GRADBENI VESTNIK

avgust 2007

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE IN
MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKE ZBORNICE SLOVENIJE

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana

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

UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774

Ljubljana, avgust 2007, letnik 56, str. 185-216

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

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

Glavni in odgovorni urednik:
prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:
Jan Kristjan Juteršek

Lektorica:
Alenka Raič Blažič

Lektorica angleških povzetkov:
Darja Okorn

Tajnica:
Anka Holobar

Oblikovalska zasnova:
Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:
Kočevski tisk

Naklada:
3000 izvodov

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

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

Letno izide 12 številk. 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 vštet DDV.

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

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

• Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.

• Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.

• Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.

• Besedilo mora biti izpisano z znaki velikosti 12 pik z dvojnim 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.

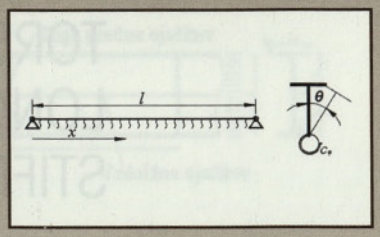
Uredništvo

Vsebina • Contents

Članki • Papers

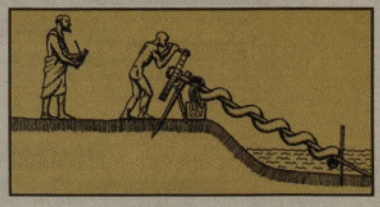
stran **186**

Franc Sinur, univ. dipl. inž. grad.
prof. dr. Darko Beg, univ. dipl. inž. grad.
TORZIJSKA ODPORNOST VZDOLŽNIH IN PREČNIH OJAČITEV POLNOSTENSKIH NOSILCEV
TORSIONAL RESISTANCE OF LONGITUDINAL AND TRANSVERSAL STIFFENERS IN PLATE GIRDERS



stran **198**

Franc Maleiner, univ. dipl. inž. kom.
UPORABA POLŽASTIH ČRPALK V KANALIZACIJSKIH OMREŽJIH
THE USE OF SCREW PUMPS IN SEWER SYSTEMS



stran **209**

prof. dr. Mitja Rismal, univ. dipl. inž. grad.
ALI JE AKUMULACIJA SUHORKA POTREBNA?
IS THE WATER RESERVOIR SUHORKA NECESSARY?

Razpis

stran **208**

Nagrada IZS za inovativnost

Seminar

stran **216**

Pripravljalni seminar za strokovne izpite

Novi diplomanti gradbeništva

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

Vabilo

29. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije

Slika na naslovnici: Termalni center Laško, foto Janez Duhovnik

TORZIJSKA ODPORNOST VZDOLŽNIH IN PREČNIH OJAČITEV POLNOSTENSKIH NOSILCEV

TORSIONAL RESISTANCE OF LONGITUDINAL AND TRANSVERSAL STIFFENERS IN PLATE GIRDERS

Franc Sinur, univ. dipl. inž. grad.
prof. dr. Darko Beg, univ. dipl. inž. grad.
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Jamova 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek
UDK 624.04:531.25:51-7

Povzetek | V članku so predstavljene teoretične osnove enačb za izračun elastične kritične napetosti ojačitev polnostenskih nosilcev pri torzijskem uklonu. Da smo v izračun kritične napetosti zajeli vpliv torzijske togosti pločevine, smo opravili več numeričnih analiz različnih geometrij. Numerično analizo smo izvedli s programom ABAQUS. Za rezultate, ki smo jih dobili z numerično analizo, smo razvili enačbe torzijske togosti pločevine c_φ, odvisne od parametrov geometrije α, vitkosti b/t in nivoja tlačnih napetosti na mestu ojačitve σ/σ_{mej}. Izpeljane enačbe dobro opisujejo odziv pločevine za material S355. V nadaljevanju smo dobljene enačbe dodatno reducirali s faktorjem materiala in tako dobili končne oblike enačb torzijske odpornosti za vsa običajna konstrukcijska jekla (S235-S355).

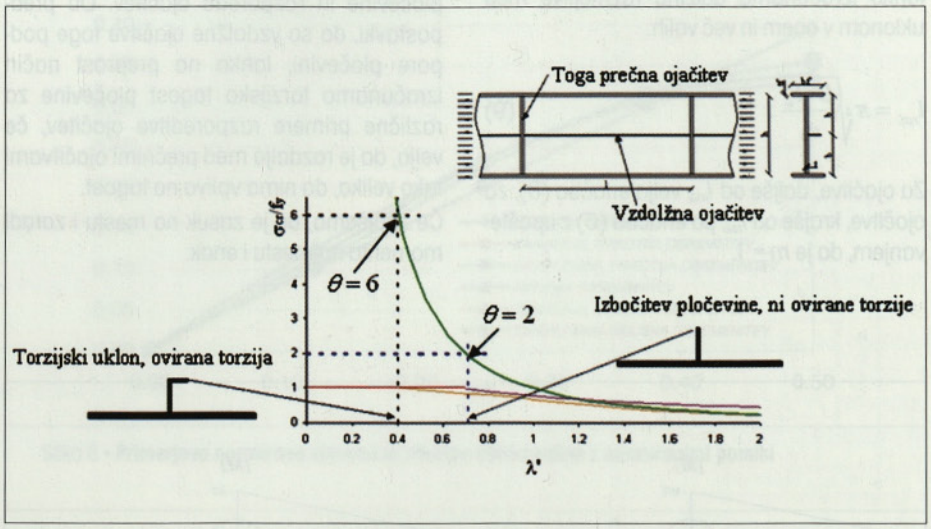
Summary | Theoretical basic equations for calculating elastic torsional critical stress of stiffeners and elastic plate restraint constant are presented in this paper. In order to take elastic restraint constant into account in the calculation of the critical stress, several numerical analyses for different geometrical designs were carried out by using the program ABAQUS. The equation for elastic restraint constant c_φ, which depends on the parameters of geometry α, slenderness b/t and level of pressure σ/σ_{mej} on the stiffened point of the plate, was developed from the given numerical results. The equations, which describe these phenomena, give good approximates of the response of the plate for the material S355. However, these equations do not apply to all materials. Therefore, another factor was included in the equations, which makes the final equations applicable to all the structural materials (S235-S355).

1 • UVOD

Jeklene konstrukcije so zaradi svoje vitkosti primer konstrukcij, ki so zelo občutljive za stabilnost. V praksi se največkrat srečamo z naslednjimi primeri izgube stabilnosti: uklon tlačno obremenjenega stebra in bočna zvrnitev upogibno obremenjenega nosilca. Posebna oblika nestabilnosti je torzijski uklon ojačitve polnostenskega nosilca. Izguba nosilnosti lahko na eni strani ogrozi le lokalni del konstrukcije ali pa celotno stabilnost konstrukcije in povzroči katastrofalno porušitev. Zato je ustrezno projektiranje in zagotavljanje stabilnosti posameznih delov konstrukcije bistvenega pomena.

V slovenskem prostoru se uvajajo evrokodi – evropski standardi za projektiranje konstrukcij. EN 1993-1-5 je standard za projektiranje jeklenih konstrukcij, narejenih iz tankih pločevin. Varjeni tankostenski nosilci so tipičen predstavnik takih konstrukcij in se običajno uporabljajo v mostogradnji (jekleni ali sovprežni mostovi), v industriji pri žerjavnih progah ter na vseh mestih, kjer sta potrebni visoka nosilnost in nizka lastna teža. Te nosilce običajno ojačimo z nizom prečnih in vzdolžnih ojačitev, ki nosilec razdelijo v posamezne panele in podpanele. S tem lahko močno povečamo tako strižno kot tudi upogibno nosilnost nosilca. Nosilce lahko ojačimo z ojačitvami zaprtega prereza ali pa z ojačitvami odprtega prereza.

EN 1993-1-5 z omejitvijo vitkosti zahteva, da je torzijski uklon ojačitve povsem preprečen. Vitkost elementa je v splošnem definirana kot koren količnika meje plastičnosti materiala in elastične kritične napetosti torzijskega uklona $\overline{\lambda} = \sqrt{f_y/\sigma_{cr}}$. Da preprečimo torzijski uklon ojačitev, moramo zagotoviti dovolj veliko elastično torzijsko kritično napetost $\sigma_{cr} \geq \theta \cdot f_y$. V primeru ploščatih ojačitev EN 1993-1-5 priporoča vrednost $\theta = 2$, medtem ko velja pri ostalih odprtih ojačitvah $\theta = 6$ (slika 1). Pri izračunu kritične napetosti lahko poleg Saint-Venantove (neovirana torzija) torzije upoštevamo še ovirano torzijo (če je le-ta prisotna) in prispevek pločevine. Analitični izrazi za določitev kritične napetosti pri torzijskem uklonu so splošno znani (Timošenko, 1962), medtem ko prispevek pločevine ni tako enostavno določiti. D. Beg je v (Johansson, 2005) predlagal, da ojačitev obravnavamo kot tlačen element, podprt z zvezno torzijsko vzmetjo pločevine $c_{\varphi 0}$, ki je odvisna od geometrije in vitkosti pločevine ter nivoja napetosti v pločevini. Vpliv posameznih parametrov na končno velikost torzijske togosti še ni povsem raziskan, zato smo s pomočjo numerčnih simulacij določili vpliv pločevine na izračun torzijske kritične napetosti.



Slika 1 • **Kritična napetost (elastična in plastična), odvisna od parametra vitkosti**

2 • KRITIČNA NAPETOST Z UPOŠTEVANJEM ELASTIČNE PODLAGE

Ravnotežno enačbo ojačitve (slika 2), kjer upoštevamo torzijsko togost pločevine, lahko zapišemo kot:

$$E \cdot I_w \cdot \theta_{,xxxx} + (N \cdot i_p^2 - G \cdot I_t) \cdot \theta_{,xx} + c_\varphi \cdot \theta = 0 \qquad (1)$$

ali

$$\theta_{,xxxx} + \omega^2 \cdot \theta_{,xx} + \alpha^2 \cdot \theta = 0, \qquad (2)$$

kjer je

$$\alpha^2 = \frac{c_\varphi}{E \cdot I_w}. \qquad (3)$$

Prva dva člena enačbe predstavljata klasičen torzijski uklon tlačene palice (Timošenko, 1962), v tretjem členu pa je zajet prispevek elastične torzijske podlage.
Rešitev enačbe (1), ki zadosti robnim pogojem na sliki 2 je:

$$\theta = A \cdot \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{l}, \qquad (4)$$

kjer je m celo število, ki opisuje število valov. Z odvajanjem enačbe (4) in vstavljanjem izrazov v enačbo (1) ter manjšim preoblikovanjem dobimo enačbo:

$$N_{cr} = \frac{1}{i_p^2}\left[E \cdot I_w \frac{m^2 \cdot \pi^2}{l^2} + c_\varphi \frac{l^2}{m^2 \cdot \pi^2} + G \cdot I_t\right]. \qquad (5)$$

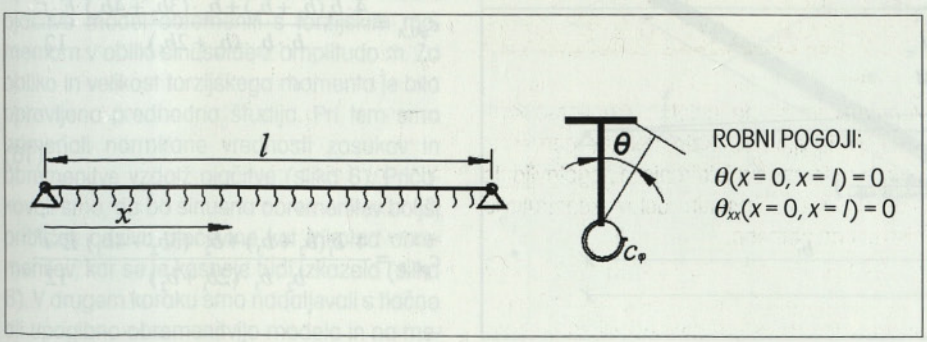
Z deljenjem gornje enačbe s površino ojačitve A dobimo naslednji izraz za elastično torzijsko kritično napetost:

$$\sigma_{cr} = \frac{1}{I_p}\left[E \cdot I_w \frac{m^2 \cdot \pi^2}{l^2} + c_\varphi \frac{l^2}{m^2 \cdot \pi^2} + G \cdot I_t\right]. \qquad (6)$$

Z odvajanjem enačbe (5) ali (6) po m-ju in izenačenjem odvajane enačbe z nič dobimo najprej pogoj za minimalno vrednost kritične napetosti σ_{cr}:

$$\frac{m^2 \cdot \pi^2}{l^2} = \sqrt{\frac{c_\varphi}{E \cdot I_w}}, \qquad (7)$$

ki ga upoštevamo v enačbi (6) in dobimo najmanjšo kritično napetost:



Slika 2 • **Matematični model ojačitve s torzijsko vzmetjo**

$$\sigma_{cr-MIN} = \frac{1}{I_p}\left[2\sqrt{c_\varphi \cdot E \cdot I_w} + G \cdot I_t\right]. \qquad (8)$$

Iz enačbe (7) pri upoštevanju, da je $m = 1$, lahko izračunamo dolžino razmejitve med uklonom v enem in več valih:

$$l_{raz} = \pi \sqrt[4]{\frac{E \cdot I_w}{c_\theta}}. \qquad (9)$$

Za ojačitve, daljše od l_{raz}, velja enačba (8), za ojačitve, krajše od l_{raz}, pa enačba (6) z upoštevanjem, da je $m = 1$.

2.1 Torzijska togost $c_{\varphi 0}$

Torzijsko togost, ki jo upoštevamo pri izračunu kritične napetosti ojačitve, je karakteristika pločevine, ki je odvisna od debeline pločevine in razporeda ojačitev. Ob predpostavki, da so vzdolžne ojačitve toge podpore pločevini, lahko na preprost način izračunamo torzijsko togost pločevine za različne primere razporeditve ojačitev, če velja, da je razdalja med prečnimi ojačitvami tako velika, da nima vpliva na togost.

Če zapišemo, da je zasuk na mestu i zaradi momenta na mestu i enak:

$$\varphi = \int \frac{M_i \cdot \overline{M_i}}{E \cdot I}, \qquad (10)$$

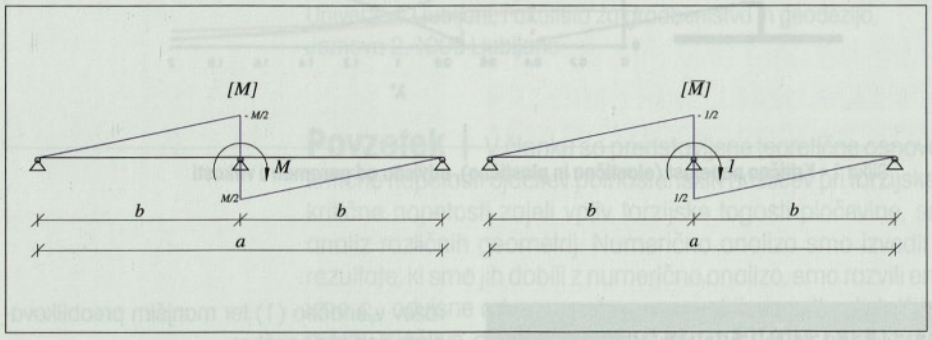
in je razdalja a med prečnimi ojačitvami neskončna, lahko $c_{\varphi 0}$ izračunamo kot:

$$c_{\varphi 0} = \frac{M}{\varphi}. \qquad (11)$$

S pomočjo enačb (10) in (11) določimo torzijsko togost za različno število in razporeditev ojačitev, kot sledi.

Ena ojačitev, enak razpon (slika 3):

$$c_{\varphi 0} = \frac{E \cdot t^3}{2 \cdot b} \qquad (12)$$



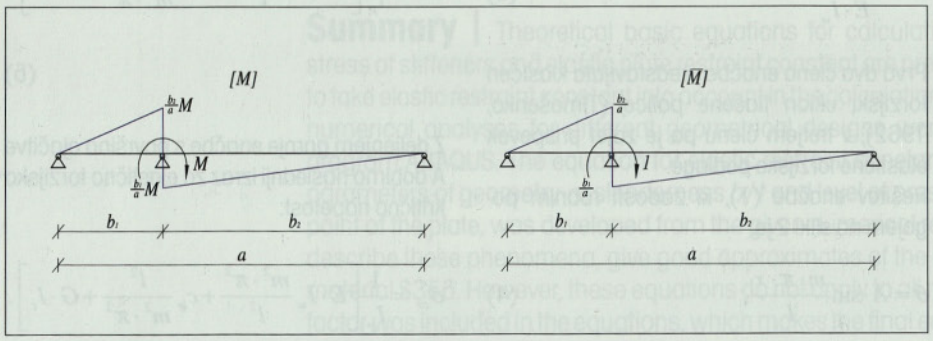
Slika 3 • **Obremenitev in diagram momentov za eno ojačitev**

Dve ojačitvi, enak razpon:

$$c_{\varphi 0} = \frac{E \cdot t^3}{2{,}5 \cdot b} \qquad (13)$$

Tri in več ojačitev, enak razpon:

$$c_{\varphi 0} = \frac{E \cdot t^3}{3 \cdot b} \qquad (14)$$



Slika 4 • **Obremenitev in diagram momentov za eno ojačitev, različna razpona**

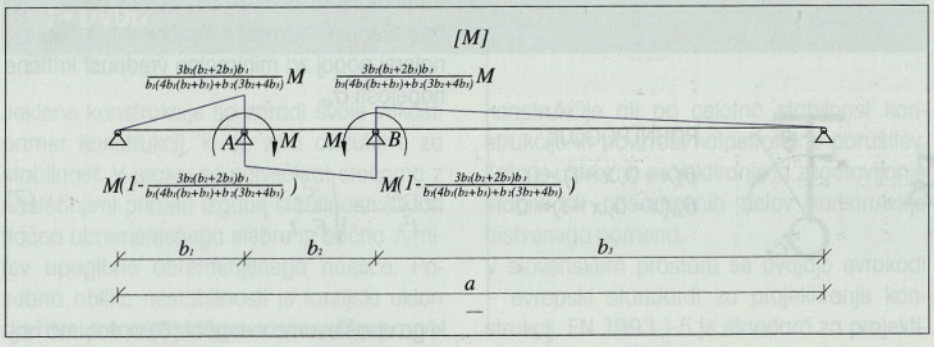
Ena ojačitev, različna razpona (slika 4):

$$c_{\varphi 0} = \frac{E \cdot t^3 \cdot (b_1 + b_2)}{4 \cdot b_1 \cdot b_2} \qquad (15)$$

Dve ojačitvi, različni razponi (slika 5):

$$c_{\varphi 0,A} = \frac{4 \cdot b_1 (b_2 + b_3) + b_2 \cdot (3b_2 + 4b_3)}{b_1 \cdot b_2 \cdot (b_2 + 2b_3)} \frac{E \cdot t^3}{12} \qquad (16)$$

$$c_{\varphi 0,B} = \frac{4 \cdot b_1 (b_2 + b_3) + b_2 \cdot (3b_2 + 4b_3)}{b_2 \cdot b_3 \cdot (2b_1 + b_2)} \frac{E \cdot t^3}{12} \qquad (17)$$



Slika 5 • **Obremenitev in diagram momentov za dve ojačitvi, različni razponi**

3 • NUMERIČNA ANALIZA

Nelinearno geometrijsko analizo po metodi končnih elementov (*MKE*) smo izvedli s programskim orodjem *ABAQUS*. Material je bil modeliran elastično s parametroma $E = 21000\ kN/cm^2$ in $\nu = 0{,}3$. Za izračun efektivnih karakteristik pločevine pa je bilo uporabljeno jeklo kvalitete *S355*. Pločevino smo modelirali s štirivozliščnimi lupinastimi elementi z reducirano integracijo – *S4R*. Končni element S4R ima v vsakem vozlišču 6 prostostnih stopenj u_x, u_y, u_z, φ_x, φ_y in φ_z.

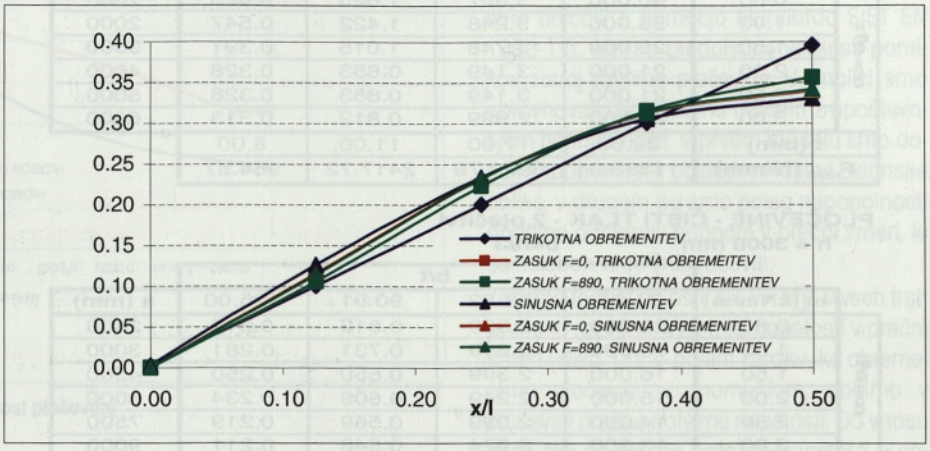
3.1 Vhodni parametri, modeliranje in postopek izračuna

Vhodni parametri (preglednica 1) za modeliranje tlačno obremenjene pločevine so: debelina pločevine t, višina pločevine h, število vzdolžnih ojačitev in količnik α, ki predstavlja razmerje med dolžino panela a (razdalja med prečnimi ojačitvami) in višino nosilca h. Opravili smo 300 izračunov, pri čemer smo spreminjali debelino t od 8 do 32 mm, višino pločevine h od 2 do 5 m, količnik α od 0.80 do 3.00 in število ojačitev n od 1 do 4. Razdalja b med vzdolžnimi ojačitvami je 1 m.

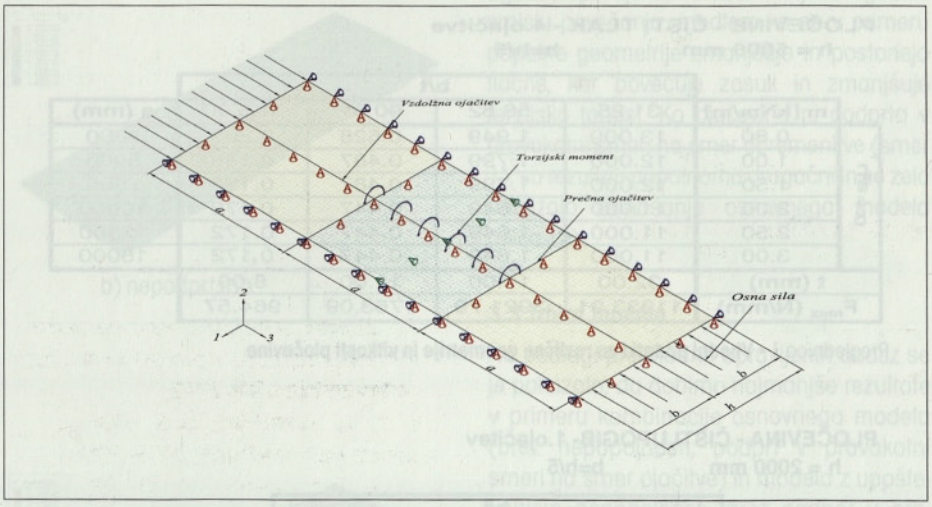
Pri upogibno obremenjenih nosilcih smo modelirali celoten nosilec: ojačeno stojino in pasnici. Vhodni parametri (preglednica 2), ki smo jih spreminjali, so: debelina stojine t, število ojačitev in dimenzije pasnic in količnik α. Izračun smo izvedli za nosilec z eno in dvema vzdolžnima ojačitvama. V primeru nosilca z eno ojačitvijo, je vzdolžna ojačitev oddaljena 400 mm od tlačene pasnice. Pri nosilcu z dvema ojačitvama pa sta ojačitvi locirani 400 in 800 mm od tlačene pasnice.

Za vzdolžne in prečne ojačitve predpostavimo, da so upogibno toge in jih modeliramo kot toge podpore, ki pločevino podpirajo v smeri 2 (slika 7).

