

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, januar 2008, letnik 57, str. 1-28

Izdajatelj:

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

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**

izr. prof. dr. **Matjaž Mikoš**

Jakob Presečnik

MSG IZS: **Gorazd Humar**

mag. Črtomir Remec

doc. dr. Branko Zadnik

FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**

FG Maribor: **Milan Kuhta**

ZAG: **prof. dr. Miha Tomažević**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristjan Juteršek

Lektorica:

Alenka Raič Blažič

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Anka Holobar

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočevski tisk

Naklada:

3000 izvodov

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

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

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

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:

SI56 0201 7001 5398 955

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

- Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
- Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
- Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
- Besedilo mora biti izpisano z znaki velikosti 12 pik z dvojnimi presledkom med vrsticami.
- Prispevki morajo imeti naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo prispevka.
- Besedilo člankov mora obvezno imeti: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako ali je članek strokoven ali znanstven; nazive, imena in priimke avtorjev ter njihove naslove; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY, in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ..., naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so dodatki označeni še z A, B, C, itn.
- Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni.
- Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.
- Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
- Kot decimalno ločilo je treba uporabiti vejico.
- Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c, itn.
- V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko okrajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
- Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
- Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA oz. janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v enem izvodu na papirju in v elektronski obliki v formatu MS WORD in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Nagrada IZS za inovativnost 2007

stran 2

POSTOPEK NARIVANJA MOSTNIH KONSTRUKCIJ Z VELIKIM VZDOLŽNIM NAKLONOM S POMOČJO NESKONČNEGA NOSILNEGA VIJAKA, KI GA JE UVEDEL IZTOK LIKAR, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., PRIMORJE D.D.

Gorazd Humar, univ. dipl. inž. grad.



Članki • Papers

stran 4

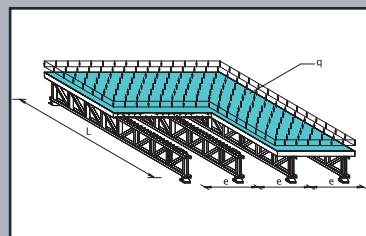
STROŠKOVNO OPTIMIRANJE SOVPREŽNIH KONSTRUKCIJ IZ BETONA IN JEKLA – 2. DEL: STROŠKOVNO OPTIMIRANJE SOVPREŽNIH PALIČNIH KONSTRUKCIJ

COST OPTIMIZATION OF THE CONCRETE-STEEL COMPOSITE
STRUCTURES – PART 2: COST OPTIMIZATION OF COMPOSITE TRUSSES

stran 14

ZBIRANJE IN ODSTRANITEV ODPADNIH VOD V GORAH THE COLLECTING AND THE CLEANING OF WASTEWATER IN THE MOUNTAINS

Franc Maleiner, univ. dipl. inž. kom.

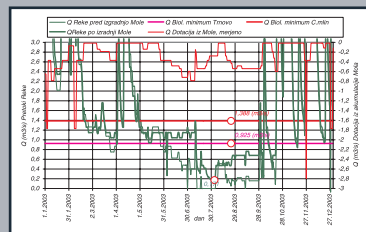


Odmev

stran 22

ODGOVOR DR. KRANJCU NA NJEGOVE TRDITVE V GRADBENEM VESTNIKU OKTOBER 2007

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



Novi diplomanti

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

Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Viadukt Polance na hitri cesti Razdrto–Vipava, foto Simon Rosa

NAGRADA IZS ZA INOVATIVNOST 2007

POSTOPEK NARIVANJA MOSTNIH KONSTRUKCIJ Z VELIKIM VZDOLŽNIM NAKLONOM S POMOČJO NESKONČNEGA NOSILNEGA VIJAKA, KI GA JE UVEDEL IZTOK LIKAR, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD., PRIMORJE D.D.

Primorje d.d. je že nekaj desetletij v slovenskem in tudi v srednjeevropskem prostoru eno vodilnih podjetij na področju gradnje mostov. Pod svojo streho združuje veliko inženirskega znanja, izkušenj in več različnih tehnologij za gradnjo mostov. Pomemben kriterij pri tem so številne mednarodne izkušnje, saj je Primorje d.d. samo v zadnjih desetih letih izvedlo na desetine mostov na slovenskih in hrvaških avtocestah. Mostovi so običajno zelo raznolike gradbene konstrukcije, njihova velikost in oblika sta odvisna predvsem od geografskih, geomehanskih, vodarskih in tudi krajinskih prilik. Vsak most je zato objekt zase in prav za vsak most je treba uporabiti njemu najprimernejšo tehnologijo gradnje.

Tehnološki postopek za narivanje mostnih konstrukcij je danes eden najbolj razširjenih načinov gradnje večjih mostov. Vendar se pri tovrstnih objektih, ki imajo večje naklone nivele ali padec ali vzpon, pojavljajo določeni problemi, ki močno omejujejo uporabo take tehnologije. Pri objektih z večjim vzdolžnim naklonom se pojavljajo velike vzdolžne sile, ki močno vplivajo na izbiro narivne tehnologije in varovanja prekladne konstrukcije med narivanjem zaradi možnosti zdrsa, tako med samim narivanjem kot v fazi mirovanja.



Slika 1 • Prerezana matica z objemko

Z vsemi takimi problemi se je tehnološka ekipa Primorja d.d., ki jo vodi Iztok Likar, univ. dipl. inž. grad., srečala pri izvedbi narivanja mostne konstrukcije za objekt Viadukt Polance na HC Razdrto–Vipava. Dolžina ob-

jekta znaša 345,5 m za desno in 378,4 m za levo polovico viadukta. Objekt je v zaključni fazi gradnje. Vzdolžni naklon viadukta znaša 5 %, kar onemogoča uporabo do sedaj znanih standardnih postopkov narivanja mostnih armiranobetonskih konstrukcij v smeri navzgor.

Standardne tehnologije narivanja, ki slonijo na osnovi izkoriščanja sile trenja za pomik mostne konstrukcije navzgor v smeri nivelete, v takih primerih niso uporabne in so nezanesljive zaradi nevarnosti zdrsa mostne konstrukcije zaradi velikega vzdolžnega nagiba. Obstajajo sicer tudi rešitve s potiskanjem mostne konstrukcije na območju tako imenovane delavnice, kjer se običajno izdeluje nov segment oz. kampada mostne razpanske konstrukcije, ki omogoča potiskanje tudi v primeru večjih nagibov, vendar z velikimi gradbenimi posegi in s tem s precej večjimi stroški.

Rešitev, ki jo je predlagal in v praksi izvedel Iztok Likar, omogoča narivanje pri vzdolžnih naklonih mostnih konstrukcij, ki so večji od



Slika 2 • Sistem vlečenja in zadrževanja s palicami Dywidag



Slika 3 • Pogled na juhovzhodni del viadukta Polance z magistralne ceste Podnanos–Razdrto

principu neskončnega vijaka v osi hidravličnega bata (slika 2).

Na ta način je rešeno narivanje in istočasno varovanje prekladne konstrukcije z večjimi vzdolžnimi nakloni brez dodatnih zelo kompliciranih ukrepov proti zdrsu, ki so praviloma dragi. Bistvena prednost takega postopka gradnje je, da omogoča hitro in hkrati varno izvedbo faze narivanja z neskončnim vijakom, ne glede na vzdolžni naklon mostne konstrukcije. Po našem vedenju ter informacijah, ki smo jih iskali pri znanih uporabnikih tehnologij za gradnjo mostov v tujini, ta način do sedaj ni bil uporabljen še nikjer v svetu. Predstavlja poceni in učinkovito izboljšavo, ki je na gradbišču izredno enostavno uporabljiva, ker rešuje vse mejne probleme pri narivanju mostnih konstrukcij z velikim vzdolžnim naklonom. Sistem se je pri izvedbi postopnega narivanja viadukta Polance (sliki 3 in 4) izkazal kot izjemno enostaven in učinkovit ter se tako potrdil v praksi. Postopek je v fazi patentiranja.

Gorazd Humar, univ. dipl. inž. grad.

$\pm 3\%$, kar je meja standardnih postopkov narivanja, ki temeljijo na trenju. Bistvo novosti je v navidezno enostavnemu postopku prepirjanja velike vzdolžne sile zaradi lastne teže armiranobetonske mostne razponske konstrukcije oziroma varovanja v vseh fazah narivanja brez nevarnosti zdrsa. Konstrukcijo se nariva in obenem zadržuje z jeklenimi palicami Dywidag, ki imajo standardno dolžino 12 m in so varovane z matico, med seboj pa so spojene s spojkami. Te spojke pa ovirajo prehod matice, ki je potreben pri kampadah, daljših od 10 m.

Prepirjanje oziroma prenos velike vzdolžne sile je Iztok Likar izvedel z originalno uporabo prerezane matice Dywidag (slika 1). Prerezano matico je v fazi obremenitve zavaroval s specialno jekleno objemko, ki jo je prav tako sam skonstruiral. Spojka in prerezana matica morata skupaj prevzeti nosilnost neprerezane matice. Uporabljeni postopek s prerezano matico v kombinaciji z objemko omogoča neprekinjeno narivanje kampade dolge ca. 30 m z možnostjo neprekinjenega dela na



Slika 4 • Severozahodni del viadukta Polance

STROŠKOVNO OPTIMIRANJE SOVPREŽNIH KONSTRUKCIJ IZ BETONA IN JEKLA – 2. DEL: STROŠKOVNO OPTIMIRANJE SOVPREŽNIH PALIČNIH KONSTRUKCIJ

COST OPTIMIZATION OF THE CONCRETE-STEEL COMPOSITE STRUCTURES – PART 2: COST OPTIMIZATION OF COMPOSITE TRUSSES

doc. dr. Uroš Klanšek, univ. dipl. gosp. inž.

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo,
Smetanova 17, 2000 Maribor

red. prof. dr. Stojan Kravanja, univ. dipl. inž. gr.

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo,
Smetanova 17, 2000 Maribor

Znanstveni članek

UDK 338.585 : 519.86 : 624.016

Povzetek | Drugi del v seriji dveh dveh člankov predstavlja stroškovno optimiranje sovprežnih paličnih konstrukcij. Sovprežna konstrukcija je sestavljena iz armirane betonske plošče in varjenega jeklenega paličja iz vroče valjanih I profilov. Optimiranje je izvedeno s pristopom nelinearnega programiranja, NLP. Na osnovi v prvem članku definiranih lastnih izdelavnih stroškov je za optimiranje konstrukcije definirana podrobna stroškovna namenska funkcija materiala, električne energije in dela. V stroškovno namensko funkcijo so vključeni tudi proizvodni časi ter poraba električne energije in materialov. Namenska funkcija je podvržena rigoroznemu sistemu pogojnih (ne)enačb računske analize konstrukcije. Pogojne (ne)enačbe dimenzioniranja konstrukcije so definirane v skladu z evrokodom 4 za mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti. Za predstavitev uporabnosti predlaganega pristopa je na koncu članka prikazan računski primer stroškovnega optimiranja sovprežne palične konstrukcije.

Summary | Part 2 of this two-part series of papers presents the cost optimization of composite trusses. The composite structure is constructed of a reinforced concrete slab and welded steel trusses consisting of hot rolled channel sections. The optimization is performed by the nonlinear programming approach, NLP. On the basis of the defined self-manufacturing costs, introduced in Part 1, a detailed cost objective function of the material, power and labour costs is defined for the structural optimization. In this way, the cost objective function also considers the fabrication times, the electrical power, and material consumption. The objective function is subjected to the rigorous system of the structural analysis (in)equality constraints. The structural design (in)equality constraints are defined according to Eurocode 4 for the conditions of both the ultimate and the serviceability limit states. A numerical example of the cost optimization of the composite trusses is presented at the end of the paper to show the applicability of the proposed approach.

1 • UVOD

V splošnem lahko pojem optimiranja konstrukcij opredelimo kot proces iskanja najugodnejše konstrukcije glede na podane pogoje in izbrani kriterij optimiranja. Ene od prvih idej modernega optimiranja konstrukcij najdemo v klasičnih delih Maxwella (Maxwell, 1869) in Michella (Michell, 1904). Optimiranje konstrukcij je zaradi obsežnosti in računske zahtevnosti teh optimizacijskih problemov doživelo razmah šele v šestdesetih letih prejšnjega stoletja z razvojem računalnikov ter različnih učinkovitih optimizacijskih metod. Številni avtorji kot pionirsko delo omenjajo prispevek Schmita (Schmit, 1960), v katerem je predstavljena prva povezava nelinearnega optimiranja in metode končnih elementov.

Na področju optimiranja sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona je možno zaslediti nekaj prispevkov, ki obravnavajo predvsem učinkovitost posamezne metode. Nekaj objavljenih prispevkov se nanaša na področje optimiranja sovprežnih mostov. Eden od prvih prispevkov s področja optimiranja sovprežnih mostov je prispevek Surteesa in Tordoffa (Surtees, 1977), v katerem sta avtorja predstavila avtomatizirani proces za stroškovno in masno optimiranje sovprežnih škatlastih mostov. Bhatti in Al-Gahtani (Bhatti, 1995) sta predstavila optimiranje sovprežnih varjenih nosilcev cestnih mostov. V nadaljnji raziskavi je Bhatti (Bhatti, 1996) izvedel stroškovno optimiranje delno sovprežnih nosilcev z uporabo programskega paketa *Mathematica*, (Wolfram, 1991). Cohn in Werner (Cohn, 1996) sta izvedla optimiranje sovprežnih mostov z obširnimi iskanjem rešitev z rekurzivno analizo. Long, Troitsky in Zielinski (Long, 1999) so raziskovali stroškovno optimiranje so-

vprežnih mostov s poševnimi kabli z nelinearnim programiranjem, pri čemer so uporabili Newton-Raphsonov iterativni postopek. Nekaj avtorjev je obravnavalo stroškovno optimiranje sovprežnih stropnih sistemov iz jekla in betona. Kravanja in Šilih (Kravanja, 1999), (Šilih, 2000), (Kravanja, 2003) sta v prispevkih predstavila stroškovno optimiranje sovprežnih varjenih *I* nosilcev z nelinearnim programiranjem, in sicer z metodo reduciranih gradientov (RG) ter s posplošeno metodo reduciranih gradientov (GRG). Adeli in Kim (Adeli, 2001) sta predstavila stroškovno optimiranje sovprežnih stropov z mešanim celoštevskim diskretnim nelinearnim programiranjem (MIDNLP), pri čemer sta kombinirala metodo vejenja in omejevanja (BB) ter metodo simuliranega ohlajanja (SA). Kravanja in Šilih (Kravanja, 2001) sta predstavila stroškovno optimiranje sovprežnih varjenih *I* nosilcev z mešanim celoštevskim nelinearnim programiranjem (MINLP). Foley in Lucas (Foley, 2004) sta izvedla stroškovno optimiranje sovprežnih stropov z genetskim algoritmom (GA).

Raziskave so bile opravljene tudi na področju optimiranja sovprežnih paličnih konstrukcij. El-Sheikh (El-Sheikh, 1999) je predstavil optimiranje sovprežnih prostorskih paličnih konstrukcij, kjer je obravnaval optimiranje konstrukcije z vidika razmerja razpon/višina in števila pasovnih panelov paličja. V prispevkih (Šilih, 2002) ter (Kravanja, 2003) je predstavljeno stroškovno optimiranje in primerjava sovprežnih varjenih *I* nosilcev ter sovprežnih paličnih nosilcev, izdelanih iz hladno oblikovanih votlih jeklenih profilov.

V dosedaj objavljeni literaturi so avtorji obravnavali optimiranje sovprežnih konstrukcij z uporabo enostavnejših stroškovnih

namenskih funkcij pri fiksnih ekonomskih parametrih, npr. (Long, 1999), (Kravanja, 2001), (Adeli, 2001), (Kravanja, 2003). V omenjenih prispevkih so bile stroškovne namenske funkcije oblikovane kot funkcija nekaterih vplivnih geometrijskih karakteristik (npr. volumna, površina, dolžine, ipd.), ki so bili zmnoženi s fiksnimi utežmi, tj. stroškovnimi koeficienti. Pomanjkljivosti takšnega pristopa k modeliranju namenske funkcije se kažejo predvsem v tem, da je namenska funkcija manj splošno uporabna za različne tehnološke pogoje (npr. različne tehnologije varjenja, rezanja jekla, barvanja, ipd.), različne ekonomske pogoje (npr. različne stroške dela), različne ergonomске pogoje (npr. težavnost posameznega proizvodnega procesa) in ne upošteva stroškov dela na osnovi porabe proizvodnih časov.

Drugi del v seriji dveh člankov zato predstavlja stroškovno optimiranje sovprežnih paličnih konstrukcij z uporabo podrobnih stroškovnih namenskih funkcij (Klanšek, 2006). Sovprežna konstrukcija je sestavljena iz armirane betonske plošče in varjenega jeklenega paličja iz vroče valjanih *I* profilov. Optimiranje je izvedeno s pristopom nelinearnega programiranja, NLP. Na temelju v prvem članku definiranih lastnih izdelavnih stroškov je za optimiranje konstrukcije definirana podrobna stroškovna namenska funkcija materiala, energije in dela. Tako razvita namenska funkcija vključuje porabe materialov, električne energije in proizvodnih časov. Namenska funkcija je podvržena rigoroznemu sistemu pogojnih (ne)enačb računske analize konstrukcije. Pogojne (ne)enačbe dimenzioniranja so definirane v skladu z evrokodom 4 (Eurocode 4, 1992) za mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti. Za predstavitev uporabnosti predlaganega pristopa je na koncu prispevka obravnavan računski primer stroškovnega optimiranja sovprežne palične konstrukcije.

