





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

## Glavni in odgovorni urednik:

**prof. dr. Janez Duhovnik**

## Sodelavec pri MSG IZS:

**Jan Kristjan Juteršek**

## Lektor:

**Jan Grabnar**

## Lektorica angleških povzetkov:

**Darja Okorn**

## Tajnica:

**Anka Holobar**

## Oblikovalska zasnova:

**Mateja Goršič**

## Tehnično urejanje, prelom in tisk:

**Kočeovski 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 všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:  
 SI56 0201 7001 5398 955

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

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, marec 2009, letnik 58, str. 53-80

## Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

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

Uredništvo

# Vsebina • Contents

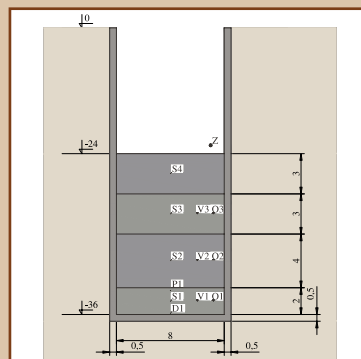
## Članki • Papers

stran **54**

Anka Ilc, univ. dipl. inž. grad.  
Gregor Trtnik, univ. dipl. inž. grad.  
izr. prof. dr. Igor Planinc, univ. dipl. inž. grad.  
prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad.

### TEMPERATURNA ANALIZA POSTOPNE GRADNJE MASIVNIH BETONSKIH KONSTRUKCIJ

THERMAL ANALYSIS OF SUCCESSIVE CONSTRUCTION OF MASS  
CONCRETE STRUCTURES



stran **62**

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

### EKOLOŠKO SPREJEMLJIVI NAJMANJŠI PRETOKI

ECOLOGICALLY ACCEPTABLE MINIMAL WATER DISCHARGE



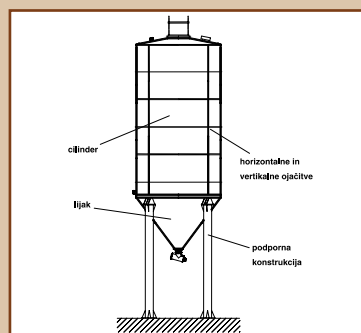
stran **70**

Simon Petrovčič, univ. dipl. inž. grad.  
izr. prof. dr. Werner Guggenberger, univ. dipl. inž.  
izr. prof. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž. grad.

### JEKLENI SILOSI ZA SIPKE MATERIALE:

1. DEL – VPLIVI PRI POLNJENJU IN PRAZNJENJU

STEEL SILOS FOR PARTICULATE SOLID MATERIALS:  
PART 1 – ACTIONS AT FILLING AND DISCHARGE



## Obvestila IZS

Vabilo na okroglo mizo na Megri

## Obvestila ZDGITS

Razpored strokovnih izpitov in pripravljalnih seminarjev

## Novi diplomanti

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

## Koledar prireditev

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

Slika na naslovnici: Poslovno stanovanjski objekt R5 v Ljubljani  
foto: David Rajšter dipl. inž. grad., oblikovanje: Robert Jenko, oba ELEA iC, Ljubljana

# TEMPERATURNANALIZA POSTOPNE GRADNJE MASIVNIH BETONSKIH KONSTRUKCIJ

## THERMAL ANALYSIS OF SUCCESSIVE CONSTRUCTION OF MASS CONCRETE STRUCTURES

**Anka Ilc, univ. dipl. inž. grad.**

Primorje, d. d., Vipavska cesta 3, 5270 Ajdovščina

**Gregor Trtnik, univ. dipl. inž. grad.**

IGMAT, d. d., Polje 351 c, 1000 Ljubljana

**izr. prof. dr. Igor Planinc, univ. dipl. inž. grad.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

**prof. dr. Goran Turk, univ. dipl. inž. grad.**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

**Znanstveni članek**

UDK: 624.012.4

**Povzetek** | V članku je prikazan nov numerični postopek za določanje temperatur strjujočega se betona pri masivnih betonskih konstrukcijah. Model je zasnovan na osnovi metode končnih elementov in omogoča relativno preprosto modeliranje postopne gradnje. Dobro ujemanje med numeričnimi in eksperimentalnimi rezultati temperatur strjujočega se betona pri masivnem armiranobetonskem vodnjaku dokazuje veliko natančnost in s tem primernost predstavljenega numeričnega postopka za analizo postopne gradnje vseh vrst masivnih betonskih konstrukcij.

**Summary** | A new numerical procedure for the prediction of temperature development in early age mass concrete structures is briefly presented. This model is implemented in the finite element code and enables modelling of successive construction. In order to analyze the adequacy of the model, temperature profile was both measured on site and calculated with the proposed numerical model. Calculated results are in good agreement with the experimentally determined temperature profile. Therefore, the presented numerical procedure can be effectively used to model the temperature development in mass concrete structures.

### 1 • UVOD

Sproščanje hidratacijske toplote med strjevanjem betona pri gradnji večine gradbenih konstrukcij ne povzroča večjih težav, nasprotno pa lahko pri masivnih betonskih konstrukcijah zaradi oteženega odvajanja sproščene hidratacijske toplote povzroča pregrevanje

betona in posledično nezaželene poškodbe. Tehnološki postopki gradnje masivnih betonskih konstrukcij zato pogosto zahtevajo postopno gradnjo z manjšimi betonskimi bloki oziroma sloji, kar tovrstne poškodbe prepreči.

Zaradi pomembnosti masivnih betonskih konstrukcij v gradbeništvu zasledimo v literaturi številne raziskave, ki se ukvarjajo s temperaturno analizo tovrstnih konstrukcij in s tem povezanimi pojavi. Raziskave lahko razdelimo v dve glavni skupini. V prvo uvrščamo raziskave o kemijskih in fizikalnih lastnostih betona med strjevanjem ((Hakarai, 2007), (Ishida, 2007), (Scherer, 2007), (Snelson, 2008)), drugo skupino pa predstavljajo numerični

postopki za temperaturno analizo betona med strjevanjem oziroma med gradnjo. Z razvojem računalništva dobivajo te raziskave vse večji pomen. Glede na uporabljeno numerično metodo za reševanje osnovne enačbe prevajanja toplote v trdni snovi ločimo numerične metode, zasnovane na diferencialni metodi ((Turk, 1991), (Ballim, 2004)) oziroma na metodi končnih elementov ((Turk, 1991), (Tanabe, 1985), (Hue, 2000), (Faria, 2006)). Glavna pomanjkljivost teh raziskav je v tem, da razviti numerični postopki ne omogočajo določitve temperatur strjujočega se betona pri postopni

gradnji masivnih betonskih konstrukcij, kar je ena od pomembnih značilnosti gradnje tovrstnih konstrukcij.

V članku prikazujemo nov numerični postopek za določitev temperatur strjujočega se betona pri postopni gradnji masivnih betonskih konstrukcij. Novost prikazanega postopka, ki je zasnovan na metodi končnih elementov, je v postopnem vključevanju novih končnih elementov v globalno mrežo. S primerjavo med numeričnimi in eksperimentalnimi rezultati temperatur strjujočega se betona pri postopni gradnji masivnega

armiranobetonskega vodnjaka smo analizirali natančnost in s tem ustreznost predstavljenega numeričnega postopka za analizo postopne gradnje masivnih betonskih konstrukcij. Dodatno smo s tem postopkom določili optimalni režim gradnje armiranobetonskega masivnega vodnjaka. Optimalne debeline betonskih slojev vodnjaka in časovni presledek med betoniranjem le-teh smo določili z upoštevanjem zahtevanih temperaturnih omejitev skladno s prEN 13670:2007 oziroma drugimi dostopnimi eksperimentalnimi rezultati.

## 2 • TEORETIČNE OSNOVE

Časovno spreminjanje temperatur v strjujočem se betonu pri postopni gradnji masivne betonske konstrukcije določimo z rešitvijo znane Fourierove parcialne diferencialne enačbe prevajanja toplote v trdni snovi:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q. \quad (1)$$

Enačbo (1) rešimo z upoštevanjem naslednjih robnih in začetnih pogojev:

$$k_x \frac{\partial T}{\partial x} n_x + k_y \frac{\partial T}{\partial y} n_y + k_z \frac{\partial T}{\partial z} n_z + h(T - T_A) + \sigma e(T^4 - T_R^4) = 0, \quad (2)$$

$$T(x, y, z, t) = T_B(t), \quad (3)$$

$$T(x, y, z, 0) = T_0(x, y, z), \quad (4)$$

kjer sta  $\rho$  in  $c_p$  gostota in specifična toplota betona,  $k_x$ ,  $k_y$  in  $k_z$  pa so toplotne prevodnosti betona v smereh  $x$ ,  $y$  in  $z$ . V enačbah (1–4) je  $T = T(x, y, z, t)$  temperatura betona pri času  $t$ ,  $Q$  pa je sproščena hidratacijska toplota betona, ki jo določimo na osnovi adiabatskega preizkusa. V enačbi (2) so  $n_x$ ,  $n_y$  in  $n_z$  označene komponente vektorja normale na robno ploskev,  $T_A$  je temperatura okolice,  $h$  prestopni koeficient zraka,  $T_R$  temperatura

sevajočih teles v okolici obravnavane konstrukcije,  $\sigma$  Stefan – Boltzmanova konstanta, in  $e$  emisivnost sevajoče površine.  $T_B$  v enačbi (3) je predpisana temperatura na površini betonskega elementa,  $T_0$  v enačbi (4) pa je začetna temperatura betona.

Skladno z metodo končnih elementov lahko enačbo (1) zapišemo v diskretizirani obliki (Cook, 1989):

$$\mathbf{Kt} + \mathbf{Ct}_t = \mathbf{f}, \quad (5)$$

kjer so  $\mathbf{K}$ ,  $\mathbf{C}$  in  $\mathbf{f}$  globalna prevodnostna matrika, globalna kapacitetna matrika in globalni vektor desnih strani,  $\mathbf{t}$  je vektor vozliščnih temperatur,  $\mathbf{t}_t$  pa vektor časovnih odvodov vozliščnih temperatur.

Sproščeno toploto  $Q_a(t)$  v adiabatskih razmerah določimo na osnovi adiabatske krivulje  $T_a(t)$  z enačbo:

$$Q_a(t) = T_a(t) \rho c_p. \quad (6)$$

V literaturi zasledimo različne enačbe za določitev adiabatske krivulje ((Morabito, 2001), (Ammar, 1973), (Van Breugel, 1997)). V prikazanem numeričnem postopku za analizo postopne gradnje masivnih betonskih konstrukcij izberemo za adiabatsko krivuljo krivuljo sigmoidne oblike (Ammar, 1973):

$$T_a(t) = a + b \cdot e^{-(c/t)^d}, \quad (7)$$

kjer so  $a$ ,  $b$ ,  $c$  in  $d$  materialni parametri. Določimo jih z metodo najmanjših kvadratov za vsako betonsko mešanico posebej.

Ker v naravnem okolju adiabatskih pogojev običajno ni, moramo količino sproščene hidratacijske toplote betona ustrezno popraviti. S tem namenom vpeljemo zrelostno funkcijo  $f_A$ , s katero v analizi upoštevamo vpliv temperature in časa na sproščanje hidratacijske toplote. V svojem modelu smo uporabili Arrheniusovo zrelostno funkcijo, ki jo določa enačba:

$$f_A(T, Q_a) = \exp \left( -\frac{E_A}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{\left( \frac{Q_a}{\rho c_p} \right) + T_0^a} \right) \right). \quad (8)$$

V enačbi (8)  $R$  predstavlja plinsko konstanto ( $R = 8,315 \text{ J/mol K}$ ),  $E_A$  je aktivacijska energija,  $T_0^a$  pa začetna temperatura betona pri adiabatskem preizkusu. Količino sproščene hidratacijske toplote v betonski konstrukciji lahko tako izrazimo z enačbo:

$$Q = f_A Q_a. \quad (9)$$

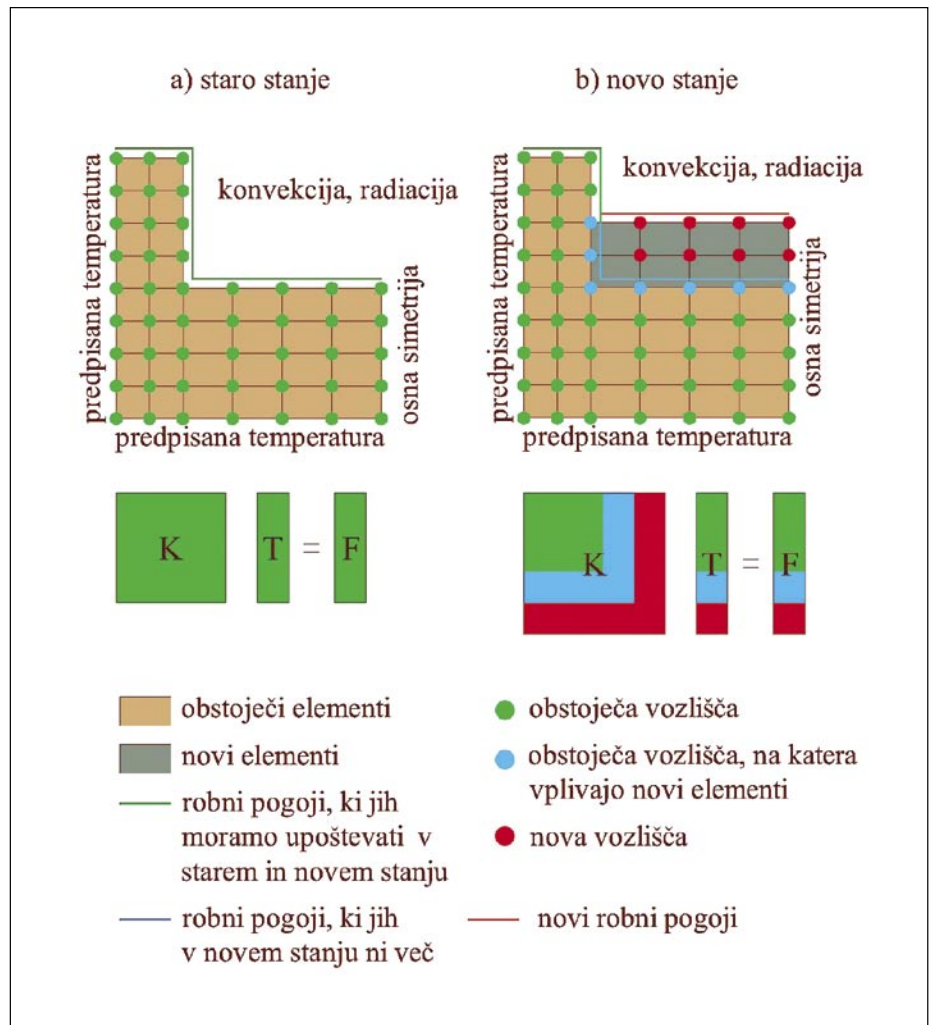
Temperatura strjujočega se betona pri masivnih betonskih konstrukcijah je v veliki meri odvisna od postopne gradnje masivnih blokov. Zato smo razvili numerični model s pripadajočim računalniškim programom, s katerim s podajanjem začetnega in končnega časa aktivnosti posameznega končnega elementa in ustreznih robnih pogojev relativno preprosto modeliramo postopno gradnjo. Bistveni operaciji, ki jih mora računalniški program izvajati za modeliranje postopne gradnje, sta dodajanje in odzemanje končnih elementov, vozlišč in robnih pogojev v globalni mreži končnih elementov.

Ko se v nekem časovnem koraku zaradi postopne gradnje pojavi nov končni element, ga mora program dodati v globalno mrežo končnih elementov, kar shematsko prikazujemo na sliki 1. Tedaj program preveri, če novi element vključuje nova vozlišča. Če jih vključuje, se začetne temperature teh vozlišč dodajo v globalni sistem enačb kot nove prostostne stopnje. Novi končni element s podano začetno temperaturo vozlišč ne vpliva samo na nova vozlišča, ampak tudi na že obstoječa. V vozliščih, kjer je novi končni element v stiku z že obstoječimi, se temperatura izračuna kot obteženo povprečje, kjer je utež toplotna vdornost snovi  $b$  (Kladnik, 1983). V pravokotni mreži dvodimenzionalnih končnih elementov se lahko stikajo največ štiri elementi. Temperaturo skupnega vozlišča  $T$  v tem primeru izračunamo z enačbo:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{n_v} b_i T_i}{\sum_{i=1}^{n_v} b_i}, \quad b_i = \sqrt{\lambda_i \rho_i c_{pi}}, \quad (10)$$

kjer je  $T_i$  temperatura obravnavanega vozlišča  $i$ -tega končnega elementa,  $b_i$ ,  $\lambda_i$ ,  $\rho_i$  in  $c_{pi}$  pa so toplotna vdornost, toplotna prevodnost, gostota in specifična toplota  $i$ -tega elementa ( $i = 1 \dots n_v$ ). Z  $n_v$  smo označili število elementov, ki imajo skupno obravnavano vozlišče. V večini primerov je  $n_v$  enako 4, lahko pa je tudi 2 ali 3.

Na sliki 1 so z zeleno barvo označena vozlišča, ki so aktivna ves čas analize, z rdečo pa tista, ki so postala aktivna po vključitvi novih elementov. Z modro barvo so označena vozlišča, ki so bila pred dodajanjem novih elementov na robu, ob vključitvi novih elementov pa moramo njihovo temperaturo določiti po enačbi (10). Ob vključitvi novih končnih elementov postanejo nekateri zunanji robovi meje med



Slika 1 • Shematski prikaz dodajanja novih končnih elementov v globalno mrežo končnih elementov

elementi (modra črta), zato tam robnih pogojev ne moremo predpisati, nove robné pogoje pa dobimo na zunanjih robovih novih elementov (rdeča črta).

Pomembna prednost prikazanega postopka za modeliranje postopne gradnje je tudi v

tem, da poleg dodajanja novih končnih elementov v globalno mrežo omogoča tudi njihovo odstranjevanje. To bi na primer lahko uporabili za modeliranje toplotne izolacije ali pa opaža, ki ga seveda po nekem času odstranimo.