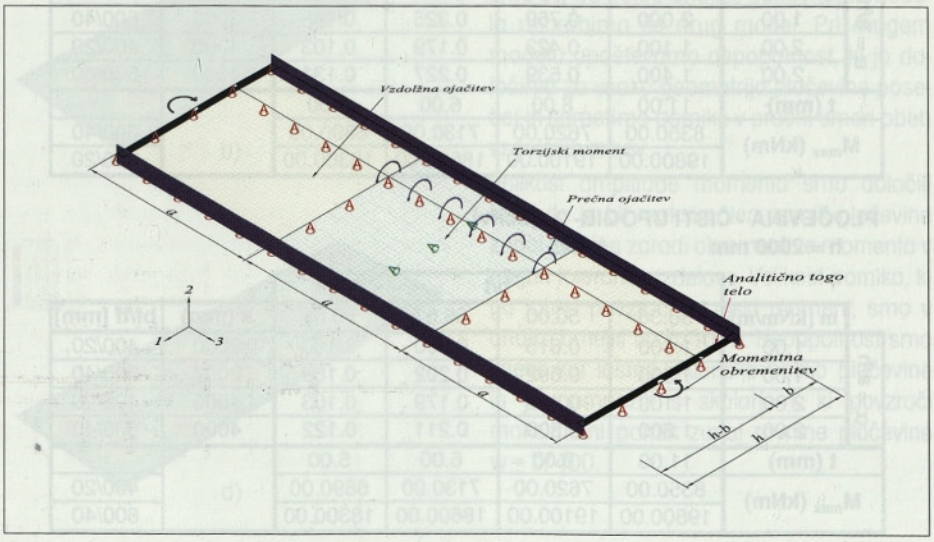
Model smo obremenjevali v dveh korakih (slika 7 in slika 8). V prvem koraku smo vzdolž ojačitve model obremenili s torzijskim momentom v obliki sinusoide z amplitudo m. Za obliko in velikost torzijskega momenta je bila opravljena predhodna študija. Pri tem smo primerjali normirane vrednosti zasukov in obremenitve vzdolž ojačitve (slika 6). Pričakovali smo, da bo sinusna obremenitev boljši približek odzivu pločevine kot trikotna obremenitev, kar se je kasneje tudi izkazalo (slika 6). V drugem koraku smo nadaljevali s tlačno ali upogibno obremenitvijo modela in na mestu torzijske obremenitve, v območju maksi-



Slika 6 • **Primerjava normirane sinusne in trikotne obremenitve z normiranimi pomiki**



Slika 7 • **Geometrija modela z eno ojačitvijo, obremenjen tlačno**



Slika 8 • **Geometrija modela z eno ojačitvijo, obremenjen upogibno**

PLOČEVINE - ČISTI TLAK - 1.ojačitev
h = 2000 mm b=h/2

		b/t				
	m [kNm/m]	31.25	58.82	62.50	125.00	a (mm)
α=a/h	0.80	40.000	5.997	1.625	0.625	1600
	1.00	35.000	5.248	1.422	0.547	2000
	1.50	25.000	3.748	1.015	0.391	3000
	2.00	21.000	3.149	0.853	0.328	4000
	2.50	21.000	3.149	0.853	0.328	5000
	3.00	20.000	2.999	0.812	0.313	6000
t (mm)		32.00	17.00	11.00	8.00	
F_{max} (N/mm)		11333.91	3921.79	2417.72	964.57	

PLOČEVINE - ČISTI TLAK - 2.ojačitvi
h = 3000 mm b=h/3

		b/t				
	m [kNm/m]	31.25	58.82	90.91	125.00	a (mm)
α=a/h	0.80	20.000	2.999	0.812	0.313	2400
	1.00	18.000	2.699	0.731	0.281	3000
	1.50	16.000	2.399	0.650	0.250	4500
	2.00	15.000	2.249	0.609	0.234	6000
	2.50	14.000	2.099	0.569	0.219	7500
	3.00	13.500	2.024	0.548	0.211	9000
t (mm)		32.00	17.00	11.00	8.00	
F_{max} (N/mm)		11333.91	3921.79	1763.09	964.57	

PLOČEVINE - ČISTI TLAK - 4.ojačitve
h = 5000 mm b=h/5

		b/t				
	m [kNm/m]	31.25	58.82	90.91	125.00	a (mm)
α=a/h	0.80	13.000	1.949	0.528	0.203	4000
	1.00	12.000	1.799	0.487	0.188	5000
	1.50	12.000	1.799	0.487	0.188	7500
	2.00	11.000	1.649	0.447	0.172	10000
	2.50	11.000	1.649	0.447	0.172	12500
	3.00	11.000	1.649	0.447	0.172	15000
t (mm)		32.00	17.00	11.00	8.00	
F_{max} (N/mm)		11333.91	3921.79	1763.09	964.57	

Preglednica 1 • **Vhodni podatki za različne geometrije in vitkosti pločevine**

PLOČEVINA - ČISTI UPOGIB- 1.ojačitev
h = 2000 mm b=h/5

		b/t					
	m [kNm/m]	36.36	50.00	66.67	80.00	a (mm)	bf/tf [mm]
α = a/h	1.00	1.800	0.692	0.292	0.169	2000	400/20
	1.00	2.000	0.769	0.325	0.188	2000	600/40
	2.00	1.100	0.423	0.179	0.103	4000	400/20
	2.00	1.400	0.539	0.227	0.131	4000	600/40
t (mm)		11.00	8.00	6.00	5.00		
M_{max} (kNm)		8350.00	7620.00	7130.00	6890.00		600/40
		19800.00	19100.00	18600.00	18300.00		400/20

PLOČEVINA - ČISTI UPOGIB- 2.ojačitvi
h = 2000 mm b=h/5

		b/t					
	m [kNm/m]	36.36	50.00	66.67	80.00	a (mm)	bf/tf [mm]
α = a/h	1.00	1.600	0.615	0.260	0.150	2000	400/20
	1.00	1.800	0.692	0.292	0.169	2000	600/40
	2.00	1.100	0.423	0.179	0.103	4000	400/20
	2.00	1.300	0.500	0.211	0.122	4000	600/40
t (mm)		11.00	8.00	6.00	5.00		
M_{max} (kNm)		8350.00	7620.00	7130.00	6890.00		400/20
		19800.00	19100.00	18600.00	18300.00		600/40

Preglednica 2 • **Vhodni podatki za različne geometrije in vitkosti pločevine**

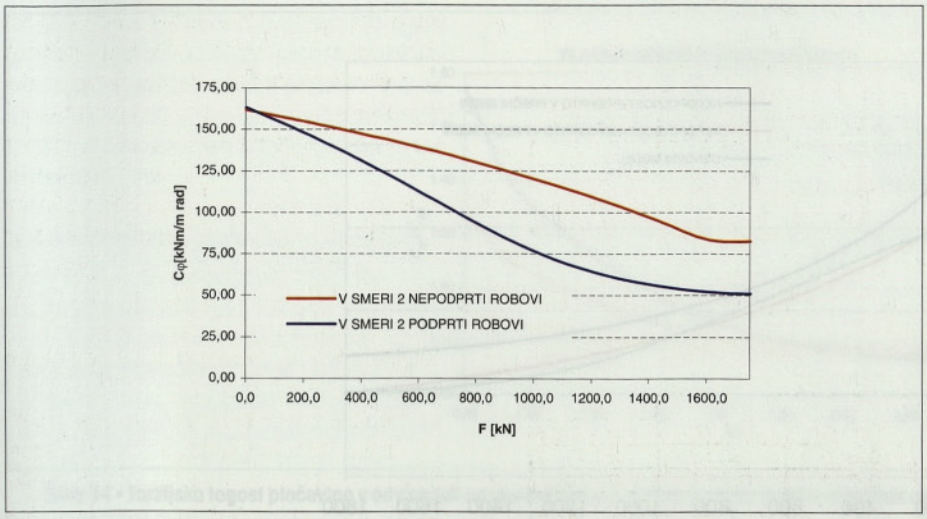
malnih pričakovanih zasukov, merili velikost zasuka. Za pločevine z večjim številom ojačitev smo smeri torzijskih momentov podali tako, da smo dobili najbolj neugoden vpliv.
Maksimalno obremenitev F_{max} (preglednica 1 in preglednica 2), ki jo vsiljujemo na robovih, smo določili z efektivnimi karakteristikami prereza, pri čemer smo upoštevali, da je razdalja med podprtimi robovi pločevine enaka razdalji med ojačitvama ali med pasnico in ojačitvijo.
Torzijsko togost pločevine smo določili po enačbi (11), pri čemer vzamemo za velikost momenta amplitudo sinusne obremenitve *m*, za zasuk pa maksimalno vrednost, ki jo merimo v točkah vzdolž obremenitve momenta. Za določitev minimalne torzijske odpornosti pločevine je bilo potrebno analizirati vpliv posameznih robnih pogojev. Predhodno je bilo zato opravljenih več numeričnih analiz za pločevino z eno vzdolžno ojačitvijo z različnimi vhodnimi podatki.

3.2 Vplivi vhodnih podatkov

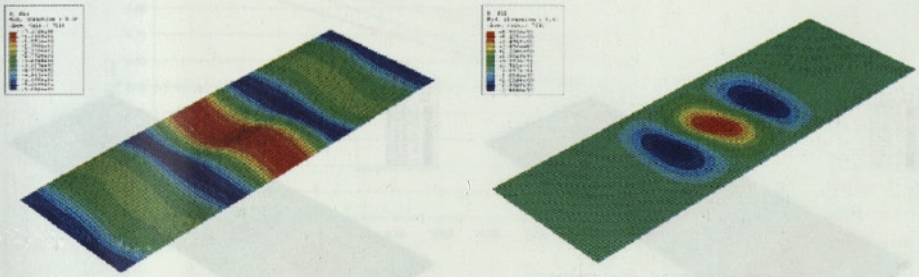
Analizo vpliva vhodnih podatkov smo opravili na pločevini (slika 7) z naslednjo geometrijo: *h/t = 1000/8 mm, a = 1000 mm, b = 500 mm.* Velikost sile je enaka *f = 1750 N/mm,* amplituda momenta pa je enaka *m = 2 kNm/m.* V analizi smo zajeli vplive naslednjih parametrov: podpore in začetne nepopolnosti.

3.2.1 Podpore

Pločevina je bila podprta v smeri 2 (glej sliko 7) v območju prečnih in vzdolžnih ojačitev ter na obeh zunanjih vzdolžnih robovih. V smeri 3 je bila pločevina podprta v osi simetrije z namenom, da preprečimo morebitno singularnost. Te podpore so nepomične za vse primere, medtem ko je podpora v smeri 1 v nekaterih primerih odstranjena. Na sliki 9 lahko vidimo, da podpore v ravnini pločevine pravokotno na smer obremenitve močno vplivajo na torzijsko togost. Pri sili *F = 0* je torzijska togost za oba primera enaka, medtem ko se z večanjem tlačne sile razlika povečuje. Manjša togost je v primeru, ko so zunanji robovi podprti v ravnini pločevine pravokotno na smer ojačitve in tlačne sile (smer 1).
Vzrok za razliko torzijske togosti so v obeh primerih tlačne napetosti v prečni smeri (slika 10a), ki v primeru podprtih robov dodatno povečujejo zasuk okoli mesta ojačitve in s tem posledično zmanjšujejo odpornost pločevine proti zasuku. Kadar robovi niso podprti, je prečna deformacija v smeri 1 neovirana in so napetosti v prečni smeri bistveno manjše ali pa celo pozitivne (slika 10b).

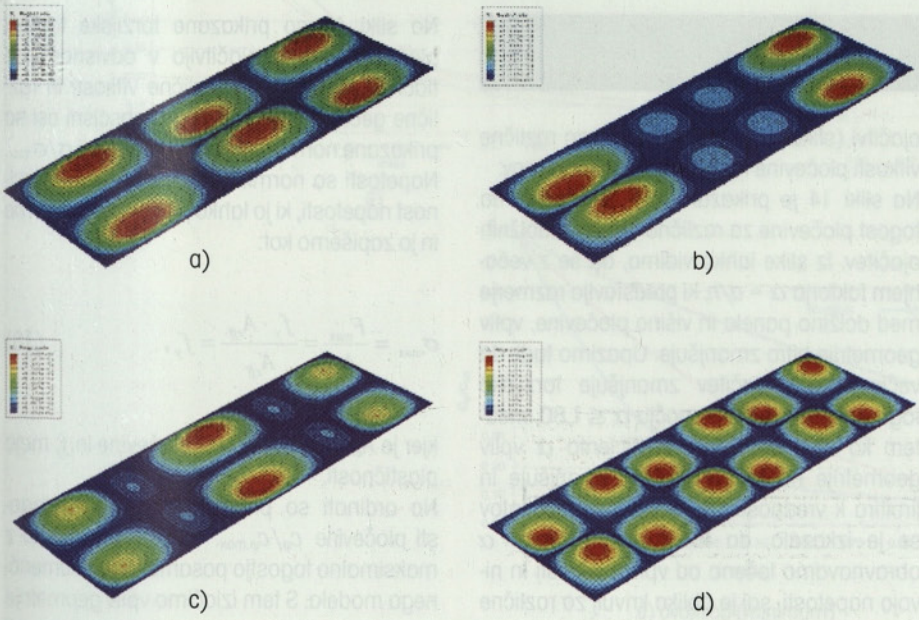


Slika 9 • **Primerjava vplivov podpor na torzijsko togost pločevine**



a) podprt rob b) nepodprt rob

Slika 10 • **Napetosti σ_{11} pri sili $F = 1450$ *kN***



a) b) c) d)

Slika 11 • **a) 1. lastna vrednost, b) 2. lastna vrednost, c) 3. lastna vrednost, d) 4. lastna vrenost**

3.2.2 Geometrijska nepopolnost

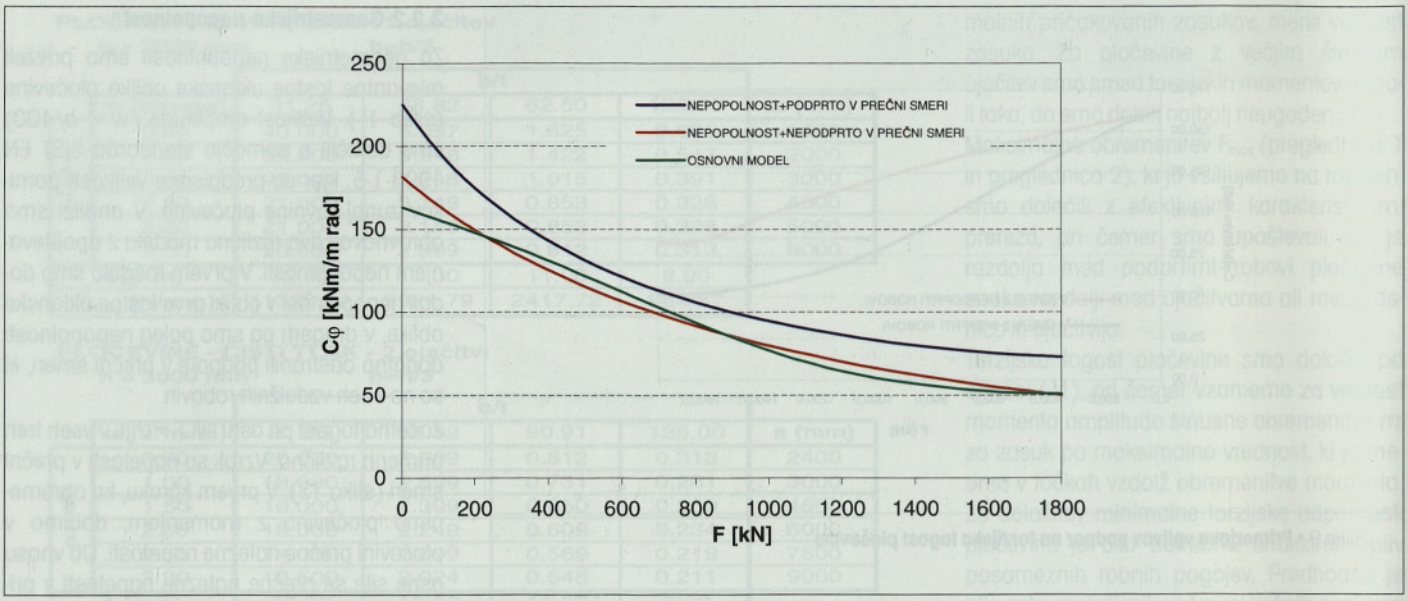
Za geometrijske nepopolnosti smo privzeli relevantne lastne uklonske oblike pločevine (slika 11). Velikost amplitude ($w = b/400$) smo določili s pomočjo standarda SIST EN 1993-1-5, kjer so predpisane velikosti pomikov zunaj ravnine pločevine. V analizi smo obravnavali dva različna modela z upoštevanjem nepopolnosti. V prvem modelu smo dodali nepopolnost v obliki prve lastne uklonske oblike, v drugem pa smo poleg nepopolnosti dodatno odstranili podpore v prečni smeri, ki so na obeh vzdolžnih robovih.

Začetna togost pri osni sili $F = 0$ je v vseh treh primerih različna. Vzrok so napetosti v prečni smeri (slika 13). V prvem koraku, ko obremenimo pločevino z momentom, dobimo v pločevini prečne natezne napetosti. Ob vnosu osne sile se prečne natezne napetosti v primeru nepopolnosti močno povečajo in zato ugodno vplivajo na velikost torzijske togosti v smislu povečanja, medtem ko se v primeru popolne geometrije zmanjšajo in postanejo tlačne, kar povečuje zasuk in zmanjšuje torzijsko togost. Ko pločevina ni podprta v pravokotni smeri na smer obremenitve (smer 1), so rezultati popolnoma drugačni in se zelo približajo obnašanju osnovnega modela (slika 12).

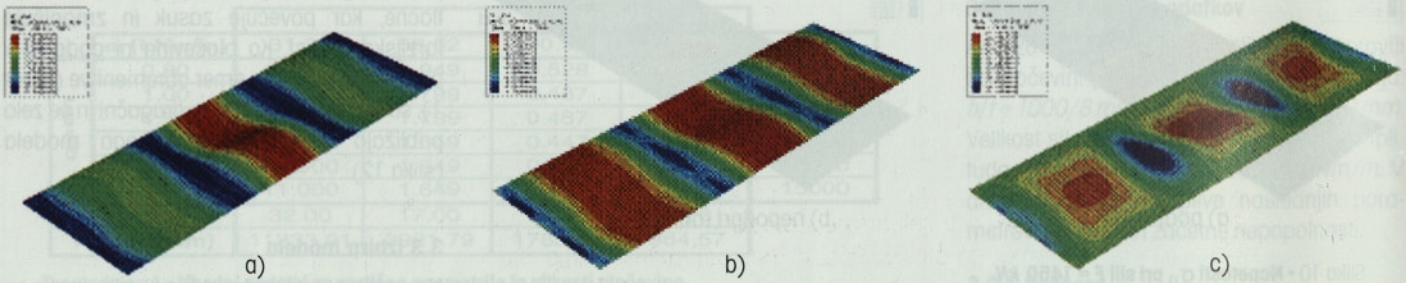
3.3 Izbira modela

Na podlagi predhodno opravljenih analiz se je pokazalo, da dobimo najmanjše rezultate v primeru kombinacije osnovnega modela (brez nepopolnosti, podprt v pravokotni smeri na smer ojačitve) in modela z upoštevanjem nepopolnosti, brez podpor v pravokotni smeri na smer obremenitve. Odločili smo se, da poleg analize osnovnega modela uporabimo še drug model. Pri drugem modelu upoštevamo nepopolnost, ki jo določimo za vsako geometrijo pločevine posebej in sprostimo pomike v prečni smeri obeh vzdolžnih robov.

Velikost amplitude momenta smo določili tako, da je bil maksimalen pomik pločevine zunaj ravnine zaradi obremenitve momenta v mejah tolerance izdelave. Velikost pomika, ki ga lahko povzroči torzijski moment, smo v analizi omejili na b/1000. Nepopolnost smo vnesli kot lastno uklonsko obliko pločevine in jo pomnožili s skalarjem, ki povzroči maksimalni pomik zunaj ravnine pločevine w = b/400.



Slika 12 • **Vpliv nepopolnosti na velikost torzijske togosti**



Slika 13 • **Napetosti pri F = 1430 kN, a) osnovni model, b)nepopolnost + podprto v prečni smeri, c) nepopolnost + nepodprto v prečni smeri**

4 • REZULTATI

Zaradi velike količine podatkov smo rezultate v nekaterih primerih normirali in jih prikazali skupaj. Končne rezultate smo najprej normirali z analitičnimi izrazi (enačbe (12), (13), (14), (15), (16) in (17) za togost ob predpostavkah, ki so navedene v poglavju: Torzijska togost), pri čemer smo upoštevali ravninsko napetostno stanje in vse izraze delili s faktorjem $(1-\nu^2)$. Ker je podana togost izračunana za primer, ko je sila nič, lahko začetne normirane togosti (ko še ni vpliva osne sile) zapišemo v odvisnosti od geometrijske karakteristike pločevine α (slika 14). Tako lahko zajamemo vpliv geometrije na togost pločevine. V drugem delu pa togost normiramo z največjo vrednostjo za posamezno geometrijo in narišemo diagram togosti pločevine v odvisnosti od tlačne sile v ojačitvi (slika 15). S tem dobimo za različne vitkosti pločevine različne oblike diagramov.

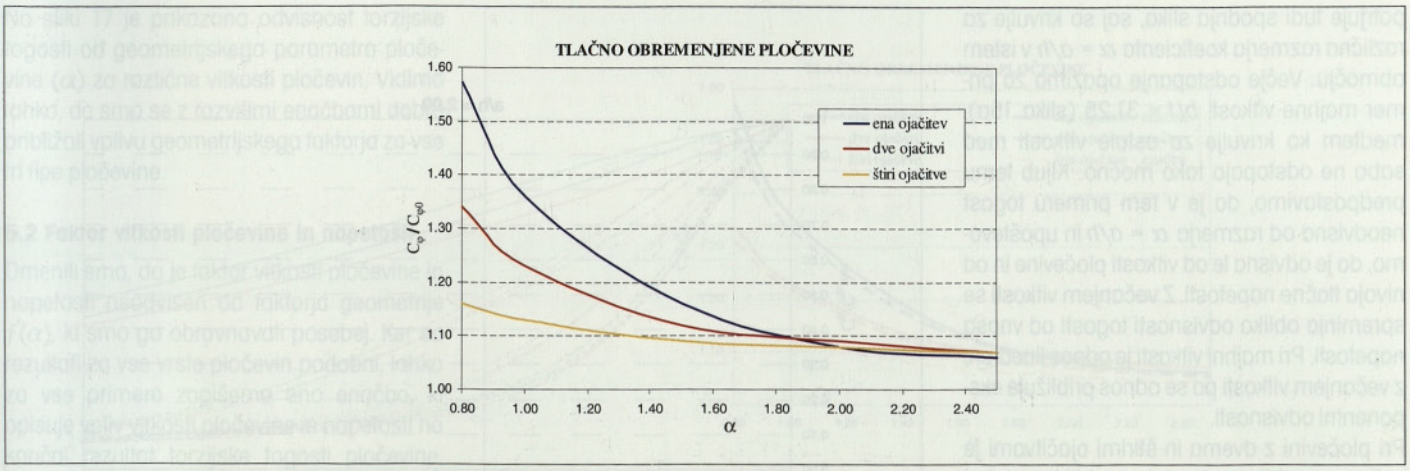
Na sliki 14 je prikazan vpliv geometrije na togost pločevine za različno število vzdolžnih ojačitev. Iz slike lahko vidimo, da se z večanjem faktorja $\alpha = a/h$, ki predstavlja razmerje med dolžino panela in višino pločevine, vpliv geometrije hitro zmanjšuje. Opazimo tudi, da večje število ojačitev zmanjšuje torzijsko togost pločevine na območju $\alpha \leq 1{,}80$, medtem ko se z večanjem koeficienta α vpliv geometrije na togost močno zmanjšuje in limitira k vrednosti 1. Pri obdelavi rezultatov se je izkazalo, da lahko vpliv faktorja α obravnavamo ločeno od vpliva vitkosti in nivoja napetosti, saj je oblika krivulj za različne vitkosti in različne nivoje napetosti zelo podobna.