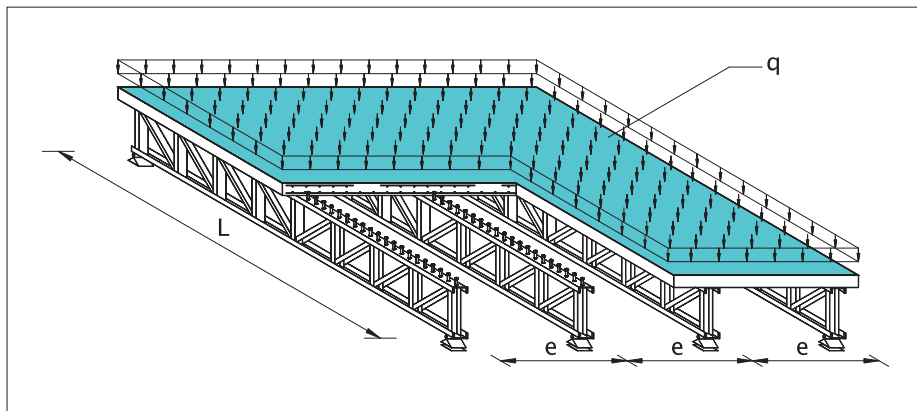
2 • SOVPREŽNA PALIČNA KONSTRUKCIJA

Sovprežna palična konstrukcija je sestavljena iz armiranobetonske plošče konstantne debeline in jeklenega paličja z nateznimi diagonalami (sliki 1 in 2). Jekleno paličje je v celoti sestavljeno iz standardnih vroče valjanih *I* profilov. Čelni stiki so izvedeni s polovičnimi V zvari s polno penetracijo, T stiki pa so izvedeni s kotnimi zvari. Zgornji pas paličja je

povezan po celotni dolžini nosilca preko valjčnih moznikov z armiranobetonsko ploščo. Mozniki so privarjeni na zunanjo stran stojine *I* profila in zabetonirani v ploščo. Stik med armiranobetonsko ploščo in zgornjim pasom paličja izpolnjuje vse pogoje polne sovprežnosti. Valjčni mozniki so dimenzionirani na vzdolžni strig po plastični metodi. Dia-

gonale in vertikale so privarjene s kotnimi zvari na notranjo stran stojin *I* profilov zgornjega ter spodnjega pasu paličja po celotnem obsegu profilov.

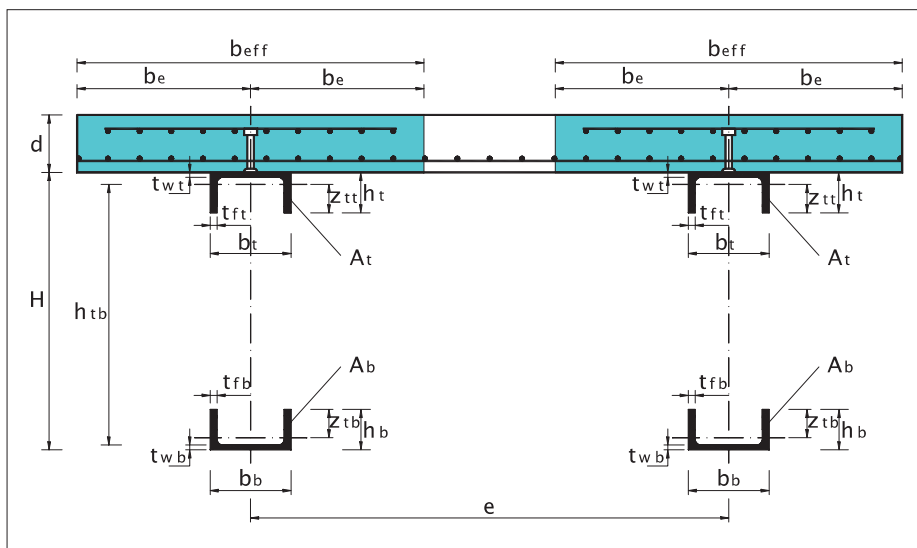
Obravnavana sovprežna palična konstrukcija je statično analizirana kot prostoležeči nosilec. Obtežbe na konstrukcijo so kombinirane v skladu z evrokodom 1 (Eurocode 1, 1994). Ker evrokod 4 (Eurocode 4, 1992) ne podaja posebnih zahtev za izračun notranjih statičnih veličin sovprežnih paličnih nosilcev, je postopek izračuna notranjih sil privzet iz britan-



Slika 1 • Sovprežna palična konstrukcija

skega standarda BS 5950 (British Standard BS 5950, 1990a, 1990b). Dimenzioniranje jeklenih elementov je izvedeno v skladu z evrokodom 3 (Eurocode 3, 1992) in evrokodom 4 (Eurocode 4, 1992). Sovprežni palični nosilci so dimenzionirani pri mejnem stanju nosilnosti na upogibni moment, vertikalni strig ter vzdolžni strig med

zgornjim pasom paličja in betonsko ploščo. Upogibna nosilnost sovprega paličnega nosilca je izračunana po plastični metodi. Pri tem je upoštevana polna plastifikacija jekla, koeficient α normalnih napetosti v prerezu betonske plošče pa predstavlja 85 % tlačne trdnosti betona. Upogibna nosilnost sovprega prereza je določena z natezno nosilnostjo



Slika 2 • Prečni prerez sovprega palične konstrukcije

jo spodnjega pasu paličja in tlačno nosilnostjo betonske plošče. Pri izračunu upogibne nosilnosti sovprega prereza je zanemaren prispevek zgornjega pasu paličja, ker bi v nasprotnem primeru morale biti upoštevane velike deformacije spodnjega pasu, ki so potrebne za razvoj polnega učinka zgornjega pasu, glej (Mullett, 1998). Tlačno osno silo tako prenaša armiranobetonska plošča. Zgornji pas paličja je dimenzioniran na lokalne upogibne momente. Pri tem prenaša stalno in spremenljivo obtežbo na razponu med vozlišči paličja v času uporabe objekta, prav tako pa zagotavlja stabilnost konstrukcije med vgrajevanjem betona. Priporočena minimalna širina zgornjega pasu paličja je 120 mm. Zgornji pas mora zagotoviti tudi učinkovito varjenje moznikov. Zato je upoštevana minimalna debelina pločevine zgornjega pasu paličja 8 mm.

Strižno obremenitev v celoti prenesejo polnilni elementi paličja, v katerih se razvijejo natezne oz. tlačne osne sile. Osne sile v elementih paličja so izračunane po vozliščni metodi. Diagonale in vertikale so dimenzionirane na natezne oz. uklonske nosilnosti po evrokodu 3 (Eurocode 3, 1992). Armiranobetonska plošča je dimenzionirana po evrokodu 2 (Eurocode 2, 1992) kot kontinuirna plošča konstantne višine, nosilna v eni smeri. Pri dimenzioniranju je upoštevano, da je jekleno paličje med montažo podprto, tako da celotno stalno in spremenljivo obtežbo prevzame sovpregni prerez. Kotni zvari so dimenzionirani po poenostavljenem pristopu s projektno strižno nosilnostjo zvara.

Pri mejnem stanju uporabnosti je izvedena kontrola maksimalnih vertikalnih upogibkov zaradi spremenljive in celotne obtežbe. Vertikalni upogibki so izračunani po elastični metodi, upoštevajoč vztrajnostni moment idealiziranega prečnega prereza sovprega nosilca ter vplive lezenja in krčenja betona zaradi dolgotrajnega delovanja stalne obtežbe.

3 • OPTIMIRANJE

3.1 Formulacija problema NLP

Optimiranje konstrukcije je izvedeno s pristopom nelinearnega programiranja, NLP. Optimizacijski problem nelinearnega programiranja z omejitvami lahko v osnovni obliki zapišemo:

$$\begin{aligned} \text{Min } z &= f(\mathbf{x}) \\ \text{pri pogojih: } \quad & \mathbf{h}(\mathbf{x}) = \mathbf{0} \\ & \mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0} \\ & \mathbf{x} \in X = \{\mathbf{x} \mid \mathbf{x} \in \mathbf{R}^n, \mathbf{x}^{LO} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}^{UP}\} \end{aligned} \quad (\text{NLP})$$

kjer je $\mathbf{x}$ vektor zveznih spremenljivk, ki je definiran na definicijskem območju X ; z je spremenljivka namenske funkcije; $f(\mathbf{x})$ je namenska funkcija, $\mathbf{h}(\mathbf{x})$ in $\mathbf{g}(\mathbf{x})$ sta množici pogojnih enačb in neenačb; $\mathbf{x}^{LO}$ in $\mathbf{x}^{UP}$ sta spodnja in zgornja meja vektorja zveznih spremenljivk in $\mathbf{R}^n$ je n -dimenzijski prostor realnih števil. Vse funkcije $f(\mathbf{x})$, $\mathbf{h}(\mathbf{x})$ in $\mathbf{g}(\mathbf{x})$ so nelinearne, zvezne in zvezno odvedljive.

Pri optimiranju sovprežnih paličnih konstrukcij zvezne spremenljivke $\mathbf{x}$ predstavljajo geometrijske in materialne karakteristike, napetosti, deformacije, ekonomske in tehnološke parametre. Funkcija $f(\mathbf{x})$ predstavlja stroškovno namensko funkcijo. Pogoje enačbe $\mathbf{h}(\mathbf{x})$ predstavljajo ravnotežne relacije (npr. enačbe za izračun notranjih statičnih veličin in deformacij), pogoje neenačbe $\mathbf{g}(\mathbf{x})$ pa predstavljajo meje spremenljivk in logične omejitve (npr. neenačbe za dimenzioniranje).

3.2 Modelna formulacija

V skladu z NLP formulacijo problema optimiranja konstrukcij je razvit optimizacijski model *COMTOPTC* (*COMposite Trusses OPTimization / Channel sections*). Model *COMTOPTC* izvaja zvezno optimiranje prostoležečih sovprežnih paličnih nosilcev s tegnjenimi diagonalami iz odprtih vroče valjanih I profilov. Optimizacijski model je zapisan v višjem algebraskem modelnem jeziku *GAMS*, glej (Brooke, 1988). Predlagani optimizacijski model *COMTOPTC* obsega vhodne podatke (konstante), spremenljivke, pogoje (ne)enačbe in namensko funkcijo, glej sliko 3. Sovprežni palični nosilci so obteženi z lastno težo in enakomerno zvezno ploskovno spremenljivo obtežbo. Ploskovna obtežba se v fazi optimiranja glede na medsebojno razdaljo med paličji avtomatsko preračuna na enakomerno zvezno linijsko obtežbo. Palični nosilec je v vozliščih obremenjen s koncentriranimi silami. Spremenljiva obtežba, razpon sovprežne konstrukcije in topologija paličja so definirani kot vhodni podatki optimizacijskega modela *COMTOPTC*. Optimiranje nosilca se zato izvaja pri držani topologiji paličja. Model *COMTOPTC* izvede avtomatsko generacijo matrike paličnih elementov glede na podani razpon nosilca in število notranjih delitev. Prav tako se avtomatsko izvede še izračun koordinat vozlišč ter dolžin in naklonskih kotov elementov. Neodvisne spremenljivke definirajo materialne karakteristike in dimenzije prečnega prereza sovprežnega paličnega nosilca ter dimenzije polnilnih elementov paličja. Za vsako neodvisno spremenljivko je podana začetna vrednost, t.i. izhodiščna točka optimizacije, ter njena spodnja in zgornja meja. Na podlagi neodvisnih spremenljivk se z ustreznimi enačbami izračunajo odvisne spremenljivke (npr. geometrijske karakteristike prečnih prerezov, lastna teža, računsko obtežba, notranje sile, odpornosti, upogibki, idr.). S pogojnimi neenačbami se zagotovi, da izračunana konstrukcija izpolnjuje vse predpisane pogoje dimenzioniranja.

OPTIMIZACIJSKI MODEL COMTOPTC za optimiranje sovprežnih paličnih nosilcev iz odprtih I profilov	
Stroškovna namenska funkcija: $\min Cost = f(\mathbf{x})$	
pri pogojih:	
Pogoje (ne)enačbe $\mathbf{h}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$, $\mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0}$:	
Pogoje (ne)enačbe mejnega stanja nosilnosti (MSN):	
– izračun notranjih sil, – odpornost sovprežnega prereza na upogibni moment, – odpornost zgornjega pasu paličja na lokalni upogibni moment, – natezna odpornost diagonal paličja, – tlačna/uklonska odpornost vertikal paličja, – odpornost valjčnih moznikov, – odpornost kotnih zvarov, – odpornost armiranobetonske plošče na vzdolžni strig, – odpornost armiranobetonske plošče na upogibni moment.	
Pogoje (ne)enačbe mejnega stanja uporabnosti (MSU):	
– izračun upogibkov, – preveritev upogibkov sovprežnega prereza, – preveritev upogibkov armiranobetonske plošče.	
Vhodni podatki (konstante):	
– razpon, število elementov paličja, spremenljiva obtežba, faktorji varnosti, elastični moduli, faktorji težavnosti, cene materialov in električne energije, stroškovna urna postavka delavca, idr.	
Spremenljivke: $(\mathbf{x} \in \mathbf{R}^n)$	
– Neodvisne: dimenzije prečnih prerezov, meja plastičnosti konstrukcijskega jekla, tlačna trdnost betona, višina stropnega sistema, razdalja med nosilci, idr. – Odvisne: geometrijske karakteristike prečnih prerezov, lastna teža, računsko obtežba, notranje sile, odpornosti, upogibki, idr.	

Slika 3 • Optimizacijski model *COMTOPTC*

3.3 Namenska funkcija

Namenska funkcija lastnih izdelavnih stroškov je razvita kot obsežni sistem stroškovnih postavk, zapisanih v obliki nelinearnih funkcij. Pri tem namensko funkcijo obsega stroške materiala, električne energije in dela, ki so potrebni za izdelavo obravnavane sovprežne palične konstrukcije. Namenska funkcija v optimizacijskem modelu *COMTOPTC* je sestavljena na osnovi izrazov, predstavljenih v prvem članku (Klanšek, 2007), v naslednji obliki:

kjer spremenljivka $Cost$ (€/m²) predstavlja lastne izdelavne stroške na enoto uporabne površine konstrukcije; $C_{M,s,c,r}$, $C_{P,w,i,j}$ in $C_{L,sw}$ so posamezne stroškovne postavke materiala, električne energije in dela, izračunane v €, glej drugo poglavje v prvem članku; simbol $\Sigma_{i,j}$ označuje vsoto stroškovnih prispevkov vseh elementov paličja; i in j označujeta vozlišča posameznega elementa paličja; e (m) je medsebojna razdalja dveh sosednjih paličnih nosilcev in L (m) je razpon sovprežne konstrukcije.

$$\min: Cost = \{ C_{M,s,c,r} + C_{M,sc} + \sum_{i,j} C_{M,ei,j} + \sum_{i,j} C_{M,ac,fp,ic,i,j} + C_{M,f} + \sum_{i,j} C_{P,c,hsi,j} + \sum_{i,j} C_{P,c,gmi,j} + \sum_{i,j} C_{P,w,i,j} + C_{P,sw} + C_{P,v} + \sum_{i,j} C_{L,c,hsi,j} + \sum_{i,j} C_{L,gi,j} + C_{L,p,a,i} + \sum_{i,j} C_{L,SMAW,i,j} + C_{L,sw} + \sum_{i,j} C_{L,spp,i,j} + C_{L,f} + C_{L,r} + C_{L,c} + C_{L,v} + C_{L,cc} \} / (e \cdot L) \quad (1)$$

4 • RAČUNSKI PRIMER

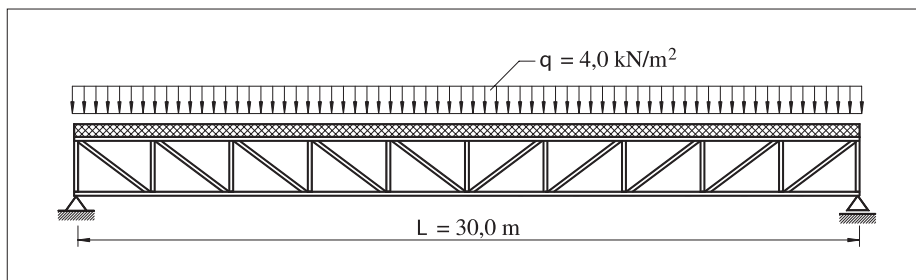
Računski primer prikazuje stroškovno optimiranje prostoležeče sovprežne palične konstrukcije z razponom 30 m, ki je obremenjena z lastno težo ter spremenljivo obtežbo 4,0 kN/m² (slika 4).

4.1 Vhodni podatki

Elementi jeklenega paličnega nosilca so izdelani iz standardnih evropskih vroče valjanih I profilov s paralelnimi pasnicami, tj. UPE profilov. Elementi so najprej izžagani s pomočjo električne žage za kovine, nato pa so robovi profilov za varjenje izbrušeni z električnim brusilnikom. Elementi paličja so medsebojno ročno zvarjeni s kombinacijo kotnih in polovičnih 60° V zvarov s polno penetracijo. Zvari so izdelani s tehnologijo ročnega obločnega varjenja. Jekleno paličje in armiranobetonska plošča sta povezani skupaj z valjčnimi mozniki s premerom stebila 19 mm in višino 80 mm. Varjenje moznikov na zgornji pas paličja je izvedeno s polavtomatskim obločnim varjenjem. Čiščenje jeklenih površin je izvedeno z ročnim peskanjem. Antikorozijski in protipožarni sistem zaščite jeklene konstrukcije je izveden z ročnim barvanjem s čopičem. Zaščita obsega en sloj antikorozijske barve, dva sloja protipožarne barve R 30 in en sloj končnega premaza.

Opaževanje betonske plošče je izvedeno z uporabo prefabriciranega montažnega opažnega sistema. Pri tem je predpostavljeno, da se opažne plošče lahko uporabijo 30-krat, preden jih je potrebno nadomestiti z novimi. Betonska plošča je armirana z rebrastimi armaturnimi mrežami nosilnimi v eni smeri iz jekla S 400. Vgrajevanje in konsolidacija betona se izvede z mobilno betonsko črpalko in električnimi vibracijskimi iglami. Nega strjene betonske plošče se izvede s polivanjem vode še 3 dni po vgrajevanju.