### 3 • PRIMERJAVA MED EKSPERIMENTALNIMI IN NUMERIČNIMI REZULTATI

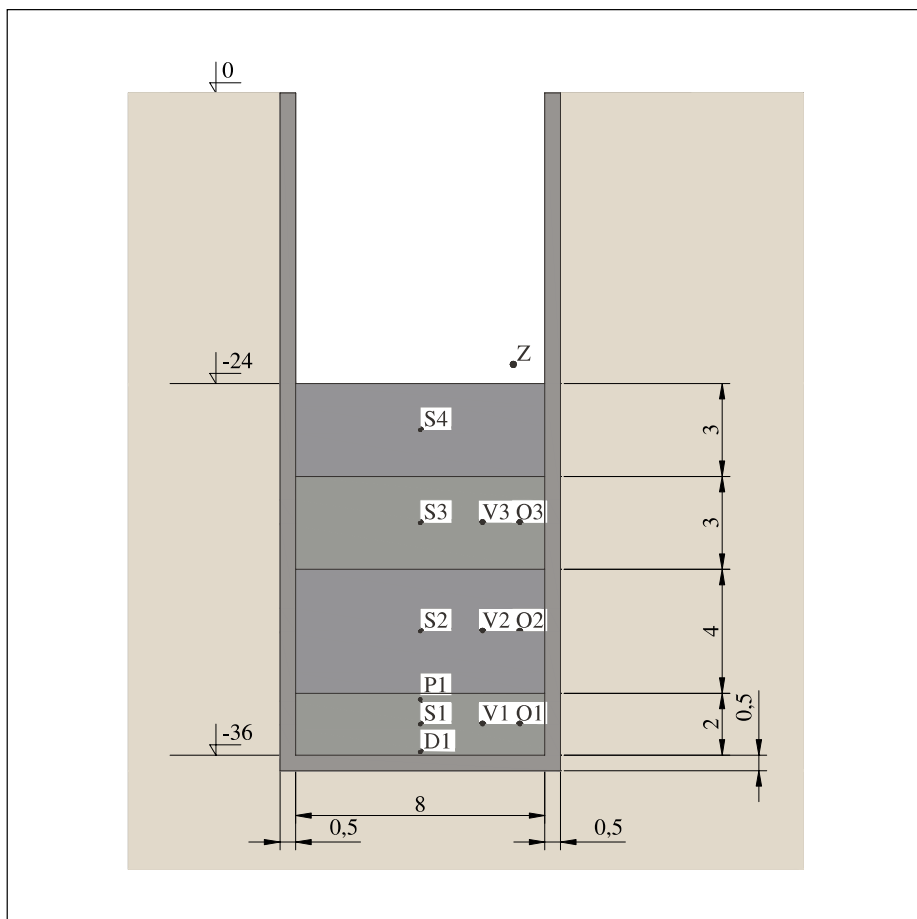
#### 3.1 Meritve

Pri gradnji odseka hitre ceste Vipava–Razdrto preko pobočja Rebernice so bili kot temelji hitre ceste pri premoščanju plazovitega območja zgrajeni trije masivni armiranobetonski vodnjaki. Vodnjake s premerom 8 m in globino približno 40 m s približno pol metra debelim armiranobetonskim opažem (slika 2) so gradili po slojih.

Za zagotavljanje ustrezne kvalitete vgrajenega betona je bilo potrebno med gradnjo skladno s tehnološkim elaboratom določiti najvišje temperature strjujočega se betonu. Tako se je med gradnjo vodnjakov z ustrezno eksperimentalno opremo in računalniško podporo merilo časovni potek temperatur strjujočega se betona v spodnjih štirih slojih enega izmed vodnjakov. Debeline betonskih slojev in razporeditev merskih

točk prikazujemo na sliki 2. Poleg merjenja temperatur betona v 12 točkah je bila merjena tudi temperatura zraka, vedno pol metra nad trenutno najvišjim slojem.

Betoniranje prvih štirih slojev je potekalo 23. 6., 3. 7., 15. 7. in 22. 7. 2008, temperature pa so bile z nekaj prekinitvami merjene med 23. 6. in 25. 7. 2008, torej v poletnem času. Zaradi omejenega števila merilnih kanalov uporabljenega merilnega inštrumenta se je merjenje v nekaterih merskih točkah spodnjih slojev opuščalo, kar je omogočilo meritve temperatur v zgornjih slojih.



Slika 2 • Geometrijski podatki masivnega armiranobetonskega vodnjaka ter lege merskih točk z ustreznimi oznakami

Rezultate meritev prikazujemo na slikah 4 do 6. Na slikah vidimo, da je bila najvišja temperatura skladno s pričakovanji izmerjena v drugem, najdebelejšem sloju, pričakovano pa so bile izmerjene temperature v prvem, najtanjšem sloju najnižje. Hkrati pa te slike kažejo tudi vpliv postopne gradnje na časovno razporeditev temperatur betonskih slojev. Vidimo, da se po vgradnji drugega (najdebelejšega) sloja temperatura v prvem sloju zopet poviša, medtem ko vgradnja naslednjih 3 m debelih slojev nima bistvenega vpliva na razporeditev temperatur predhodnih slojev.

### 3.2 Numerični postopek in določitev materialnih parametrov

Kot smo že povedali, določimo temperaturo v strujočem se betonu pri masivnih beton- skih konstrukcijah z metodo končnih elemen-

tov. Glede na obliko vodnjakov smo v analizi uporabili osnosimetrične izoparametrične končne elemente z dvotočkovno Gaussovo ploskovno integracijsko shemo. Temperature v vozliščih končnih elementov smo zaradi relativno dolgega obdobja merjenja računali na vsako uro. Za časovno integracijo smo izbrali znano Galerkinovo metodo, znotraj vsakega časovnega koraka pa smo reševali diskretizirane enačbe prevajanja toplote iterativno z natančnostjo  $10^{-6}$  °C.

Začetna temperatura betona je nihala med 21 °C (prvi in četrti sloj) in 26 °C (drugi sloj). Poleg samega vodnjaka je bilo v numerični model vključeno še 3 m široko območje tal v okolici, ki ima na robu predpostavljeno konstantno temperaturo 12 °C, kar približno ustreza temperaturi tal na globini, do katere

ne seže letno nihanje temperature. Na delih betonskih slojev, ki so bili izpostavljeni zraku, je bil prehod toplote modeliran s konvekcijo in radiacijo. Temperatura zraka je bila z manjšimi odstopanji približno 15 °C. Za prestopni koeficient zraka smo izbrali vrednost  $100.000 \text{ J/h m}^2 \text{ °C}$ , kar ustreza relativno mirnemu ozračju na dnu vodnjaka, za emisivnost betona pa vrednost 0,94.

Ker ostali, za numerični postopek potrebni materialni parametri niso bili izmerjeni, smo v analizi za te predpostavili značilne vrednosti, ki se v analizah običajno uporabljajo. Prikazujemo jih v preglednici 1. Zaradi precej mokrih tal v okolici vodnjaka smo za zemljino predpostavili nekoliko višjo vrednost specifične toplote.

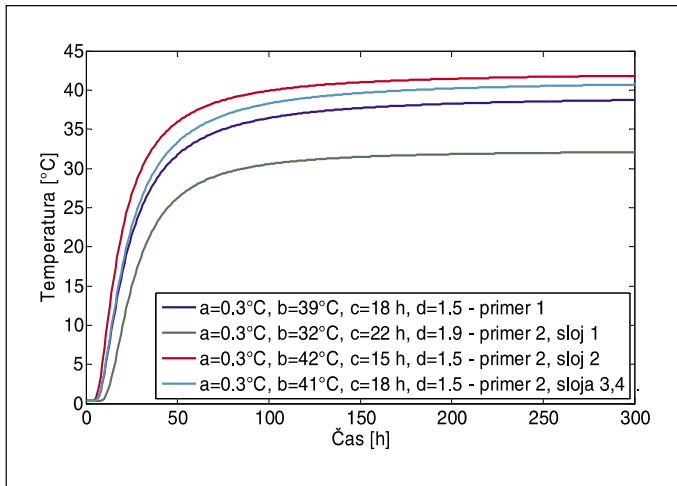
Ker adiabatsni preizkusi vgrajenih betonov vodnjaka niso bili narejeni, smo vrednosti parametrov adiabatsne krivulje in aktivacijske energije smiselno predpostavili oziroma ocenili na podlagi izmerjenih temperatur v notranjosti betonskih slojev. Za vrednost aktivacijske energije smo izbrali  $44500 \text{ J/mol}$  (Schindler, 2002). Ker so meritve pokazale, da so izmerjene temperature betonskih slojev različne, smo masivni armiranobetonski vodnjak analizirali na dva načina: pri prvem smo predpostavili enako adiabatsno krivuljo za vse sloje, pri drugem pa različne. Te smo določili tako, da se kar najbolj prilagodijo meritvam temperatur v sredini ustreznih betonskih slojev. Pri analizi masivnega armiranobetonskega vodnjaka z enako adiabatsno krivuljo v vseh slojih smo adiabatsno krivuljo določili s povprečjem adiabatsnih krivulj posameznih slojev. Vse uporabljene adiabatsne krivulje prikazujemo na sliki 3.

### 3.3 Primerjava med eksperimentalnimi in numeričnimi rezultati

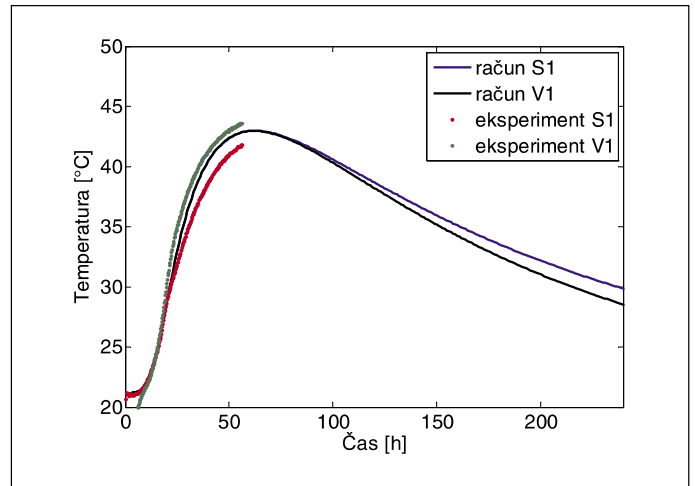
V prvem in tretjem sloju obravnavanega masivnega armiranobetonskega vodnjaka so izmerjene temperature v vmesnih merskih točkah (V) za 2 do 3 °C višje od izmerjenih temperatur v središčnih merskih točkah (S) (slika 4). To je seveda nepričakovano, saj v vsakem sloju merski točki z oznakama V in S ležita na isti višini, pri čemer je točka S v središču sloja, točka V pa na razdalji 2 m od središča (slika 2). Ker se tudi izračunane temperature v obeh merskih točkah na časovnem intervalu od začetka gradnje pa do nastopa najvišje temperature praktično ne razlikujejo (slika 4), lahko sklepamo, da je razlika izmerjenih temperatur v merskih točkah S in V najverjetneje posledica nehomogenosti vgrajenega betona oziroma napak meritev. Zato v

Material	$k \text{ (J/m h °C)}$	$c \text{ (J/kg °C)}$	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$
Beton	9000	1000	2400
Zemljina	5000	1500	1460

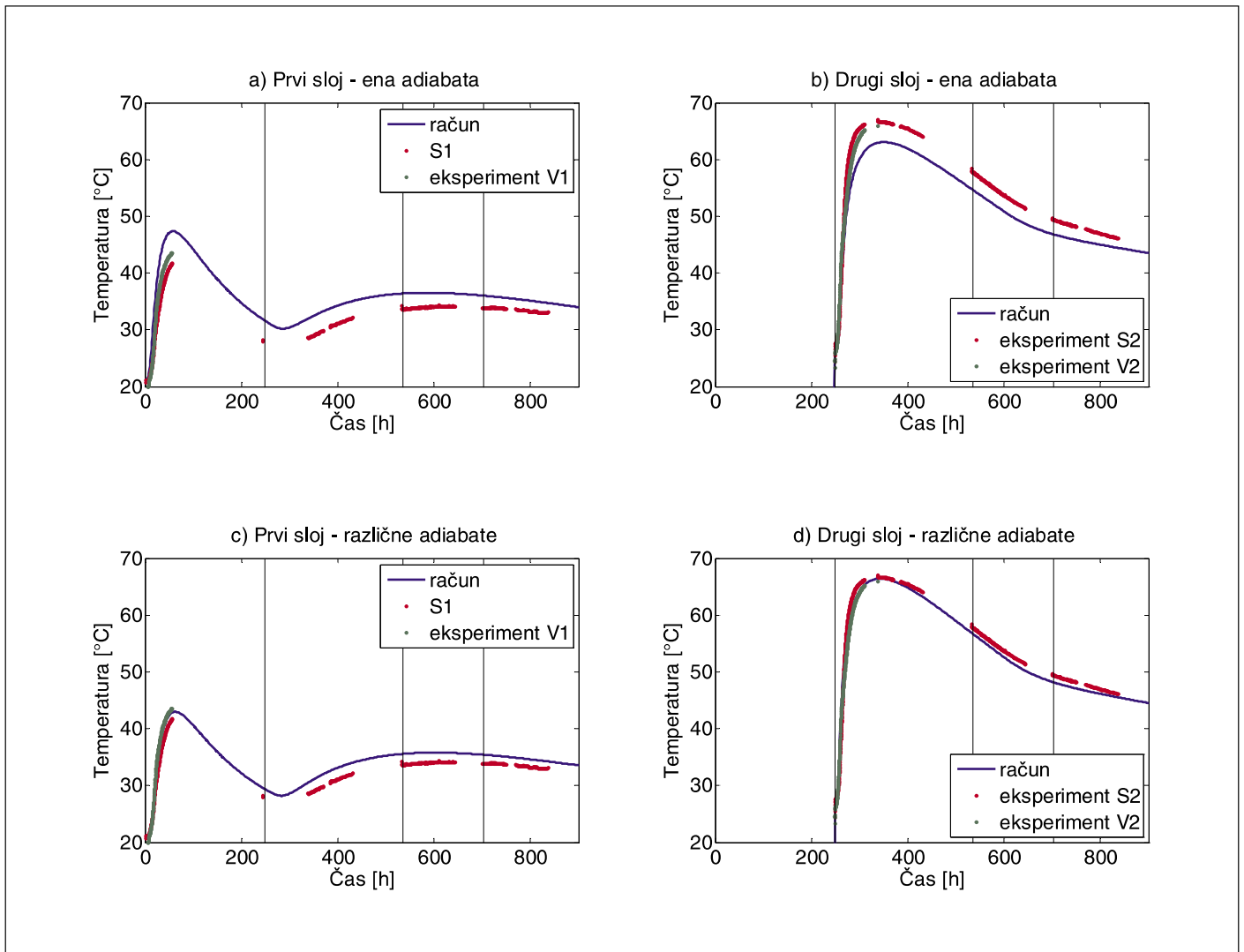
Preglednica 1 • Izbrani materialni parametri betona in zemljine



Slika 3 • Uporabljene adiabatne krivulje



Slika 4 • Primerjava med izmerjenimi in izračunanimi temperaturami v merskih točkah S1 in V1 ob upoštevanju različnih adiabatnih krivulj posameznih slojev



Slika 5 • Primerjava med izmerjenimi in izračunanimi temperaturami v središčnih merskih točkah betonskih slojev za račun z upoštevanjem enakih oziroma različnih adiabatnih krivulj v posameznih slojih



nadaljevanju izmerjene temperature v merskih točkah S in V primerjamo le z izračunanimi temperaturami v točki S.

Na sliki 5 prikazujemo primerjavo med izmerjenimi in izračunanimi temperaturami v središčnih merskih točkah v prvem in drugem sloju. Vidimo, da z uporabo enake adiabatne krivulje za vse sloje masivnega armiranobetonskega vodnjaka izračunamo v prvem sloju za okoli 3 °C previsoke temperature, v zadnjih treh slojih pa za okoli 3 °C prenizke (sliki 5a in 5b). Ker vgrajeni betoni verjetno niso imeli povsem enakih lastnosti v vseh slojih, smo v nadaljevanju analizo ponovili še z uporabo različnih adiabatnih krivulj za posamezne sloje. Rezultate te analize prikazujemo na

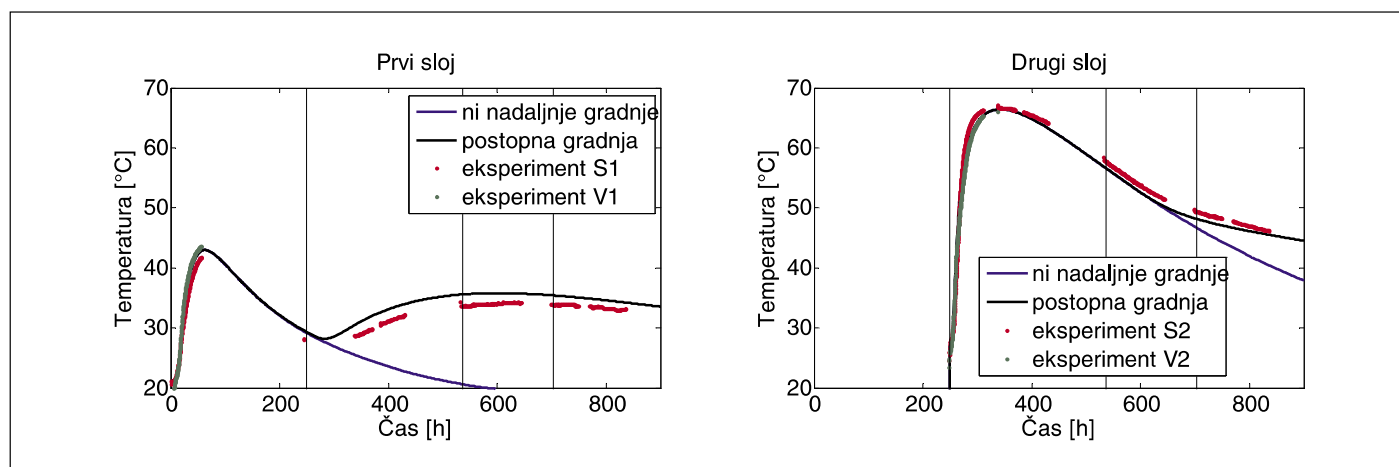
slikah 5c in 5d. Po pričakovanjih smo sedaj dobili boljše ujemanje med izmerjenimi in izračunanimi temperaturami. Boljše ujemanje temperatur pa opazimo tudi v ostalih merskih mestih betonskega sloja.

### 3.4 Vpliv postopne gradnje na časovno razporeditev temperatur v betonskih slojih

Zaradi sproščanja hidratacijske toplote v betonu višje ležečega sloja se spremeni tudi temperatura spodnjega sloja (slika 5). Na sliki 5 vidimo, da se po betoniranju drugega sloja temperatura v prvem sloju ponovno poveša. Sproščena hidratacijska toplota v drugem sloju namreč s prevajanjem toplote segreje prvi (spodnji) sloj, hkrati pa dovedena hid-

ratacijska toplota pospeši proces hidratacije cementa v zgornji polovici prvega sloja. Na enak način tudi drugi, višje ležeči sloji vplivajo na nižje ležeče sloje. Ker so v obravnavanem masivnem armiranobetonskem vodnjaku ti sloji debelejši, ta vpliv ni tako izrazit.

Na sliki 6 prikazujemo primerjavo med izračunanimi in izmerjenimi temperaturami betonskih slojev pri postopni gradnji. Na sliki opazimo odlično ujemanje rezultatov, kar potrjuje primernost predstavljenega numeričnega postopka za analizo postopne gradnje masivnih betonskih konstrukcij. Za primerjavo prikazujemo na sliki 6 tudi temperaturo v betonskih slojih v primeru, če postopne gradnje vodnjaka v analizi ne bi upoštevali.



Slika 6 • Primerjava med izračunanimi in izmerjenimi temperaturami pri postopni gradnji in v primeru, če postopne gradnje v analizi ne bi upoštevali. (a) Primerjava rezultatov v prvem in (b) v drugem sloju vodnjaka.

## 4 • IZBIRA USTREZNIH DEBELIN SLOJEV IN ČASOVNEGA PRESLEDKA MED BETONIRANJI

### 4.1 Zahteve glede dovoljenih najvišjih temperatur in temperaturnih gradientov

Eksperimentalno je dokazano, da se pri temperaturah betona nad 70 °C zmanjša tlačna trdnost betona in poveča njegova poroznost (glej prEN 13670:2007). Tako v članku optimalno razmerje med debelinami betonskih slojev obravnavanega masivnega armiranobetonskega vodnjaka in časovnimi presledki med betoniranjem le-teh (v nadaljevanju optimalni režim gradnje) določimo glede na dovoljeno najvišjo temperaturo v betonu, ki znaša 70 °C. Ker poleg previsokih temperatur poškodbe betona povzročajo tudi previsoki temperaturni gradienti, določimo optimalni režim gradnje vodnjaka tudi glede na dovoljeni najvišji temperaturni gradient, ki je skladno z eksperimentalnimi podatki 25 °C/50 cm.