Na sliki 15 so prikazane torzijske togosti pločevine z eno ojačitvijo v odvisnosti od tlačnih napetosti, za različne vitkosti in različne geometrije pločevin. Na abscisni osi so prikazane normirane tlačne napetosti σ/σ_{max}. Napetosti so normirane z maksimalno vrednost napetosti, ki jo lahko pločevina prevzeme in jo zapišemo kot:

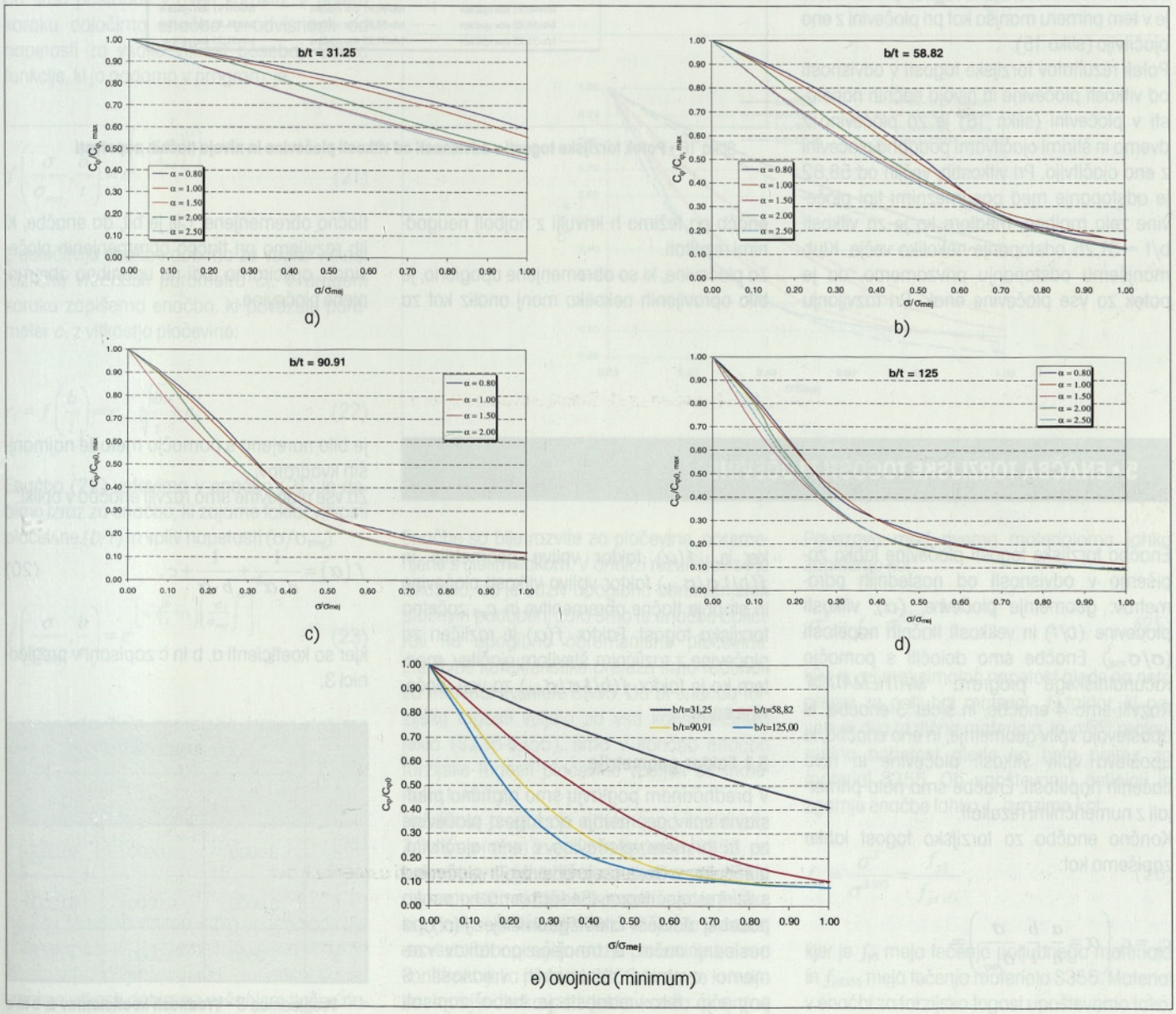
$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A_n} = \frac{f_y \cdot A_{eff}}{A_{eff}} = f_y, \qquad (18)$$

kjer je A_{eff} efektivni prerez pločevine in f_y meja plastičnosti.

Na ordinati so prikazane normirane togosti pločevine $c_\varphi / c_{\varphi,max}$. Togosti normiramo z maksimalno togostjo posameznega numeričnega modela. S tem izločimo vpliv geometrije in lahko rezultate obdelujemo le v odvisnosti od vitkosti pločevine in velikosti napetosti. To



Slika 14 • **Torzijska togost pločevine v odvisnosti od geometrije $\alpha = a/h$ za različno število vzdolžnih ojačitev pri $\sigma = 0$**

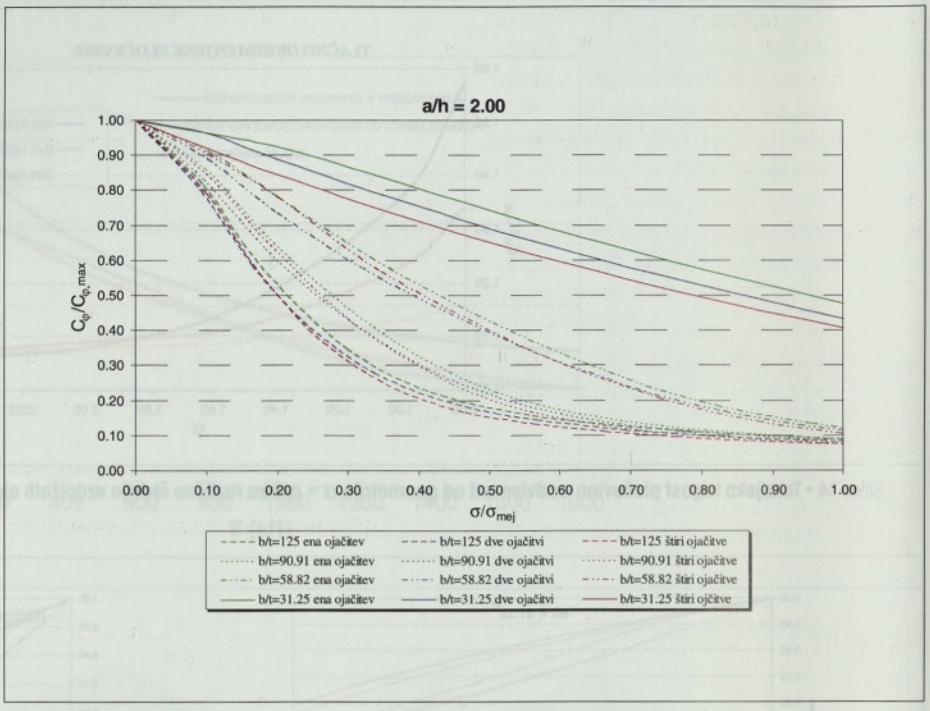


Slika 15 • **Vpliv tlačnih napetosti na torzijsko togost pločevine za različne vitkosti – 1 ojačitev**

potrjuje tudi spodnja slika, saj so krivulje za različna razmerja koeficienta $\alpha = a/h$ v istem območju. Večje odstopanje opazimo za primer majhne vitkosti $b/t = 31.25$ (slika 15a), medtem ko krivulje za ostale vitkosti med sabo ne odstopajo tako močno. Kljub temu predpostavimo, da je v tem primeru togost neodvisna od razmerja $\alpha = a/h$ in upoštevamo, da je odvisna le od vitkosti pločevine in od nivoja tlačne napetosti. Z večanjem vitkosti se spreminja oblika odvisnosti togosti od vnosa napetosti. Pri majhni vitkosti je odnos linearen, z večanjem vitkosti pa se odnos približuje eksponentni odvisnosti.

Pri pločevini z dvema in štirimi ojačitvami je vpliv geometrije na togost po obliki enak kot pri pločevini z eno ojačitvijo, razlikuje se le začetna velikost torzijske togosti pločevine, ki je v tem primeru manjša kot pri pločevini z eno ojačitvijo (slika 15).

Potek rezultatov torzijske togosti v odvisnosti od vitkosti pločevine in nivoja tlačnih napetosti v pločevini (slika 16) je za pločevino z dvema in štirimi ojačitvami podobna pločevini z eno ojačitvijo. Pri vitkostih, večjih od 58,82 je odstopanje med posameznimi tipi pločevine zelo majhno, medtem ko je za vitkosti b/t = 31,25 odstopanje nekoliko večje. Klub manjšemu odstopanju privzamemo, da je potek za vse pločevine enak. Pri razvijanju



Slika 16 • **Potek torzijske togosti v odvisnosti od vitkosti pločevine in nivoja tlačnih napetosti**

enačb pa težimo h krivulji z najbolj neugodnimi rezultati.

Za pločevine, ki so obremenjene upogibno, je bilo opravljenih nekoliko manj analiz kot za tlačno obremenjene. Cilj je bil, da enačbe, ki jih razvijemo pri tlačno obremenjenih pločevinah, apliciramo tudi na upogibno obremenjene pločevine.

5 • ENAČBA TORZIJSKE TOGOSTI PLOČEVINE

Enačbo torzijske togosti pločevine lahko zapišemo v odvisnosti od naslednjih parametrov: geometrije pločevine (α), vitkosti pločevine (b/t) in velikosti tlačnih napetosti (σ/σ_{mej}). Enačbe smo določili s pomočjo računalniškega programa *MATHEMATICA*. Razvili smo 4 enačbe, in sicer 3 enačbe, ki upoštevajo vpliv geometrije, in eno enačbo, ki upošteva vpliv vitkosti pločevine in nivo tlačenih napetosti. Enačbe smo nato primerjali z numeričnimi rezultati.

Končno enačbo za torzijsko togost lahko zapišemo kot:

$$c_\varphi = c_\varphi\left(\alpha = \frac{a}{h}, \frac{b}{t}, \frac{\sigma}{\sigma_{mej}}\right) =$$

$$= c_{\varphi 0} \cdot f(\alpha) \cdot f(b/t, \sigma/\sigma_{mej}), \qquad (19)$$

kjer je $f(\alpha)$ faktor vpliva geometrije in $f(b/t, \sigma/\sigma_{mej})$ faktor vpliva vitkosti pločevine in stopnje tlačne obremenitve in $c_{\varphi 0}$ začetna torzijska togost. Faktor $f(\alpha)$ je različen za pločevine z različnim številom ojačitev, medtem ko je faktor $f(b/t, \sigma/\sigma_{mej})$ za vse pločevine enak.

5.1 Faktor geometrije

V predhodnem poglavju smo grafično predstavili vpliv geometrije na togost pločevine za tri primere: pločevina z eno ojačitvijo, pločevina z dvema ojačitvama in pločevina s štirimi ojačitvami. Sedaj bomo za vsako posebej določili faktor geometrije $f(\alpha)$ na naslednji način. Iz množice podatkov vzamemo ovojnico minimalnih vrednosti. S pomočjo teh vrednosti je treba zapisati enačbo, ki se jim bo najbolje približala. To je bilo narejeno s pomočjo metode najmanjših kvadratov.

Za vse pločevine smo razvili enačbo v obliki:

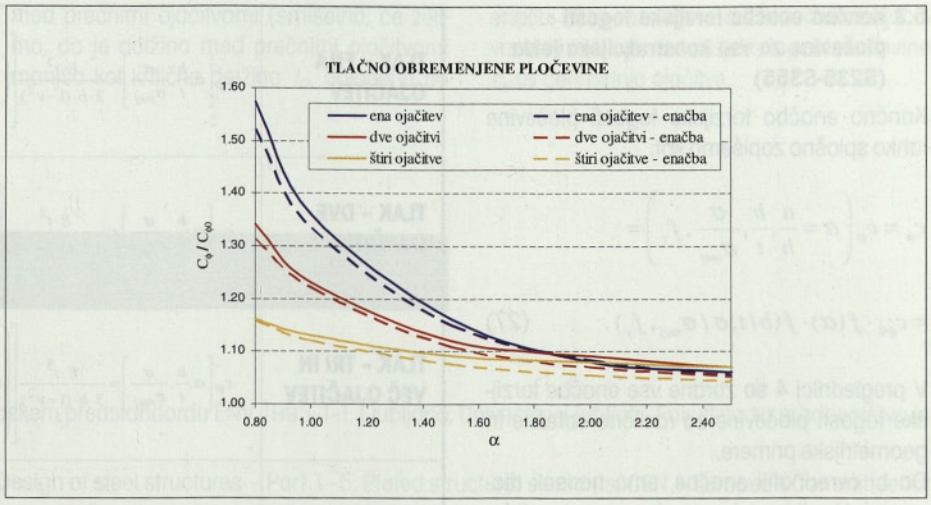
$$f(\alpha) = \frac{1}{a \cdot \alpha^2} + \frac{1}{b \cdot \alpha} + c, \qquad (20)$$

kjer so koeficienti a, b in c zapisani v preglednici 3.

	Število ojačitev		
	1	2	4
a	3.0000	5.0000	50.0000
b	0.0000	0.0000	10.0000
c	1.0000	1.0000	1.0000

Preglednica 3 • **Vrednosti koeficientov a, b in c za različno število ojačitev**

Na sliki 17 je prikazana odvisnost torzijske togosti od geometrijskega parametra pločevine (α) za različne vitkosti pločevin. Vidimo lahko, da smo se z razvitimi enačbami dobro približali vplivu geometrijskega faktorja za vse tri tipe pločevine.



Slika 17 • **Togost vs. parameter geometrije α pri σ = 0**

5.2 Faktor vitkosti pločevine in napetosti

Omenili smo, da je faktor vitkosti pločevine in napetosti neodvisen od faktorja geometrije $f(\alpha)$, ki smo ga obravnavali posebej. Ker so rezultati za vse vrste pločevin podobni, lahko za vse primere zapišemo eno enačbo, ki opisuje vpliv vitkosti pločevine in napetosti na končni rezultat torzijske togosti pločevine. Faktor vitkosti pločevine in napetosti smo razvili na podoben način kot faktor geometrije, le da smo postopali v dveh korakih. V prvem koraku določimo enačbo v odvisnosti od napetosti za vsako vitkost posebaj. Oblika funkcije, ki jo podamo v program, je:

$$f\left(\frac{\sigma}{\sigma_{mej}},\frac{b}{t}\right)=e^{\left[c_1\cdot\left(\frac{\sigma}{\sigma_{mej}}\right)^{1,1}\right]} \qquad (21)$$

Z določitvijo enačbe dobimo za vsako vitkost različne vrednosti parametra c_1. V drugem koraku zapišemo enačbo, ki povezuje parameter c_1 z vitkostjo pločevine:

$$c_1=f\left(\frac{b}{t}\right)=c_2\cdot\sqrt[4]{\frac{b}{t}}+c_3 \qquad (22)$$

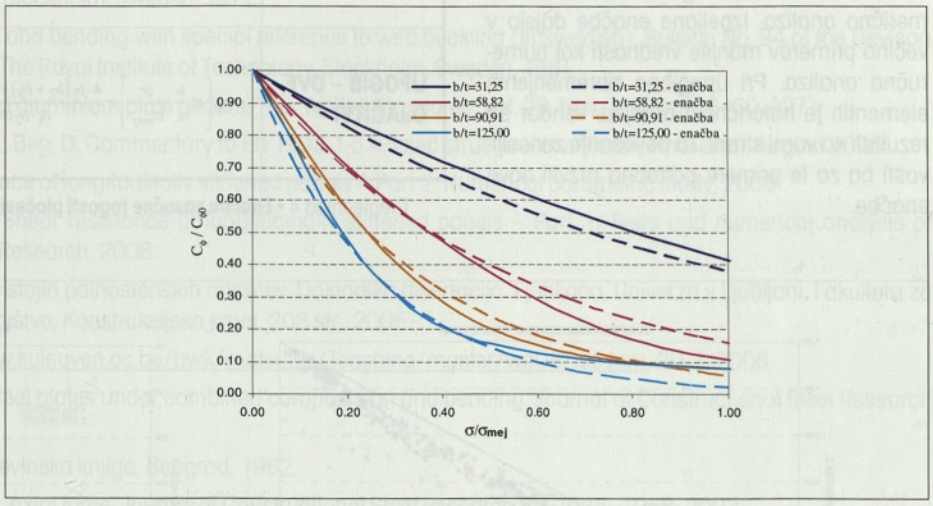
Enačbo (22) vstavimo v enačbo (21) in dobimo izraz za enačbo, ki zajame faktor vitkosti pločevine (b/t) in vpliv napetosti (σ/σ_{mej}):

$$f\left(\frac{\sigma}{\sigma_{mej}},\frac{b}{t}\right)=e^{\left[\left(c_2\cdot\sqrt[4]{\frac{b}{t}}+c_3\right)\left(\frac{\sigma}{\sigma_{mej}}\right)^{1,1}\right]} \qquad (23)$$

S poenostavitvijo zgornjega izraza dobimo končni izraz v naslednji obliki:

$$f\left(\frac{\sigma}{\sigma_{mej}},\frac{b}{t}\right)=e^{\left[-1,1\left(\frac{\sigma}{\sigma_{mej}}\cdot\frac{b}{34\cdot t}\right)\right]}. \qquad (24)$$

Na sliki 18 lahko vidimo, kako enačba opisuje dejansko stanje. Pri majhnih in velikih vitkostih da enačba nižje vrednosti, medtem ko za vmesne vitkosti dobimo z večanjem tlačne napetosti tudi višje vrednosti, kot so dejanske.



Slika 18 • **Normirana torzijska togost vs. normirane napetosti**

Enačbe so bile razvite za pločevine, obremenjene s čistim tlakom. V analizi rezultatov se je izkazalo, da je odziv upogibno obremenjenih pločevin podoben, zato smo te enačbe aplicirali na upogibno obremenjene pločevine. Efektivne karakteristike prereza smo računali za material kvalitete S355. Da bi enačba torzijske togosti veljala za vsa konstrukcijska jekla (S235-S355), smo v končno enačbo torzijske togosti pločevine vpeljali še materialni faktor f_σ.

Nosilnost prereza je odvisna od materiala. Zato smo račun izvedli z materialom S355, pri katerem je efektivni prerez nekoliko manjši kot pri materialih slabše kakovosti, vendar je sila, ki jo lahko vsilimo, bistveno večja. To pomeni, da rezultati opisujejo odziv pločevine za vsa konstrukcijska jekla do S355, le da se krivulja za manjše kakovosti jekla konča prej (ne dosežemo nivoja $\sigma/\sigma_{mej}=1$).

Povezavo med dvema materialoma lahko zapišemo kot:

$$\sigma^S=f_\sigma\cdot\sigma^{S355}, \qquad (25)$$

kjer je σ^S maksimalna napetost glede na neto prerez za poljubni material, f_σ faktor, ki povezuje dva različna materiala, in σ^{S355} maksimalna napetost glede na neto prerez za material S355. Ob upoštevanju definicij in zgornje enačbe lahko f_σ izrazimo kot:

$$f_\sigma=\frac{\sigma^S}{\sigma^{S355}}=\frac{f_{yS}}{f_{yS355}}, \qquad (26)$$

kjer je f_{yS} meja tečenja poljubnega materiala in f_{yS355} meja tečenja materiala S355. Material v enačbi za torzijsko togost upoštevamo tako, da člen σ/σ_{mej} pomnožimo s faktorjem f_σ.

5.3 Končna enačba torzijske togosti pločevine za vsa konstrukcijska jekla (S235-S355)

Končno enačbo torzijske togosti pločevine lahko splošno zapišemo kot:

$$c_\varphi = c_\varphi\left(\alpha = \frac{a}{h}, \frac{b}{t}, \frac{\sigma}{\sigma_{mej}}, f_y\right) =$$

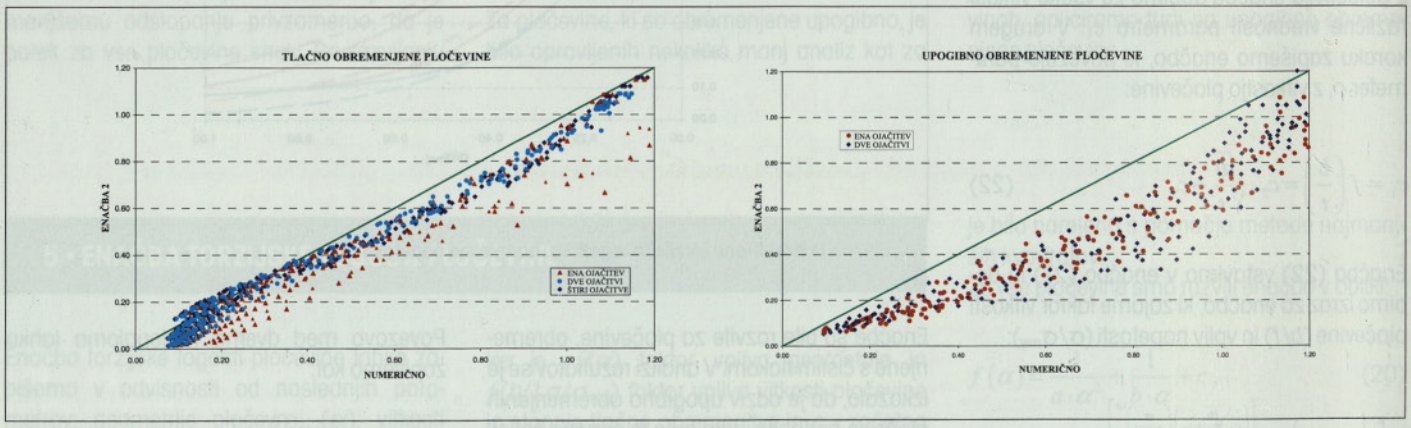
$$= c_{\varphi 0} \cdot f(\alpha) \cdot f(b/t, \sigma/\sigma_{mej}, f_y). \qquad (27)$$

V preglednici 4 so zbrane vse enačbe torzijske togosti pločevine za različne obtežne in geometrijske primere.

Da bi ovrednotili enačbe, smo narisali diagrame, ki prikazujejo normirane vrednosti togosti izračunane z enačbo v odvisnosti od normiranih vrednosti togosti, določene z numerično analizo. Izpeljane enačbe dajejo v večino primerov manjše vrednosti kot numerična analiza. Pri upogibno obremenjenih elementih je natančnost manjša, vendar so rezultati na varni strani. Za povečanje zanesljivosti bo za te primere potrebno razviti nove enačbe.

TLAK – ENA OJAČITEV	$c_\varphi\left[\alpha, \frac{b}{t}, \frac{\sigma}{\sigma_{mej}}\right] = \frac{E \cdot t^3}{2 \cdot b \cdot (1-\nu^2)}\left[\left(1+\frac{1}{3 \cdot \alpha^2}\right) \cdot e^{\left(-1{,}1 \frac{\sigma}{f_y} \frac{1}{\varepsilon^2} \frac{235}{355} \frac{b}{34 \cdot t}\right)}\right]$
TLAK – DVE OJAČITVI	$c_\varphi\left[\alpha, \frac{b}{t}, \frac{\sigma}{\sigma_{mej}}\right] = \frac{E \cdot t^3}{2{,}5 \cdot b \cdot (1-\nu^2)}\left[\left(1+\frac{1}{5 \cdot \alpha^2}\right) \cdot e^{\left(-1{,}1 \frac{\sigma}{f_y} \frac{1}{\varepsilon^2} \frac{235}{355} \frac{b}{34 \cdot t}\right)}\right]$
TLAK – TRI IN VEČ OJAČITEV	$c_\varphi\left[\alpha, \frac{b}{t}, \frac{\sigma}{\sigma_{mej}}\right] = \frac{E \cdot t^3}{3 \cdot b \cdot (1-\nu^2)}\left[\left(1+\frac{1}{10 \cdot \left(\alpha \cdot \frac{h}{5 \cdot b}\right)}+\frac{1}{50 \cdot \left(\alpha^2 \cdot \frac{h^2}{25 \cdot b^2}\right)}\right) \cdot e^{\left(-1{,}1 \frac{\sigma}{f_y} \frac{1}{\varepsilon^2} \frac{235}{355} \frac{b}{34 \cdot t}\right)}\right]$
UPOGIB – ENA OJAČITEV	$c_\varphi\left[\alpha, \frac{b}{t}, \frac{\sigma}{\sigma_{mej}}\right] = \frac{E \cdot t^3 \cdot (b_1+b_2)}{4 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot (1-\nu^2)}\left[\left(1+\frac{1}{3 \cdot \alpha^2}\right) \cdot e^{\left(-1{,}1 \frac{\sigma}{f_y} \frac{1}{\varepsilon^2} \frac{235}{355} \frac{b}{34 \cdot t}\right)}\right]$
UPOGIB – DVE OJAČITVI	$c_\varphi\left[\alpha, \frac{b}{t}, \frac{\sigma}{\sigma_{mej}}\right] = \frac{4 \cdot b_1 (b_2+b_3)+b_2 (3 \cdot b_2+4 \cdot b_3)}{b_1 \cdot b_2 (b_2+2 \cdot b_3)} \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1-\nu^2)}\left[\left(1+\frac{1}{5 \cdot \alpha^2}\right) \cdot e^{\left(-1{,}1 \frac{\sigma}{f_y} \frac{1}{\varepsilon^2} \frac{235}{355} \frac{b}{34 \cdot t}\right)}\right]$

Preglednica 4 • **Enačbe zasučne togosti pločevine**



Slika 19 • **Primerjava enačb z numeričnimi rezultati za tlačno in upogibno obremenjene pločevine različnih geometrij**

6 • SKLEP

Enačbe, ki so podane v Evrokodu 3, del 1.5 ne upoštevajo ugodnega vpliva pločevine na izračun elastične kritične napetosti ojačitve. Pogoju, ki je podan v EN 1993-1-5, lahko zadostimo z ustrezno geometrijo ojačitve. Ojačitve z zaprtim prerezom vedno zadostijo temu pogoju, ker je razmerje I_t/I_p v primerjavi z ojačitvami odprtega prereza bistveno večje. Ojačitve odprtega prereza je potrebno preveriti z uporabo pogoja $\sigma_{cr} \geq \theta \cdot f_y$, pri čemer lahko σ_{cr} računamo z upoštevanjem ovirane torzije ojačitve in elastične podlage pločevine v smislu torzijske elastične vzmeti.

V komentarju k EN 1993-1-5 (Johansson, 2005) je bilo predlagano, da se zaradi neugodnega vpliva normalnih napetosti v pločevini na togost torzijske elastične podlage, ki jo pločevina nudi ojačitvi, ta togost zmanjša s faktorjem 3. V večini primerov je ta poenostavljeni postopek konservativen, pri velikih normalnih napetostih v pločevini pa je lahko faktor 3 tudi premajhen.

