





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

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774  
Ljubljana, februar 2012, letnik 61, str. 25-48

Izdajatelj:

**Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS)**, Leskoškova 9e, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Javne agencije za knjigo RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**  
**prof. dr. Matjaž Mikoš**  
**Jakob Presečnik**  
MSG IZS: **Gorazd Humar**  
**mag. Črtomir Remec**  
**doc. dr. Branko Zadnik**  
FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**  
FG Maribor: **Milan Kuhta**  
ZAG: **prof. dr. Miha Tomažević**

Glavni in odgovorni urednik:

**prof. dr. Janez Duhovnik**

Sodelavec pri MSG IZS:

**Jan Kristijan Juteršek**

Lektor:

**Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:

**Darja Okorn**

Tajnica:

**Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočevski tisk**

Naklada:

**3000 izvodov**

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

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

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 22,95 EUR; za študente in upokojene 9,18 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 169,79 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:

SI56 0201 7001 5398 955

## Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

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

Uredništvo

# Vsebina • Contents

## Nagrajeni gradbeniki

stran **26**

izr. prof. dr. Jana Šelih, univ. dipl. inž. grad.

**PREŠERNOVE NAGRADE IN PRIZNANJA NAJBOLJŠIM ŠTUDENTOM  
NA FAKULTETI ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO UNIVERZE  
V LJUBLJANI V LETU 2011**

## Nove knjige

stran **27**

prof. dr. Janez Duhovnik, univ. dipl. inž. grad.

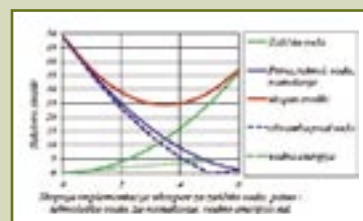
**DOSEŽKI SLOVENSKEGA GRADBENIŠTVA (1918–1941) IN  
STAVBENIK JOSIP SLAVEC**

## Članki • Papers

stran **28**

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.

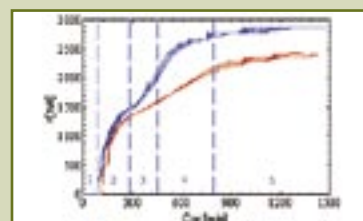
**INTERDISCIPLINARNOST IN INTEGRALNO UPRAVLJANJE IN  
NAČRTOVANJE VODNIH SISTEMOV**  
INTERDISCIPLINARITY AND INTEGRATED MANAGEMENT AND  
PLANNING OF WATER RESOURCES



stran **37**

doc. dr. Gregor Trtnik, univ. dipl. inž. grad.

**OBČUTLJIVOST ULTRAZVOČNE METODE NA PRISOTNOST  
PLASTIFIKATORJEV V SESTAVI CEMENTNIH PAST**  
SENSITIVITY OF ULTRASONIC METHOD TO DETECT A PRESENCE  
OF PLASTICIZERS IN CEMENT PASTES



## Obiski gradbišč

stran **47**

dr. Andrej Širca, univ. dipl. inž. grad.

**GRADBIŠČE LOČNE PREGRADE SVETA PETKA V MAKEDONIJI**

## Vabilo

stran **48**

**ZPM Projektni forum**

## Novi diplomanti

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

## Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Gradbišče bloka 6 Termoelektrarne Šoštanj, foto arhiv Skupine Primorje

# PREŠERNOVE NAGRADE IN PRIZNANJA NAJBOLJŠIM ŠTUDENTOM NA FAKULTETI ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO UNIVERZE V LJUBLJANI V LETU 2011

V četrtek, 1. decembra 2011, smo na UL FGG podelili Prešernove nagrade Fakultete za gradbeništvo in geodezijo za posebno uspešna dela študentov dodiplomskih študijev ter pohvale najuspešnejšim študentom po študijskih dosežkih.

Prešernove nagrade so najvišje nagrade za dosežke študentov, ki jih podeljujejo Univerza v Ljubljani in njene članice s ciljem spodbujanja znanstveno-raziskovalne in umetniške dejavnosti študentov dodiplomskega študija tradicionalno vsako leto v tednu univerze, posvečenemu obletnici ustanovitve Univerze v Ljubljani, ki pa sovpada tudi z dnem rojstva dr. Franceta Prešerna. Nagrada se podeli samostojnim delom, ki so izdelana v času dodiplomskega študija in predložena v predpisani obliki. Za Prešernove nagrade so lahko predlagana dela, ki izrazito presegajo redne študijske zahteve in so napisana v strokovno neoporečni slovenščini. V letu 2011 so bile podeljene štiri Prešernove nagrade Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, od tega dve študentom geodezije ter po ena študentoma

gradbeništva in vodarstva in komunalnega inženirstva. Nagrade so prejeli:

- **Bojan Šavrič** za nalogo Določitev polinomske enačbe za naravno zemljino kartografsko projekcijo, mentor doc. dr. Dušan Petrovič, somentor dr. Bernhard Jenny, prof. dr. Lorenz Hurni (ETH, Zürich, Švica)
- **Nuša Lazar** za nalogo z naslovom Projektiranje stavb na sprejemljivo potresno tveganje – primer osemetažne armirano-betonske stavbe, izdelano pod mentorstvom izr. prof. dr. Matjaža Dolška
- **Urška Bajc** za nalogo Pogreški pri meritvah padavin in izračun popravka, mentorica doc. dr. Mojca Šraj
- **Urška Železnik** za nalogo Gravitacijski modeli stalnih selitev po izbranih državah Evrope pod mentorstvom doc. dr. Anke Lisec in somentorstvom viš. pred. mag. Samota Drobneča.

Med našimi študenti je tudi mnogo takšnih, ki so s svojim vestnim, sprotnim in uspešnim študijskim delom vzor svoji generaciji kolegov in tudi tistim, ki študij šele začinjajo. Najboljšim med njimi podeljuje fakulteta že

vrsto let nagrade za najuspešnejše študente. Namen nagrade je torej dvojen: nagrajencem kot nagrada za trud in opravljeno delo, drugim študentom pa kot spodbuda za doseganje odličnih ocen pri študiju.

Med najuspešnejšimi študenti UL FGG v letu 2011 so naslednje študentke in študenti: pri študijskem programu Gradbeništvo **Anja Kotar, Štefan Markič, Laura Pavlovič** in **Miha Povše**, pri študijskem programu Vodarstvo in komunalno inženirstvo **Urban Čepon, Domen Dolšak** in **Gala Jarc** ter **Matic Čoh, Adis Sinanović** in **Rok Udir** pri študijskem programu Operativno gradbeništvo.

Pri študijskem programu Geodezija in geoinformatika so pohvale prejeli **Lucija Cigelšek, Teja Mikelj** in **Urša Poglajen, Klemen Ritlop, Grega Šoič** in **Jernej Tekavec** ter **Aleksandra Draksler** in **Mario Grdič** pri študijskem programu Tehnično upravljanje nepremičnin. Vsem nagrajencem iskreno čestitamo.

**izr. prof. dr. Jana Šelih, univ. dipl. inž. grad.,  
prodekanka za študentske zadeve**

# DOSEŽKI SLOVENSKEGA GRADBENIŠTVA (1918–1941) IN STAVBENIK JOSIP SLAVEC

Konec leta 2011 je izšla že druga knjiga o stavbeniku Josipu Slavcu, rojenem v Tacnu pod Šmarno goro, ki je med prvo in drugo svetovno vojno imel svoje gradbeno podjetje s sedežem v Kranju. Prvo, z naslovom Stavbenik Josip Slavec, Ob stoletnici rojstva, sta napisala Majda in Jože Žontar, izšla pa je pri založbi Nova revija v Ljubljani leta 2001. Drugo, z naslovom Dosežki slovenskega gradbeništva (1901–1941), Opus stavbenika Josipa Slavca, Ob 110-letnici rojstva, pa je z več soavtorji napisala prof. dr. Zvonka Zupanič Slavec, izšla pa je pri založbi Celjska Mohorjeva družba. Izdajo je omogočilo več podpornikov, med njimi kot prvonavedena Inženirska zbornica Slovenije.

Knjiga je znanstvena in slikovna monografija, v kateri je na 253 straneh v več člankih podrobno opisano in s številnimi fotografijami prikazano življenje in delo znanega slovenskega stavbenika.

Na prvih straneh knjige je več uvodnikov, ki so jih napisali predsednik Evropskega sveta gradbenih inženirjev Gorazd Humar (Uvodna misel evropskega sveta gradbenih inženirjev), predsednik Inženirske zbornice Slovenije mag. Črtomir Remec (Inženirska zbornica Slovenije ob izidu knjige), podžupanja Mestne občine Kranj Nada Mihajlovič (Živel in delal je med nami), vodja območne enote Zavoda za varstvo kulturne dediščine Kranj Miloš Ekar (Josip Slavec (1901–1978), stavbenik, podjetnik in domoljub, ki je povezoval bregove in ljudi), direktorica Zavoda za turizem Kranj Natalija Polenec (Zavod za turizem Kranj in njegova promocija stavbne in tehniške dediščine), ravnatelj Gimnazije Kranj mag. Franc Rozman (Slavčevi in Gimnazija Kranj) in avtorica knjige prof. dr. Zvonka Zupanič Slavec (Oživitev del podjetnika in stavbenika Josipa Slavca). V uvodnikih je z različnih vidikov ocenjen pomen dela Josipa Slavca.

Osrednji del knjige se začne s člankom prof. dr. Staneta Grande (Usoda slovenskih podjetnikov po drugi svetovni vojni), v katerem je opisan nastanek slovenskega podjetništva in sovražne razmere ter njegov skorajšnji konec po koncu druge svetovne vojne. Sledijo štiri poglavja, v katerih je s številnimi fotografijami in slikami ilustrirano življenje Josipa Slavca ter gradnja objektov, ki jih je gradilo njegovo podjetje. V prvem poglavju je v preglednem

članku Ksenije Slavec in prof. dr. Zvonke Zupanič Slavec (Življenje in delo Josipa Slavca) opisano tudi delo njegovih naslednikov, sina Saše Slavca in vnuka Aleša Slavca. Drugo poglavje je posvečeno gradnji mostov. V članku Gorazda Humarja (Stavbenik Josip Slavec – graditelj mostov v času med obema svetovnima vojnoma) je na kratko opisan razvoj modernega gradbeništva pri nas do časa, ko je Josip Slavec začel svojo poklicno pot. Opisane so razmere, v katerih je deloval Josip Slavec, ter načini gradnje in tehnične posebnosti mostov, ki jih je njegovo podjetje gradilo na Gorenjskem, v Zidanem Mostu in pri Kosinju na Hrvaškem. Opisuje tudi delovanje Josipa Slavca med drugo svetovno vojno in po njej, ko je bilo njegovo podjetje nacionalizirano in je postalo temelj obnove številnih pomembnih objektov, kasneje pa vodil in nadzoroval gradnjo različnih objektov predvsem v Kranju. Tretje poglavje obravnava gradnjo cest. V članku mag. Tomaža Budkoviča (Stavbenik Josip Slavec – graditelj državnih in banovinskih cest v Kraljevini Jugoslaviji) so opisane razmere v državi, ki je obnavljala in modernizirala številne obstoječe ceste in gradila nove. Pri tem je pomembno sodelovalo podjetje Josipa Slavca, ki se je opremilo s takrat

najsodobnejšo mehanizacijo in imelo lastna kamnoloma. Posodobili ali na novo zgradili so več odsekov državnih in banovinskih cest. Četrto poglavje obsega delo Josipa Slavca pri visokih gradnjah (stavbah). V članku prof. dr. Petra Fistra (Vpetost Slavčevega dela v slovensko kulturno krajino) je ocenjeno delo Josipa Slavca kot gradbenika izvajalca na področju, kjer imajo sicer najpomembnejšo vlogo projektanti. Avtor ocenjuje, da brez kakovostnih izvajalcev ni mogoče uresničiti kakovostnih projektov.

Zadnja tri poglavja je slikovno opremila prof. dr. Zvonka Zupanič Slavec. Fotografije iz družinskega arhiva prikazujejo zanimive podrobnosti tedanje gradnje, posebnost pa so reprodukcije umetniških upodobitev, ki so delo slikarjev Avgusta Andreja Bucika, Ignaca Mihevca in Ernsta Murra.

Na koncu knjige najdemo pregled del Josipa Slavca (1926–1965), slovenski, angleški in srbski povzetek knjige.

Knjiga je pomembna za poznavanje in razumevanje razvoja slovenskega gradbeništva ter zgodovine gradenj na naših tleh. Življenje in delo Josipa Slavca kažeta, da je v gradbeništvu mogoče uspeti tudi v kriznih časih, če le imaš dovolj znanja in podjetnosti.

**prof. dr. Janez Duhovnik, univ. dipl. inž. grad.**



# INTERDISCIPLINARNOST IN INTEGRALNO UPRAVLJANJE IN NAČRTOVANJE VODNIH SISTEMOV

## INTERDISCIPLINARITY AND INTEGRATED MANAGEMENT AND PLANNING OF WATER RESOURCES

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.  
Barjanska cesta 68, Ljubljana

Strokovni članek  
UDK 349.6:351.79:504.4:556.003

**Povzetek** | Prispevek obravnava na konkretnem primeru preskrbe z vodo vprašanje integralnega načrtovanja in upravljanja voda v Sloveniji, ki se doslej zaradi velikega vodnega bogastva ni razvilo, kot bi bilo za optimalno gospodarjenje z vodami potrebno. Dosežena stopnja gospodarskega razvoja z industrializacijo, kmetijstvom in urbanizacijo potrebuje integralno načrtovanje in upravljanje voda, ki je eden od ključnih elementov prostorskega načrtovanja za nadaljnji uspešen razvoj države.

Ključne besede: interdisciplinarnost, integrirano upravljanje, integrirano načrtovanje, vodni viri.

**Summary** | On a concrete case of water supply the paper deals with the problem of integrated planning and management of the Slovenian water resources which, in recent years, due to abundant water have not been developed sufficiently according to the principles of ecologically and economic optimal water resources management. However, nowadays because of the economic development, industrialization, agriculture and urbanization of the country an integrated water resources management has become one of the vital elements of space planning for the future development and wellbeing of the state.

Key words: interdisciplinarity, integrated management, integrated planning, water resources.

### 1 • UVOD

Ideja in potreba po optimalnem, integralnem upravljanju in gospodarjenju z vodnim bogastvom je v Sloveniji prisotna že od samih začetkov organiziranega upravljanja voda na prvi Državni upravi za vode, poznejši Zvezi vodnih skupnosti in sedanji organiziranosti vodnega sektorja pri MOP.

Zaradi obilja dobrih voda in drugih potreb so bili v ospredju predvsem vprašanje vodne energije (energetska izraba Drave, Soče in Save), obramba pred poplavami, preskrba

s pitno vodo, melioracije kmetijskih površin itd.

V zaporednem reševanju teh časovno aktualnih problemov in velikem vodnem bogastvu države lahko vidimo tudi pglavilni vzrok, da v Sloveniji pravega, v resnici celostnega integralnega upravljanja voda, kot ga poznajo nekatere gospodarsko in industrijsko bolj razvite države, še nismo razvili.

Vprašanje kakovosti voda in zdrave pitne vode se je resneje zastavilo šele v osemdesetih letih

prejšnjega stoletja. V tem času do danes pa pravega ekološko in ekonomsko vzdržnega, to je optimalnega načrtovanja in upravljanja voda, slovenska vodna stroka s komplemen-tarnimi strokami še ni razvila.

Prispevek obravnava vprašanje interdisciplinarnosti in relevantnosti hidroloških in kakovostnih ocen voda ter rešitev za upravljanje in gospodarjenje z vodami na konkretnem primeru preskrbe s pitno vodo slovenske Istre in zalednega Krasa, o katerem so bila strokovna vprašanja podrobneje obravnavana že v preteklih številkah Gradbenega vestnika.

Definicija o namenu in potrebi integralnega upravljanja vodnih *bogastev* avtorjev

(Hachfeld, 2009) ne potrebuje dodatnih utemeljitev in pojasnil (citiram):

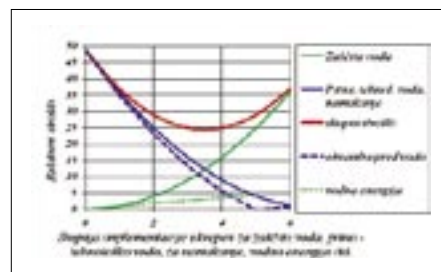
*Naravni vodni krog je krhek sistem. Ohraniti ga moramo današnji in bodočim generacijam. Voda ni v naši lasti. Od narave si jo le sposodimo. Zato jo moramo odgovorno uporabljati le v potrebni količini, je ne onesnažujemo in jo v visoki kakovosti vračamo v vodni krog. Zaščita vode in preprečevanje erozije tal je naša dolžnost. Trajnostno (vzdržno) ravnanje z vodo je prva naloga vseh organizacij za preskrbo z vodo, odvod in čiščenje odpadnih voda. Orodje za doseg te ciljev pa je integralno upravljanje voda na posameznih porečjih.*

Potrebujemo pa obravnavo o načrtovanju, operacionalizaciji in implementaciji tega integralnega upravljanja voda na nivoju porečij, na nivoju države in končno na mednarodnem nivoju (na primer na mednarodnih rekah, kot so v Sloveniji Soča, Kolpa, Sava, Drava in Mura, če naštejemo le največje. Naloga vseh

treh komponent integralnega upravljanja je, da zastavljene okoljske cilje zagotovimo z najnižjimi stroški. Pri tem ne gre le za ceno urejanja voda, ampak tudi za posredne pozitivne sinergistične učinke za celostni gospodarski in kulturni razvoj družbe. Prav tako ni treba posebej dokazovati, da je slabo stanje voda, enako kot celotnega okolja, omejitveni faktor razvoja.