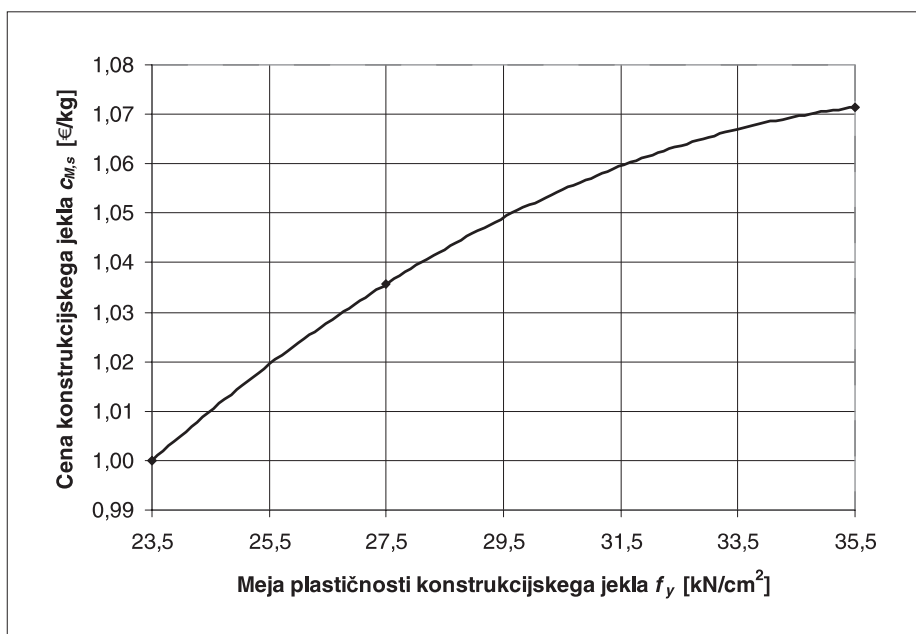
Stroškovni parametri materiala, energije in dela, ki so uporabljeni pri optimiranju obravnavane sovprežne palične konstrukcije, so prikazani v preglednici 1. Aproksimacijski funkciji za ceno konstrukcijskega jekla in betona sta prikazani tudi grafično na slikah 5 in 6. Proizvodni časi in aproksimacijske funkcije proizvodnih časov so prikazani v preglednicah 2 in 3. Vsi ostali vhodni podatki so podani v preglednici 4.



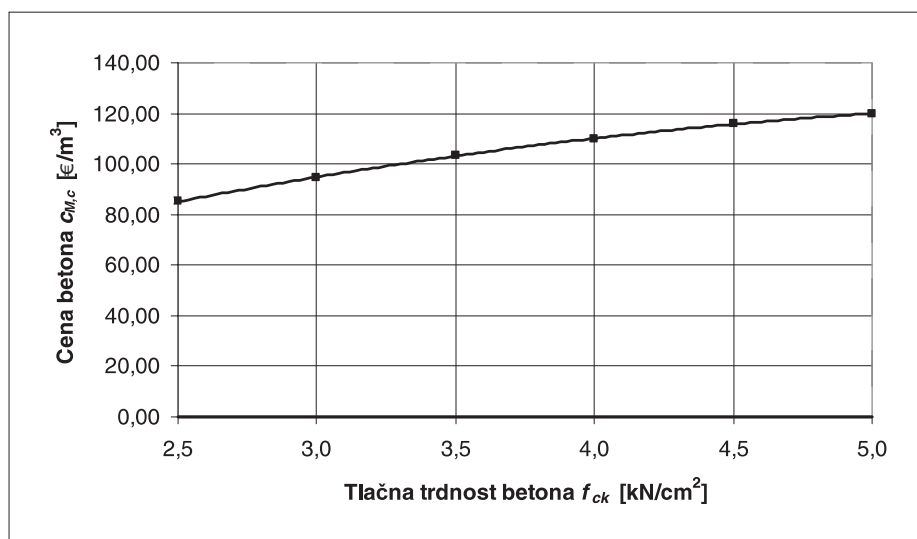
Slika 4 • Sovprežni palični nosilec

$C_{M,s}$	Cena konstrukcijskega jekla S 235 – S 355:	1,00–1,07	€/kg
	$C_{M,s} = C_s \cdot (j_2 \cdot f_y^2 + j_1 \cdot f_y + j_0)$ (€/kg); $C_s = 1,00$ €/kg; $j_2 = -3,7202 \times 10^{-4}$; $j_1 = 2,7902 \times 10^{-2}$; $j_0 = 5,4976 \times 10^{-1}$ in f_y (kN/cm ²).		
$C_{M,c}$	Cena betona C 25/30 – C 50/60:	85,00–120,00	€/m ³
	$C_{M,c} = C_c \cdot (k_2 \cdot f_{ck}^2 + k_1 \cdot f_{ck} + k_0)$ (€/m ³); $C_c = 85,00$ €/m ³ ; $k_2 = -3,2220 \times 10^{-2}$; $k_1 = 4,0571 \times 10^{-1}$; $k_0 = 1,8829 \times 10^{-1}$ in f_{ck} (kN/cm ²).		
$C_{M,r}$	Cena armaturnega jekla S 400:	0,70	€/kg
$C_{M,sc}$	Cena valjčnih moznikov:	0,50	€/moznik
$C_{M,e}$	Cena elektrod:	1,70	€/kg
$C_{M,ac}$	Cena antikorozijskega zaščitnega premaza:	0,85	€/m ²
$C_{M,fp}$	Cena protipožarnega zaščitnega premaza R 30:	9,00	€/m ²
$C_{M,lc}$	Cena končnega zaščitnega premaza:	0,65	€/m ²
$C_{M,p}$	Cena prefabriciranih opažnih plošč:	30,00	€/m ²
C_p	Cena električne energije:	0,10	€/kWh
C_L	Stroškovna urna postavka delavca:	10,00	€/h

Preglednica 1 • Stroškovni parametri materiala, energije in dela



Slika 5 • Cena konstrukcijskega jekla $c_{M,s}$ v odvisnosti od meje plastičnosti f_y

Slika 6 • Cena betona $c_{M,c}$ v odvisnosti od tlačne trdnosti f_{ck}

T_{chs}	Čas žaganja jeklenih profilov:	1,337	h/m
T_g	Čas brušenja robov jeklenih profilov za varjenje:	$33,333 \times 10^{-3}$	h/m
T_v	Čas konsolidacije betona z vibracijskimi iglami:	0,200	h/m²
T_{swp}	Čas varjenja moznika, postavitvev/odstranitvev keram. obročka in čiščenje:	$55,555 \times 10^{-4}$	h/moznik
T_{ss}	Čas peskanja jeklene površine:	0,050	h/m²
T_{ac}	Čas nanosa barve antikorozijske zaščite:	0,050	h/m²
T_{ip}	Čas nanosa barve protipožarne zaščite:	0,050	h/m²
T_{ic}	Čas nanosa barve končnega premaza:	0,050	h/m²
T_r	Čas montaže, niveliranja, demontaže in čiščenja opaznega sistema:	0,300	h/m²
T_{oc}	Čas negovanja betona:	0,200	h/m³

Preglednica 2 • Proizvodni časi

$T_{p,a,l}^*$	Čas priprave, sestavljanja in pritrdjevanja elementov za varjenje: $T_{p,a,l} = C_1 \cdot \Theta_d \cdot (\kappa \cdot \rho_s \cdot V_s)^{0,5} / 60$ (h); $C_1 = 1,0 \text{ min/kg}^{0,5}$; $\Theta_d = 3,00$; $\kappa = 23$ elementov; $\rho_s = 7850 \text{ kg/m}^3$ in V_s (m³).
T_{SMAW}	Čas ročnega obločnega varjenja: Kotni zvari: $T_{SMAWF} = f_2 \cdot a_w^2 + f_1 \cdot a_w + f_0$ (h/m); $f_2 = 1,2653 \times 10^{-2}$; $f_1 = 1,3773 \times 10^{-3}$; $f_0 = 1,6111 \times 10^{-2}$ in a_w (mm). $\frac{1}{2} 60^\circ V$ zvari: $T_{SMAW, \frac{1}{2} 60^\circ V} = \frac{1}{2} \cdot (g_6 \cdot a_w^6 + g_5 \cdot a_w^5 + g_4 \cdot a_w^4 + g_3 \cdot a_w^3 + g_2 \cdot a_w^2 + g_1 \cdot a_w + g_0)$ (h/m); $g_6 = -3,4276 \times 10^{-8}$; $g_5 = 3,4744 \times 10^{-6}$; $g_4 = -1,1151 \times 10^{-4}$; $g_3 = 8,3702 \times 10^{-4}$; $g_2 = 2,1609 \times 10^{-2}$; $g_1 = -1,4801 \times 10^{-1}$; $g_0 = 5,6572 \times 10^{-1}$ in a_w (mm).
T_{sw}	Čas polavtomatskega obločnega varjenja valjčnih moznikov: $T_{sw} = e_1 \cdot d_s^{e_0}$ (s); $e_1 = 1,2738 \times 10^{-2}$; $e_0 = 1,4369$ in d_s (mm).
T_r	Čas rezanja, postavitve in vezanja mrežne armature: $T_r = h_1 \cdot (\rho_s \cdot V_r / A_{cs})^{h_0}$ (h/kg); $h_1 = 5,2004 \times 10^{-2}$; $h_0 = -0,6814$; $\rho_s = 7850 \text{ kg/m}^3$; V_r (m³) in A_{cs} (m²);
T_c	Čas betoniranja plošče z betonsko črpalko: $T_c = i_2 \cdot d^2 + i_1 \cdot d + i_0$ (h/m³); $i_2 = 2,4000 \times 10^{-3}$; $i_1 = -5,4000 \times 10^{-2}$; $i_0 = 9,9500 \times 10^{-1}$ in d (cm).

* Aproximacijska funkcija proizvodnega časa je predlagana v prispevku (Jármay, 1999)

Preglednica 3 • Aproximacijske funkcije proizvodnih časov

4.2 Optimiranje konstrukcije

Namen optimiranja je pridobiti optimalne dimenzije prečnih prereзов, dimenzije armature, število moznikov ter optimalni trdnostni razred betona in jekla za obravnavano sovpredno palično konstrukcijo pri izračunanih minimalnih lastnih izdelavnih stroških, upoštevajoč podano spremenljivo obtežbo ter definirane pogoje dimenzioniranja.

Za optimiranje je uporabljen optimizacijski model *COMTOPTC*. V proces optimiranja konstrukcije so vključeni trdnostni razredi betona od C 25/30 do C 50/60 in standardna konstrukcijska jekla od S 235 do S 355. Pri tem sta ceni betona C 25/30 (c_c) in jekla S 235 (c_s) vključeni v optimiranje kot vhodna podatka, cene betonov in jekel višjih razredov pa se izračunajo s podanima aproksimacijskima funkcijama, glej preglednico 1 ter sliki 5 in 6.

Optimiranje konstrukcije je izvedeno v dveh zaporednih korakih. Prvi korak predstavlja optimiranje z NLP, kjer se optimalne zvezne spremenljivke (dimenzije, materiali) izračunajo znotraj podanih spodnjih in zgornjih mej. Na tem nivoju je konstrukcija polno izkoriščena za mejno stanje nosilnosti in/ali mejno stanje uporabnosti. Drugi korak obsega zaokrožitev vrednosti zveznih spremenljivk, pridobljenih v prvem koraku, na prvo višjo standardno vrednost in ponovitev izračuna. Optimiranje je izvedeno s posplošeno metodo reduciranih gradientov (GRG) s programom *CONOPT2* (Drud, 1994).

4.3 Rezultati

Pridobljena optimalna oblika prečnega preza, materiali in razvrstitev optimalnih jeklenih elementov konstrukcije so prikazani na slikah 7 in 8.

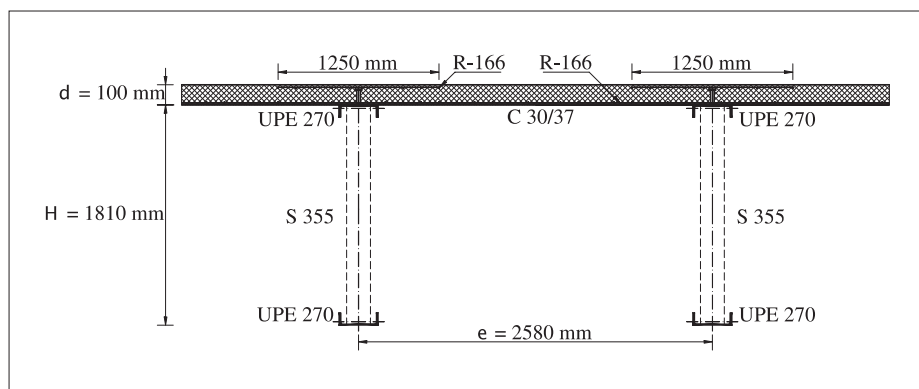
Optimalni rezultat 6101,29 € na en sovpredni palični nosilec (ali 78,83 € na m² uporabne površine konstrukcije) je pridobljen v drugem koraku NLP optimiranja. Optimalno obliko sovpredne palične konstrukcije določajo: optimalni trdnostni razred konstrukcijskega jekla S 355, optimalni trdnostni razred betona C 30/37, optimalna medsebojna razdalja med paličnimi nosilci 2580 mm, optimalna višina konstrukcije 1910 mm, optimalna debelina armiranobetonske plošče 100 mm, optimalni prečni presek mrežne armature R-166 in optimalne dimenzije prečnih prereзов jeklenih elementov paličja: zgornji pas (UPE 270); spodnji pas (UPE 270); diagonale D_1 (UPE 160), D_2 (UPE 140), D_3 (UPE 120), D_4 (UPE 100), D_5 (UPE 100); vertikale V_1 (UPE 160), V_2 (UPE 160), V_3 (UPE 140), V_4 (UPE 120), V_5 (UPE 100), V_6 (UPE 100). Optimalna debelina

ρ_s	Gostota jekla: 7850 kg/m ³
ρ_c	Gostota betona: 2500 kg/m ³
EMY	Izkoristek elektrode: 0,60
k_p	Faktor izgube barve – tehnika barvanja: 0,05 za barvanje s čopičem
k_{sur}	Faktor izgube barve – zahtevnost oblike površine konstrukcije: 1,00 za velike površine
k_{wc}	Faktor izgube barve – vremenski pogoji okolja: 1,00 za barvanje s čopičem
n_{uc}	Število ciklov uporabe opažnih plošč: 30
k_{am}	Faktor dopustnega odstopanja za ocenjeni čas strojne obdelave: 1,09
P_{hs}	Moč električne žage za kovino: 2,20 kW
η_{hs}	Izkoristek električne moči žage za kovino: 0,85
P_{gm}	Moč električnega brusilnika za kovino: 1,10 kW
η_{gm}	Izkoristek električne moči brusilnika za kovino: 0,85
I	Varilni tok: 230 A
I_{sw}	Varilni tok za valjčne moznike: 1409 A
U	Varilna napetost: 25 V
U_{sw}	Varilna napetost za valjčne moznike: 20 V
η_w	Izkoristek električne moči obločnega varilnega aparata: 0,90
DR	Povprečna hitrost vgrajevanja dodatne mase kovine v zvar: 3,7 kg/h
P_v	Moč električne vibracijske igle Ø 48 mm: 3,10 kW
η_v	Izkoristek električne moči vibracijske igle: 0,85
k_d	Faktor težavnosti – lokalni pogoji dela: 1,00 za normalne pogoje
k_{wp}	Faktor težavnosti – položaj varjenja: 1,00 za varjenje na ravni horizontalni površini, 1,10 za varjenje na vertikalni površini in za nadglavno varjenje
k_{wd}	Faktor težavnosti – smer varjenja: 1,00 za varjenje na ravni površini in za vertikalne zware
k_{wl}	Faktor težavnosti – oblika in dolžina zvarov: 1,00 za dolge zware
k_r	Faktor težavnosti – žlebljenje korena zvara: 1,00 za zware brez izžlebljenega korena
k_{dp}	Faktor težavnosti – položaj barvanja: 1,00 za horizontalni položaj barvanja
k_{rh}	Faktor težavnosti – višina opaževanja konstrukcije: 1,00 za višine opaževanja do 6 m
k_{ri}	Faktor težavnosti – naklon betonske plošče: 1,00 za horizontalno betonsko ploščo

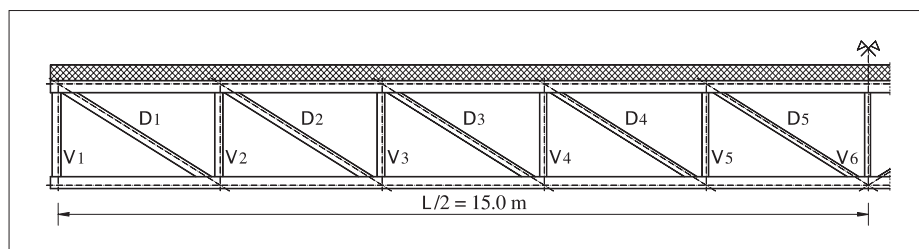
armiranobetonske plošče 100 mm je izračunana na spodnji meji spremenljivke debeline plošče d , ki je določena z višino moznika 80 mm in debelino zaščitnega sloja betona nad moznikom 20 mm (skupaj 100 mm).

V računskem primeru je predstavljena tudi razdelitev optimalnih lastnih izdelavnih stroškov za izračunano sovprežno palično konstrukcijo. Pri upoštevanih stroškovnih parametrih in vhodnih podatkih so stroški materiala predstavljali 83,73 %, stroški dela 16,13 % in stroški porabljene električne energije 0,14 % pridobljenih optimalnih lastnih izdelavnih stroškov, glej preglednico 5 in sliko 9.

