levo dva prekrita negativna vodnjaka



Slika 7 • Prezračevanje obrežnega filtrata pred filtracijo

3. Gradbeno so izvedeni reaktorji za ozoniranje ter prostori za opremo za doziranje aktivnega oglja v prahu in po potrebi koagulantov.

4. Filtracija vode preko hitrih filtrov za odstranitev ostankov onesnaženja.

Tako pripravljena voda se po načrtu v prvi fazi infiltrira v 4 negativne vodnjake, zahodno od črpalnih vodnjakov ob čistilni napravi (v dolini Vinarskega potoka), po končni realizaciji načrta pa tudi v negativne vodnjake na robu mesta vzhodno od črpalnih vodnjakov. Za zaščito pred posledicami razlitja na glavni cesti Maribor–Dravograd, ki je za pitno vodo potencialna nevarnost, so ob njej črpalni vodnjaki že zgrajeni. V dolini Vinarskega potoka namreč ta cesta preči tok podtalnice proti črpališču na Vrbanškem platoju, ki ima le majhno debelino prepustne krovne plasti.

Z realizacijo obravnavanega načrta so oziroma bodo rešeni predvsem naslednji problemi:

a) Praktično v celoti bo preprečen dotok onesnaženju izpostavljenе podtalnice pod mestom in glavne ceste Maribor–Dravograd v črpališče na Vrbanškem platoju.

b) Potencialna nevarnost katastrofalnega onesnaženja podtalnice iz glavne ceste Maribor–Dravograd je v veliki meri odstranjena oziroma, kolikor je mogoče, zmanjšana.

c) Srednja dnevna zmogljivost črpališča za dolgoročne potrebe vodovoda se bo povečala na 800 l/s in več.

d) Kljub večji zmogljivosti črpališča na Vrbanškem platoju pa velikosti obstoječega vodovarstvenega območja zaradi delovanja vodne zavese ne bo potrebno povečati.

e) Tako odpade potreba po izgradnji novih in nadomestnih vodnih virov, ki bi bila brez aktivne zaščite zaradi nezadostne varnosti in potencialne ogroženosti črpališča na Vrbanškem platoju sicer potrebna. V tem primeru bi šla skupaj s tem dragocenim vodnim virom v izgubo vsa v to črpališče doslej že vložena sredstva.

f) Z umetnim bogatenjem ustvarjeno zalogo podtalnice v vodonosniku odpade potreba po gradnji ca. 20.000 m<sup>3</sup> velikega vodnega rezervoarja za izravnavo nihanja dnevne porabe pitne vode.

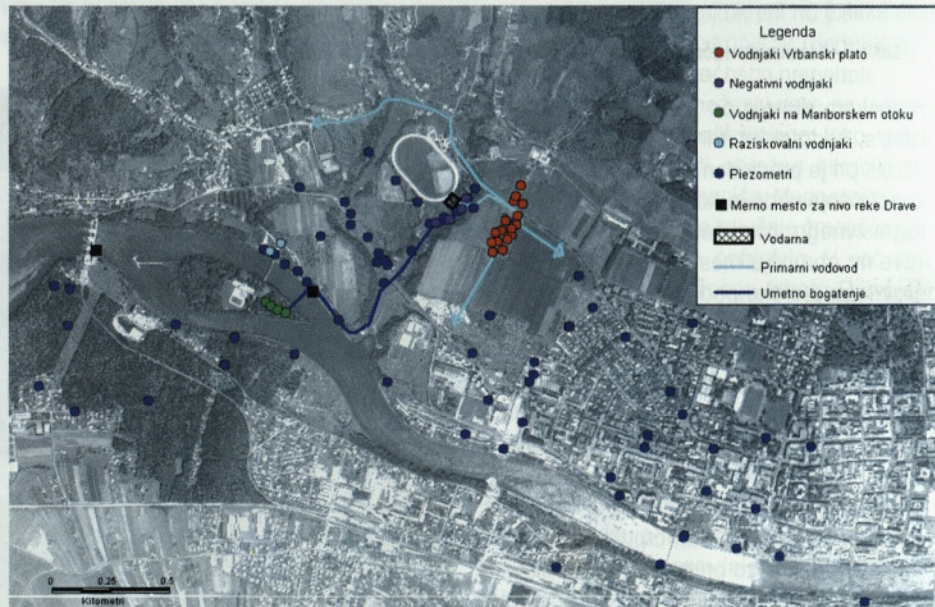
Z aktivno zaščito bodo istočasno rešeni trije problemi preskrbe s pitno vodo:

- a. Povečana bo zmogljivost obstoječega črpališča tudi za dolgoročne potrebe.
- b. Zagotovljena bo potrebna, sedaj pa povsem nezadostna varnost tega črpališča pred onesnaževanjem.
- c. Ekonomičnost vodnih virov in vodovodnega sistema (odpade velik rezervoar) ter izrabe zaščitnih površin.

### 3.2 Opis sedanjega stanja

Značilnosti sedanjega stanja, to je zgrajene druge etape obravnavanega projekta, so razvidne iz slik 8, 9 in 10. Na sliki 8 je prikazana lega štirih obrežnih vodnjakov na Mariborskem otoku, tlačni cevovod do čistilne naprave za eliminacijo vodnjaškega peska in za prezračevanje in filtracijo sledov železa in mangana pred infiltracijo obrežnega filtrata v 4 nalivalne vodnjake ob čistilni napravi. Vzhodno od čistilne naprave je skupina 15 črpalnih vodnjakov za črpanje vode v omrežje. Ostalo so opazovalne vrtnice za nadzor kakovosti podtalnice tudi na širšem zaledju črpališča.

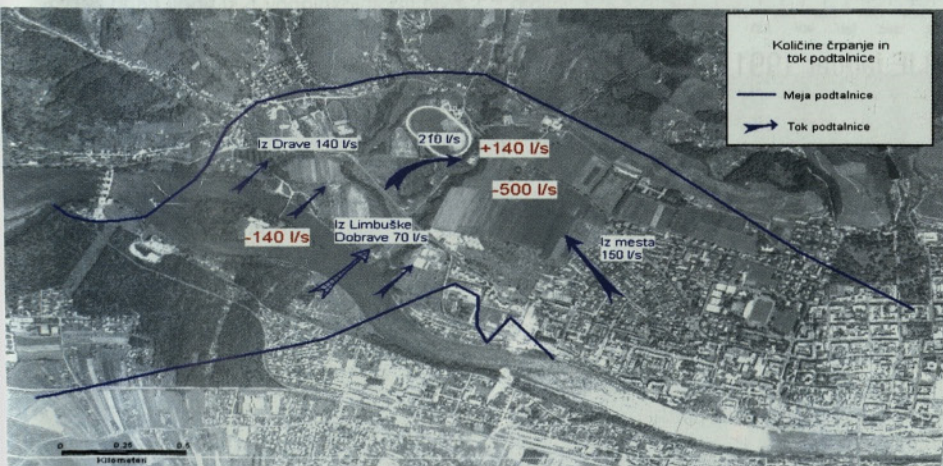
Na obeh robovih glavne ceste Maribor–Dravograd je zgrajena varnostna betonska ograda



Slika 8 • Zgrajena prva etapa projekta za bogatenje z 280 l/s iz 4 vodnjakov na Mariborskem otoku. Uporabno dovoljenje za obratovanje pa je izdano le za dva vodnjaka za 140 l/s



Slika 9 • Hidroizohipse umerjenega modela pri bogatjenju podtalnice s 140 l/s iz dveh vodnjakov na Mariborskem otoku



Slika 10 • Dotok obrežnega filtrata v črpališče na Vrbanškem platoju pri bogatjenju podtalnice s 140 l/s iz dveh vodnjakov na Mariborskem otoku. Z uporabnim dovoljenjem za vključitev dodatnih 140 l/s iz preostalih dveh vodnjakov na Mariborskem otoku bi bilo mogoče dotok podtalnice pod mestom bistveno zmanjšati

#### 4 • PRISPEVEK AKTIVNE ZAŠČITE K PREPREČITVI ONESNAŽENJA PITNE VODE S TRIHALOMETANI Z ONESNAŽENO PODTALNICO POD MESTOM

Slika 11 prikazuje primer onesnaženja pitne vode v črpališču na Vrbanškem platoju s trihalometani v letih 1991 do 1993. Onesnaženje je povzročila onesnažena podtalnica pod mestom, ker so namesto z dovoljenim črpanjem 140 l/s iz dveh vodnjakov na Mariborskem otoku bogatili podtalnico le iz enega vodnjaka s 70 l/s.

Po vključitvi tudi drugega vodnjaka in z istočasnim črpanjem vode iz najbolj onesnaženega vodnjaka v črpališču na Vrbanškem platoju se je onesnaženje črpane vode naglo zmanjšalo tako, da je bilo mogoče vodnjak s prej onesnaženo vodo ponovno priključiti na vodovodno omrežje.

ja, cestišče pa je kanalizirano v bazen za lovljenje razlitij in onesnažene padavinske vode. Za primer, če bi kljub temu prišlo do nevarnih razlitij, pa je ob cesti zgrajenih pet črpalnih vodnjakov.

Zmogljivost obrežnih vodnjakov na Mariborskem otoku in nalivalnih vodnjakov je med 280 l/s do 300 l/s. Enaka je tudi zmogljivost čistilne naprave. Ker pa za dva vodnjaka na Mariborskem otoku že dvajset let ni okoljevarstvenega soglasja, je za aktivno zaščito izkoriščena le polovica teh zgrajenih naprav.

Povprečna dnevna zmogljivost črpališča (bogatenne podtalnice) je ca. 500 l/s, skupna zmogljivost 15 črpalnih vodnjakov za kritje dnevnikih konic porabe pa ca. 750 l/s.

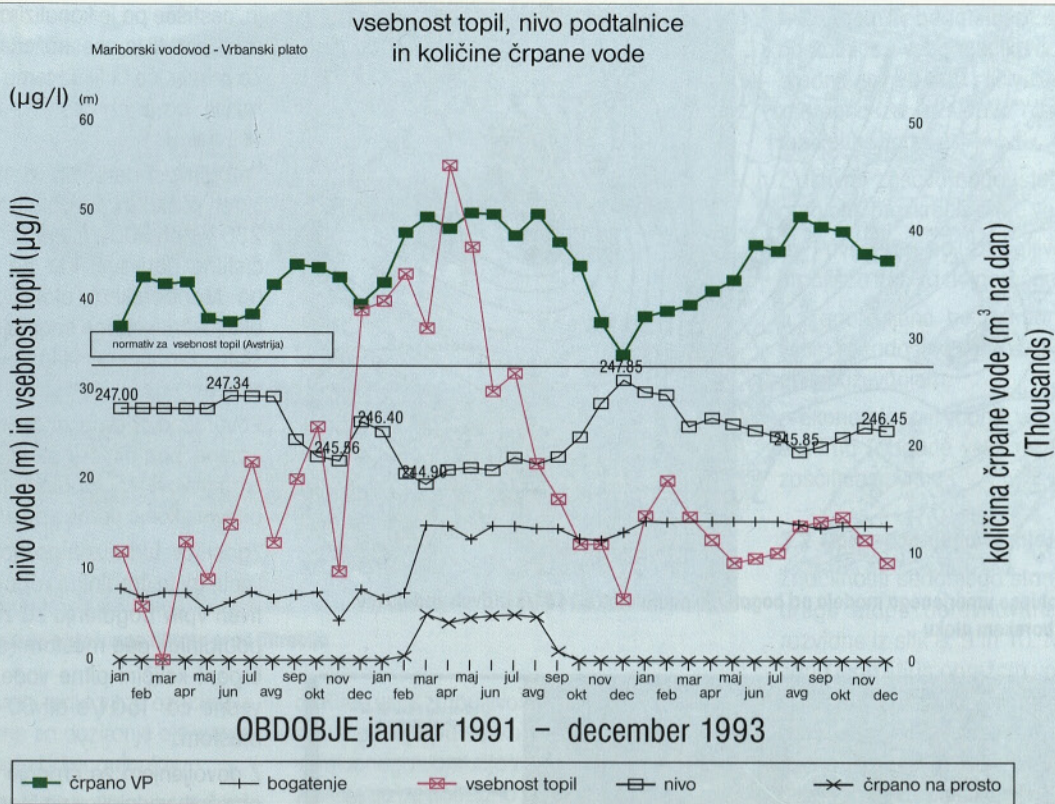
Zgostitev hidroizohips podtalnice med nalivalnimi in črpalnimi vodnjaki dokazuje pozitiven vpliv bogatenja za zmanjšanje dotoka podtalnice pod mestom (slike 4, 8, 9, 10). V črpani količini pitne vode 500 l/s pa je še vedno ca. 150 l/s ali 30 % podtalnice pod mestom.

Z dovoljenjem za črpanje iz preostalih dveh obrežnih vodnjakov na Mariborskem otoku pa bi bilo mogoče dotok podtalnice pod mestom še znatno zmanjšati, če ne še tudi v celoti preprečiti, kar bo mogoče šele, ko bodo zgrajeni tudi načrtovani nalivalni vodnjaki na vzhodni strani črpališča.