Načrtovanje voda je strokovno kompleksna naloga, pri čemer pa nekaterih naravnih vrednot ni vedno mogoče ekonomsko »trdo« ovrednotiti. Sodijo v ekonomsko »mehko« kategorijo, ki je lahko z okoljskega vidika enako pomembna (ohranitev biološke mnogovrstnosti, ki je stebler biološke stabilnosti vodnega in celotnega okolja, itd.).

Zato pa je pomembno, da je cena, ki jo zahtevajo »trdne« (slika 1), večinoma inženirske rešitve za doseg zastavljenih ciljev, čim nižja (čiščenje odpadnih voda, kanalizacijski, vodovodni sistemi, regulacije itd.).



Slika 1 • Shematski prikaz vodnogospodarske optimizacije rešitev na zaključenem porečju

Vrednotenje posameznih posegov v vodni režim za rabo ali za obrambo pred vodami po metodi cost-benefit je zahtevna, vendar pa je izvedljiva naloga, ker gre za tehnično in finančno določljiv obseg del.

Pogoj za celostno vrednotenje, ekonomsko in naravovarstveno presojo možnih rešitev pa je interdisciplinarni pristop.

## 2 • PROBLEM INTERDISCIPLINARNOSTI

Celostno ekološko vzdržno upravljanje voda potrebuje sodelovanje med vsemi za rešitev relevantnimi strokami, do katerega pa brez interdisciplinarnega znanja, kot je shematsko prikazano na sliki 2, ne pride samo po sebi. Iz dolgoletnih izkušenj kot inženir zdravstvene in ekološke hidrotehnike (Sanitary Engineering, Gesundheitsstechnik) vem, da pri vsem že obstoječem znanju okoljskih problemov rabe in zaščite voda ni mogoče uspešno reševati brez produktivnih rešitev in brez razumevanja sociološko-političnih in ekonomskih pogojev družbe.

Interdisciplinarni pristop potrebuje najprej jasno predstavitev ciljev in fizično možnih rešitev obravnavanega problema, sicer nastanejo »dispersne« raziskave in projekti, ki se množijo, ne dajo pa pričakovanih odgovorov in rezultatov.

Piramide sodelujočih znanj na sliki 2 – v konicah je vrhunska znanost – prikazujejo dva pogoja za uspešno vodenje integralnega načrtovanja in upravljanja vodnih projektov. Vodja projekta, kot oseba ali institucija, potrebuje zaokroženo interdisciplinarno znanje. Pri segmentnih strokah je poleg vrhunskega znanja pomembno razumevanje končnega cilja projekta, za uspešno medsebojno komunikacijo pa tudi določeno znanje sosednjih strok.

Jasno je, da so po principu najšibkejšega člana v verigi enakovredna vsa znanja, ki so potrebna za rešitev problema.

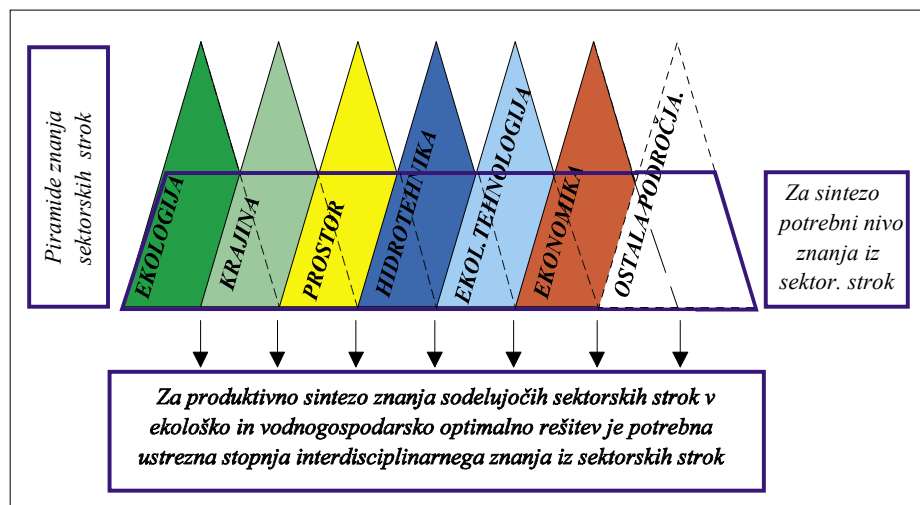
Z interdisciplinarnim pristopom se sektorsko znanje posameznih strok le nadgrajuje v produktivno sintezo vseh relevantnih znanj za rešitev obravnavanega projekta.

Odgovornosti pa so določene. Sektorske stroke z vrhunskim znanjem odgovarjajo za korektnost svojih vložkov. Vodja projekta pa

ob tesni komunikaciji s sodelujočimi strokami za koncipirano rešitev in pravilno sintezo vseh relevantnih znanj za končno rešitev.

Vodjo interdisciplinarnega projekta lahko primerjamo z dirigentom orkestra. Dirigent ni virtuoz posameznih instrumentov. Način in vsebinska interpretacija skladbe pa sta v njegovi domeni. Zato pa mora poznati lastnosti posameznih instrumentov in zmogljivosti instrumentalistov.

Podobno kot dirigent mora tudi projektant ali vodja celotnega projekta imeti določeno stopnjo znanja s strokovnih področij, ki jih projekt vključuje. Za isti problem je večinoma



Slika 2 • Shematski prikaz interdisciplinarnega pristopa s sintezo za rešitev relevantnih znanj

več možnih rešitev. Prvi pogoj pa je, da alternativne rešitve primerjamo z istimi in preverjenimi podatki. Edino na tej podlagi je mogoče koncipirati več realnih rešitev, identificirati probleme in vključiti sektorske stroke, ki so za rešitev relevantne.

Dolgoletno in neuspešno reševanje preskrbe z vodo slovenske Istre in zalednega Krasa je en primer, ne pa edini, kjer se to ne spoštuje.

V preteklih dvajsetih in več letih je bilo izdelanih več projektov za vodo iz Malnov, za vodo iz akumulacij Veliki Padež Kubed (VGI

1980–1996) in Suhorka (IEI 2002–2006), predlogi za akumulacijo Pinjevec (prof. dr. Breznik), veliko akumulacijo ob Rižani, tunelski dovod vode iz Padeža (univ. dipl. inž. Guštin) itd. ter za črpanje kraške podtalnice Brestovica (Vodnar, 2008). Predlagan je bil tudi uvoz vode iz sosednje Italije (slika 3) (prof. dr. Steinman in prof. dr. Kompere).

Za vse te rešitve pa je značilno prav to, da niso bile zasnovane na istih in preverjenih hidroloških podatkih in enaki porabi vode. Problem pitne vode se je reševal parcialno

brez integralne vodnogospodarske in ekološke obravnave ter optimizacije skupnih stroškov rabe vode, zaščite voda in obrambe pred naravno stihijo voda na tem porečju.

Zaradi napačne interpretacije podatkov o kapaciteti obstoječih akumulacij Mola in Klivnika in napačne zahteve MOP za minimalni ekološko sprejemljiv pretok  $Q_{es} = 1,388 \text{ m}^3/\text{s}$  Reke ter brez upoštevanja potrebe po visoki kakovosti Reke za zaščito kraške podtalnice, ki jo napaja, pa sta ostali že zgrajeni akumulaciji Mola in Klivnik še naprej neizkoriščeni.

### 3 • POMANJKLJIVOSTI IN NAPAKE PROJEKTA Z NOVO AKUMULACIJO SUHORKO (PADEŽ) IN DRUGIH IZDELANIH PROJEKTOV

Od vseh na sliki 3 prikazanih rešitev pa je MOP leta 2003 izbral kot optimalno najdražjo – projekt vodovoda z vodno akumulacijo Suhorka (IEI 2002–2006) v vrednosti 81 milijona evrov.

Načeloma je ta potrjeni projekt vodovoda s Suhorko vodnogospodarsko logična rešitev, ker uporabi vodo iz lastnega porečja in je podobno, kot sta Mola in Klivnik, v središču vodooskrbnega območja vseh treh vodovodov (Rižanskega, Kraškega in Ilirskobistriškega).

Žal pa ima tri temeljne napake: a) napačna je trditev projekta, da obstoječi akumulaciji Mola in Klivnik nimata dovolj vode, b) da je treba v Reki pri Cerkvnikovem mlinu zagotoviti minimalni ekološko še sprejemljiv pretok  $Q_{es} = 1,388 \text{ m}^3/\text{s}$ , kar je za Reko, ki presuši, popolni nesmisel, c) napačna je trditev projektantov, da Reka izgublja vodo že pred načrtovanim odvzemom vodovoda pri Cerkvnikovem mlinu. Da Reka pred Cerkvnikovim mlinom ne izgublja vode, je dokazano s hidrološkimi meritvami ARSO od leta 1953 in enako 2003 (slika 8, preglednica 2), in d) niso upoštevali, da Reka z več kot  $250 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{leto}$  vode napaja kraško podtalnico. Zato je treba v Reki že danes tudi brez vodovoda zagotoviti najvišjo kakovost vode.

Investicija po tem projektu IEI z novo 57 metrov visoko pregrado Suhorka bi znašala 81 milijona evrov. Skupaj z v tem primeru neizkoriščenima in 28 milijonov evrov vrednima akumulacijama Mola in Klivnik (Brilly, 2008) pa bi država plačala 109 milijonov evrov.

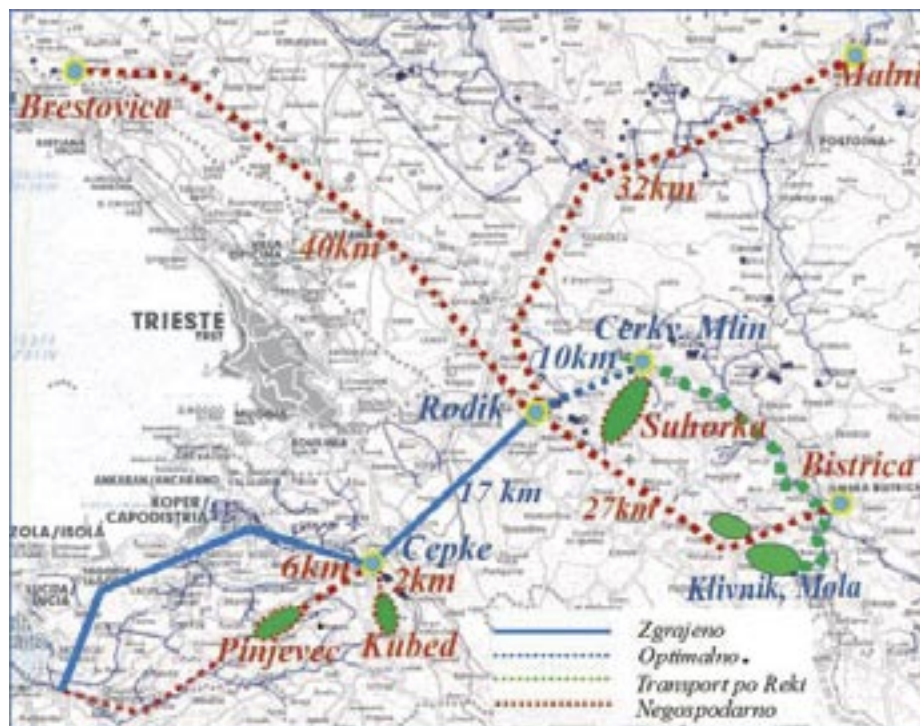
Za uporabo Mole in Klivnika pa je potrebno le 33 milijonov ali 76 milijonov evrov manj denarja (Rismal, 2009). V prvi fazi brez iz-

gradnje novega 17-kilometrskega cevovoda Rodik–Cepke pa le 22 milijonov.

Za to razliko 76 milijonov evrov pa je na tem območju mogoče poleg vodovoda rešiti večino vodnogospodarskih in naravovarstvenih problemov zaščite voda, odvod in čiščenje odpadnih voda, obrambo pred poplavami, namakanje itd.

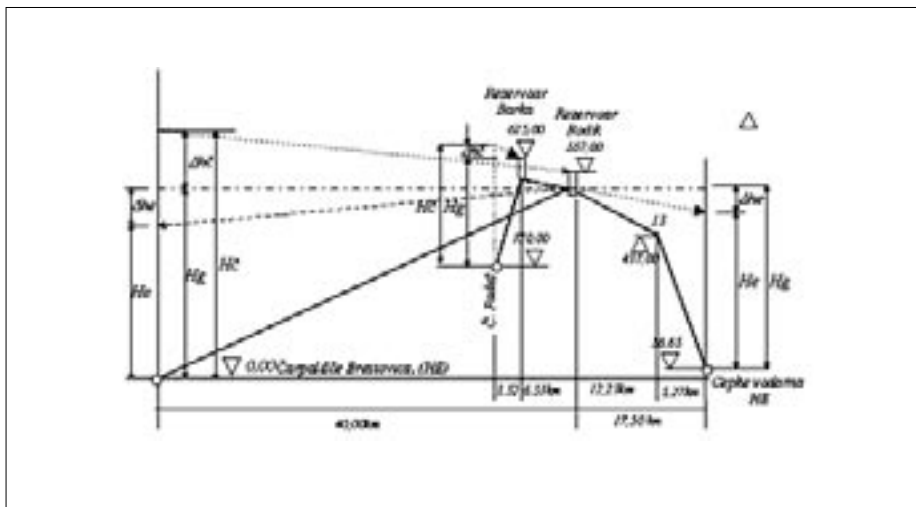
Dokaz za to so že na sliki 3 evidentne in v nadaljevanju z dokazi (ti so v obsežnih dokumentih že leta na mizi MOP) podprte prednosti rešitve vodovoda z Molo in Klivnikom, ki sloni na vsakomur lahko razumljivih dokazih in kriterijih:

1. Vse rešitve morajo zagotoviti Rižanskemu vodovodu enako količino manjkajoče vode.
2. Iz tega sledi, da morajo imeti vsi transportni cevovodi prikazanih rešitev enake zmogljivosti, kar pomeni praktično enake dimenzije in ceno na tekoči meter.
3. Enako morajo imeti vse variante zaradi enake količine in kakovosti vode enako zmogljivost čistilnih naprav za pripravo pitne vode.
4. Rešitve se torej razlikujejo le (slika 3):
  - 4.1 po dolžini cevovodov,
  - 4.2 po tem, ali je ali ni potrebna izgradnja novih akumulacij, ki so največji strošek,
  - 4.3 po energetskih stroških črpanja vode (slika 4).



Slika 3 • Shema obravnavanih rešitev vodovoda Obale zaledne Istre in Krasa





Slika 4 • Višinska shema črpaljšča Padež (Cerkvenikov mlin) in Brestovice z vodarno na Cepkah z naznačeno višino črpanja in možnim izkoriščanjem vodne energije med Rodikom in Cepkami. Uporaba Mole in Klivnika, v primerjavi z Brestovico, omogoča pozitivno energetsko bilanco vseh treh vodovodov (Rižanskega, Kraškega in Ilirskobistriškega)

Spodaj navedeni za DIIP in predinvesticijsko zasnovo relevantni podatki iz idejnih in PGD-projektov obravnavanih rešitev (z izjemo Pinjevca in Mole s Klivnikom, ki sta tehnično le na idejnoprogramskem nivoju) so zadosten dokaz, da so druge rešitve od Mole in Klivnika dva- do štirikrat dražje. Ne izpolnjujejo niti pogoja o integralnem upravljanju in gospodarjenju z vodami:

1. Pri enaki ceni čiščenja pitne vode potrebujejo rešitve iz Ilirske Bistrice (neposredni odvzem vode iz Mole), Malnov in Brestovice 2,7-krat, 3,2-krat in 4-krat daljše in tolikokrat, od rešitve z Molo in Klivnikom, dražje cevovode (slika 3).
2. Mola in Klivnik imata dovolj vode (slika 3). Zato gradnja novih akumulacij na Suhorki,

(Padežu), Kubedu in Pinjevcu, ki pomenijo poleg cevovodov poglobilni strošek, ni z ničimer utemeljena.

3. Prispevna površina Mole in Klivnika 23,3 km<sup>2</sup> je za 25 % večja od Suhorke s prispevno površino le 18,6 km<sup>2</sup>. Zato je že z dvigom krone obeh akumulacij za 2,0 do 4,0 m mogoče pridobiti tudi za dolgoročne potrebe po letu 2062 več vode kot z novo 57 m visoko pregrado na Suhorki. To je dodaten razlog, da gradnja nove akumulacije ni upravičena, dokler možnosti že obstoječih akumulacij niso izkoriščene.
4. Enako kot s Suhorko je tudi z Molo in Klivnikom mogoče porabo energije Kraškega vodovoda za črpanje vode prepoloviti od ca. 2 kWh/m<sup>3</sup> na 0,8 kWh/m<sup>3</sup> (slika 4).

5. Z izrabo 500 m padca med Rodikom in Cepkami pa se zdaj negativna energetska bilanca vseh treh vodovodov spremeni v pozitivno (slika 4).
6. Če bodo v daljši perspektivi nastale potrebe po izgradnji večje vodne akumulacije na Padežu, ostanejo vsi načrtovani objekti z zajemom vode na Reki, čistilno napravo, črpaljščem in cevovodom do Rodika polno izkoriščeni.