### 4.2 Vpliv debeline betonskih slojev in časovnih presledkov med betoniranjem le-teh na temperaturo betonskih slojev

Na optimalni režim gradnje poleg tehnoloških zahtev bistveno vplivajo tako same debeline betonskih slojev kot tudi časovni presledek med betoniranjem le-teh in s tem povezana temperatura betonskih slojev. Ta vpliv določimo s predstavljenim numeričnim postopkom postopne gradnje. Rezultate analize prikazujemo v preglednici 2, in sicer za debeline slojev od enega do štirih metrov ter za enodnevne, dvodnevne, štiridnevne in sedemdnevne časovne presledke med betoniranjem slojev. Vse prikazane rezultate smo izračunali z uporabo povprečne adiabatne krivulje (primer 1 na sliki 3), začetno temperaturo betona 25 °C in s temperaturo zraka 15 °C.

V preglednici 2 vidimo, da najvišja temperatura v nobenem primeru ne preseže najvišje dovoljene temperature 70 °C. Ta ni bila vedno v središču betonskega sloja, pri hitri postopni gradnji je bila lahko tudi nižje. Pri daljših časovnih presledkih med gradnjo slojev je bila najvišja temperatura dosežena kmalu po vgradnji betona, pri krajših časovnih presledkih pa po vgradnji naslednjega ali pa katerega od nadaljnjih slojev.

Kot vidimo v preglednici 2, so bili v vseh primerih kritičnejši temperaturni gradienti. Skladno s pričakovanji so se najvišji temperaturni gradienti pojavili na površini betonskega sloja na stiku z zrakom približno 36 ur po vgradnji betona. V bližini stika z zemlino so bili temperaturni gradienti manjši in nikjer niso presegli 20 °C/50 cm. Tako lahko sklepamo, da bi v tem letnem času lahko gradili večje betonske bloke in s tem bistveno povečali hitrost gradnje masivnih betonskih konstrukcij, če bi zgornjo površino betonskega sloja vsakič za nekaj dni po betoniranju toplotno izolirali.

Časovni presledki (dan)	7	4	2	1
Debelina plasti 4 m				
Najvišja temperatura (°C)	61,34	61,42	61,85	62,43
Najvišji temperaturni gradient (°C/50 cm)	25,3	25,3	25,3	25,3
Debelina plasti 3 m				
Najvišja temperatura (°C)	59,0	59,3	60,2	61,5
Najvišji temperaturni gradient (°C/50 cm)	25,3	25,3	25,3	25,3
Debelina plasti 2 m				
Najvišja temperatura (°C)	54,4	55,4	56,9	60,4
Najvišji temperaturni gradient (°C/50 cm)	25,00	25,05	25,07	25,11
Debelina plasti 1 m				
Najvišja temperatura (°C)	42,0	44,1	47,9	57,4
Najvišji temperaturni gradient (°C/50 cm)	20,5	22,2	24,0	25,3

Preglednica 2 • Najvišje temperature in najvišji temperaturni gradient betonskega sloja v odvisnosti od debeline sloja in časovnih presledkov med betoniranjem slojev

Debelina sloja (m)	Časovni presledek (dan)	Število slojev	Čas gradnje* (dan)	Najvišja temperatura (°C)	Najvišji temperaturni gradient (°C/50 cm)
2,0	7	20	134	54,4	25,0
1,5	3	27	79	52,3	24,9
1,0	2	40	79	50,2	24,0

\* Kot konec gradnje vodnjaka izberemo pričetek betoniranja zadnjega sloja.

Preglednica 3 • Optimalni režim gradnje masivnega armiranobetonskega vodnjaka

Iz preglednice 2 lahko tudi ugotovimo, da je vpliv sosednjih slojev na debelejšje sloje minimalen, saj je najvišja temperatura v štiri metre debelem sloju praktično enaka, ne glede na to, ali novi sloj zabetoniramo po enem tednu ali enem dnevu. Pri debelejših slojih razmerje

med površino plašča in površino osnovnih ploskev masivnega sloja (valja) narašča, zato se betonski valj bolj hladi skozi plašč, posledično pa ima postopna gradnja na razporeditev temperatur manjši vpliv. Hkrati pa se v debelejših betonskih slojih v notra-

		Najvišja temperatura (°C)	Najvišji temperaturni gradient (°C/50 cm)
Začetna temperatura betona (°C)	20	48,1	21,1
	25	52,3	24,9
	30	57,4	29,2
	35	62,9	34,1
Temperatura zraka (°C)	10	50,9	27,2
	15	52,3	24,9
	20	53,1	22,6
Prestopni koeficient zraka (J/(m <sup>2</sup> °Ch))	50000	53,1	23,1
	100000	52,3	24,9
	200000	51,6	26,2

Preglednica 4 • Parametrična študija vpliva značilnih parametrov na najvišjo temperaturo in najvišji temperaturni gradient pri postopni gradnji masivnega armiranobetonskega vodnjaka

njosti vzpostavijo skoraj adiabatske razmere in višje temperature, kot jih določajo adiabatske krivulje, niso možne.

#### 4.3 Optimalni režim gradnje masivnega armiranobetonskega vodnjaka

V tem poglavju določimo optimalni režim gradnje obravnavanega masivnega armiranobetonskega vodnjaka. Tega določimo s hkratnim spreminjanjem debeline betonskih slojev in časovnih presledkov med betoniranjem teh slojev ob upoštevanju najvišje dovoljene temperature in najvišjega dovoljenega temperaturnega gradienta. Opozorimo pa, da na optimalni režim gradnje vodnjakov vplivajo tudi druge tehnološke zahteve, ki jih v članku ne upoštevamo. Glede na rezultate analiz v prejšnjem poglavju ugotovimo, da je v obravnavanem masivnem armiranobetonskem vodnjaku dovoljena postopna gradnja z največ 2 m debelimi sloji. Tako v nadaljevanju optimizacije režima gradnje vodnjaka v preglednici 3 prikazujemo optimalne časovne presledke betoniranja betonskih slojev vodnjaka le za 2 m, 1,5 m in 1 m debele sloje. Rezultati v preglednici 3 kažejo, da je optimalni (najkrajši) čas gradnje obravnavanega masivnega armiranobetonskega vodnjaka 79 dni. Tega dosežemo s postopnim betoniranjem tako 1,5 m kot 1 m debelih betonskih slojev. Pri postopni gradnji z 1,5 m debelimi sloji je časovni presledek med betoniranjem 3 dni, pri 1 m debelih slojih pa 2 dneva.

#### 4.4 Vpliv značilnih parametrov na temperaturo betonskega sloja

V tem poglavju analiziramo vpliv začetne temperature betona, temperature zraka in prestopnega koeficienta zraka na časovno in krajevno razporeditev temperatur v masivnih betonskih konstrukcijah, saj se običajno vrednosti teh parametrov v naravi bistveno razlikujejo od projektnih. Parametrično študijo prikazujemo za primer gradnje masivnega armiranobetonskega vodnjaka z 1,5 m debelimi sloji in tridnevni časovni presledki med betoniranjem le-teh (preglednica 4).

Iz rezultatov v preglednici 4 vidimo, da začetna temperatura betona pomembno vpliva na najvišjo temperaturo in najvišji temperaturni gradient v masivnem armiranobetonskem vodnjaku.

Še bolj nepredvidljiva od začetne temperature betona sta temperatura zraka in njegov prestopni koeficient. Tako je temperatura zraka na dnu vodnjaka skoraj konstantna, medtem ko je pri vrhu vodnjaka, kjer se že čuti vpliv vremenskih sprememb, precej spremenljiva. Podobno velja tudi za prestopni koeficient zra-

ka. Iz rezultatov v preglednici 4 lahko vidimo, da temperatura zraka in prestopni koeficient zraka sicer ne vplivata bistveno na najvišjo

temperaturo betona, imata pa velik vpliv na najvišji temperaturni gradient ob zgornji izpostavljeni površini betonskega sloja. Višja

temperatura zraka in nižji prestopni koeficient vplivata ugodno, nižja temperatura in višji prestopni koeficient pa neugodno.

le-teh ob pogojih, da najvišje temperature betona niso višje od dovoljenih skladno s prEN 13670:2007 ter da istočasno najvišji temperaturni gradienti niso višji od 25 °C/50 cm. S parametričnimi študijami smo ugotovili, da je za 40 m globok vodnjak s premerom 8 m najkrajši čas gradnje 79 dni. Teža dosežemo tako z 1,5 m debelimi betonskimi sloji in tridnevnimi časovnimi presledki med betoniranjem le-teh kot tudi z 1 m debelimi sloji in dvodnevnimi časovnimi presledki.

## 5 • SKLEP

V članku smo predstavili nov numerični postopek za določanje temperatur strjujočega se betona pri postopni gradnji masivnih betonskih konstrukcij. S primerjavo med eksperimentalnimi in izračunanimi temperaturami masivnega armiranobetonskega vodnjaka smo ugotovili, da je predstavljen numerični postopek zelo natančen in kot tak primeren za

analizo postopne gradnje vseh vrst masivnih betonskih konstrukcij.

V nadaljevanju smo s predstavljenim numeričnim postopkom določili optimalni režim gradnje masivnega armiranobetonskega vodnjaka. Teža smo določili s hkratnim spreminjanjem debeline slojev vodnjaka in časovnega presledka med betoniranjem

## 6 • ZAHVALA

Raziskavo sta financirala Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada in Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo RS v sklopu projekta Mladi raziskovalci iz gospodarstva.

## 7 • LITERATURA

- Ammar, C., Duftron, P., Motteu, H., Dubois, J., La progression des betons et des mortiers par basses temperatures, C.S.T.C. – C.R.I.C. – SECO, Bruxelles, 1973.
- Ballim, Y., A numerical model and associated calorimeter for predicting temperature profiles in mass concrete, *Cement and Concrete Composites* 26, 5, 695–703, 2004.
- Cook, R. D., Malcus, D. S., Plesha, M. E., Concepts and applications of finite element analysis, John Wiley & Sons, 1989.
- Faria, R., Azenha, M., Figueiras, J. A., Modelling of concrete at early ages, Application to an externally restrained slab, *Cement and Concrete Composites* 28, 6, 572–585, 2006.
- Hakarai, K., Ishida, T., Kishi, T., Maekawa, K., Enhanced thermodynamic analysis coupled with temperature-dependent microstructures of cement hydrates, *Cement and Concrete Research* 37, 2, 139–150, 2007.
- Hue, F., Serrano, G., Bolano, J. A., Oresund Bridge. Temperature and cracking control of the deck slab concrete at early ages, *Automation in Construction* 9, 5–6, 437–445, 2000.
- Ishida, T., Maekawa, K., Kishi, T., Enhanced modelling of moisture equilibrium and transport in cementitious materials under arbitrary temperature and relative humidity history, *Cement and Concrete Research* 37, 4, 565–576, 2007.
- Kladnik, R., Nestacionarni temperaturni pojavi v ovojnem sklopu zgradbe, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, 1983.
- Morabito, P., Apparent Activation Energy, An example for determination from adiabatic hydration tests, IPACS report BE96-3043/2001, 19–2, Lulea, Sweden, 2001.
- prEN 13670:2007, Izvajanje betonskih konstrukcij, 2007–5.
- Saje, M., Turk, G., Račun temperatur v strjujočem se betonu, *Gradbeni Vestnik* 36, 7–8, 177–182, 1987.
- Scherer, G. W., Valenza J. J., Simmons, G., New methods to measure liquid permeability in porous materials, *Cement and Concrete Research* 37, 3, 386–397, 2007.
- Schindler, A. K., Dossey, T., McCullough, B. F., Temperature control during construction to improve the long term performance of portland cement concrete pavements, Texas Department of Transportation, Research project No. 0-1700-2, The University of Texas at Austin, 2002.
- Snelson, D. G., Wild, S., O'Farrell, M., Heat of hydration of Portland Cement-Metakaolin-Fly ash (PC-MK-PFA) blends, *Cement and Concrete Research* 38, 6, 832–840, 2008.
- Tanabe, T., Kawasumi, M., Yamashita, M., Thermal stress analysis of massive concrete, Proc. The Seminar for Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures, Tokyo, 1985.
- Turk, G., Programska oprema za račun nelinearnega in nestacionarnega prevajanja toplote z upoštevanjem raznih robnih pogojev in notranjega vira toplote zaradi hidratacije cementa. Diplomski nalogi, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana 1987.
- Turk, G., Saje, M., Račun deformiranja masivnih betonskih konstrukcij ob upoštevanju mehanske in temperaturne obtežbe, krčenja in tečenja, Zbornik del, 29–36, Kuhljevi dnevi, Lipica, 1991.
- Van Breugel, K., Simulation of Hydration and Formation of Structure of Hardening Cement-Based Materials – HYMOSTRUC, Doktorska disertacija, Delft University of Technology, Delft, 1997.

# EKOLOŠKO SPREJEMLJIVI NAJMANJŠI PRETOKI

## ECOLOGICALLY ACCEPTABLE MINIMAL WATER DISCHARGE

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

Znanstveni članek  
UDK: 504.4:556.18

**Povzetek** | Prispevek obravnava problematiko ekološko še sprejemljivega pretoka  $Q_{es}$  za omejitve naravovarstveno neprijaznih zajemov vode iz njenega okolja za različne namene (za pitno vodo, za druge potrebe in za energetiko) v hidrološko in ekološko značilnih pogojih.

Podani so tudi primeri dolgoletne uporabe površinskih voda v Sloveniji, ki poleg svetovne prakse in izkušenj dokazujejo, da apriorno nasprotovanje uporabi površinske vode za Rižanski vodovod iz obeh akumulacij, Reke in Rižane, strokovno ni utemeljeno.

**Summary** | The paper deals with the question of ecologically still acceptable minimal water discharge after water is taken out of the natural water courses for this or other purposes. Some examples of the use of surface water in Slovenia are given to show that an aprioristic opposition against the use of surface water for water supply as an established world practice is not justified.

### 1 • UVOD

Ekološko sprejemljivi pretok  $Q_{es}$ , prej imenovani biološki minimum, je eden kriterijev za zaščito voda, s katerim želimo omejiti posledice zajemanja za vode (vodne izvire, potoke, reke in jezera) kot tudi za obvodni svet in širše na krajino.

Da takšen kriterij potrebujemo, ni potrebno dokazovati. Pogled na vodo in zaledno mokrišče na slikah 1 in 2 nas lahko o tem najbolj prepriča.

Težje pa je postaviti merila, po katerih ga določamo.

S  $Q_{es}$  naj bi določili meje, koliko vode naj ostane v prizadetem rečnem koritu, da bi vodni in obvodni biotop ohranila svoje naravne lastnosti.

Treba pa je upoštevati koristi in ceno, ki jo mora družba za izbrano zaščito, v tem primeru za izbrani  $Q_{es}$ , tudi plačati.

Vsak odvzem vode iz naravnega okolja lahko, poleg na kakovost vode v reki, vpliva tudi na lastnosti obvodnega sveta. Posledic ni mogoče

v celoti preprečiti, lahko pa jih ublažimo. Vode pa najbolj zaščitimo, če z njimi varčujemo.

Določanje  $Q_{es}$  vključuje interdisciplinarno ekološko problematiko na eni in upoštevanje materialnih možnosti družbe na drugi strani. Gre pa tudi za nivo kulturne in okoljske ozaveščenosti družbe.



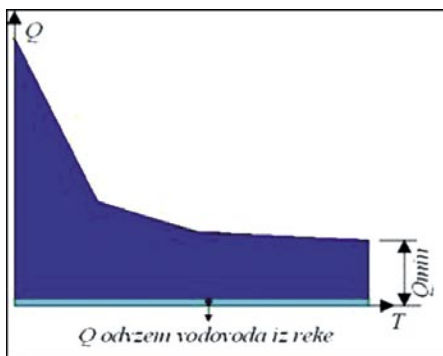
Slika 1 • Črni Potok – pritok Rašice  
na Dolenjskem Krasu

V prispevku obravnavamo na slikah od 3. do 76. – zaradi odvzema vode – s krivuljami trajanja pretokov shematsko prikazane spremembe naravnega hidrološkega režima rek (ali drugih vodnih virov), ki so relevantne za presojo  $Q_{es}$ .

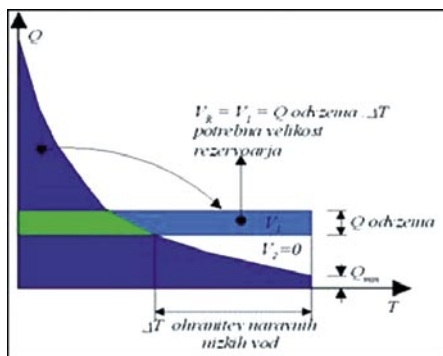
Na sliki 3 je s shematsko krivuljo trajanja prikazana za naravne lastnosti reke in za minimalne pretoke reke  $O_{min}$  nepomembna sprememba vodnega režima reke. Zato primera v prispevku ne obravnavamo.



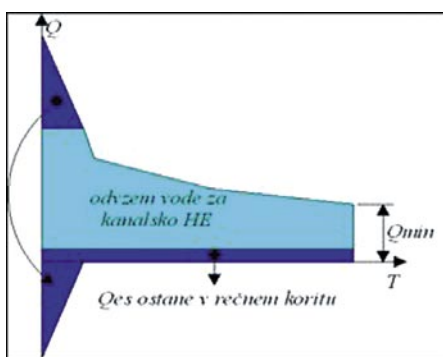
Slika 2. Naravno mokrišče ob potoku



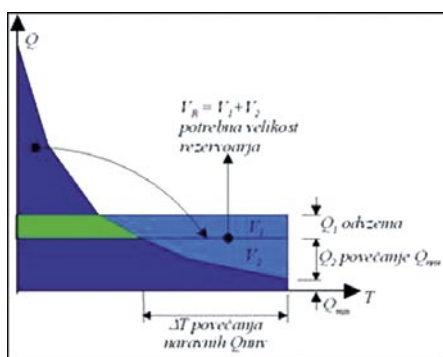
Slika 3 • Krivulja trajanja pretokov reke v primerjavi s  $Q_{min}$  zanemarljivim odvzemom (vodovoda) vode iz reke



Slika 5 • Krivulja trajanja pretokov pri kanalski HE, ko ostane v reki po odvzemu HE le minimalen pretok  $Q_{es}$



Slika 4 • Zajem vode za vodovod je večji od  $Q_{min}$



Slika 6 • Odvzem za vodovod je večji od  $Q_{min}$ ; v sušnem obdobju se pokrivajo še druge potrebe (namakanje itd.)

Slika 4 pa na primeru kanalske HE prikazuje radikalen poseg v naravno strugo in vodno okolje reke. Določitev  $Q_{es}$  v opuščnem koritu reke potrebuje v vsakem od primerov posebno presojo naravovarstveno sprejemljivih in ekonomsko vzdržnih rešitev.

Sliki 5 in 6 ponazarjata zajeme vode iz vodnih izvirov, potokov ali manjših rek, kjer je velikost odvzema za pitno vodo, ki ima prioriteto, večja ali je blizu nizkih pretokov (slika 4). Na sliki 6 se poleg pitne vode pokrivajo še druge potrebe, namakanje itd. V teh primerih je mogoče potrebno količino vodo zagotoviti le z izgradnjo izravnalnih rezervoarjev. *Povsod, kjer je mogoče, pa naj bi veljalo načelo, da porabnik vodo zajame pod izpustom porabljene vode nazaj v vodotok.*

Naravne hidrološke lastnosti voda skupaj z odvzemi vode zaradi nezamenljivih potreb so edina realna podlaga, po katerih je mogoče uskladiti vodnogospodarsko-ekološko optimalne rešitve.