Z omenjenim izkoriščanjem zaloge vode v vodonosniku odpade tudi sicer potrebna izgradnja ca. 20.000 m<sup>3</sup> vodnega rezervoarja, kar pomeni nižje investicijske in obratovne stroške. Zaradi znižanja vodnih izgub vodovod namreč že danes obratuje brez višje ležečega rezervoarja, kar kaže, da je opustitev gradnje novega rezervoarja utemeljena.

Če bi se podtalnica bogatila (slika 8) z načrtovanim obrežnim filtratom 280 l/s, pa je iz slik 8 in 11 mogoče presoditi, da do onesnaženja pitne vode s trihalometani sploh ne bi prišlo, če bi uporabno dovoljenje dopuščalo črpanje vode iz vseh štirih zgrajenih vodnjakov na Mariborskem otoku.

Zato je težko najti utemeljene razloge, da za pogon dveh od zgrajenih štirih vodnjakov še vedno ni mogoče pridobiti okoljevarstvenega soglasja.



Slika 11 • Prikaz zmanjšanja koncentracije trihalometanov v pitni vodi z umetnim bogatenjem (Mariborski vodovod, 1993)

### 5 • POTREBNA DELA ZA DOKONČANJE AKTIVNE ZAŠČITE IN POVEČANJE ZMOGLJIVOSTI ČRPALIŠČA VRBANSKI PLATO NA 700 (l/s) DO 800 (l/s)

Za zagotovitev načrtovanih količin in varnosti pitne vode bo končno potrebno pridobiti okoljevarstveno dovoljenje za uporabo dveh že zgrajenih vodnjakov na Mariborskem otoku, saj ima pitna voda prednost pred drugimi vidiki za-

ščite okolja, toliko bolj, ker se v tem primeru zaščita otoka in zdrave pitne vode ne izključujeta, temveč medsebojno podpirata. Za povečanje srednje dnevne kapacitete črpališča pa načrt predvideva dopolnitev sedanje zmogljivosti

280 l/s štirih obrežnih vodnjakov na Mariborskem otoku s ca. 500 l/s do 600 l/s obrežnega filtrata na levem bregu Drave. Preizkusno črpanje 140 l/s iz dveh levobrežnih vodnjakov je dalo pozitivne rezultate. Pokritje eventualnega deficita obrežnega filtrata pa je v načrtu predvideno z zajetjem in pred infiltracijo ustrezno očiščene dravske vode. Analize za izbiro optimalne rešitve so v teku.

### 6 • PRIMERJAVA OBRAVNAVANE REŠITVE NA VRBANSKEM PLATOJU S PODTALNICO NA SELNIŠKI DOBRABI IN DRAVSKEM POLJU

Z aktivno zaščito vodovodnega črpališča na Vrbanskem platoju je torej mogoče Maribor oskrbeti s pitno vodo s podtalnico iz Dravskega polja in z obrežnim filtratom iz Selniške Do-

Lastnosti vodnega vira	Prednosti (+), pomanjkljivosti (-) vodnega vira				
	Vrbanski plato	Selniška dobava		Dravsko polje	
		Brez bogatenja	Z bogatenjem	Brez bogatenja	Z bogatenjem
1 Oddaljenost črpališča od Maribora	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)
2 Kakovost pitne vode	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)
3 Količina vode	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
4 Neodvisnost zmogljivosti črpališča od suše	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)
5 Varnost pred onesnaženjem pitne vode	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
6 Prednost etapne izgradnje	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)
7 Investicijski stroški	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)
8 Prednost dvostranskega napaja vodovodnega sistema	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Σ Selniška dobava in Dravsko polje brez umetnega bogatenja		3(+)		1(+)	
Σ Selniška dobava in Dravsko polje z umetnim bogatenjem	8(+)	-	5(+)	-	5(+)

Preglednica 2 • Prednosti načrtovanega bogatenja z aktivno zaščito pitne podtalnice na črpališču na Vrbanskem platoju pred podtalnico na Selniški dobavi in Dravskem polju

brave. Pohorskih potokov iz že povedanih razlogov ne obravnavamo.

Zato ostajata s stališča varnosti in ekonomike pitne vode v glavnem le dve alternativni:

a) Ohranitev in dokončna izgradnja načrtovane aktivne zaščite podtalnice na Vrbanškem platoju.

V tem primeru ostanejo hidravlična funkcija in doslej vložena sredstva v to črpališče ohranjena za načrtovano dvostransko napajanje vodovodnega omrežja s povprečno dnevno zmogljivostjo 500 l/s.

b) Opustitev sedanjega črpališča na Vrbanškem platoju in izgradnja novih nadomestnih črpališč na Dravskem polju ali v kombinaciji s Selniško dobrovo.

Dolgoletne izkušnje z zaščito podtalnice na Dravskem polju kažejo na težavnost njene zaščite zaradi kmetijstva, industrije, prometa in poselitve. Potrebna velika vodovarstvena območja pa pomenijo dodatno ekonomsko in prostorsko problematiko.

Sam obrežni filtrat na Selniški dobri pa brez umetnega bogatenja načrtovane zmogljivosti

Vrbanškega platoja ne more nadomestiti. Zaradi dolgih transportnih cevodovodov bi bilo potrebno v nasprotju z Vrbanškim platojem zgraditi tudi ca. 20.000 m<sup>3</sup> velik izravnalni rezervoar.

Zato ostajata dravska in obrežni filtrat Selniške dobave predvsem dolgoročno rezerva pitne vode za širše območje, ki ga Mariborski vodovod skupaj z drugimi vodovodi (Ptuj, Sl. Bistrica, Haloze) oskrbuje s pitno vodo. Na preglednici 2 je podana poenostavljena primerjava obravnavanih rešitev.

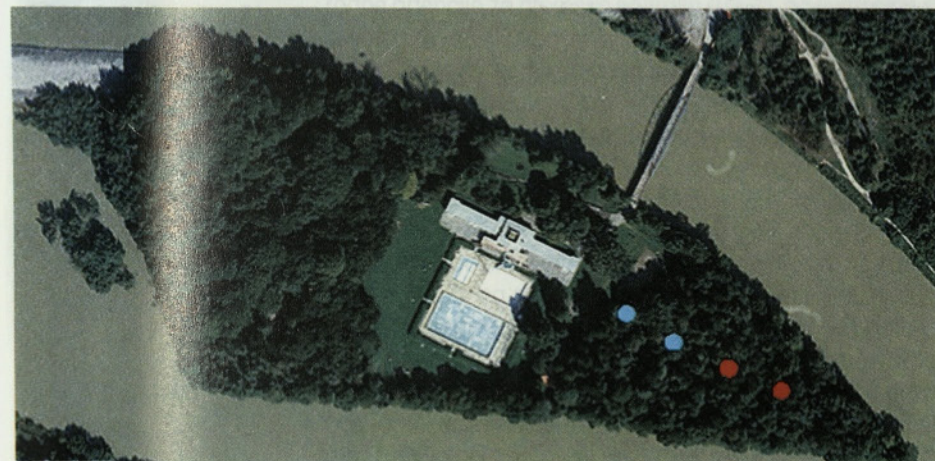
## 8 • PROBLEMATIKA OKOLJEVARSTVENIH IN ZDRAVSTVENO-HIDROTEHNIČNIH PRIORITET PRI OSKRBI S PITNO VODO

Mariborski odtok je zaščiten kot naravno bogastvo, istočasno pa je na njem tudi veliko kopališče in druge naprave za rekreacijo (Slika 12, 13, 14).

Črpanje pitne vode iz 4 vodnjakov torej nikakor ne izključuje, temveč le dopolnjuje zaščito

drugih naravnih vrednot Mariborskega otoka in omogoča pozitivno simbiozo interesov varovanja pitne vode in drugih naravnih in uporabnih vrednot (rekreacija) na Mariborskem otoku.

Zato je težko najti argumente, ki že celih dvajset let onemogočajo pridobitev uporabnega dovoljenja za preostala dva vodnjaka na Mariborskem otoku. Ne nazadnje, Mariborski vodovod oskrbuje s pitno vodo preko 100.000 prebivalcev in gospodarstvo tega območja.



Slika 12 • Štirje pred 20 leti zgrajeni vodnjaki na Mariborskem otoku. Za dva rdeče označena vodnjaka kljub pomenu za aktivno zaščito pitne podtalnice še vedno ni uporabnega dovoljenja



Slika 13 • Po mnenju upravnega organa to kopališče zavarovani Mariborski otok manj ogroža od dveh vodnjakov na sliki 9



Slika 14 • Eden od dveh vodnjakov, za katera že 20 let iz "narovarstvenih razlogov" ni mogoče pridobiti uporabnega dovoljenja

## 9 • SKLEP

Iz prikazanih rezultatov in problematike aktivne zaščite pitne podtalnice na glavnem črpališču Mariborskega vodovoda na Vrbanskem platoju in štiridesetletnih izkušnj obratovanja tega črpališča je mogoče povzeti predvsem naslednje:

V vsem obravnavanem obdobju je uporaba obrežnega filtrata reke Drave dala pozitivne rezultate tako glede kemične kot bakteriološke kakovosti pitne vode. Voda se črpa v omrežje brez dezinfekcije s klorom in brez drugih dezinfektantov.

V tem obdobju pa iz podtalnice Dravskega polja kot klasičnem viru pitne vode kljub

razsežnim varovanim vodnim območjem in predpisom ni uspelo odstraniti nedopustnih koncentracij nitratov in pesticidov.

Zaradi neposredne bližine mesta je uporaba obrežnega filtrata za umetno bogatenje podtalnice omogočila etapno dograjevanje zmogljivosti vodovoda in najnižje investicijske ter obratovalne stroške vodovoda.

Zaradi od črpanega obrežnega filtrata stokrat večjih minimalnih pretokov Drave je izdatnost črpališča na Vrbanskem platoju v primerjavi s padavinsko podtalnico na Dravskem polju in Pohorskimi potoki popolnoma neodvisna tudi od tudi ekstremnih suš.

S permanentno in kakovostno kontrolo obrežnega filtrata pred bogatenjem in s tako ustvarjeno vodno zaveso je mogoče pitno podtalnico v prvem vodovarstvenem območju VVO I učinkovito zaščititi pred nevarnimi vplivi mesta. To je pokazal tudi opisani primer onesnaženja podtalnice s trihalometani.

Ker opisan načrt še ni zaključen, varnost pitne vode še vedno ni v celoti zagotovljena. Danes dobra kakovost pitne vode še nikakor ne pomeni, da je pitna voda že dovolj varna pred onesnaženjem. Nadaljnje odlašanje dokončne realizacije načrtovane zaščite ima torej lahko zelo težke posledice.

## 5 • LITERATURA

- Huisman, L., Utilisation of groundwater, Papers and Proceedings of the Water Research Conference at the University of Reading, 6.–8. 9. 1976.
- Mariborski vodovod, podatki Mariborskega vodovoda, 1993.
- Rismal, M., Nedokončana aktivna zaščita pitne podtalnice na Vrbanskem platoju je potencialna nevarnost za pitno vodo Maribora, Mariborski vodovod, arhiv IZH, 24. 8. 1999.
- Rismal, M., Kopač, I., Riverbank Filtration as Pre-treatment of River Water for Artificial Recharge of Groundwater in Slovenia, International Riverbank Filtration Conference, Düsseldorf, 2.–4. 11. 2000.

# VERJETNOSTNO OCENJEVANJE POTRESNE NEVARNOSTI POMEMBNIH OBJEKTOV V SLOVENIJI

## PROBABILITY SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF IMPORTANT STRUCTURES IN SLOVENIA

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

Bernikova 3, 1230 DOMŽALE, jlapajne@siol.net

**dr. Barbara Šket Motnikar, univ. dipl. inž. mat.**

MOP, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo,  
Dunajska 47/VII, 1000 LJUBLJANA, barbara.skot-motnikar@gov.si

**Znanstveni članek**

UDK 550.34.01:699.841

**Povzetek** | Verjetnostno ocenjevanje potresne nevarnosti na lokacijah pomembnih objektov v Sloveniji temelji na različnih nepovezanih dokumentih: na navodilih Mednarodne agencije za atomsko energijo (IAEA), na evropskih standardih EC8 in na še vedno veljavnem jugoslovanskem pravilniku iz leta 1981. Na navodilih IAEA temeljijo zadnje ocene za lokacije Nuklearne elektrarne Krško (NEK), na EC8 npr. ocene za lokacije pomembnih mostov, na pravilniku iz leta 1981 pa npr. ocene za lokaciji jalovišča Boršt in HE Blanca. Skupna zahteva vseh omenjenih dokumentov je ocena projektnih parametrov za dve ravni potresnega tveganja, ki pa ostajata v teh dokumentih za marsikateri pomembni objekt številsko neopredeljeni. To pomanjkljivost bi bilo treba vsaj na nacionalni ravni ustrezno rešiti. Pri potresnem gibanju, ki ne presega manjših projektnih vrednosti, mora ostati objekt v stanju nadaljnje uporabnosti. Pri gibanju, ki je v mejah večjih projektnih vrednosti, pa mora biti ohranjena nosilnost objekta. V Sloveniji se za ocenjevanje potresne nevarnosti uporabljata dva postopka, ki imata iste teoretične temelje, razlikujeta pa se med drugim v oblikovanju potresnih izvorov. Postopek, ki ga priporoča IAEA in je bil uporabljen pri oceni lokacije NEK, vključuje posamezne prelomne izvore in daje tudi oceno nezanesljivosti rezultatov. Pri vseh drugih ocenjevanjih uporabljamo v Sloveniji manj zapleten postopek, ki temelji predvsem na zgodovinskih podatkih o potresih, prelome upošteva le v statističnem smislu in ne daje ocene nezanesljivosti.