Elaborati za Molo in Klivnik, ki jih je MOP prejel, jih pa ne upošteva, vsebujejo naslednje poglobilne dokaze o strokovno neutemeljeni zahtevi MOP za minimalni ekološko sprejemljiv pretok Reke in zato v uvodu navedenih napačnih projektih:

1. Za Reko predpisani  $Q_{es} = 925$  l/s in 1,388 l/s (enako zdaj za  $Q_{es} = 600$  l/s), po katerem so načrtovali nepotrebno in drago novo akumulacijo Suhorko, ni logičen in je brez vsake naravovarstveno in vodnogospodarsko utemeljene podlage.
2. Posledično slonijo vsi projekti obravnavanega vodovoda z akumulacijami Suhorka, Mali Padež; Veliki Padež, Kubed in Pinjevec) na zgrešeni oceni, da Mola in Klivnik za vodovod nimata dovolj vode (preglednica 1 in slike 5, 6 in 7).
3. Z dokazi (preglednica 2, slika 8) pa je ovržena tudi trditev projektantov, da bi Reka nad Cerkvenikovim mlinom izgubljala vodo v podtalje.
4. Enako tudi ni nevarnosti, da bi zaradi vodovoda upadli nizki pretoki v Škocjanskih jamah. Odvzem vodovoda v nizke vode Reke sploh ne posega, ker se akumulacije polnijo v mokrem delu leta (sliki 7 in 8), ampak nasprotno. Pretoki v Reki nad odvzemanjem vodovoda pa bodo večji od naravnih.

#### 4 • POMANJKLJIVOSTI PROJEKTA Z NEPOSREDNIM ČRPNJEM VODE IZ MOLE NA RODIK

Glede vodnih količin je ta projekt podoben uporabi akumulacij Mole in Klivnika po že leta 1994 predlagani rešitvi IZH FGG. Razlikuje pa se od nje v tem, da potrebuje za transport vode iz akumulacij na Rodik ca. 27 km dolg cevovod. Po rešitvi IZH pa je cevovod za ca. 17 km krajši, ker se za transport vode uporabi Reka, podobno kot na reki Ruhr (slike 10–11 in 13–18) in v mnogih drugih primerih.

V primerjavi s sonaravnim transportom vode po Reki (IZH) pa ima ta rešitev naslednje pomanjkljivosti:

1. investicijski stroški za 17 km daljši transportni cevovod Ilirska Bistrica–Rodik (27 km) so večji od transportnega cevovoda Padež–Rodik (ca. 10 km).
2. Ker ima Rižanski vodovod polovico leta dovolj vode, bo 27 km dolg cevovod pokrival

deficit Rižanskega vodovoda le največ šest mesecev. Zato je energetska izraba vode na odseku Rodik–Cepke mogoča največ šest mesecev, po rešitvi IZH pa celo leto.

3. Zato bosta skupaj ca. 44 km dolga transportna cevovoda Ilirska Bistrica–Rodik (27 km) in Rodik–Cepke (14 km) polno izkoriščena na leto le največ šest mesecev!
4. Zaradi ca. 20-krat manjše lokalne porabe na teh odsekih pa bo voda v obeh cevovodih zastajala več kot sedem dni!
5. Z neposrednim odvzemanjem vode iz Mole po cevi do Rodika ostanejo v sušnem obdobju

Reki še naprej le minimalni pretoki. V večjih sušah pa Reka popolnoma presuši (slika 8).

6. Pri uporabi obeh akumulacij in s sonaravnim transportom vode bodo pretoki po Reki

nekajkrat večji od naravnih, biološki potencial Reke na tem odseku pa večji.

7. Trajno črpanje vode iz Brestovice po 40 km dolgem cevovodu 600 m visoko ekonomsko ni utemeljeno. Obstoječi cevovod z

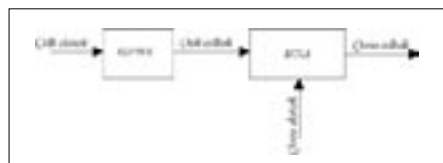
zmogljivostjo 100 do 200 l/s pa pomeni za celoten vodovodni sistem v primeru nepredvidenih izpadov drugih vodnih virov koristno rezervo.

## 5 • PREVERITEV KLJUČNIH PARAMETROV REŠITVE VODOVODA Z MOLO IN KLIVNIKOM

### 5.1 Rezultati meritev v Moli in Klivniku med letoma 1988 in 2008

V vodni bilanci so pritoki v Molo in Klivnik določeni s korelacijo merjenih mesečnih pretokov Padeža in Reke pri Cerkvenikovem mlinu med letoma 1958 in 1973 (preglednica 1). Tako ugotovljene specifične pritoke  $q$  (l/s.km<sup>2</sup>) smo preverili z razpoložljivimi podatki ARSO o gibanju vodnih gladin in iztokov iz obeh akumulacij med letoma 1988 in 2008 (sliki 5 in 6), in sicer:

- od 1988 do 2008 za gibanje vodnih gladin v obeh akumulacijah in iztokov samo iz Mole (zelena regresijska črta);
- od 2002–2008 pa za gibanje vodnih gladin in iztokov iz obeh akumulacij (rdeča regresijska črta).



Slika 5 • Shema pritokov in iztokov vode iz obeh akumulacij

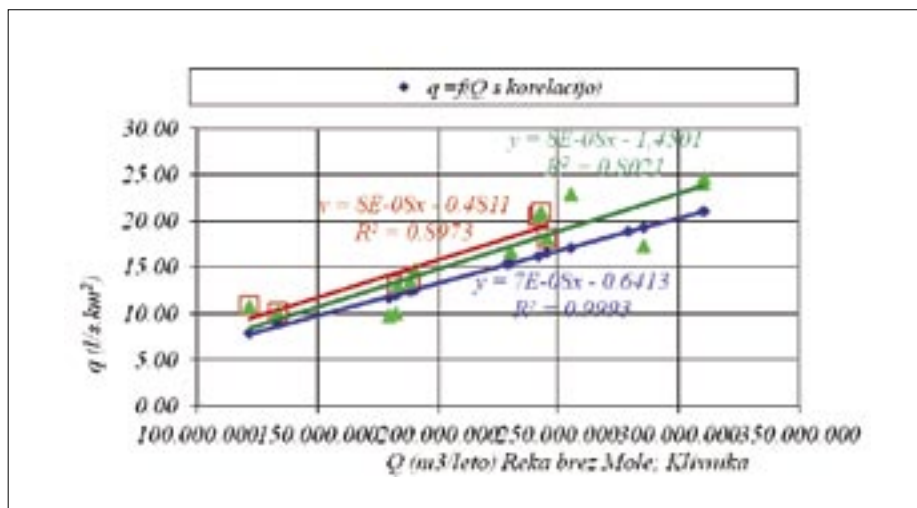
Rezultate obeh meritev (zelena in rdeča regresijska črta) smo primerjali z izračunanimi specifičnimi pritoki po vodni bilanci (modra regresijska črta) na sliki 6. Letni specifični pritoki po vseh treh postopkih se med seboj le malo razlikujejo. Podatki meritev vodnih gladin in iztokov iz obeh akumulacij vključujejo padavine in izhlapevanje, kar daje rezultatom dodatno vrednost.

### 5.2 Rezultati vodne bilance

Vodna bilanca (slika 7) s tako preverjenimi podatki in ob upoštevanju 33-odstotni manjši izdatnosti vodnih virov zaradi predvidenih klimatskih sprememb (slika 9) dokazuje, da lahko obe akumulaciji pokrijeta načrtovane potrebe Rižanskega vodovoda 2062 tudi v

Koefficient korelacije mesečnih pretokov PADEŽA in REKE pri Cerkvenikovem mlinu po meritvah 1958–1973								
Leto	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965
koefficient korelacije	0,97	0,995	0,949	0,978	0,922	0,817	0,976	0,971
Leto	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
koefficient korelacije	0,918	0,955	0,867	0,937		0,94	0,835	0,9

Preglednica 1 • Koefficienti korelacije Padež–Reka–Cerkvenikov mlin 1958–1973



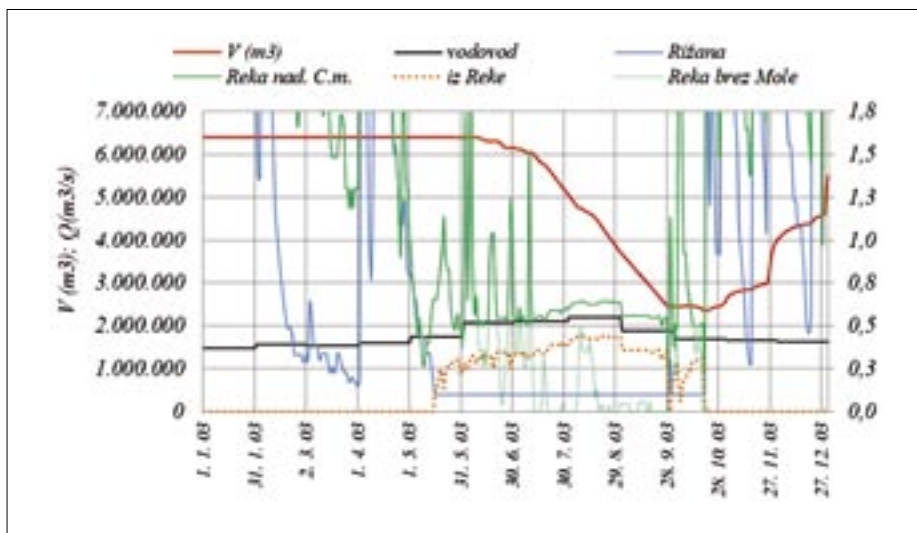
Slika 6 • Primerjava specifičnih odtokov  $q$  (l/s.km<sup>2</sup>) iz prispevnih površin Mole in Klivnika (rdeča, zelena črta) s specifičnimi odtoki, določenimi z vodno bilanco vodovoda (modra črta). Rdeča črta se nanaša na meritve nihanja gladin in iztokov iz obeh akumulacij. Zelena pa na nihanje gladin v obeh akumulacijah, merjeni iztok pa le iz Mole; iztok iz Klivnika ni bil merjen

najbolj sušnem letu s povratno dobo ca. 25 do 50 let, kar sicer ni predpisana, je pa v stroki največkrat privzeta varnost za pokritje načrtovane porabe vode.

### 5.3 Reka med Trnovim in Cerkvenikovim mlinom ne izgublja vode

Trditve projektantov Suhorke in Rižanskega vodovoda smo preverili po meritvah ARSO:

1. s korelacijo pretokov Reke med Trnovim in Cerkvenikovem mlinom po meritvah (preglednica 2);
2. z izpusti vode iz Mole in pretoki Reke pri Cerkvenikovem mlinu v sušnem obdobju 2003, ko bi Reka brez vode iz Mole presušila (slika 8).

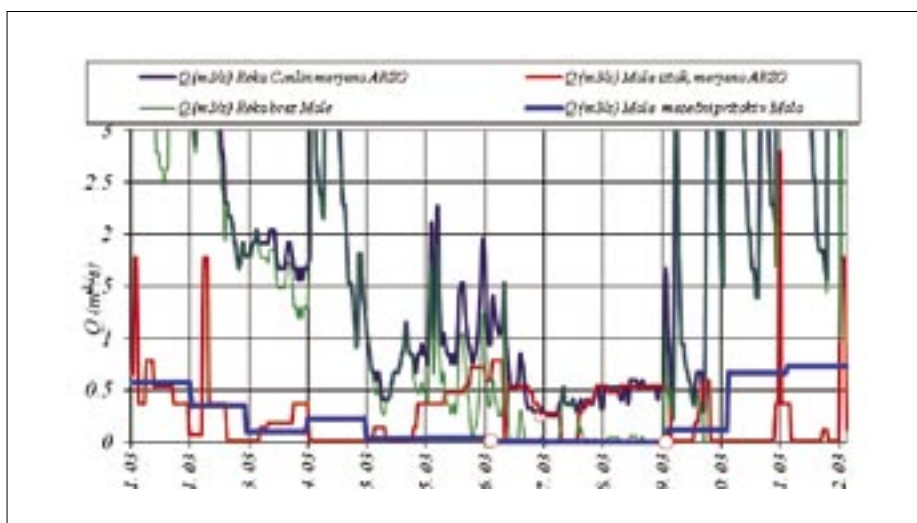


Slika 7 • Bilanca Rižanskega vodovoda za leto 2062 pri suši, kot je bila 2003. z ekstrapolacijom predvidenim 33-odstotnim (glej sliko 9) upadom vseh vodnih virov. Reka nad odvzemom za vodovod ne presuši, kot je leta 2003. Minimalni pretok ni manjši od 0,50 do 0,64 m<sup>3</sup>/s. Pod odvzemom pa ostanejo naravne nizke vode nespremenjene

Koeficienti korelacije pretokov med Trnovim in Cerkvnikovim mlinom; 1958–1973 in 2000–2008

Leto	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
koeficient	0,947	0,995	0,949	0,977	0,922	0,8171	0,976	0,971	0,918
Leto	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973		
Koeficient	0,955	0,867	0,937		0,94	0,835	0,900		
Leto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
koeficient	0,996	0,996	0,983	0,977	0,982	0,978	0,981	0,978	0,997

Preglednica 2 • Korelacija mesečnih pretokov med Trnovim in Cerkvnikovim mlinom dokazuje, da Reka od Mole in Klivnika do Cerkvnikovega mlina ne izgublja vode



Slika 8 • Pretoki Reke pri Cerkvnikovem mlinu; v suši 2003. v Molo in Klivnik ni pritokov. Merjeni izpusti v Reko iz obeh akumulacij pri Cerkvnikovem mlinu pa poleg visoke korelacije med pretoki Trnovo–Cerkvnikov mlin (preglednica 2) dokazujejo, da Reka na tem odseku vode ne izgublja

Iz visoke sovisnosti med mesečnimi pretoki Reke v obeh merskih profilih in iz histograma izpustov iz Mole in pretokov Reke pri Cerkvnikovem mlinu (slika 8) vidimo, da Reka na obravnavanem odseku ne izgublja vode. To potrjuje tako dolgoletna sovisnost pretokov kot nespremenjeni pretok izpusta iz Mole po sicer suhi strugi Reke (preglednica 2).

#### 5.4 Upoštevanje možnega upada Rižane in Reke z Molo in Klivnikom zaradi klimatskih sprememb

Enotna vodna bilanca vseh treh vodovodov, Rižanskega, Kraškega in Ilirskobistriškega, je izdelana brez in z upoštevanjem možnega upada vodnih virov ca. 33 % zaradi klimatskih sprememb za dva primera:

- da se vsi trije vodovodi preko celega leta napajajo le iz Rižane in po Reki iz Mole–Klivnika. Lastni viri Kraškega in Ilirskobistriškega vodovoda služijo kot varnostna rezerva.

Da se v kriznem letnem obdobju poleg navedenih virov vključi voda iz Brestovice in Klaričev.

#### 5.5 Okoljevarstvena presoja rešitve z Molo in Klivnikom

Treba je upoštevati da Reka napaja kraško podtalnico povprečno s ca. 250.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/l vode. Že zaradi varovanja kraške podtalnice je treba Reko, tudi brez vodovoda, zaščititi do najvišje možne mere.

Z načrtnim vodenjem celotnega vodnega sistema (Rižana, Reka z Molo in Klivnikom ter vsemi tremi vodovodi pri načrtovani porabi vode) sedanje naravovarstveno stanje Reke in Rižane ter širše vodno okolje ne bosta prizadeta, ampak bo stanje boljše, kot bi bilo pri že potrjenem projektu vodovoda z novo akumulacijo na Suhorki:

1. Ne bo gradnje 57 m visoke akumulacijske pregrade na Suhorki ali Padežu, kar bi bil velik poseg v okolje.
2. Naravni nizki pretoki v Škocjanskih jamah ne bodo prizadeti, ker se obe akumulaciji polnita v mokrem, praznili pa se bosta v sušnem delu leta (slika 7). Zaradi odvzema vodovoda pa bodo sumarni letni pretoki Reke v Škocjanskih jamah le ca. 2 % manjši od naravnih ter enaki pri uporabi Mole in Klivnika kot pri Suhorki.
3. Tudi pri 33-odstotnem upadu pretokov zaradi klimatskih sprememb leta 2062 pri največji suši kot v letih 1983 in 2003, ko je naravno Reka presušila, bodo pretoki Reke nad Cerkvnikovim mlinom ca. 500 do 640 l/s (slika 7), pod mlinom pa ostanejo naravne nizke vode nespremenjene.

4. Minimalni pretoki Rižane v istem letu 2062 pa bodo od naravnih pretokov ca. 60 l/s za 50 % večji, ca. 110 l/s. Pri obeh rekah pa je višek vode do naravnega minimalnega pretoka na razpolago za namakanje.
5. Z večjimi sušnimi pretoki Reke nad Cerkenikovim mlinom in Rižane bodo hkrati pokrite potrebe vodovoda, biološki potencial obeh rek, na primer za ribištvo, pa bo večji.
6. Poleg večjih nizkih voda se bo povečala tudi kakovost Reke:
  - a. Pri najnižjih pretokih Reke delež 95 % čiščene odpadne vode (takšen učinek čiščenja imajo biološke naprave III. stopnje čiščenja) ne bo večji od 2,87 % (slika 12). Za primerjavo je na reki Ruhr, ki oskrbuje z vodo ca. pet milijonov prebivalcev, delež očiščene odpadne vode 40-odstoten, kar je več kot 10-krat več.
  - b. Z dezinfekcijo očiščene odpadne vode na čistilni napravi v Ilirski Bistrici z ultravijoličnimi žarki bo večja higienska kakovost Reke.