V nadaljevanju so za navedene ali podobne primere podana hidrološka izhodišča, ki naj bi prispevala objektivnejši ali k bolj argumentirani presoji  $Q_{es}$ .

## 2 • PROBLEMATIKA KANALSKIH HIDROELEKTRARN IN DRUGIH VELIKIH ZAJEMOV VODA IZ REK PREKO CELEGA LETA

Vprašanje  $Q_{es}$  pri pretočnih hidrocentralah s strojnico v rečni strugi, pri katerih ostaja celoten pretok v rečni strugi, ni aktualno. V teh primerih je problematika omejena predvsem na vplive obvodnega biotopa zaradi z delovanjem centrale povzročeni nihanjem gladin in pretokov, kar pa s  $Q_{es}$  ni neposredno povezano. Zato v tem prispevku ta problem ni obravnavan.

Med največje posege v naravni tok reke pa sodijo kanalske hidrocentrale (slike 4, 7 in 8). Za ilustracijo primera pa smo izbrali kanalsko hidrocentralo Formin na Dravi.

Če pustimo ob strani vprašanje celostne ekološko-energetske presoje in v tem pogledu primerne izgradnje kanalskih hidrocentral, nam preostane odločitev o minimalnem, ekološko še sprejemljivem pretoku  $Q_{es}$  v strugi reke, ki ga je hidrocentrala dolžna zagotoviti.

Pri kanalskih hidrocentralah določajo in omejujejo izbiro  $Q_{es}$  predvsem naslednja vprašanja:

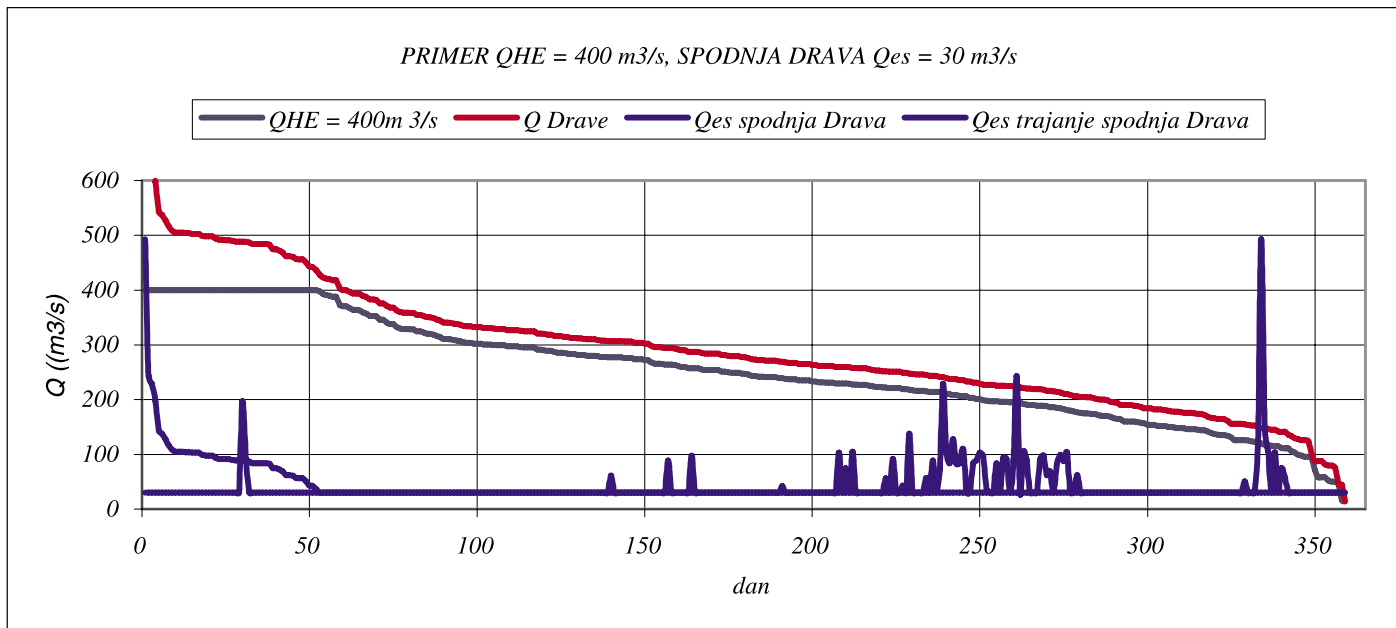


Slika 7 • Preliv  $Q_{es}$  v spodnjo Dravo Formin

1. Kolikšna je po preusmeritvi rečnega toka po kanalu na hidroelektrarno potrebna velikost ekološko še sprejemljivega pretoka  $Q_{es}$  pod energetskega jezom, v »osušenem« koritu Drave?
2. Kolikšna je vrednost na račun  $Q_{es}$  izgubljene energije?



Slika 8 • Jez na Dravi z odvodnim kanalom proti HE



Slika 9 • Trajanje pretokov Drave in v dovodnem kanalu HE pri kapaciteti HE = 400 m³/s ter trajanjem in histogramom pretokov v spodnji Dravi za  $Q_{es} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$

3. Kolikšna je cena za vzdrževanje bioloških zgradb, zgrajenih za regulacijo Drave?

Najnatančnejši in najzanesljivejši je odgovor na 2. vprašanje. Za ilustracijo sta na slikah 9 in 10 dva primera krivulj trajanja Drave pred energetskim jezom, v dovodnem kanalu na HE in v spodnji strugi Drave za  $Q_{es} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$  in maksimalno zmogljivost turbin HE 400 m³/s

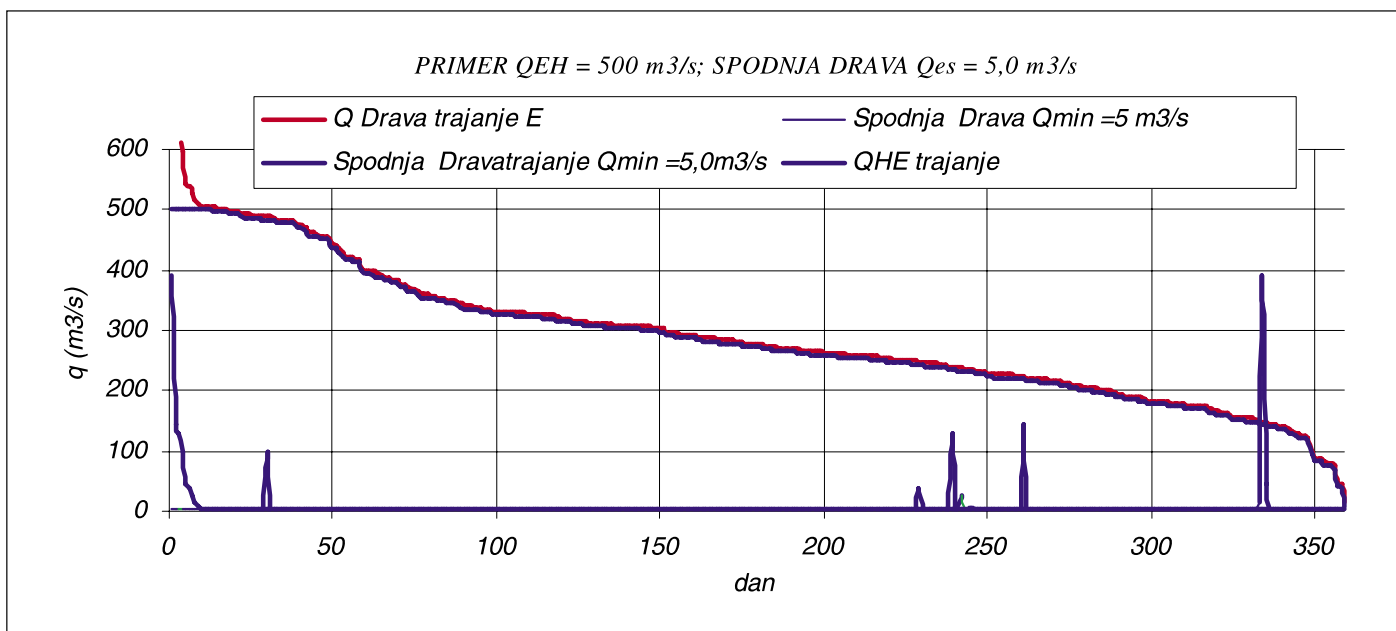
(slika 9.) in za  $Q_{es} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$  ter zmogljivost turbin 500 m³/s (slika 10).

Obe sliki, ne glede na večji ali manjši vrednosti  $Q_{es}$  5 m³/s ali 30 m³/s in zmogljivost HE 500 m³/s ali le 400 m³/s, kažeta obseg popolne spremembe trajanja in velikosti pretokov v prvotnem koritu Drave in s tem tudi vseh naravnih lastnosti te reke na prizadetem odseku. Pri takšni spremembi prvotnega

vodnega režima naravnih lastnosti reke ni mogoče ohraniti.

Gre za povsem novi umetni vodotok, ki ima v hidrološkem in posledično tudi v biološkem pogledu lastnosti hudournika z minimalnimi pretoki, ki lahko v sušnem obdobju tudi presušijo.

Če po teh lastnostih potegnemo vzporednico s hudourniki, ki lahko tudi presušijo, za določitev



Slika 10 • Trajanje pretokov Drave in v dovodnem kanalu HE pri kapaciteti HE = 500 m³/s ter trajanjem in histogramom pretokov v spodnji Dravi za  $Q_{es} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

ekološko sprejemljivega trajnega pretoka  $Q_{es}$  težko najdemo potrebne argumente. Podobno kot pri hudournikih bo rečno korito omočeno le pri visoki Dravi nad  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  oziroma  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  in ob deževju. Trajno pa s pritoki Dravinje, manjšimi potoki in drenirano podtalnico Ptujkega in Dravskega polja. Umetno ustvarjen biotop rečnega korita bo privzel lastnosti hudournikov.

Za opredelitev  $Q_{es}$  ostane tako predvsem vprašanje biološke komunikacije (ribe) med

spodnjo Dravo in zgornjo zajezeno Dravo, ki potrebuje argumentirano opredelitev.

Če na energetskem jezcu ni ribje steze, je treba namesto odsotne biološke komunikacije za  $Q_{es}$  identificirati in utemeljiti druge naravovarstveno relevantne argumente, ki vključujejo tudi kompenzacijsko biološko funkcijo vodnega telesa v dovodnem kanalu HE.

Za končno odločitev  $Q_{es}$  pa je potrebno poleg naravovarstvenih kriterijev oceniti tudi pozi-

tivne lastnosti  $Q_{es}$  za vzdrževanje bioloških regulacijskih zgradb in rečne struge na eni in negativne zaradi izgube električne energije na drugi strani.

Za lažjo predstavbo je v razpredelnici 1 za pet vrednosti  $Q_{es}$  in hidravlično kapaciteto HE  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  podana ocena energetskih izgub na HE. Te energetske izgube je mogoče le delno, in sicer z izgradnjo male HE z močjo me  $0,5 \text{ mW}$  do  $3,0 \text{ mW}$ , zmanjšati.

Ocena energetske bilance HE Formin v odvisnosti od $Q_{EH}$ in $Q_{es}$ (privzeta cena energije $0,025 \text{ €/kWh}$ )					
pretoki		Letna proizvodnja energije HE	Primerjava proizvodnje električne energije	Ocena vrednosti letne proizvodnje	Ocenjena vrednost izgubljene energije na leto
$Q_{HE}$	$Q_{es}$				
$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m}^3/\text{s}$	kWh/leto	%	€	€
500	5	570.191.040	100,00	14.254.776	0,000
	10	561.722.112	98,51	14.043.053	211.723
	20	542.161.728	95,1	13.554.043	700.733
	30	522.551.232	91,6	13.063.781	1.190.995
400	30	505.229.184	88,61	12.630.730	1.624.046

Preglednica 1

### 3 • PROBLEMATIKA ZAJEMOV VODE IZ IZVIROV IN MANJŠIH REK NA PRIMERU KRAŠKEGA IZVIRA RIŽANE Z VODO IZ VODNIH AKUMULACIJ MOLE IN KLIVNIKA IN REKE REKE

Shematske krivulje trajanja pretokov in porabe vode na slikah 5 in 6 prikazujejo primer zajetja kraškega izvira reke Rižane in reke Reke, ko v sušnih obdobjih obe reki skupaj (slike 11, 12, 13.) za potrebe Rižanskega vodovoda nimata dovolj vode. Podobne primere srečamo tudi pri zajetjih drugih virov pitne vode.

Leta 2003 je na merski postaji Kubed 2 zaradi odvzema vodovoda najnižji naravni pretok Rižane padel s ca.  $200 \text{ l/s}$  na  $83 \text{ l/s}$ . Najnižji izmerjeni pretok reke Reke pri Cerkevnikovem mlinu leta 1953 pa ni bil večji od  $160 \text{ l/s}$ . Po meritvah ARSO 2003 (pretoki reke Reke pri Cerkevnikovem mlinu in iztoki iz Mole) pa bi

Reka brez akumulacij leta 2003 celo presušila (slike 17 in 19).

Pri Cerkevnikovem mlinu izvedena vodna bilanca (Gradbeni vestnik, št. 57., januar 2008, str. 22–28) pokaže, da je mogoče s pravilno uporabo obeh akumulacij Mole in Klivnika načrtovane potrebe vodovoda za leto 2042 in 2062 v celoti pokriti in obenem v sušnem letu, kot je bilo 2003, Rižani povrniti naravno nizko vodo  $200 \text{ l/s}$ , v reki Reki pa povečati izmerjeni minimalni pretok  $160 \text{ l/s}$  na  $560 \text{ l/s}$  (slika 18).



Slika 11 • Izvir Rižane

Slika 12 • Izvir Rižane v suši.  
Vso vodo vzame vodovodSlika 13 • Reka Reka, načrtovani vir  
za Rižanski vodovod



Slika 14 • Izpust iz Klivnika, 6. 8. 2008. ob 8<sup>00</sup>, pri pretoku Reke 2,08 m<sup>3</sup>/s, izpust vode ni bil potreben



Slika 15 • Nepotrebno izpuščanje vode iz Mole



Slika 16 • Akumulacija Klivnik

Obe akumulaciji imata prostornino  $7,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  (od tega je ca.  $1,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  za znižanje poplavnega vala), ki danes ni izkoriščena. Od načrtovane porabe vode  $11.618.362 \text{ m}^3/\text{leto}$  za leto 2042 pa bo Rižanski vodovod (skupaj z rehabilitacijo Rižane od leta 2003 minimalnih 83 l/s na 200 l/s) potreboval iz obeh akumulacij le  $3.792.205 \text{ m}^3/\text{leto}$  ali le 59 % akumulirane vode. Preostanek pa je mogoče uporabiti, kot sledi iz nadaljevanja, za obogatitev naravnih nizkih voda reke Reke do 560 l/s.

Podatki na sliki 18 so povzeti iz celostne vodne bilance vodovoda za kritično sušno leto 2003 pri načrtovani porabi vodovoda za leto 2042. (Rezultati vodne bilance Rižanskega vodovoda so podrobneje obravnavani v Gradbenem vestniku – okt. 2003, avg. 2007, januar 2008 in julij 2008). Histogrami vodne bilance, brez Rižane, le za reko Reko in obe akumulaciji na sliki 17 pa kažejo, da bi s časovno pravilno praznitvijo akumulacij lahko preko celotne suše dosegli v Reki namesto izmerjenih 252 l/s kar 3-krat večje pretoke 780 l/s.

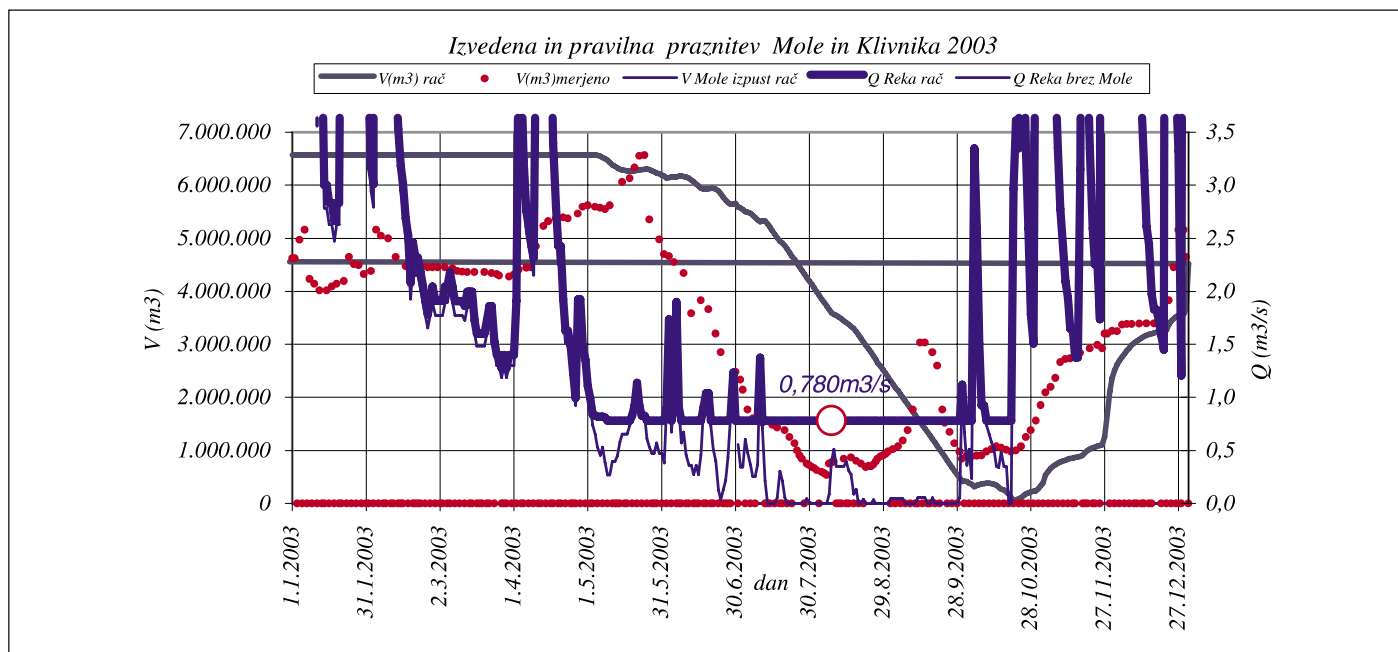
Histogrami pretokov Rižane na merskem mestu Kubed II. in Reke pri Cerkvencovem mlinu na sliki 18 torej tudi pokažejo, da je v obeh akumulacijah skupaj z vodo Rižane dovolj vode za pokritje načrtovanih potreb vodovoda. Obenem pa je dovolj vode tudi za povrnitev najnižjih nizkih voda Rižane od 83 l/s na naravnih 200 l/s, v reki Reki pa je mogoče povečati minimalne naravne pretoke 160 l/s (1954) na 560 l/s tudi na koncu načrtovanega obdobja 2042.