Preglednica 4 • Vhodni podatki



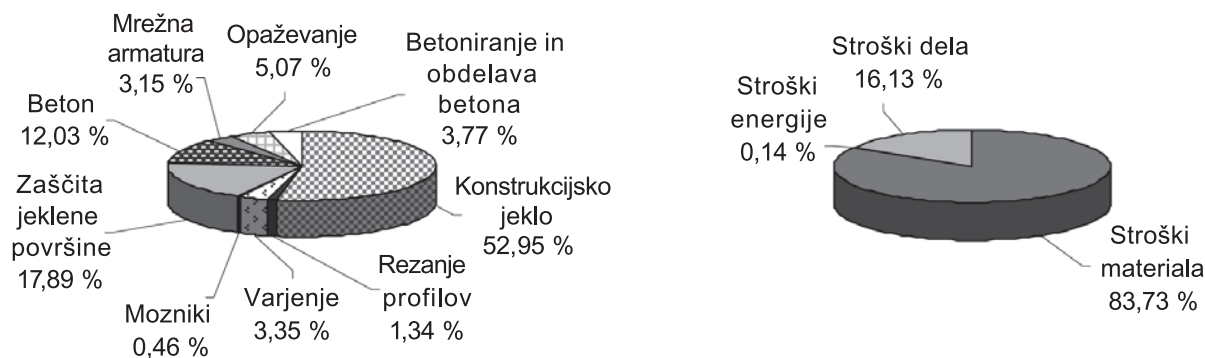
Slika 7 • Optimalna oblika prečnega prereza in materiali sovprežnega paličnega nosilca



Slika 8 • Razvrstitev elementov paličja

Stroški materiala:		
$C_{M,s}$	Konstruktivno jeklo S 355	3230,53 €
$C_{M,c}$	Beton C 50/60	733,84 €
$C_{M,r}$	Rebrasta mrežna armatura R-221 S 400	143,17 €
$C_{M,sc}$	Valjčni mozniki	25,00 €
$C_{M,e}$	Elektrode	9,61 €
$C_{M,ac,fp,lc}$	Antikorozijska barva, protipožarna barva in barva končnega premaza	889,20 €
$C_{M,f}$	Prefabricirane opažne plošče	77,40 €
Celotni stroški materiala:		5108,75 €
Stroški energije:		
$C_{P,chs}$	Proces žaganja profilov	2,04 €
$C_{P,gm}$	Proces brušenja robov profilov	0,01 €
$C_{P,w}$	Proces obločnega varjenja profilov	0,59 €
$C_{P,sw}$	Proces obločnega varjenja valjčnih moznikov	0,04 €
$C_{P,v}$	Proces vibriranja betona	5,65 €
Celotni stroški energije:		8,33 €
Stroški dela:		
$C_{L,chs}$	Žaganje jeklenih profilov	78,70 €
$C_{L,g}$	Brušenje robov profilov	1,03 €
$C_{L,p,af}$	Priprava, sestavljanje in pritrdjevanje elementov za varjenje	131,67 €
$C_{L,SMAW}$	Ročno obločno varjenje	62,23 €
$C_{L,sw}$	Polavtomatsko obločno varjenje valjčnih moznikov	2,78 €
$C_{L,spp}$	Peskanje in nanos antikorozijskega, protipožarnega ter končnega premaza	202,44 €
$C_{L,f}$	Montaža, niveliranje, demontaža in čiščenje opažnega sistema	232,20 €
$C_{L,r}$	Rezanje, postavitve in vezanje mrežne armature	49,09 €
$C_{L,c}$	Betoniranje plošče	53,79 €
$C_{L,v}$	Konsolidacija betona	154,80 €
$C_{L,cc}$	Nega betona	15,48 €
Celotni stroški dela:		984,21 €
Celotni lastni izdelavni stroški:		6101,29 €
Celotni lastni izdelavni stroški na m ² uporabne površine sovpredne konstrukcije:		78,83 €/m ²

Preglednica 5 • Rekapitulacija optimalnih lastnih izdelavnih stroškov



Slika 9 • Razdelitev optimalnih lastnih izdelavnih stroškov

5 • SKLEP

V prispevku je predstavljeno stroškovno optimiranje sovprežnih paličnih konstrukcij. Sovprežna konstrukcija je sestavljena iz armiranobetonske plošče in varjenega jeklenega paličja iz vroče valjanih I profilov. Optimiranje je izvedeno s pristopom nelinearnega programiranja, NLP. Na temelju in prvem članku definiranih lastnih izdelavnih stroškov (Klanšek, 2007) je s podrobno stroškovno namensko funkcijo materiala, električne energije in dela definiran kriterij optimiranja sovprežne konstrukcije. Stroškovna namenska funkcija je podana v odprti obliki, kar omogoča njeno uporabo v različnih ekonomskih in tehnoloških pogojih. Namenska

funkcija je podvržena rigoroznemu sistemu pogojnih (ne)enačb računske analize konstrukcije. Pogojne (ne)enačbe dimenzioniranja so definirane skladno z evrokodom 4 za mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti. Za predstavitev uporabnosti predlaganega pristopa je obravnavan računski primer stroškovnega optimiranja sovprežne palične konstrukcije. Optimiranje je izvedeno v dveh zaporednih korakih. V prvem koraku je izvedeno zvezno optimiranje z NLP, pri čemer so optimalne spremenljivke (dimenzije, materiali) izračunane znotraj podanih spodnjih in zgornjih mej. Na tem nivoju je bila konstrukcija

polno izkoriščena glede na mejno stanje nosilnosti in/ali mejno stanje uporabnosti. Drugi korak je obsegal zaokrožitev vrednosti dimenzijskih in materialnih zveznih spremenljivk, pridobljenih v prvem koraku optimiranja, na prvo višjo standardno/diskretno vrednost ter ponovitev izračuna.

Pridobljeni optimalni rezultat za sovprežno palično konstrukcijo je obsegal optimalne karakteristike konstrukcije (npr. optimalni trdnostni razred konstrukcijskega jekla in betona, optimalno medsebojno razdaljo med nosilci, optimalno višino sovprežne konstrukcije, optimalno debelino armiranobetonske plošče in optimalno mrežno armaturo) in optimalne lastne izdelavne stroške, vključno z njihovo razporeditvijo po definiranih stroškovnih postavkah.

6 • LITERATURA

- Adeli, H., Kim, H., Cost optimization of welded composite floors using neural dynamics model, *Communications in Numerical Methods in Engineering*, 17(11), str. 771–787, 2001.
- Bhatti, M.A., Al-Gahtani, A.S., Optimum design of welded plate girders subjected to highway bridge loading, V: Hernández, S., El-Sayed, M., Brebbia, C.A. (ur.), *Computer Aided Optimum Design of Structures IV*, Fourth international conference on Computer Aided Optimum Design of Structures, OPTI 1995, Southampton, Boston: Computational Mechanics Publications, str. 225–232, 1995.
- Bhatti, M.A., Optimum cost design of partially composite steel beams using LRFD, *Engineering Journal*, 33(1), str. 18–29, 1996.
- British Standard BS 5950, Structural use of steelwork in building – Part 1: Code of practice for design in simple and continuous construction: hot rolled sections, London: British Standards Institution, 1990a.
- British Standard BS 5950, Structural use of steelwork in building – Part 3: Design in composite construction, Section 3.1: Code of practice for design in simple and continuous composite beams, London: British Standards Institution, 1990b.
- Brooke, A., Kendrick, D., Meeraus, A., GAMS - a user's guide. Redwood City: Scientific press, 1988.
- Cohn, M.Z., Werner, J.J., Optimization of composite highway bridge systems, *Proceedings of the 1996 12th Conference on Analysis and Computation*, New York: ASCE, str. 135–146, 1996.
- Drud, A.S., CONOPT - A Large-Scale GRG Code. *ORSA Journal on Computing* 6(2), str. 207–216, 1994.
- El-Sheikh, A.I., Optimum design of composite space trusses, *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 40(130), str. 79–92, 1999.
- Eurocode 1: Basis of design and actions on structures – Part 1: Basis of design, Bruxelles: European Committee for Standardization, 1994.
- Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, Bruxelles: European Committee for Standardization, 1992.
- Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, Bruxelles: European Committee for Standardization, 1992.
- Eurocode 4: Design of composite steel concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, Bruxelles: European Committee for Standardization, 1992.
- Foley, C.M., Lucas, W.K., Optimal selection and design of composite steel floor systems considering vibration, *Proceedings of the 2004 Structures Congress—Building on the Past: Securing the Future*, Reston: ASCE, str. 1445–1449, 2004.
- Klanšek, U., Šilih, S., Kravanja, S., Cost optimization of composite floor trusses, *Steel and Composite Structures*, 6(5), str. 435–457, 2006.
- Klanšek, U., Kravanja, S., Stroškovno optimiranje sovprežnih konstrukcij iz betona in jekla – 1. del: Analiza lastnih izdelavnih stroškov, *Gradbeni vestnik*, 56(12), str. 319–332, 2007.
- Kravanja, S., Šilih, S., The competitive spans of composite beams, In: Studenička, J., Wald, F., Macháček, J. (ur.), *Proceedings of the Conference Eurosteel '99*, Prague: Czech Technical University, str. 623–626, 1999.

- Kravanja, S., Šilih, S., The MINLP optimization of composite I-beams, In: De Wilde, W.P., Blain, W.R., Brebbia, C.A. (ur.), Computer Aided Optimum Design of Structures VII, Seventh International conference on Computer Aided Optimum Design of Structures, OPTI 2001, Southampton, Boston: WIT press, str. 401–407, 2001.
- Kravanja, S., Šilih, S., Optimization based comparison between composite I beams and composite trusses, Journal of Constructional Steel Research, 59(5), str. 609–625, 2003.
- Long, W., Troitsky, M.S., Zielinski, Z.A., Optimum design of cable stayed bridges, Structural Engineering and Mechanics, 7(3), str. 241–257, 1999.
- Maxwell, J.C., On reciprocal figures, frames and diagrams of forces, V: Niven, W.D. (ur.), Transactions of the Royal Society of Edinburgh, The Scientific Papers of James Clerk Maxwell, Edinburgh: Dover Publications, Inc., 26, str. 1–40, 1869.
- Michell, A.G.M., The limits of economy in frame structures, Philosophical Magazine, 8, str. 589–597, 1904.
- Mullett, D.L., Composite Floor Systems. Bodmin, Cornwall: Blackwell Science Ltd., 1998.
- Schmit, L.A., Structural design by systematic synthesis, Proceedings of 2nd Conference on Electronic Computations, New York: ASCE, str. 105–122, 1960.
- Surtees, J.O., Tordoff, D., Optimum design of composite box girder bridge structures, Proceedings of the Institution of Civil Engineers (London), Part 1 – Design & Construction, London, str. 181–194, 1977.
- Šilih, S., Kravanja, S., Competitiveness of composite beams, In: De Wilde, W.P., Blain, W.R., Brebbia C.A. (ur.), Advances in Composite Materials and Structures VII, Seventh International Conference on Advances in Composite Materials and Structures, CADCOMP VII, Southampton, Boston: WIT press, str. 43–51, 2000.
- Šilih, S., Kravanja, S., Comparison of composite floor systems, V: Brebbia C.A.; De Wilde W.P (ur.) High Performance Structures and Composites, First International Conference on High Performance Structures and Composites, Southampton, Boston: WIT press, str. 595–603, 2002.
- Wolfram, S., Mathematica: A System for Doing Mathematics by Computer (2nd edn), Redwood City, CA: Addison–Wesley, 1991.

ZBIRANJE IN ODSTRANITEV ODPADNIH VOD V GORAH

THE COLLECTING AND THE CLEANING OF WASTEWATER IN THE MOUNTAINS

Franc Maleiner univ. dipl. kom. inž.

Sojerjeva 43, 1000 Ljubljana

E-mail: franc.maleiner@t-2.net

Strokovni članek

UDK 628.3 : 504.05

Povzetek | Zbiranje ter odstranitev odpadnih vod v naših visokogorskih območjih predstavlja velik tehnični in finančni problem, ki se ga lotevamo prepočasi. Posledice številnih divjih izpustov v to ekološko izredno občutljivo okolje so hudo škodljive ter velikokrat nepopravljive. V članku so opisani nekateri načini zbiranja in odstranitve odpadnih vod v gorah ter izkušnje na tem področju na Bavarskem.

Summary | The collecting and the cleaning of wastewater in our high mountain regions is a big technical and financial problem which has been resolved too slowly. Many uncontrolled discharges into ecologically high sensitive mountain environment had extremely harmful and irremediable consequences. The paper describes some methods of the collecting and the cleaning of wastewater in the mountains, and the experiences in this field in Bavaria.

1 • UVOD

Pretežna površina Slovenije je hribovita in gorata. Naše prečudovito naravno okolje privablja zlasti med vikendi ter prazniki vse večje število obiskovalcev, ki zahtevajo poleg turističnih ter gostinskih uslug predvsem urejene in zmožljive sanitarije.

Ob lepem sončnem vremenu se tako v posameznih planinskih in turističnih objektih (na primer na Kredarici, Komni, sedmerih Triglavskih jezerih, Kaninu itd.), v ekološko izredno občutljivem visokogorskem območju dnevno pojavi tudi po nekaj sto obiskovalcev, ki bolj ali manj hote ali nehoče škodljivo vplivajo na okolje. Škodljive posledice tega enostranskega izkoriščanja naravnega okolja postajajo sicer vse bolj očitne, pri preprečevanju in odpravljanju teh posledic ter s tem pri zaščiti in ohranitvi naših naravnih biserov pa smo v večini primerov popolnoma brezbržni. Zgolj intenzivno »obiranje« turistov s parkirnimi ter vstopninami pod pretevo zaščite okolja morajo končno dopolniti tudi konkretna okoljevarstvena dejanja in storitve.



Slika 1 • Koča pri Triglavskih jezerih (1683 m)

Zaradi nezadržnega naraščanja števila obiskovalcev bo torej vedno težje še nadalje ohraniti lepote ter posebnosti naših gora. Gorska, posebej še ekološko zelo občutljiva visokogorska naravna okolja (na primer Dolina sedmerih Triglavskih jezer, slika 1) z njihovimi nekdanjimi nedotaknjenimi izviri, potoki, jezerci, alpsko floro in favno zahtevajo danes nujno zaščito pred naraščajočim »pregnojenjem« z odpadnimi hranilnimi snovmi v odtokih gostinskih objektov, sanitarij ter pred »proizvodi« redkih (nezadostno delujočih) čistilnih naprav, ki povzročajo hitro naraščajočo, nepopravljivo ekološko spreminjanje teh hudo preobremenjenih naravnovarstvenih okolij.

Skupni problem gostinskih objektov ter sanitarij so torej pogosto med vikendi in prazniki povzročene kratkoročne ekstremne obtežbene ter količinske konice, ki se nasprotno med delavniki ali v zunajsezonskem obdobju sprevržejo v hudo »biološko podhranjenost« čistilnih naprav. Poleg tega pogosto in hitro nihanje temperatur ozračja neugodno vpliva oziroma omejuje biološko razgradnjo organskih sestavin v odpadnih vodah. Izbrani mehansko/biološki načini tehnologij izločanja sestavin ter čiščenja odpadnih vod morajo torej navkljub izjemnim klimatskim pogojem omogočati zakonsko predpisano optimalno stopnjo zaščite okolja na podlagi stroškovno še sprejemljivih storitev in dejavnosti.

Vzporedno z naraščanjem nadmorske višine ter topografske razgibanosti terena se hitro množijo tudi zahteve in težave pri zbiranju ter odstranjevanju odpadnih vod. Težavnim gradbenim posegom zaradi pomanjkanja prostora ter zaradi skrajno neugodnih klimatskih, terenskih in topografskih okoliščin se pridružujejo tudi zahteve po zaščiti objektov pred možnimi poškodbami (na primer: zmrzal, erozija, ultravijolično sevanje, viharji, snežni in zemeljski plazovi, hudourniki, tektonski premiki itd.).

Zaradi neugodne topografije terena, oddaljenosti, predvsem pa zaradi velikih višinskih razlik pohodniški in turistični objekti (lovske, gozdarske, planinske kočice itd.) na splošno niso priključeni na javno električno in vodovodno omrežje.

Skromne možnosti lokalne proizvodnje električne energije (dieselektrični agregati, fotovoltaične naprave, vetrne elektrarne, MHE) ter količinsko omejene ponudbe pitne vode (studenci, kapnice, udarni ovni itd.) običajno lahko pokrivajo le minimalne potrebe takih objektov.

Pri načrtovanju sanitarij in čistilnih naprav se morajo zato izbirati tehnologije, ki so pri porabi vode ter energije še posebno varčne ter dobro prenašajo ekstremne biološke obtežbene sunke in klimatske pogoje. V relativno velikih količinah izločene dotočne sestavine ter »pridelano« biološko blato je treba ustrezno obdelati za nadaljnjo uporabo ozi-

roma drag transport. V naravno okolje odvajani odtoki čistilnih naprav ne smejo vsebovati preobilice preostalih hranilnih snovi (nitratov ter fosfatov), saj ti povzročajo neželeno, prekomerno in nepopravljivo ekološko spreminjanje specifične visokogorske flore in favne.

Zaradi že samo po sebi hude občutljivosti visokogorskega okolja se odsvetuje tudi uporaba močnih čistilnih ter razkužilnih sredstev, agresivnih belilnih sredstev itd.

Zaradi pomanjkanja za čiščenje potrebne energije ponavadi običajne čistilne naprave ne zmorejo prenašati nadpovprečnih sunkovitih bioloških obtežb, saj je vnos kisika v biološko maso nezadosten, kar se med maksimalnimi obtežbami pogosto nazorno kaže v nagnitem blatu in hudih škodljivih emisijah (metan, H₂S, smrad).

Vsaka čistilna naprava je velik proizvajalec blata (Maleiner, 2006), (Maleiner, 2002), torej je treba mehansko izločene snovi (papir, vložki itd.) in količinsko prevladujoče (vsaj mehansko dehidrirano) stabilizirano biološko blato praviloma redno odvažati v dolino.

Slaba dostopnost in dovoznost turističnih objektov večinoma otežuje ali celo onemogoča odvoz fekalij v dolino s pomočjo vozil s pogonom na vsa kolesa ali na gosenice. Tudi nosilne zmogljivosti žičnic so večinoma omejene, zato se v Alpah tudi pri odkrbi planinskih koč ter domov pogosto uporabljajo preskrbovalni helikopterji (Henn, 2005).

2 • VARČNA PORABA VODE

Omejena ponudba pitne vode po eni strani ter visoki stroški transporta odpadnih vod v dolino po drugi strani zahtevajo varčno porabo vode, kar se lahko doseže na različne načine. Pri navajanju ustreznih načinov varčne porabe vode se v tem članku omejujemo le na:

- * urinale, ki ne potrebujejo splakovanja z vodo,
- * vakuumski način odvajanja odpadnih vod ter
- * kompostna stranišča.

2.1 Urinali brez vodnega splakovanja

Medtem ko rabijo normalni urinali običajno za posamezno splakovanje tudi do 3 litre vode, se pri urinalih brez vodnega splakovanja (slike 2 do 4) (po praviloma 6.000-kratni uporabi) zamenjuje le posebni sifonski vložek, ki



Slika 2 • Pogled in presek urinara brez vodnega splakovanja



prepušča urin in (namesto vodne) s posebno tekočinsko (oljno) zaporo preprečuje povratne emisije smradu. S tem se lahko na posameznem javnem urinalu privarčuje letno povprečno tudi do okoli 60 do 80 m³ vode. Nadaljnje prednosti teh urinalov so:

- nepotrební priključek urinala na vodovodno omrežje,
- splakovalna naprava je nepotrebna,
- zelo enostavna in hitra montaža urinala,
- zaradi pomanjkanja v vodi raztopljenih karbonatov se na stenah urinala ter odvodnih cevi ne tvorita in ne nabirata urinalni ter vodni kamen,
- znatno manjši obseg čiščenja urinalov,
- znatno manjše število bakterij,
- manj emisij smradu in CO₂ ter
- enostavna, hitra zamenjava sifonskega vložka.