- c. S predvidenim čiščenjem izcedka iz deponije industrijskih odpadkov v Ilirski Bistrici.
  - d. S predvidenimi varovalnimi ograjami na cesti Divača–Ilirska Bistrica in lovilnimi bazeni za onesnaženje cestišča.
  - e. Na kanalizaciji v Ilirski Bistrici se za manjše prelivanje padavinskega odtoka v Reko predvidijo zadrževalniki.
7. Poleg navedenih varnostnih barier je v rezervuarju za premostitev nenadnega onesnaženja Reke predvidena tudi možnost predčiščenja onesnažene vode s koagulacijo, sedimentacijo in po potrebi z aktivnim ogljem v prahu.

**8. Vsa navedena dela za zaščito Reke pa so zaradi zaščite kraške podtalnice, ki jo Reka napaja z 250.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/leto vode, obvezna že danes tudi brez vodovoda.**

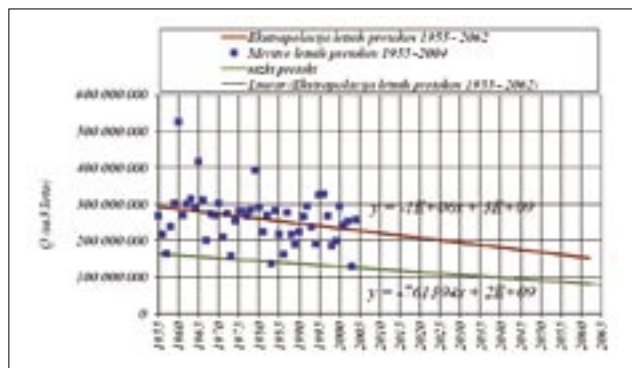
### 5.6 Presoja vpliva očiščenih odpadnih voda na kakovost Reke

Za presojo kakovosti in ogroženosti pitne vode iz obeh akumulacij, Reke in Rižane, bomo predlagano rešitev primerjali s podobno

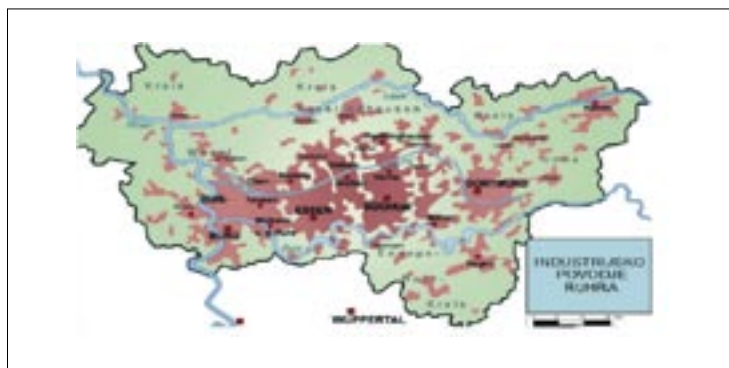
rešitvijo v Porurju. Ob reki Ruhr živi ca. pet milijonov ljudi. Skupaj pa se iz te reke oskrbuje z vodo okoli deset milijonov prebivalcev (slika 10). Vodo iz več vodnih akumulacij pa transportirajo namesto po dolgih in ekološko sterilnih cevovodih kar po Ruhru.

Očiščene odpadne vode (slike 10, 13–18 kažejo le del čistilnih naprav na bregovih Ruhra) v Ruhru dosegajo do 40 % njenih nizkih pretokov.

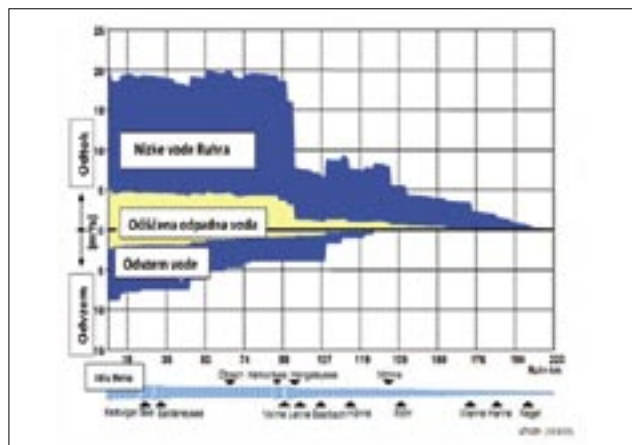
Občina Ilirska Bistrica pa ima le 9000 prebivalcev, od tega ca. 5000 v Ilirski Bistrici. Delež odpadnih voda v Reki pa ni večji od 3 % ali 10-krat manj kot v Ruhru (sliki 11 in 12)! Izpostavljenost Reke onesnaževanju je torej neprimerno manjša kot pri Ruhru. Njena kakovost pa je že danes v prvem kakovostnem razredu, čeprav tudi s predpisi zahtevani varnostni ukrepi še niso izvedeni: prepoved onesnaževanja Reke s komunalnimi in industrijskimi odpadki, onesnaževanje iz prometnic, prepoved gnojenja kmetijskih površin v obvodnem pasu, omejena uporaba umetnih gnojil in pesticidov, sanacija deponije nekdanje tovarne TOK in drugih virov onesnaževanja.



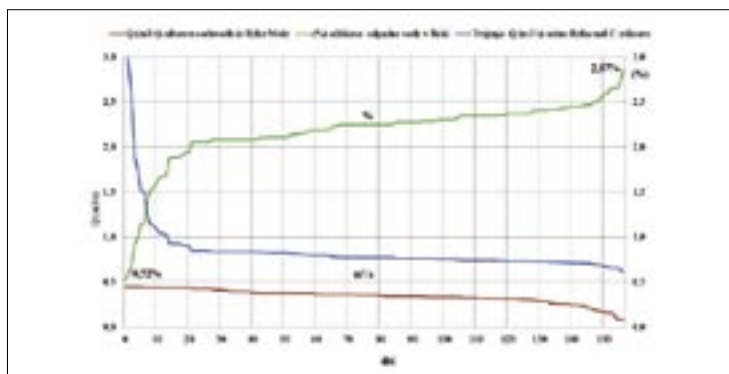
Slika 9 • Ekstrapolacija; možen upad vodnih virov zaradi klimatskih sprememb po meritvah Reke v načrtovanem obdobju do leta 2062



Slika 10 • Industrijsko območje Porurja, kjer se iz reke Ruhr oskrbuje z vodo ca. deset milijonov prebivalcev



Slika 11 • Delež očiščene odpadne vode v Ruhru, ca. 40 %, je več kot 10-krat večji kot v Reki



Slika 12 • Trajanje odvzema vode Rižanskega vodovoda leta 2042 ob pretokih Reke in delež očiščenih odpadnih voda v Reki. Količina očiščenih odpadnih voda v Reki bo manjša od 3 %

Zato danes, še manj pa po tudi sicer obvezni zaščiti Reke, proti njeni uporabi za vodovod ni vodnogospodarsko in ekološko utemeljenih razlogov.



Slika 13 • Čistilna naprava na Ruhru za južni del Essna pri mestu Heisingen



Slika 14 • Čistilna naprava na Ruhru pri mestu Kettingen



Slika 15 • Čistilna naprava mesta Schwerte ob Ruhru



Slika 16 • Bogatenje podtalnice z vodo Ruhra pri kraju Langschede pod čistilnimi napravami odpadne vode



Slika 17 • Bogatenje podtalnice z vodo Ruhra pri kraju Westick pod čistilnimi napravami odpadne vode



Slika 18 • Bogatenje podtalnice z vodo Ruhra pri kraju Westhofen pod čistilnimi napravami odpadne vode



Slika 19 • Za načrtovani vodovod predvideno mesto zajema Reke

Podobne rešitve z neposrednim zajemom rečne vode (vodovodi Nove Gorice, Šoštanja in Velenja, Celja, Slovenske Bistrice itd.) in posrednim zajemom rečne vode v Mariboru, Ormožu itd. (slike 19–23) pa so že več kot 30-letna praksa tudi v Sloveniji.



Slika 20 • Ljubija, vodovod Velenje



Slika 21 • Zajetje Bistrice, vodovod Slovenska Bistrica



Slika 22 • Ljubija, vodovod Velenje



Slika 23 • Zajetje Hudinje, vodovod Celje

## 6 • SKLEPI

Po pravilih stroke je preskrba s pitno vodo, kot vsak vodni projekt, del integralne vodnogospodarske rešitve na obravnavanem porečju. Integralna rešitev, v tem primeru vodovoda, pa mora sloneti na trdnih podatkih o količinah in kakovosti vode. Zaradi napačne ocene, da Mola in Klivnik nimata dovolj vode, in zaradi nestrokovnih predsodkov proti uporabi površinske vode je bilo doslej narejenih že pet projektov, obravnavani problem pitne vode pa po 20 letih še vedno ni rešen.

Treba je poudariti, da vsa dela za zaščito Reke niso obveznost vodovoda, ampak je to, ker gre za predpisano zaščito voda in v tem primeru posebej za kraško podtalnico, naloga onesnaževalcev, kar je eden od pogojev integralnega upravljanja in gospodarjenja z vodami. Sredstva za ta dela pa je mogoče, kot v drugih primerih, pridobiti tudi iz kohezijskega sklada.

Podani prispevek je povzetek obsežne dokumentacije, da imata obe akumulaciji dovolj kakovostne vode za načrtovane potrebe vseh treh vodovodov do leta 2062 tudi pri ocenjenem

33-odstotnem upadu vodnih virov zaradi klimatskih sprememb (slika 9), kar so v svoji ekspertizi potrdili tudi tuji izvedenci.

Predvidena uporaba obeh neizkoriščenih akumulacij za vodovod upošteva tudi poplavno varnost, ki jo je mogoče s povišanjem krone obeh pregrad še povečati. Energetska bilanca vseh treh vodovodov postane pozitivna, biološki potencial Reke pa se bo z večjimi pretoki Reke nad Cerkevnikovim mlinom in lahko tudi pod njim povečal. Enako velja za Rižano (slika 7). Mola s Klivnikom imata 25 % večjo prispevno površino od načrtovane Suhorke. Zato in zaradi večjih pretokov Reke na ca. 20 km dolgem odseku do Cerkevnikovega mlina ima povečanje obeh akumulacij prednost pred načrtovano Suhorko. Tako ostaja Suhorka ali, boljše, Veliki Padež dolgoročna in dragocena rezerva.

Bistvo integralne rešitve vodovoda z Molo in Klivnikom je, da je za 40 milijonov evrov, kolikor bi stala nova akumulacija, mogoče poleg vodovoda rešiti na obravnavanem območju večino vodnih problemov.

Pri preskrbi z vodo gre za varnost preskrbe s pitno vodo in za zdravje prebivalstva, poleg tega so v to vložena precejšnja sredstva. Odgovornost za oboje lahko prevzamejo le za to usposobljeni strokovnjaki zdravstvene hidrotehnike (Sanitary Engineering, Gesundheitstechnik) v sodelovanju z drugimi segmentnimi strokami, kot je shematsko prikazano na sliki 2.

Pogoj za racionalno in varno delovanje integralnega vodovodnega sistema pa je centralno strokovno vodenje celotnega vodnega sistema na porečju Reke in Rižane ter kraške podtalnice, od preskrbe s pitno in tehnološko vodo, zaščite kakovosti voda do namakanja in obrambe pred poplavami.

To bi bila obenem najboljša šola integralnega upravljanja voda na zaključenem porečju, kar danes verjetno najbolj pogrešamo.

Ni mogoče dvomiti, da bo ES s kohezijskimi skladi takšno in ustrezno dokumentirano integralno rešitev vodovoda, ki sledi vsem vodnim direktivam ES, tudi podprla. Zato je smiselno, da bi se v projekt vključili tudi stroški za zaščito voda, ki sicer neposredno niso povezani z rešitvijo obravnavanega vodovoda, prispevajo pa h kakovosti okolja na širšem območju.

## 7 • LITERATURA

- Hachfeld, D., Terhorst, P., Hoedeman, O., Progressive Public Waters Management in Europe – In search of exemplary cases, Transnational Institute and Corporate Europe Observatory, January 2009.
- Remmler, F., Grischek, T., (HTW), Review of the project Water Supply for Istria and the Coastal Region (Contract No.: 2511-07-200083), Client: Republic of Slovenia, Ministry of the Environment, Institut für Wasserforschung GmbH Dortmund, Zentrum für angewandte Forschung und Technologie e.V. an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, 2007.
- Rismal, M., Pitna voda iz Reke za slovensko Istro in Kras, primer trajnostnega ravnanja z vodami, Gradbeni vestnik. št. 52, oktober 2003.
- Rismal, M., Ali je akumulacija Suhorka potrebna?, Gradbeni vestnik, letnik 56, stran 209–216, avgust 2007.
- Rismal, M., Odgovor dr. Kranjcu na njegove trditve v Gradbenem vestniku, Gradbeni vestnik, oktober 2007.
- Rismal, M., Hidrologija v funkciji rešitev?, Gradbeni vestnik, letnik 57, julij 2008.
- Rismal, M., Ekološko sprejemljivi najmanjši pretoki, Gradbeni vestnik, letnik 58, marec 2009.
- Rismal, M., Rešitev preskrbe s pitno vodo Obale in zalednega Krasa z akumulacijo Mole in Klivnika so potrdili mednarodni izvedenci, Gradbeni vestnik, letnik 58, maj 2009.
- Rismal, M., Odgovor na pripombe M. Brillyja in A. Kryžanowskega, Gradbeni vestnik, oktober 2009.
- Rismal, M., Integralno upravljanje in načrtovanje vodnih sistemov, Mišičev vodarski dan, 2010.
- Rismal, M., Pomen integralnega upravljanja in gospodarjenja z vodami za pitno vodo slovenske Istre in zalednega Krasa, Slovenski vodar, 23–24, 2011.

# OBČUTLJIVOST ULTRAZVOČNE METODE NA PRISOTNOST PLASTIFIKATORJEV V SESTAVI CEMENTNIH PAST

## SENSITIVITY OF ULTRASONIC METHOD TO DETECT A PRESENCE OF PLASTICIZERS IN CEMENT PASTES

doc. dr. Gregor Trtnik, univ. dipl. inž. grad.

Inštitut za gradbene materiale IGMAT, d. d.  
Polje 351 c, 1000 Ljubljana  
grega.trtnik@igmat.eu

Znanstveni članek

UDK=519.61/.64:53.08:691.5

**Povzetek** | V članku je prikazana občutljivost metode prehoda vzdolžnih ultrazvočnih valov na prisotnost različnih superplastifikatorjev in hiperplastifikatorjev v cementnih pastah. V okviru raziskave je uporabljen nov ultrazvočni instrument Pundit Lab+ proizvajalca Proceq, z analizo variance pa je določena ponovljivost meritev, izvedenih z omenjenim instrumentom. Analiziran je vpliv različnih dodatkov proizvajalca TKK Srpenica in njihove količine na formiranje strukture cementnih past. Rezultati raziskave kažejo na veliko občutljivost metode prehoda vzdolžnih ultrazvočnih valov na prisotnost različnih superplastifikatorjev (SP) in hiperplastifikatorjev (HP) v materialih s cementnim vezivom ter potrjujejo primernost omenjene nedestruktivne metode za analizo vpliva različnih dodatkov na formiranje strukture cementnih past v zgodnjem hidratacijskem obdobju.

Ključne besede: cementna pasta, ultrazvočne metode, plastifikatorji.

**Summary** | In the paper, a sensitivity of ultrasonic wave transmission method to detect the presence of different superplasticizers and hiperplasticizers in cement pastes is discussed. A completely new ultrasonic apparatus Pundit Lab+ of Proceq company was used and the analysis of variance was performed in order to analyse the reproducibility of the method and the apparatus itself. Different admixtures of TKK Srpenica and different dosages of the admixtures were used within this project. It was found out that the ultrasonic wave transmission method can be used very effectively to detect the presence of different superplasticizers and hiperplasticizers in cement pastes. Moreover, using this nondestructive method, the influence of these admixtures on the formation of structure of different cement pastes at early ages can be analysed.

Key words: cement paste, ultrasonic methods, plasticizers.

### 1 • UVOD

Superplastifikatorji (SP) in hiperplastifikatorji (HP) so zagotovo najpomembnejša in najpogosteje uporabljena skupina kemijskih dodatkov v različnih materialih s cementnim vezivom (Černilogar, 2010). Vplivajo na različne lastnosti materialov s cementnim

vezivom v svežem in strjenem stanju, pri čemer noben SP ni najboljši v vseh pogledih (Bokan Bosiljkov, 2010). SP in HP so površinsko aktivne snovi, ki kot razpršilci delujejo po principu zmanjšanja vodocementnega (v/c) razmerja, med seboj pa se razlikujejo

po mehanizmu delovanja – razprševanja. Po osnovnem principu se z negativno nabitimi funkcionalnimi skupinami razpršijo na pozitivno nabito površino cementnih zrn, jih omrežijo, elektrostatični odboj enako nabitih delcev pa prepreči združevanje cementnih zrn (Černilogar, 2010).