#### 4 • ZA PREDPISANI $Q_{es} = 1,388 \text{ m}^3/\text{s}$ NI NARAVOVARSTVENE PODLAGE

Vodna bilanca za obdobje od 1954 do 2005 in za naprej, do leta 2042 in do leta 2062, eks-

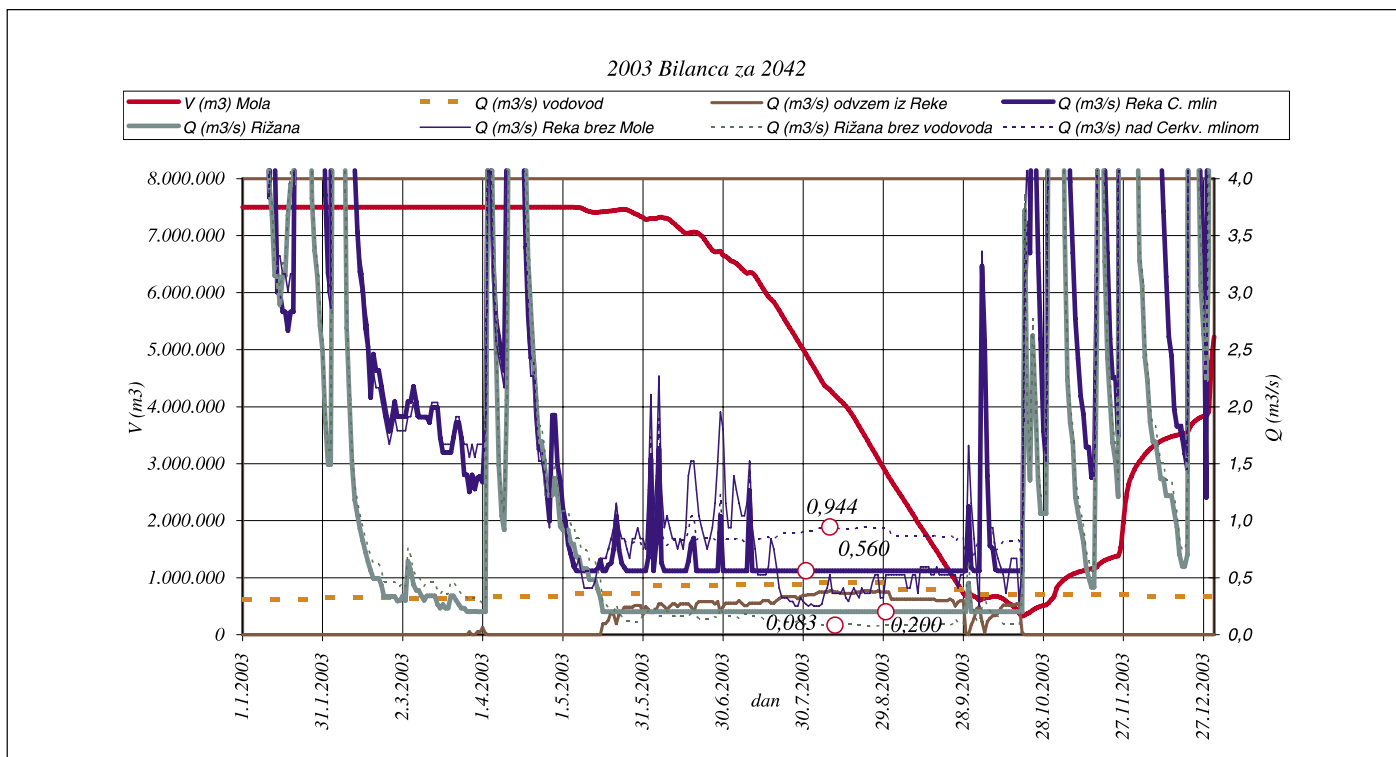
trapolirani bilanci (slednja zaradi prevelikega obsega tukaj ni dokumentirana) dokazujeta,

da je z uporabo obeh akumulacij mogoče zagotoviti dolgoročne potrebe Rižanskega vodovoda. V takšnem letu, kot je bilo 2003, pa se bo, kot rečeno, zaradi odvzema vodovoda nizka voda Rižane 83 l/s povrnila na naravnih 200 l/s. Po meritvah ARSO (meritve Reke in iz-



Slika 17 • Vodna bilanca reke Reke z akumulacijama Mola in Klivnik v sušnem letu 2003





Slika 18 • Vodna bilanca Reke in Rižane in akumulacij za porabo vodovoda I. 2042 za sušno leto 2003

pustov iz Mole) bi Reka brez dodajanja iz Mole presušila. Pri smotni uporabi akumulacij pa bi po pokritju vodovoda leta 2042 ostalo v Reki pri Cerkvenikovem mlinu še 560 l/s.

V Reki se je pretok leta 2003 zmanjšal na izmerjenih 252 l/s izključno zaradi prevelikih izpustov (slike 14, 15, 16).

Po rezultatih vodne bilance za leto 2003 na sliki 17, podobno pa tudi v drugih sušnih letih, predpisanega  $Q_{es} = 1,388 \text{ m}^3/\text{s}$  v reki Reki sploh ni mogoče zagotoviti. Brez vodovoda največ 780 l/s. Skupaj z Rižano pri porabi vodovoda pa še vedno 560 l/s.

Po meritvah ARSO reke Reke in iztokov iz Mole v letu 2003 bi Reka brez vode iz akumulacij presušila (slika 19). Izmerjena nizka voda leta 1954, ko ni bilo akumulacij pa je bila le 160 l/s. Zato za predpisani  $Q_{es} = 1,388 \text{ m}^3/\text{s}$  ni nobene naravovarstvene podlage.

Zato ni videti utemeljenega razloga za nasprotovanje, da se obe akumulaciji uporabita za preskrbo s pitno vodo, saj ostane v Reki po zagotovitvi dolgoročnih potreb vodovoda še vedno 560 l/s.

Slika 19 ponazarja tri krivulje trajanja pretokov v reki Reki za leto 2003, ki so shematsko prikazane že na slikah 5 in 6. Iz srednje krivulje trajanja naravnih pretokov, ko ni bilo akumulacij, vidimo, da bi bila reka Reka po rezultatih meritev pretokov Reke in iztokov iz

Mole ARSO leta 2003 v tem letu kar 48 dni brez vode.

Druga, zgornja krivulja trajanja modre barve predstavlja rezultate meritev pretokov s sodelovanjem vodne akumulacije, ko je pretok v reki padel na 252 l/s.

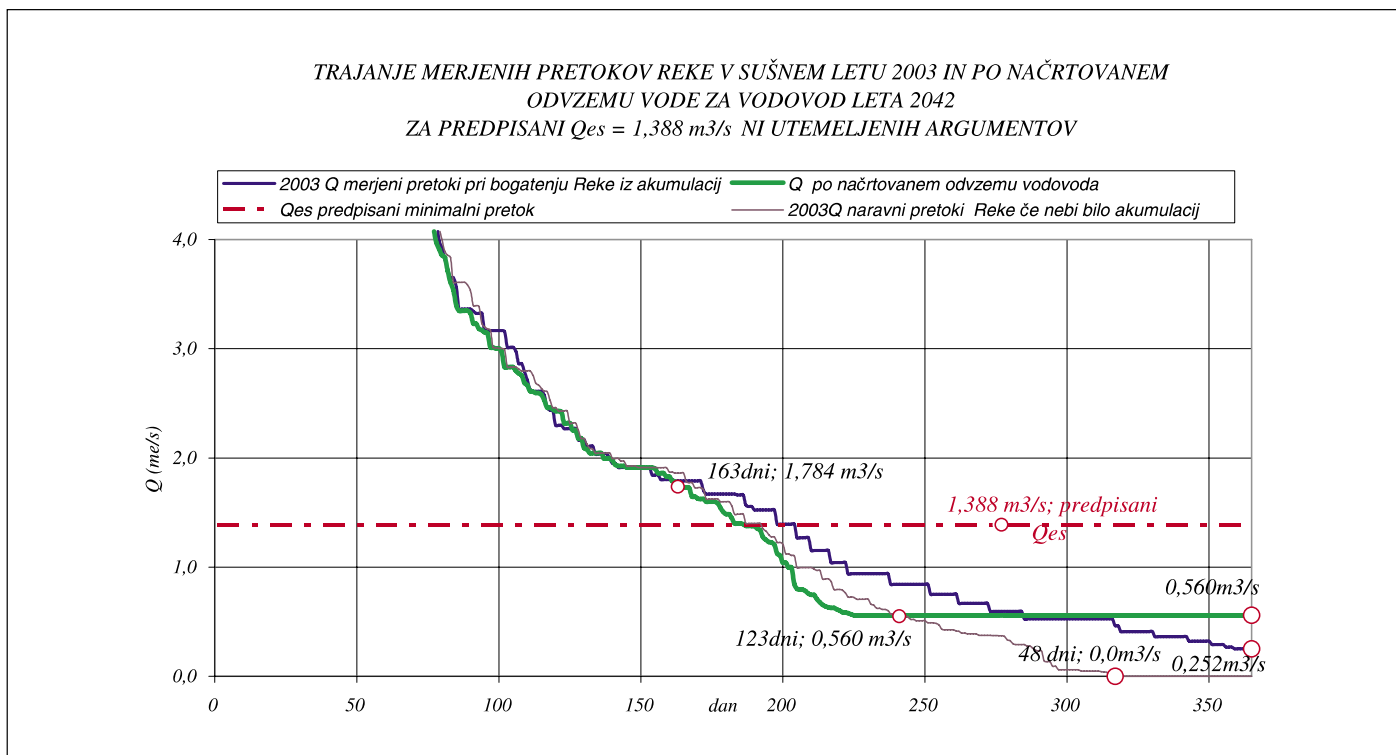
Tretja, zelena krivulja pa predstavlja rezultate celostne vodne bilance vodovoda z vodnimi viri Rižano, Reko s količinsko in časovno usklajenim sodelovanjem obeh akumulacij. V tem primeru reka Reka ne bo presušila. Pretok preko celega sušnega obdobja, na koncu načrtovanega obdobja 2042, ne bo manjši od 560 l/s (slika 19.). Najnižji pretok Rižane pa bo od izmerjenih 83 l/s preko cele suše povečan na 200 l/s.

Z uporabo obstoječih akumulacij Mole in Klivnika je mogoče istočasno rešiti tri probleme:

1. Pokritje dolgoročnih potreb Rižanskega vodovoda.
2. Preko celega sušnega obdobja, kot je bilo leto 2003, se bodo v Rižano povrnila naravne nizke vode 200 l/s, ki so bile zaradi odvzemov vodovoda na 0,83 l/s.
3. V enako sušnem letu reka Reka ne bo presušila. Minimalni pretok pri Cerkvenikovem mlinu ne bo manjši od 560 l/s, s čimer bodo v turističnem pogledu pridobile po UNESCO zaščitene Škocjanske jame.

Iz vseh treh krivulj je mogoče povzeti glede  $Q_{es}$  naslednje zaključke:

1. Določanje  $Q_{es}$  v primerih, ko obravnavani vodni vir presuši, nima naravovarstvene podlage.
2. V takšnih primerih za ohranitev naravnih vodnih razmer kvantitativna opredelitev  $Q_{es}$  ni logična, saj reka presuši. Za ohranitev naravnih pogojev pa je smiselno ohraniti trajanje nizkih voda, ki so lahko v tem primeru najrelevantnejše, in kriterij za ohranitev naravnih lastnosti obravnavanega vodnega vira. Deficit vodnega vira v tem sušnem obdobju lahko pokrijemo le z izgradnjo izravnalnih vodnih rezervoarjev (sliki 3 in 4).
3. V takšnih primerih zaradi v daljših obdobjih spremenljivih hidroloških razmer vrednosti  $Q_{es}$  ne kaže določati kvantitativno, temveč s povratno dobo določenega trajanja naravnih nizkih voda, odvisno od naravovarstvenega pomena vodnega vira.
4. Negativne posledice odvzema vode pa v največji meri preprečimo, že z jamemo pod izpustom uporabljene vode v vodotok. To naj bi bilo obvezno povsod, kjer je to mogoče, ker se tako istočasno ohranjajo pretočne razmere in skrb za kakovost voda.



Slika 19 • Trajanje merjenih pretokov Reke pri Cerkenikovem mlinu v sušnem letu 2003 z bogatenjem in brez bogatenja reke Reke iz akumulacij in trajanje pretokov v enako sušnem letu pri porabi vodovoda na koncu načrtovanega leta 2042

## 5 • NASPROTOVANJE UPORABI AKUMULACIJ MOLE IN KLIVNIKA Z REKO REKO ZA VIR PITNE VODE STROKOVNO NI UTEMELJENO

Za pripravo pitne vode sodi voda reke Reke, enako kot kraški izvir Rižane in večina drugih kraških izvirov pitne vode v Sloveniji, v prvi ka-

kovostni razred površinskih voda. Ob pravilno izvedeni zaščiti pa tudi varnost rečnih voda ni manjša od kraških izvirov.

Večino vodovodnih zajetij v Sloveniji napajajo kraški izviri. Nekaj pomembnih vodovodov pa se neposredno ali posredno napaja iz površinskih voda, če naštejemo samo večje, ki so deloma tudi na spodnjih slikah:



Slika 20 • Tirolsko zajetje Ljubije za vodovod Velenje-Šoštanj



Slika 21 • Zajetje Hudinje za vodovod Celje



Slika 22 • Vodarna Močila na Soči ob pregradi Ajba



Slika 23 • Zajetje za vodovod Slov. Bistrice



Slika 24 • Črpališče za pitno vodo na Kolpi pri Vinici



Slika 25 • Zajetje Podresnik

## 6 • SKLEP

Prispevek obravnava vprašanje določanja ekološko sprejemljivih pretokov  $Q_{es}$ , da se pri neizogibnih odvzemih vode, v vodnem telesu in obvodnem svetu lahko ohrani ali vzpostavi novo ekološko ravnotežje.

Po posledicah in načinu reševanja so obravnavani trije značilni primeri:

1. Manjši zajemi vode iz močnejših vodnih virov, kjer so posledice za vodno in obvodno okolje zanemarljivi.
2. V primerjavi z izdatnostjo vodnega vira veliki zajemi vode, kot so na primer kanalske hidrocentrale ali veliki zajemi industrije s podobnimi posledicami.
3. Primeri, ki jih najpogosteje srečamo pri zajemih za pitno vodo, kjer je vodno okolje najbolj prizadeto zaradi pogostokrat močnega zmanjšanja nizkih voda.

Pri vseh zajemih vode, ki lahko zaznavno vplivajo na vodno okolje, je treba upoštevati naravovarstvene in gospodarske potrebe. Varstvo voda je sestavni del gospodarjenja in varovanja voda in obratno. Tipični so primeri, ki sodijo pod točko 2.

Kjer ni drugih naravnih danosti ali ekonomskih možnosti pa ima zajem pitne vode nujno pred-

nost pred vsako drugo rabo vode tudi pred interesi varstva voda.

Tretji primer, ko vodni viri v sušnih obdobjih nimajo dovolj vode ali je njihova izdatnost blizu potrebam, pa je v tem prispevku ilustriran z zajemom vode za Rižanski vodovod iz Rižane, reke Reke in obstoječih akumulacij Mole in Klivnika.

Ta primer pokaže, da zgolj sama numerična vrednost  $Q_{es}$  ni zadostno merilo za zavarovanje prizadete vode in njenega vodnega okolja. Poleg numerične vrednosti  $Q_{es}$  je za realno presojo naravovarstvenega učinka treba določiti tudi njegovo povratno dobo in trajanje nizkih voda pod njegovo vrednostjo.

Arbitrarna določitev  $Q_{es} = 1,388 \text{ m}^3/\text{s}$ , kot na reki Reki, brez ustrezne hidrološke analize vodi do nesmiselne zahteve po ekološko sprejemljivem pretoku, ki je 8,7-krat večji od minimalnega izmerjenega  $Q_{min} = 0,160 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Takšno določanje  $Q_{es}$ , ki ne izhaja iz naravnih hidroloških lastnosti prizadetih vodnih virov, je nasprotno optimalnemu upravljanju z vodnim bogastvom po obeh nerazdružljivih kriterijih: vodnogospodarskem in ekološkem kriteriju.

V prispevku so za določanje  $Q_{es}$  obravnavani značilni primeri in naslednji kriteriji za določanje  $Q_{es}$ :

- a. Razmerje med načrtovanim odvzemom vode in najnižjo nizko vodo določene povratne dobe:  $O_{dvzema \text{ vode}} / Q_{nnv}$
- b. Trajanje spremembe nizkih pretokov  $Q_{es}$  manjših od  $Q_{nnv}$
- c. Določitev  $Q_{nnv}$  na podlagi povratne dobe, odvisno od naravovarstvenega pomena zajetega vodnega vira in optimizacije vodnega režima na obravnavanem porečju.
- d. V primerih, ko razmerje  $O_{dvzema} / Q_{min}$  in trajanje znižanja naravnih nizkih voda presega ekološko sprejemljive meje, je potrebno dopustiti odvzem vode iz reke (vodnega vira) omejiti ali izgraditi rezervoarje za izravnavo oziroma za ohranitev naravnih pretokov voda v sušnem obdobju.
- e. Za ohranitev naravnega vodnega režima v količinskem in kakovostnem pogledu je pomembno spoštovanje načela, uporabljeno vodo vračamo v vodotok nad mestom, kjer smo jo zajeli.

Podani so tudi primeri uporabe površinskih voda za pitno vodo v Sloveniji, ki poleg svetovne prakse in izkušenj dokazujejo, da nasprotovanje uporabi površinske vode za Rižanski vodovod iz obeh akumulacij, Reke in Rižane, ni utemeljeno.

# JEKLENI SILOSI ZA SIPKE MATERIALE: 1. DEL – VPLIVI PRI POLNENJU IN PRAZNIENJU

## STEEL SILOS FOR PARTICULATE SOLID MATERIALS: PART 1 – ACTIONS AT FILLING AND DISCHARGE

### Simon Petrovčič, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo,  
Zoisova 12, 1000 Ljubljana  
simon.petrovcic@fa.uni-lj.si

### Znanstveni članek

624.014.2:624.074:624.9

### izr. prof. dr. Werner Guggenberger, univ. dipl. inž.

Tehniška univerza v Gradcu, Inštitut za jeklene in ploskovne konstrukcije  
Lessingstraße 25/III, 8010 Gradec, Avstrija  
werner.guggenberger@tugraz.at

### izr. prof. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,  
Jamova 2, 1000 Ljubljana  
bbrank@ikpir.fgg.uni-lj.si

**Povzetek** | V članku obravnavamo osno-simetrične jeklene silose, ki so namenjeni shranjevanju sipkih materialov. Pokažemo, kako se po Evrokodih določi vplive (pritiske) na stene silosa med polnjenjem in praznjenjem. Postopke, ki jih za določitev pritiskov predpisuje standard EN 1991-4, podamo v nekaj korakih in diagramih potekov. V spremljajočem članku (2. del) pokažemo, kako se določi membranske sile v silosu in podamo primer izračuna pritiskov in membranskih sil.

**Summary** | The paper addresses axisymmetric steel silo structures used for the storage of particulate solid materials. It is shown how to determine actions (pressure loads) on silo walls during the filling and discharge according to EN Eurocodes. The procedures given in EN 1991-4 are presented in several steps and flowcharts. The determination of membrane forces in a silo structure and an illustrative example are given in an accompanying paper (part 2).