Slika 3 • Urinalski vložek

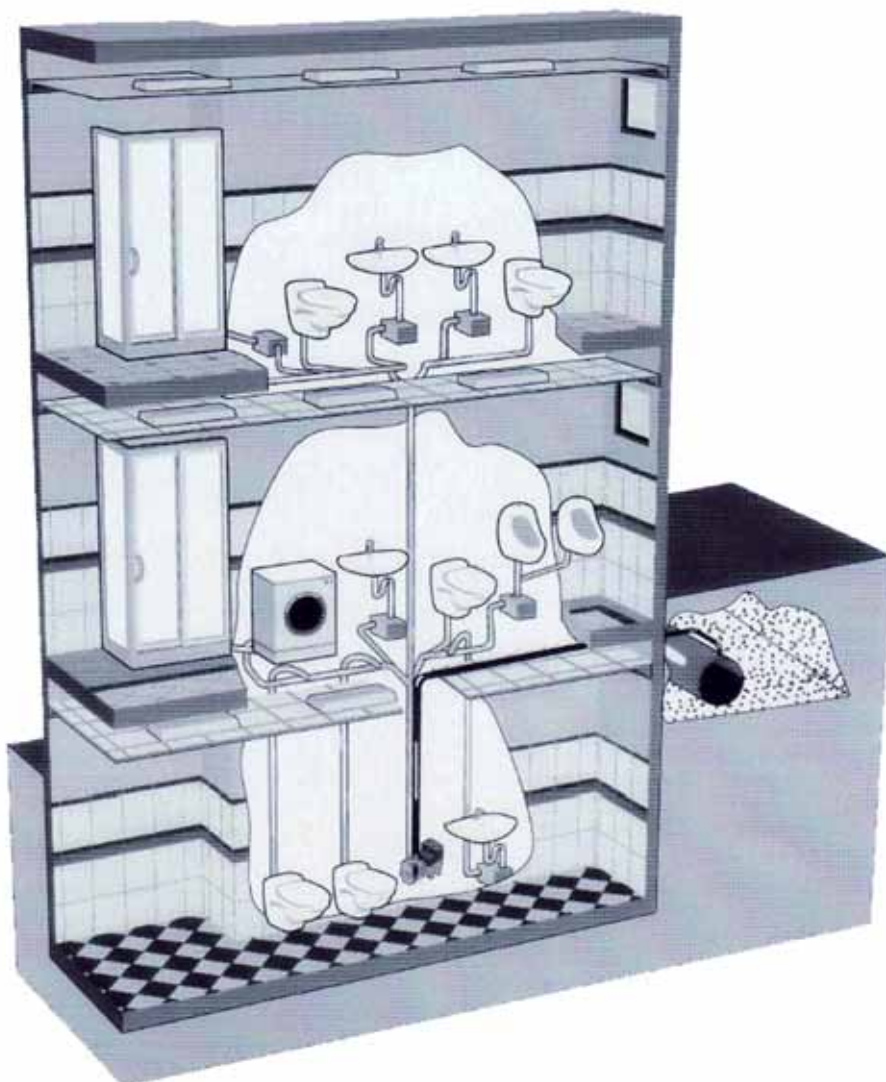
2.2 Vakuumski način odvajanja odpadnih vod

Normalna stranišča z dvostopenjskim spiranjem porabijo do tri litre vode za posamezno splaknitev male potrebe ter do osem litrov vode za veliko potrebo, medtem ko se pri vakuumskem načinu odvajanja odpadnih vod potrebuje za posamezno splakovanje (in transport) le po en liter vode (slika 5).

Podobno kakor na primer pri vakuumskem zbiranju ter odstranitvi odpadnih vod pri večjih potniških ladjah lahko tudi v planinskih domovih ter kočah posebne vakuumske črpalke (t. i. vacuuarator) ustvarijo potreben podtlak za obratovanje ventilov in vakuumskega odvodnega omrežja ter nato zbrane odplake črpajo po tlačnem vodu ali odvajajo težnostno po klasičnem kanalu v ustrezni zbiralnik ali na čistilno napravo. S pritiskom na gumb za splakovanje se (v straniščni školjki vdelani)



Slika 4 • Prerez skozi urinalski vložek



Slika 5 • Shematski prikaz vakuumske naprave v zgradbi

vakuumski ventil odpre, vsrka v vakuumsko omrežje fekalije kakor tudi določeni količini vode in zraka ter se nato samodejno zapre. Poleg tega posebne, z ventili opremljene in na vakuumskem omrežju nameščene posode (t. i. gray water tank) omogočajo tudi odvajanje gravitacijskih dotokov iz normalnih urinalov, prh, umivalnikov, pralnih ter pomivalnih strojev.

Vakuumsko omrežje se polaga hidravlično varčno (z minimalnimi hidravličnimi izgubami) v žagastem profilu ter s posameznimi cevni priključki (iz zgornje strani) v smeri odtoka. Nadomestno, podstropno ali nadtalno polaganje in pritrjevanje vakuumskega cevne omrežja omogoča ceneno opremljanje zgradb tudi pri naknadnih sanacijah oziroma dograditvah.

Vakuumski način zbiranja ter odvoda odpadnih vod zahteva in omogoča majhno porabo energije (na istosmerni ali izmenični tok) ter majhno porabo vode.

2.3 Kompostna stranišča

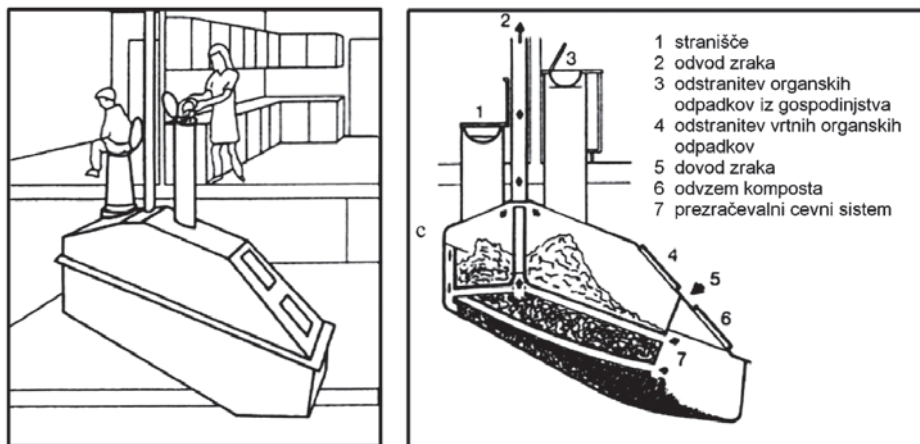
Pogosto se pri manjšem številu obiskovalcev (na primer v vikend hišicah, lovskih ali gozdarskih kočah) uporablja tako imenovana kom-

postna stranišča brez vodnega splakovanja (Maleiner, 2000). Kompostna stranišča spadajo med enostavne, najcenejše in malo zahtevne rešitve odstranitve bioloških odpadnih snovi (slika 6).

Fekalije, kuhinjski odpadki (ostanki jedi, zelenjave in sadja, papir) kakor tudi vrtni in gozdni odpadki (trava, drevesno listje, lubje, žagovina) se vnašajo v skupni, dobro prezračeni in odzračeni, posebno oblikovani prostor za zbiranje

ter kompostiranje, kjer se vsi ti biološki odpadki sčasoma aerobno predelajo v kompost. Ta kompost se običajno lahko uporabi za gnojenje ter nasipavanje v bližnji okolici.

Ločeno odvajani, tako imenovani »sivi odtoki« (umivalnikov in prh), pa lahko zaradi relativno majhnih količin ter zanemarljive biološko / kemične onesnaženosti odtokov direktno ponikajo preko z rastlinami poraščenih ponikalnih jarkov.



Slika 6 • Prikaz kompostnega stranišča

3 • PRAKTIČNE IZKUŠNJE ODSTRANITVE ODPADNIH VOD V BAVARSKIH ALPAH

Bavarski deželni urad za gospodarjenje z vodami (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft) je v sodelovanju s projektantskimi biroji ter planinskimi društvi zbral in obdelal razpoložljivo strokovno znanje in praktične izkušnje na področju zbiranja ter odstranjevanja odpadnih vod iz okoli 3500 objektov v bavarskih Alpah (BLW, 2000).

V napotkih bavarskega deželnega urada se ugotavlja, da je zaradi:

- * precej bolj ostrih klimatskih razmer,
- * terensko pogojenih okoliščin ter
- * zaradi ekstremnega nihanja količin odpadnih vod

v teh ekološko specifičnih alpskih regijah reševanje ustreznih strokovnih problemov v zvezi z odpadnimi vodami znatno težje kakor v nižinah. Življenjski prostori in vodotoki v Alpah so namreč ekološko znatno občutljivejši in znatno manj odporni proti posledicam biološkega (ostanki hrane, fekalije) in kemičnega (nitrati, fosfati) onesnaženja. Dodat-

ni problem predstavljajo tudi kraška področja, kjer znaša hitrost podzemnega odtoka v ponekod tudi do nekaj kilometrov na dan. Zaradi pomanjkljivega pronicanja in filtriranja skozi ustrezne zemljine ter nezadostne biološko/kemične oksidacije sestavin pretokov ostanejo take vode v podzemlju večinoma onesnažene in bakteriološko ter higiensko oporečne.

Ustrezna projektna dokumentacija mora biti dosledno izdelana za vsak konkretni primer posebej, in sicer na podlagi izčrpnih dejanskih podatkov. Odsvetujejo se le pavšalne strokovne rešitve. Pri odločanju o načinu odstranitve odpadnih vod mora imeti odvajanje odpadnih vod in njihovih sestavin po odvodnemu zbiralniku direktno v dolino znatno višjo prioriteto kakor način čiščenja in obdelave odpadnih vod na kraju njihovega nastanka.

Naveden je naslednji postopek reševanja temeljnih zahtev smernic pri načrtovanju odstranitve odpadnih vod v gorah:

- določanje okvirnih vodnogospodarskih pogojev (sposobnosti vodotokov, dopustne mejne vrednosti osnovnih odtočnih parametrov),
- določanje osnovnih podatkov in zahtev (preskrba z vodo, obratovalna obdobja, frekvenca obiskovalcev),
- ugotavljanje dostopnosti objekta (terenska lega, višinska lega, dostopnost, promet),
- prikaz virov dejanske ter bodoče preskrbe z energijo,
- odločitev za odvod v dolino oziroma primerjava rešitev ter strokovno utemeljena odločitev za čiščenje odpadnih vod na kraju samem,
- izbira (za določeni, konkretni primer) in strokovna utemeljitev optimalno primerne načina čiščenja odpadnih vod,
- predviden način odstranitve izločenih snovi (na grabljah ali sitih izločene kosovne snovi, vsebine maščobnika, biološkega blata, odtoka itd.).

3.1 Odvajanje odpadnih vod v dolino

Glede na zbrane strokovne izkušnje bavarskega deželnega urada za gospodarjenje z vodami sledijo naslednje ugotovitve:

Odvajanje odpadnih vod (iz močno obiskanih alpskih območij) s pomočjo modernih gradbenih tehnologij v dolino je ekološko, tehnološko in ekonomsko gledano prioritarna rešitev. V nižinah se namreč odpadne vode lahko pod znatno boljšimi klimatskimi pogoji ustrezno in bolje očistijo v dobro dostopnih, znatno zmogljivejših komunalnih čistilnih napravah. Izločene snovi ter očiščena voda se lahko vrnejo v naravni krogotok brez škodljivih posledic in vplivov na visokogorsko ekologijo. Nadzor in vzdrževanje naprav sta znatno enostavnejša in boljša. Obratovalni stroški so bistveno nižji.

Odvodni transportni kanali v visokogorju so relativno zelo dolgi, brez ali le z minimalnim številom kontrolnih jaškov. Polagati in vgrajevati jih je treba na slabo dostopnih, za gradbeno izvajanje težavnih do izredno zahtevnih skalnatih in meliščnih področjih. Praviloma na zelo dolgih odsekih ni stranskih priključkov. Pri dimenzioniranju ter vgradnji cevi kakor tudi pri konstrukciji potrebnih gradbenih objektov je treba upoštevati hude mehansko/hidravlične obtežbe materialov (plazovi, zmrzal, mehanska obraba, vodni udar itd.).

Pri načrtovanju ter izvedbi takih naprav je treba pogosto odstopati od klasičnih strokovnih določil in pravil gradnje kanalizacij, saj bi v nasprotnem primeru take rešitve zaradi previsokih gradbenih stroškov postale že vnaprej ekonomsko neopravičljive. Pri gradnji ter izvedbi se zatorej običajno odstopa od osnovnih zahtev in omejitev, tako glede premerov cevi, geometrijske izvedbe izkopnih jarkov, glede njihovih maksimalnih podolžnih padcev kakor tudi od zahtev in omejitev glede ustreznega prekritja cevi, polaganja cevi v lokih in določanju maksimalnih razdalj med kontrolnimi jaški.

Običajno se v novjšem času za odvodnike uporabljajo PEHD – cevi z elektrovarjenimi spojkami, saj najboljše izpolnjujejo in se najboljše prilagajajo ekstremnim zahtevam gradnje ter obratovanja v visokogorskih območjih (gladke stene cevi, na poteg varne spojke, visoka mehanska in kemična odpornost materialov, velika upogljivost in majhna teža cevi itd.). Cevi je treba varovati pred mehanskimi poškodbami ter ultravijoličnim sevanjem.

Pri izkopu ter vgradnji cevi se uporabljajo različne vrste gradbene mehanizacije: bagri (goseničarji, pajki), na vitlih pritrjeni minibagri, freze itd. (slika 7 in 8). Pogosto je za prenos različnih gradbenih materialov potrebna tudi uporaba helikopterjev.



Slika 7 • Izkop in polaganje cevi direktnega odvajanja odpadnih vod s frezo



Slika 8 • Uporaba bagra-pajka na strmih odsekih

Izkušnje na podlagi številnih izvedenih projektov na Bavarskem kažejo, da odvod odpadnih vod v dolino ni le ekološko, tehnično, higiensko in vodnogospodarsko najboljša rešitev, temveč je to tudi stroškovno najugodnejša rešitev. Pri tem naj se praviloma izhaja iz naslednjih treh osnovnih potreb načrtovanja (s katerimi pa se osebno ne strinjam oziroma jih dopuščam le pod določenimi pogoji):

- zbiranje ter zadrževanje odpadnih vod,
- drobljenje in razkosanje kosovnih snovi (minimiranje možnosti mašitev),
- sunkovito (šaržno) odvajanje odpadnih vod (preprečitev mašitev odvodne cevi zaradi usedanja snovi ali zamrzitve odtoka v zimskih obdobjih).

Na podlagi 27 stroškovno ovrednotenih objektov na Bavarskem so bili ugotovljeni naslednji specifični gradbeni stroški za odvajanje odpadnih vod v dolino:

stroški posameznih naprav	€/tekoči meter	€/populacijsko enoto
minimalni specifični stroški	46	363
maksimalni specifični stroški	348	4.177
srednji specifični stroški	164	1.416

3.2 Čiščenje odpadnih vod na kraju nastanka

Odločitev za čiščenje odpadnih vod na kraju samem mora biti tako v strokovnem, ekološkem kakor tudi v ekonomskem pogledu še posebno dobro utemeljena. Čiščenje odpadnih vod na kraju nastanka zahteva namreč načrtovalca, ki dobro pozna visokogorske razmere, ter upravitelja, ki je pripravljen prevzeti odgovornost za obratovanje, nadzor ter vzdrževanje takih naprav tudi pod izredno slabimi tehničnimi ter klimatskimi okoliščinami. Poleg tega je potrebno pri izračunih in primerjavah nujno upoštevati tudi stroške ustrezne obdelave in neškodljive odstranitve izločenih snovi (odpadki, blato, odtoki) ter oceniti ekološke posledice vplivov ter emisij v neposredno okolje takih čistilnih naprav. Še posebno težko je ovrednotiti nemonetarne vplive teh naprav (optično »nadlegovanje« in neposredna bližina čistilnih naprav, smrad, hrup, aerosoli, možnost okužb itd.).

Posebni pogoji in zahteve čiščenja odpadnih vod v gorah so:

- sunkovite ter količinsko močno nihajoče dotočne količine odpadnih vod (od 10 do > 100 l/(preb. in dan)),
- visoke koncentracije snovi (posamezno 6.000 KPK/l; 3.000 BPK₅/l; 1.200 mg NH₄-N/l),
- občasne nizke temperature (ob slabem vremenu pod 5° C),
- enostranska ponudba hranil (razmerja KPK/BPK₅ kakor tudi N/P od 2:1 do 20:1),
- težko rešljiva ali celo nerešljiva odstranitev odvečnega blata ter izločenih snovi (praviloma odvoz v dolino),
- neugodni okvirni pogoji čiščenja, kot na primer:
 - občutljivost ali celo pomanjkanje ustreznega vodotoka,
 - pomanjkanje lastnega ustrezno usposobljenega strokovnega osebja,
 - nezadostna ponudba potrebne energije,
 - občasna sezonska uporaba objektov
- možni vplivi na lokalno zajetje pitne vode (higiena).

Dosedanje praktične izkušnje kažejo, da se večina na tržišču ponujenih tehnologij biološkega čiščenja odpadnih vod lahko bolj ali manj uspešno uporabi tudi v gorah, če so take naprave zadovoljivo dimenzionirane kakor tudi skrbno in vestno konstruirane, grajene, ustrezno opremljene, nadzorovane, vzdrževane ter je njihovo obratovanje prilagojeno konkretnim, individualnim krajevnim okoliščinam.

Pri tem se lahko bolj ali manj uspešno uporabljajo naslednji sistemi čiščenja:

* mehanska stopnja:

- usedalnik (Emscherjev bazen),
- večprekatne greznice,
- polžasta sita za izločitev trdih snovi,

* biološka stopnja:

- precejalniki (s polnili iz lave, penjenega betona itd.),
- biodiski,
- biološki bazeni (SBR-način in njegove variacije),
- talni filtri (za dodatno čiščenje),
- lagunske čistilne naprave, rastlinsko poraščena področja,

* obdelava blata:

- prekrite sušilne grede,
- kompostiranje po odstranitvi grobih snovi.