V zadnjih 40 letih se je veliko pozornosti posvečalo razvoju različnih SP in HP, zadnja leta pa se številni raziskovalci ukvarjajo s podrobno

analizo mehanizma delovanja omenjenih dodatkov v strukturi materialov s cementnim vezivom. Tako se je tudi pri nas že uveljavila nova generacija SP, t. i. polikarboxilatni etri (angl. polycarboxylate ether, PCE) oziroma hiperplastifikatorji (v nadaljevanju HP). Ti so po kemijski sestavi polimeri z glavno poliakrilatno ali polimetakrilatno verigo, ki se z negativno nabitiimi skupinami adsorbirajo na cementna zrna, in etilenoksidnimi ali propilenoksidnimi stranskimi verigami, ki v suspenziji povzročijo sterični ali elektrosterični odboj cementnih delcev (Borget, 2005). Na hidratacijo cementa in obdelavne lastnosti materialov s cementnim vezivom vplivajo bolj ali manj vsi parametri polimera (Zevnik, 2010). Zevnik (2010) je analiziral vpliv različnih HP na hidratacijo in razvoj cementnih past, pri čemer je uporabljal metodo izotermne kalorimetrije, ki se je izkazala kot primerna metoda za spremljanje učinka različnih SP in HP v materialih s cementnim vezivom. Pokazal je, da je gostota negativnega naboja (karboksilnih funkcionalnih skupin COO<sup>-</sup>) polimera parameter, ki najbolj vpliva na razvoj hidratacije in tlačnih trdnosti, pri čemer se z večjo koncentracijo COO<sup>-</sup> v pasti kinetika hidratacijskega procesa in s tem prirast tlačnih trdnosti nekoliko upočasnita (Zevnik, 2010).

Napredek pri razvoju merilne opreme in računalniške tehnologije omogoča razvoj novih sofisticiranih, avtomatiziranih in nedeaktivnih tehnik zasledovanja hidratacijskega procesa in formiranja strukture materialov s cementnim vezivom. Med drugimi so se različne ultrazvočne (UZ) metode doslej izkazale za zelo uspešne in primerne, v osnovi omogočajo neposredno spremljanje formiranja strukture cementnih materialov s posrednim merjenjem nastajanja trdne faze (različnih hidratacijskih produktov) v strukturi materiala ((Grosse, 2003), (Reinhardt, 2004), (Voigt, 2005), (Trtnik, 2008)). Med drugim so predlagane tudi različne tehnike določitve začetka vezanja materialov z UZ-metodami ((Grosse, 2003), (Reinhardt, 2004), (Voigt, 2005), (Trtnik, 2008)). Omenjene študije so zaradi enostavnosti v glavnem opravljene na cementnih materialih brez dodatkov, medtem ko je analiza vpliva dodatkov na hidratacijo materialov s cementnim vezivom z UZ-metodami v strokovni literaturi relativno slabo zastopana. De Belie s sodelavci (De Belie, 2005) je analiziral možnost uporabe metode vzdolžnih UZ-valov za spremljanje učinka različnih pospeševalcev vezanja na proces vezanja in strjevanja brizganega be-

tona. Robeyst je s sodelavci ((Robeyst, 2008), (Robeyst, 2009), (Robeyst, 2011)) ugotovil, da prisotnost žlindre in elektrofiltrskega pepela v maltah vpliva na razvoj hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov in ultrazvočne energije v zgodnjem hidratacijskem obdobju materiala. Zhu je s sodelavci (Zhu, 2011) analiziral vpliv zračnih por, indiciranih z različnimi vsebnostmi aeranta v sestavi cementne paste, na razvoj hitrosti vzdolžnega in strižnega UZ-valovanja skozi cementne paste v zgodnjem hidratacijskem obdobju. Ugotovil je, da vsebnost zračnih por izrazito vpliva na hitrost vzdolžnih UZ-valov, medtem ko je bil omenjeni vpliv pri strižnih valovih precej manjši.

V tem prispevku je prikazana občutljivost metode prehoda vzdolžnih UZ-valov na prisotnost različnih SP in HP proizvajalca TKK Srpenica v cementnih pastah. V ta namen so bile opravljene meritve hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov skozi cementne paste, ki so se med seboj razlikovale po vrsti in količini uporabljenega dodatka, vodocementnem (v/c) razmerju in vrsti cementa. Dodatno je prikazana pomembnost vpliva skupne površine cementnih delcev v sistemu neposredno po stiku cementa in vode na delovanje različnih količin HP v strukturi cementnih past.

## 2 • METODE IN MATERIALI

### 2.1 Metoda prehoda vzdolžnih UZ-valov

V okviru raziskave je bil uporabljen nov UZ-aparat s komercialnim imenom Pundit Lab+ proizvajalca Proceq, ki omogoča samodejno zajemanje podatkov o času prehoda vzdolžnega UZ-valovanja od oddajne (Tx) do sprejemne (Rx) sonde v vnaprej podanih, poljubno majhnih časovnih intervalih. S pripadajočo programsko opremo med drugim shranjujemo hitrost prehoda UZ-valov na razdalji med Tx in Rx v posameznih, vnaprej podanih in poljubno majhnih diskretnih časovnih intervalih, s čimer dobimo krivuljo hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov ( $v$ ) s časom ( $t$ ). Uporabljene so bile UZ-sonde s frekvenco valovanja 150 kHz in premera 25 mm, razdalja Tx – Rx pa je znašala 40 mm. Posamezne vzorce smo vgradili v kalupe iz ekstrudiranega polistirena, s čimer smo preprečili prevajanje UZ-signala preko sten kalupa v zgodnji, najboljčutljivejši fazi hidratacije cementne paste.

### 2.2 Materiali

#### 2.2.1 Cement

Uporabljeni sta bili dve vrsti cementa proizvajalca Salanit Anhovo, osnovne karakteristike so navedene v preglednici 1.

Oznaki AC in BS v preglednici 1 predstavljata delež cementnega klinkerja in finost mletja cementa, navedeni pa so tudi deleži osnovnih klinkerskih mineralov v sestavi posamezne vrste cementa.

#### 2.2.2 Kemijski dodatki

V okviru raziskave je bilo uporabljenih pet kemijskih dodatkov proizvajalca TKK Srpenica,

ca, osnovne lastnosti so navedene v preglednici 2.

Oznake Q<sub>20</sub>, VS, VCI in VA označujejo gostoto pri 20 °C, vsebnost suhe snovi, vsebnost vodotopnih kloridov in vsebnost alkalij. Oznaki L in H pomenita minimalni in maksimalni procentualni delež dodatka glede na težo cementa, priporočen s strani proizvajalca.

Dodatek Cementol Omega F ima lastnost pospeševalca vezanja z učinkom SP (SIST EN 934-2). Pospešuje hidratacijo cementa in deluje kot plastifikator. Dodatka Cementol Zeta in Cementol Zeta P imata prav tako lastnosti SP. Adsorbirata se na delce cementa, ki s tem prevzemajo enak naboj. S tem se poveča omočenje in zmanjša notranje trenje, posledično pa se poveča obdelavnost cementne paste. Dodatka Cementol Hiper-

Vrsta cementa	AC (%)	BS (cm <sup>2</sup> /g)	C <sub>3</sub> S (%)	C <sub>2</sub> S (%)	C <sub>3</sub> A (%)	C <sub>4</sub> AF (%)
CEM I 52,5 R	> 95	4310	57,70	13,00	6,90	8,90
CEM I 42,5 N	> 95	2640	60,20	13,60	7,20	9,30

Preglednica 1 • Osnovne karakteristike uporabljenih vrst cementa



Kemijski dodatek	Q <sub>20</sub> (kg/dm <sup>3</sup> )	VS (%)	pH (-)	VCl <sup>-</sup> (%)	VA (%)	L (%)	H (%)
Cementol Omega F	1,13 ± 0,03	22,5 ± 1,1	6,5 ± 1	0	< 6,5	1,0	4,0
Cementol Zeta	1,08 ± 0,02	18,5 ± 1,8	9,0 ± 1	0	< 4,0	1,0	3,0
Cementol Zeta P	1,08 ± 0,02	18,5 ± 1,8	6,5 ± 1	0	< 4,0	1,0	3,0
Cementol Hiperplast 179	1,06 ± 0,02	-	6,2 ± 1	0	< 3,0	0,6	2,0
Cementol Hiperplast 974	1,05 ± 0,02	-	3,0 ± 1	0	< 3,0	0,2	1,0

Preglednica 2 • Osnovne karakteristike uporabljenih kemijskih dodatkov

Oznaka mešanice	v/c razmerje	vrsta cementa	Dodatek (količina %)
etalon (E)	0,30	CEM I 42,5 N	- (-)
E2	0,40	CEM I 52,5 R	- (-)
omega F 1 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Omega F (1,0 %)
omega F 2 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Omega F (2,0 %)
omega F 3 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Omega F (3,0 %)
omega F 4 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Omega F (4,0 %)
zeta 1 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Zeta (1,0 %)
zeta 2 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Zeta (2,0 %)
zeta 3 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Zeta (3,0 %)
zeta P 0,3 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Zeta P (0,3 %)
hiper 179 0,6 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Hiperplast 179 (0,6 %)
hiper 179 1,3 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Hiperplast 179 (1,3 %)
hiper 179 2,0 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Hiperplast 179 (2,0 %)
hiper 179, v/c = 0,30	0,30	CEM I 52,5 R	Cementol Hiperplast 179 (1,3 %)
hiper 179, v/c = 0,35	0,35	CEM I 52,5 R	Cementol Hiperplast 179 (1,3 %)
hiper 179, v/c = 0,40	0,40	CEM I 52,5 R	Cementol Hiperplast 179 (1,3 %)
hiper 179, C2, 0,6 %	0,40	CEM I 52,5 R	Cementol Hiperplast 179 (0,6 %)
hiper 179, C2, 2,0 %	0,40	CEM I 52,5 R	Cementol Hiperplast 179 (2,0 %)
hiper 974 0,2 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Hiperplast 974 (0,2 %)
hiper 974 0,5 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Hiperplast 974 (0,5 %)
hiper 974 1,0 %	0,30	CEM I 42,5 N	Cementol Hiperplast 974 (1,0 %)

Preglednica 3 • Označe in osnovne karakteristike uporabljenih cementnih past

plast 179 in Cementol Hiperplast 974 imata lastnosti HP iz skupine PCE (polikarbonsilat eter). Takšni HP delujejo tako, da se okoli cementnih zrn formira prostorska mreža, ki ovira združevanje posameznih cementnih zrn, zaradi česar pri cementnih mešanicah s temi dodatki adsorpcija poteka postopno in traja dalje, kar posledično poveča tudi čas obdelavnosti.

### 2.2.3 Cementne paste

V okviru raziskave je bilo uporabljenih 21 različnih cementnih past.

Cementne paste so se med seboj razlikovale po vrsti cementa, v/c razmerju ter vrsti in deležu posameznega kemijskega dodatka v strukturi cementne paste. Osnovne lastnosti uporabljenih cementnih past so navedene v preglednici 3.

Vse cementne paste so bile izpostavljene temperaturi okolice  $20 \pm 1$  °C in relativni vlažnosti  $> 65$  %.

### 3 • REZULTATI

#### 3.1 Ponovljivost meritev in značilna oblika krivulj $v-t$

Meritve z UZ-kompletom smo ponovili večkrat, s čimer smo zagotovili natančne rezultate, ki omogočajo nadzor formiranja strukture cementnega kamna. Slika 1 prikazuje meritve hitrosti prehoda UZ skozi cementne paste pri cementnih pastah E (modre krivulje) in E2 (rdeče krivulje). Prikazane so krivulje  $v-t$  kot tudi odvodi teh krivulj po času  $dv-t$ . Na krivuljah E je prikazana definicija posameznih faz v procesu formiranja strukture cementnih past, določena na podlagi oblike krivulj  $v-t$  in  $dv-t$ . Prikazana razdelba na pet časovnih obdobij velja tudi za vse druge analizirane cementne paste. Podobna definicija petih obdobij v hidratacijskem procesu materialov s cementnim vezivom je tudi v literaturi najpogosteje uporabljena ((Schindler, 2002), (Van Breugel, 1991)). V prvi fazi (faza mirovanja) instrument ne zazna prehoda vzdolžnih UZ-valov skozi cementne paste. To je posledica majhnih zračnih mehurčkov, ki so v cementni pasti neposredno po stiku ce-

menta in vode ter povzročajo močno dušenje ultrazvočnih valov ((Sayer, 1993), (Keating, 1998)). V nadaljevanju (druga faza, indukcijsko obdobje) začne hitrost prehoda vzdolžnih UZ-valov intenzivno naraščati, kar je posledica formiranja prvih hidratacijskih produktov v strukturi cementne paste. V tretji fazi (obdobje pospešene hidratacije) hitrost prehoda vzdolžnih UZ-valov doseže maksimalne vrednosti in se v četrti fazi (obdobje pojemajoče hidratacije) postopoma umirja. V obdobju mirne oziroma nespremenljive hidratacije (faza 5) je struktura cementne paste praktično v celoti povezana, posledično pa se hitrost prehoda vzdolžnih UZ-valov skozi cementno pasto popolnoma umiri.

S slike 1 je razvidno, da na krivulji  $dv-t$  nastopita dve izraziti prevojni točki, pri čemer čas prve prevojne točke IP1 sovpada z začetkom tretje faze in je povezan z začetkom procesa vezanja cementne paste (Trtnik, 2008), medtem ko druga prevojna točka IP2 sovpada z začetkom četrte faze in predstavlja čas najintenzivnejšega medsebojnega pove-

zovanja nastajajočih hidratacijskih produktov v strukturi cementne paste. Podroben opis oblike krivulj  $v-t$  in  $dv-t$  je naveden v literaturi ((Trtnik, 2009a), (Trtnik, 2008), (Trtnik, 2009c)).

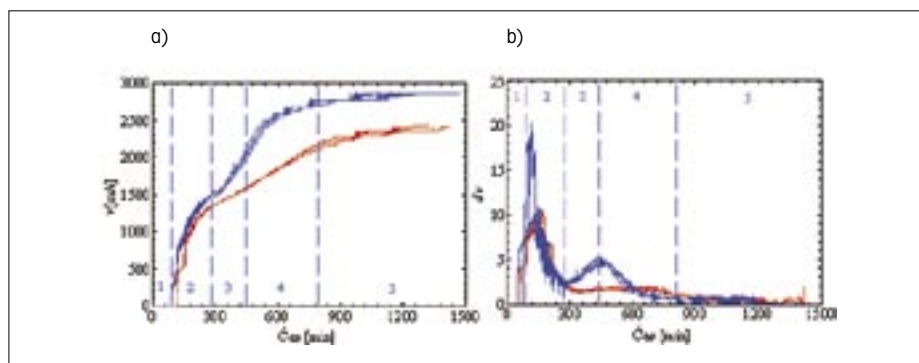
Za oceno ponovljivosti meritev oziroma zanesljivosti določitve začetka posameznih faz je bila uporabljena analiza variance (Turk, 2011), s katero je bila analizirana statistična značilnost vpliva sestave cementne paste na čas začetka posameznih faz v procesu formiranja strukture cementnih past (oznake  $z_i$ ,  $i = 2, 3, 4, 5$ ), prikazanih na sliki 1. Preglednica 4 prikazuje začetke posameznih faz za krivulje na sliki 1 ter vrednosti statistike  $F$  in kritične vrednosti  $F_{krit}$ , izračunane pri stopnji tveganja  $\alpha = 1\%$ . V tem primeru smo ničelno in alternativno domnevo definirali kot:

$H_0$ :  $\alpha_i = 0$ ; za vse  $i = 1, \dots, a \rightarrow$  sestava cementne paste ne vpliva na začetek posameznih faz,

$H_1$ :  $\alpha_i \neq 0$ ; za vsaj en  $i = 1, \dots, a \rightarrow$  sestava cementne paste vpliva na začetek posameznih faz.

Vrednost  $F_{krit}$  predstavlja kritično območje zavrnilne ničelne domneve, določeno pri izbrani stopnji tveganja  $\alpha$ . Če je vrednost statistike  $F$ , ki se porazdeljuje po porazdelitvi  $F$ , večja od kritične vrednosti  $F_{krit}$  oziroma presega mejo območja zavrnilne ničelne hipoteze, ničelno hipotezo zavrnemo in trdimo, da je vpliv sestave cementne paste na začetek posameznih faz statistično značilen (Turk, 2011).

Iz preglednice 4 je razvidno, da je v primerih začetka faz 3, 4 in 5 statistika  $F$  bistveno večja od kritične vrednosti  $F_{krit}$ , kar pomeni, da ničelno hipotezo zavrnemo in trdimo, da je vpliv cementne paste na začetek faz 3 (točka IP1), 4 (točka IP2) in 5 statistično značilen oziroma da sestava cementne paste statistično značilno vpliva na začetek omenjenih faz, definiran na podlagi oblike krivulj  $v-t$  in  $dv-t$ . Pri določitvi začetka druge faze, ki sovpada s časom, ko UZ-instrument prvič zazna prehod vzdolžnih UZ-valov od oddajne do sprejemne sonde,<sup>1</sup> je vrednost statistike  $F$  manjša od kritične vrednosti  $F_{krit}$ , kar pomeni, da v tem primeru ničelne hipoteze ne zavrnemo. To je predvsem posledica začetne namestitve UZ-sond in segregacije cementnih delcev v suspenziji (Voigt, 2005) ter na samo obliko krivulj  $v-t$  in  $dv-t$  ne vpliva.