Z numerično parametrično študijo smo natančneje določili torzijsko togost pločevine v odvisnosti od napetosti, vitkosti in geometrije. Enačbe, ki smo jih razvili, so v dobri korelaciji z numeričnimi rezultati za tlačno obremenjene pločevine. Za upogibno obremenjene pločevine je potrebno enačbe ustrezno korigirati in dodatno upoštevati vpliv pasnic na vrednost torzijske togosti pločevine.

Da zagotovimo ustrezno elastično torzijsko kritično napetost ojačitve, imamo na voljo več rešitev. Poleg spreminjanja geometrije pločevine lahko dodatno spreminjamo razdalje med prečnimi ojačitvami (smiselno, če želimo, da je dolžina med prečnimi ojačitvami manjša kot kritična dolžina l_{cr}, določena po enačbi (9)), razdalje med vzdolžnimi ojačitvami, ki vplivajo na torzijsko togost pločevine c_{φ} ali geometrijo ojačitve.

7 • LITERATURA

ABAQUS, Inc., ABAQUS Documentation, 2004.

Beg, D., Projektiranje jeklenih konstrukcij po evropskem predstandardu ENV 1993-1-1, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 219 str., 1999.

European standard prEN 1993-1-5: Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1–5: Plated structural elements, CEN – European Committee for Standardization, Brussels, September 2005.

Höglund, T., Behavior and strength of the web of thin plate I-girders (in Swedish), Bulletin No. 94 of the Devison of Building Statics and Structural Engineering, The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1971.

Höglund, T., Design of thin plate I-girders in shear and bending with special reference to web buckling (in Swedish), Bulletin No. 94 of the Devison of Building Statics and Structural Engineering, The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1981.

Höglund, T., Shear buckling resistance of steel and aluminium plate girders, Thin Walled Structures, Vol. 29, Nos. 1–4, pp. 13–30, 1971.

Johansson, B., Maquoi, R., Sedlacek, G., Müller, C., Beg, D. Commentary to EN 1993-1-5 »Plated structural elements«, Final draft, August 2005.

Pavlovčič, L., Beg, D., Kuhlmann, U., Shear resistance of longitudinally stiffened panels – Part 2: Numerical parametric study, 2006.

Pavlovčič, L., Detzel, A., Kuhlmann, U., Beg, D., Shear resistance of longitudinally stiffened panels – Part 1: Tests and numerical analysis of imperfections. Journal of Constructional Steel Research, 2006.

Pavlovčič, L., Strižna nosilnost vzdolžno ojačenih stojin polnostenskih nosilcev. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer, 203 str., 2005.

Plates and shells: Lecture 8.1, 8.2, 8.3. http://www.kuleuven.ac.be/bwk/materials/Teaching/master/wg08/toc.htm, 20. 1. 2006.

Sheikh, I. A., Elwi, A. E., Grondin., G. Y., Stiffened steel plates under combined compression and bending. Journal of Constructional Steel Research 59, 911–930, 2002.

Timošenko, S., Teorja elastične stabilnosti,. Gradževinska knjiga, Beograd, 1962.

Xie. M., Champman. J. C., Design of web siffeners: axial force, Journal of Constructional Steel Research 59, 1035–1056, 2003.

UPORABA POLŽASTIH ČRPALK V KANALIZACIJSKIH OMREŽJIH

THE USE OF SCREW PUMPS IN SEWER SYSTEMS

Franc Maleiner univ. dipl. kom. inž.
Sojerjeva 43, 1000 Ljubljana

Strokovni članek
UDK 628.12

Povzetek | Za razliko od srednjeevropskih dežel, kjer se polžaste črpalke pogosto uporabljajo za črpanje odpadnih vod, je postala uporaba tega najstarejšega, izredno ekonomskega načina črpanja pri nas nerazumljivo redka.

Summary | Compared to other countries in central Europe, where the use of screw pumps in wastewater applications is very common, this proven and efficient way of pumping has been rarely used in Slovenia in the recent years.

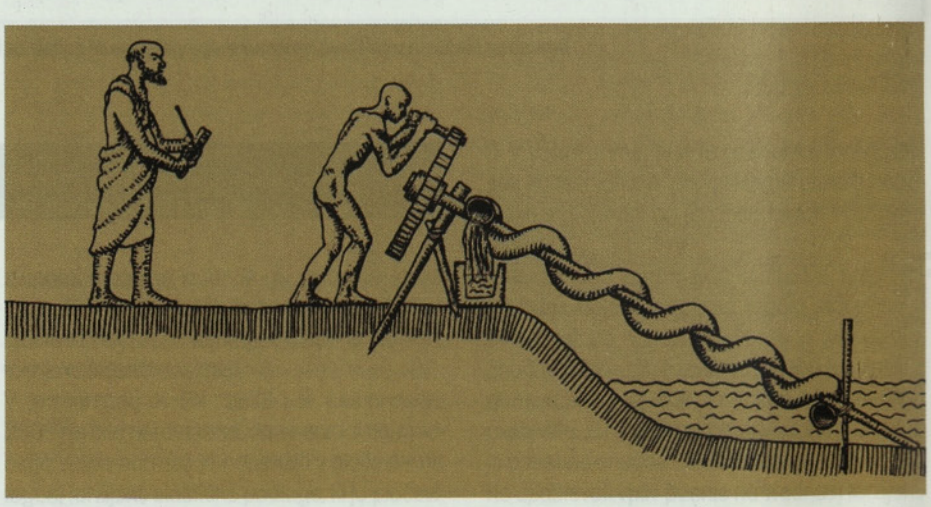
1 • UVOD

Že v 3. stoletju pred našim štetjem je grški matematik in fizik Arhimedes iznašel »arhimedovo spiralo«, ki so jo Rimljani v nadaljnjih nekaj desetletjih razvili v tako imenovano »polžasto vreteno«, katerega oblika (razen pogonskega načina) se v naslednih tisočletjih pravzaprav ni bistveno spremenila. Nadaljnji istočasni hudi tehnološki razvojni skok pomeni tudi zaporedna namestitev teh vreten, saj je tako Rimljanom (na primer v rudnikih s pomočjo sužnjev) uspelo črpati vodo na poljubne višine. Ta način črpanja se je hitro razširil na vse pokrajine rimskega imperija.

Stoletja kasneje se je ta način črpanja iz prvotnih področij rudarstva ter namakanja polj razširil in uveljavil predvsem na Nizozemskem, kjer je bilo v sklopu pridobivanja in izkoriščanja novih zemljišč potrebno izpod morske gladine ležečo pokrajino odvodnjavati preko zaščitnih rečnih ter morskih nasipov. Prvotni ročni pogon črpalk s sužnji so stoletja kasneje zamenjale za Nizozemsko tako značilne vetrnice. Okoli leta 1930 je za ta namen samo na Nizozemskem obratovalo preko 300 vetrnic. Zaradi nezanesljive jakosti vetra in s tem pogojenega hudega nihanja zmogljivosti tega sicer cenenega pogona kakor tudi zaradi vse večjih zahtev po znatno bolj zmogljivih pogonih je končno tudi na tem področju prevladala uporaba električne energije.

Polžaste črpalke (Wasserförderschnecken) so se v kanalizacijskih omrežjih Nemčije pričele uveljavljati šele sredi preteklega stoletja. Slabe obratovalne izkušnje so namreč leta 1955 v črpališču čistilne naprave Weinheim Nord / Bergstraße povzročile prvo preizkusno nadomestitev obstoječih centrifugalnih črpalk (Zentrifugalpumpen) s polžastimi črpalkami. Na podlagi v praksi ugotovljenih znatno nižjih obratovalnih stroškov kakor tudi izrednih tehnoloških prednosti teh polžastih črpalk se je za to področje odgovorni javni vodno-gospodarski urad (Wasserwirtschaftsbehörde) Heidelberg odločil za neposredno in dosledno nadaljnjo uporabo polžastih črpalk na vsem svojem geografskem območju dejavnosti, kar je povzročilo pravo »epidemično« gradnjo in uporabo polžastih črpališč tudi na območjih preostalih nemških deželnih uradov.

Navkljub hitremu tehnološkemu razvoju na področju črpalk še nobenemu drugemu načinu črpanja ni uspelo, tako v tehničnem kakor tudi v ekonomskem pogledu (predvsem



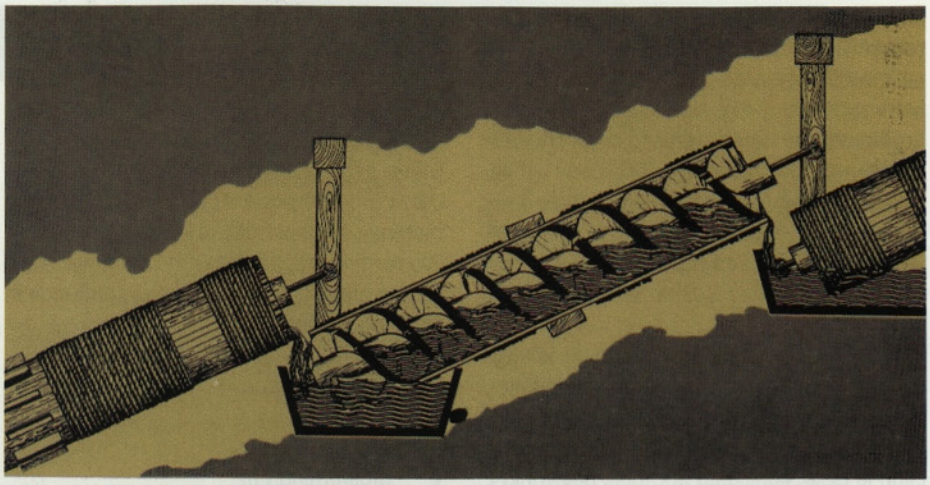
Slika 1 • **Arhimedova spirala**

majhna poraba energije), prehiteti polžastih črpalk za črpanje odpadnih vod na relativno majhne višine črpanja (4 do 6 m). V strokovni literaturi se zato še nadalje priporočajo ter povsod po svetu v strokovni praksi zelo uspešno ter dosledno uporabljajo v koritih nameščene polžaste črpalke (glej ATV-DVWK-A134).

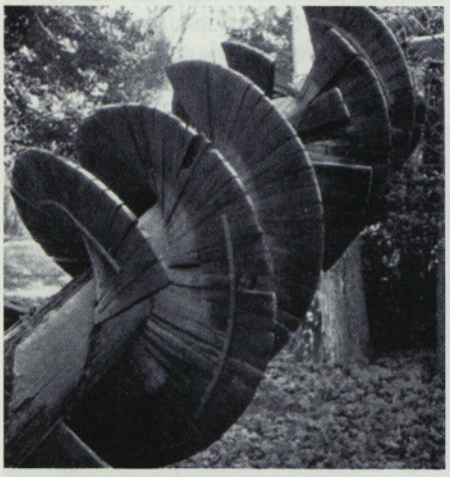
Temu trendu so svojčas, ko so se tudi pri nas še gospodarno načrtovali tehnični sistemi na podlagi skupnih (investijskih ter obratovalnih) stroškov, sledile tudi takratne generacije slovenskih projektantov. Na žalost dandanes s politično predpisanimi (nestrokovnimi in pomanjkljivimi) razpisi (le na podlagi najcenejših investicijskih stroškov) pri nas nezadržno in vse hitreje tonejo v pozabo nekdaj zelo cenjeni, varčni in zato tudi zahtevani predpogoji načrtovanja, ki so temeljili na:

- **visokem strokovnem znanju in praktičnih izkušnjah projektanta,**
- **izbiri optimalne, preizkušene tehnologije,** predvsem pa na
- **gospodarnosti naprav.**

Širom po Sloveniji (npr.: Celje, Koper itd.) se s pomočjo evropskega denarja (v zasmeh slovenskega strokovnega znanja ter izkušenj) grade neopravičljivo drage, nezadostno delujoče naprave, ki upam, da bodo kdaj kasneje našim študentom služile vsaj kot odlični praktični primeri slepe, nestrokovne politike ter rezultat neodgovornega razsipništva. Cena, ki jo plačujemo za omalovaževanje in spolitiziranje strokovnega znanja ter praktičnih izkušenj, postaja namreč ekonomsko nevzdržna.



Slika 2 • **Rimljansko polžasto vreteno iz 2. st. pr.n.š.**



Slika 3 • **Polžasta črpalka iz 18. st.**

Slika 3 • **Nizozemska vetrnica**

2 • CENTRIFUGALNE ČRPALKE

Do uvedbe polžastih črpalk sredi petdesetih let se je črpanje komunalnih odpadnih vod v Nemčiji izvajalo torej izključno s pomočjo centrifugalnih črpalk. Za doseg zastavljenega učinka črpanja potrebujejo te črpalke veliko število vrtljajev in veliko hitrost pretočnega medija, kar poleg velike porabe energije povzroča hudo obrabo sestavnih delov črpalk. Predvsem v območjih močnih sprememb smeri toka povzročajo težje sestavine pretoka (pesek, les, kamenje) in kavitacija hude obrabe uporabljenih materialov ter obratovalne motnje. Pred črpališči s centrifugalnimi črpalkami se zatorej lahko le redko izognemo predhodnim namestitvam vsaj grobih avtomatičnih grabelj ali sit, z vsemi nevšečnostimi in emisijami, ki jih tako zbiranje ter redni občasni odvoz izločenih snovi posledično povzročata v zazidalnih področjih.

Karakteristike centrifugalnih črpalk so odvisne predvsem od oblike rotorjev, njihove namestitve v ohišju črpalk ter števila vrtljajev. Zaradi kosovnih ter vlaknastih sestavin pretoka se v kanalizacijskih omrežjih v glavnem uporabljajo enokanalski (Einschaufelrad) ter prostotočni (Freistromrad) rotorji. Število vrtljajev naj po možnosti ne presega 1450 vrtlj./minuto. Črpalke morajo biti konstruirane tako, da prosti krogličnі pretok (Mindestkugeldurchgang) skozi celotno centrifugalno črpalko znaša vsaj 100 mm. Pri določanju moči motorja črpalke se morajo predvideti dodatne zmožnostne rezerve, in sicer:

potrebna izračunska zmogljivost črpalke:	dodatna zmožnostna rezerva pogonskega motorja:
do 7,5 kW	ca. 50 %, najmanj 1 kW
od 7,5 do 20 kW	ca. 25 %
od 20 do 50 kW	ca. 15 %
preko 50 kW	ca. 10 %

Prvi pogoj pravilnega delovanja centrifugalnih črpalk je zadostni stalni dotok medija, saj samo delni dotok črpalne količine ali celo suhi tek črpalke povzročata izredno nizke izkoristke energije, prekomerno pogostost vklopov

ali celo mehansko poškodovanje naprav zaradi kavitacije. Zaradi velikih pretočnih hitrosti se morajo črpališča s centrifugalnimi črpalkami znatno skrbneje hidravlično izoblikovati, saj hidravlične izgube naraščajo s kvadratom hitrosti. Nazorni primer nestrokovne izbire, vgraditve in uporabe propelerskih črpalk so nova celjska črpališča ob Savinji. Tudi petkilometrski tlačni vod med Izolo ter koprsko čistilno napravo bo postal atrakcija nestrokovnosti.

V nasprotju s polžastimi črpalkami, ki delujejo brez težav ali poškodb s skoraj konstantnim, visokim izkoristkom v celotnem delovnem območju, je za centrifugalne naprave značilno le ozko, koničasto območje delovanja z zadovoljivo visoko stopnjo izkoristka. Preobremenitve pogonskega motorja polžaste črpalke zaradi suhega teka, le delne dotočne količine ali dotočne preplavitve polža ne nastopajo. Nepotrebna je tudi predhodna namestitev grabelj ali sit, saj polžaste črpalke brez težav obvladajo tudi transport kosovnih ter vlaknastih sestavin odtokov.

Zaradi omejenega majhnega števila vklopov in izklopov centrifugalne črpalke je treba predvideti zadostno prostorno in globoko črpališčno poglobitev, da omogočimo zadosten dotok vode v črpalke ter preprečimo pregretje motorjev, srkanje zraka in kavitacijo črpalk.

Prostornina poglobitve (med vklopno ter izklopno gladino vode) mora pri centrifugalnih črpalkah znašati:

$$\mathbf{V = 0{,}9 \times Q_{pm} / Z} \qquad (1)$$

Pri čemer pomeni:

- **V** prostornina v m^3
- $\mathbf{Q_{pm}}$ srednja količina črpanja v l/s
- **Z** vklopno/izklopno število črpalke v eni uri

Glede na priklopno zmogljivost motorjev po ATV – DVWK- A 134 vklopno/iz-klopno število centrifugalnih črpalk **Z** ne sme presegati:

zmogljivost motorja do 7,5 kW	$\mathbf{Z \leq 15}$
zmogljivost motorja do 50 kW	$\mathbf{Z \leq 12}$
zmogljivost motorja preko 50 kW	$\mathbf{Z \leq 10}$

Posebno med sušnim odtokom v nočnem času se črpališčne poglobitve le počasi polnijo, kar povzroča dolga, mirna zadrževalna obdobja (v poglobitvah ter tlačnih vodih) ter zaradi anaerobnih razmer nagnitje bioloških sestavin odplak, kar se izraža v škodljivih emisijah (plini, smrad, korozija) ter v znatno slabšem delovanju omrežja ter čistilnih naprav. Globoka črpališčna poglobitev centrifugalnih črpalk zahteva tudi še dodatno zvišanje potrebne višine črpanja ter s tem porabe energije.

Iz navedenih primerjav je jasno razvidno, da imajo na prikazanih območjih delovanja polžaste črpalke znatne tehnološke ter stroškovne prednosti. V čistilnih napravah zelo radi uporabljamo polžaste črpalke tudi za črpanje povratnega blata, saj te črpalke poleg enakomerne hidravlične obtežbe omogočajo tudi obstanek lebdečih bioloških kosmov, ki jih centrifugalne črpalke običajno razcefrajo.

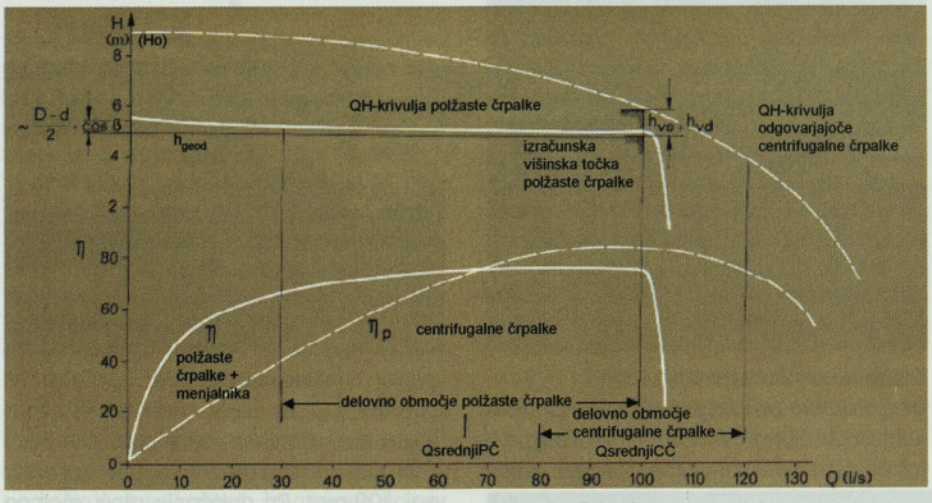
Znatno višje energetske priključne vrednosti in slabši izkoristki centrifugalnih črpališč zahtevajo poleg znatno višjih energetskih in obratovalnih stroškov tudi mobilno uporabo ali stacionarno namestitev znatno večjih in zmogljivejših zasilnih agregatov (poučni primer: Celje), katerih delovanje se mora redno občasno preverjati pod polno obtežbo.

Potopne centrifugalne črpalke se morajo iz črpališč odstraniti oziroma vanje vgraditi z ustreznimi dvigali ter jih praviloma na servisiranje ali popravilo odpeljati v ustrezne delavnice ali celo k proizvajalcu. »Suha« namestitev relativno enostavnih in dobro dostopnih pogonov polžastih črpalk omogoča hitro ter ceneno servisiranje ter popravilo na licu mesta.

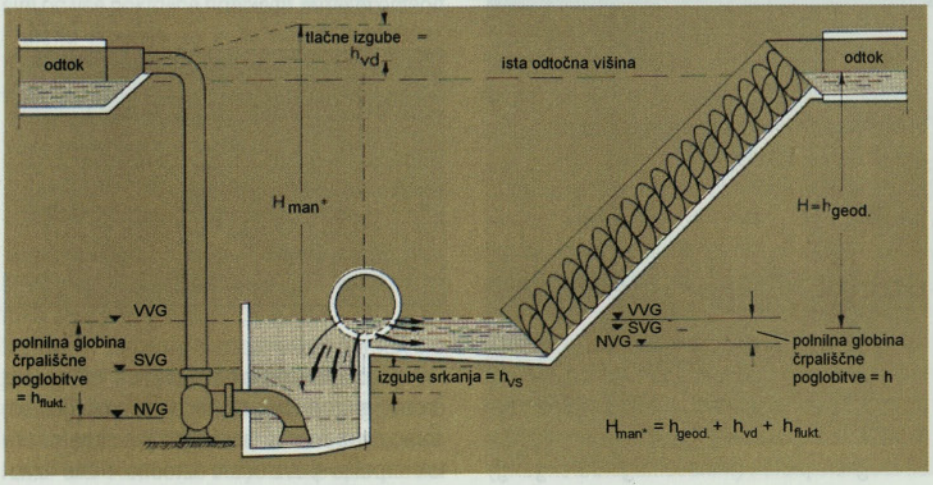
Polžaste črpalke imajo znatno daljšo amortizacijsko dobo. Medtem ko se pri gradbenem delu črpališča računa s 40 do 50-letno življenjsko dobo, se za strojno opremo polžastih črpalk običajno predpostavlja doba delovanja od 15 do 25 let. In končno sta tudi znatno lažja ter cenejša nadzor in vzdrževanje tehnološko enostavnejših ter prijaznejših polžastih črpališč.

Slabosti polžastih črpalk so:

- omejena višina črpanja (zaradi upogiba polžev),
- zahtevnejša gradnja poševnin objekta ter
- nekoliko večja poraba gradbene površine zaradi »razpotegnjenega« črpališča.



Slika 5 • **Primerjava karakteristik črpanja centrifugalne ter polžaste črpalke**



Slika 6 • **Primerjava višin črpanja centrifugalne ter polžaste črpalke**

3 • POLŽASTE ČRPALKE

Polžaste črpalke so predvidene za breztlačno dviganje tekočine v odprtih pretočnih profilih s pomočjo relativno počasi rotirajočega polžastega vretena, ki je običajno nameščen v odprtem koritu pod naklonskim kotom β izmed 30° in 40°. Pri vsakem vrtljaju vretena se iz predvidene dotočne poglobitve (pred koritom) zajame določena količina tekočine, ki se brez tlaka dviguje in prelije preko zgornjega roba korita v odtok. Prelivni rob korita mora biti višinsko nameščen tako, da nizvodna zajezitev zgornjega roba dna korita (t.i. prelivne točke **S**) ni možna (glej sliko 12). Višinska razlika črpanja ustreza razliki višinskih kot prelivne točke in točke dosega polžaste črpalke (glej sliko 7).

3.1 Dimenzioniranje polžastih črpalk

Črpalna količina polžastih črpalk je odvisna od naklonskega kota korita β, zunanjega premera polžastega vretena D, števila navitij ter števila vrtljajev n.

Število vrtljajev je v nasprotnem sorazmerju z zunanjim premerom polžastega vretena D in se običajno giblje v razponu med okoli 90 (D = 0,4 m) in okoli 30 (D = 2,0 m) vrtljajev na minuto. Običajno se število vrtljajev na minuto določi na podlagi naslednje von Muyskenove enačbe:

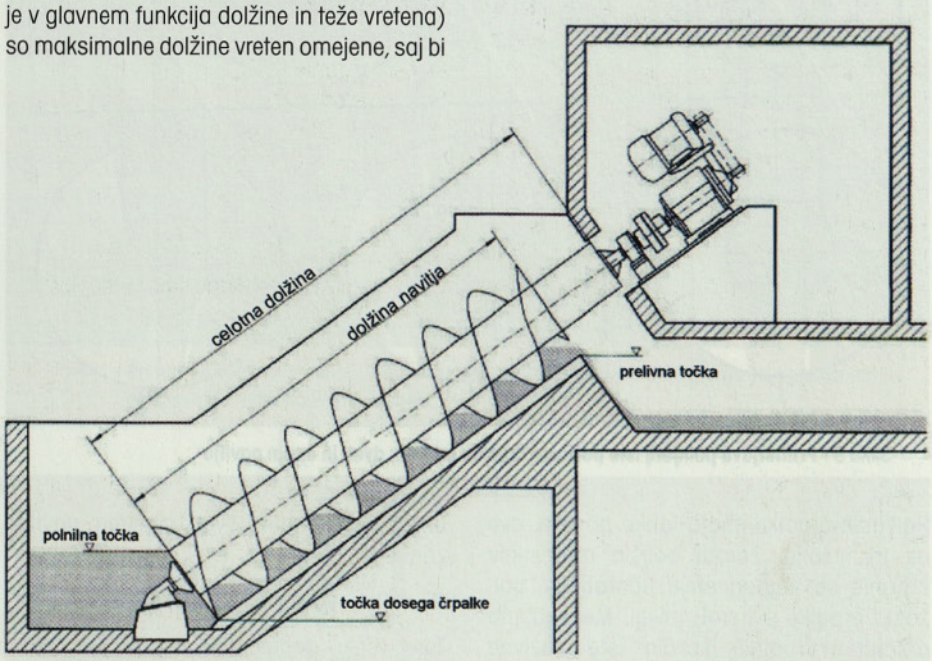
$$n = \frac{50}{\sqrt[3]{D^2}} \qquad (2)$$

V nizozemskem strokovnem slovstvu se navaja optimalni izkoristek polžastih črpalk pri naklonu korita β = 26°, saj je na Nizozemskem običajno potrebno (pri prečrpavanju velikih količin vode iz nižje ležečih pokrajin) premagovati le relativno majhne višinske razlike. Nasprotno pa se v kanalizacijskih omrežjih (za manjše stalne pretočne količine) običajno zahtevajo premostitve znatno večjih višinskih razlik. Zaradi omejenih dolžin polžev je tako potrebno (na račun nekoliko slabših izkoristkov) uporabiti bolj strme naklonske kote korit β med 30° in 40°. Praviloma se v kanalizacijskih omrežjih izbira kot β = 30° ali 33° oziroma čim manjši možni naklon korita. Nakloni korit β nad 33° so prava redkost.