Iz primerjave konkretnih odtočnih vrednosti (v mg/l) različnih čistilnih sistemov (slika 9) je jasno razvidno, da najmanjše emisije (preostalega onesaženja v odtoku) dosega lagunska čistilna naprava brez ozračevanja (unbelüftete Abwasserteichanlage), ki ji sledi čistina naprava z biodiski (Scheibentauchkörper). Šele na tretjem mestu je precejalnik (Tropfkörper) ter končno na zadnjem mestu te medsebojne primerjave je biološki bazen s poživljenim blatom (Systembelebung).

Torej moramo nedvomno dajati prednost enostavnim, zelo prostornim čistilnim načinom, ki so nezahtevni glede nadzora in vzdrževanja ter povzročajo nizke obratovalne stroške, predvsem pa razpolagajo z veliko zadrževalno sposobnostjo za prostorsko izravnavo obteženih sunkov.

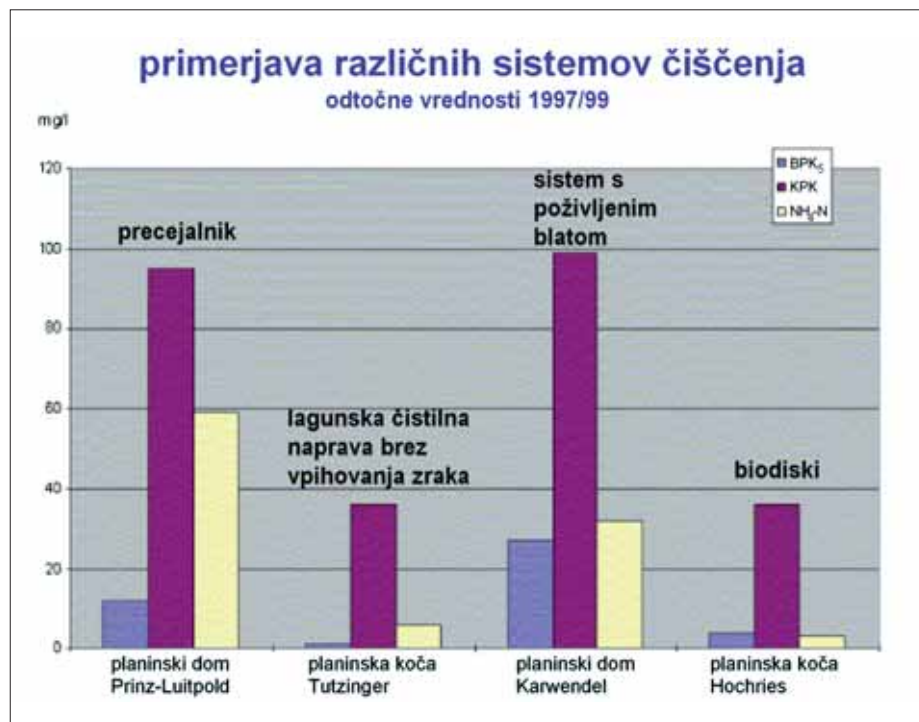
S prostornimi lagunskimi čistilnimi napravami se pogosto lahko ustrezno rešijo tudi požarnovarnostne zahteve.

Pri izbiri sistema ima ključni pomen tudi omejena dejanska ponudba energije (npr.: lagunska čistilna naprava brez vpihovanja zraka).

Pri planinskih kočah brez zimskega oskrbovanja je treba sanitarije ter čistilne naprave v poznem jesenskem času pravočasno usposobiti za njihovo prezimljenje ter v spomladanskem času za pravočasni ponovni zagon. Pri tem moramo upoštevati, da lahko znaša med prezimovanjem v visokogorju znaša globina zmrzali v neogrevanih objektih tudi po nekaj metrov.

3.3 Odstranjevanje izločenih snovi

V gorskih predelih je treba še posebej dosledno upoštevati osnovno prioriteto razvrstitve načinov gospodarjenja z odpadki, ki na prvem mestu predvideva dosledno preprečitev samega nastanka odpadkov, na



Slika 9 • Diagram primerjave odtočnih vrednosti različnih čistilnih sistemov (1997/1999)

drugem mestu se zahteva njihova ponovna uporaba (gnojenje, sežiganje) in le za preostale neuporabne odpadke se dopušča njihovo odstranjevanje. Na žalost dandanes še veliko pohodnikov »deponira« odpadke ob poteh ter okoli gostinskih objektov.

Prav tako taki odpadki (plastika, vložki, kondomi itd.) ne sodijo v odtoke gostinskih objektov ter sanitarij.

Navkljub visokim stroškom za ustrezno zbiranje ter odstranitev odpadkov je treba ob in v objektih predvideti zadostno število ustreznih zbiralnikov odpadkov, ki se nato ustrezno komprimirani odvažajo v dolino. Pomembna pa je tudi ustrezna vzgoja in ozaveščenost ljudi, da se taki odpadki po možnosti sploh ne nosijo v gore in tam po uporabi ne odmeta vajo.

Vsaka čistilna naprava odpadnih vod ima torej dve osnovni nalogi:

- **očiščenje transportnega sredstva (vode) v zahtevani meri, da se lahko brez škodljivih posledic izpušča v okolje ter**
- **obdelava iz vode izločenih snovi, da se lahko brez škodljivih posledic vračajo v okolje.**

Medtem ko naši projektanti oziroma dobavitelji čistilnih naprav skušajo še kolikor toliko očistiti odpadne vode, pa na obdelavo precej velikih, stalnih količin iz vode izločenega odvečnega blata redno »pozabijo« ali pa se izgovarjajo, da za ta sestavni del projektne dokumentacije niso strokovno odgovorni. Na ta način ta stalni, hitro naraščajoči kup blata prepuštuje nič hudega slutečim in kasneje hudo začudenim uporabnikom, da ga nato (zelo drago) rešujejo, kakor pač vedo in znajo.

Pri čiščenju odpadnih vod na krajih njihovih nastankov, je pri izbiri tehnologije čiščenja odločilna torej tudi (običajno zamolčana) možnost obdelave ter ustrezne odstranitve »proizvodnih produktov« čiščenja.

Čistilne naprave, ki niso zmožne proizvesti stabiliziranega blata, so zgrešena investicija, saj ne izpolnjujejo njihovih osnovnih nalog in škodujejo njihovem okolju! Biološko blato iz čistilne naprave je aerobno stabilizirano, ko se organske snovi predelajo v okolju neškodljive snovi ter ne vsebujejo več nevarnih kužnih črevesnih (koli) bakterij. Za doseganje tega cilja je potrebno blato (pod normalnimi okoliščinami) aerobno biološko obdelovati

okoli 25 dni. Naprave, dimenzionirane za manjšo starost blata, so premajhne. Investitorji s toleriranjem pomanjkljivih izračunov ter dokazov v projektnih dokumentacijah in razpisih omogočajo gradnjo nezadostno delujočih čistilnih naprav.

Pri ustreznih klimatskih pogojih (v nižjih gozdnih legah) se manjše količine stabiliziranega biološkega blata iz majhnih čistilnih naprav lahko uporabijo tudi na kmetijskih pridelovalnih področjih ali kompostirajo.

Za grobo oceno dnevne produkcije odvečnega blata na čistilni napravi naj navedemo, da se na splošno na komunalnih čistilnih napravah na populacijsko enoto dnevno »pridelava« okoli 50 g suhih sestavin (kratica: SS) blata oziroma pri aerobnem postopku 1–2 l svežega blata, medtem ko pri pregnetem blatu preostane le okoli 0,3–0,8 l blata na osebo ter dan.

Omejitev transportne količine blata (in s tem stroškov) se doseže na podlagi predhodne običajno težnostne zgoščitve (vreče, zgoščevalci) odvečnega blata. Zaradi visoke onesnaženosti se mora izločena blatnica dozirano vračati v sistem čiščenja.

4 • SKLEP

Kakor kažejo številne praktične izkušnje na Bavarskem, ima direktno odvajanje odpadnih vod v dolino s pomočjo odvodnih kanalov ($\geq$ DN 200 mm) v primerjavi z drugimi načini bistvene prednosti, tako po ekološki tehnološki, kakor tudi po stroškovni plati. Okolju škodljive emisije v občutljivo alpsko ali kraško okolje tako niso potrebne. Praviloma se nekoliko večji investicijski stroški že v nekaj letih povrnejo na podlagi bistveno nižjih obratovalnih stroškov.

V izkopni jarek se običajno lahko polagajo paralelno tudi kabli za energetske oskrbe objektov. Odvodni kanal je v dolini priključen na večjo in zato manj občutljivo komunalno čistilno napravo, ki bolje izravnava in prenaša obtežbene konice.

Produkti čiščenja se lahko v nižinah ustrezno obdelajo ter stroškovno ugodneje uporabijo ali odstranijo. Preostala onesnaženost v izpustu čistilne naprave ne ogroža občutljive visokogorske ekologije.

Zaradi dobre dostopnosti objektov sta nadzor ter vzdrževanje čistilnih naprav v nižavju bistveno enostavnejša in cenejša. Dovod za-

dostne količine za čiščenje potrebne energije ni problematičen. Tudi drugi obratovalni stroški (odstranitev blata itd.) takih naprav so znatno nižji.

Izdelati bi bilo treba objektivno strokovno preveritev delovanja že izvedenih in delujočih čistilnih naprav v naših gorah, ki bo podala njihovo strokovno, ekonomsko in ekološko stanje. Pri naših javnih razpisih zmagujejo vedno najcenejši ponudniki čistilnih naprav, čeprav je pogosto že na prvi strokovni pogled dobro razvidno nezadostno dimenzioniranje kakor tudi pomanjkljiva konstrukcija in oprema teh naprav. O svojčas strogo terjani medsebojni pravilni ekonomski primerjavi obratovalnih stroškov takih naprav v današnjem »moder- nem« času sploh ni več vredno izgubljati besed in časa, saj jih »nihče več ne potrebuje«, kaj šele želi! Investitor želi vlagati čim manjši kapitalski znesek. Pri tem ga ne zanima, ali je taka naprava sploh zmožna ustvariti cilje, ki so ji bili zastavljeni. Še najmanj pa ga zanimajo obratovalni stroški (ki so običajno v obratnem sorazmerju z višino investicije), saj jih bodo morali v celoti prevzeti kasnejši uporabniki.

Prostornina biološkega bazena je največja cenovna postavka, zato se z (nedopustnim) zmanjšanjem računsko potrebne prostornine (in opreme) lahko največ »privarčuje«. Ker so postali dandanes tudi dokazni dimenzijski izračuni popolnoma »nepotrebni«, opazi uporabnik nezadostno delovanje (premajhno prostornino) biologije praviloma šele po nekaj letih obratovanja, ko se na čistilno napravo končno priključi celotna predvidena obtežba. Dobavitelj in naročnik v takem primeru soglasno prikrijeta to predhodno strokovno goljufijo ter hitro najde izgovor v »modernizaciji ali sanaciji naprav« zaradi naenkrat »prevelike nepredvidene« obtežbe (in zato potrebnem »širjenju« čistilne naprave), saj te izjemno visoke stroške kasneje brez omembe vrednih protestov poravnajo uporabniki (ter narava).

Čudi me, da so turistična, planinska, smučarska ter druga društva, ki imajo objekte zlasti v Julijskih Alpah, tako malodušna in jih hitro ekološko spreminjanje ter propadanje teh ekološko najlepših, vendar tudi najbolj občutljivih naravnih okolij, sploh ne moti ali prizadene.

Triglav kot zgodovinski simbol slovenstva se pridno izkorišča za politične proslave in pro-

mocije v višavah. Vendar nikogar ne moti in mirno se dopušča, da se iz planinskih domov in koč tega narodnega ter državnega simbola istočasno razlivajo skoraj neočiščene fekalije. Na žalost letno obdobje našega predsedovanja Evropi ne dopušča potrebe po protokolarnem objektu na primer na Kredarici, saj bi se verjetno v tem primeru te zadeve (brez javnih razpisov) drugače urejale.

Evropa nudi za zaščito naravnih biserov ogromna finančna sredstva, vendar tudi tega nismo sposobni izkoristiti. V sedanji diktaturi demokracije (ko na področju zapravljanja in razmetavanja državnih financ učenci ekstremno prekašajo njihove učitelje), je postala pravo bogokletje Voltairova misel: **»Odgovorni smo za to, kar počnemo; vendar smo odgovorni tudi za to, česar ne počnemo«.**

Na žalost se je v bližnji preteklosti tudi slovenščina zelo spremenila, saj je na primer iz pogovornega in pisnega jezika popolnoma izginila beseda »odgovornost«, medtem ko se je pomen besede »grabežljivost« danes nadomestil in olepšal z izrazom »gospodarnost«.

5 • LITERATURA

BLW, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Schutz oberirdischer Gewässer, Abwasserentsorgung; Gewässerschutz im ländlichen Raum; Abwasserentsorgung im Gebirge, 2000.

Henn, V., Berggeschichte: Fäkalienentsorgung einmal anders, KA-Betriebs-Info 2005, (35), Nr. 4, 2005.

Maleiner, F., Biološko blato iz čistilnih naprav – kam z njim?»; Zavod za tehnično izobraževanje, zbornik predavanj: »Ravnanje z odpadki '06«, Ljubljana, 19 in 20. oktober 2006.

Maleiner, F., Ločeni ali mešani sistem kanalizacije; odvajanje, čiščenje ter odstranitev padavinskih vod«; 4. strokovni seminar, 25. 10. 2000.

Maleiner, F., Obdelava in odstranitev blata iz komunalnih čistilnih naprav«; 7. strokovni seminar, 13. 03. 2002.

Viri slik:

- <http://www.bayern.de>
- <http://www.falconwaterfree.com>
- <http://www.jets.no>

ODGOVOR DR. KRANJCU NA NJEGOVE TRDITVE V GRADBENEM VESTNIKU OKTOBER 2007

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

Dr. Krajnc, projektant obravnavanega vodovoda Slovenske Istre in zalednega krasa skuša v odgovoru na moj članek v Gradbenem vestniku avgust 2007 ubraniti svoj popolnoma napačni projekt. Z napačnimi dokazi in neresničnimi navedbami skuša opravičiti svoj 2,5 mio EUR drag načrt, v katerem načrtuje nepotrebno, 57 m visoko in 40 mio EUR drago vodno pregrado na potoku Suhorica.

Nepoučenega bralca želi prepričati z grobo neresnico (citiram), da »vodna bilanca, prikazana v (OP: mojem) članku, ne obsega soočenja z merjenimi vrednostmi pretokov Reke in višine gladin vode v akumulacijah«.

Res je nasprotno: Moja vodna bilanca vključuje vse relevantne podatke, prejete od ARSO (pretoke reke Reke, Rižane ter višine vodnih gladin in izpuste iz obeh akumulacij, vključno z načrtovano porabo vodovoda), kar je razvidno iz slik in teksta v nadaljevanju.

Soočenja s temi podatki pa ni opravil projektant, čeprav bi to moral storiti prej, kot je sploh pričel s projektiranjem. Če bi soočenje opravil, ne bi mogel trditi, da v obeh obstoječih akumulacijah za vodovod ni dovolj vode. Tako pa trdi, da je ta nova akumulacija Suhorica za vodovod potrebna, ker v že obstoječih akumulacijah, Moli in Klivniku, za vodovod ni dovolj vode. Ob tem pa bralca zavaja s fotografijami presušenih akumulacij, s histogrami nizkih pretokov reke Reke in prikazi padcev gladin v obeh akumulacijah.

Ne pove pa, da sta se akumulaciji presušili, ker so iz njih nesmiselno (tj. brezciljno) spuščali več vode, kot je bilo v koristnih prostorninah obeh akumulacij sploh na voljo. Iz akumulacij naj bi namreč v reki Reki po že več kot 20 let preživetem vodnogospodarskem predpisu zagotovili »biološki minimum« 925 l/s oziroma 1388 l/s (na merilnih mestih Trnovo in Cerkvenikov mlin), za kar pa v tako sušnem letu, kot je bilo 2003, nimata dovolj vode. Sicer pa za ta predpis tudi sicer ni več

nobene strokovne podlage, kar sem pojasnil že v prejšnjem članku.

Vodna bilanca, podana v nadaljevanju (slika 1 in 3), za maksimalno srednjo mesečno porabo vodovoda 458 l/s v načrtovanem letu 2042 pa pokaže, da bi bilo v sušnem letu, kot je bilo 2003, za vodovod potrebno iz Reke odvzeti le 384 l/s (ostanek 74 l/s pa bi dobili iz Rižane). Torej dvakrat manj od 850 l/s (slika 2), kolikor vode bi bilo ob pravilnem praznjenju akumulacij v Reki na voljo. Sumarno bi to leto vodovod odvezl iz akumulacij le 3,8 mio m³ vode; z ostankom 2,64 mio m³ od celotnih 6,44 mio m³ akumulirane vode pa bi lahko na profilu Trnovo izmerjeni naravni minimalni pretok Reke 171 l/s kar trikrat povečali, na 560 l/s (slika 3)

Zato opazovana presušitev obeh akumulacij v letu 2003 ni noben dokaz, da akumulaciji za vodovod nimata dovolj vode.

Projektant teh dejstev ni preveril, pač pa je brez v takšnem primeru obvezne vodne bilance že pred 5 leti, ko je leta 2002 izdelal izhodiščno študijo za oskrbo obale s pitno vodo, dokazoval izgradnjo nove akumulacije kot potrebno rešitev. **Kljub temu da je celotna investicija vodovoda, skupaj z načrtovano akumulacijo Suhorica, ocenjena na ca. 80 mio EUR, projektant ni odgovoril na ključna vprašanja, ki so pomembna za odločanje o projektni rešitvi oskrbe z vodo in o ceni načrtovane investicije:**

1. Ali je predpis o biološkem minimumu 925 l/s (merilna postaja Trnovo) in 1388 l/s (merilna postaja Cerkvenikov mlin) še utemeljen, po tem ko so zanj odstranitvijo onesnaževalca Reke odpadli vsi razlogi?
2. Kolikšne nizke vode v Reki pa obe obstoječi akumulaciji sploh lahko zagotovita, ko predpisanih, danes povsem neutemeljenih »bioloških minimumov«, ne moreta?
3. Ali pa imata morda obe akumulaciji za manjši, naravovarstveno razumen biološki

minimum Reke in hkrati še za vodovod vendarle dovolj vode? In če ne, koliko prostornine jima manjka?