Slika 1 • Ponovljivost meritev z instrumentom PUNDIT LAB+ in definicija posameznih faz v procesu formiranja strukture cementnih past, a) krivulje  $v-t$ , b) krivulje  $dv-t$

pon.	$z_2$ (min.)		$z_3$ (IP1) (min.)		$z_4$ (IP2) (min.)		$z_5$ (min.)	
	E	E2	E	E2	E	E2	E	E2
1	90	55	280	360	450	590	800	1070
2	60	55	285	355	440	600	790	1075
3	55	55	287	360	445	605	780	1080
$F$	1,49		777,12		846,40		1949,40	
$F_{krit}$	21,20		21,20		21,20		21,20	

Preglednica 4 • Statistična analiza ponovljivosti krivulj  $v-t$  in  $dv-t$

<sup>1</sup> Omenjeni fenomen je dobro znan in podrobno opisan v literaturi ((Sayer in Dahlin, 1993), (Trtnik in sodelavci, 2009), (Rapoport s sodelavci, 2000)).

### 3.2 Vpliv deleža posameznih dodatkov na formiranje strukture cementne paste

#### 3.2.1 Vpliv deleža SP Cementol Omega F na formiranje strukture cementne paste

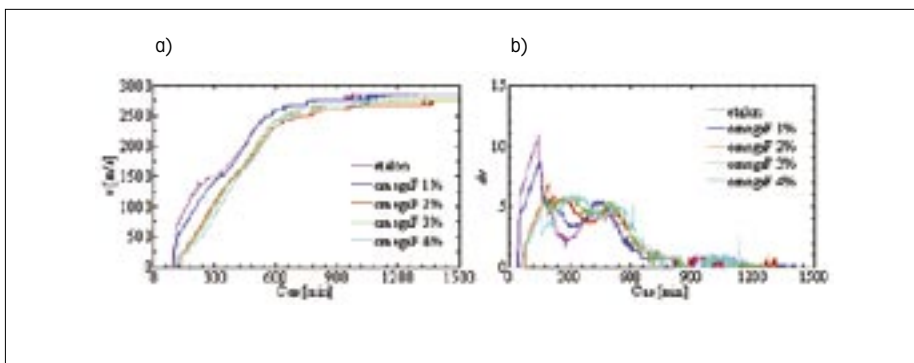
Slika 2 prikazuje potek krivulj  $v-t$  in  $dv-t$  v odvisnosti od količine dodatka Cementol Omega F. Z večanjem vsebnosti dodatka se ob nespremenjenem razmerju  $v/c$  dolžina druge faze podaljša, zaradi tega pa se prva prevojna točka IP1 na krivulji  $dv-t$  pojavi kasneje. To je predvsem posledica razpršenosti cementnih delcev v strukturi cementne paste zaradi učinka SP in s tem zmanjševanja plastične viskoznosti  $\mu$  (Pa s) ter strižne napečnosti cementne paste na meji tečenja  $\tau_0$  (Pa) z večanjem vsebnosti plastifikatorja v cementni pasti (Wallevik, 2009). Preglednica 5 prikazuje čas začetka posameznih faz v procesu formiranja strukture cementnih past, pri čemer vrednosti v oklepajih pomenijo podaljšanje oziroma skrajšanje začetka posamezne faze glede na etalonsko mešanico brez dodatka ( $v$  %). Razvidno je, da je pri količini dodatka 4,0% dolžina druge faze za 73,7% večja kot v primeru etalonske mešanice, medtem ko se dolžina tretje faze zmanjšuje. Podrobna analiza krivulj  $v-t$ , prikazanih na sliki 2, je pokazala, da so te v primeru vsebnosti dodatka bolj gladke kot v primeru etalonske paste, brez izrazitejših prevojnih točk. To kaže na postopnejši in enakomernejši proces nastajanja hidratacijskih produktov v cementni pasti z omenjenim dodatkom.

#### 3.2.2 Vpliv deleža SP Cementol Zeta na formiranje strukture cementne paste

Slika 3 prikazuje potek krivulj  $v-t$  in  $dv-t$  v odvisnosti od količine dodatka Cementol Zeta. Tudi v tem primeru se z večanjem vsebnosti dodatka čas pojava prve prevojne točke IP1 podaljšuje. Omenjeni fenomen je še bolj izraziti kot v primeru dodatka Cementol Omega F, saj ima ta poleg učinka plastifikatorja tudi učinek pospeševalca, kar v nasprotju z učinkom SP skrajšuje čas pojava prevojne točke IP1 na krivulji  $dv-t$ . Znano je namreč, da različni SP zavlačujejo hidratacijo in proces formiranja strukture materialov s cementnim vezivom (Zevnik, 2010). Vpliv dodatka Cementol Zeta na dolžino druge in tretje faze je podoben kot pri dodatku Cementol Omega F.

#### 3.2.3 Vpliv deleža HP Cementol Hiperplast 974 na formiranje strukture cementne paste

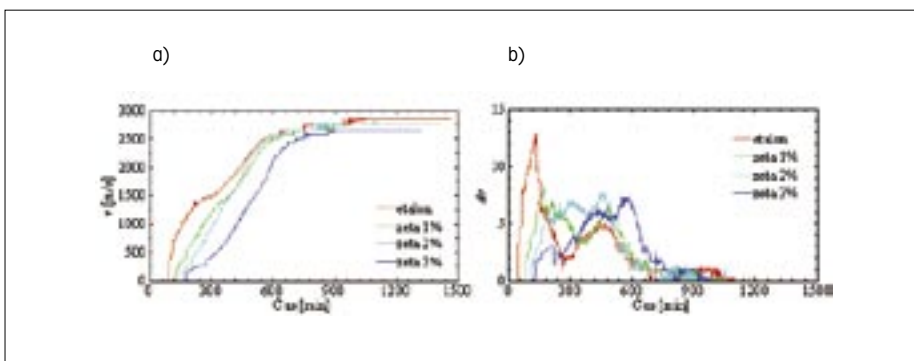
Slika 4 prikazuje potek krivulj  $v-t$  in  $dv-t$  v odvisnosti od količine dodatka Cementol Hiperplast 974. Podobno kot pri dodatkih



Slika 2 • Vpliv količine dodatka Cementol Omega F na potek krivulj a)  $v-t$ , b)  $dv-t$

oznaka mešanice	$Z_2$ min. (%)	$Z_3$ (IP1) min. (%)	$Z_4$ (IP2) min. (%)	$Z_5$ min. (%)	$Z_3-Z_2$ min. (%)	$Z_4-Z_3$ min. (%)
etalon	90	280	450	800	190	170
omega F 1 %	100 (11,1)	320 (14,3)	450 (0,0)	810 (1,3)	220 (15,8)	130 (-23,5)
omega F 2 %	135 (50,0)	400 (42,9)	520 (15,6)	840 (5,0)	265 (39,5)	120 (-29,4)
omega F 3 %	135 (50,0)	440 (57,1)	500 (11,1)	850 (6,3)	305 (60,5)	60 (-64,7)
omega F 4 %	120 (33,3)	450 (60,7)	540 (20,0)	880 (10,0)	330 (73,7)	90 (-47,1)

Preglednica 5 • Vpliv količine dodatka Cementol Omega F na začetek posameznih obdobj v fazi formiranja strukture cementne paste



Slika 3 • Vpliv količine dodatka Cementol Zeta na potek krivulj a)  $v-t$ , b)  $dv-t$

oznaka mešanice	$Z_2$ (min.)	$Z_3$ (IP1) (min.)	$Z_4$ (IP2) (min.)	$Z_5$ (min.)	$Z_3-Z_2$ (min.)	$Z_4-Z_3$ (min.)
etalon	90	280	450	800	190	170
zeta 1 %	133 (47,8)	370 (32,1)	495 (10,0)	830 (3,8)	237 (24,7)	125 (-26,5)
zeta 2 %	155 (72,2)	390 (39,3)	470 (4,4)	900 (12,5)	235 (23,7)	80 (-52,9)
zeta 3 %	175 (94,4)	500 (78,6)	580 (28,9)	920 (15,0)	325 (71,1)	80 (-52,9)

Preglednica 6 • Vpliv količine dodatka Cementol Zeta na začetek posameznih obdobj v fazi formiranja strukture cementne paste

Cementol Omega F in Cementol Zeta se tudi v tem primeru z večanjem vsebnosti dodatka dolžina druge faze in s tem čas pojava prve prevojne točke IP1 podaljšujeta, pri čemer pa se v nasprotju s prejšnjima dvema primeroma opazno povečuje dolžina tretje faze in s tem čas pojava druge prevojne točke IP2 na krivulji  $dv-t$ . Omenjeno dejstvo je posledica izrazitega platoja pri vrednosti hitrosti UZ okrog 1450 m/s ob uporabi večje količine HP.

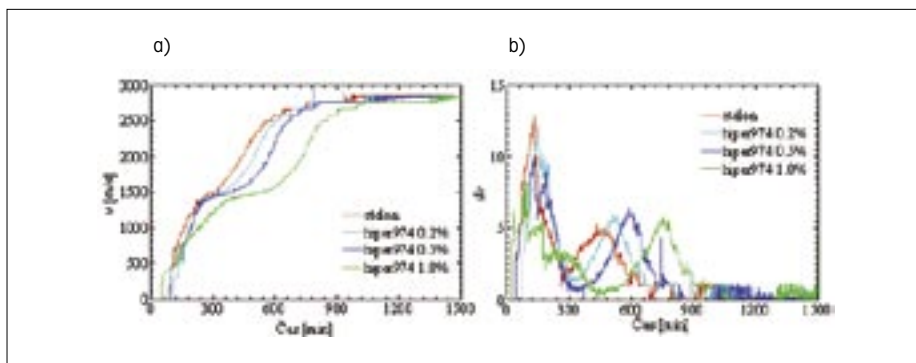
### 3.2.4 Vpliv deleža HP Cementol Hiperplast 179 na formiranje strukture cementne paste

Vpliv HP Cementol Hiperplast 179 na formiranje strukture cementne paste je razviden s slike 5.

Učinek omenjenega dodatka je še bolj izrazit kot pri dodatku Cementol Hiperplast 974, saj se čas pojava prevojnih točk IP1 in IP2 na krivulji  $dv-t$  in dolžina platoja pri hitrosti UZ 1450 m/s z večjo vsebnostjo dodatka še bolj izrazito podaljšujeta kot pri dodatku Cementol Hiperplast 974. Iz preglednice 8 je razvidno, da je pri količini dodatka 2,0 % dolžina druge faze večja za 168,4 %, dolžina tretje faze pa celo za 173,5 % v primerjavi z etalonsko mešanico.

### 3.3 Primerjava vpliva posameznih dodatkov na formiranje strukture cementne paste

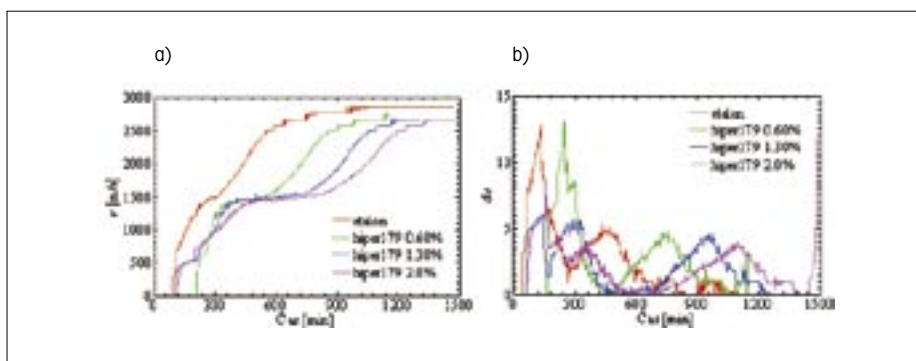
V nadaljevanju je prikazana neposredna primerjava med potekom krivulj  $v-t$  in  $dv-t$  za cementne paste z vsemi analiziranimi dodatki v primeru minimalne (slika 6) in maksimalne (slika 7) količine posameznega dodatka, priporočene od proizvajalca. Pri minimalni količini posameznih dodatkov je delovanje dodatkov Cementol Hiperplast 974, Cementol Omega F in Cementol Zeta P precej podobno, medtem ko je pri uporabi dodatka Cementol Zeta opazen nekoliko bolj enakomeren razvoj hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov skozi cementno pasto brez izrazitejšee prve prevojne točke IP1. Po pojavu prve prevojne točke je potek krivulj z omenjenimi dodatki relativno podoben. Precejšnje razlike v poteku krivulj  $v-t$  in  $dv-t$  so opazne ob uporabi dodatka Cementol Hiperplast 179. V tem primeru začetek posameznih faz v razvoju strukture cementne paste nastopi precej kasneje, občutno pa se podaljša predvsem čas pojava druge prevojne točke IP2, ki označuje intenzivno nastajanje hidratacijskih produktov oziroma čas, ko je povezovanje med posameznimi nastalimi hidratacijskimi produkti najhitrejšee (Ye, 2003).



Slika 4 • Vpliv količine dodatka Cementol Hiperplast 974 na potek krivulj a)  $v-t$ , b)  $dv-t$

oznaka mešanice	$Z_2$ (min.)	$Z_3$ (IP1) (min.)	$Z_4$ (IP2) (min.)	$Z_5$ (min.)	$Z_3-Z_2$ (min.)	$Z_4-Z_3$ (min.)
etalon	90	280	450	800	190	170
hiper 974 0,2 %	112 (24,4)	325 (16,1)	525 (16,7)	805 (0,6)	213 (12,1)	200 (17,6)
hiper 974 0,5 %	90 (0,0)	330 (17,9)	595 (32,2)	1010 (26,3)	240 (26,3)	265 (55,9)
hiper 974 1,0 %	50 (-44,4)	445 (58,9)	760 (68,9)	1070 (33,8)	395 (107,9)	315 (85,3)

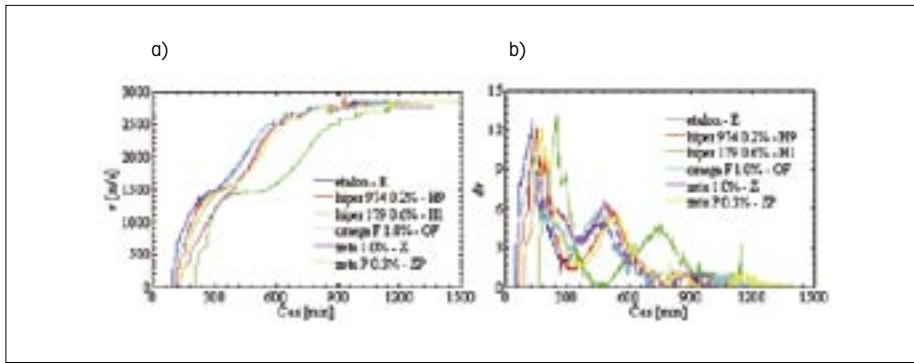
Preglednica 7 • Vpliv količine dodatka Cementol Hiperplast 974 na začetek posameznih obdobj v fazi formiranja strukture cementne paste



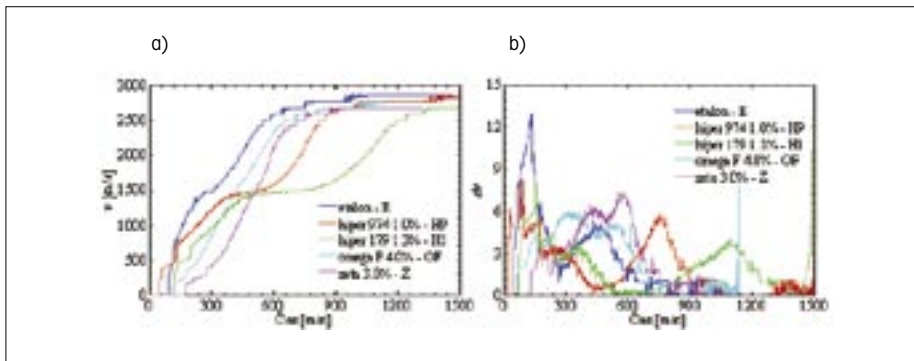
Slika 5 • Vpliv količine dodatka Cementol Hiperplast 179 na potek krivulj a)  $v-t$ , b)  $dv-t$

oznaka mešanice	$Z_2$ (min.)	$Z_3$ (IP1) (min.)	$Z_4$ (IP2) (min.)	$Z_5$ (min.)	$Z_3-Z_2$ (min.)	$Z_4-Z_3$ (min.)
etalon	90	280	450	800	190	170
hiper 179 0,6 %	205 (127,8)	470 (67,9)	750 (66,7)	1020 (27,5)	265 (39,5)	280 (64,7)
hiper 179 1,3 %	105 (16,7)	525 (87,5)	945 (110,0)	1200 (50,0)	420 (121,1)	420 (147,1)
hiper 179 2,0 %	115 (27,8)	625 (123,2)	1090 (142,2)	1390 (73,8)	510 (168,4)	465 (173,5)

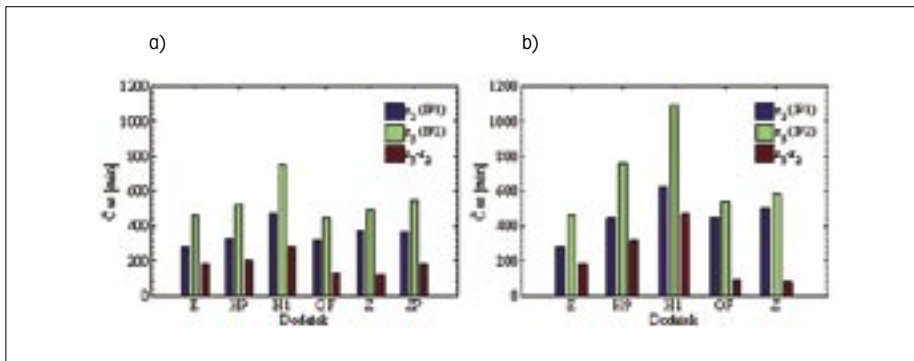
Preglednica 8 • Vpliv količine dodatka Cementol Hiperplast 179 na začetek posameznih obdobj v fazi formiranja strukture cementne paste



Slika 6 • Vpliv različnih dodatkov na potek krivulj a)  $v-t$ , b)  $dv-t$ ; uporabljene so minimalne količine posameznega dodatka, priporočenega od proizvajalca



Slika 7 • Vpliv različnih dodatkov na potek krivulj a)  $v-t$ , b)  $dv-t$ ; uporabljene so maksimalne količine posameznega dodatka, priporočenega od proizvajalca



Slika 8 • Vpliv različnih dodatkov na začetek druge in tretje faze ter dolžino tretje faze v procesu formiranja strukture cementnih past, a) minimalne količine, b) maksimalne količine

#### 4 • KOMENTAR

Eksperimentalni rezultati kažejo, da uporabljene SP v cementnih pastah zmanjšajo plastično viskoznost  $\mu$  in strižno napetost cementne paste na meji tečenja  $\tau_0$  (Wallevik, 2009), ne vplivajo pa bistveno na obliko krivulj  $v-t$  in  $dv-t$ , še posebno pri majhnih količinah omenjenih dodatkov. Nasprotno prisotnost obeh HP rezultira v bistveno drugačni obliki krivulj

$v-t$  in  $dv-t$  glede na etalonsko mešanico. Pri tem je še zlasti očitni pojav izrazitega platoja pri hitrosti  $v \approx 1450$  m/s, katerega dolžina je označena z  $d_p$  in je bila v nadaljevanju podrobneje analizirana. V ta namen so bile pripravljene dodatne cementne paste z dodatkom Cementol Hiperplast 179 in različnimi razmerji  $v/c$  (oznake hiper 179,  $v/c = 0,30$ ;

Omenjeni fenomen je predvsem posledica izrazitega platoja na krivulji  $v-t$ , ki se pojavi približno pri hitrosti  $v \approx 1450$  m/s in ustreza hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov skozi vodo (Trtnik, 2008). Dolžina omenjenega platoja je podrobneje analizirana v nadaljevanju prispevka.