**Summary** | Probability seismic hazard assessment (PSHA) for the locations of important structures in Slovenia is based on the following not-interacting documents: International Atomic Energy Agency (IAEA) Safety Guide, European standard Eurocode 8 (EC8), and former Yugoslav regulations from 1981. PSHA for Nuclear Power Plant Krško (NPPK) is based on IAEA Guide, PSHAs for bridges on EC8, and PSHAs for dams and some other important structures on the regulations from 1981. The common requirement of all mentioned documents is the assessment of seismic design parameters for two levels of ground motion hazard. The lower level of hazard corresponds to no-collapse or ultimate safety requirements, and the higher one to the damage limitation requirement. These two levels are not well quantified in the current legislation for many important structures. This deficiency should be solved on the national level. Two procedures of PSHA are currently used in Slovenia, having the same theoretical background and differing mainly in the modeling of seismic sources. In PSHA for NPPK the procedure recommended by IAEA was used. Beside distributed seismicity, it considers also fault specific sources, and the uncertainty of results is assessable. In all other PSHAs in Slovenia, a less demanding procedure was applied. It is based mainly on the earthquake catalogue, it incorporates faults only in a statistical sense and does not estimate the uncertainty of the results.

## 1 • UVOD

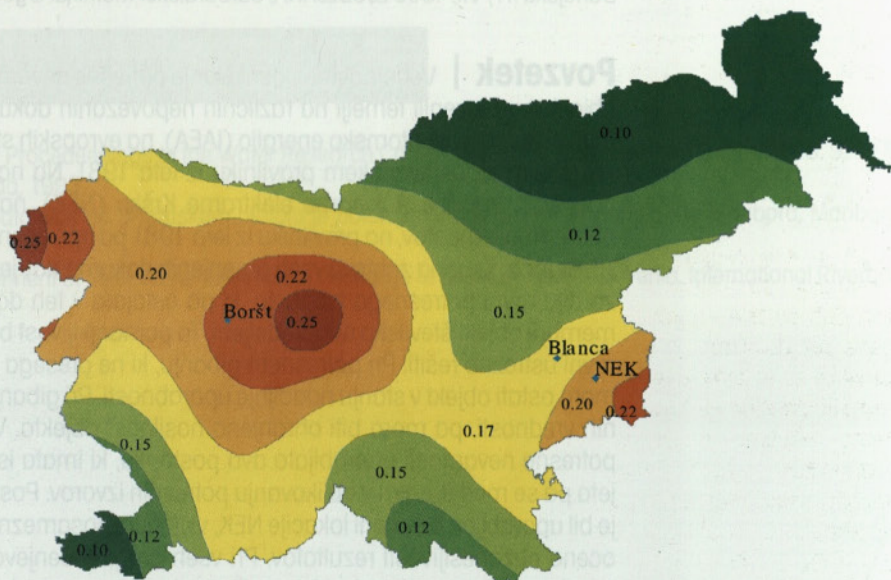
Pomembni gradbeni objekti, npr. jedrske elektrarne, velike vodne pregrade, mostovi z velikimi razponi itd., ki so postavljeni na potresno dejavnih območjih, so pomembni potresni ogroženci sami po sebi in nekateri bolj, nekateri manj kritični dejavniki potresne ogroženosti širše okolice. Poleg samega objekta so ogrožena človeška življenja ter del elektrogospodarstva države in drugih gospodarskih, pa tudi negospodarskih dejavnosti. Zato je treba za graditev teh objektov na potresnih območjih skrbno oceniti potresno nevarnost na lokacijah objektov in določiti primerne projektne potresne parametre. Za zagotovitev tega sta potrebni ustrezna zakonodaja, ki predpisuje minimalne zahteve za potresno odporno projektiranje ob družbeno sprejemljivem potresnem tveganju, in strokovno utemeljena metodologija, ki omogoča predpisano projektiranje.

Na področju potresno odpornega projektiranja se v Sloveniji postopoma uveljavljajo evropski in tudi širši mednarodni standardi, vendar zakonodaja še ni ustrezno enotno urejena. Kljub temu se načela potresno odpornega projektiranja v praksi večinoma upoštevajo. Temeljno načelo je tako v naši kot mednarodni praksi in predpisih zagotavljanje uporabnosti objekta pri potresnem gibanju, ki ga lahko pričakujemo na lokaciji objekta v njegovi življenjski dobi, in zagotavljanje nosilnosti konstrukcije pri sicer možnem, a v življenjski dobi objekta malo verjetnem močnem potresnem gibanju. Gre torej za določitev projektne potresne nevarnosti na lokaciji objekta, ki določujeta dve ravni projektne potresne tveganja. Navodila, standardi, pravilniki in predpisi določajo ravni tveganja na dva načina in uporabljajo za to tudi različno poimenovanje. Pri nas uporabljamo za jedrske elektrarne oznaki SL-1 za prvo in SL-2 za drugo raven tveganja. Za druge pomembne objekte pa posredno določata prvo in drugo raven tveganja ali projektne in maksimalni potres ali pa mejno stanje uporabnosti in mejno stanje nosilnosti; ti pojmi se sicer nanašajo na pripadajoče vrednosti projektne potresne nevarnosti. Pri tem je bistveno pomembnejša druga raven, torej projektne potresne parametre za manj verjetne in močnejše dogodke.

V nadaljevanju sledi prikaz obstoječe zakonodaje oziroma obstoječih dokumentov, na katerih temelji določanje projektne potresne nevarnosti, opis metodologije verjetnostnega ocenjevanja potresne nevarnosti in nekaj

primerov pomembnih objektov, za katere je bila v skladu z različnimi akti obstoječe zakonodaje narejena verjetnostna ocena potresne nevarnosti in določeni projektne potresne parametri. Obravnavane so lokacije Nuklearne elektrarne Krško (NEK), jalovišča Boršt in pregrade HE Blanca. Lokacije teh objektov kaže slika 1 na karti potresne nevarnosti Slovenije za povratno dobo 475 let (Lapajne, 2001a), (Lapajne, 2001b), (Lapajne, 2002a), (Lapajne, 2002b). Ob koncu je dan primerjalni pregled ocenjevanja potresne nevarnosti in določanja projektne potresne nevarnosti vseh treh objektov. Namen prispevka je prikaz stanja in primerjava na področju zakonodaje in metodologije

verjetnostnega ocenjevanja potresne nevarnosti za značilne primere pomembnih objektov v Sloveniji. Zaradi preglednosti in primerljivosti je v vseh prikazanih primerih obravnavana potresna nevarnost na trdnih tleh oz. tleh vrste A po evropskem standardu Eurocode 8 (CEN, 2004a). Ker vpliv dejanskih lokalnih tal na lokacijah obravnavanih objektov ni upoštevan, prikazani rezultati (krivulje potresne nevarnosti in spektri enotne potresne nevarnosti) niso končne ocene potresne nevarnosti oziroma končne vrednosti projektne potresne nevarnosti, pa tudi njihova nezanesljivost ni obravnavana. Predmet obravnavanja tudi ni ocenjevanje geološke stabilnosti lokacije zaradi morebitne prisotnosti zmogljivih prelomov, ki lahko povzročijo diferencialne premike tal pod ali v neposredni bližini pomembnega objekta.



Slika 1 • Karta potresne nevarnosti Slovenije za povratno dobo 475 let z vrisanimi lokacijami obravnavanih pomembnih objektov: NEK, jalovišče Boršt in HE Blanca

## 2 • OBSTOJEČA ZAKONODAJA

Načelno so vsi najpomembnejši objekti (jedrske elektrarne, objekti za transport in skladiščenje nevarnih snovi, večji energetski objekti, industrijski dimniki, pomembnejši objekti zvez in telekomunikacij, zelo visoke stavbe itd.) zajeti v še vedno veljavnem Pravilniku o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (UL SFRJ, 1981). Daje pa pravilnik v tem pogledu le skromne in dokaj splošne napotke. V 4. členu uvršča objekte, "od katerih brezhibnosti je odvisno delovanje še drugih tehnično-tehnoloških sistemov, katerih motnje bi utegnile povzročiti katastrofalne po-

sledice oziroma veliko materialno škodo širši družbeni skupnosti" med objekte izven kategorije. V 8. členu je zapisano, da "se mora prej podrobno proučiti seizmičnost lokacij, namenjenih za graditev objektov z določljivo projektne in maksimalnega potresa", pri čemer pa zahteva ni podrobneje opredeljena niti nista določeni pripadajoči ravni potresnega tveganja. Ostale pomembne stavbe (dvorane, šole, zdravstveni objekti, stavbe gasilske službe, objekti zvez, industrijske stavbe z dragoceno opremo, manjši energetski objekti, stavbe, v katerih so predmeti izjemne kulturne in umetniške



vrednosti itd.) so v 4. členu uvrščene v I. kategorijo, za katere je predpisan koeficient kategorije objekta 1,5 in za projektiranje katerih je treba določiti koeficienta seizmične intenzitete in dinamičnosti s posebnimi raziskavami gradbenih površin oziroma s karto potresne mikrorajonizacije.

Leta 1985 je bil v okviru jugoslovanskega Zveznega zavoda za standardizacijo pripravljen osnutek Pravilnika o tehničnih normativih za projektiranje in analizo inženirskih objektov na potresnih območjih (SZS, 1985). Čeprav ta pravilnik (najprej zaradi dolgotrajnega usklajevanja nedorečenosti ter raznih administrativnih razlogov, kasneje pa zaradi spremenjenih političnih razmer) ni bil nikoli uradno sprejet, je v povezavi s pravilnikom iz leta 1981 vplival na dosedanje določanje projektnih potresnih parametrov za mnoge pomembne objekte v Sloveniji. Osnutek tega pravilnika je namreč določeval opredelitev projektnih potresnih parametrov za dve ravni potresnega tveganja, ki sta (kljub drugačnemu poimenovanju) ustrezali že omenjenima projektnemu in maksimalnemu potresu. Višja in nižja raven tveganja sta bili za večino objektov jasno opredeljeni, in sicer s povratnima dobama 100 in 1000 let, za velike pregrade pa sta bili pripadajoči vrednosti 200 in 1000 let. Te vrednosti povratnih dob so bile v praksi večinoma uporabljene pri določanju projektnih potresnih parametrov za objekte, katerih projektiranje je temeljilo na pravilniku iz leta 1981.

Potresno odporno projektiranje nekaterih pomembnejših zgradb (poleg manj pomembnih in navadnih zgradb) ureja v Sloveniji evropski standard Eurocode 8, 1. del – EC8/1 (CEN, 2004a), ki je trenutno v postopku sprejemanja in ki je bil že v različici evropskega predstandarda (CEN, 1994) sprejet leta 1995 kot predstandard po metodi platnice, nato preveden in uradno sprejet kot slovenski predstandard (URSSM, 2000), (SIST, 2001), za projektiranje mostov pa Eurocode 8, 2. del – EC8/2 (CEN, 2004b). V EC8/1 in EC8/2 se višje potresno tveganje nanaša na mejno stanje uporabnosti (damage limitation state), ki izpolnjuje zahtevo po omejitvi poškodb (damage limitation requirement), kritično nižje tveganje pa na mejno stanje nosilnosti (ultimate limit state), ki izpolnjuje zahtevo po neporušitvi (no-collapse requirement). EC8/1 priporoča za prvo povratno dobo 95 let, za drugo pa 475 let. To povzema EC8/2 tudi za mostove. Da dobimo za pomemben objekt vrednosti projektnih potresnih parametrov za obe mejni stanji, je treba ocenjene vrednosti parametrov pomnožiti še

z ustreznim faktorjem pomembnosti. Za zgradbe, katerih uporabnost je nujna za civilno zaščito, npr. bolnišnice, gasilske postaje, energetske objekti itd., priporoča EC8/1 faktor pomembnosti 1,4. Za zgradbe, katerih potresna odpornost je pomembna zaradi posledic, ki bi jih povzročila porušitev, npr. šole, dvorane in kulturne institucije, priporoča faktor 1,2. Po EC8/2 je treba obravnavani most uvrstiti v ustrezen razred pomembnosti, s čimer mu je določen tudi faktor pomembnosti, ki ima za pomembne mostove vrednost 1,3.

Načelne napotke za občasno ponovno (ne-napisano pravilo je na vsakih 10 let) ocenjevanje potresne nevarnosti za lokacije obstoječih jedrskih elektrarn daje publikacija Mednarodne agencije za atomsko energijo na Dunaju (IAEA, 2003). Podrobneje je postopek opisan v aktu IAEA, ki sicer zadeva nove elektrarne (IAEA, 2002) in pred tem (IAEA, 1991) in temelji v glavnem na standardih in praksi v ZDA. Tudi tu gre za izračun projektnih potresnih parametrov za dve ravni potresne nevarnosti, ki sta označeni z SL-1 in SL-2. Raven SL-2, ki ustreza skrajnim varnostnim zahtevam, ni eksplicitno predpisana; v nekaterih

državah je določena z verjetnostjo prekoračitve  $10^{-4}$  oziroma s povratno dobo 10.000 let. Ravni SL-1 v mnogih članicah IAEA ne določajo niti za nove jedrske elektrarne.