4. Ali bi uporaba obeh akumulacij tudi za vodovod dejansko res in za koliko zmanjšala poplavno varnost in poslabšala obstoječe hidrološke razmere v Reki za po Unesco zaščitene Škocjanske jame?

Dejstva, da za biološka minimuma 925 l/s in 1388 l/s sedaj, ko onesnaževalca Reke ni več, ni nobene podlage, tukaj ne bom dokazoval. Presoja nadaljnje utemeljenosti zadevnega predpisa je bila dolžnost izdajalca tega predpisa, za kar MOP nosi svoj del odgovornosti.

Vodna bilanca vodovoda, prikazana na diagramih mojega članka (Gradbeni vestnik, avgust 2007) obravnava, za bilanco vodovoda relevantno merilno postajo Cerkvenikov mlin, ki se nahaja v bližini predvidenega odvzema vode za vodovod. V tem članku pa je bilanca, za primerjavo s projektantovimi diagrami, podana za merilno postajo Trnovo.

Zaradi omejenega prostora v podkrepitvah rezultatov vodne bilance podajam le njene rezultate za najbolj sušno leto 2003. V svojem članku v Gradbenem vestniku, avgust 2007 sem prikazal bilanco za hidrološko bolj »normalno« leto 1993. Slika 1 vsebuje predpisane mejne vrednosti za biološki minimum, pretoke Reke na postaji Trnovo in iztoke iz obeh akumulacij. Na sliki 2 pa je prikazan tudi merjeni potek praznitve obeh akumulacij.

Iz histogramov po podatkih ARSO (slika 1 in 2) se vidi, da so pretoki Reke na vodomernem profilu Cerkvenikov mlin po izpraznitvi akumulacij, padli na **naravni pretok Reke 171 l/s, ki je kar 5,4-krat manjši od predpisanega biološkega minimuma 925 l/s.** Akumulaciji sta se prehitro izpraznili, ker niso upoštevali dejanskih zmogljivosti obeh akumulacij. Sledeč predpisanemu biološkemu minimumu v Trnovem 925 l/s, so namreč izpuščali iz akumulacij več vode, kot jo imata akumulaciji

sploh na voljo za bogatenje reke Reke preko celotnega trajanja suše.

Zato bi projektant moral, kar pa ni, pred odločitvijo za izgradnjo nove akumulacije najprej ugotoviti, ali in koliko od predpisanih pretokov 925 l/s in 1388 l/s v Reki akumulaciji sploh lahko zagotovita.

Odgovor na to vprašanje je prikazan v vodni bilanci na sliki 2, kjer so obravnavani odnosi med pretoki Reke, izpusti iz akumulacij in njuno gladino oziroma zalogo vode v obeh akumulacijah za dva primeri:

- a) Za v letu 2003 ugotovljeno popolno izpraznitev akumulacij, ko so z izpusti iz akumulacij skušali v Reki vzdrževati predpisani pretok 925 l/s pri Trnovem oziroma 1.388 l/s pri Cerkvenikovem mlinu.
- b) Za primer, s katerim bi ugotovili, kolikšen največji nizki pretok Reke pa bi bilo mogoče preko celotnega sušnega obdobja doseči z ustrezno manjšimi izpusti vode, da se akumulaciji ne bi izpraznili že pred koncem sušnega obdobja.

V prvem primeru sta se akumulaciji, kot je vidno iz slik 1 in 2, izpraznili že pred zaključkom sušnega obdobja, zato so pretoki Reke padli na naravni pretok z izmerjeno minimalno količino 171 l/s. Očitno so iz akumulacij spuščali preveč vode.

S časovno in količinsko usklajenimi, manjšimi izpusti iz akumulacij (slika 2) pa bi bilo za primer b) mogoče brez odvzema vode za vodovod preko celega sušnega obdobja zagotoviti v Reki ne sicer 925 l/s, še vedno pa 850 l/s obogatene pretoka, kar je 5-krat več od nizkega naravnega pretoka 171 l/s, izmerjenega v sušnem letu 2003.

V nadaljevanju pa si oglejmo ali in pri katerih izpustih iz akumulacij bi ostalo v njih še dovolj vode tudi za vodovod.

Odgovor na to vprašanje je podan na slikah 3 in 4, ki prikazujeta (nasprotno od slik 1 in 2) za vodovod relevantno, celotno bilanco, ki vključuje porabo vodovoda in vse vodne vire, tj. Rižano in reko Reko z obstoječima akumulacijama Mola in Klivnikom.

Na sliki 3 vidimo, da bi v Reki pri po času in količini usklajeni praznitvi obeh akumulacij ostalo dovolj vode tudi za vodovod. Za biološki minimum ostane na Cerkvenikovem mlinu še vedno 560 l/s, kar je trikrat več od izmerjenega naravnega pretoka 171 l/s leta 2003 in 3,5-krat več od v preteklosti izmerjenega najmanjšega naravnega pretoka 160 l/s. Ta nizka pretoka sta za takšno sušno leto v resnici prava biološka minimuma. Sicer pa bi bilo mogoče tudi v drugih opazovanih letih od

1954–2003 zagotoviti v reki Reki znatno večje nizke pretoke od izmerjenih naravnih pretokov (glej diagram 8a, Gradbeni vestnik, avgust 2007).

Na ca. 17 km dolgem odseku reke Reke, nad odvzemom za vodovod pri Cerkvenikovem mlinu, pa bi bilo mogoče v istem sušnem letu 2003 v Reki zagotoviti še večje pretoke, od 735 l/s (slika 4).

Iz te celostne vodne bilance vodovoda za najbolj sušno leto 2003 je torej mogoče povzeti:

- a) Pri polnem pokritju načrtovane porabe vodovoda do leta 2042 je mogoče v enako sušnem letu, kot je bilo leto 2003, minimalni pretok 171 l/s povečati na 560 l/s. S tem bi bila izpolnjena tudi želja Škocjanskih jam, da se hidrološke razmere v primerjavi z obstoječim stanjem ne bodo poslabšale.
- b) Od v preteklosti izmerjenega minimalnega naravnega pretoka Reke 160 l/s pri Cerkvenikovem mlinu, zabeleženega v celotnem opazovanem obdobju od 1953. leta dalje, bi bilo mogoče zagotoviti 3,5-krat večji minimalni pretok Reke 560 l/s.

Treba je upoštevati, da se takšni rezultati bilance nanašajo na ekstremno sušno leto 2003. Z izpusti iz akumulacij, skladno z delovanjem celotnega vodovodnega sistema, pa bi bili pretoki Reke v sušnih obdobjih večji od doslej opazovanih (diagram 8a, Gradbeni vestnik, avgust 2007).

Obravnavani projekt vodovoda, ki zahteva akumulacijo Suhorica, takšne bilance, ki bi kvantitativno dokazala ali ovrгла uporabnost obstoječih akumulacij za vodovod in razumno določen biološki minimum, sploh ne vsebuje.

Z napačnimi in neresničnimi trditvami sta oba, projektant in inženir projekta, mojo, večkrat predstavljeno vodno bilanco samovoljno ocenila kot napačno, vsakršno strokovno razpravo o njej pa vsa dosedanja leta preprečevala. To je tudi razlog, da sem na obravnavani projekt skušal opozoriti v Gradbenem vestniku in že prej z več predavanji in članki v drugih medijih (Delo, Znanstvena priloga 24. 12. 1991 in 16. 9. 1998, Primorski dnevnik, Društvo za zaščito voda itd.).

Odgovore na članek dr. Kranjca je mogoče povzeti s naslednjimi dejstvi:

1. Obstoječi akumulaciji imata dovolj vode za dolgoročne potrebe vodovoda in za ohranitev naravnih nizkih pretokov reke Reke, ki so lahko edina podlaga za predpisano vrednost biološkega minimuma.

2. uporaba akumulacij za vodovod ne zmanjšuje načrtovane poplavalne varnosti. Po projektu imata pred ca. 20 leti zgrajeni vodni akumulaciji Mola in Klivnik skupno prostornino:

Mola	4,0 x 10 ⁶ m ³
Klivnik	3,9 x 10 ⁶ m ³
Skupaj	7,9 x 10 ⁶ m ³

Od tega je predvidena uporabna prostornina za bogatenje nizkih pretokov Reke:

Mola	3,04 x 10 ⁶ m ³ in
Klivnik	3,40 x 10 ⁶ m ³
Skupaj	6,44 x 10 ⁶ m ³

Razlika prostornin v obsegu 1,46 x 10⁶ m³ je bila načrtovana kot prostornina v akumulacijah za preprečevanje poplav.

Uporabna prostornina 6,44 x 10⁶ m³ je bila, kot rečeno, namenjena za razredčitev tedanjega onesnaženja v Reki. Ker industrijskega onesnaževalca ni več, je uporabna prostornina sedaj na voljo za potrebe vodovoda in za doseganje strokovno utemeljenega biološkega minimuma v Reki.

Če pa obstaja potreba po večji poplavalni varnosti, jo je namesto s 57 m visoko akumulacijo na Suhorici mogoče zagotoviti z mnogo cenejšim in krajinsko manj vpadljivim suhim zadrževalnikom v dolini Padeža. Tako bi dolino, ki omogoča pri višini pregrade 57 m od načrtovane 13 mio m³ mnogo večjo uporabno prostornino akumulacije, lahko ohranili za bodoče potrebe, ki jih danes še ni mogoče realno predvideti.

3. Enako nesmiseln je tudi projektantov načrt črpanja 400 l/s vode iz Reke v akumulacijo Suhorica: Če je v Reki več vode, doteka v akumulacijo tudi več vode iz njenega zaledja, potoka Suhorice. Akumulacija bi se s črpanjem iz Reke sicer prej napolnila. Že ob prvem deževju pa bi se dotok iz prispevnega zaledja zaradi polne akumulacije nekoristno prelil nazaj v Reko. Za večjo zmogljivost akumulacije je treba povečati njeno prostornino – ta možnost pa je v mojem članku s povečanjem akumulacij Mole in Klivnika tudi predvidena.
4. »Širši koncept« obravnavanega načrta, ki ga omenja projektant, pa je žal povsem napačno prevzel iz elaborata **»Notranjska Reka kot možni vir za preskrbo s pitno vodo Krasa in obalne regije: Primer integralnega gospodarjenja z vodami, IZH FGG, december 1994**, ki sem ga predstavil v Gradbenem vestniku že oktobra 2003.

5. Da trditev projektanta, da biološka minimuma 925 l/s in 1388 l/s ne sodita v izhodišče njegovega projekta, ni resnična, so dokaz podatki v njegovem projektu *»Izdelava projektno-investicijske dokumentacije za pridobitev dovoljenj za gradnjo za investicijski projekt – ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo Slovenske Istre in zalednega kraškega območja«, September 2006, Št 3B6-A, Št. projektne faze po pogodbi: 6P-3B6-A_030_01_01.*

SKLEP

Vodna bilanca v tem članku je izdelana po podatkih ARSO o dnevnih pretokih reke Reke,

Rižane, Mole in gladin v obeh akumulacijah. Rezultanti bilance dokazujejo, da imata obstoječi akumulaciji Mola in Klivnik dovolj vode za dolgoročne potrebe vodovoda in za naravovarstvene potrebe Škocjanskih jam.

Strokovno korektnost bilance so s podrobno analizo potrdili tudi mednarodni izvedenci, ki jih je najelo MOP.

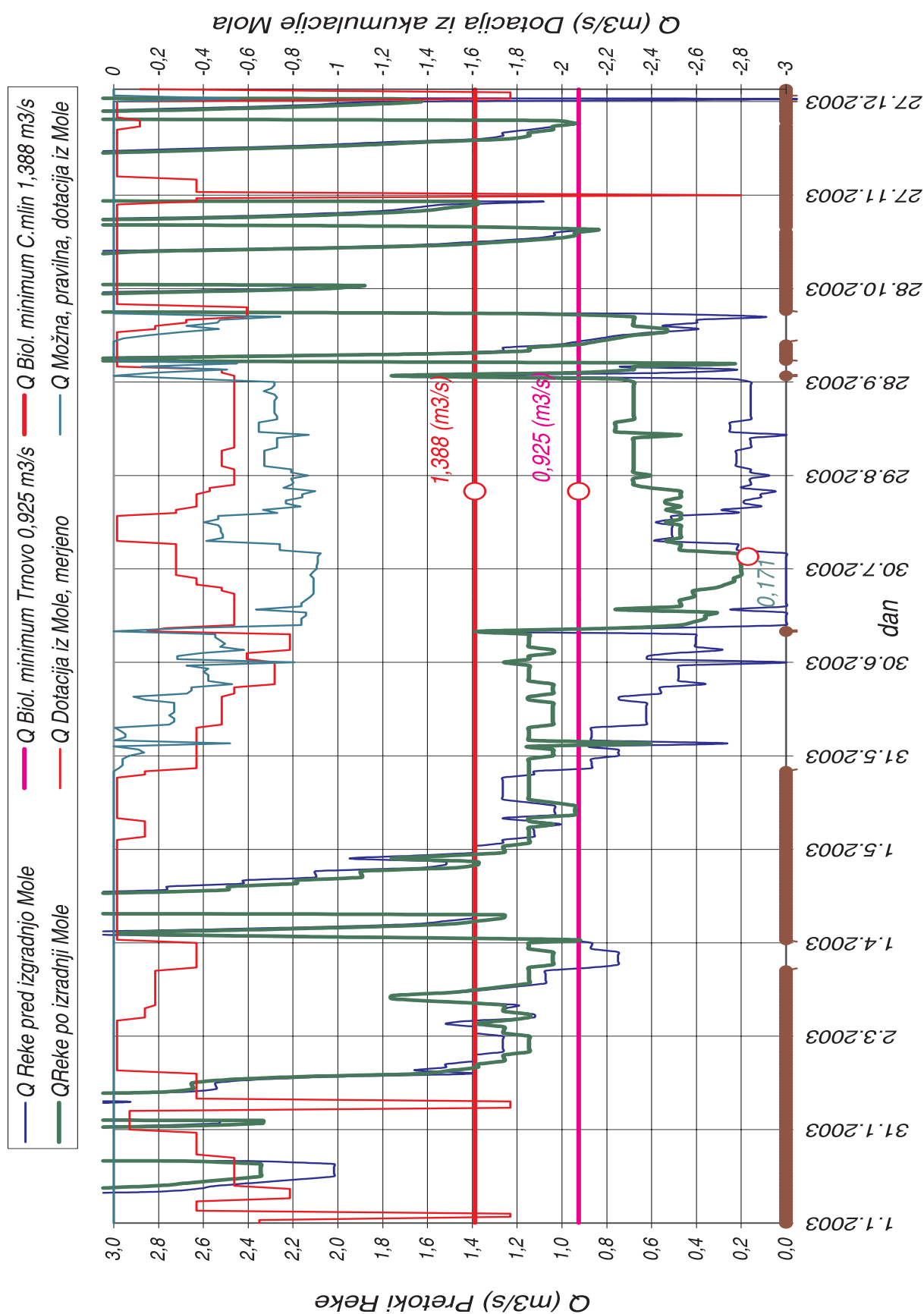
Zato histogrami in slike izpraznjenih akumulacij v članku dr. Kranjca niso verodostojen, temveč napačen dokaz, da v akumulacijah za vodovod in za potrebe Škocjanskih jam ni dovolj vode. Izračuni namreč kažejo, da so upravljalci obe akumulaciji izpraznili izključno zato, ker so

iz njih neustrezno spuščali več vode kot jih vodovod in Škocjanske jame skupaj, tudi dolgoročno, sploh potrebujeta.

Projekt vsakega vodovoda bi moral sloneti na trdni vodni bilanci. Toliko bolj to velja v obravnavanem primeru, ko gre za vprašanje upravičenosti gradnje nove akumulacije, ki stane več kot 40 mio EUR državnega denarja davkoplačevalcev.

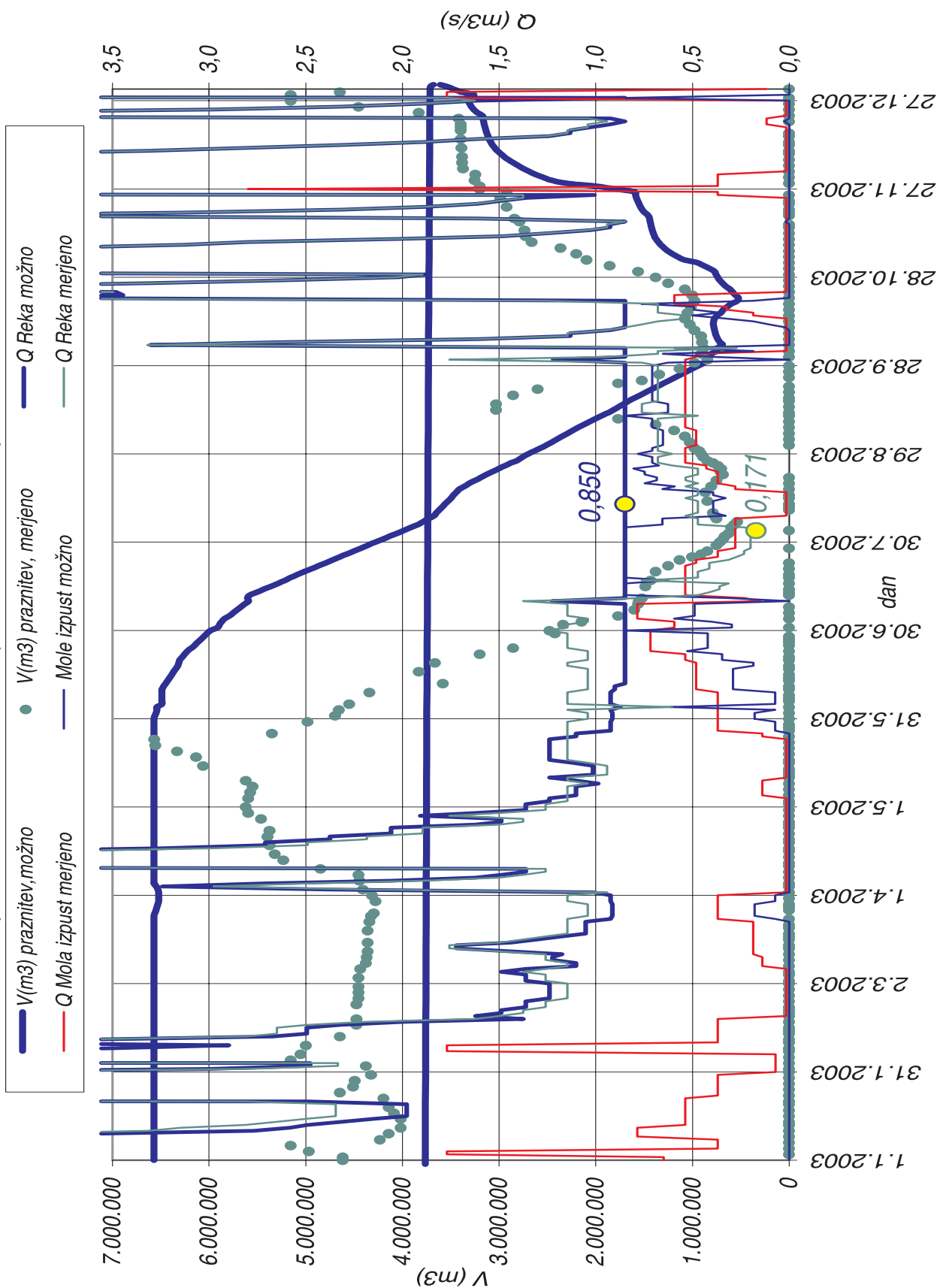
Če se obe, sedaj obe neizkoriščeni, akumulaciji ne uporabita za vodovod, bo imela država, poleg velike investicije za novo akumulacijo, še naprej dodatne, neproduktivne stroške z obveznim vzdrževanjem in upravljanjem neizkoriščenih akumulacij.