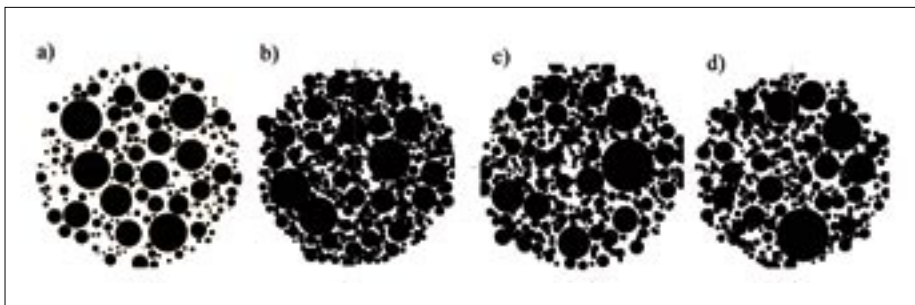
Pri maksimalnih predpisanih količinah posameznega dodatka so razlike med potekom krivulj  $v-t$  in  $dv-t$  pričakovano bolj očitne. Ob uporabi dodatkov Cementol Omega F in Cementol Zeta je opazen relativno enakomeren razvoj hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov skozi cementne paste, pri čemer je pri etalonskem betonu hitrost UZ-valov pri določenem času največja, v primeru dodatka Cementol Zeta pa najmanjša. Tako se čas pojava prevojnih točk IP1 in IP2 ter dolžina tretje faze v formiranju strukture cementne paste ob prisotnosti omenjenih dveh dodatkov ustrezno podaljšajo (slika 8). Precej večje razlike, tako v obliki krivulj  $v-t$  kot v časovnem zamiku posameznih faz, so opazne pri uporabi obeh HP tipa PCE, ki so predvsem posledica izrazitega platoja na krivuljah  $v-t$ . Točka IP2 nastopi bistveno kasneje kot pri etalonski mešanici, temu primerno pa se dolžina tretje faze v procesu formiranja strukture cementnih past izrazito podaljša.

hiper 179,  $v/c = 0,35$ ; hiper 179,  $v/c = 0,40$ ) ter drugo vrsto cementa (oznake hiper 179, C2, 0,6 %; hiper 179,  $v/c = 0,40$ ; hiper 179, C2, 2,0 %). Na ta način smo analizirali vpliv skupne površine cementnih delcev v sistemu neposredno po stiku cementa in vode (oznaka SP) ter vpliv količine posameznega HP na dolžino platoja  $d_p$ . Razporeditev posameznih cementnih delcev v sistemu analiziranih cementnih past v odvisnosti od finosti mletja cementa in razmerja  $v/c$  neposredno po stiku cementa in vode, izračunana s programom

Hymostruc (Koenders, 1997), je shematsko prikazana na sliki 9. V programu Hymostruc je razvoj strukture materialov s cementnim vezivom simuliran s formiranjem stikov med posameznimi cementnimi delci, ki se med potekom procesa hidratacije na račun nastajanja hidratacijskih produktov ustrezno povečujejo. Način določitve dolžine platoja  $d_p$  je prikazan na sliki 10a. Začetna točka platoja je določena s točko, v kateri krivulja  $v-t$  občutno spremeni svoj naklon, končna točka pa s presečiščem tangente na krivuljo  $v-t$  v območju platoja in v območju izrazitega naraščanja hitrosti vzdolžnih UZ-valov.

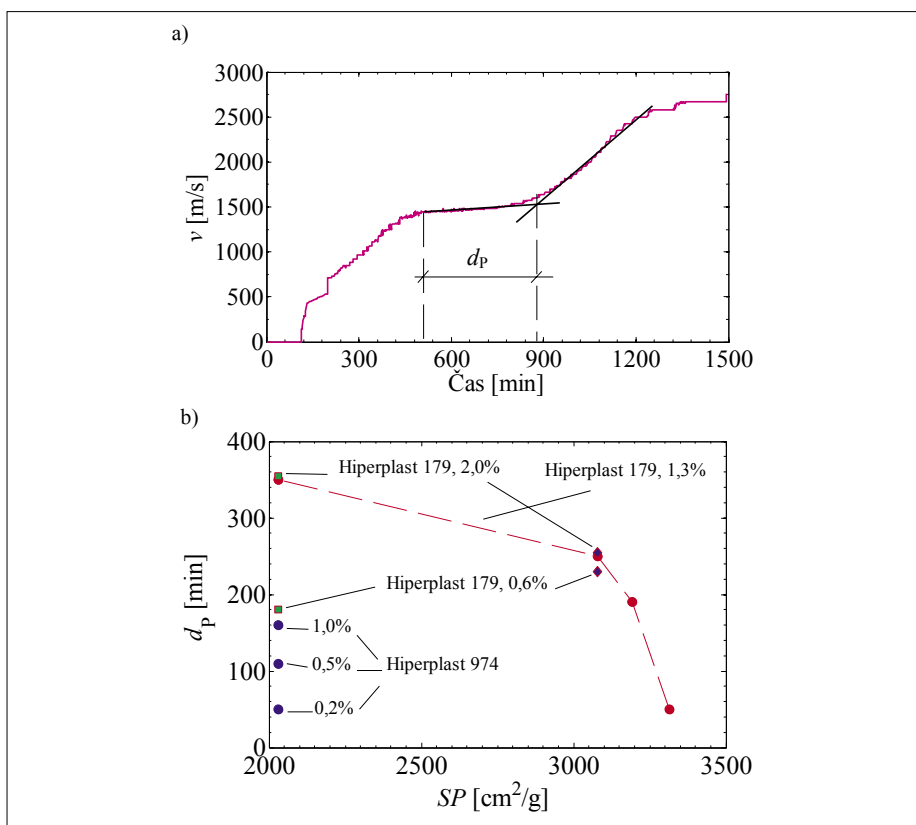
S slike 10b je razvidno, da se z večanjem površine cementnih delcev v sistemu  $SP$  (večja finost mletja cementa, nižje razmerje  $v/c$ ) dolžina platoja  $d_p$  krajša in nasprotno. Rezultat je pričakovan, saj je v primeru večje specifične površine trdne faze v strukturi cementne paste potrebna večja količina dodatka za enak učinek razpršenosti hidratizirajočih se cementnih zrn (Yamada, 2011).

To je najverjetneje posledica dejstva, da se v primeru večje vrednosti  $SP$  neposredno na cementna zrna absorbira več dodatka, medtem ko je manjša količina molekul dodatka v zamesni vodi samega sistema. Pri manjši vrednosti  $SP$  se okrog samih cementnih zrn formira debelejša plast molekul vode in dodatka, poleg tega pa večja količina dodatka ostane prosta v zamesni vodi. S tem se dinamika združevanja hidratizirajočih zrn cementa in njihovih hidratacijskih produktov izrazito upočasnijo, saj sta trajanje in jakost sterično-prostorskega odboja, ki ga povzročajo dolge glavne in stranske verige HP in ki zaustavi združevanje zrn cementa, intenzivnejša v primeru večje debeline plasti molekul vode in HP okrog posameznih zrn cementa ter večje nasičenosti zamesne vode z molekulami HP. Omenjeni fenomen preprečitve združevanja nastajajočih hidratacijskih produktov se neposredno odraža v dolžini platoja  $d_p$ , saj oblika krivulj  $v-t$  in  $dv-t$  kaže, da intenzivno obdobje naraščanja deleža povezane trdne faze (nastalih hidratacijskih produktov) v sistemu sovпада s tretjo fazo v procesu formiranja strukture cementnih past. Začetek te faze namreč predstavlja prva prevojnica točka IP1, ki nastopi pri hitrosti  $v \approx 1450$  m/s, torej pri hitrosti oziroma času pojava platoja na krivulji  $v-t$ . Ob tem je seveda združevanje nastajajočih hidratacijskih produktov oziroma delež povezane trdne faze parameter, ki je neposredno povezan z razvojem hitrosti vzdolžnega UZ-valovanja skozi materiale s cementnim vezivom ((Trtnik, 2009), (Ye, 2003)).



Slika 9 • Shematski prikaz razporeditve cementnih delcev v cementnih pastah neposredno po zamešanju:

- a) cementna pasta hiper 179 0,6 %, hiper 179 1,3 %, hiper 179 2,0 %, hiper 974 0,2 %, hiper 974 0,5 %, hiper 974 1,0 %:  $SP = 2030,2 \text{ cm}^2/\text{g}$  ( $BS = 2640 \text{ cm}^2/\text{g}$ ,  $v/c = 0,30$ );  
 b) cementna pasta hiper 179,  $v/c = 0,30$ :  $SP = 3315,4 \text{ cm}^2/\text{g}$  ( $BS = 4310 \text{ cm}^2/\text{g}$ ,  $v/c = 0,30$ );  
 c) cementna pasta hiper 179,  $v/c = 0,35$ :  $SP = 3192,6 \text{ cm}^2/\text{g}$  ( $BS = 4310 \text{ cm}^2/\text{g}$ ,  $v/c = 0,35$ );  
 d) cementna pasta hiper 179,  $v/c = 0,40$ :  $SP = 3078,6 \text{ cm}^2/\text{g}$  ( $BS = 4310 \text{ cm}^2/\text{g}$ ,  $v/c = 0,40 \text{ cm}^2/\text{g}$ ).



Slika 10 • Definicija dolžine platoja  $d_p$  na krivuljah  $v-t$  pri uporabi HP, b) vpliv specifične površine cementnih zrn v cementni pasti neposredno po zamešanju ( $SP$ ) in količine dodatka na dolžino platoja  $d_p$

## 5 • SKLEP

V prispevku je analizirana primernost metode prehoda vzdolžnih UZ-valov za analizo vpliva posameznih superplastifikatorjev in hiperplastifikatorjev v cementnih pastah. Ugotovljena sta ustreznost komercialnega UZ-instrumenta Pundif LAB+ in velika ponovljivost posameznih meritev. Rezultati preiskav kažejo, da posamezni superplastifikatorji in hiperplastifikatorji v splošnem pomembno vplivajo na obliko krivulj  $v-t$  in  $dv-t$ , predvsem z dolžino posameznih faz v procesu formiranja strukture cementnih past. V primeru majhne količine superplastifikatorjev Cementol Omega F in Cementol Zeta se oblika krivulj  $v-t$  in  $dv-t$  ni bistveno razlikovala od ustrezne krivulje etalonske mešanice, medtem ko so bile te razlike pri večjih količinah teh dveh dodatkov precej bolj očitne. Prisotnost omenjenih dveh dodatkov se odraža predvsem v kasnejšem pojavu prve prevojne točke IP1, ki označuje čas pričetka vezanja materiala in začetek faze intenzivnega medsebojnega povezovanja nastajajočih hidratacijskih produktov.

Nasprotno je vpliv hiperplastifikatorjev Cementol Hiperplast 974 in Cementol Hiper-

plast 179 opazen že pri majhnih količinah, medtem ko večja količina omenjenih dveh dodatkov bistveno spremeni kinetiko formiranja strukture cementnih past. Ob prisotnosti obeh omenjenih hiperplastifikatorjev se bistveno podaljša čas pojava prve prevojne točke IP1 kot tudi druge prevojne točke IP2, ki označuje čas najintenzivnejšega povezovanja trdne faze (hidratacijskih produktov) v strukturi hidratizirajočih cementnih past. Občutno se podaljša tudi dolžina tretje faze v procesu formiranja strukture cementnih past, predvsem na račun izrazitega platoja, ki nastopi pri hitrosti  $v \approx 1450$  m/s in ustreza hitrosti prehoda vzdolžnih UZ-valov skozi vodo. Izkaže se, da se dolžina omenjenega platoja večja z zmanjševanjem skupne površine cementnih delcev v sistemu ter večanjem količine posameznega dodatka in nasprotno.

Daljši fazi 2 in 3 na krivuljah  $v-t$  in  $dv-t$  potrjujeta dejstvo, da adsorpcija v primeru novejših hiperplastifikatorjev na osnovi polikarboksilatov poteka postopno in dalj časa kot pri superplastifikatorjih, zato je njihova učinkovitost večja, čas obdelavnosti materiala pa običajno daljši. Pojav izrazitega platoja

na krivuljah  $v-t$  pri uporabi obeh hiperplastifikatorjev potrjuje, da je omenjeni fenomen posledica oviranega združevanja nastajajočih hidratacijskih produktov v povezano trdno strukturo, čas pojava platoja pa razkriva, da je učinkovitost uporabljenih hiperplastifikatorjev v smislu podaljšanja časa obdelavnosti materiala najizrazitejša v obdobju neposredno pred začetkom vezanja materialov s cementnim vezivom.

S tem prispevkom je prikazana velika občutljivost metode prehoda vzdolžnih UZ-valov na prisotnost posameznih superplastifikatorjev in hiperplastifikatorjev v materialih s cementnim vezivom. Sama metoda omogoča kontinuirano spremljanje delovanja posameznih hiperplastifikatorjev v cementnih pastah, saj temelji neposredno na principu merjenja količine skupne trdne faze (skupna količina hidratacijskih produktov) in povezane trdne faze (delež med seboj povezanih hidratacijskih produktov) v razvoju strukture hidratizirajočih cementnih past. Kot taka omogoča identifikacijo nekaterih pomembnih fenomenov mehanizma delovanja superplastifikatorjev in hiperplastifikatorjev v materialih s cementnim vezivom, nedestruktivna narava metode pa omogoča njeno implementacijo in uporabo na dejanskih gradbenih konstrukcijah neposredno na terenu.

## 6 • ZAHVALA

Raziskavo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru podoktorskega projekta iz gospodarstva Z2-4069. Za podporo se iskreno zahvaljujem.

## 7 • LITERATURA

- Bokan Bosiljkov, V., Kodelja, M., Mrzlikar, M., Vuk, T., Vpliv različnih superplastifikatorjev na lastnosti lahkogradljivih betonov, Konferenca Beton 21. stoletja, Zbornik referatov, ZBS, str. 40–47, Lipica, 2010.
- Borget, P., Galmiche, L., Le Meins, J. F., Lafuma, F., Microstructural characterization and behaviour in different salt solutions of sodium polymethacrylate-g-PEO comb copolymers, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, letnik 260, 1–3, str. 173–182.
- Černilogar, L., Dodatki za beton: plastifikatorji, superplastifikatorji, hiperplastifikatorji. Gradbenik, letnik 2010, 12, str. 100–103, 2010.
- De Belie, N., Grosse, C. U., Kurz, J., Reinhardt, H.W., Ultrasound monitoring of the influence of different accelerating admixtures and cement types for shotcrete on setting and hardening behaviour, Cement and Concrete Research, letnik 35, 11, str. 2087–2094, 2005.
- Grosse, C. U., Reinhardt, H. W., New developments in quality control of concrete using ultrasound, International Symposium on Non-Destructive testing in Civil Engineering, Berlin, september, 2003.
- Keating, J., Hannant, D. J., Correlation between cube strength, ultrasonic pulse velocity and volume change for oil well cement slurries, Cement and concrete Research 19, 5: 715-726, 1998.
- Koenders, E. A. B., Simulation of volume changes in hardening cement-based materials, doktorska disertacija, Delft University of Technology, Delft, 1997.