## 1 • UVOD

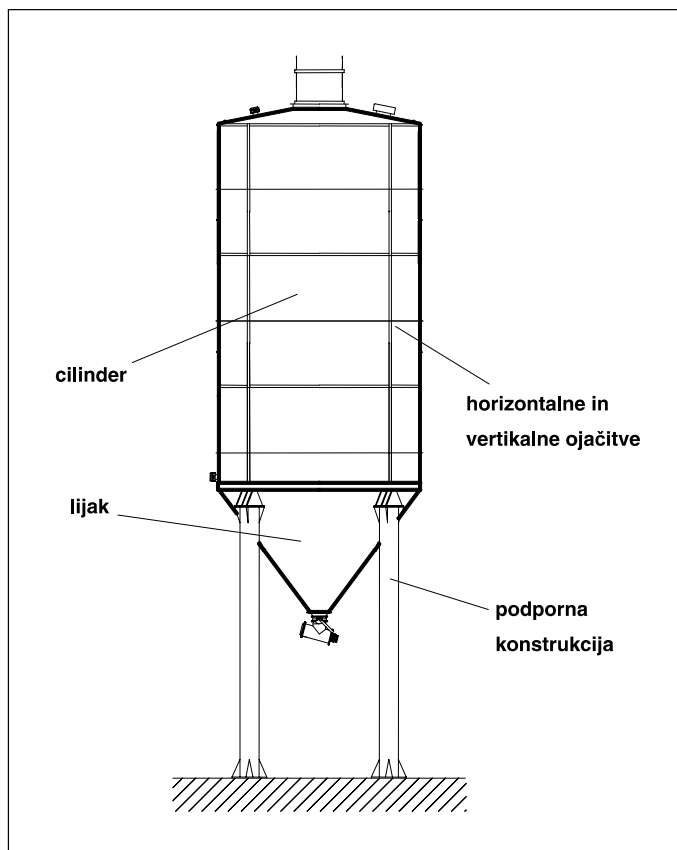
Siloski so posebne konstrukcije, ki se uporabljajo za shrambo organskih in anorganskih sipkih materialov predvsem v industriji in kmetijstvu. So raznoterih oblik in velikosti (od nekaj ton do prek 10.000 ton). Za njihovo izdelavo se uporabljajo različni materiali (tako jeklo in armirani beton kot tudi poliestrski laminati in les). Manjše silose po navadi obravnavamo kot izdelke, večje pa kot zahtevne vitke konstrukcije, ki jih

je treba pazljivo projektirati, predvsem zaradi njihove velike občutljivosti na uklon (Guggenberger, 2006).

Določitev vplivov (obtežb) na jekleno konstrukcijo silosa je razmeroma zahteven proces. Sipki materiali namreč lahko povzročajo nenavadne pritiske na stene silosa med procesoma polnjenja in praznjenja, zato jih je treba dovolj natančno oceniti, saj so jekleni silosi konstrukcije,

ki se rade uklonijo, če niso skrbno projektirane. Poleg pritiskov zaradi polnjenja in praznjenja je treba dovolj natančno oceniti tudi vplive vetra in potresa. V sklopu Evrokodov za konstrukcije se dva standarda nanašata izključno na določitev obtežb na silose. To sta EN 1991-4 (CEN, 2006a) in EN 1998-4 (CEN, 2006b). Prvi se ukvarja z določitvijo pritiskov na stene silosa, ki nastanejo med procesoma polnjenja in praznjenja z organskimi in anorganskimi sipkimi materiali, drugi pa je namenjen določitvi potresne obtežbe na silosno konstrukcijo. S tema dvema standardoma je mogoče ob uporabi nekaterih ostalih standardov Evrokod, ki se ukvarjajo z določitvijo vplivov na konstrukcije, npr. ((CEN, 2000), (CEN, 2005), (CEN, 2004)), določiti bistvene projektno obtežbe na konstrukcijo silosa.

V tem članku se omejimo na določitev osnovne obtežbe – tj. na določitev pritiskov na stene silosa, ki nastanejo med procesoma polnjenja in praznjenja s sipkimi materiali. Z vplivoma vetra in potresa se ne ukvarjamo; za obravnavo teh dveh vplivov glej (Petrovčič, 2008). Nadalje se omejimo na zelo pogoste silosne konstrukcije, tj. na osno-simetrične jeklene cilindrične silose (slika 1), ki so sestavljeni iz cilindričnega zgornjega dela – cilindra – in stožčastega spodnjega dela – lijaka. Osnovni namen članka je, da v obliki kratkega priročnika podamo postopek za določitev vplivov na silos zaradi polnjenja in praznjenja, ki ga predpisuje standard EN 1991-4 (CEN, 2006a). Postopek prikažemo kot proces sedmih zaporednih korakov. Zaradi boljše preglednosti in razumljivosti podajamo za ključne korake diagrame potekov. Za določitev pritiskov na jekleno osno-simetrični silos zaradi polnjenja in praznjenja po EN 1991-4 (CEN, 2006a) torej lahko uporabimo 2. in 3. poglavje članka, v standard EN 1991-4 (CEN, 2006a) pa pogledamo le toliko, da poiščemo vrednosti parametrov, ki določajo lastnosti shranjenega materiala (dodatek E), ter da določimo vrednost koeficienta trenja med materialom in steno silosa (dodatka D in E).



Slika 1 • Konstrukcijski elementi tipičnega osno-simetričnega cilindričnega silosa

## 2 • OSNO-SIMETRIČNA OBTEŽBA ZARADI POLNJENJA IN PRAZNJENJA

Pritiski na stene silosa zaradi polnjenja in praznjenja niso popolnoma osno-simetrični, ker med obema procesoma nastanejo različne naključne nesimetrije. Vendar pa je nesimetričnost pogosto zanemarljiva, zato EN 1991-4 (CEN, 2006a) dovoljuje, da se (v večini primerov) pritiske obravnava kot osno-simetrične. V tem poglavju se bomo ukvarjali z osno-simetričnimi pritiski. To, kdaj in kako je treba določiti nesimetrične pritiske, pa bo povedano v 3. poglavju.

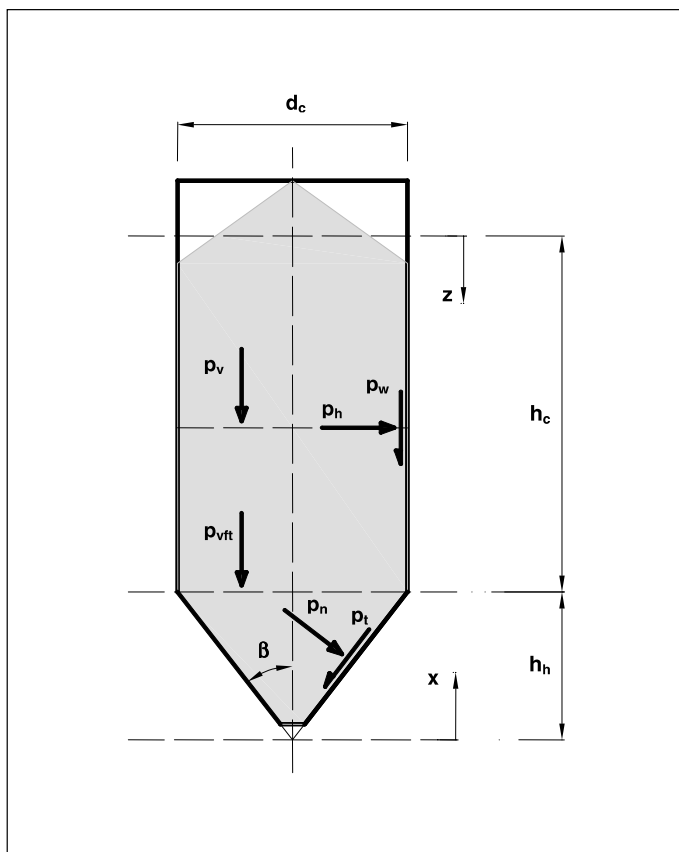
Oso-simetrično obtežbo zaradi polnjenja in praznjenja sipkega materiala predstavljajo (slika 2): (a) pritisk  $p_n$  na steno cilindra, (b) pritisk  $p_l$  na steno lijaka, (c) trenje  $p_w$  ob steni cilindra in (č) trenje  $p_t$  ob steni lijaka. V nadaljevanju članka ne razlikujemo med pritiskom in trenjem – oboje imenujemo pritisk.

Navpični pritisk v shranjenem materialu označimo s  $p_v$ . Ko gre za pritisk pri polnjenju, mu dodamo indeks  $f$ , torej  $p_{vf}$ . Vrednost tega pritiska na prehodu iz cilindra v lijak označimo s  $p_{vf}$ . Z  $G_c$  in  $G_l$  označimo težo shranjenega materiala v cilindru oziroma lijaku. Smeri delovanja omenjenih pritiskov na material in na steno silosa so prikazane na sliki 3.

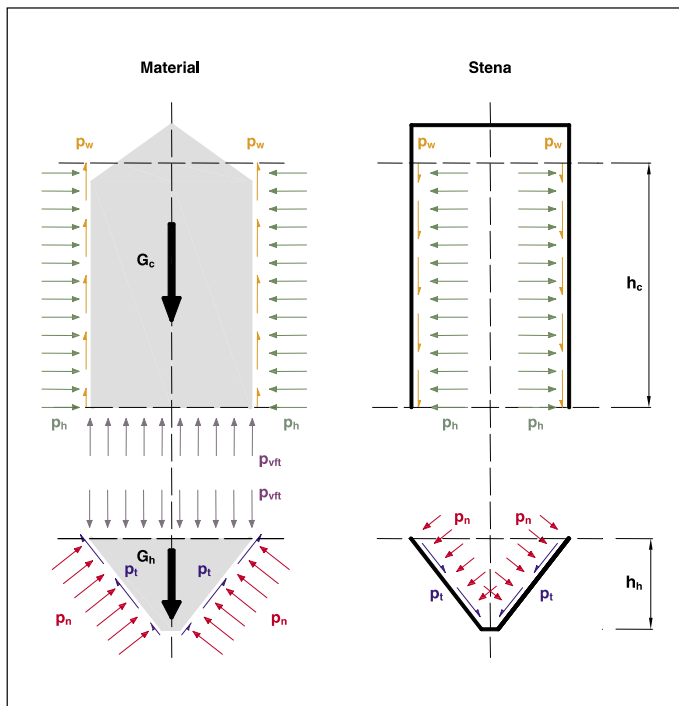
Postopek za določitev pritiskov  $p_v$ ,  $p_{vf}$ ,  $p_w$  in  $p_t$  podajamo v sedmih korakih, ki so navedeni v preglednici 1. Posamezne korake razložimo v nadaljevanju poglavja.

Korak	Opis koraka	Mesto v standardu EN 1991-4
1	Shranjeni material	Preglednica E.1
2	Geometrija silosa	Slika 1.1a
3	Tip silosa in lijaka	Poglavje 5.1(2)P in 6.1.1(2)P
4	Razred obremenitve	Preglednica 2.1
5	Kombinacije materialnih parametrov	Preglednica 3.1
6	Pritiski na cilinder	Poglavje 5
7	Pritiski na lijak	Poglavje 6

Preglednica 1 • Določitev osno-simetrične obtežbe zaradi polnjenja in praznjenja silosa po EN 1991-4 (CEN, 2006a)



Slika 2 • Oznake za osno-simetrične pritiske v silosu



Slika 3 • Smeri delovanja osno-simetričnih pritiskov po shranjenem materialu in po steni silosa

### 1. korak: Shranjeni material

Shranjeni material se opiše z nekaj parametri, ki so zbrani v preglednici 2. Indeksi  $_{min}$   $_{max}$  in  $_m$  označujejo njihove minimalne, maksimalne in srednje vrednosti (v nadaljevanju uporabljamo tudi oznake MIN, MAX in MEAN). Številčne vrednosti omenjenih parametrov za mnoge tipične sipke materiale so podane v prilogi E standarda EN 1991-4 (CEN, 2006a).

Materialni parameter	Opis
$\gamma_{min}$	specifična teža (minimalna in maksimalna)
$\gamma_{max}$	
$\phi_r$	kot deponiranja materiala (slika 4)
$\phi_{i,min} = \phi_{im} / a_\phi$	kot notranjega trenja oz. strižni kot materiala (minimalni, srednji in maksimalni)
$\phi_{im}$	
$\phi_{i,max} = \phi_{im} \cdot a_\phi$	
$K_{min} = K_m / a_K$	koeficient bočnega pritiska (minimalni, srednji in maksimalni)
$K_m$	
$K_{max} = K_m \cdot a_K$	
$\mu_{min} = \mu_m / a_\mu$	koeficient trenja med steno in materialom (minimalni, srednji in maksimalni)
$\mu_m$	
$\mu_{max} = \mu_m \cdot a_\mu$	
$C_{op}$	referenčni faktor za nesimetrično obtežbo

Preglednica 2 • Parametri, ki opisujejo shranjeni material

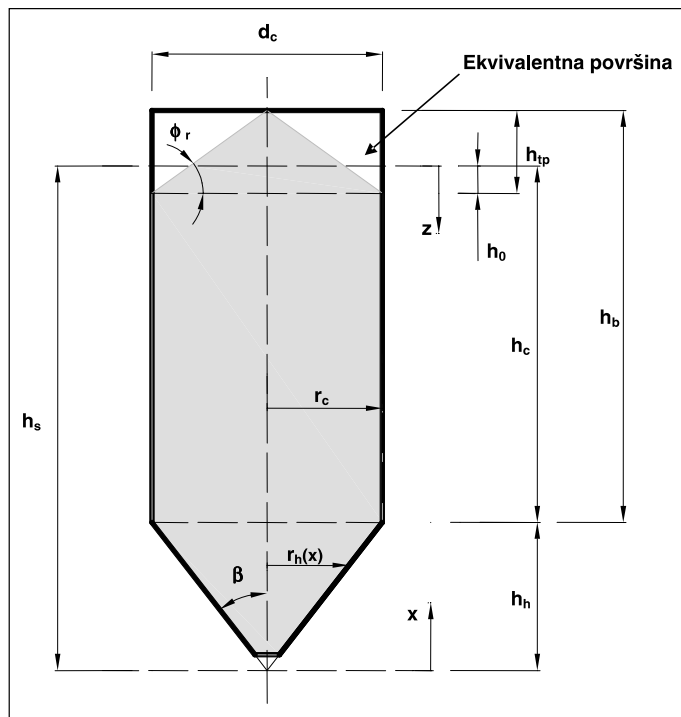
Izmed parametrov v preglednici 2 je nekoliko zahtevnejše določiti srednje vrednosti koeficienta trenja med steno in materialom ( $\mu_m$ ). Ta koeficient je odvisen od kategorije stene, ki jo določata tip jekla in njegova površinska obdelava (preglednica 3). Če je kategorija stene enaka D4, potem se vrednost koeficienta  $\mu_m$  določi po prilogi D v standardu EN 1991-4 (CEN, 2006a), sicer pa po prilogi E istega standarda.

Kategorija	Trenje	Material
D1	Nizko	Hladno oblikovano nerjavno jeklo, polirano nerjavno jeklo, površina je zaščiten s premazom.
D2	Srednje	Gladko jeklo z visoko vsebnostjo ogljika, nepolirano nerjavno jeklo, galvanizirano jeklo.
D3	Visoko	Postarano (korodirano) jeklo, jeklo, odporno na abrazijo.
D4	Neenakomerno	Vodoravno nagubane stene, profilirana pločevina, nestandardne oblike sten.

Preglednica 3 • Kategorija stene cilindra za določitev  $\mu_m$

## 2. korak: Geometrija silosa

Geometrijski parametri osno-simetričnega jeklenega silosa, ki jih potrebujemo pri določitvi obtežbe, so razvidni iz slike 4 in preglednice 4.



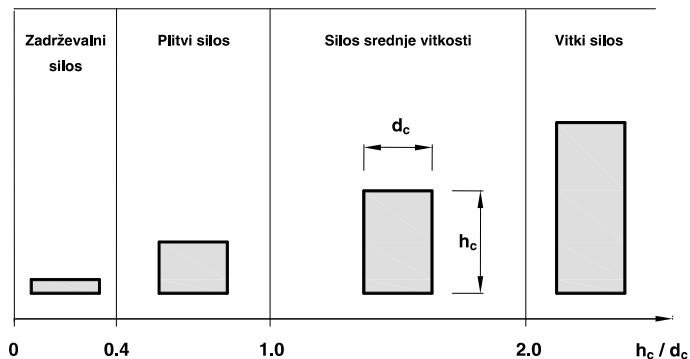
Slika 4 • Geometrijski parametri osno-simetričnega silosa

Neodvisni parametri	
Višina cilindra	$h_b$
Notranji polmer cilindra	$r_c$
Naklon lijaka glede na simetrijsko os	$\beta$
Odvisni parametri	
Notranji polmer lijaka (v odvisnosti od x)	$r_h(x) = x \cdot \tan \beta$
Višina lijaka	$h_h = \frac{r_c}{\tan \beta}$
Višina zgornjega kupa	$h_{tp} = r_c \cdot \tan \phi_r$
Globina pod ekvivalentno površino	$h_0 = \frac{1}{3} \cdot h_{tp}$
Nadomestna višina cilindra	$h_c = h_b - h_{tp} + h_0$
Nadomestna višina shranjenega materiala	$h_s = h_h + h_c < 100m$
Notranji premer cilindra	$d_c = 2 \cdot r_c < 60m$
Dodatna geometrijska omejitev	$h_s / d_c < 10$
Notranji obseg cilindra	$U = \pi \cdot d_c$
Notranja površina prečnega prereza cilindra	$A = \pi \cdot \frac{d_c^2}{4}$
Volumen shranjenega materiala	$V_m = A \cdot \left( h_c - h_0 + \frac{1}{3} (h_h + h_{tp}) \right)$
Teža shranjenega materiala	$G_m = \gamma_{max} \cdot V_m$

Preglednica 4 • Geometrijski parametri osno-simetričnega silosa

## 3. korak: Tip cilindra in lijaka

Oso-simetrični jekleni silos je sestavljen iz cilindra in lijaka. Cilindri in lijaki se delijo na več tipov. Tip cilindra določa razmerje  $h_c/d_c$  (slika 5). Velja, da je tip silosa enak tipu cilindra. Lijaki se delijo na tri tipe, glede na kot  $\beta$ , minimalni koeficient bočnega pritiska  $K_{min}$  in minimalni koeficient trenja  $\mu_{min}$  (preglednica 5).

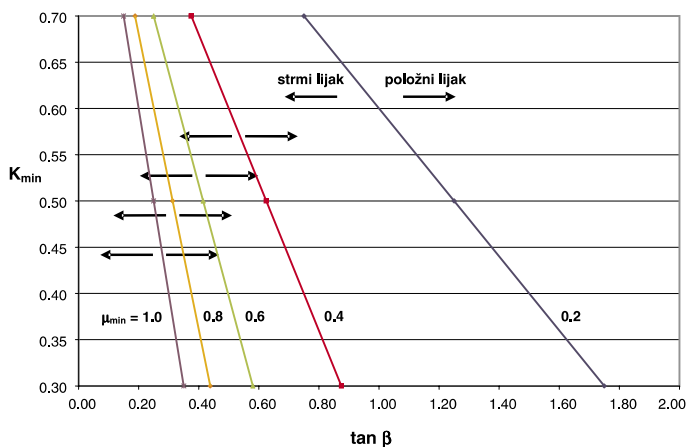


Slika 5 • Tipi cilindrov oziroma silosov

Tip lijaka	Pogoj	
Strmi lijak	$K_{min} <$	$1 - 2\mu_{min} \tan \beta$ (slika 6)
Položni lijak	$K_{min} \geq$	
Z ravnim dnom	$\beta \geq 85^\circ$	

Preglednica 5 • Tipi lijakov

Tip lijaka (strmi ali položni) lahko določimo tudi s pomočjo slike 6. Glede na minimalni koeficient trenja med steno in materialom ( $\mu_{min}$ ) izberemo ustrezno premico. Če leži točka, ki jo določata  $K_{min}$  in  $\tan \beta$ , levo od izbrane premice, je lijak strmi, v nasprotnem primeru je položni.