Potek izvedene in možne - pravilne - praznitve Mole in Klivnika v najbolj sušnem letu 2003 - Trnovo



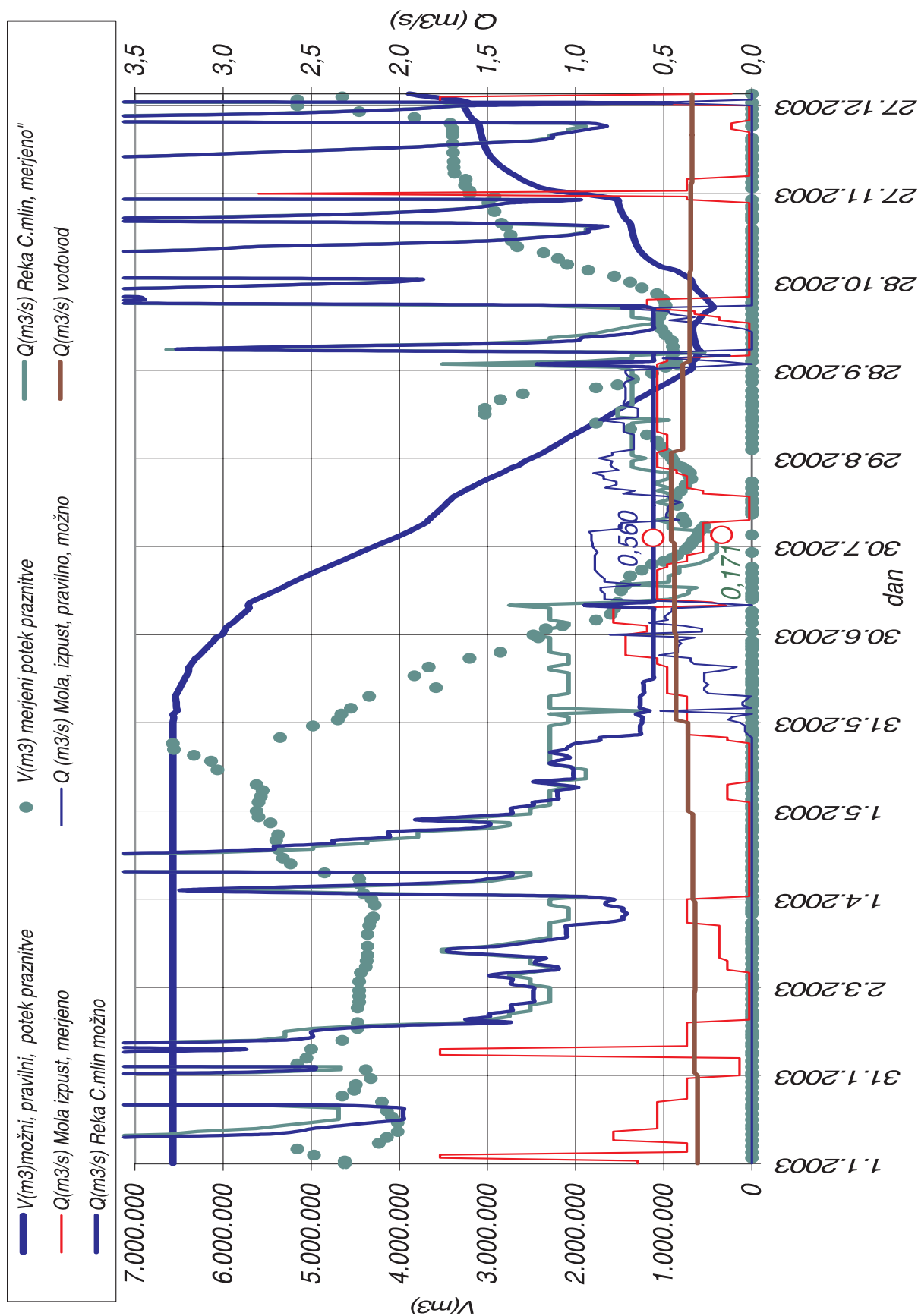
Slika 1 • Zeleno: Leta 2003 merjeni pretoki reke Reke na vodotoknem profilu Trnovo. Minimalni izmerjeni pretok je 171 l/s. Zahtevana »biološka minimuma« nista bila dosežena. Rdeče: iz akumulacij Mole in Klivnika so spuščali v reko Reko preveč vode. Zato so akumulaciji predčasno izpraznili.

2003 Napačno izvedena in možna praznitev akumulacij - Trnovo



Slika 2 • Zeleno: leta 2003 merjeni pretoki reke Reke v vodnem profilu Trnovo, z merjenimi izpusti iz Mole (rdeče) in gibanjem zaloge vode v obeh akumulacijah, brez vodovoda. Doseženi minimalni pretok 171 l/s. Modro: z bilanco določeni pretoki Reke in izpusti iz akumulacij z gibanjem vodnih zalog v obeh akumulacijah, brez vodovoda. Dosegljiv je minimalni pretok 850 l/s!

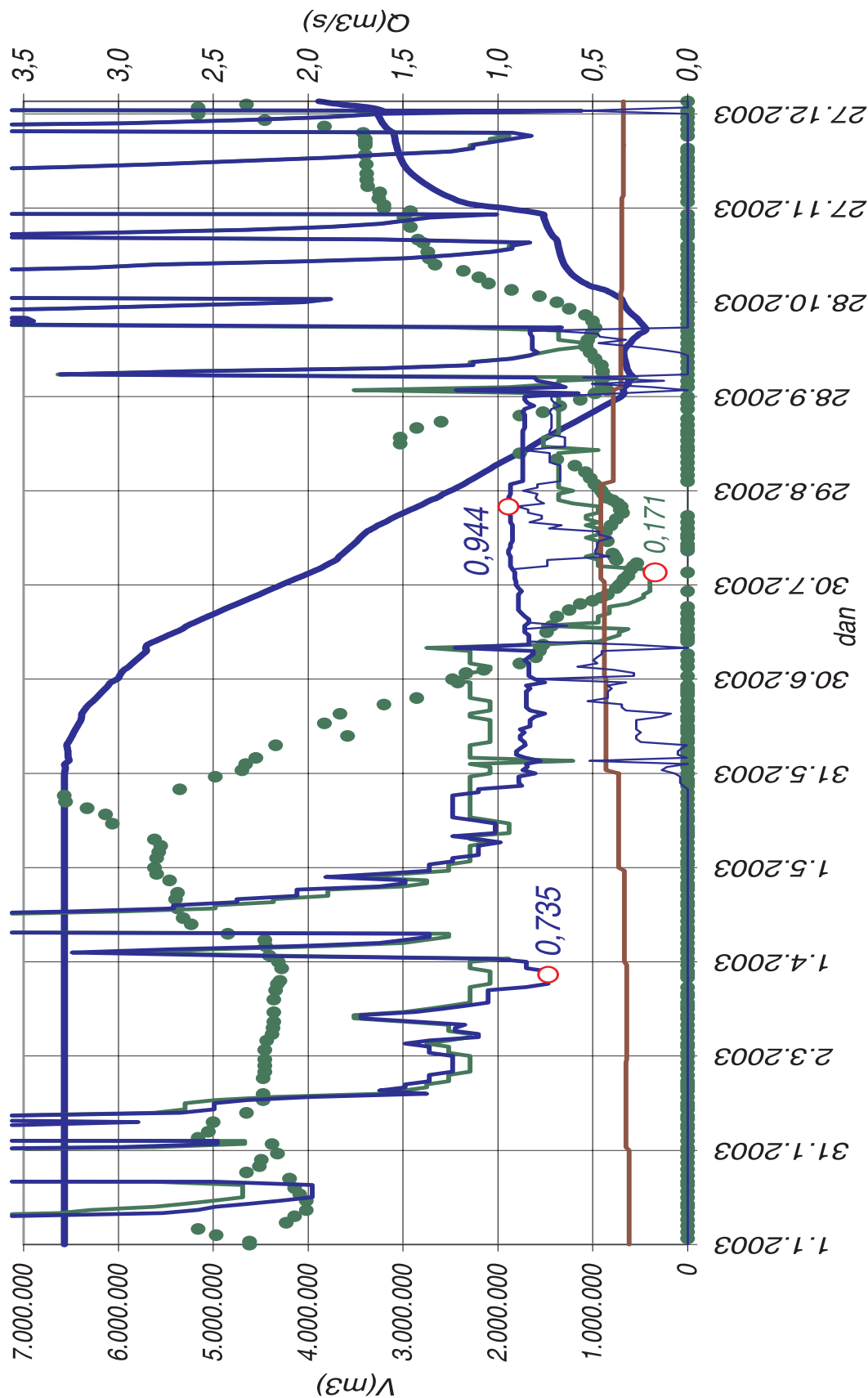
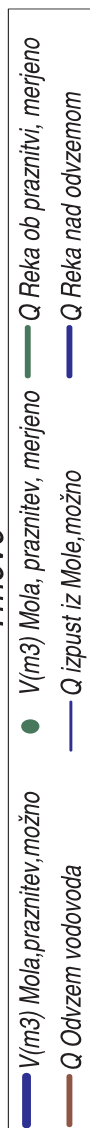
2003 Celotna bilanca vodovoda. Možni pretoki Reke pri Cerkenikovem mlinom pod odvzemom vodovoda - Trnovo



Slika 3 • Zeleno: leto 2003, merjeni pretoki reke Reke v vodnem profilu Trnovo z merjenimi izpusti (rdeče) in gibanjem zaloge vode v obeh akumulacijah, brez vodovoda. Modro: rezultati celotne vodne bilance vodovoda. Dosegljivi minimalni pretok Reke s pravnim dotiranjem iz Mole v Trnovem in pri Cerkenikovem mlinu je 560 l/s!

2003 Celotna bilanca vodovoda nad odvzemom vode. Pretoki Reke na merski postaji

Trnovo



Slika 4 • Zeleno: leto 2003, merjeni pretoki reke Reke v vodnem profilu Trnovo z izpusti in gibanjem zaloge vode v obeh akumulacijah, brez vodovoda. Modro: rezultati celotne vodne bilance vodovoda z odvzemom za vodovod pri Cerčvenikovem mlinu. Dosegljivi minimalni pretok Reke na 17 km dolgem odseku Reke od Cerčvenikovega mлина do postaje Trnovo je 0,735 m³/s.

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Janez Furlan, Dimenzioniranje elementov nosilne konstrukcije enostanovanjske zgradbe, mentor doc. dr. Jože Lopatič

Špela Drolc, Program za določanje potresne obtežbe v skladu z EVROKOD 8, mentor doc. dr. Matjaž Dolšek

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Miha Jaklič, Numerično iskanje optimalne oblike ploskovnih konstrukcij, mentor izr. prof. dr. Boštjan Brank, somentor izr. prof. dr. Marko Kegl

Miha Primožič, Umerjanje HBV modela za porečje reke Save v Sloveniji, mentor prof. dr. Mitja Brilly, somentor asist. dr. Mira Kobold

Luka Zelenik, Uporaba analitičnih metod za dimenzioniranje križišč v smislu zmanjšanja stroškov prometa, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor asist. mag. Robert Rijavec

Jaka Cunk, Uporaba elektrografije za oceno kvalitete vode, mentor izr. prof. dr. Boris Kompare, somentor prof. dr. Igor Jerman

Tina Bremec, Uporaba akustične tehnike na betonskih vzorcih, mentor doc. dr. Violeta Bokan – Bosiljkov, somentor dr. Aljoša Šajna

Andraž Hladnik, Matematično modeliranje toka v ribjem prehodu rečne hidroelektrarne, mentor izr. prof. dr. Matjaž Četina, somentor doc. dr. Andrej Širca

Primož Gabrijelčič, Račun masnih nihanj v vodostanu načrtovane hidroelektrarne Učja, mentor izr. prof. dr. Matjaž Četina, somentor asist. dr. Mario Krzyk

Rok Duhovnik, Ureditev suhega zadrževalnika ob reki Savinji pri Malih Braslovčah, mentor prof. dr. Matjaž Četina, somentor mag. Rok Fazarinc

Marko Bernik, Intelektualni kapital v gradbeni industriji, mentor doc. dr. Jana Šelih

Simona Štraus Kavšek, Gospodarjenje z voznimi površinami, mentor prof. dr. Janez Žmavc, somentor Julijana Jamnik

Damjan Golob, Vpliv vrste polimerne disperzije na mehanske in fizikalne lastnosti sanacijskih malt in betonov, mentor doc. dr. Violeta Bokan – Bosiljkov

Matjaž Dolenec, Dinamika nastajanja aktivnega blata na CČN Kranj, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor asist. dr. Mario Krzyk

Damjan Gerljevič, Možnost uporabe blata iz komunalnih ČN na kmetijskih površinah zgornje Vipavske doline, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor asist. dr. Mario Krzyk

MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Sašo Šantl, Makrokalibracija pri hidravličnem modeliranju vodooskrbnih sistemov, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor doc. dr. Primož Banovec

Dejan Hribar, Proučevanje in optimizacija zmesi kamnitih zrn, mentor prof. dr. Janez Žmavc, somentor doc. dr. Alojzij Juvanc

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Boštjan Repa, Tehnologija zidanja, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj
Borut Škruba, Projekt organizacije gradbišča za »Večstanovanjski blok Prebold«, mentor pred. Metka Zajc Pogorelnik

Milanja Goričan, Tehnološki postopek pridobivanja drobljenca za tampon v gramoznici Gradbenega podjetja Radlje in njegova uporaba, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj

Sabina Husanovič, Izgradnja stanovanjskega bloka v Račah s terminskim planom napredovanja del, mentor pred. Metka Zajc Pogorelnik, univ. dipl. inž. grad.

Simon Klisarič, Trietažna jeklena hala dimenzij 3 x 7 x 60 m iz jekla S 355 s tremi mostnimi žerjavi nosilnosti 50 kN, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Simon Šilih

Maja Kumer, Tehnologija proizvodnje agregata gramoznice Pleterje, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj

Daniel Lončar, Izbor optimalne konstrukcije jeklenega dvoetažnega okvirja hale razpona 30 m, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Simon Šilih

Mitja Mar, Jekleni nadvoz za kolesarje in pešce dolžine 16 m, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Simon Šilih

Matej Žnidaršič, Extradosed mostovi – Puhov most, mentor pred. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad., somentor Dušan Rožič, univ. dipl. inž. grad.

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Tomaž Kavnik, Viseči jekleni most razpona 70 m, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Simon Šilih

Matevž Kralj, Konstruiranje mostne konstrukcije s programom Allplan, mentor red. prof. dr. Branko Bedenik, somentorja pred. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad. in Samo Peter Medved, univ. dipl. inž. grad.

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA

Gregor Horvat, Organizacija in odziv gradbišča na nepredvidene spremembe v gradnji trgovsko gostinsko poslovnega objekta v Rušah, mentorja doc. dr. Uroš Klanšek in red. prof. dr. Anton Hauc

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

KOLEDAR PRIREDITEV

13.-15.2.2008

IT-Trans 2008 - International Conference and showcase

Karlsruher Messe und Kongress
Karlsruhe, Nemčija
maristella.angotzi@uitp.org
www.it-trans.org

9.-12.3.2008

GEOCongress 2008

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

New Orleans, Louisiana, ZDA
www.adsc-iafd.com/files/public/GeoCongress2008.pdf

21.-25.4.2008

TRA 2008

2nd Transport Research Arena (TRA)

Ljubljana, Slovenija
www.traconference.com

24.-26.4.2008

Structures 2008 Congress

Vancouver, Kanada
<http://content.asce.org/conferences/structures2008/index.html>

18.-21.5.2008

EM08

The Inaugural International Conference of the Engineering Mechanics Institute

Minneapolis, Minnesota, ZDA
www.cce.umn.edu/conferences/em08

18.-22.5.2008

GEESD IV

Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics Conference

Sacramento, Kalifornija, ZDA
<http://content.asce.org/conferences/geesd08/index.html>

19.-22.5.2008

Internationales fib-Symposium 2008

Amsterdam, Nizozemska
dick@betonvereniging.nl
www.fib2008amsterdam.nl

4.-6.6.2008

IABSE Conference

ICT for Bridges, Buildings and Construction Practice

Helsinki, Finska
www.iabse.org

30.6.-4.7.2008

10th International Symposium on Landslides and Engineered Slopes

Xi'an, Kitajska
www.landslide.iwhr.com

8.-10.7.2008

7th International Congress Concrete: Construction's Sustainable Option

Dundee, Škotska
www.ctucongress.co.uk

3.-5.9.2008

EUROSTEEL 2008

Gradec, Avstrija
www.eurosteel2008@tugraz.at

17.-19.9.2008

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

Chennai (Madras), Indija
www.befib2008.iitm.ac.in

24.-26.11.2008

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

Cape Town, Južna Afrika
www.civil.uct.ac.za/iccrrr

5.-9.10.2009

17th International Conference for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

Alexandria, Egipt
www.2009icsmge-egypt.org

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