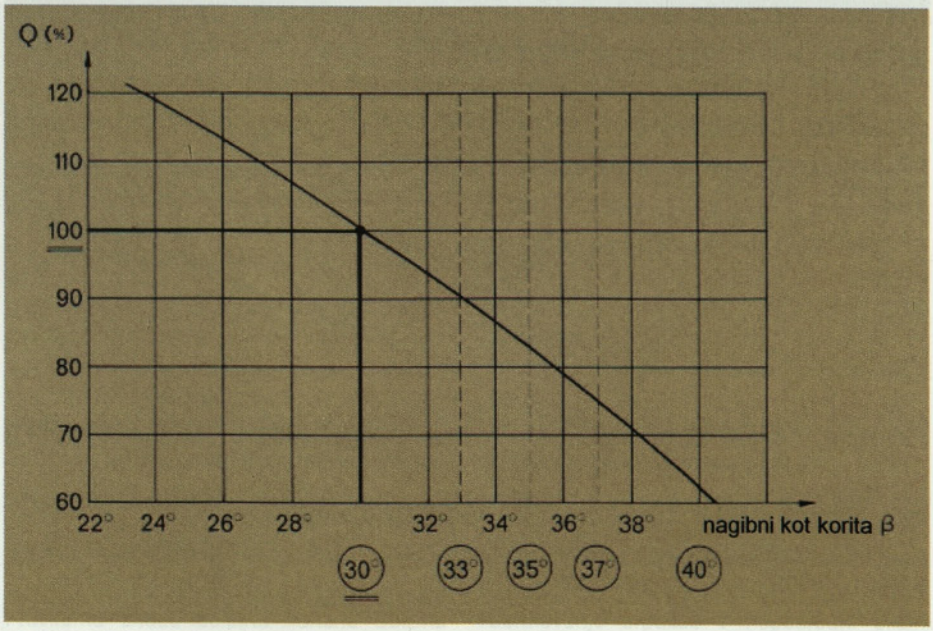
V klasičnem primeru vgraditve je polžasto vreteno obešeno v koritnici prosto med spodnjim ter zgornjim ležajem tako, da se komponenta teže vodnega telesa prenaša neposredno na betonsko korito. Dolžina polžastega vretena (L) je odvisna od višinske razlike črpanja (H) ter naklonskega kota korita (β).

$$L = H / \sin\beta \qquad (3)$$

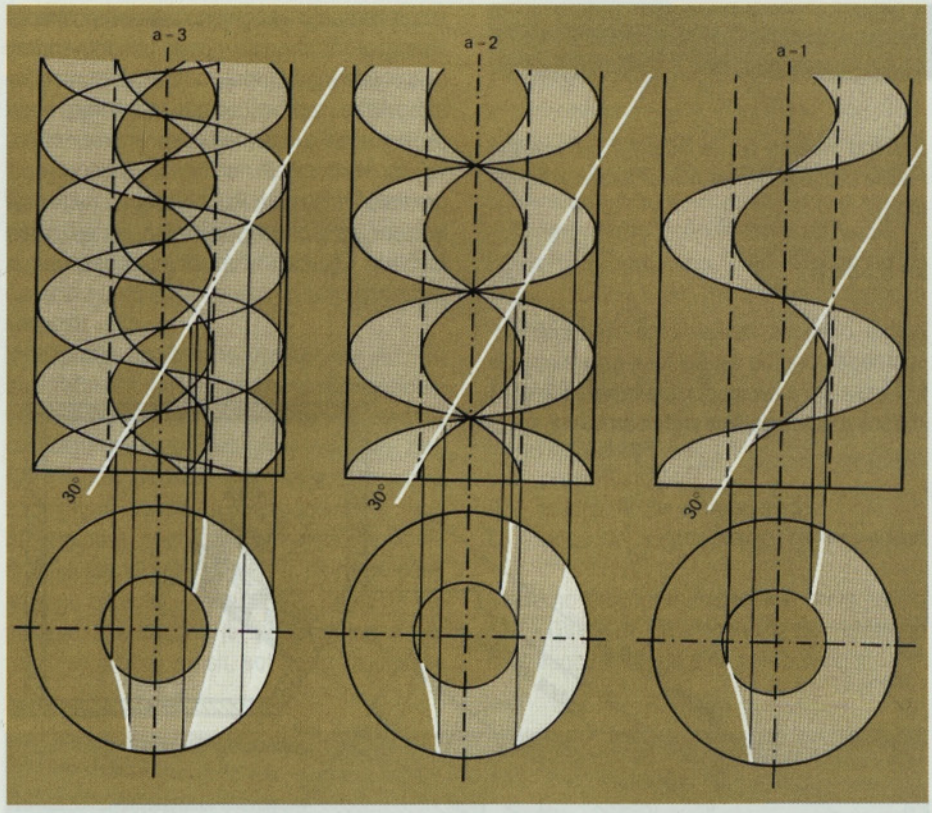
Zaradi omejene maksimalne vrednosti dopustnega upogiba osi polžastega vretena (ki je v glavnem funkcija dolžine in teže vretena) so maksimalne dolžine vreten omejene, saj bi se prekomerno upognjeno vreteno poškodovalo (zaradi strganja navitij po dnu korita) oziroma bi med črpanjem nastajale prevelike hidravlične izgube (zaradi odtekanja vode skozi prevelike reže med zunanjim robom navitij ter koritom). Z naraščanjem zunanjega premera vreten narašča tudi premer osne cevi in s tem upogibna togost vreten, kar se izraža tudi pri njihovih dopustnih maksimalnih dolžinah.



Slika 7 • **Prerez polžaste črpalke**



Slika 8 • **Groba primerjava količin črpanja pri različnih naklonih**

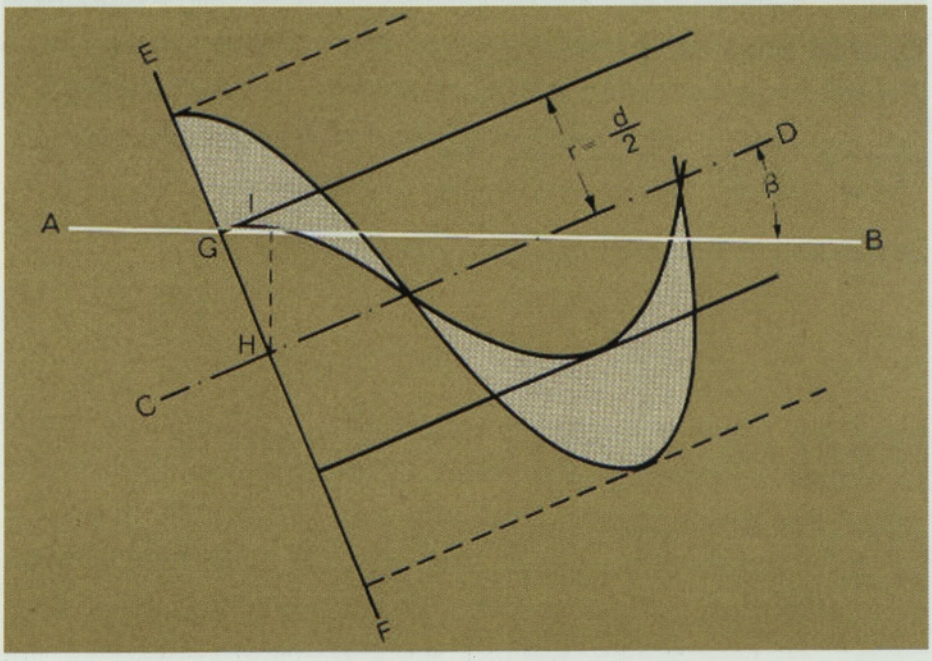


Slika 9 • **Primerjava polnjenj iste polžaste črpalke pri treh, dveh in enem navitju**

Polžaste črpalke imajo lahko po eno, dve ali tri navitja. Zaradi boljših izkoristkov črpanja se najpogosteje uporabljajo polžaste črpalke s tremi navitji. Medsebojna razmerja črpalnih količin iste nazivne črpalke (pod enakim naklonom ter enakimi obrati) pri enem, dveh ali treh navitjih znašajo:

$$Q_{a=1} : Q_{a=2} : Q_{a=3} = 0{,}64 : 0{,}8 : 1{,}0 \qquad (4)$$

Torej vsako dodatno navitje prispeva okoli 20-odstotno zvišanje črpalne količine.



Slika 10 • **Pravokotna projekcija polžaste črpalke za izračun potrebne dotočne višine**

Prvi pogoj za popolno napolnjenje črpalne polžaste komore in s tem zagotavljanje optimalne črpalne količine je hidravlično pravilno izoblikovani dotok na spodnji del polžastega vretena ter preplavitev polnilne točke **G** (glej sliko 10). Točka **G** je namreč višina, pri kateri se voda v primeru višje gladine v komori prične odlivati preko zgornjega roba navitja nazaj v dotok. Za doseganje popolne črpalne količine mora biti torej sredinska točka **H** polžastega vretena preplavljena za diferenčno vrednost **H-I**:

$$H\text{-}I = r \cdot \cos\beta \qquad (5)$$

Polnilne (vklopne) gladine posameznih polžastih črpalk (Füllpunkt) naj pri vzporednem obratovanju polžastih črpalk ležijo na ustreznih višinskih kotah delnega polnjenja dotočnega kanala pri predvidenih črpalnih količinah (glej sliko 11). Glede na te določene vklopne višine in na podlagi dimenzij izbranih črpalk so natančno višinsko določene tudi točke dosega polžastih črpalk (Tastpunkt) in s tem dno črpališčne poglobitve.

Dolžine posameznih polžastih vreten torej niso enake. Pri namestitvi prelivnih točk **S** na isto prelivno višino (Sturzpunkt) je zato dolžina vreten odvisna od posamezno ugotovljenih optimalnih (vklopnih) dotočnih gladin na dotočni strani. To velja še posebno pri polžastih črpalkah, namenjenih za prečrpavanje padavinskih dotokov, medtem ko morajo polžaste črpalke za sušne odtoke (predvsem najmanjša med njimi) zagotavljati popolno izpraznitev najnižje črpališčne poglobitve. V poglobitvah skušamo namreč preprečiti usedanje ter proizvajanje neželjenih emisij, razvoj mrčesa, kakor tudi zamrznitev črpalk v zimskem času.

Pri večjih polžastih črpališčih se za popolno izpraznitev celotne poglobitve lahko predvidi v najnižji točki še dodatna manjša konusna poglobitev s stacionarno nameščeno manjšo potopno črpalko, ki jo vklopi plovec samo med mirovanjem vseh polžastih črpalk.

Če izhajamo iz maksimalnega števila 12-tih vklopov/izklopov na uro, je za polžaste črpalke potrebna najmanjša prostornina poglobitve:

$$V_{poglobitve} \approx 100\,Q\ (m^3) \qquad (6)$$

pri čemer se dotočna količina (Q) podaja v m^3/sek.

Pri izračunih potrebnih prostornin poglobitev posameznih črpalk naj se upoštevajo medsebojne minimalne višinske razlike posameznih

vklopnih/izklopnih gladin, ki naj znašajo vsaj 10 cm (glej sliko 11).

Merilci gladin se morajo izvesti tako, da se prepreči vklopna/izklopna histereza zaradi površinskega penjenja, valovanja ali hitrega nihanja gladin. V zadnjem času so se uveljavili predvsem merilci gladin s pomočjo zvočnega odboja, saj ti merilci običajno ne prihajajo v stik z odpadnimi vodami in tako korozija, lepljive ter vlaknaste sestavine odtoka ne vplivajo preveč na njihove meritve.

Tako korita kakor tudi polžasta vretena so (glej sliko 7) na zgornjem prelivu prostorsko omejena s pravokotno na os padajočo ploskvijo. Prelivne točke koritnic **S** se morajo višinsko namestiti na ali nad najvišjo možno odtočno gladino zgornje vode tako, da prekomerna zajezitev in povratni odtok nista možna (glej sliko 12). Praviloma se vse prelivne točke sušnih črpalk namestijo na skupno (isto) višinsko koto, pri čemer upoštevamo hidravliko nadaljnjega kanalizacijskega omrežja. Padavinske črpalke pa se nameste na skupno višinsko koto, ki je odvisna od hidravlike razbremenilnih naprav oziroma stanja gladin ustreznih visokih vod vodotoka.

Na podlagi določitve vklopnih in izklopnih gladin posameznih polžastih črpalk ter prelivnih višin se izračunajo ustrezne višine črpanja, izbere se nagib ter določijo dolžine posameznih polžastih vreten. Iz ustreznih karakteristik (preglednic in diagramov) črpalk se nato za predvidene črpalne količine in izbrani naklon določijo za nadaljnje načrtovanje potrebni podatki, kot so: tip ter nazivni premer črpalke, število navitij, maksimalna dolžina vretena, dejanski obrati, dejanski izkoristek črpalke itd.

Dobavitelji polžastih črpalk pa nudijo tudi posebne vprašalne liste, v katere projektant vnese potrebne podatke za izračun ter dimenzioniranje polžastih črpalk. Na podlagi teh podatkov predlaga dobavitelj optimalno število ter tipe polžastih črpalk, priključne moči in izkoristke motorjev itd.

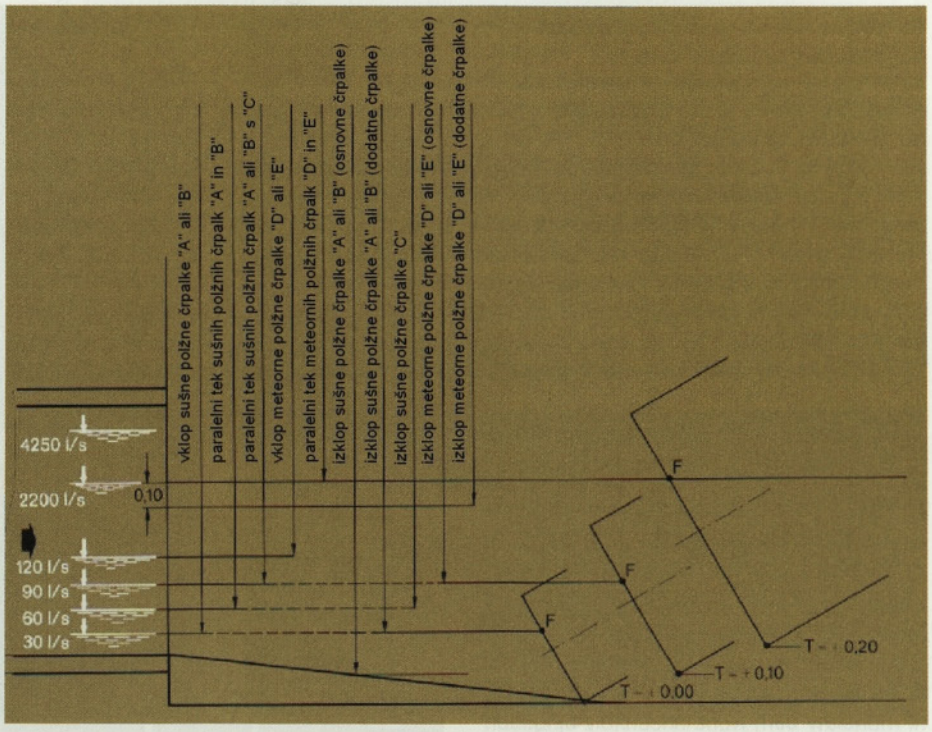
Na podlagi izkoristka izbranih črpalk se nato določi zahtevana pogonska moč motorjev:

$$N_A = 1{,}496\ Q \times H / 75 \times \eta_{skupni} \qquad (7)$$

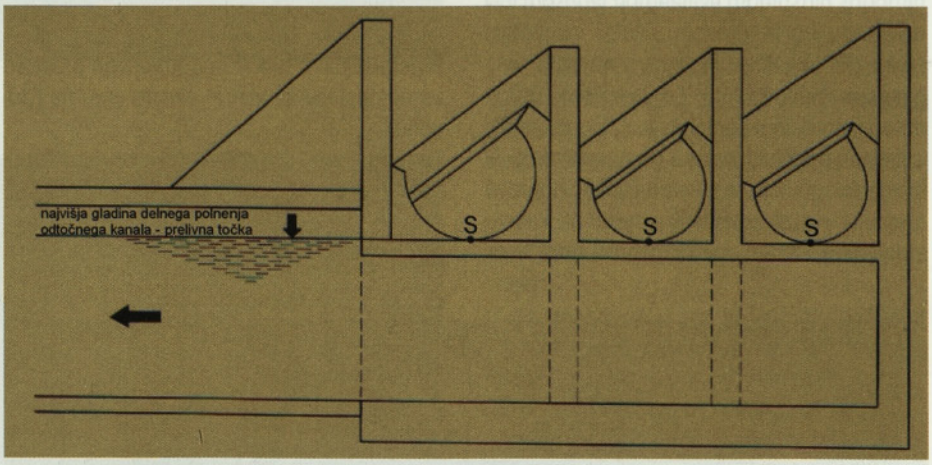
Pri tem pomenijo:

- N_A pogonska moč motorja v kW
- Q črpalna količina v l/s
- H črpalna višina v m
- η_{skupni} skupni izkoristek v %

V nasprotju s centrifugalnimi črpalkami, kjer je črpalna količina funkcija črpalne višine, pretok polžastih črpalk ostane tudi pri večjih zajezitvah dotoka konstanten, zato se lahko polžaste črpalke uporabijo tudi kot natančne dušilke za omejevanje pretočnih količin. Polžaste črpalke se pogosto uporabljajo na dotočnih črpališčih čistilnih naprav, saj tako hidravlična obtežba čistilne naprave ostane omejena na dopustne, skoraj konstantne pretoke.



Slika 11 • **Primer višinske namestitve koncev polžev ter vklopnih/izklopnih gladin pri paralelnem obratovanju petih polžastih črpalk**



Slika 12 • **Višinska namestitev prelivnih točk korotnic**

3.2 Konstruiranje in obratovanje polžastega črpališča

Praviloma znaša celotna tlorisna dolžina polžastega črpališča približno 2,5-kratno višino črpanja, medtem ko znaša celotna tlorisna širina približno 1,5-kratno vsoto zunanjih premerov polžastih vreten.

Zaradi »neobčutljivosti« črpalk ta vrsta črpališč ne potrebuje predhodne namestitve avtomatskih mehanskih grabelj ali sit. S tem se v kanalizacijskem omrežju odpovemo problematičnemu vmesnemu skladiščenju in rednemu občasnemu odstranjevanju izločenih kosovnih ter vlaknastih snovi. Mirni in relativno tihi tek teh črpalk dopušča tudi gradnjo ter obratovanje črpališč v neposredni bližini stanovanjskih površin.

	Typ	1110	1110	1110	1110	1110	1110	1112	1112	1112	1112	1112	1112
Aufstell.-Winkel $\beta = 30°$	Gangzahl	1	1	2	2	3	3	1	1	2	2	3	3
	Q (l/s)	145	153	165	192	210	240	200	219	240	275	310	344
	n (u/min)	47	50	43	50	44	50	40	44	38	44	39	44
	η_{ges} (%)	74,6	74,8	77,3	77,7	79,7	79,5	75,1	75,4	77,8	78,1	80,1	80,0
Aufstell.-Winkel $\beta = 33°$	Q (l/s)	130	138	150	173	185	216	190	197	220	248	270	310
	n (u/min)	47	50	43	50	43	50	42	44	39	44	38	44
	η_{ges} (%)	74,2	74,6	77,3	77,7	79,1	79,3	75,1	75,2	77,8	78,1	80,0	80,0
Aufstell.-Winkel $\beta = 35°$	Q (l/s)	115	126	135	158	170	198	172	181	195	227	245	284
	n (u/min)	46	50	43	50	43	50	42	44	38	44	38	44
	η_{ges} (%)	73,6	74,3	76,8	77,7	79,1	79,3	74,5	75,1	77,4	78,0	79,6	79,8
Aufstell.-Winkel $\beta = 37°$	Q (l/s)			130	144	155	180			175	207	225	259
	n (u/min)			45	50	43	50			37	44	38	44
	η_{ges} (%)			77,2	77,6	78,6	79,1			77,7	78,0	79,2	79,6
Aufstell.-Winkel $\beta = 40°$	Q (l/s)			105	121	130	151			145	173	185	217
	n (u/min)			43	50	43	50			37	44	37	44
	η_{ges} (%)			76,6	77,5	78,0	78,7			77,4	77,9	78,7	79,2

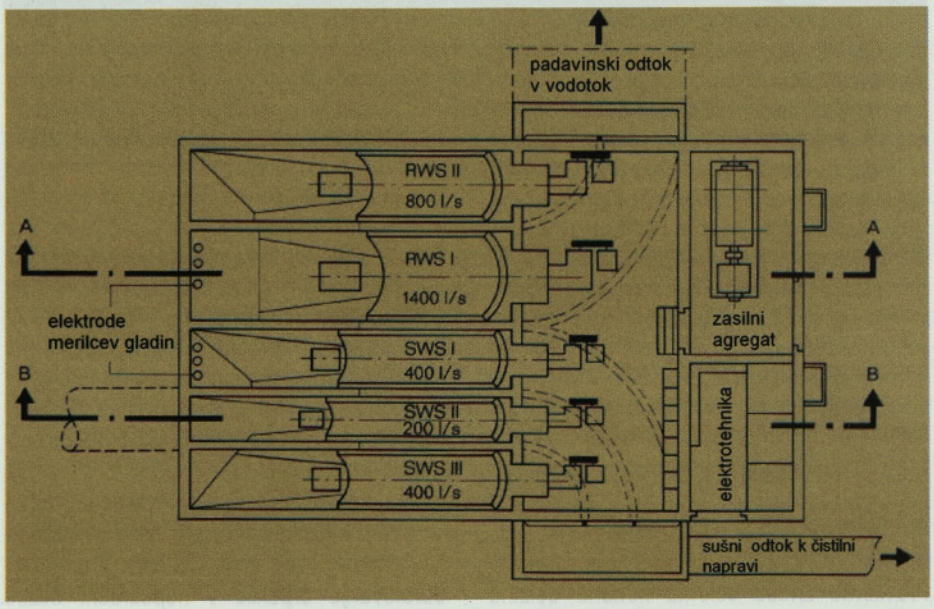
Slika 13 • **Stran iz preglednice za določitev ustreznega tipa RITZ – polžastih črpalk /1/ na podlagi nagiba korita (Aufstellungswinkel β), števila navitij (Gangzahl), črpalne količine (Q), števila vrtljajev (n) ter izkoristka (η_{ges})**

Typ u. Nr. – β/a	Nenn-durch-messer	D (mm)	d/s_w (mm)	s_{sp} (mm)	$s_{III.}$ (mm)	δ	Σ G (kg/m)	J (l/m)	L_{max} (m)
1110 – 30/3	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	270,2	287,5	10,0
1110 – 30/2	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	228,8	230,5	10,5
1110 – 30/1	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	191,4	183,5	11,1
1110 – 33/3	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	270,2	259,0	10,2
1110 – 33/2	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	228,8	207,5	10,7
1110 – 33/1	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	191,4	165,5	11,2
1110 – 35/3	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	270,2	237,0	10,4
1110 – 35/2	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	228,8	189,5	10,9
1110 – 35/1	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	191,4	151,0	11,4
1110 – 37/3	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	270,2	216,0	10,6
1110 – 37/2	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	228,8	173,0	11,1
1110 – 40/3	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	270,2	181,5	10,9
1110 – 40/2	1000	991,0	508/12,5	4,5	8,0	0,51	228,8	145,5	11,4
1112 – 30/3	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	291,5	396	11,2
1112 – 30/2	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	252,0	317	11,6
1112 – 30/1	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	212,5	253	12,0
1112 – 33/3	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	291,5	357	11,3
1112 – 33/2	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	252,0	286	11,7
1112 – 33/1	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	212,5	227	12,1
1112 – 35/3	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	291,5	327	11,3
1112 – 35/2	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	252,0	262	11,7
1112 – 35/1	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	212,5	209	12,1
1112 – 37/3	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	291,5	298	11,5
1112 – 37/2	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	252,0	239	11,9
1112 – 40/3	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	291,5	250	11,6
1112 – 40/2	1200	1190	711,2/10,0	5,0	8,0	0,60	252,0	199	12,0

Slika 14 • **Stran iz preglednice podatkov in izmer različnih tipov RITZ – polžastih črpalk /1/**

Gradbeni objekt polžastega črpališča je v glavnem sestavljen iz praviloma odprtega dotočnega dela s poglobitvijo (Zulaufsumpf), iz korit za polžasta vretena (Schneckentröge), iz odtočnega kanala v smeri čistilne naprave oziroma iz razbremenilnih naprav ali razbremenilnega kanala v vodotok (pri mešanem sistemu) kakor tudi iz nadgrajenega prostora za namestitev strojne in elektro opreme (pogona).