Preglednica 1 daje pregled dokumentov, ki se trenutno uporabljajo za formalno podlago določevanja projektnih potresnih parametrov za pomembne objekte v Sloveniji. Pravilnik iz leta 1981 je zakonski akt, osnutek pravilnika iz leta 1985 ni bil nikoli izčiščen in tudi ne uradno sprejet, EC8/1 je trenutno v Sloveniji v veljavi kot predstandard (SIS, 2001), v prevajanju pa je različica iz leta 2004, ki bo verjetno v letu 2005 sprejeta kot standard, EC8/2 se spoštuje v praksi, čeprav še ni bil uradno sprejet, IAEA publikacija pa daje navodila in priporočila, ki imajo v Sloveniji (ki je članica IAEA) praktično moč predpisa. Ker v pravilniku (UL SFRJ, 1981) ravni tveganja niso določene, se te v praksi privzemajo ali iz osnutka pravilnika iz leta 1985 ali iz priporočil IAEA (za jedrske elektrarne). EC8/1 in EC8/2 dajeta ravni tveganja samo s povratno dobo za navadne objekte, za pomembne objekte pa je treba ob uporabi te povratne dobe upoštevati še faktor pomembnosti.

DOKUMENT	RAVEN TVEGANJA	POVRATNA DOBA (let)	FAKTOR POMEMBNOSTI	POMEMBNI OBJEKTI
UL SFRJ 1981	maksimalni potres / projektni potres	privzeta po IAEA privzeta po SZS privzeta po SZS		jedrske objekti velike pregrade pomembni mostovi
SZS 1985	(dve ravni)	1.000/200 1.000/100		velike pregrade pomembni mostovi
SIS 2001 EC8/1 2004 EC8/2 2004	mejno stanje nosilnosti / mejno stanje uporabnosti	495/95	1,2 1,3 1,4	objekti, ki so pomembni zaradi posledic porušitve (npr. šole) pomembni mostovi objekti, ki so pomembni za civilno zaščito (npr. energetske objekti)
IAEA 2002 IAEA 2003	SL-2 / SL-1	1.000–10.000/100		jedrske elektrarne

Preglednica 1 • Pregled predpisanih ali priporočenih formalnih pogojev določanja projektnih potresnih parametrov za nekatere pomembne objekte

### 3 • TEORETIČNA IZHODIŠČA VERJETNOSTNEGA OCENJEVANJA POTRESNE NEVARNOSTI

Temeljna verjetnostna veličina  $\lambda$ , ki opredeljuje potresno nevarnost na dani lokaciji, je povprečno letno število oz. *povprečna letna pogostost prekoračitve* vrednosti  $u_0$  izbranega parametra potresnega gibanja  $u$  (npr. vršnega pospeška tal ali spektralnega pospeška, hitrosti in pomika) na tej lokaciji. (V

nadaljevanju bomo za pojma "povprečno letno število" in "povprečna letna pogostost" uporabljali kar "letno število" in "letna pogostost"). Obratno vrednost letne pogostosti prekoračitve imenujemo *povratna doba*. Letna pogostost prekoračitve oz. ustrezna povratna doba, za katero so izračunani projektni

potresni parametri, je privzeta raven projekt-nega potresnega tveganja ali preprosteje *raven potresnega tveganja*.

Za majhne vrednosti letne pogostosti prekoračitve  $u_0$ , ki so navadno zanimive (0,02 ali manj; povratna doba 50 let ali več), je letna pogostost praktično enaka letni verjetnosti prekoračitve  $u_0$ , če predpostavimo, da si glavni potresi sledijo neodvisno od prejšnjih (Poissonov proces). Letno pogostost oziroma verjetnost prekoračitve vrednosti  $u_0$  izračunamo z naslednjo enačbo npr. (Reiter, 1990):

$$\lambda(u_0) = \sum_i n_i(m_{\min}) \int_{m_{\min}}^{m_{ui}} \int_r P[u > u_0 | m, r] \cdot p_i(m) p_i(r) dr dm, \quad (1)$$

kjer je  $n_i(m_{\min})$  letno število potresov v potresnem izvoru  $i$  z vrednostmi magnitude, ki so večje od nekega izbranega praga  $m_{\min}$ ,  $m_{ui}$  je zgornja meja magnitude (v nadaljevanju zgornja magnitude) v izvoru  $i$ ,  $P(u > u_0 | m, r)$  je pogojna verjetnost, da povzroči potres magnitude  $m$  na oddaljenosti  $r$  vrednost  $u > u_0$ ,  $p_i(m)$  je gostota porazdelitve potresne magnitude v izvoru  $i$  in  $p_i(r)$  je gostota porazdelitve razdalje med točko  $i$  tega izvora in lokacijo izračuna.

Vrednost  $n_i(m_{\min})$  in gostota porazdelitve razdalje  $p_i(r)$  sta določeni z modelom potresne dejavnosti, ki opredeljuje porazdelitev pričakovanih potresov na obravnavanem ozemlju v tim. *potresne izvore*. Dobro dokumentirano seizmičnost s poznanimi potresnimi prelomi modeliramo s *prelomnimi potresnimi izvori*, ki jih predstavljajo nagnjene ploskve pod površjem. V primeru pomanjkanja podatkov o legi prelomov pod površjem je mogoče modelirati prelomne potresne izvore tudi kot *linijske izvore* v obliki lomljenih ravnih črt na površju.

Na nekaterih območjih pa ni dovolj niti seizmoloških niti geoloških podatkov, da bi posamezne potrese lahko povezali z znanimi seizmogenimi strukturami – prelomi. Za modeliranje take, *razpršene* potresne dejavnosti so v praksi večinoma uveljavljeni *ploskovni potresni izvori*, znotraj katerih je potresna dejavnost enakomerno porazdeljena, ali pa *mreža točkovnih potresnih izvorov*, v kateri je potresna dejavnost porazdeljena z Gaussovo porazdelitvijo.

Za verjetnostno ocenjevanje potresne nevarnosti na lokacijah pomembnih objektov sta v Sloveniji uveljavljeni dve vrsti modelov potresne dejavnosti:

(1) modeli z enakomerno porazdelitvijo potresne dejavnosti v *ploskovnih potresnih iz-*

*vorih* za razpršeno seizmičnost in v *prelomnih potresnih izvori* za razmeroma dobro poznane seizmogene prelome; tako modeliranje priporoča IAEA (2002) za verjetnostno ocenjevanje potresne nevarnosti jedrskih elektrarn in je opisano v npr. (Reiter, 1990), (McGuire, 2004), bilo pa je tudi uporabljeno pri ocenjevanju potresne nevarnosti jedrske elektrarne Krško;

(2) modeli z Gaussovo porazdelitvijo razpršene potresne dejavnosti v *mreži točkovnih potresnih izvorov*, ki se razteza preko obravnavanega ozemlja; pri tem so točkovni izvori središča celic (npr. 10 km x 10 km) mreže; postopek je opisan v (Frankel, 1995), (Frankel, 2000), (Lapajne, 1997), (Lapajne, 2003), bil pa je uporabljen pri ocenjevanju potresne nevarnosti na lokacijah jalovišča Boršt (Lapajne, 1999), pregrade HE Blanca (Fajfar, 2004b), pri nekaterih pomembnih mostovih ter pri izdelavi kart potresne nevarnosti Slovenije (Lapajne, 2001b), (Lapajne, 2001c), (Lapajne, 2001d).

Pogojno verjetnost  $P(u > u_0 | m, r)$  izračunamo iz enačbe

$$P[u > u_0 | m, r] = \frac{1}{2} \Phi^* \left( \frac{\ln u_0 - \ln u(m, r)}{\sigma \sqrt{2}} \right), \quad (2)$$

kjer je  $\Phi^*$  komplementarna funkcija napake,  $\ln u$  je model pojemanja (npr. vršnega pospeška tal ali spektralnega pospeška, hitrosti ali pomika z oddaljevanjem od nadžarišča potresov), ki ga določajo različne atenuacijske enačbe. Najpogosteje uporabljena enačba ima naslednjo obliko npr. (Sabetta, 1996):

$$\ln u(m, r) = c_1 + c_2 m + c_3 \ln \sqrt{r^2 + h^2} + \varepsilon, \quad (3)$$

kjer so  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  in  $h$  regresijski koeficienti,  $\varepsilon$  pa je normalno porazdeljena napaka s standardnim odklonom  $\sigma$ .

Gostoto porazdelitve magnitude  $p_i(m)$  izračunamo iz izbrane (Gutenberg – Richterjeve)

rekurenčne enačbe. Zaradi preprostosti se pogosto uporablja log-linearna navzdol omejena rekurenčna enačba (Gutenberg, 1944):

$$n_i(m) = n_i(m_0) \cdot 10^{-b_i(m-m_0)}, \quad (4)$$

kjer sta  $n_i(m)$  in  $n_i(m_0)$  letni števili potresov v izvoru  $i$  z magnitudo enako ali večjo od vrednosti  $m$  oziroma od spodnje meje magnitude  $m_0$  (v nadaljevanju *spodnja magnitude*),  $b_i$  pa določa razmerje večjih napram manjšim potresom v izvoru  $i$  (naklon krivulje).

Bolj uporabna je (navzdol in navzgor) omejena Gutenberg – Richterjeva ali dvojno odseka eksponentna rekurenčna enačba, ki ima obliko (Cornell, 1969):

$$n_i(m) = n_i(m_0) \frac{10^{-b_i(m-m_0)} - 10^{-b_i(m_{ui}-m_0)}}{1 - 10^{-b_i(m_{ui}-m_0)}}. \quad (5)$$

Gostota porazdelitve magnitude, ki temelji na rekurenčni enačbi (4), ima obliko

$$p_i(m) = b_i \ln 10 \cdot 10^{-b_i(m-m_0)}, \quad (6)$$

gostota, ki temelji na enačbi (5), pa:

$$p_i(m) = \frac{b_i \ln 10 \cdot 10^{-b_i(m-m_0)}}{1 - 10^{-b_i(m_{ui}-m_0)}}, \quad (7)$$

Poleg rekurenčnih enačb (4) in (5) se uporabljajo še nekatere rekurenčne enačbe z značilnim (karakterističnim) potresom npr. (Youngs, 1985).

Vrednost magnitude  $m_{\min}$  je ali privzeta ali ustrezno določena (to je vrednost, ki ne povzroča pomembnih poškodb; večinoma je med 4 in 5) in je praviloma enaka za vse potresne izvore oziroma za celotno obravnavano ozemlje. Vrednost spodnje magnitude  $m_0$  je najnižja vrednost, za katero je uporabljen katalog celovit. Zgornjo magnitudo  $m_{ui}$  ter parametra  $n_i(m_0)$  in  $b_i$  je treba določiti na podlagi podatkov iz potresnega kataloga ali pa iz geoloških podatkov.

Ko imamo izračunane vrednosti  $\lambda$  za različne vrednosti  $u_0$ , lahko dobimo vrednost izbranega parametra potresnega gibanja za predpisano letno pogostost prekoračitve z interpolacijo.

#### 4 • VHODNI PODATKI

Za izračun letne pogostosti prekoračitve je treba ustrezno pripraviti vhodne podatke. Glavna vhodna podatka sta model potresne dejavnosti, ki določa  $n_i(m_{\min})$  in gostoto porazdelitve razdalje  $p_i(r)$ , ter model pojemanja oziroma atenuacijska enačba, ki opredeljuje pogojno verjetnost  $P(u > u_0 | m, r)$ . Za določitev

modela potresne dejavnosti je treba oblikovati potresne izvore ter določiti vrednosti v predhodnem poglavju omenjenih parametrov  $m_0$ ,  $m_{ui}$ ,  $n_i(m_0)$  in  $b_i$ .

Priprava modela pojemanja zahteva številne zapise močnejših potresov z ožjega in širšega nadžariščnege območja. Ker za oblikovanje

modela pojemanja v Sloveniji zaenkrat nimamo dovolj primernih podatkov, da bi določili lastne regresijske koeficiente, smo vezani na objavljene atenuacijske enačbe.

Podatkovno bazo za izdelavo obeh modelov in izračun ali oceno omenjenih parametrov tvorijo seizmološki, geološki, geofizikalni, geodetski in drugi razpoložljivi podatki. Katalogizirane potresne dogodke je treba najprej pripraviti v skladu z uporabljenim časovnim modelom pojavljanja potresov, ki ga v tuji praksi večinoma, pri nas pa doslej izključno opisuje Poissonov model. V tem modelu so

dogodki slučajni, brez "spomina" za čas, velikost ali mesto predhodnega dogodka. To je sicer v nasprotju s temeljno teorijo nastanka potresov – teorijo prožnostnega odskoka (elastic rebound theory), npr. (Báth, 1973), a zaenkrat nimamo nobenih uporabnih podatkov za njeno uporabo pri ocenjevanju potresne nevarnosti. Po drugi strani pa se pojavljanje potresov, če iz nabora dogodkov odstranimo pred- in popotrese, kaže kot slučajen proces. Za razpršeno seizmičnost je Poissonov model še posebej primeren.