Slika 6 • Tipi lijakov

**Opomba:** Izrazi na sliki 5, sliki 6 in preglednici 5 so prevodi naslednjih angleških izrazov: zadrževalni silos – »retaining silo«, plitvi silos – »squat silo«, silos srednje vitkosti – »intermediate slenderness silo«, vitki silos – »slender silo«, strmi lijak – »steep hopper«, položni lijak – »shallow hopper«, lijak z ravnim dnom – »flat bottom«.

#### 4. korak: Razred obremenitve

Glede na svojo kapaciteto (maso shranjenega materiala  $m_{solid} = G_m/g \cong 0.1 \cdot G_m$ , kjer je  $G_m$  definiran v preglednici 4) se silosi delijo v tri razrede obremenitve. Pri silosih z majhno kapaciteto veljajo nekatere poenostavitve, ki so razvidne v nadaljevanju članka. Razred obremenitve AAC (ang. »Action Assessment Class«) se določi po preglednici 6.

Razred obremenitve (AAC)	$m_{solid}$
1	pod 100 ton
2	med 100 in 10 000 tonami
3	več kot 10 000 ton

Preglednica 6 • Definicija razredov obremenitve pri silosih

#### 5. korak: Kombinacije materialnih parametrov

Pritiski na stene silosa so odvisni od vrste shranjenega materiala, ki ga opisujejo parametri iz preglednice 2. Maksimalne vrednosti pritiskov dobimo s kombiniranjem minimalnih (MIN), maksimalnih (MAX) in srednjih (MEAN) vrednosti parametrov  $\mu$ ,  $K$  in  $\phi$ , shranjenega materiala. Za specifično težo vedno vzamemo  $\gamma_{max}$ . Za izračun maksimalnih pritiskov na steno cilindra ( $p_n$  in  $p_w$ ) se upošteva kombinacije iz preglednice 7. Za izračun maksimalnih pritiskov ( $p_n$  in  $p_l$ ) na steno lijaka se upošteva kombinaciji iz preglednice 8.

Kombinacija	AAC	Namen	$\mu$	$K$	$\phi$
1	1	maksimalni pritisk ( $p_n$ ) in maksimalno trenje ( $p_w$ )	MEAN	MEAN	MEAN
2	2 in 3	maksimalni pritisk ( $p_n$ )	MIN	MAX	MIN
3		maksimalno trenje ( $p_w$ )	MAX	MAX	MIN

Preglednica 7 • Kombinacije materialnih parametrov za določitev maksimalnih pritiskov na steno cilindra

Kombinacija	AAC	Velja za	Namen	$\mu$	$K$	$\phi$
4	1, 2 in 3	vertikalni pritisk v cilindru	maksimalni vertikalni pritisk na stiku cilindra in lijaka ( $p_v$ )	MIN	MIN	MAX
		steno lijaka	maksimalni pritisk ( $p_n$ ) in maksimalno trenje ( $p_l$ ) ob polnjenju	MIN	MIN	MIN
5	1, 2 in 3	vertikalni pritisk v cilindru	maksimalni vertikalni pritisk na stiku cilindra in lijaka ( $p_v$ )	MIN	MIN	MAX
		steno lijaka	maksimalni pritisk ( $p_n$ ) in maksimalno trenje ( $p_l$ ) ob praznjenju	MIN	MAX	MAX

Preglednica 8 • Kombinacije materialnih parametrov za določitev maksimalnih pritiskov na steno lijaka

#### 6. korak: Pritiski na cilindar

Pritiske na steno cilindra se določi po diagramu 1 za vsako od kombinacij materialnih parametrov iz preglednice 7. Iz preglednice 7 je razvidno, da je za silose v razredu obremenitve 1 potrebno opraviti izračun samo za kombinacijo 1, za silose v razredu obremenitve 2 ali 3 pa je potrebno opraviti dva izračuna: za kombinacijo 2 (za določitev maksimalnega normalnega pritiska  $p_n$ ) in za kombinacijo 3 (za določitev maksimalnega trenja  $p_w$ ).

V diagramih 1.1, 1.2 in 1.3 je pritiskom pri polnjenju dodan indeks  $f$ , pritiskom pri praznjenju pa indeks  $e$ . Oznake na desni strani enačb so pojasnjene v preglednicah 2 in 4 in na sliki 4.

Iz diagramov 1.1, 1.2 in 1.3 je očitno, da so pritiski pri praznjenju vedno večji ali enaki pritiskom pri polnjenju. Prav tako je očitno, da je oblika pritiskov po višini cilindra enaka pri praznjenju in pri polnjenju.

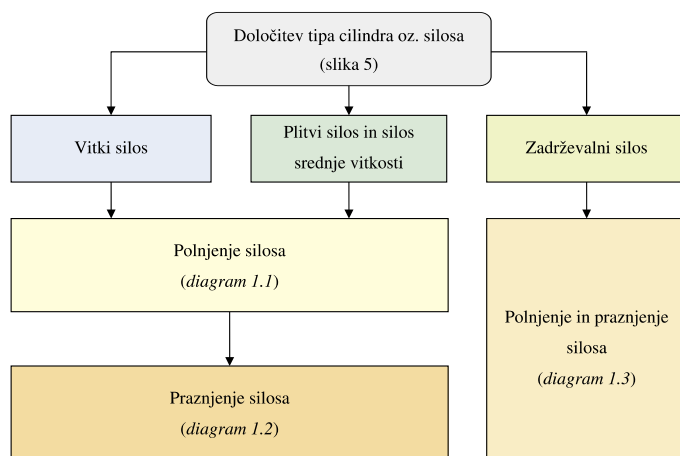


Diagram 1 • Določitev pritiskov na steno cilindra

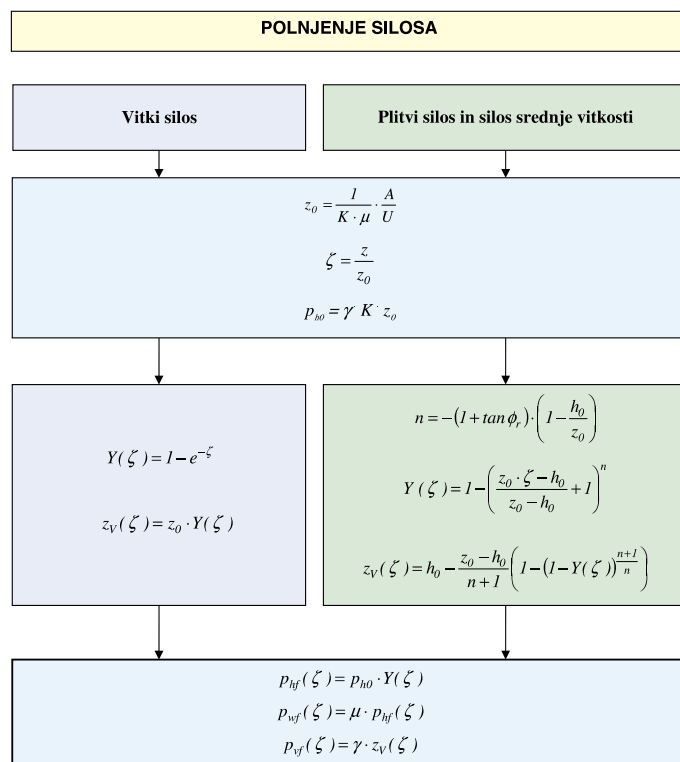


Diagram 1.1



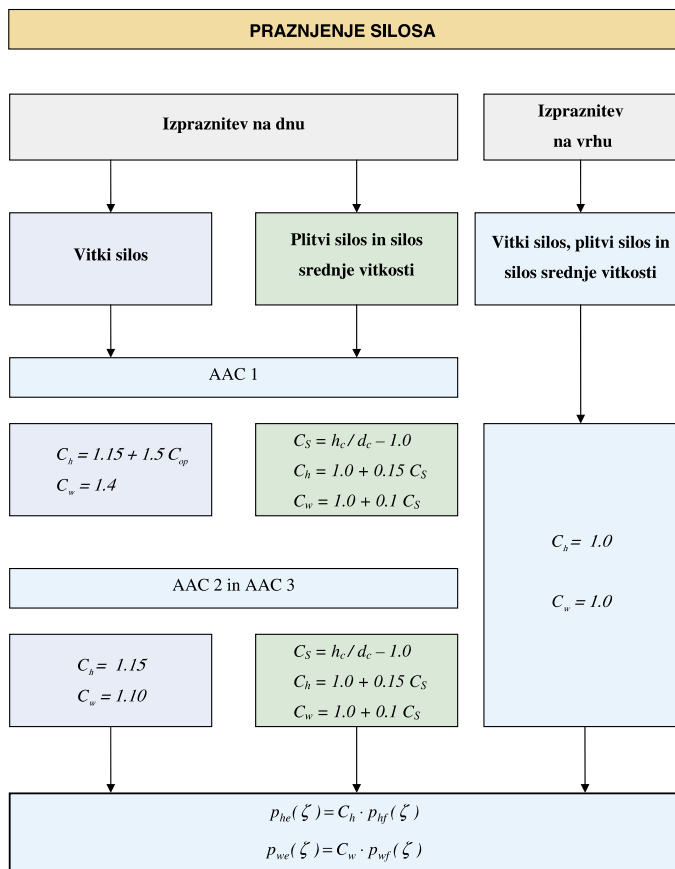


Diagram 1.2

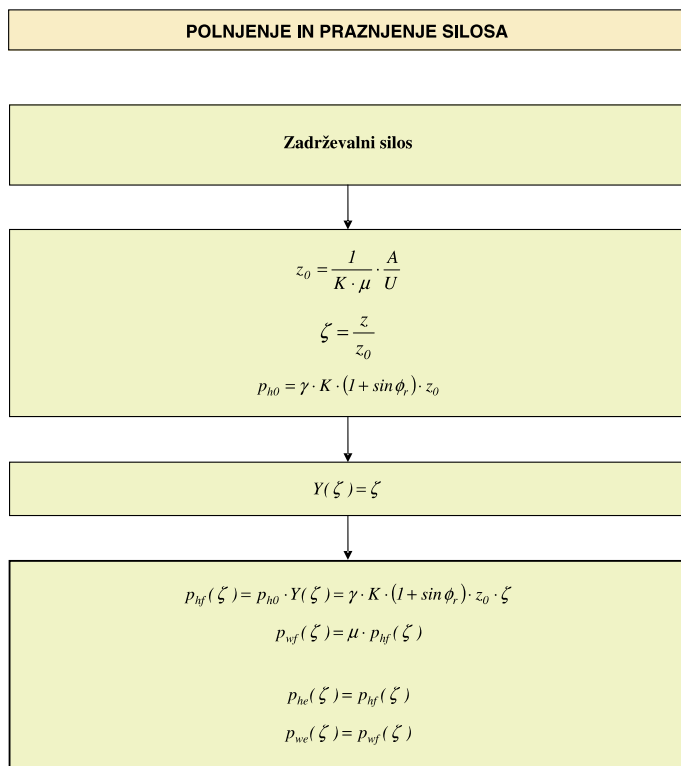


Diagram 1.3

**7. korak: Pritiski na lijak**

Pritiske na steno lijaka se določi po diagramu 2 za obe kombinaciji materialnih parametrov iz preglednice 8: kombinacija 4 se nanaša na določitev maksimalnega pritiska  $p_n$  in maksimalnega trenja  $p_t$  pri polnjenju, kombinacija 5 pa na določitev teh dveh količin pri praznjenju. Preden se lotimo izračuna maksimalnega pritiska  $p_n$  in maksimalnega trenja  $p_t$  za polnjenje in za praznjenje, moramo določiti maksimalni vertikalni pritisk v materialu pri polnjenju cilindra  $p_{vf}$ , saj sta  $p_n$  in  $p_t$  odvisna od njega. Določimo ga po diagramu 1.1 za kombinacijo materialnih parametrov, ki je podana v preglednici 8. Računamo njegovo vrednost na mestu prehoda iz cilindra v lijak, tj. pri  $\xi = h_c / z_0$ . Pri dotekanju materiala v silos in pri iztekanju materiala iz silosa so pritiski na stene lijaka večji, kot so, če material miruje. To dejstvo se upošteva s faktorjem povečave pritiska  $C_b$  (preglednica 9), s katerim se poveča maksimalni vertikalni pritisk v materialu pri polnjenju cilindra  $p_{vf}$  (glej diagram 2). Dinamična verzija faktorja  $C_b$  se uporabi, kadar obstaja velika verjetnost, da bo pri shranjevanju prišlo do dinamičnih učinkov. Ti se lahko pojavijo, če v vitkem silosu shranjujemo materiale, ki nimajo nizke kohezije (za več o tem glej EN 1991-4, poglavje 1.5.24 (CEN, 2006a)), ali če shranjujemo material, katerega zrna se lahko mehansko zaklinijo (npr. cementni klinker).

	AAC	Cb
<b>Statičen (standarden)</b>	1	1.3
	2 in 3	1.0
<b>Dinamičen</b>	1	1.6
	2 in 3	1.2

Preglednica 9 • Faktor povečave pritiska ( $C_b$ )

V diagramih 2.1, 2.2 in 2.3 je pritisku in trenju pri polnjenju dodan indeks  $f$ , pritisku in trenju pri praznjenju pa indeks  $e$ . Oznake na desni strani enačb so pojasnjene v preglednicah 2, 4 in na sliki 4.