Zaradi letnega ter dnevnega nihanja temperatur (poleti na soncu tudi do +70 °C, pozimi do −30 °C) se polžasta vretena tako po dolžini kakor tudi prostorsko deformirajo (±0,575 mm/m), kar se mora upoštevati še zlasti pri izvedbi ležajev ter pogona. Posledice teh deformacij lahko sicer delno ublažimo z namestitvijo ustreznih prekritij celotnega odprtega dotočnega dela ali le z delnim prekritjem korit, vendar si pri tem lahko nakopljemo še niz dodatnih problemov (korozija, slab dostop in nadzor črpalk itd.).



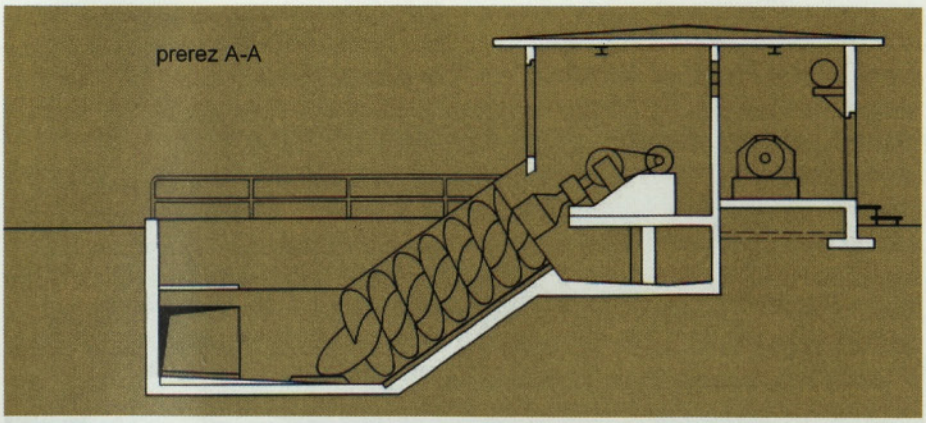
Slika 15 • **Tloris polžastega črpališča s petimi črpalkami**

Klasična odprta korita se lahko izvedejo s pomočjo:

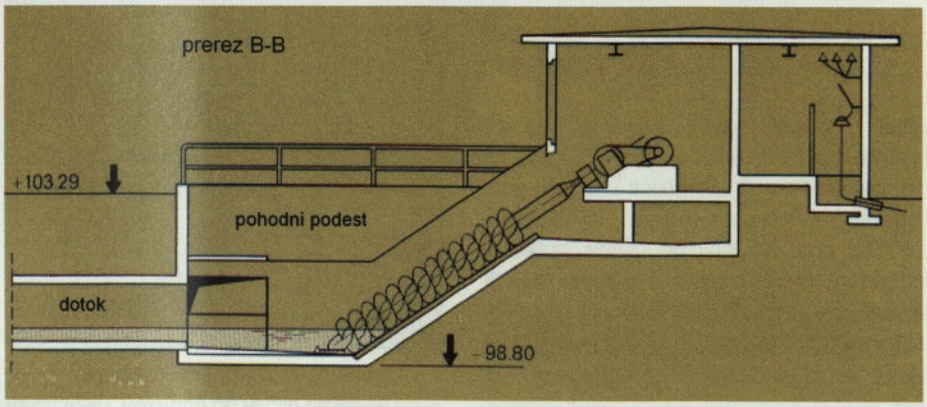
- profilnega betona,
- polaganjem predizdelanih montažnih betonskih koritnic ali
- vgradnje koritnic iz nerjavne jeklene pločevine.

Grobo profiliranje korit se običajno izvede s pomočjo oktaedrskih šablon. V tako izdelano odprtino se nato montira polžasto vreteno, ki ima na celotnem zunanjem robu polžnega navitja pritrjen pločevinasti trak zahtevane debeline (≥ 3 mm). Ob počasnem rotiranju vretena se nato na spodnjem koncu dodaja cementna malta, ki ustrezno zapolni preostali medprostor ter tako profilira končno obliko korita (glej sliko 18). Ta način izvedbe avtomatično upošteva tudi upogib vretena in tako izdela korito »po meri«.

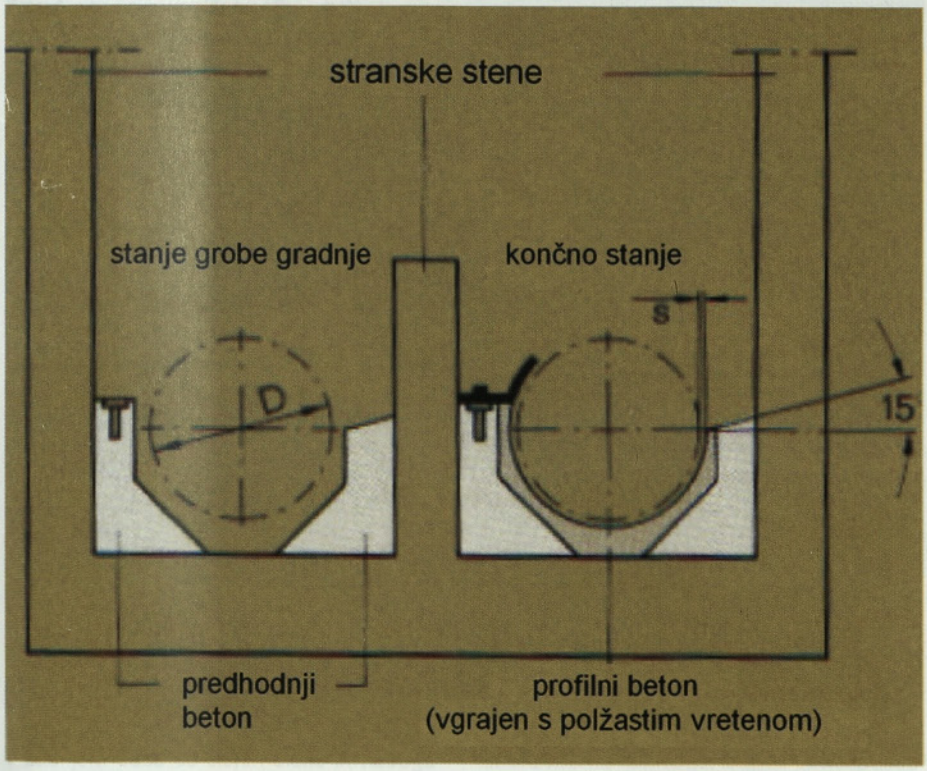
Dragi in predvsem zahtevni gradbeni izvedbi poševnih sten in korit so se svojčas projektanti



Slika 16 • **Karakteristični prerez A-A**



Slika 17 • **Karakteristični prerez B-B**



Slika 18 • **Izvedba klasičnega odprtega korita s pomočjo profilnega betona**

zelo poredkoma skušali izogniti z vgradnjo oplaščenih polžastih vreten. Pri tem ločimo dva načina njihove namestitve:

- s polžastim vretenom, ki rotira v fiksno pritrjeni cevi ter
- skupaj z vrtečim se, na vretenu pritrjenim obodnim plaščem.

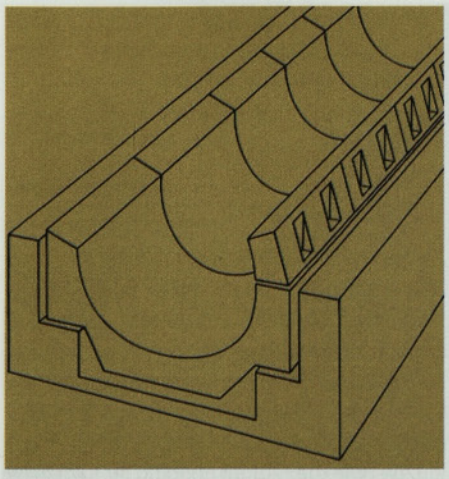
Za vgradnjo takih oplaščenih vreten se v moji dolgoletni praksi nisem nikoli odločil in njihovo uporabo tudi odsvetujem. Poleg dragega in zahtevnega varjenja ter pomanjkljive korozijske zaščite na polžasta navitja privarjenega obodnega plašča morajo namreč ti obodni zvari prenašati tudi izredno hude strižne obtežbe (zaradi upogiba ter raztezkov pri enostranskem sončnem sevanju in dodatni teži vode). Predvsem pa pri tem načinu hudo trpijo tudi ležaji, saj morajo (poleg raztezkov) prenašati tudi vso dodatno težo kovinskega plašča ter navpično komponento teže vode v obodnem plašču. Zvišana je tudi možnost zagozdenja kosovnih delov oziroma nabiranja vlaknastih snovi med vretenom in plaščem.

Na spodnjem delu vsake polžaste črpalke naj se z ustreznimi stenskimi in talnimi utori predvidi možnost namestitve montažnih zapornih elementov (plošč, plohov), ki pri popravilih črpalk ali njihovih vzdrževalnih delih omogočajo nemoten, suh dostop do spodnjega ležaja.

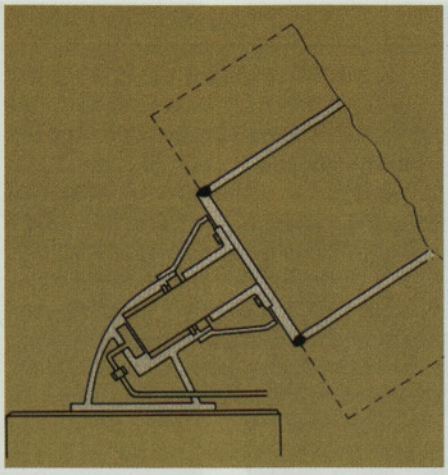
Med koriti se iz varstveno/tehničnih razlogov v ATV-A134 priporoča namestitev dostopnih stopnic, iz katerih se lahko lažje izvedejo nadzorstvena in vzdrževalna dela ter čiščenje vreten.

V odvisnosti od smeri in jakosti sončnega žarčenja naj se preveri potreba po prekritju celotnega spodnjega gradbenega dela črpališča ali samo posameznih korit oziroma le zasenčenje polžastih vreten. Pri popolnem prekritju črpališča je potrebno zadostno zračenje poglobitve in dodatno stransko dostopno stopnišče, ki je ločeno od strojnice.

Vsako črpališče naj se opremi z vsaj dvema črpalkama, pri čemer naj bo ena črpalka rezerva (1+1). Pri samo dveh črpalkah se torej predvidi 100-odstotna rezerva skupne pretočne količine. Število črpalk je odvisno od pravilne razdelitve dotočnih količin. Z večjim številom črpalk se ustrezno zniža tudi odstotek rezerve. Tako se predvidi pri štirih črpalkah (3+1) le še 33-odstotna rezerva skupne pretočne količine. Običajno se črpalke zaporedno vklapljajo in izklapljajo preko števca obratovalnih ur tako, da se vse črpalke enakomerno obrabljajo.



Slika 19 • **Izvedba klasičnega odprtega korita s pomočjo montažnih koritnic**



Slika 20 • **Spodnji drsni ležaj polžaste črpalke**

Pri mešanemu sistemu kanalizacije se običajno predvidita dva tipa polžastih črpalk:

- črpalke za sušni ali kritični odtok in
- črpalke za padavinski ali razbremenilni odtok.

Večje število črpalk ustrezno zmanjšuje pogostost delovanja črpalk in s tem stroške obratovanja, zato pa ustrezno zveča izmere tlorisa ter zvišuje investicijske stroške. Torej se mora optimalno število in tip črpalk določati na podlagi predhodnega grobega izračuna investicijskih **in** obratovalnih stroškov.

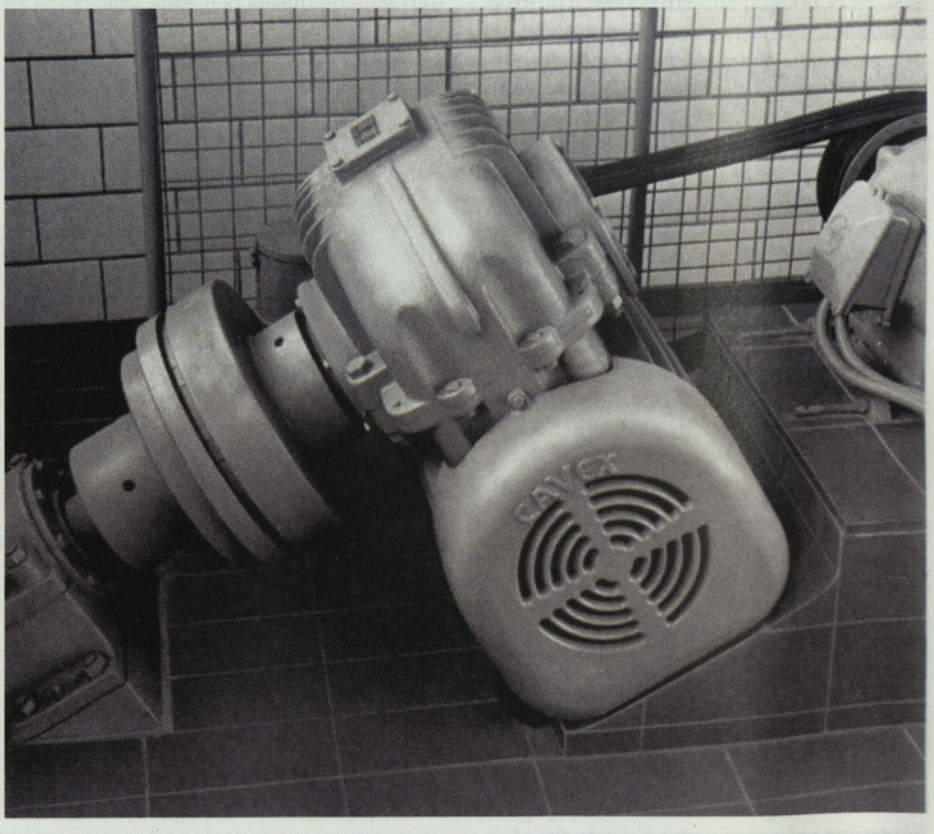
Spodnji, za vodo neprepustno tesnjeni drsni ležaj iz barvnih kovin (fettgeschmiertes Gleitlager) se v ohišju iz korozijsko obstojnega materiala (Werkstoff – Nr.: 1.4571) maže z mazalno maščobo preko prisilno delujoče stiskalnice. Stiskalnica ter zadostno velika posoda za mazalno maščobo sta nameščena v pogonskem prostoru ter sta preko mehansko in korozijsko obstojnih napeljav povezana z ležaji. Te napeljave je treba ustrezno zaščititi pred mehanskimi poškodbami ter zmrzaljo. Količinsko stanje maziva v posodi je potrebno redno nadzorovati ter občasno dopolniti ustrezno količino mazalne maščobe. Zgornji valjčni ležaj (fettgeschmiertes Walzlager) prevzema vse aksialno/radialne sile.

Za osno cev vretena (Schaftrohr) je v ATV – A 134 predpisano jeklo (St 00, Werkstoff-Nr. 1.0030) debeline ≥ 6 mm, medtem ko je za navitja (Schaufeln) predvideno jeklo iste kvalitete, vendar debeline ≥ 5 mm. Za korozijsko zaščito se najprej pocinkajo (Spritzverzinkung), predhodno s peskanjem ali z jeklenimi kroglicami očiščene površine (stopnja odstranitve rje 3, DIN 18364 oziroma ROST 2.213) oziroma se nanje (pri zelo agresivnih odpadnih vodah) nanesejo posebni kovinski zaščitni sloji. (Zaradi zvarov se vroče pocinkanje ne sme uporabljati.) Na tako podlago se končno nanesejo dva- ali večkratni zaščitni prekrivni sloji na osnovi posebno odpornih umetnih smol. Predvsem zaradi znatno prevelikih stroškov izdelave se polžasta vretena iz nerjavnega jekla niso uveljavila na trgu. Na podlagi mojih osebnih praktičnih izkušenj jih odsvetujem tudi iz tehničnih razlogov.

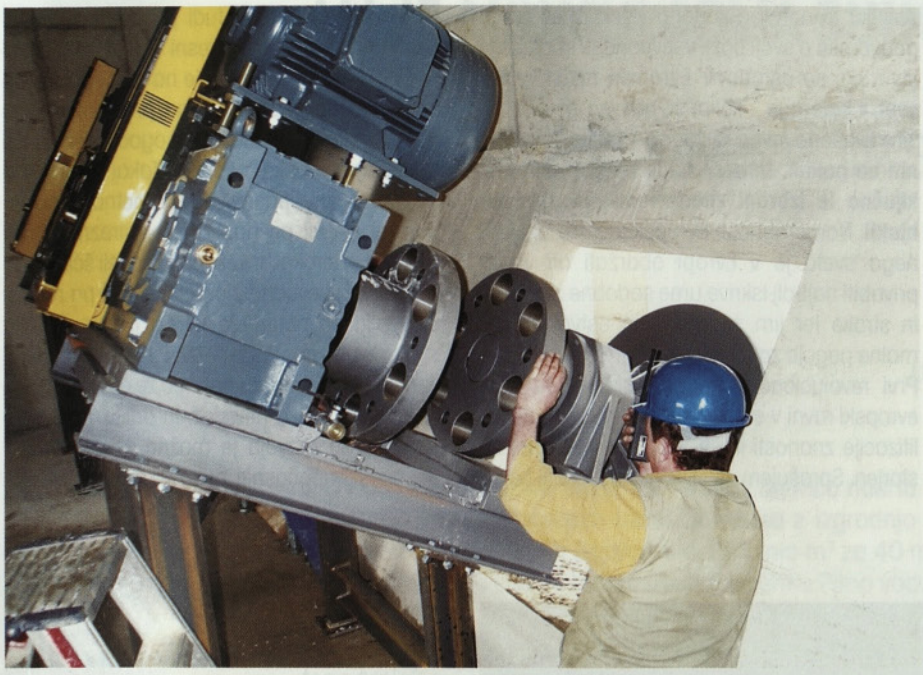
3.3 Pogon polžastih črpalk

Za pogon se običajno uporabljajo asinhronski elektromotorji s kratkostičnimi tekači na izmenični tok (Drehstrom-Asychronmotore mit Kurzschlußläufern) v smislu DIN 42673. Da se lahko brez težav transportirajo tudi kosovne in vlaknaste sestavine odpadnih vod, je treba pri izračunu pogonskih moči elektromotorjev dodatno predvideti njihove – po naslednji preglednici navedene – zvečane zmogljivosti:

potrebna izračunska zmogljivost polžaste črpalke:	izbrana zvečana velikost zmogljivosti pogonskega motorja:
≤ 0,5 kW	1,5 kW
≤ 1,0 kW	2,2 kW
≤ 1,2 kW	3,0 kW
≤ 2,0 kW	4,0 kW
≤ 3,0 kW	5,5 kW



Slika 21 • **Pogon z jermenico ter menjalnikom**



Slika 22 • **Montaža pogona**

Slika 23 • **Montaža vreten**

Zmanjšanje vrtljajev se običajno izvaja s pomočjo jermenice (Keilriemenantrieb), ki povezuje motor z menjalnikom (Getriebe) ali pa z direktnim mehanskim prenosom v menjalniku. Posebno pri večjih črpalkah pa je možno tudi uravnavanje vrtljajev s pomočjo spreminjanja frekvenčnega števila (Hz).
Pogon se dimenzionira na nepretrgano 24-urno delovanje. Motor ter menjalnik sta opremljena z zaporo povratnega teka (Rücklaufsperre), ki mora prenesti vse sunkovite obtežbe. Menjalnik in motor sta povezana z elastično sklopko (Kupplung).
Možno pregretje motorja in menjalnika se prepreči z ustreznim ozračevanjem strojnice.
V tem prostoru se poleg pogonov črpalk namestita tudi ustrezna stična omara ter po potrebi stacionarni zasilni pogonski agregat.
Pri mešanem sistemu kanalizacije se zaradi znižanja stalnih stroškov za najem električnega priključka (Vorhaltungskosten) pogosto priključujejo polžaste črpalke za sušni odtok neposredno na javno električno omrežje, medtem ko so zaradi manj pogostega delovanja za črpalke padavinskih dotokov predvideni posamični pogoni z direktno prirobljenimi motorji na notranje izgorevanje ali ustrezni skupni zasilni agregati. Za direktno na javno električno omrežje priklopljene črpalke sušnega odtoka je treba predvideti dvostransko energetsko napajanje ali priključek na zasilni agregat, da se lahko premostijo izpadi električnega toka (nevihte, kratki stiki itd.).
Na prehodih polžastih vreten skozi tla in stene je treba izvesti absolutno nepredušno tesnjenje (za vlago in pline) nadgrajenega prostora, saj se pri strojni ter električni opremi v tem prostoru ne zahteva oziroma ne izvaja eksplozijska zaščita. Višinsko se namestijo tla strojnice tako, da njihova preplavitev ni možna.
Predvideti je treba ustrezno zaščito zgradbe in elektro ter strojne opreme za primer udara strele. Izredno pomembna je tudi pravilna ozemljitev ter potencialna izravnava vseh naprav.

4 • SKLEP

Tehnološka ter ekonomska primerjava centrifugalnih ter polžastih črpalk za črpanje komunalnih odpadnih vod na relativno majhne črpalne višinske razlike jasno govori v prid slednjih. Tega so se svojčas zavedali tudi naši strokovnjaki, saj so bile po navedbah v (Kolar, 1983) (pred skoraj tremi desetletji) tudi slovenske praktične izkušnje s polžastimi črpalkami izredno dobre.
V zadnjem času se sistematsko in neodgovorno izogibamo polžastim črpalkam. To med drugim nazorno kažejo popolnoma nove nepravilno delujoče razbremenilne naprave in črpališča ob Savinji v Celju ter nepotrebni megalomanski petkilometrski tlačni vod odpadnih vod med Izolo ter Koprom. S tem se širom po Sloveniji na podlagi političnega vmešavanja, strokovnega neznanja ter zaničevanja strokovnih izkušenj pridno postavljajo razsipniško dragi tehnični spomeniki strokovnemu neznanju, slepoti in nesposobnosti.
Polžaste črpalke delujejo v vsem delovnem območju, od skoraj ničelnega dotoka do maksimalne črpalne količine, brez večjih znakov obrabe ali celo poškodb agregatov. Od približno ene tretjine njihove nazivne vrednosti do njihove maksimalne črpalne količine ostaja visok izkoristek polžastih črpalk praktično nespremenjen. Preobremenitev pogona je praktično nemogoča. Suhi tek polžasti črpalki ne škoduje. Predhodna namestitev avtomatičnih grabelj ali sit je pri tem načinu črpanja nepotrebna.
Znatno nižje priključne vrednosti ter manjša poraba električne energije polžastih črpalk se odražajo v bistveno nižjih obratovalnih stroških

ter v znatno manjši velikosti zasilnih agregatov. Tudi nadzor in vzdrževanje polžastih črpalk sta znatno prijaznejša ter nezahtevnejša. Servisiranje ali popravila suho in dostopno nameščenih pogonskih agregatov so možna v črpališču. Življenjska doba takih, v obratovanju varnih in varčnih črpališč je zelo dolga.

Februar 2007 bo nedvomno z zlatimi črkami zabeležen v analih evropske zgodovine znanosti in stroke! V nasprotju s predhodnimi hudo odmevajočimi vojnami prepričanj v Vatikanu, ko se je moral svojčas celo papež končno odpovedati svoji nezmotljivosti, je v Brusel konec februarja 2007 skoraj neopazno priletela prva lastovka, (vsaj upam) znanilka znanstvene in strokovne pomladi. Evropska politika je namreč končno v teh dneh prvič podvomila o svoji božji vsevednosti in poslanstvu, saj so ustanovili **Evropski raziskovalni svet, v katerega** – kakor so ob njegovi ustanovitvi svečano javno razglasili – **ne bo včlanjen niti en politik, temveč bodo njegovi člani izključno le izbrani znanstveniki in strokovnjaki!** Namembnost Evropskega raziskovalnega sveta je v Evropi obdržati ali vanjo privabiti najbolj iskrive ume sodobne znanosti in stroke ter jim zagotoviti in ustvariti optimalne pogoje za njihov razcvet.