Na lokaciji obravnavanega pomembnega objekta in v njeni neposredni okolici je treba skrbno raziskati možnost obstoja seizmogernih prelomov. Njihov vpliv na potresno nevarnost je treba pri modelih, ki obravnavajo le razpršeno potresno dejavnost, posebej oceniti in ga prišteti k že izračunani letni pogostosti prekoračitve  $u_b$ . Zaradi velike nezanesljivosti omenjenih seizmoloških, geoloških, geofizikalnih, geodetskih in drugih pomembnih podatkov se navadno oblikuje več modelnih različic potresne dejavnosti. V okviru možnosti velja to tudi za izbiro več modelov pojemanja.

## 5 • PRIMERI VERJETNOSTNEGA OCENJEVANJA POTRESNE NEVARNOSTI POMEMBNIH OBJEKTOV

### 5.1 Splošno

Potresno nevarnost na trdnih tleh lokacij pomembnih objektov v Sloveniji lahko s prvim približkom ocenimo z referenčno vrednostjo na karti projektnega pospeška tal za povratno dobo 475 let (Lapajne, 2001b), pomnoženo s faktorjem pomembnosti objekta. Za objekte, pri katerih faktor pomembnosti ni predpisan, pa lahko za povratni dobi 1000 ali 10.000 let uporabimo tudi že izdelani karti potresne nevarnosti (Lapajne, 2001c), (Lapajne, 2001d), (Lapajne, 2002b), za druge povratne dobe pa je potreben izračun. Natančnejša ocena pa v vsakem primeru zahteva nov izračun potresne nevarnosti, ki daje za dano lokacijo poleg posameznih vrednosti vršnega pospeška tal tudi krivulje potresne nevarnosti in spektre enotne potresne nevarnosti.

V nadaljevanju je opis glavnih značilnosti ocenjevanja potresne nevarnosti na lokacijah treh pomembnih objektov v Sloveniji v zadnjih letih. Kot je bilo že uvodoma omenjeno, so v vseh primerih ne glede na dejanska tla na lokaciji posameznega objekta dane le vrednosti vršnega in spektralnega pospeška za trdna tla (vrsta A po EC8/1). Pri vseh objektih je bila potresna nevarnost izračunana s postopkom Gaussovega glajenja razpršene potresne dejavnosti (Šket Motnikar, 2000), (Lapajne, 2003) z uporabo petih modelov, ki so jih sestavljali točkovni potresni izvori. Za modeliranje potresne dejavnosti je bil razvit preprost količinski seizmotektonski model (Poljak, 1998), (Poljak, 2000), izračun pa podpira posebej izdelan računalniški program OHAZ (Zabukovec, 2000). Za model pojemanja je bila uporabljena atenuacijska enačba (Sabetta, 1996). Za NEK je bil izračun

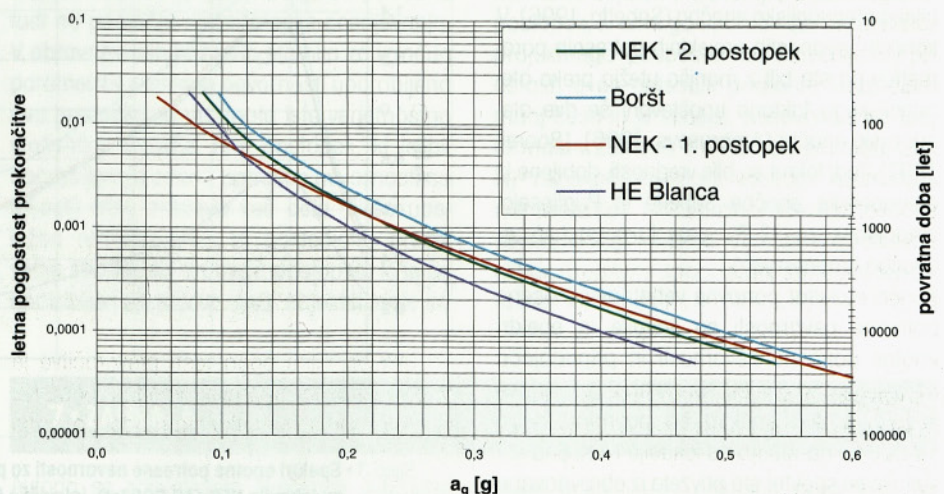
po gornjem postopku narejen (posebej za ta prispevek) po eni strani za lažjo primerjavo z rezultati za ostale tri objekte, po drugi pa za primerjavo rezultatov dveh postopkov na istem primeru. Glede na dejstvo, da je NEK najpomembnejši objekt s stališča ocenjevanja potresne nevarnosti v Sloveniji, je bila narejena uradna ocena potresne nevarnosti na lokaciji NEK po zahtevnem in dragem postopku (Fajfar, 2004a). Postopek uporablja ploskovne in prelomne potresne izvire, v katerih je potresna dejavnost enakomerno porazdeljena. Za računanje po tem postopku je bil uporabljen računalniški program FRISK88 (Risk Engineering, 1988).

Končni rezultat verjetnostne ocene potresne nevarnosti po enem ali drugem postopku so krivulje in spektri enotne potresne nevarnosti. Slika 2 kaže krivulje potresne nevarnosti –

pogostost letne prekoračitve danih vrednosti vršnega pospeška tal  $a_g$ , slika 3 pa spektre enotne potresne nevarnosti spektralnega pospeška  $S_o$  za vse tri objekte za trdna tla za povratne dobe, ki določajo maksimalni potres, mejno stanje nosilnosti oziroma raven SL-2. Za izračun spektralnih vrednosti je bilo privzeto 5 % kritično dušenje.

### 5.2 Nuklearna elektrarna Krško

V letih 1992–1994 so bili z verjetnostno oceno potresne nevarnosti NEK preverjeni potresni parametri, ki so bili uporabljeni pri projektiranju jedrske elektrarne (Fajfar, 1994), (Lapajne, 1995), (Lapajne, 1997). Raziskava se je ob upoštevanju navodil (IAEA, 1991) in v okviru finančnih možnosti zgledovala po nekaterih primerih sicer precej obsežnejših raziskav potresne nevarnosti za jedrske elektrarne v ZDA npr. (EPRI, 1988). Za raven tveganja SL-2 je bila privzeta letna pogostost prekoračitve 0,0001 oziroma povratna doba 10.000 let. V izvedbi projekta so sodelovale 3



Slika 2 • Krivulje potresne nevarnosti za lokacije NEK, jalovišče Boršt in HE Blanca. (Objavljeno s soglasjem Nuklearne elektrarne Krško in HSE Invest, Maribor)

skupine strokovnjakov, ki so neodvisno ena od druge izdelale vsaka svoj seizmotektonski model in pripadajoče modele potresne dejavnosti ožje in širše okolice NEK. Modele potresne dejavnosti so sestavljali ploskovni in prelomni potresni izvori. Za model pojemanja sta bili uporabljeni dve objavljeni atenuacijski enačbi (Pugliese, 1989), (Campbell, 1994). Ker je bila pri določitvi koeficientov atenuacijske enačbe Puglieseja in Sabetta upoštevana večja od obeh vodoravnih komponent parametra potresnega gibanja  $u$ , so bile pri izračunu za NEK vrednosti tega parametra zmanjšane za 12 % (srednja vrednost naj bi bila za približno toliko manjša od večje vodoravne komponente).

V letih 2002–2004, torej deset let po prvi PSHA, je sledila ponovljena verjetnostna analiza potresne nevarnosti lokacije NEK (Fajfar, 2004a). Formalna podlaga ponovne ocene so bila še vedno navodila IAEA iz leta 1991, saj so dela potekala že pred izidom novih navodil (IAEA, 2002), (IAEA, 2003), je pa ocena v skladu z novimi navodili. Ob vključitvi novih seizmoloških, geoloških in geofizikalnih podatkov in spoznanj o območju in bližnji okolici NEK je bil ob nekaterih izboljšavah uporabljen praktično isti postopek verjetnostnega ocenjevanja, ob enem novem programu in nekaterih dodatnih podprogramih pa je bil tudi glavni računalniški program še vedno FRISK88. V projektu so sodelovali strokovnjaki iz Slovenije, Hrvaške in Združenih držav Amerike. Tudi tokrat so modele ploskovnih in/ali prelomnih potresnih izvorov izdelale tri neodvisne skupine strokovnjakov, pri čemer so vse izhajale iz enega samega seizmotektonskega modela, ki ga je izdelala posebna skupina. Za modeliranje pojemanja je bila za izračun vrednosti vršnega in spektralnega pospeška na trdnih tleh uporabljena atenuacijska enačba (Sabetta, 1996). V končnih vrednostih projektnih potresnih parametrov pa sta bili z manjšo utežjo preko atenuacijskega faktorja upoštevani še dve atenuacijski enačbi (Ambraseys, 1996), (Boore, 1997). Tudi tokrat so bile vrednosti, dobljene iz atenuacijske enačbe Sabetta in Puglieseja, zmanjšane za 12 % (prav tako pa tudi za enačbo Ambraseysa).

Končni rezultat ponovne verjetnostne ocene potresne nevarnosti so krivulje in spektri enotne potresne nevarnosti in pripadajoča ocena nezanesljivosti. Na slikah 2 in 3 se dve krivulji in dva spektra za povratno dobo 10.000 let nanašata na lokacijo NEK. Ena krivulja in en spekter sta privzeta iz obravnavane raziskave v letih 2002–2004 (Fajfar, 2004a) in kažeta medialne vrednosti, druga krivulja in

spekter pa sta za primerjavo posebej za ta prispevek izračunana s postopkom Gaussovega glajenja razpršene potresne dejavnosti na podlagi točkovnih izvorov (brez dodatnega modeliranja prelomnih izvorov). Sliki kažeta, da se krivulja in posebej spekter primerjalnega izračuna, v katerih pa ni upoštevano 12 % zmanjšanje vrednosti, ne razlikujeta bistveno od krivulje in spektra, ki sta privzeta iz omenjene raziskave.

### 5.3 Jalovišče Boršt

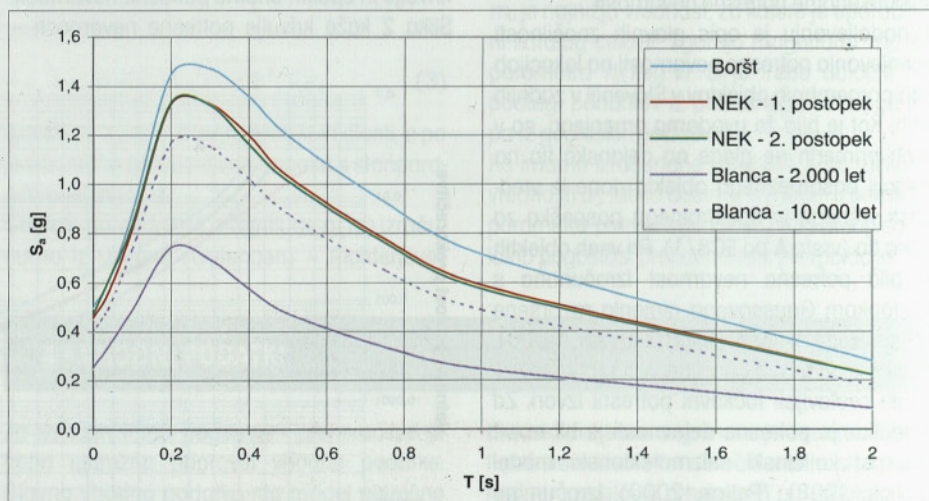
Leta 1999 je bila za odlagališče hidrometalurške jalovine Boršt blizu Gorenje vasi z verjetnostnim ocenjevanjem potresne nevarnosti (Lapajne, 1999), (Lapajne, 2000) preverjena ocena projektnih potresnih parametrov iz leta 1992. Takrat sta bili skladno z določbami Pravilnika o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (UL SFRJ, 1981) za dve ravni potresnega tveganja določeni naslednji vrednosti vodoravne komponente vršnega pospeška (trdnih) tal: 0,27 g za projektni in 0,48 g za maksimalni potres.

Izhajajoč iz iste zakonodajne podlage, a s povsem drugačno metodologijo, kot je bila uporabljena leta 1992, je bila leta 1999 izračunana krivulja potresne nevarnosti  $a_g$  za trdna tla, iz katere je bilo razvidno, da sta gornji projektni vrednosti praktično enaki vrednosti za povratni dobi 1000 in 10.000 let (pripadajoči vrednosti sta bili 0,26 g in 0,49 g). S tem je bila potrjena ustreznost projektnih vrednosti, saj povratni dobi 1000 in 10.000 let primerno določata obe ravni potresnega tveganja za obravnavani objekt.

Povratna doba 10.000 ustreza ravni tveganja SL-2, ki se uporablja pri določanju projektnih potresnih parametrov za jedrske elektrarne. Po nekaterih merilih za nižjo raven tveganja (maksimalni potres, mejno stanje nosilnosti, raven SL-2) je jalovišče Boršt tudi jedrski objekt, ki sicer glede potresne ogroženosti ni tako kritičen kot jedrska elektrarna, ima pa po drugi strani zelo dolgo življenjsko dobo. Zardi slednjega je tudi povratna doba 1000 let za SL-1 primerna za določitev pripadajočih projektnih parametrov. Zaradi primerljivosti z ostalimi izračuni v tem prispevku, smo modeliranje potresne dejavnosti iz leta 1999 malenkostno spremenili in za ta prispevek izračunali novo krivuljo potresne nevarnosti (slika 2). Na tej krivulji pripadata povratni dobi 1000 in 10.000 let vrednosti 0,27 g in 0,50 g, ki potrjujeta predhodni zaključek. Posebej za ta prispevek smo izračunali še spekter  $S_0$  za povratno dobo 10.000 let (slika 3).