- Rapoport, J. R., Popovics, J. S., Subramaniam, K. V., Shah, S. P., Using ultrasound to monitor stiffening process of concrete with admixtures, *ACI Materials Journal*, letnik 97, 6, str. 675–683, 2000.
- Reinhardt, H. W., Grosse, C. U., Continuous monitoring of setting and hardening of mortar and concrete, *Construction and Building Materials*, letnik 18, 3, str. 145–154, 2004.
- Robeyst, N., Grosse, C. U., De Belie, N. D., Measuring the change in ultrasonic p-wave energy transmitted in fresh mortar with additives to monitor the setting, *Cement and Concrete Research*, letnik 39, 10, str. 868–875, 2009.
- Robeyst, N., Grosse, C. U., De Belie, N. D., Relating ultrasonic measurements on fresh concrete with mineral additions to the microstructure development simulated by CEMHYD3D, *Cement and Concrete Composites*, letnik 33, 6, str. 680–693, 2011.
- Robeyst, N., Gruyaert, E., Grosse, C. U., De Belie, N., Monitoring the setting of concrete containing blast-furnace slag by measuring the ultrasonic p-wave velocity, *Cement and Concrete Research*, letnik 38, 10, str. 1169–1176, 2008.
- Sayer, C. M., Dahlin, A., Propagation of ultrasound through hydrating cement pastes at early times. *Advance Cement Based Materials* letnik 1, 1, str. 12–21, 1993.
- Schindler, A. K., Dossey, T., McCullough, B. F., Temperature control during construction to improve the long term performance of portland cement concrete pavements, Texas Department of Transportation, Research project No. 0-1700-2, Austin, The University of Texas at Austin, 2002.
- SIST EN 934-2:2009, Kemijski dodatki za beton, malto in injekcijsko maso, 2. del: Kemijski dodatki za beton – Definicije, zahteve, skladnost, označevanje in obeleževanje.
- Trtnik, G., Uporaba ultrazvočne metode za oceno vezanja materialov s cementnim vezivom, *Gradbeni Vestnik*, letnik 2009, št. 7, str. 180–187, 2009a.
- Trtnik, G., Uporaba ultrazvočne metode za analizo vezanja in strjevanja betona, *Doktorska disertacija*, Ljubljana, 2009c.
- Trtnik, G., Turk, G., Kavčič, F., Bokan Bosiljkov, V., Possibilities of using the ultrasonic wave transmission method to estimate initial setting time of cement paste, *Cement and Concrete Research*, letnik 38, 11, str. 1336–1342, 2008.
- Trtnik, G., Valič, M. I., Kavčič, F., Turk, G. Comparisson between two ultrasonic methods in their ability to monitor the setting process of cement pastes, *Cement and Concrete Research*, letnik 39, 10, str. 876–882, 2009b.
- Turk, G., *Verjetnostni račun in statistika*, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2011.
- Van Breugel, K, Simulation of hydration and formation of structure of hardening cement-based materials, doktorska disertacija, Tehnična univerza Delft, Delft, 1991.
- Voigt, T., Grosse, C. U., Sun, Z., Shah, S. P., Reinhardt, H. W., Comparison of ultrasonic wave transmission and reflection measurements with P- and S-waves on early age mortar and concrete, *Materials and Structures*, letnik 38, str. 729–738, 2005.
- Wallevik, O. H., *Introduction to Rheology of Fresh Concrete*, ICI Rheocenter, Reykjavik, Iceland, avgust 2009.
- Yamada, K., Basics of analytical methods used for the investigation of interaction mechanism between cements and superplasticizers, *Cement and Concrete Research*, letnik 41, 7, str. 793–798, 2011.
- Ye, G., Experimental study and numerical simulation of the development of the microstructure and permeability of cementitious materials, doktorska disertacija, Delft University of Technology, Delft, 2003.
- Zevnik, L., Uporaba izotermne kalorimetrije za določitev poteka hidratacije cementa, Konferenca Beton 21. stoletja, Zbornik referatov, ZBS, str. 2–39, Lipica, 2010.
- Zhu, J., Kee, S. H., Han, D., Tsai, Y. T., Effect of air voids on ultrasonic wave propagation in early age cement pastes, *Cement and Concrete Research*, letnik 41, 8, str. 872–881, 2011.



# GRADBIŠČE LOČNE PREGRADE SVETA PETKA V MAKEDONIJI

V okviru simpozija »Dams – Recent experiences on research, design, construction and service«, ki sta ga 17. in 18. novembra 2011 v Skopju organizirala makedonski (MACOLD) in slovenski (SLOCOLD) komite za velike pregrade, so gostitelji organizirali tudi ogled gradbišča ločne pregrade.



Slika 1 • Kanjon reke Treske

Pregrada Sveta Petka predstavlja vmesno stopnjo na reki Treska, ki se prebija skozi hribe nedaleč od Skopja. Dolvodno je zgrajena obratujoča akumulacija Matka, gorvodno pa še ne obratujoča stopnja Kozjak. Kanjon Treske (slika 1) je izredno slikovit in je zaradi geometrije idealen za zajezitev z ločno pregrado.



Slika 2 • Gradbišče pregrade Sveta Petka

Gradbišču se po precej dramatični cesti približamo s spodnje strani, od koder so vidni nekateri ključni deli objekta (slika 2): 64 m visoka ločna pregrada, obpregradna (prijbranska) strojnica z dvema agregatoma Francis in stolp zapornične komore na desnem bregu. Glavni izvajalec objekta je Riko Ljubljana, sodeluje pa še več slovenskih podjetij (na primer Litostraj, Korona).



Slika 3 • Pregrada Sveta Petka med gradnjo

Bližnji pogled z ene od geodetskih točk razkrije nekatere elemente pregradnega objekta (slika 3): konzolno gradnjo posameznih blokov, ki se medsebojno naknadno povežejo z dvema sistemoma tesnitve (primarni in pomožni), način povezovanja blokov, konstruktivno armaturo v zgornjih 20 m, ki je namenjena prevzemanju napetosti ob morebitnih deformacijah pregrade zaradi potresa, itd.



Slika 4 • Nadomestitev slabše hribine z betonskim blokom

Pregrada je vertikalno simetrična, le na desnem boku je bila zaradi slabše hribine potrebna korekcija v obliki večjega betonskega bloka, katerega delovišče vidimo v zgornjem desnem delu slike 4. Viden je tudi opaž drenažne galerije in opaži enega od blokov pregrade. Pripravljali so površino za betoniranje, pri čemer so bili zelo temeljiti: pometanje, izpiranje in stisnjen zrak za dolgo brezprašne površine.



Slika 5 • Tesnitev pregrade

Pregrada nima injekcijske galerije, tesnitev se izvaja s posebnimi progami z zunanje strani. V dnu doline je zavesa globoka 50 m, v bokih pa 75 m. Na sliki 5 je proga za tesnitev desnega boka, vidna je vrtnalna garnitura.



Slika 6 • Ustje visokovodnega preliva z ozračevalno cevjo

Visokovodni preliv je jaškast, njegova kapaciteta je 1200 m<sup>3</sup>/s. Jašek je priključen na obtočni rov, ki se v času gradnje uporablja za evakuacijo visokih voda. Po zaključku gradnje se bo začasni vtok v rov zaprl s plombo. Na sliki 6 je ustje preliva z ozračevalno cevjo.



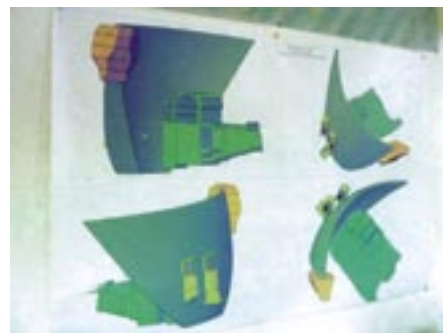
Slika 7 • Gorvodno lice pregrade

Na gorvodnem licu pregrade (slika 7) sta dva vtočna objekta, za vsak agregat posebej. Vidni betoni pregrade so kakovostno izvedeni, poraba cementa je okoli 170 kg/m<sup>3</sup> in dosežena trdnost 30 MPa. Dodatki za beton se uporabljajo le izjemoma, na primer ob vgrajevanju opreme. Poleti so agregat ohlajali, pozimi ga je treba ogrevati.



Slika 8 • Dolina gorvodno od pregrade

Dolina gorvodno od pregrade (slika 8) je divja in v veliki meri že preoblikovana zaradi dostopne ceste, kar je predstavljalo tudi problem ob zapiranju gradbene jame. Poleti se izredno segreje (menda tudi do 50 °C), pozimi pa vanjo nekaj mesecev sonce sploh ne pade. Kljub temu je v dno in na pobočja postavljena vsa potrebna infrastruktura gradbišča, celo kapelica.



Slika 9 • 3D-prikazi pregrade

Gostitelji so nam s celotno ekipo (vključno s predstavnikom podjetja Riko) zelo podrobno predstavili projekt, ki je kljub izvajalcu in nekaterim projektantom iz tujine z gradbenega vidika v največji meri sad makedonskega znanja. Na sliki 9 so 3D-prikazi konstrukcije pregrade, ki je bila preračunana v Makedoniji.

dr. Andrej Širca, univ. dipl. inž. grad.



MREŽENJE MREŽ



Slovensko združenje za projektni management (ZPM)

vabi na Projektni forum, ki bo letos potekal v Termah Zreče z glavno temo

## Mreženje mrež

Na forumu bosta obravnavani tudi temi:

Novosti v stroki projektnege menedžmenta in Primeri dobre prakse projektnege menedžmenta.

Več informacij o prireditvi najdete na spletni strani Projektnege foruma 2012: <http://www.zpm-forum.si/> in na spletni strani ZPM: <http://sl.zpm-si.com/>, kjer so tudi **Navodila za pripravo povzetkov**. Rok za oddajo naslova prispevka in povzetka je **15. marec 2012**. Dodatne informacije dobite na naslovih: [info@zpm-si.com](mailto:info@zpm-si.com), [iztok.palcic@uni-mb.si](mailto:iztok.palcic@uni-mb.si) (041 929 398) in [matjaz.madzarac@gmail.com](mailto:matjaz.madzarac@gmail.com) (031 314 084)

# NOVI DIPLOMANTI

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Petra Durini**, Toplotni mostovi, mentor prof. dr. Aleš Krainer, somentor viš. pred. dr. Roman Kunič

**Matej Dakskobler**, Statična analiza objekta v jekleni izvedbi, mentor prof. dr. Jože Korelc, somentor asist. dr. Peter Skuber

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Mojca Usnik**, Eksperimentalna in numerična simulacija obnašanja svetlobne kupole, mentor prof. dr. Boštjan Brank, somentor dr. Uroš Bohinc

**Andrej Indihar**, Analiza stroškov gradnje poslovnih in stanovanjskih objektov, mentor izr. prof. dr. Jana Šelih

### MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Borut Korpar**, Ocena uporabnosti N2 metode za tipično AB stanasto stavbo, mentor prof. dr. Peter Fajfar, somentor doc. dr. Iztok Peruš

**Edvin Hadžiahmetovič**, Upravljanje železniške infrastrukture z uporabo prostorskih informacijskih sistemov, mentor prof. dr. Bogdan Zgonc, somentor doc. dr. Marijan Žura

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Matej Benko**, Most za pešce razpona 30 m z jekleno zatego, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor asist. dr. Tomaž Žula

**Vladimir Vratarič**, Načrtovanje izrabe geotermalne energije v Mestni občini Murska Sobota, mentor izr. prof. dr. Bojan Žlender, somentor doc. dr. Borut Macuh

**Dejan Žagar**, Metoda hitrega določanja energetske izkaznice, mentor red. prof. dr. Danijel Rebolj

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Tina Berdnik**, Vpliv podnebnih razmer na optimalno zasnovano stanovanjske stavbe, mentor izr. prof. dr. Metka Sitar

**Denis Imamović**, Primerjava rezultatov metode z vodoravnimi silami z rezultati modalne analize s spektri odziva, mentor izr. prof. dr. Matjaž Skrinar

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

### INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

**Urška Hribernik**, Priprava ponudb in prodaja gradbenih objektov in storitev, mentorja doc. dr. Nataša Šuman FG in doc. dr. Matjaž Iršič – EPF

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

**Vsem diplomantom čestitamo!**

Skladno z dogovorom med ZDGITS in FGG-UL vsi diplomanti gradbenega oddelka Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani prejemaajo Gradbeni vestnik (12 števil) eno leto brezplačno. Vse, ki bodo želeli po prejemu 12. številke postati redni naročniki, prosimo, naj to čimprej sporočijo uredništvu na naslov: GRADBENI VESTNIK, Leskoškova 9E, 1000 Ljubljana; telefon: (01) 52 40 200; faks: (01) 52 40 199; e-mail: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net).

ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika

# KOLEDAR PRIREDITEV

**7.-9.3.2012**

**3rd International Symposium on Ultra-High Performance Concrete and Nanotechnology for High Performance Construction Materials**

Kassel, Nemčija  
[www.hipermat.de](http://www.hipermat.de)

**12.-17.3.2012**

**6th World Water Forum**

Marseille, Francija  
[www.worldwatercouncil.org/index.php?id=6th\\_forum\\_kick-off](http://www.worldwatercouncil.org/index.php?id=6th_forum_kick-off)

**19. in 20.4.2012**

**Betontag 2012**

Dunaj, Avstrija  
[www.betontag.info](http://www.betontag.info)

**22.-27.4.2012**

**European Geosciences Union  
General Assembly 2012**

Dunaj, Avstrija  
[www.meetings.copernicus.org/egu2012/](http://www.meetings.copernicus.org/egu2012/)

**23.-27.4.2012**

**12th Congress Interpraevent 2012**

Grenoble, Francija  
[www.interpraevent.at/palm-cms/upload\\_files/Kongresse/Flyer-Interpraevent-2012.pdf](http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Kongresse/Flyer-Interpraevent-2012.pdf)

**7.-9.5.2012**

**IABSE Conference  
Global Thinking in Structural Engineering: Recent Achievements**

Kairo, Egipt  
[www.iabse.ethz.ch/conferences/Cairo2012FI](http://www.iabse.ethz.ch/conferences/Cairo2012FI)

**7.-11.5.2012**

**IFAT Entsorga 2012**

München, Nemčija  
[www.ifat.de](http://www.ifat.de)

**11.5.2012**

**3. Münchener Tunnelbau-Symposium**

München, Nemčija  
[www.unibw.de/geotechnik](http://www.unibw.de/geotechnik)

**16. in 17.5.2012**

**Projektni forum  
Mreženje mrež**

Zreče, Slovenija  
[www.zpm-forum.si](http://www.zpm-forum.si)

**29.5.-1.6.2012**

**SSCS International Conference Numerical Modeling Strategies for Sustainable Concrete Structures**

Aix en Provence, Francija  
[www.sscs2012.com](http://www.sscs2012.com)

**7.-9.6.2012**

**GTZ 2012  
2nd International Scientific Meeting  
State and Trends of Civil Engineering**

Tuzla, Bosna in Hercegovina  
[www.gtz2012.com](http://www.gtz2012.com)

**14. in 15.6.2012**

**6. Posvetovanje slovenskih geoteknikov in 13. Šukljetov dan**

Lipica, Slovenija  
[www.sloged.si](http://www.sloged.si)

**11.-14.6.2012**

**Concrete structures for a sustainable community**

Stockholm, Švedska  
[www.fibstockholm2012.se](http://www.fibstockholm2012.se)

**17.-20.6.2012**

**4th International Symposium on Bond in Concrete 2012:  
Bond anchorage, detailing**

Brescia, Italija  
[www.rilem.net/eventDetails.php?event=461](http://www.rilem.net/eventDetails.php?event=461)

**8.-12.7.2012**

**10th International Conference on Concrete Pavements**

Québec City, Québec, Kanada  
[www.concretepavements.org](http://www.concretepavements.org)

**25.-27.7.2012**

**ECPPM 2012**

**9th European Conference on Product and Process Modeling**

Reykjavik, Islandija  
[ecppm2012@nmi.is](mailto:ecppm2012@nmi.is)

**16.-21.9.2012**

**IWA World Water Congress**

Busan, Koreja  
[www.iwa2012busan.org](http://www.iwa2012busan.org)

**19. in 20.10.2012**

**Geodetski dan: Geodezija pri upravljanju z vodami**

Dolenjske Toplice, Slovenija  
[majca.kosmatin-fras@fgg.uni-lj.si](mailto:majca.kosmatin-fras@fgg.uni-lj.si)

**24. in 25.10.2012**

**11. slovenski kongres o cestah in prometu**

Portorož, Slovenija  
[www.drc.si](http://www.drc.si)

**31.10.-3.11.2012**

**ASCE**

**6th Congress on Forensic Engineering**

San Francisco, Kalifornija, ZDA  
<http://content.asce.org/conferences/forensics2012/index.html>

**7.-9.11.2012**

**International Symposium on Earthquake – induced Landslides**

Kiryu, Japonska  
<http://geotech.ce.gunma-u.ac.jp/~isel/index.html>

**6.-8.5.2013**

**International IABSE Spring Conference  
Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructures**

Rotterdam, Nizozemska  
[www.iabse2013rotterdam.nl](http://www.iabse2013rotterdam.nl)

**24.-26.7.2013**

**ICSA 2013**

**2nd International Conference on Structures and Architecture**

Guimares, Portugalska  
[www.icsa2013.arquitectura.uminho.pt](http://www.icsa2013.arquitectura.uminho.pt)

**2.-6.6.2014**

**3rd World Landslide Forum "Landslide risk mitigation:  
Constructing a safe geo-environment"**

Peking, Kitajska  
[www.wlf3.org](http://www.wlf3.org)

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