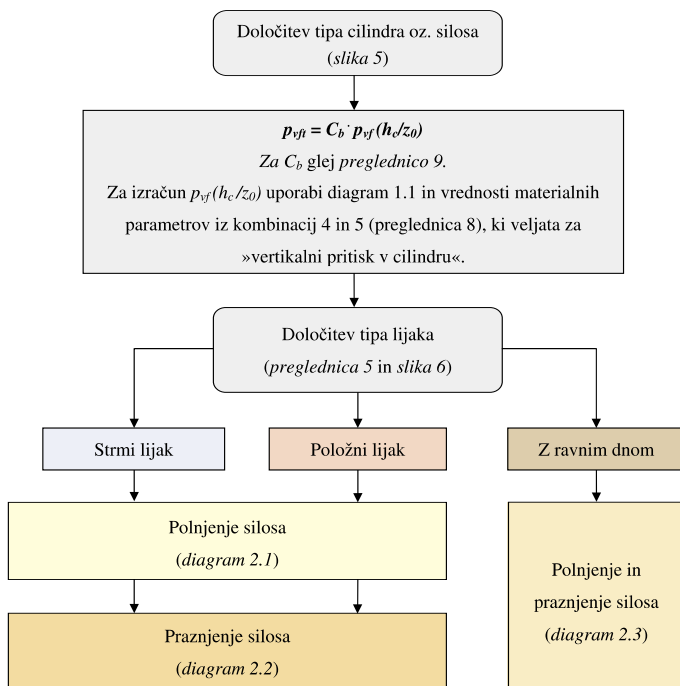


Diagram 2 • Določitev pritiska na steno lijaka

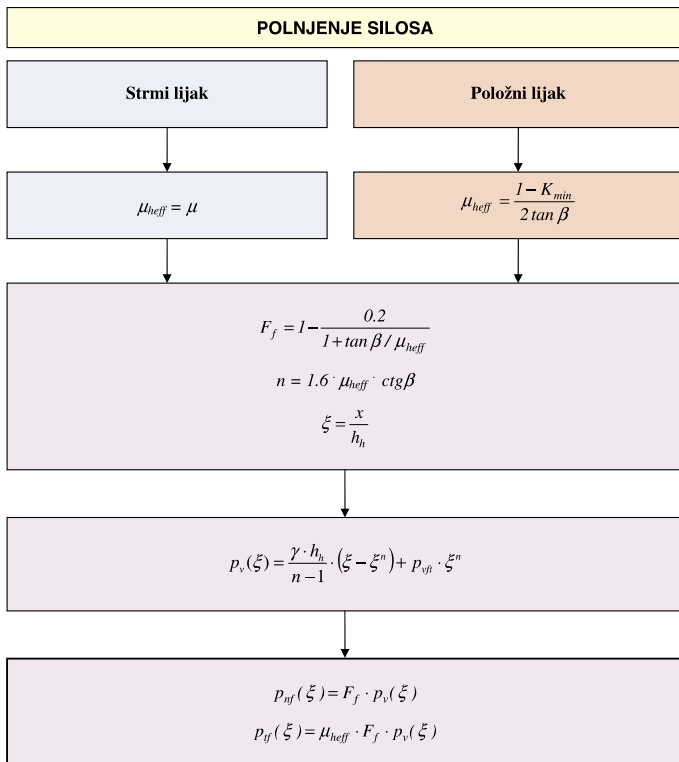


Diagram 2.1

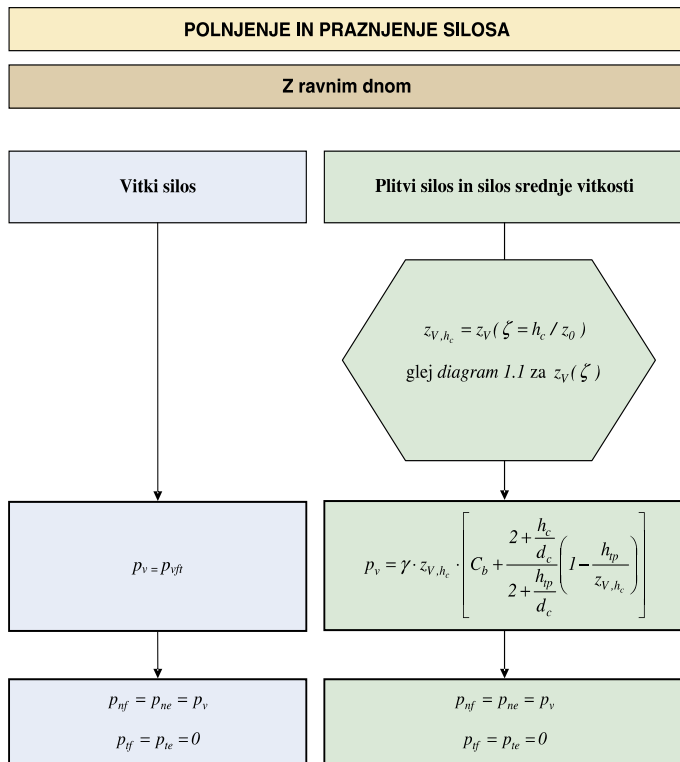


Diagram 2.3

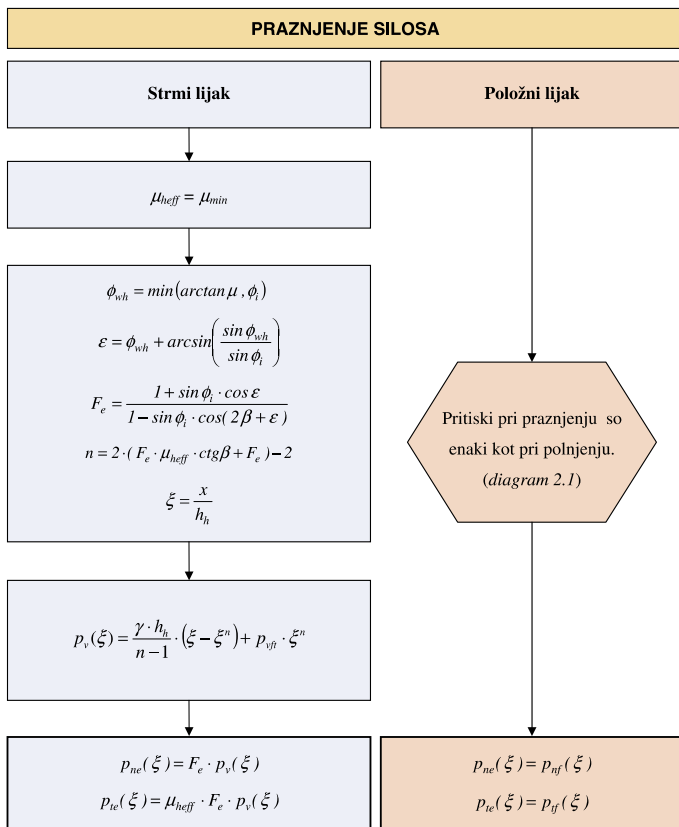


Diagram 2.2

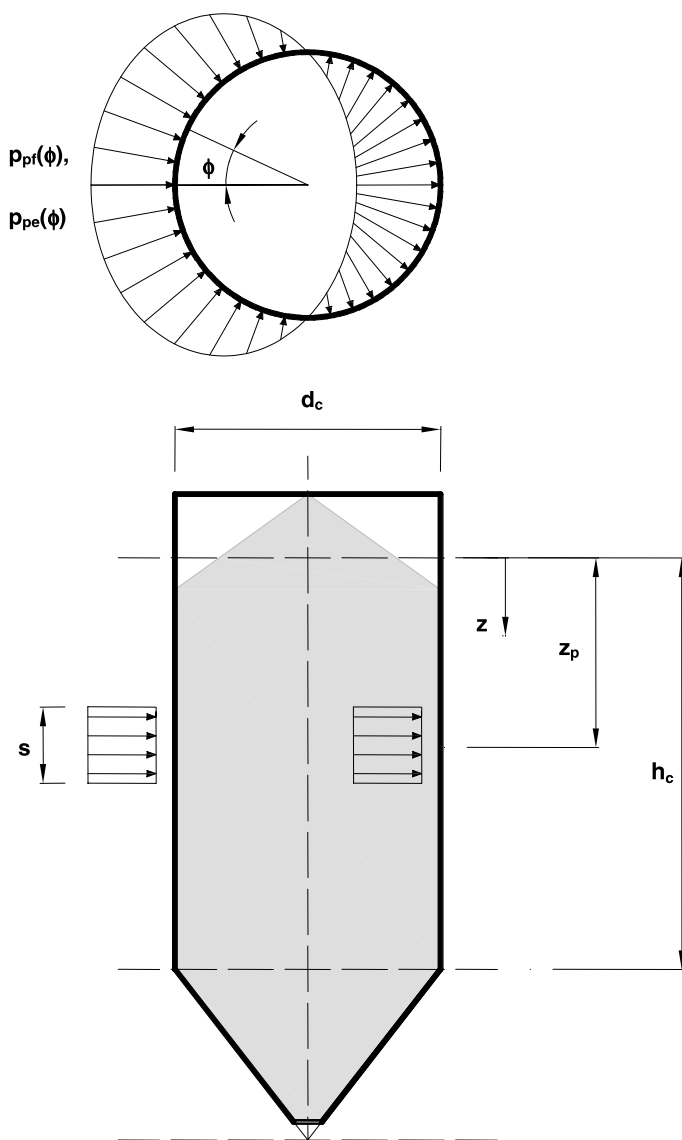
### 3 • NESIMETRIČNA OBEŽBA ZARADI POLNENJA IN PRAZNIENJA

Naključne, nesimetrične vplive, ki nastanejo pri polnjenju in praznjenju, se po standardu EN 1991-4 (CEN, 2006a) upoštevata z nesimetrično obtežbo, katere vplivi se pojavijo samo v cilindru. Upoštevati jo je treba pri vitkih, srednje vitkih in plitvih silosih, ki pripadajo razredu obremenitve 2 in 3. Pri razredu obremenitve 1 in pri zadrževalnem silosu je ni treba upoštevati.

Kadar spada obravnavani silos v razred obremenitve 2 in kadar je silos na vrhu pokrit s streho (oz. je na dnu in na vrhu dodan ojačitveni obroč), nesimetrijo upoštevamo tako, da povečamo osno-simetrične pritiske iz 2. poglavja. Za silose med procesom polnjenja velja:

$$p_{hf,u}(\zeta) = (1 + 0.5 C_{pf}) \cdot p_{hf}(\zeta) \quad (1)$$

$$p_{wf,u}(\zeta) = (1 + C_{pf}) \cdot p_{wf}(\zeta) \quad (2)$$



Slika 7 • Potek nesimetrične obtežbe pri silosih v razredu obremenitve 3

Za silose med praznjenjem pa velja:

$$p_{he,u}(\zeta) = (1 + 0.5 C_{pe}) \cdot p_{he}(\zeta) \quad (3)$$

$$p_{we,u}(\zeta) = (1 + C_{pe}) \cdot p_{we}(\zeta) \quad (4)$$

Vrednosti koeficientov  $C_{pf}$  in  $C_{pe}$  se določijo po diagramu 3. Indeks  $u$  v enačbah (1) do (4) označuje pritisk, pri katerem so upoštevani nesimetrični vplivi.

Kadar spada obravnavani silos v razred obremenitve 3, se nesimetrične vplive upoštevata z nesimetrično kosinusno obtežbo  $p_{pf}$  (polnjenje) oziroma  $p_{pe}$  (praznjenje), ki deluje na odseku dolžine  $s$ , na globini  $z_p$  (slika 7):

$$s = 0.2 \cdot d_c \quad (5)$$

$$z_p = \min(z_0, h_c) \quad (6)$$

Referenčno višino  $z_0$  podaja diagram 1.1. Nesimetrično obtežbo moramo upoštevati skupaj s simetrično. Postopek za njeno določitev je v diagramu 3.

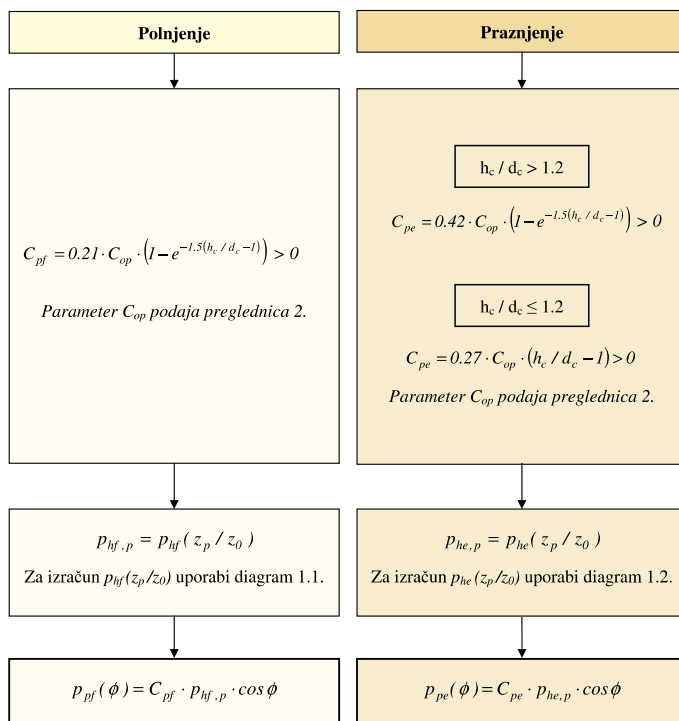


Diagram 3 • Določitev nesimetrične obtežbe pri silosih v razredu obremenitve 3

## 4 • SKLEP

Članek je mišljen kot pomoč pri projektiranju jeklenih osno-simetričnih silosov po Evrokodih, saj na pregleden način prikazuje postopek določitve pritiskov na stene silosa zaradi polnjenja in praznjenja po EN 1991-4 (CEN, 2006a) za silose različnih kapacitet in tipov. Celoten postopek je prikazan v sedmih zaporednih korakih in nekaj

diagramih, ki so strukturirani tako, da jih je mogoče uporabiti tudi kot algoritem za računalniški program (Petrovčič, 2008). Določitev poteka pripadajočih membranskih sil po posameznih delih silosa ter ilustrativni primer izračuna je podan v spremljajočem članku (Petrovčič et. al., 2009).

## 5 • LITERATURA

CEN, Eurocode 0, Basis of structural design, EN 1990, European Committee for Standardization, 2000.

CEN, Eurocode 1, Actions on structures – Part 1-4, General actions – Wind actions, EN 1991-1-4, European Committee for Standardization, 2005.

CEN, Eurocode 1, Actions on structures – Part 4, Actions on silos and tanks, EN 1991-4, European Committee for Standardization, 2006a.

CEN, Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance – Part 1, General rules, seismic actions and rules for buildings, EN 1998-1, European Committee for Standardization, 2004.

CEN, Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance – Part 4, Silos, tanks and pipelines, EN 1998-4, European Committee for Standardization, 2006b.

Guggenberger, W., Wallner, S., Beulbemessung diskret gelagerter dünnwandiger kreiszylindrischer Stahlsilokonstruktionen nach EN 1993-1-6. Stahlbau, 75, 9, 2006.

Petrovčič, S., Analiza in projektiranje tankostenskih cilindričnih silosov v skladu z Evrokod standardi, Diplomaska naloga, Univerza v Ljubljani, FGG, 2008.

Petrovčič, S., Guggenberger, W., Brank, B., Jekleni silosi za sipke materiale, 2. del – Membranske sile pri polnjenju in praznjenju, Gradbeni vestnik, poslano v objavo, 2009.



Inženirska zbornica Slovenije (IZS) in Gospodarska zbornica Slovenije (GZS) organizirata okroglo mizo, ki bo namenjena razpravi o učinkovitejši organiziranosti javne uprave ter zakonodaje na področju graditeljstva in javnih gradenj. Slabih praks načrtovanja in izgradnje javnih objektov ter ovir in nedopustnih praks v graditeljstvu je preveč, zato je skrajni čas za spremembe, strokovno dosledne, preudarne in odgovorne.

V času iskanja rešitev iz gospodarske krize je to še nujnejše, kot je bilo doslej. Posledice pomanjkljive zakonodaje in organiziranosti za načrtovanje, projektiranje, gradnjo, kompetenten nadzor gradnje objektov, posebej javne infrastrukture in s tem povezano neoptimalno financiranje javnih gradenj, namreč nedopustno škodujejo ne le gospodarstvu, ampak pomenijo resno oviro za bodoči razvoj celotne družbe.

Vabimo vas na okroglo mizo z naslovom

## **KAKO DO UČINKOVITE (JAVNE) GRADNJE?**

Potekala bo v torek, **31. marca 2009, ob 10.00 uri**

**v okviru sejma Megra v Gornji Radgoni, dvorana 4 na sejmišču.**

Uvodničarja na okrogli mizi, ki jo bo povezovala ga. Alenka Avberšek – GZS,  
bosta **generalni direktor GZS mag. Samo Hribar Milič in predsednik IZS mag. Črtomir Remec.**

V nadaljevanju bodo svoja stališča predstavili še predstavnik GZS mag. Vekoslav Korošec in g. Borut Gržinič ter predstavnik IZS dr. Branko Zadnik in g. Mirt Martelanc.

Na okroglo mizo vabimo tudi ministra za okolje in prostor Karla Erjavca s sodelavci, predstavnike parlamentarnih delovnih teles, poslanskih skupin, člane Inženirske zbornice Slovenije, člane Gospodarske zbornice Slovenije in predstavnike medijev.

**Vljudno vabljeni!**

Za lažjo organizacijo okrogle mize vas prosimo, da **potrdite svojo udeležbo** pisno na naslov Inženirska zbornica Slovenije, Jarška cesta 10/b, 1000 Ljubljana ali na elektronski naslov [petra.kavcic@izs.si](mailto:petra.kavcic@izs.si) ali na telefaks 01/547 33 20.

Dodatne informacije: ga. Petra Kavčič, telefon 01/547 33 37.

**PRIPRAVLJALNI SEMINARJI IN IZPITNI ROKI ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2009**

SEM IN AR		IZPIT	
Datum		Osnovni in dopolnilni	Revidiranje
Marec		24.	17.
April	20.–22. (3 dni)		
Maj		26.	
Oktober	5.–7. (3 dni )		20.
November		10.	

**A. PRIPRAVLJALNI SEMINARJI:**

Pripravljalne seminarje organizira **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Leskoškova 9E, 1000 Ljubljana;**

Telefon: (01) 52-40-200; Fax: (01) 52-40-199; e-naslov: [gradb.zveza@siol.net](mailto:gradb.zveza@siol.net).

**Uradne ure pri ZDGITS:** ponedeljek, torek, četrtek: od 10.00 do 14.00 ure; v sredo od 12.00 do 16.00 ure!

V petek NI URADNIH UR za stranke!!!

Seminar vključuje **izpitne programe** za:

1. odgovorno projektiranje (osnovni in dopolnilni strok. izpit)
2. odgovorno vodenje del (osnovni in dopolnilni strok. izpit)
3. odgovorno vodenje posameznih del
4. Investicijski procesi in vodenje projektov (za dopolnilni strokovni izpit).  
Predavanje se odvija v okviru rednih seminarjev.

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

**Cena** za udeležbo na seminarju (za predavanje in literaturo) po izpitnih programih 1.,2. in 3. točke znaša 613,00 EUR z DDV, pod 4. točko pa 87,63 EUR z DDV.

**Kotizacijo za seminar je treba nakazati ob prijavi** na poslovni račun ZDGITS: **SI56 0201 7001 5398 955**, kopijo dokazila o plačilu pa priložiti k prijavi!

Udeleženca prijavi k seminarju plačnik (podjetje, družba, ustanova, sam udeleženec...). Prijavo je potrebno poslati organizatorju (ZDGITS) najkasneje 15 dni pred pričetkom seminarja (z obvezno prilogo dokazila o plačani kotizaciji)!

Prijavni obrazec je mogoče dobiti pri ZDGITS.

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

**B. STROKOVNI IZPITI**

potekajo pri **Inženirski zbornici Slovenije (IZS), Jarška 10-B, 1000 Ljubljana**. Informacije je mogoče dobiti na spletni strani IZS <http://www.izs.si> (kjer se nahajajo vse informacije o strokovnih izpiti in izpitni programi) in po telefonu (01) 547-33-15 ob uradnih urah (ponedeljek, sredo, četrtek, petek: od 08.00 do 12.00 ure; v torek od 12.00 do 16.00 ure)

# NOVI DIPLOMANTI

## UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Katja Zgonec**, Elastičnosti v prometu, mentor doc. dr. Marijan Žura, somentor Tomaž Guzelj, u.d.i.g.

**Tanja Marcola**, Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor mag. Bernardka Jurič

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ VODARSTVO IN KOMUNALNO INŽENIRSTVO

**Andrej Cverle**, Analiza hidravličnih razmer pri bočnih prelivih, mentor prof. dr. Franc Steinman, somentor doc. dr. Primož Banovec

## UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

### VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Vito Golob**, Sovprežni most razpona 48 m, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor doc. dr. Simon Šilih

**Mojca Grah**, Projekt organizacije gradbišča za poslovni objekt Trgovski center Merkur Murska Sobota s terminskim planom napredovanja del, mentor pred. Metka Zajc Pogoreličnik, univ. dipl. inž. grad.

**Uroš Planinc**, Miniranje v gradbeništvu, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj, somentor pred. Milan Kuhta, univ. dipl. inž. grad.

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

**Peter Bezjak**, Primerjava ravni prometne varnosti nivojskih križišč s stališča števila konfliktnih točk in konfliktnih situacij, mentor izr. prof. dr. Tomaž Tollazzi, somentor viš. pred. mag. Marko Renčelj

**Tomaž Ramovš**, Celostni pristop k umirjanju prometa – primer Frankovega naselja v občini Škofja Loka, mentor izr. prof. dr. Tomaž Tollazzi, somentor viš. pred. mag. Marko Renčelj

**Robert Sukič**, Študija tehnologije grajenja nadvoza 0092-1, 4-2 na odseku AC Slivnica–Draženci–Gruškovje, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj, somentor doc. dr. Uroš Klanšek

**Boštjan Zorec**, Obravnavanje mest zgostitev prometnih nesreč v primeru omejenih prostorskih možnosti – primer križišča Žiri (Idrija), mentor izr. prof. dr. Tomaž Tollazzi, somentor viš. pred. mag. Marko Renčelj

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

### UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA

**Luka Budna**, Metoda ocenjevanja vrednosti zemljišč, mentorja doc. dr. Igor Pšunder – FG in red. prof. dr. Franc Koletnik – EPF

**Andrej Cehl**, Obdelovanje projektnega poslovanja gradnje za trg, mentorja doc. dr. Igor Pšunder – FG in red. prof. dr. Anton Hauc – EPF

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

**Vsem diplomantom čestitamo!**

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

**ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika**

# KOLEDAR PRIREDITEV

**3.4.2009**

**Glasbau 2009**

Dresden, Nemčija  
[www.bauko.bau.tu-dresden.de](http://www.bauko.bau.tu-dresden.de)

**21.-23.4.2009**

**Traffex 2009**

Birmingham, Anglija  
[www.traffex.com](http://www.traffex.com)

**3.-5.5.2009**

**8th Annual PTI Conference and Exhibition**

Portland, Oregon, ZDA  
[www.post-tensioning.org/annual\\_conference.php](http://www.post-tensioning.org/annual_conference.php)

**20.-22.5.2009**

**5th International Conference on Construction in the 21st Century**

CITC-V, Carigrad, Turčija  
[www.fiu.edu/~citc](http://www.fiu.edu/~citc)

**22.-24.6.2009**

**Concrete: 21st Century Superhero**

London, Anglija  
[www.fiblondon09.com](http://www.fiblondon09.com)

**13.-15.7.2009**

**FRPRCS-9**

**9th International Symposium on Fibre Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures**

Sidney, Avstralija  
[www.iceaustralia.com/frprcs9](http://www.iceaustralia.com/frprcs9)

**26.-29.7.2009**

**2nd international conference on Fatigue and Fracture in the Infrastructure**

**Bridges and Structures of the 21st Century**

Philadelphia, Pennsylvania, ZDA  
<http://ffconf.atlss.lehigh.edu/index.html>

**6.-11.9.2009**

**IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium Sustainable Infrastructure – Environment Friendly, Safe and Resource Efficient**

Bangkok, Tajska  
[www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents](http://www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents)

**20.-23.9.2009**

**8th International Symposium on Cable Dynamics**

Pariz, Francija  
<http://www.aimontefiore.org/iscd2009>

**23.-25.9.2009**

**14th European Parking Association Congress**

Dunaj, Avstrija  
[www.europeanparking.eu](http://www.europeanparking.eu)

**5.-9.10.2009**

**17th International Conference for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**

Alexandria, Egipt  
[www.2009icsmge-egypt.org](http://www.2009icsmge-egypt.org)

**14.-16.10.2009**

**EVACES'09**

**Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures**

Wroclaw, Poljska  
[www.evaces09.pwr.wroc.pl/index.html](http://www.evaces09.pwr.wroc.pl/index.html)

**11.-12.11.2009**

**Road Expo Scotland**

Edinburgh, Škotska  
<http://www.road-expo.com/re2008s/landing.html>

**3.-5.5.2010**

**IABSE Conference**

**International Structural Codes**

Dubrovnik, Hrvaška  
[www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents](http://www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents)

**29.5.-2.6.2010**

**The Third International fib Congress and Exhibition "Think Globally, Build Locally"**

Washington D.C., ZDA  
[www.fib2010washington.com](http://www.fib2010washington.com)

**20.-23.6.2010**

**8th fib International PhD Symposium in Civil Engineering**

Kopenhagen, Danska  
<http://conferences.dtu.dk/conferenceDisplay.py?confid=21>

**14.-16.7.2010**

**International Conference on Structures and Architecture**

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

**9.2010**

**IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium**

Benetke, Italija  
[www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents](http://www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents)

**20.-23.9.2011**

**IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium**

London, Anglija  
[www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents](http://www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents)

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