### 5.4 Pregrada HE Blanca

Leta 2004 so bili za potrebe projektiranja pregrade HE Blanca določeni projektni potresni parametri (Fajfar, 2004b). Formalna podlaga raziskave je bil pravilnik iz leta 1981 (UL SFRJ, 1981), v praktični izvedbi pa se je raziskava opirala tudi na sicer neuradni, a konkretniji osnutek pravilnika za inženirske objekte iz leta 1985 (SZS, 1985). Sliki 2 in 3 kažeta krivuljo potresne nevarnosti  $a_g$  in spekter enotne potresne nevarnosti  $S_0$  za povratno dobo 2000 let. Za primerjavo s spektri za druga dva objekta je na sliki 3 dodan za HE Blanca še spekter za povratno dobo 10.000 let.



Slika 3 • Spektri enotne potresne nevarnosti za povratne dobe, ki določajo raven tveganja SL-2 za lokacije NEK (10.000 let), jalovišče Boršt (10.000 let) in HE Blanca (2000 let). Za HE Blanca je za primerjavo z ostalimi spektri dan tudi spekter za povratno dobo 10.000 let. (Objavljeno s soglasjem Nuklearne elektrarne Krško in HSE Invest, Maribor.)

Omenjeni osnutek pravilnika za inženirske objekte (SZS, 1985) je sicer za posamezne pregrade predvideval ravni tveganja za povratni dobi 200 in 1000 let. Ker pa je pregrada HE Blanca v nizu spodnjosavskih pregrad, dolvodno nedaleč od nje pa leži mesto Krško in nekoliko dalje NEK, sta bili zaradi ogroženosti večjega števila prebivalstva, industrije in infrastrukturnih objektov ter še posebej jedrske elektrarne za opredelitev dveh ravni potresne nevarnosti predlagani povratni dobi 475 (ki določa projektni potres) in 2000 let (ki določa maksimalni potres).

### 5.5 Povzetek ocenjevanja treh objektov

Slika 2 kaže krivulje potresne nevarnosti za vse tri obravnavane objekte, za NEK dve, za druga dva objekta pa po eno. Potek krivulje, ki je privzeta iz zadnje raziskave potresne nevarnosti na lokaciji NEK, je v večjem delu razmeroma blizu drugi krivulji za NEK. Krivulji potresne nevarnosti za HE Blanca in jalovišče Boršt pa v povprečju odstopata od krivulj za NEK. Na omenjeni karti je lokacija HE Blanca na območju vrednosti projektnega pospeška tal 0,175 g, lokacija NEK na območju 0,200 g, lokacija jalovišča Boršt pa na območju 0,225 g.

Pri spektrih enotne potresne nevarnosti so razmerja drugačna, saj kaže slika 3 spektra za različne povratne dobe. Spekter za lokacijo jalovišča Boršt in oba spektra za lokacijo NEK, vsi za povratno dobo 10.000 let, so precej višji od spektra za lokacijo HE Blanca za povratno dobo 2000 let, kar je razumljivo glede na razliko v povratni dobi in dejstvo da se HE Blanca nahaja na območju manjše potresne nevarnosti. Spekter za jalovišče Boršt je v celoti zaznavno višji od obeh spektrov za NEK, ki se skoraj ujemata, saj se

Boršt nahaja na območju večje potresne nevarnosti kot NEK.

Pri določanju projektnih potresnih parametrov je treba praviloma upoštevati veljavno zakonodajo. Ker pa je ta pomanjkljiva, se v praksi uporabljajo tudi dokumenti (glej preglednico 1), ki nimajo zakonske veljave, so pa v širšem prostoru priznani kot ustrezna podlaga za določanje projektnih potresnih parametrov. Preglednica 2 povzema dokumente in parametre, ki so bili uporabljeni za opisane tri primere pomembnih objektov.

Objekt	Dokument	Parameter ravni tveganja		
		Povratna doba (let)	Povratna doba (let) &	Faktor pomembnosti
NEK	IAEA 1991 IAEA 2002	0.000 / -		
JALOVIŠČE BORŠT	UL SFRJ 1981 (IAEA 1991)	10.000 / 1.000		
PREGRADA HE BLANCA	UL SFRJ 1981 (SZS 1985)	2.000 / 475		
POMEMBNI MOSTOVI	EC8/2 2004	(1.000 / 200)	475 / 95	1,3

Preglednica 2 • Privzete formalne zahteve določitve projektnih potresnih parametrov za obravnavane tri objekte in pomembne mostove

## 6 • SKLEP

Pri ocenjevanju potresne nevarnosti in določanju projektnih potresnih parametrov se v slovenski praksi primerno upoštevajo načela potresno odpornega projektiranja. Po drugi strani pa je tudi očitno, da temelji ocenjevanje potresne nevarnosti na lokacijah pomembnih objektov in pripadajoče določanje projektnih potresnih parametrov na več nepovezanih dokumentih, ki imajo zelo različno formalno pravno veljavo. V prihodnje bodo potresno odporno projektiranje v Sloveniji in v okviru tega tudi ocenjevanje potresne nevarnosti urejali predvsem evropski standardi. Zelo verjetno pa bodo ostali jedrski objekti, predvsem elektrarne, vsaj še nekaj časa v "pristojnosti" IAEA. Pa tudi potresno odporne projekcije velikih pregrad evropski standardi ne pokrivajo. Za objekte, ki so predmet obravnavanja v evropskih standardih EC8/1 in EC8/2, je določitev nekaterih referenčnih parametrov v posebnem nacionalnem dodatku k EC8 v pristojnosti posameznih držav. Za objekte, ki niso eksplicitno naštetih v EC8, bi bilo treba določiti merila za ravni tveganja (povratna doba,

faktor pomembnosti) s posebnim zakonskim aktom, v katerega bi po zgledu EC8/1 in navdih IAEA dodali še nekatere splošne metodološke napotke in zahteve za ocenjevanje potresne nevarnosti na lokacijah pomembnih objektov.

Manjše dopolnitve zakonodaje so potrebne tudi na področju metodologije ocenjevanja. V obravnavanih primerih sta bila za izračun parametrov potresne nevarnosti uporabljena dva postopka, ki pa imata iste verjetnostno statistične temelje. Prvi postopek, ki je bil uporabljen za oceno potresne nevarnosti na lokaciji NEK, zahteva več dela, širšo udeležbo strokovnjakov in posledično precej večje stroške od drugega postopka, ki je bil uporabljen pri ostalih dveh objektih, daje pa

poleg srednjih vrednosti parametrov tudi vsaj subjektivno oceno nezanesljivosti rezultatov. Zaradi splošne uveljavljenosti prvega postopka (in računalniškega programa), bo verjetno tudi v prihodnje z njim najlažje zadovoljiti zahteve IAEA. Za vse druge pomembne objekte v Sloveniji pa predlagamo postopek, ki smo ga uporabili pri uradni karti projektnega pospeška tal Slovenije in pri ostalih dveh opisanih primerih, ki zahteva manj časa in je cenejši, zadovoljuje pa tudi formalne zahteve. Pri tem pa je treba vselej raziskati možnost obstoja seizmogenih prelomov na širšem območju lokacije pomembnega objekta in posebej upoštevati njihov morebitni vpliv v oceni potresne nevarnosti.

## 7 • ZAHVALA

Avtorja se zahvaljujeta Nuklearni elektrarni Krško in družbi HSE Invest, Maribor, ki sta dovolili objavo nekaterih rezultatov verjetnost-

nega ocenjevanja potresne nevarnosti na lokacijah jedrske elektrarne in načrtovane HE Blanca, ki sta jih financirale.

## 8 • LITERATURA

- Ambraseys, N.N., Simpson, K.A., Bommer, J.J., Prediction of horizontal response spectra in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25(4), 371–400, 1996.
- Båth, M., *Introduction to Seismology*, Birkhäuser Verlag, Basel, Stuttgart, 395 pp, 1973.
- Boore, D.M., Joyner, W.B., Fumal, T.E., Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: A summary of recent work, *Seismological Research Letters*, 68(1), 128–153, 1997.
- Campbell, K.W., Bozorgnia, Y., Near-source attenuation of peak horizontal acceleration from worldwide accelerograms recorded from 1957 to 1993, 5th U.S. Ncee, Chicago, Proceedings, EERI, 1994.
- CEN, Eurocode 8 – Design provisions for earthquake resistance of structures, Part 1-1: General rules, seismic actions and general requirements for structures, European Prestandard, ENV 1998-1-1, European Committee for Standardization, Brussels, 1994.
- 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, EN 1998-2:200X, Draft No 5, Doc CEN/TC250/SC8/N390, European Committee for Standardization, Brussels, 2004b.
- Cornell, C.A., Vanmarcke, E. H., The major influences on seismic risk, *Proceedings of the Fourth World Conference on Earthquake Engineering*, Santiago, Chile, A-1, 69-93, 1969.
- EPRI, Seismic Hazard Methodology for the Central and Eastern United States, EPRI NP-4726-A, Revision 1, Final Report, Electric Power Research Institute, Palo Alto, 1988.
- 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., 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 1, University of Ljubljana, Department of Civil Engineering, Institute of Structural and Earthquake Engineering, with subcontractors, Ljubljana, 2004a.
- 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, 2004b.
- Frankel, A., Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States, *Seism. Res. Lett.* 66, št. 4, 8–21, 1995.
- Frankel, A., Mueller, C., Barnhard, T., Leyendecker, E., Wesson, R., Harmsen, S., Klein, F., Perkins, D., Dickamn, N., Hanson, S., Hopper, M., USGS national seismic hazard maps, *Earthquake spectra* 16, 1–20, 2000.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., Frequency of earthquakes in California, *Bull. Seism. Soc. Am.* 34, 185–188, 1944.
- IAEA, Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting, A Safety Guide, A Publication Within the NUSS Programme, Safety Series No50-SG-S1 (Rev. 1), International Atomic Energy Agency, Vienna, 1991.
- 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. ISSN 0017–2774.
- Lapajne, J.K., Fajfar, P., Seismic hazard reassessment of an existing NPP in Slovenia, *Nuclear Engineering and Design* 175, 215-226, 1997.
- Lapajne, J. K., Šket Motnikar, B., Zabukovec, B., Zupančič P., Spatially-smoothed seismicity modelling of seismic hazard in Slovenia, *J. Seism.* 1, 73–85, 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. ISSN 0017–2774.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Nova karta potresne nevarnosti – projektni pospešek tal namesto intenzitete. *Gradbeni vestnik* 50, str. 140–149, 2001a.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Potresna nevarnost Slovenije – Projektni pospešek tal, Karta, Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, 2001b.

- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Potresna nevarnost Slovenije – Pospešek tal za 1000 let, Karta, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, 2001c.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Potresna nevarnost Slovenije – Pospešek tal za 10.000 let, Karta, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, 2001d.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Tolmač karte potresne nevarnosti Slovenije, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, 2002a.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Tolmač karte potresne nevarnosti Slovenije, Gradbeni vestnik 51, str. 44–48, 2002b.
- 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.
- Poljak, M., Količinski seizmotektonski model Slovenije, Geološki zavod Ljubljana – Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana, 1998.
- Poljak, M., Zupančič, P., Lapajne, J. K., Šket Motnikar, B., Seismotectonic input for spatially smoothed seismicity approach, Proceedings of the Workshop Seismicity modeling in seismic hazard mapping, Poljče, Slovenia, May 22–24, 117–124, 2000.
- Pugliese, A., Sabetta, F., Stima di spettri di risposta da registrazioni di forti terremoti italiani, Ingegneria Sismica VI/2, 3–14, 1989.
- 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.
- Sabetta, F., Pugliese, A., Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions, Bull. Seism. Soc. Am. 86, 337–352, 1996.
- SIST, 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. K., Zupančič, P., Zabukovec, B., Application of the spatially smoothed seismicity approach for Slovenia. Proceedings of the Workshop Seismicity modeling in seismic hazard mapping, Poljče, Slovenia, May 22–24, 125–133, 2000.
- UL SFRJ, Pravilnik o tehničkih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, Uradni list SFRJ, 844–855, št. 31/1981.
- URSSM, Eurocode 8 – Projektiranje potresno odpornih konstrukcij – Del 1-1: Splošna pravila – Potresna obtežba in splošne zahteve za konstrukcije, SIST ENV 1998-1-1 Urad RS za standardizacijo in meroslovje, 2000.
- Youngs, R. R. and K. J. Coppersmith, Implication of Fault Slip Rates and Earthquake Recurrence Models to Probabilistic Seismic Hazard Estimates, Bull. Seism. Soc. Am. 75, 939–964, 1985.
- 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.