Prvi revolucionarni zgodovinski korakec na evropski ravni v smeri dedemokracije in depolitizacije znanosti in stroke je bil tako torej že storjen. Sprašujem se le, koliko desetletij bo še minilo, preden bomo tudi pri nas v Sloveniji končno začutili ta potresni sunek. Navajeni smo, da vedno in ne glede na hude posledice ali škodo nemudoma slepo preplonkamo in dosledno uresničimo vsemogoče (še zlasti bedaste) evropske predpise. Zakaj ne bi tokrat za spremembo pohiteli s to pametno evropsko potezo in tudi pri nas začeli ustrezno čislati znanost in stroko ter ju končno začeli ščititi pred božansko vsevednostjo politike? Ali pa morda Slovenija ne potrebuje ali pa ji celo škodita strokovno znanje ter izkušnje? Strokovno znanje in izkušnje sta namreč že od nekdaj najhujša sovražnika nezmožnih politikov. Zgodovinsko kolo razvoja je možno zavirati in začasno tudi upočasniti, ni ga pa možno ustaviti!

5 • LITERATURA

ATV-DVWK-A134, Planung und Bau von Abwasserpumpanlagen, 2000.

Kolar, J., Odvod odpadne vode iz naselij in zaščita voda, Državna založba Slovenije, Ljubljana, 1983.

KSB Kreiselpumpen Lexikon, Klein, Schanzlin & Becker Aktiengesellschaft, Frankental, 1974.

Maleiner, F., Kanalizacijska črpališča, 5. strokovni seminar, 18. 4. 2001.

Nagel, G., Handbuch der Wasserförderschnecken; RITZ-Pumpenfabrik GmbH, Schwäbisch Gmünd, 1968.

Slike v članku so privzete iz publikacij:

Kuhn GmbH, 74746 Höpfingen (www.kuhn-gmbh.de)

Nagel, G., Handbuch der Wasserförderschnecken,; RITZ-Pumpenfabrik GmbH, Schwäbisch Gmünd, 1968.

OBJAVA RAZPISA

PODELITEV NAGRADE IZS ZA INOVATIVNOST

IZS je v zadnjih nekaj letih precej svojih aktivnosti usmerila v dvigovanje strokovnosti, odgovornosti in kakovosti na področju graditve objektov. Tako bo letos, ob deseti obletnici delovanja, podeljena nagrada za inovativen pristop pri graditvi objektov. **Več na www.izs.si.**

IZS

INŽENIRSKA ZBORNICA SLOVE

Inženirska zbornica Slovenije, Jarška cesta 10b, 1000 Ljubljana, Slovenija

ALI JE AKUMULACIJA SUHORKA POTREBNA?

IS THE WATER RESERVOIR SUHORKA NECESSARY?

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

Strokovni članek
UDK 628.13 + 556.15 : 628.144

Povzetek | Članek obravnava vodno bilanco načrta za povečanje vodovoda za slovensko obalo in zaledno območje Krasa z izgradnjo nove vodne akumulacije s 57 m visoko pregrado in prostornino 13,1 mio m^3 za 40 mio EUR. Širša problematika tega vodovoda je bila že obravnavana v članku Pitna voda iz Reke za slovensko Istro in Kras, primer trajnostnega ravnanja z vodami, objavljenem v Gradbenem vestniku oktobra 2003. Ta članek pa obravnava za rešitev vodovoda tri odločilne pomanjkljivosti tega projekta: (1) V projektu je privzet predpis za »ekološko sprejemljivi minimalni pretok Reke« 1,388 m^3/s, ki je kar osemkrat večji od naravnega minimalnega pretoka 0,160 m^3/s. Ta predpis je bil sprejet pred več kot 20 leti za »razredčitev« velike onesnaženosti Reke z industrijskimi odplakami. Za »redčenje« potrebno vodo pa je država zgradila vodni akumulaciji, Molo in Klivnik, ki pa sta sedaj, po prenehanju onesnaževanja, povsem neizkoriščeni. (2) Iz vodne bilance porabe vodovoda in vodnih virov za sušno leto 1993 (ugotovitve v tem članku potrjuje tudi naknadno izvedena bilanca za bolj sušno leto 2003) je razvidno, da načrtovana vodna akumulacija Suhorka v nasprotju s projektom ne more zagotoviti minimalnih pretokov 1,388 m^3/s Reke, ampak največ le polovico 0,72 m^3/s, v bolj sušnih letih pa še manj. (3) Po rezultatih vodne bilance za sušno leto 1993 je mogoče iz obeh že obstoječih akumulacij v celoti pokriti dolgoročne potrebe vodovoda in obenem v Reki zagotoviti od naravnega petkrat večji minimalni pretok 0,85 m^3/s. Zato izgradnja nove načrtovane akumulacije za 40 mio EUR ni potrebna.

Summary | The paper describes three major deficiencies of the project of Water-supply for Slovenian Istra and hinterland Karst region. The project is lacking the necessary proof for the decisive solution of so called »ecologically still acceptable« remaining low discharge of the river after water is taken off for water supply. The demanded minimum discharge 1,388 m^3/s against the measured natural discharge 0,160 m^3/s is to be an exaggerated ecological demand. The water quantity balance of the whole project is not correct, leading to false conclusion that the construction of new Water reservoir Suhorka of 40 millions EUR is necessary. In contrary to the statement of the project, water quantity and quality of the two already existent water reservoirs Mola and Klivnik correspond to the long term water demand of the water supply in question.

1 • UVOD

Vodna bilanca je izhodiščni podatek za načrtovanje vsakega vodovoda.

Članek obravnava vodno bilanco Rižanskega vodovoda, kjer je pri načrtovanju vodnih virov potrebno upoštevati poleg potreb vodovoda tudi naravovarstvene pogoje varovanja voda in v danem primeru od UNESCO zaščitenih Škocjanskih jam ter njihovega vplivnega območja.

Rižanski vodovod oskrbuje z vodo obalo z zalednim delom Slovenske Istre. Projekt predvideva povečanje zmogljivosti tega vodovoda do leta 2042 na 11,600.000 m^3/leto in leta 2062 14.180.000 m^3/leto.

Toliko vode pa lahko sedaj glavni vodni izvir Rižana pokriva le okoli šest do osem mesecev na leto. V sušnih letih pa že danes ne pokrije

več od 64,8 % letne in poleti ne več od 34 % mesečne porabe vode. Deficit vode pokrivajo z uvozom vode iz Kraškega vodovoda in iz hrvaške Istre.

Za pokritje primanjkljaja sta bili obravnavani dve alternativni rešitvi:

a. Izgradnja nove akumulacije s 57 m visoko pregrado in prostornino 13,10 mio m^3 na potoku Suhorki, pritoku Padeža. Projektna cena te akumulacije je 40 mio EUR.
b. Uporaba že zgrajenih akumulacij Molo in Klivnik s prostornino 7,9 mio m^3. Obe akumulaciji sta bili zgrajeni pred 20 leti za »redčenje« od tedanje Tovarne organskih kislin onesnažene Reke, ki pa je danes, po propadu tovarne, ponovno čista. Za vzdrževanje neizkoriščenih akumulacij ima sedaj država le neproduktivne stroške.

V obravnavanem projektu je bila osvojena prva rešitev z izgradnjo nove vodne akumulacije Suhorke z naslednjimi napačnimi argumenti:

1. V obstoječih akumulacijah za vodovod ni dovolj vode.
2. V primerjavi z osvojenim načrtom v Reki ne zagotavljata »ekološko še sprejemljivega minimalnega pretoka 1,388 m^3/s« za zaščito po UNESCO zaščitenih Škocjanskih jam.
3. V novi akumulaciji bo z načrtovanim črpanjem 400 l/s vode iz Reke zagotovljena stalna vodna gladina.

Po v tem članku prikazanih rezultatih vodne bilance obravnavani projekt z novo akumulacijo Suhorka ne izpolnjuje nobenega od navedenih in v projektu deklariranih pogojev.

Namen tega prispevka je, da z rezultati celostne vodne bilance obravnavanega vodovoda opozori na zgrešenost takšnega projekta, ki ne sloni na integralnem gospodarjenju z vodnim bogastvom in zato ni v prid vodovodu, zaščitenim Škocjanskim jamam ter celostnemu varovanju količin in kakovosti reke Reke in Rižane.

2 • MOŽNI VIRI PITNE VODE

Potrebe vodovoda lahko na tem porečju pokrijeta le Reka s preko 230 mio m^3/leto in Rižana s preko 85 mio m^3/leto. Zaščitena Dragonja pa zaradi za vodovod potrebne izgradnje akumulacije na pritoku Pinjevcu, ni sprejemljiva v naravovarstvenem pogledu.

Nobena od obeh rek pa kljub velikemu letnemu presežku zaradi majhnih pretokov v poletnem obdobju že danes ne more pokriti potreb vodovoda preko celega leta. Deficit je mogoče premostiti samo s sezonsko izravnavo pretokov v reki Reki, za kar je več možnosti.

Obravnavani projekt je izbral za najbolj primerno izgradnjo akumulacije v dolini potoka Suhorke, pritoku Padeža, ki se izliva v Reko.

Druga možnost sta že obstoječi akumulaciji Mola in Klivnik, ki pa v projektu nista upoštevani z argumentom, da za potrebe vodovoda in za zagotovitev »ekološko še sprejemljivega« minimalnega pretoka Reke nimata dovolj vode.

Po kemičnih analizah je kakovost vode v obeh primerih praktično enaka in primerna za predelavo v pitno vodo visoke kakovosti. Določene razlike so le v mikrobiološkem pogledu zaradi nihanja temperature vode, kar pa je s preizkušenimi načini priprave pitne vode povsem obvladljivo.

3 • PRIMERJAVA UPORABE MOLE IN KLIVNIKA S PROJEKTOM ZA NOVO AKUMULACIJO SUHORKA

3.1 Značilnosti rešitve z uporabo obstoječih akumulacij Mole in Klivnik, brez nove akumulacije Suhorka.

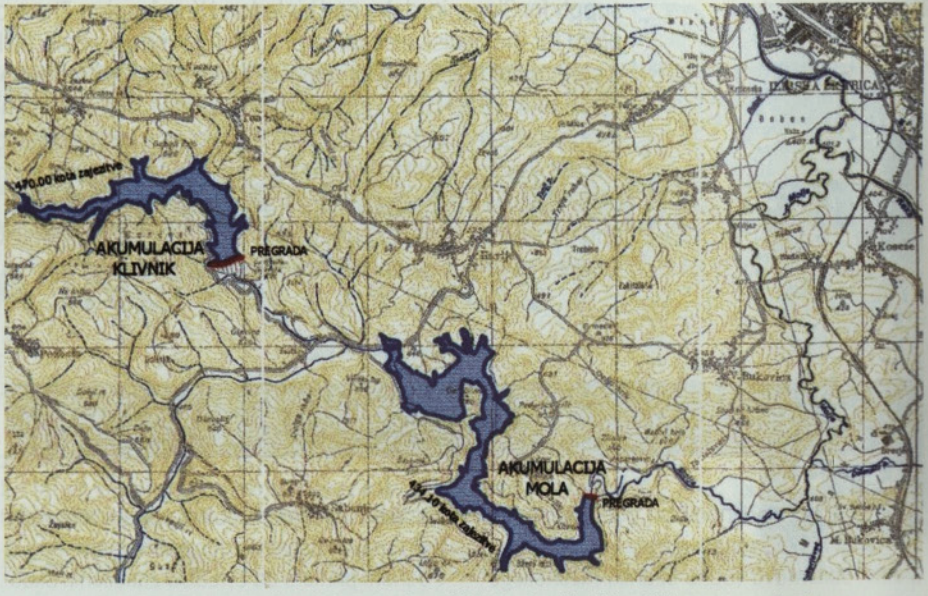
Slika 1 prikazuje lego obeh akumulacij Mole in Klivnika s skupno prostornino 7,9 mio m^3 v bližini Ilirske Bistrice.

Na sliki 2 je funkcionalna shema treh možnih rešitev vodovoda z obema akumulacijama in z v naslednjem poglavju obravnavano novo akumulacijo Suhorka.

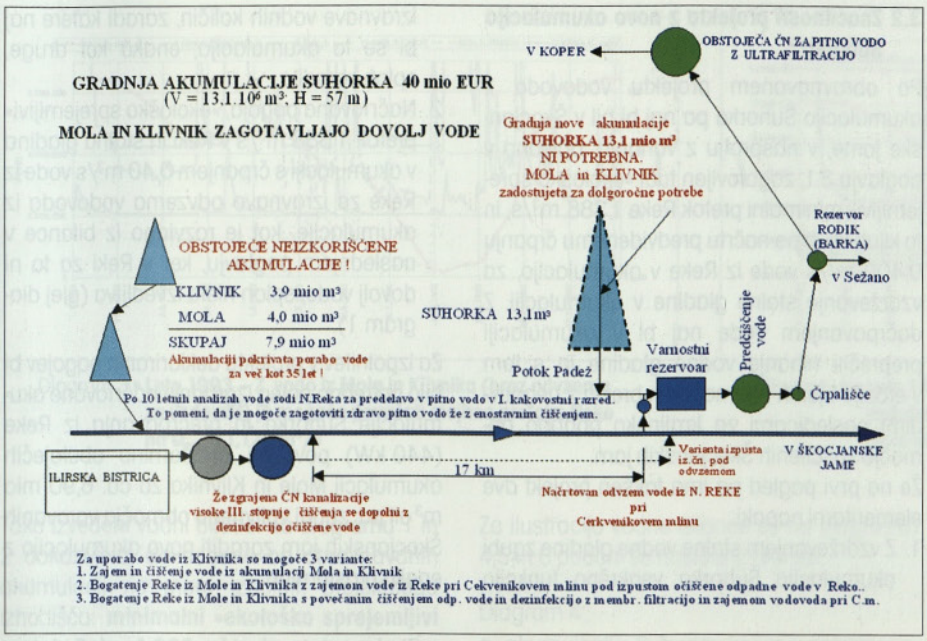
Na slikah 3 do 5 je pregrada akumulacije Mola, na sliki 6 pa Reka na območju predvidenega zajema vode za vodovod.

Obstoječi akumulaciji je mogoče uporabiti na tri različne načine:

a. Z zajemom vodovodne vode v sami akumulaciji Mola ali na iztoku pred izlivom v reko Reko.
b. Z zajemom vode iz Reke ob iztoku potoka Padež v Reko. Pri tem se struga Reke upo-



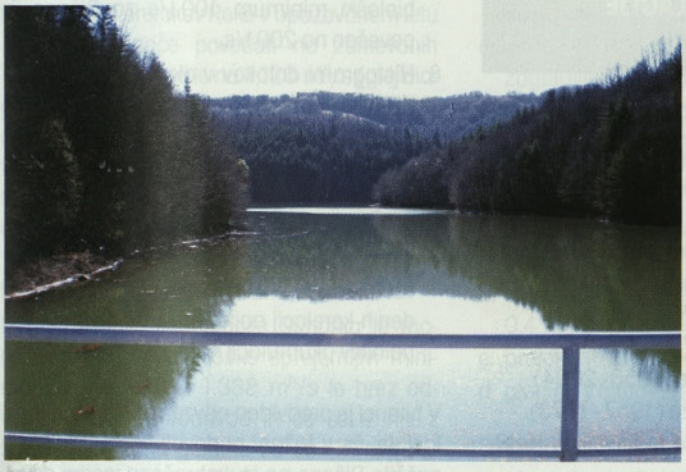
Slika 1 • **Akumulaciji Mola in Klivnik 7,9 mio m^3 (6,44 mio m^3 neizkoriščene prostornine)**



Slika 2 • **Shema obravnavanih rešitev vodovoda**

rabi za transport vode, zajamejo pa se tudi razpoložljivi pretoki Padeža. Polno se izkoristi tudi samočistilna sposobnost Reke med Ilirsko Bistrico in vodovodnim zajemom ob izlivu Padeža. S predvidenim dodatnim čiščenjem in dezinfekcijo iztoka iz čistilne naprave za odpadne vode v Ilirski Bistrici (in z drugimi sanacijskimi deli na tem porečju, ki pa so na Reki, ne glede na vodovod, v vsakem primeru potrebna) se bo že sedaj visoka kakovost Reke še povečala, kar koristi tako vodovodu kot Škocjanskim jamam.

c. Namesto pod točko »b« predvidenega dodatnega čiščenja odpadnih vod se na čistilni napravi očiščena odpadna voda iz Ilirske Bistrice ne spusti v Reko, ampak se po kanalu spelje pod vodovodni zajem vode iz Reke, zgrajen v skladu s točko »b«. V tem primeru je izključen vsak stik med sicer očiščeno odpadno in za vodovod zajeto rečno vodo.



Slika 3 • **Gladina zajezene akumualcije Mola**

Slika 4 • **Pogled na pregrado z odtokom dreniraniega pronicanja iz dna in brežin pregrade**

Slika 5 • **Odtok iz talnega izpusta akumulacije za bogatenje Reke**

Slika 6 • **Reka na območju predvidenega zajema vode za vodovod**

Z uporabo obeh akumulacij Mole in Klivnika, kot je v nadaljevanju iz vodne bilance (diagram 7) razvidno, lahko vsaka izmed rešitev a, b in c zadosti potrebe vodovoda brez nove načrtovane akumulacije Suhorka.

Nobena od teh treh rešitev, in kot sledi iz nadaljevanja tudi z akumulacijo Suhorka, pa že danes ne more zagotoviti formalnega, vendar že preživelega predpisa za »ekološko še sprejemljivi« pretok Reke 1,388 m^3/s, temveč le 0,85 m^3/s (diagram 7), to je petkrat več od leta 1953 izmerjenega naravnega minimalnega pretoka Reke 0,160 m^3/s. Zaradi ugotovljenega in v poglavju 8.1 predvidenega upadanja pretokov Reke (podnebne spremembe) bodo minimalni pretoki Reke kljub odvzemu za vodovod na koncu načrtovanega obdobja, manjši kot 0,530 m^3/s, še vedno pa trikrat večji od izmerjenega leta 1953.

3.2 Značilnosti projekta z novo akumulacijo Suhorka

Po obravnavanem projektu vodovoda z akumulacijo Suhorka pa naj bi bil v Škocjanske jame, v nasprotju z varianto, opisano v poglavju 3.1, zagotovljen tudi »ekološko sprejemljivi« minimalni pretok Reke 1,388 m^3/s, in to kljub kljub po načrtu predvidenemu črpanju 0,400 m^3/s vode iz Reke v akumulacijo, za vzdrževanje stalne gladine v akumulaciji. Z dočrpavanjem vode naj bi v akumulaciji preprečili nihanje vodne gladine in s tem v erozijo njenih neomočenih brežin z negativnimi posledicami za krajinsko podobo območja zaščitenih Škocjanskih jam.

Že na prvi pogled pa ima takšen projekt dve elementarni napaki:

1. Z vzdrževanjem stalne vodne gladine zgubi akumulacija Suhorka vsakršno funkcijo izravnave vodnih količin, zaradi katere naj bi se ta akumulacija, enako kot druge, sploh zgradila.
2. Načrtovana pogoja, »ekološko sprejemljivi« pretok 1,388 m^3/s v Reki in stalna gladina v akumulaciji s črpanjem 0,40 m^3/s vode iz Reke za izravnavo odvzema vodovoda iz akumulacije, kot je razvidno iz bilance v naslednjem poglavju, ker v Reki za to ni dovolj vode, sploh nista izvedljiva (glej diagram 1).

Za izpolnitev v projektu deklariranih pogojev bi bilo potrebno poleg izgradnje načrtovane akumulacije Suhorka in prečrpavanja iz Reke (440 kW) povečati prostornino obstoječih akumulacij Mole in Klivnika za ca. 6,90 mio m^3 ali pa, zunaj vplivnega območja varovanih Škocjanskih jam zgraditi novo akumulacijo z enako prostornino.

4 • OPIS VODNE BILANCE Z IN BREZ NAČRTOVANE AKUMULACIJE SUHORKA

4.1 Vodna bilanca akumulacije Suhorka

V tem poglavju so povzeta izhodišča in rezultati celostne vodne bilance obravnavanega vodovoda. Bilanca obravnava potrebno prostornino akumulacije Suhorka v primerjavi z obstoječima Molo in Klivnikom ob upoštevanju »ekološko sprejemljivega« minimalnega pretoka Reke 1,388 m^3/s na vodomerni postaji pri Cerkvenikovem mlinu pred Škocjanskimi jamami.

Bilanca je bila izdelana na podlagi 50-letnih histogramov dnevnih pretokov Reke in Rižane, 15-letnih meritev pretokov Padeža (1958–1973) in iztokov vode iz obeh obstoječih akumulacij (1988–2005). Pri porabi vode je bilo privzeto današnje izmerjeno mesečno nihanje letne porabe vode tudi na koncu načrtovanega obdobja vodovoda leta 2042 in 2062.

Vodna bilanca vsebuje naslednje elemente:

1. načrtovano gibanje mesečne porabe vodovoda v zadnjem letu 2042,
2. dnevne pretoke Reke (1953–2004),
3. dnevne pretoke Rižane (1953–2004),
4. dnevne pretoke Padeža (1957–1973),
5. merjene iztoke iz Mole in Klivnika (1988–2004),
6. korelacijo med merjenimi srednjimi mesečnimi pretoki Padeža in Reke, ki izkazujejo visoko stopnjo korelacije med 90 % do 99 %,
7. doslej Rižanskemu vodovodu predpisani biološki minimum 100 l/s za Rižano je povečan na 200 l/s,
8. Histogrami dotokov v akumulaciji Mola in Klivnik so določeni na podlagi koeficienta korelacije 0,9945 (diagram 9) med merjenimi mesečnimi pretoki Reke pri Cerkvenikovem mlinu in potokom Padež in ob upoštevanju razmerja prispevnih površin Mole s Klivnikom in Padeža. Ta privzeta enačba korelacije daje od vseh izvedenih korelacij najnižje dotoke in s tem za polnitev akumulacij najbolj varne podatke.

V bilanci je predviden odvzem vode iz akumulacij le, če v Rižani ni dovolj vode. Za boljšo zaščito Rižane pa je, kot rečeno, sedaj dovoljeni minimalni pretok Rižane povečan od 100 l/s na 200 l/s, razen v primerih, ko je naravni pretok Rižane manjši od 200 l/s.

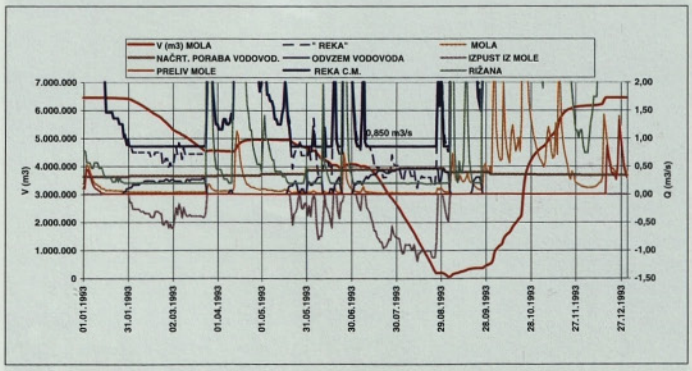


Diagram 1 • **Leto 1993 – Akumulaciji Mola in Klivnik ne moreta pokriti »ekološko sprejemljivega« pretoka Reke Q = 1,388 m^3/s**

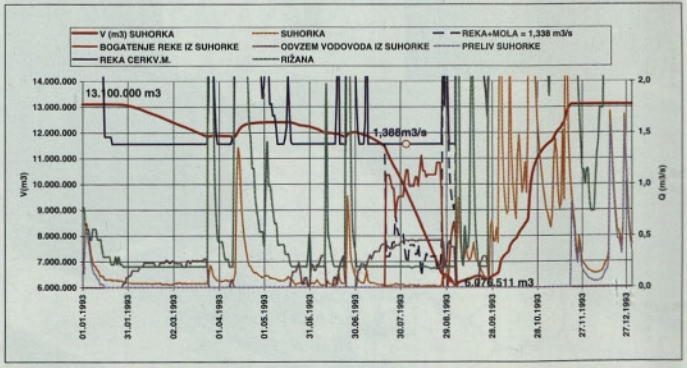


Diagram 2 • **Leto 1993 – Pri odvzemu za vodovod in minimalnem »ekološko sprejemljivem« pretoku Reke Q = 1,388 m^3/s, se gladina v Suhorki zniža za 10 m**

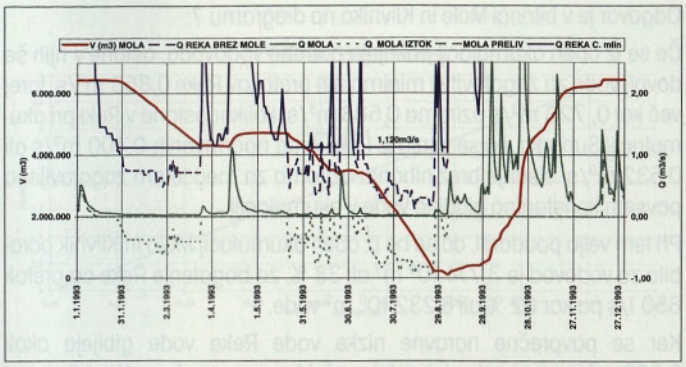


Diagram 3 • **Leto 1993 – Z vodo iz Mole in Klivnika (brez odvzema za vodovod) je mogoče povečati majhne pretoke Reke na Q_{min} = 1,120 m³/s**

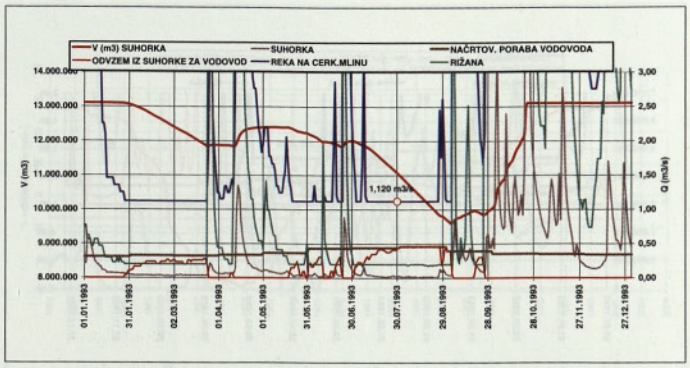


Diagram 4 • **Leto 1993 – Znižanje gladine v Suhorki zaradi odvzema vodovoda, brez dočrpavanja vode, pri bogatenju Reke iz Mole in Klivnika za vzdrževanje pretoka v Reki Q_{min} = 1,120 m³/s**

Tako izvedeni vodni bilanci na diagramu 1 in 2 dokazujeta, da nobena od obravnavanih akumulacij ne more izpolniti projektnega izhodišča: **minimalni »ekološko sprejemljivi pretok Reke 1,388 m³/s in stalno gladino vode v Suhorki.**

Iz diagrama 1 je vidno, da iz akumulacij Mola in Klivnik nizkih pretokov Reke v opazovanem letu 1993 ni mogoče povečati na zahtevanih 1,388 m³/s, temveč le na 1,120 m³/s (glej diagram 3), ker se sicer akumulaciji prej izpraznita (kar se je, kot je razvidno iz merjenih nizkih pretokov Reke v diagramu 8, tudi dogajalo). Zaradi tega v Reki tudi ni mogoče istočasno zagotoviti dovolj vode za zahtevani minimalni pretok 1,388 m³/s in za načrtovano prečrpavanje 0,40 m³/s v akumulacijo Suhorka.