# RUŠENJE MOSTU ČEZ REKO KRKO PRI ČATEŽU

## DEMOLITION OF BRIDGE OVER RIVER KRKA NEAR ČATEŽ

**Radovan Kotnik, univ. dipl. inž. grad.,  
Drago Kristan, univ. dipl. inž. str.,  
Barbara Mušič, univ. dipl. inž. grad.**

Gradis GP Ljubljana, Gradnikove brigade 11,  
1000 LJUBLJANA

Strokovni članek UDK 69.059.6:624.21

**Povzetek** | Poleg mostov, ki jih je GRADIS GP Ljubljana zgradil na trasi avtoceste Krška vas – Obrežje, je bil eden zahtevnejših projektov rušenja obstoječega mostu čez reko Krko pri Čatežu. Ker je rušenje objektov, zlasti mostov večjih razponov in višin, konstrukcijsko ter tehnološko-operativno zelo zahtevno, navajamo nekaj naših izkušenj pri podiranju 130 m dolgega mostu na bivši hitri cesti H1 Ljubljana-Zagreb čez reko Krko pri Čatežu.

**Summary** | Beside bridges which were erected by the company GRADIS GP Ljubljana on motorway line Krška vas – Obrežje, the demolition of the bridge over river Krka near Čatež was one of the more exacting piece of work. The demolition of the bridges, especially those of longer spans and heights is, considering structural behaviour and technological – logistic view, almost as exacting as the erection itself. Thus some of our experiences about the demolition of 130 m long bridge on former highway H1 Ljubljana-Zagreb, are presented.



Slika 1 • Stari most



## 1 • UVOD

V članku je opisan postopek rušenja starega mosta čez reko Krko pri Čatežu na trasi nekdanje hitre ceste H1 Ljubljana – Zagreb. V projektu gradnje avtoceste Karavanke – Obrežje se je ta cesta na delu trase Krška

vas – Obrežje preoblikovala v desni vozni pas avtoceste, zato so se morali vsi objekti na njej prilagoditi predpisom, ki veljajo za avtocesto. Vsi obstoječi objekti na trasi so se porušili in zamenjali z novimi, vključno

z obravnavanim mostom čez Krko pri Čatežu.

V prvi fazi se je zgradila nova (leva) polovica avtoceste z novimi objekti, po končani gradnji se je promet preusmeril nanjo in se je pričelo s preoblikovanjem stare trase. Pri tem je bil eden večjih objektov most čez Krko, ki ga je bilo treba zgraditi na lokaciji obstoječega objekta, pred tem pa porušiti starega.

## 2 • KRATEK OPIS OBJEKTA

### 2.1 Konfiguracija objekta

V nadaljevanju je podan kratek opis konfiguracije in gradnje mostu, ki sta se dali razbrati iz dostopne dokumentacije in sta bili pomembni za načrtovanje rušitvenih faz. Most je bil zgrajen leta 1956 in predan prometu 1957. Objekt je premoščal Krko pod kotom  $50^\circ$ . Os vozišča je bila prostorsko ukrivljena. Tloris osi je potekal v loku s polmerom  $R = 1400$  m, ukrivljenost v vertikalni ravnini je bila  $R = 15\,000$  m. Objekt je bil zasnovan kot statično nedoločena konstrukcija preko treh polj s spreminjajočo se višino vzdolžne prekladne konstrukcije. Podprta je na dveh vmesnih rečnih podporah in dveh krajnjih obrežnih opornikih. Polja nosilne konstrukcije so imela razpetine 34,5, 60,0 in 35,6 m.

Nosilna konstrukcija je bila sestavljena iz štirih vzdolžnih neprekinjenih nosilcev spremenljive višine, ki so bili zgoraj in spodaj med seboj povezani s ploščami. Prečni prerez nosilne konstrukcije je imel presek v obliki zaprte škatle s stranskima konzolama. Višina škatle nad vmesno podporo je bila 5,44 m, nad krajnjima podporama 1,1 m, v sredini srednje razpetine pa 1,2 m.

Podpore v reki so bile zgrajene na stopničastih pasovnih temeljih, na katerih je bil postavljen pravokotni, hidravlično oblikovan betonski steber. Zgornji del vmesne podpore je bil sestavljen iz armiranobetonskega prečnika MB 30, ki je bil podlaga za ležišča prekladne konstrukcije. Rečni podpori sta bili temeljeni na skalni, 7 m pod površjem.

Obrežna opornika sta bila izdelana v razčlenjeni armiranobetonski konstrukciji. Sestavljena sta bila iz štirih stebrov, ki so bili medsebojno vezani z oporno steno in prečnikom zgoraj. Stebri so stali na pasovnem temelju na skalnati podlagi.

Most z razponom polja 60 m je bil nedvomno za tiste čase izreden projektantski in izvajalski dosežek.

### 2.2 Stanje konstrukcije mostu pred rušenjem

Med uporabo mostu so se pojavljali različni problemi in poškodbe, izvedena so bila delna sanacijska dela. V nadaljevanju je navedeno nekaj pomanjkljivosti:

- Takoj po razodranju mostu so se pojavile razpoke v spodnji plošči v srednjem in krajnjih poljih na mestu maksimalnih momentov. Pozneje so se pojavile razpoke v konzolah in v stojinah nad rečnima podporama.

- V posameznih komorah se je nabirala voda, ki je vplivala na korozijo armature in luščenje betona.

- Na spodnji in zgornji plošči so bile opazne večje razpoke, ki so potekale v različnih smereh

- Iz poročila o detajlnem pregledu so bile razvidne večje poškodbe v posameznih poljih, ki bi zahtevale znatna sanacijska dela z ojačitvami prečnega prereza.

Na konstrukciji sta bili izvedeni dve obsežni sanaciji mostu, v letih 1978–1979 in 1989. Pri prvi sanaciji je bil zamenjan celotni zgornji ustroj cestišča in sanirana betonska voziščna plošča na posameznih mestih. Pri drugi sanaciji so bila izvedena le manjša obnovitvena dela.

Pri oceni stanja mostu je vzbujala pozornost predvsem razpokanost posameznih elementov v določenih conah. Ker most ni bil trajno opazovan, tudi ni bilo mogoče ugotoviti ali se razpoke širijo. Pri zunanem ogledu so bile s

prostim očesom opazne razpoke v spodnji plošči v vseh treh razponih na mestih maksimalnih pozitivnih momentov.

Prečne razpoke v konzolah so nastopale v razdaljah 30 do 100 cm in so se nadaljevale v stojine krajnih nosilcev – reber, nekatere so segale do spodnje plošče.

Za potrebe bodoče avtoceste bi se moral prečni prerez razširiti in prevzeti dodatno obtežbo po DIN 1702, razred SLW 600/300. Iz poročila o ponovni statični preveri je razvidno, da so bile za zahtevano obtežbo najbolj poddimenzionirani nosilni elementi vozišča, in sicer konzole, voziščne plošče med nosilci in prečniki. Analiza je pokazala, da bi konzole lahko prevzele le 40 % zahtevane obtežbe. Voziščne plošče med nosilci niso bile sposobne prevzeti nove obtežbe, še posebej na mestih, kjer je njihova debelina le 15 cm. Pri glavnih nosilcih so bile dopustne napetosti za novo obtežbo prekoračene.

Za odpravo vseh naštetih pomanjkljivosti in pripravo objekta za izpolnjevanje pogojev, ki jih morajo imeti objekti na AC, bi se morala izvesti večja sanacijska dela in ojačevanje glavne konstrukcije. Ta dela bi presegala 50 % vrednosti novega objekta. Glede na starost objekta in pričakovano življenjsko dobo saniranega objekta bi že stroški ojačitve ca. 30 % cene novega objekta opravičili izvedbo novega objekta. Pri tem je bilo smiselno upoštevati tudi dejstvo, da je v okviru evropskih cestnih transportnih povezav močna tendenca po dovoljenih prevozih vedno težjih tovornjakov glede na trenutno dovoljene teže. Zaradi omenjenega je bil sprejet sklep, ki je predvidel rušenje obstoječega in gradnjo novega objekta.

## 3 • TEHNOLOGIJA RUŠENJA

Prva varianta rušenja je predvidevala podpiranje s klasičnim odrom, z rezanjem konstrukcije na segmente ustrezne teže in odstranjevanje z avtodvigalom. Ker smo do sredine reke že imeli nasip za izdelavo

pomožne podpore (obrazložitev v nadaljevanju), smo zasnovali metodo rušenja z demolijskimi stroji. Nasip je bil v tem primeru potreben za dostop drobilnih in transportnih strojev ter prestrezanje padajočega materia-

la, kar je bila tudi zahteva strokovnjakov za ekologijo in ihtiologijo. Glavni razlog, ki je pretehtal pri primerjavi in vrednotenju obeh variant, in odločitvi za spremembo načina rušenja, pa je bil izredno kratek rok. Postavljanje klasičnega odra in veliko število rezov bi znatno presegle zahtevane in postavljene roke. Zato smo se skupaj z nadzornikom odločili za

tehnično sicer bolj zahtevno, a hitrejšo metodo. Zahtevnost je terjala stalno sodelovanje izvajalca in nadzornika. Statični sistem se je sproti spreminjal, zato je bilo potrebno preverjati stabilnost in nosilnost preostale konstrukcije za vse faze. Most je bil sprojektiran racionalno, kot kontinuiranec, zato je bila večina armature nad podporami, v spodnji coni pa le

minimalna. Pri rušenju nastali sistemi pa so v glavnem potrebovali nosilno armaturo v spodnji coni. Zato smo morali most najprej razbremeniti in v sredini glavnega razpona dodatno podpreti.

Glede na izvedene zaključke in rezultate preliminarnih statičnih kontrolnih izračunov je bila torej izbrana varianta rušenja z demolijskimi stroji. Model rušenja je bil zasnovan na odstranitvi vseh elementov prekladne konstrukcije, do minimalno še nosilnega sistema, dodatno podprtega s pomožno podporo v sredini glavnega razpona. Sledil je prerez glavnih betonskih nosilcev v sredini in postopno drobljenje do popolne odstranitve zgornje konstrukcije. Končna dela so bila porušitev rečnih stebrov in krajnih opornikov.

Na osnovi teh predpostavk je bil izdelan projekt rušenja s postopkovnimi fazami, opredeljena mehanizacija in predvidena vsa pomožna dela. Vse navedeno je opisano v nadaljevanju.

Kompleten material ruševin je bil recikliran, jekleni deli odpeljani na odpad, betonski zdrobljeni agregat pa vgrajen v telo nove avtoceste.

### 3.1 Pripravljalne operacije

#### 3.1.1 Servisni nasip v Krki in dostopne poti

Glede na predvideno tehnologijo in opremo za rušenje je bilo potrebno izdelati v strugi reke pod mostom servisni nasip. Ta je služil za postavitve osnovnega stroja z demolijskimi kleščami, prestrezanje materiala, ki je odpadal pri rušenju ter zbiranju in odvozu ruševin. Gradil se je v dveh fazah, vsaka do polovice struge. Širina nasipa je bila najmanj 15 m, s tem da je moral floris omogočati postavitve osnovnega stroja demolijskih klešč in druge opreme, ki je bila predvidena v projektu rušenja. Prav tako je bilo treba izdelati dostopne poti za pristop strojev na nasip in odvoz ruševin na začasno deponijo oziroma prostor za reciklažo.

#### 3.1.2 Priprava prekladne konstrukcije za rušenje

Pred rušenjem je bil s prekladne konstrukcije odstranjen asfalt, ograje in robni venci. To je bilo potrebno zaradi zmanjšanja teže pri rušenju in neoviranega dostopa strojev na konstrukcijo v posameznih fazah rušenja.

#### 3.1.3 Zavarovanje in zapore ceste

Po načrtu za varno delo je bilo potrebno pred pričetkom del izvesti ustrezna zavarovanja in



Slika 2 • Začetek rušenja



Slika 3 • Porušeno prvo polje

pripraviti zapore lokalne ceste ter obvoze. Dela smo prilagodili tako, da je zadoščala minimalna zapora ceste 12 ur.

### 3.2 Rušenje

Rušenje je bilo statično in tehnološko-operativno zahtevna operacija. Za posamezne faze je bil izdelan kontrolni statični račun z dokazom stabilnosti, iz katerega so sledile posamezne faze samega postopka rušenja in opredeljen pristop strojev.

Po zasnovi je bila najprej v sredini vmesnega loka postavljena pomožna podpora. Temelje-

na je bila na mikropilotih (zaradi potrebne proste višine ni bila mogoča izdelava klasičnih pilotov), na katerih je bila zabetonirana AB peta kot temelj dvema AB stebroma. Na vrhu stebrov je bila položena jeklena konstrukcija, ki je direktno podpirala most v sredini glavnega razpona. Ta podpora je pozneje služila kot pomožna podpora pri narivanju konstrukcije novega mosta.

Za zavarovanje prekladne konstrukcije proti vzdolžnem zdrsu (most je bil v 3,1 % vzdolžnem nagibu) je bil v vzdolžni osi prekladne konstrukcije pred desnim rečnim ste-

brom vstavljen vertikalni trn HEB 600, ki je prebadal zgornjo in spodnjo ploščo prekladne konstrukcije in se je spodaj opiral na rečni steber. Trn je bil sprojektiran in konstrukcijsko oblikovan na silo prostega zdrsa.

Sledila je odstranitev asfalta, robnih vencev in ograj.

#### 3.2.1 Rušenje zgornje konstrukcije

Prva faza rušenja je bila odstranitev robnih sekcij (robni betonskih nosilcev "I" ter zgornjih in spodnjih plošč) sredinskega dela prekladne konstrukcije, tako da je ostal samo osni del v širini sredinske škatle preseka. Tako sta ostala ohranjena samo sredinska betonska "I" nosilca, povezana z zgornjo in spodnjo ploščo. Rušenje teh elementov sta opravljala dva bagra z razbijalnimi kladivi, ki sta se umikala od sredinske podpore proti rečnima stebroma (vsak na svojo stran).

V naslednji fazi je en bager odbijal preostali (sredinski) del zgornje in spodnje plošče na levi strani mosta, začevši od sredine k levemu rečnemu steburu. Zaradi zagotovitve zadostne togosti preostale konstrukcije je ostal neporušen del obeh plošč 3,0 m od osi stebra.

Pri odstranitvi navedenih elementov smo ugotovili, da je v zgornji coni nosilcev nepričakovano veliko armature (po količini in dimenzijah), v spodnji coni pa relativno malo. Sicer je bila armatura v odličnem stanju, praktično nenačeta od korozije.

Dokončna odstranitev preostale konstrukcije levo od pomožne podpore je bila opravljena s pomočjo demolijskih škarij, pri čemer je osnovni stroj stal na začasnem nasipu v reki. Z drobljenjem je bila najprej oslabiljena konstrukcija v prvem levem polju, tako da se je prelomila ob steburu in, še vedno delno zadrževana na armaturi, po zdrsu z opornika obvisela na armaturi. Ostanki so bili porezani s hidravličnimi kleščami ter odstranjeni z nasipa.

Na desni strani smo operacijo drobljenja ponovili na preostalem delu konstrukcije. Po končanem delu smo ugotovili, da je bil podpori steber brez armature. V končni fazi rušenja je osnovni stroj stal na nasipu in je drobil beton in rezal armaturo. Pri tem je prišlo do vzdolžnih sunkov in premikov. Sledila je spodmaknitev in razpad stebra po fazah betoniranja, kar je povzročilo dokončno porušitev.

#### 3.2.2 Rušenje stebra in opornikov

Stebre smo porušili z razbijalnim kladivom na bagru, ki je stal na nasipu, enako tudi opornike in pomožne podpore.



Slika 4 • Porušena je polovica mosta



Slika 5 • Prečni presek

## 4 • MEHANIZACIJA IN OPREMA

Pri rušenju so bili uporabljeni naslednji stroji in oprema:

1. Bager LIEBHERR 945 s kleščami VTN FP 20 (64 ton), ročica dolžine 25 m.

2. Bager KOBELCO SK 210 z razbijalnim kladivom Maraton Krupp 1000

3. Bager KOBELCO SK 250 s kleščami CC Krupp 2000

4. Drobilec za armirani beton in asfalt tip UT 108/80R (47 ton)

5. Tovornjak MERCEDES Actros 3348 21 ton – tri enote

6. Buldožer CAT DG R XL

## 5 • SKLEP

Pri rušenju starega mostu preko reke Krke pri Čatežu se je posebej izkazalo, da je tudi pri rušenju načrtno delo nujno. Izredno po-

membno je bilo tudi stalno sodelovanje nadzornika z izvajalcem.

## 6 • LITERATURA

GRADIS GP Ljubljana, Most čez Krko 5–1, Tehnično poročilo k tehnološko-ekonomskemu elaboratu rušenja obstoječega mostu, Tehnični biro, 2004.

**VO&VO**  
Napredne tehnologije

### - Zanesljivost

Ima enako nosilno sposobnost kot, če stika ne bi bilo. Zaradi koničnega navoja ne more priti do poškodbe navojev.

### - Visoka trdnost

### - Montažne prednosti

S samo štirimi obrati je palica že fiksirana. Vrezovanje navojev se vrši v podjetju ali na samem gradbišču. Pri montaži niso potrebna posebna orodja.

### - Odlične karakteristike pri dinamičnih obtežbah.

### - Reference

Mnogo največjih zgradb na vseh celinah sveta.

### - Konkurenčna cena



Spoj armaturne palice z LENTON mehničnimi spojkami omogoča trden spoj ne glede na stanje betona,

[www.vo-vo.si](http://www.vo-vo.si)

Tudi v Sloveniji!

## Spajanje armaturnih palic

V svetovnem merilu je sistem LENTON uvrščen med najboljše metode mehanskega stikovanja armaturnih palic.



**ERICO**  
**LENTON**

VO&VO d.o.o.

Ljubljanska c. 9

SI - 4240 RADOVLJICA

Tel.: ++386(0) 4 53 74 000

Fax: 04 53 74 009

e-mail: [info@vo-vo.com](mailto:info@vo-vo.com)

[www.vo-vo.si](http://www.vo-vo.si)

## PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2005

SEMINAR		IZPIT		
Časovni termin		Osnovni in dopolnilni	Revidiranje	ZGO - C
April	11. - 12. (ZGO-C)	Ustni: 05.		
Maj				Pisni: 06. Ustni: 17.
Junij	06. - 07. (ZGO-C)			
September				Pisni: 16. Ustni: 27.
Oktober	03. - 06.		Ustni: 25.	
November		Ustni: 08.		

**A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:**

Pripravljalne seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Karlovska 3, 1000 Ljubljana;**

Telefon/fax: (01) 422-46-22; e-naslov: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net).

Seminar vključuje **izpitne programe** za:

1. odgovorno projektiranje (osnovni in dopolnilni strok. izpit)
2. odgovorno vodenje del (osnovni in dopolnilni strok. izpit)
3. odgovorno vodenje posameznih del
4. tehnike in inženirje, ki so vpisani v posebni imenik odgovornih projektantov pri IZS po 100.e čl. ZGO - (ZGO-C).
5. dopolnilni strokovni izpit iz investicijskih procesov in vodenja projektov za kandidate, ki so si po prvotno opravljenem strokovnem izpitu pridobili dodatno izobrazbo.

(Vsi posamezni programi so dostopni na spletni strani IZS - MSG: <http://www.izs.si>, v rubriki »Strokovni izpiti«, pod naslovom »Gradiva«!)

K seminarju vabimo tudi kandidate drugih inženirskih strok, ki se lahko pridružijo predavanjem iz splošnega dela programa.

**Cena** za udeležence **seminarja** po izpitnih programih 1., 2. in 3. točke znaša 102.000,00 SIT z DDV, po izpitnem programu 4. točke in za splošni del programa 51.600,00 SIT z DDV, za 5. točko pa 14.400,00 SIT z DDV.

Seminar ni obvezen, zato je izvedba seminarja odvisna od števila prijav (najmanj 20).

Udeleženca prijavi k seminarju plačnik (podjetje, družba, ustanova, sam udeleženec...). Prijavo v obliki dopisa je potrebno poslati organizatorju (ZDGITS) najkasneje 15 dni pred pričetkom določenega seminarja in zraven poslati kopijo dokazila o plačilu kotizacije.

Prijava mora vsebovati: priimek, ime, poklic (zadnja pridobljena izobrazba), izpitni program (1./2./3./4./ - Glej zgoraj!), naslov udeleženca ter natančni naslov in ID DDV številko plačnika.

Poslovni račun ZDGITS je 02017-0015398955; ID DDV številka 79748767.

**B. STROKOVNI IZPITI**

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije je mogoče dobiti na spletni strani IZS <http://www.izs.si> (kjer se nahajajo vse informacije o strokovnih izpiti, izpitni programi in prijavi obrazec!) in po telefonu (01) 547-33-15 vsak delavnik od 09.00 do 12.00 ure.

# NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Metod Mrzlikar**, Tehnologija izdelave betonskih elementov v cestnih predorih, mentor doc. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Daniilo Cijak**, Upravljanje mirujočega prometa, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor asist. dr. Peter Lipar

**Tomaž Gorenc**, EKO prehodi – živalim prijaznejše ceste, mentor doc. dr. Tomaž Maher

**Gvido Modrijan**, Strokovne podlage za obračunavanje nadomestila za uporabo stavbnega zemljišča – primer Občine Lukovica, mentor izr. prof. dr. Albin Rakar

**Gregor Škrbec**, Hidrološki model Gradaščice z Glinščico, mentor prof. dr. Mitja Brilly, somentor asist. dr. Mojca Šraj

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Mitja Schnabl**, Most čez Muro – narivanje in zunanje prednapenjanje, mentor pred. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad., somentor pred. Viktor Markelj, univ. dipl. inž. grad.

**Marjan Korošec**, Sanacija zahtevnega plazišča z dvovrstno pilotno steno, mentor izr. prof. dr. Stanislav Škrabl, smentor izr. prof. dr. Bojan Žlender

**Dejan Tacer**, Parkovni gozd Stražun, mentor pred. Uroš Lobnik, univ. dipl. inž. arh.

**Tomaž Zupanc**, Analiza sekundarnega nosilca montažne hale "PAB" Stavbar, mentor izr. prof. dr. Miroslav Premrov, somentor doc. dr. Boštjan Kovačič

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Lidija Jurički**, Tehnologija izvedbe fekalno-kanalizacijskega sistema, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj

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

# KOLENDAR PRIREDITEV

**2.5 - 5.5.2005**

**ITS America 15th Annual Meeting & Exposition**

Phoenix, Arizona, ZDA  
www.itsa.org/annualmeeting.html  
editor@itsa.org

**4.5 - 6.5.2005**

**TRODSA 2005 Traffic and Road Safety International Congress/Exhibition**

Ankara, Tručija  
www.trodsa.com  
info@trodsa.com

**8.5 - 11.5.2005**

**CTRF 2005 Annual Conference**

Ontario, Kanada  
www.ctrf.ca  
gail.sparks@ctrf.ca

**21.5 - 24.5.2005**

**International Parking Conference & Exposition 2005**

Fort Lauderdale, Florida, ZDA  
www.parking.org  
ipi@parking.org

**22.5 - 27.5.2005**

**WREC - World Renewable Energy Congress**

Aberdeen, Škotska  
www.aecc.co.uk

**1.6 - 3.6.2005**

**5th European Congress and Exposition on ITS**

Hannover, Nemčija  
www.hgluk.com  
b.butler@hgluk.com

**5.6 - 8.6.2005**

**4th European Congress on Traffic**

Salzburg, Avstrija  
www.oevg.st  
office@oevg.st

**6.6 - 10.6.2005**

**Technologies to Enhance Dam Safety and the Environment**

Salt Lake City, Utah, ZDA  
www.ussdams.org  
stephens@ussdams.org

**8.6 - 13.6.2005**

**Conference EUROSTEEL 2005**

**Research, Eurocodes, Design and Construction of Steel Structures**  
Maastricht, Nizozemska

**13.6 - 16.6.2005**

**11th Joint CIB International Advantages for Real Estate and Construction Sector**

Helsinki, Finska  
www.ril.fi/cib205  
kaisa.venalainen@ril.fi

**27.6 - 29.6.2005**

**2005 RETC 16th Rapid Excavation & Tunneling Conference & Exhibit**

Seattle, Washington, ZDA  
www.retc.org/retc\_CallForPapers.cfm  
davis@smenetf.org

**27.6 - 30.6.2005**

**ESREL 2005 European Safety and Reliability Conference**

Gdynia-Sopot-Gdansk, Poljska  
www.esrel2005.am.gdynia.pl  
esrel2005@am.gdynia.pl

**5.7 - 7.7.2005**

**6th International Congress Global**

**Construction: Ultimate Concrete Opportunities**  
Dundee, Škotska, VB  
www.ctucongress.co.uk

**19.7 - 21.7.2005**

**Conference AESE 2005**

**Advances in Experimental Structural Engineering**  
Nagoya, Japonska

**7.8 - 10.8.2005**

**2005 ITE Annual Meeting and Exhibit**

Melbourne, Victoria, Avstralija  
www.ite.org/meetcon/index.html  
ite\_staff@ite.org

**22.8 - 24.8.2005**

**Construction Materials (ConMat'05):**

**Performance, Innovations and Structural Implications**  
Vancouver, Kanada  
www.civil.ubc.ca/conmat05

**14.9 - 16.9.2005**

**IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium Structures and Extreme Events**

Lisboa, Portugalska  
www.iabse.ethz.ch/index.php  
iabs.lisbon2005@lnec.pt

**19.9 - 22.9.2005**

**6th International Symposium on Cable Dynamics**

Charleston, ZDA  
www.conf-aim.skynet.be/cable  
info@aim.skynet.be

**19.9 - 26.9.2005**

**The International Symposium of High CFRDs**

Yichang, Kitajska  
yssdchen@tom.com  
yssdchen@msn.com

**26.10 - 28.10.2005**

**EVACES - Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures**

Bordeaux, Francija  
bourgain@mail.enpc.fr

**27.10 - 28.10.2005**

**The 2004 Forum on Hydropower; Supply, Security and Sustainability**

Gatineau, Kanada  
collug@videotron.ca

**22.11 - 25.11.2005**

**12th World Water Congress**

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

**12.3 - 15.3.2006**

**Roadex 2006**

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

**4.7 - 7.7.2006**

**Infrastructure Facilities Asia 2006**

Singapore, Singapore  
www.infrastructure-asia.com  
enquiry@hqinterfama.com

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



CM Celje, d.d., Lava 42, 3000 Celje  
tel.: 03 42 66 100, faks: 03 42 66 306

## Dejavnosti

- I. Program nizke gradnje
- II. Program mostovi, viadukti,  
visoke gradnje
- III. Proizvodnja izdelkov in  
gradbenih materialov
- IV. Sistem ravnanja z inertnimi  
gradbenimi odpadki
- V. Storitve