Iz načrtovane akumulacije Suhorka je mogoče zagotoviti »ekološko sprejemljivi minimalni pretok« Reke 1,388 m³/s le brez odvzema vode za vodovod in če se iz nje z znižanjem vodne gladine za ca. 10 m (diagram 2), izprazni 6,3.10⁶ m³ vode, kar pa pomeni, da nobeden od zahtevanih pogojev projekta ni izpolnjen.

Za ilustracijo vodne bilance so na diagramih 4,5 in 6 podani še naslednji primeri:

Diagram 4:

a. akumulacija Suhorka pokriva potrebe vodovoda
b. brez v načrtu predvidenega dočrpavanja 0,40 m³/s vode iz Reke
c. minimalni pretok v Reki je 1,120 m³/s je zagotovljen iz ak. Mola in Klivnik
d. akumulacija se izprazni za ca. 3,6 mio m³ pri padcu gladine ca. 5,0 m.

Diagram 5:

a. akumulacija Suhorka pokriva potrebe vodovoda
b. v akumulacijo se črpa iz Reke načrtovanih 0,4 m³/s
c. pretok v Reki se zmanjša na 0,720 m³/s
d. gladina v akumulaciji pa pade le neznatno.

Diagram 6:

a. akumulacija Suhorka pokriva potrebe vodovoda
b. v akumulacijo se črpa 0,520 m³/s
c. pretok v Reki se zmanjša na 0,588m³/s
d. gladina v akumulaciji je celo leto konstantna

Za izpolnitev obeh pogojev (povečanje nizke vode Reke od 1,120 m³/s na 1,388 m³/s in stalnost gladine v Suhorki) bi bilo potrebno povečati prostornino Klivnika in Mole (6,4.10⁶ m³) za ca. 6,9.10⁶ m³, skupaj na 13,1.10⁶ m³, ali zgraditi še eno novo akumulacijo z 6,9.10⁶ m³ , skupaj 20.10⁶ m³. S tem pa izgubi načrtovana akumulacija Suhorka vsak smisel.

Po obravnavanem projektu vodovoda z novo deklariranima pogojema za akumulacijo Suhorka in Reko – stalnost vodne gladine in »ekološko sprejemljivi« minimalni pretok v Reki 1,388 m³/s – torej nista izvedljiva.

Pred odločitvijo o gradnji akumulacije Suhorka je zato potrebno presoditi, kolikšne minimalne pretoke Reke pri Cerkvenikovem mlinu pa lahko ob pokritju potreb vodovoda zagotovita že sami akumulaciji Mola in Klivnik.

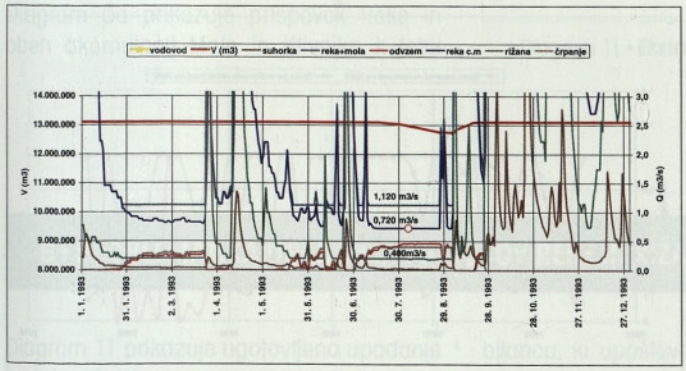


Diagram 5 • **Leto 1993 – Rešitev po obstoječem projektu akumulacije Suhorka. Iz Reke se dočrpava $Q_č$ = 0,40 m³/s za zmanjšanje nihanja gladine. Minimalni pretok Reke Q_{min} = 0,720 m³/s**

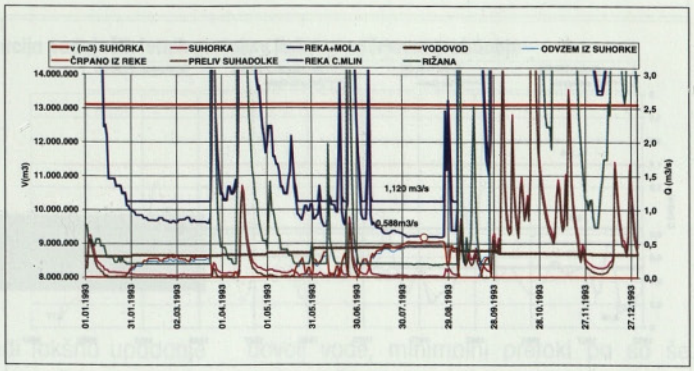


Diagram 6 • **Leto 1993 – Enako kot diagram 5, le večje dočrpavanje iz Reke ($Q_č$ = 0,532 m³/s). Gladina v Suhorki je konstantna. Minimalni pretok Reke je manjši (Q_{min} = 0,588 m³/s)**

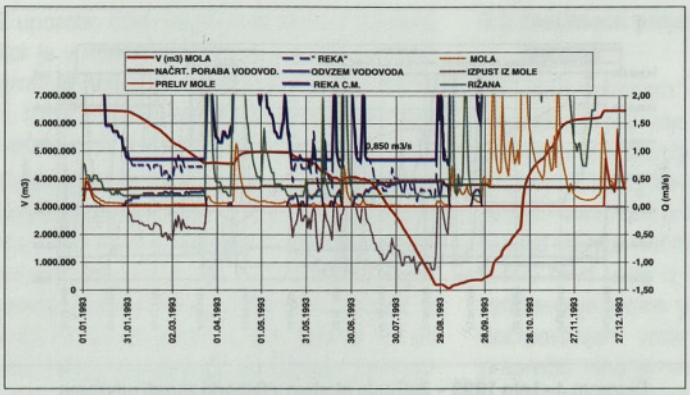


Diagram 7 • **Leto 1993 – Bilanca vodovoda z uporabo Mole in Klivnika brez akumulacije Suhorka ($Q_{min\ Reka}$ = 0,85 m³/s)**

Odgovor je v bilanci Mole in Klivnika na diagramu 7:

Če se iz obeh akumulacij pokrijejo potrebe vodovoda, ostane v njih še dovolj vode za zagotovitev minimalnih pretokov Reke 0,850 m³/s, torej več kot 0, 720 m³/s oziroma 0,588 m³/s, kolikor ostane v Reki pri akumulaciji Suhorka, če se vanjo iz Reke črpa načrtovanih 0,400 m³/s ali 0,532 m³/s, slednje brez nihanja oziroma za med letom zagotovljeno povsem konstantno gladino vode v akumulaciji.

Pri tem velja poudariti, da se bo iz obeh akumulacij Mola in Klivnik porabilo za vodovod le 3,774.10⁶ m³ ali 38 %, za bogatenje Reke na pretok 850 l/s pa kar 62 % ali 6,232.10⁶ m³ vode.

Ker se povprečne naravne nizke vode Reke vode gibljejo okoli 0,500 m³/s, naravni minimalni pretoki pa so znatno nižji (diagram 8), zahteva po »ekološko sprejemljivem« 1,388 m³/s naravovarstveno ne more biti utemeljena.

Vsakršni posegi v naravni vodni režim, kot so zajem vode, zajezitev reke, regulacijski in drugi posegi za obrambo pred škodljivim delovanjem vode, pomenijo za naravno vodno telo spremembo z večjimi ali manjšimi posledicami.

Vsakršna raba vode je zato neizogibno v konfliktu z varovanjem voda z izjemo pitne vode, ki je nenadomestljiv vir življenja. Razumljivo pa je tudi za pitno vodo potrebno izbirati rešitve, ki so, kolikor je le mogoče, naravovarstveno najbolj sprejemljive.

Takšno, uravnoteženo obravnavanje možnih rešitev je temeljni pogoj integralnega upravljanja in gospodarjenja z vodami s ciljem, da so skupni stroški varovanja in rabe voda minimalni.

Za redčenje industrijskega onesnaženja v Reki je država pred leti zgradila akumulaciji Mola in Klivnik in za Reko predpisala minimalni dopustni pretok 1,388 m³/s. Po izgradnji akumulacije, kot je iz diagrama 8 razvidno, pa povprečni nizki pretoki 0,620 m³/s niso dosegli predpisane vrednosti, minimalni izmerjeni pretok leta 2003 pa ni bil večji kot 0,170 l/s. Rezultati izdelane vodne bilance na diagramu 8a kažejo, da je mogoče ob pravilnem vodenju vodnega sistema, doseči dva naravovarstveno pozitivna učinka:

a. Z vodo iz Reke in obeh akumulacij zagotoviti načrtovane potrebe vodovoda in, odvisno od vodnatosti leta, znatno povečati naravne minimalne pretoke Reke.
b. Povečati sedaj predpisani biološki minimum Rižane od 100 l/s na 200 l/s.

V obravnavanem projektu je poleg rezultatov vodne bilance prezrta tudi v nasprotju z v projektu citiranim »ekološko sprejemljivim minimalnim pretokom Reke« 1,388 m³/s realna zahteva Parka Škocjanske jame z dne 12. 7. 2002. Park, citirano: **»da se hidrološki režim Reke s sedanjim načinom uporabe** (pred izgradnjo načrtovanega vodovoda opomba pisca) **Klivnika in Mole ne menja. Sedaj se v poletnem času iz akumulacijskih jezer bogatijo nizki pretoki Reke«**.

Ta pogoj pa rešitev vodovoda z obstoječima akumulacijama, kot so pokazale vodne bilance, v celoti izpolnjuje.

Od rezultatov vodne bilance opazovani nizki pretok Reke v sušnem obdobju 0,41 m³/s po izgradnji Mole in Klivnika, kot je razvidno iz bilance za sušno leto 1993 (diagram 3), namreč ni posledica nezadostne prostornine obeh akumulacij, temveč tega, da se je iz njih izpuščalo več vode od njihove resnične izravnalne sposobnosti za zagotovitev pretoka v Reki 1,120 m³/s (diagram 3), ki je manjša od 1,388 m3/s.

Na diagramu 7 je podana bilanca za isto leto, ko pokrivata akumulaciji tudi načrtovano porabo vodovoda. V tem primeru ostane v akumulacijah še dovolj vode za zagotovitev minimalnega pretoka 850 l/s v Reki, torej več kot pri načrtovani akumulaciji Suhorka 0,720 m³/s oziroma 0,558 m³/s (diagrama 5 in 6)

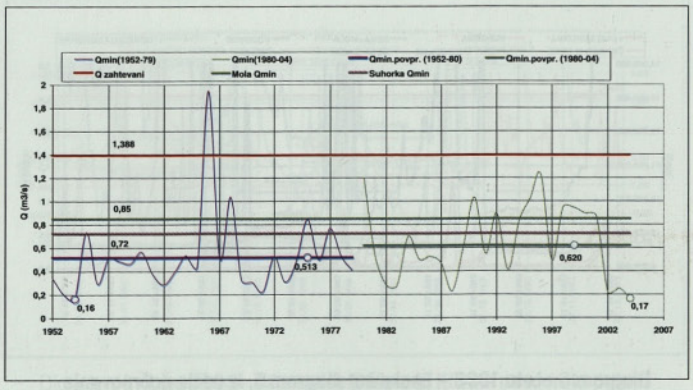


Diagram 8 • **Primerjava karakterističnih pretokov Reke s predpisanim in možnim minimalnim pretokom**

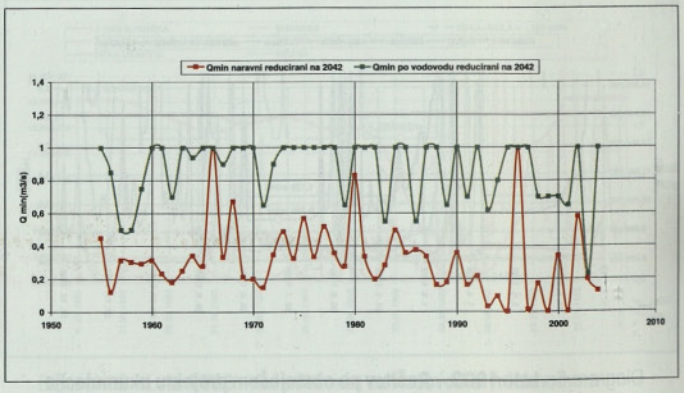


Diagram 8a • **Na leto 2042 reducirani Q_{min} Reke pri Cerkvenikovem mlinu pred in po uporabi za vodovod**

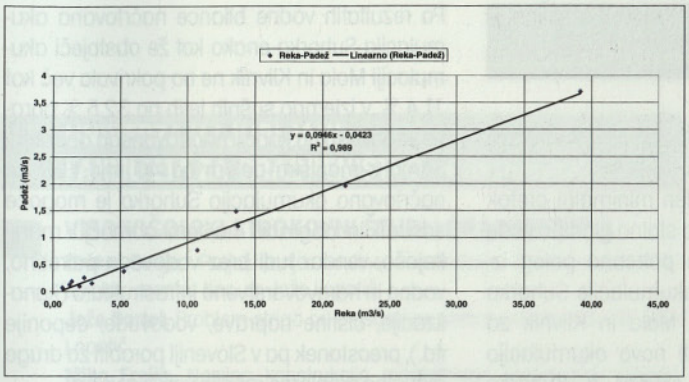


Diagram 9 • **Korelacija mesečnih pretokov Reke in Padeža leta 1959. Korel. = 0,9945**

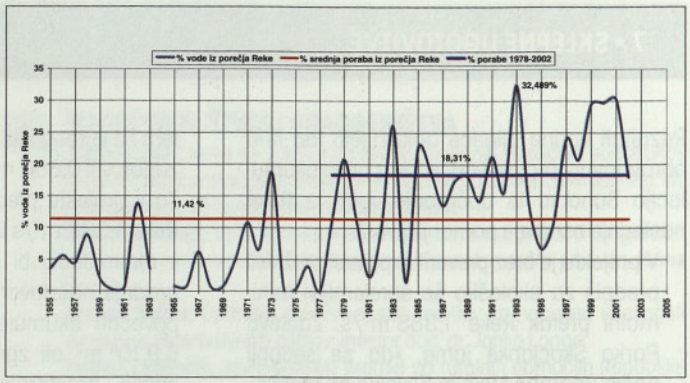


Diagram 10 • **Delež vode v % porabe vodovoda iz porečja Reke v preteklih letih ob upoštevanju načrtovane porabe na koncu načrtovanega obdobja v letu 2042**

Na diagramu 8 so opazovani minimalni letni pretoki Reke pri Cerkvenikovem mlinu pred in po izgradnji Mole in Klivnika. Diagram 8a pa vsebuje dva histograma nizkih voda Reke za opazovano in načrtovano obdobje do leta 2042. V prvem histogramu so minimalni pretoki Reke brez vpliva akumulacij in brez pokritja vodovoda. Minimalni pretoki Reke v drugem histogramu so povzeti iz vodne bilance, ki vključuje načrtovano porabo vodovoda.

Primerjava minimalnih pretokov v diagramih 8 in 8a pokaže, da je v nasprotju z dosedanjo prakso mogoče kljub zadostitvi potreb vodovoda, naravne minimalne pretoke Reke izdatno povečati, ne pa zmanjšati.

Za izpolnitev v projektu predvidenega »ekološko sprejemljivega« pretoka 1,388 m³/s in dočrpanja 0,400 m³/s v Suhorko bi bilo potrebno poleg izgradnje Suhorke še za 6,9 mio m³ povečati obstoječi akumulaciji ali zgraditi še eno, novo.

Na diagramu 9 je podana korelacija med merjenimi mesečnimi pretoki Reke pri Cerkvenikovem mlinu in Padeža (z Molo in Klivnikom), ki je bila podlaga za izvedbo obravnavanih bilanc.

Diagram pa prikazuje prispevek Reke in obeh akumulacij Mole in Klivnika k letni porabi vodovoda. Pri maksimalni letni porabi vode 16 mio m³/leto obravnavnega vodovodnega sistema na koncu načrtovanega obdobja vodovoda odvzem vode iz porečja Reke ne bo večji od 32,5 % ali 5,5 mio m³/leto, kar je pri letni količini Reke preko 100 mio m³/leto manj kot 5 %. Ta voda bo odvzeta, ko bodo pretoki Reke visoki. V suši pa zagotavlja izravnalna sposobnost akumulacij ob pravilnem vodenju delovanja vodovodnega sistema in obeh akumulacij v Reki višje pretoke od naravnih.

Interesi preskrbe s pitno vodo in zaščite voda vključno s Škocjanskimi jamami se ne izključujejo, temveč dopolnjujejo. Interes vodo voda ni le količina, ampak tudi kakovost vode, ki jo uporablja, kar dodatno prispeva k varovanju in zaščiti reke Reke.

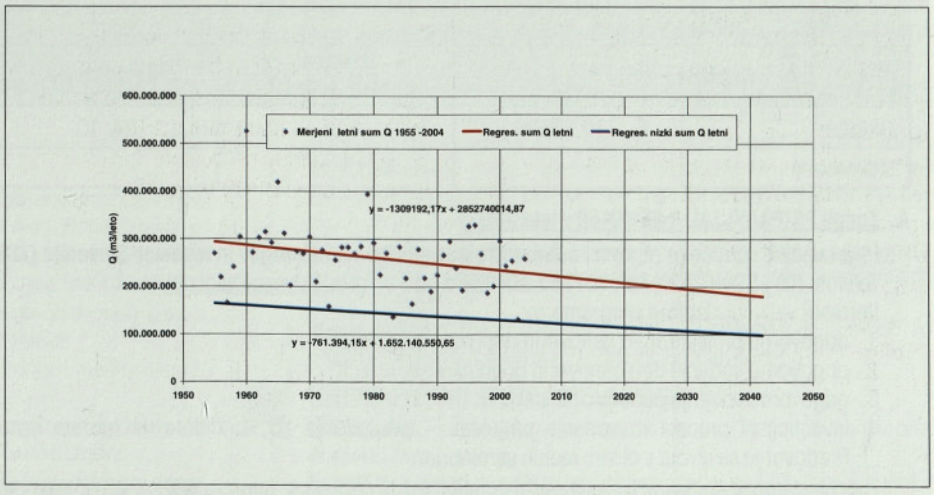


Diagram 11 • **Ekstrapolacija padajočih letnih pretokov Reke za načrtovano obdobje**

6 • PROBLEMATIKA UPADANJA PRETOKOV REKE IN RIŽANE

Diagram 11 prikazuje ugotovljeno upadanje pretokov Reke v opazovanem obdobju 1955 do 2004 in ekstrapolacijo upadanja pretokov v načrtovanem obdobju. Izvedena vodna bilanca, ki upošteva tudi takšno upadanje pretokov Reke in Rižane v načrtovanem obdobju do 2042 in 2062, pa dokazuje, da imata obe reki za obravnavani vodovod dovolj vode, minimalni pretoki pa so še vedno večji od naravnih (glej diagram 8a).

7 • SKLEPNE UGOTOVITVE

Rezultati vodne bilance dokazujejo, da ima obravnavani projekt vodovoda z novo akumulacijo Suhorka in dočrpanje vode iz Reke naslednje osnovne pomanjkljivosti:

- V projektu je brez preveritve privzet preživeli predpis za ekološko še sprejemljivi minimalni pretok Reke 1,388 m^3/s. Zahteva Parka Škocjanke jame, »da se sedanji način uporabe Mole in Klivnika ne menja«, pa ni smiselno upoštevana.
- Ni bila izdelana celostna vodna bilanca za opazovano 50-letno obdobje niti za sušno leto 1993 (tudi bilanca za zadnje bolj sušno leto 2003 potrjuje ugotovitve v tem članku), ki bi pokazala, da načrtovana nova akumulacija Suhorka z načrtovanim dočrpanjem 400 l/s vode iz Reke ne more zagotoviti v projektu deklariranega, »ekološko še sprejemljivega«, pretoka 1,388 m^3/s, temveč le polovico te količine 0,720 m^3/s oziroma le 0,588 m^3/s, medtem ko je mogoče iz obstoječih akumulacij zagotoviti 0,850 m^3/s.
- Za v projektu predviden minimalni pretok Reke 1,388 m^3/s in za stalno gladino vode v akumulaciji bi bilo potrebno poleg izgradnje načrtovane akumulacije Suhorka povečati akumulaciji Mola in Klivnik za $6{,}9.10^6$ m^3 ali zgraditi novo akumulacijo enake prostornine, skupaj s Suhorko $20{,}0.10^6$ m^3 nove akumulacijske prostornine.
- Že obstoječi Mola in Klivnik zagotavljata že dovolj vode tudi za dolgoročne potrebe vodovoda do leta 2042 in celo do 2062. V Reki pa ostane za Škocjanske jame več vode kot po obravnavanem načrtu.

Izgradnja načrtovane akumulacije Suhorka za 40 mio EUR (z izgradnjo dodatne nove akumulacije bi bili stroški še za ca. 20 mio EUR večji) torej ni potrebna.

Po rezultatih vodne bilance načrtovana akumulacija Suhorka enako kot že obstoječi akumulaciji Mola in Klivnik ne bo pokrivala več kot 11,4 %, v izjemno sušnih letih pa 32,5 % porabe vodovoda na koncu načrtovanega obdobja. Samo z manjšim delom od 40 mio EUR za načrtovano akumulacijo Suhorka je mogoče sanirati in dograditi na tem območju manjkajočo, vendar tudi brez vodovoda potrebno, vodno in naravovarstveno infrastrukturo (kanalizacije, čistilne naprave, vodovode, deponije itd.), preostanek pa v Sloveniji porabiti za druge aktualne probleme rabe in varstva voda.

Izgradnja 57 m visoke pregrade z ali brez nihanja vodne gladine pa bi bila tudi radikalen poseg v naravno okolje varovanih Škocjanskih jam.

Potrditev v tem članku obravnavanega projekta brez celostne vodne bilance z vodnogospodarsko in ekološko parcialno rešitvijo preskrbe s pitno vodo opozarja, da Slovenija nima »Vodne uprave«, ki bi bila strokovno dovolj podprta in odgovorna za upravljanje in gospodarjenje z vodo, ki je največje naravno bogastvo Slovenije.

PRIPRAVLJALNI SEMINAR IN IZPITNA ROKA ZA STROKOVNE IZPITE ZA GRADBENO STROKO V LETU 2007

SEMINAR		IZPIT	
Časovni termin		Osnovni dopolnilni	Revidiranje
Oktober	8. – 10. (3 dni)		24. 10.
November		13. 11.	

A. Zadnji PRIPRAVLJALNI SEMINAR v letu 2007:

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.
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 – predavanje za kandidate, ki morajo opraviti dopolnilni strokovni izpit s tega področja. Predavanje se izvaja 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** po izpitnih programih 1., 2. in 3. točke znaša 613,00 EUR (147.000,00 SIT) z DDV, za predavanje in literaturo pod 4. točko pa 87,63 EUR (21.000,00 SIT) z DDV.

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

Udeleženca prijavi k seminarju plačnik (podjetje, družba, ustanova, sam udeleženec...). Prijavo v obliki dopisa je potrebno poslati organizatorju (ZDGITS) najkasneje 15 dni pred pričetkom seminarja (z obvezno prilogo dokazila o plačani kotizaciji)!
Prijava mora vsebovati: priimek, ime, poklic (zadnja pridobljena izobrazba), izpitni program (1./2./3./4. – Glej zgoraj!), naslov udeleženca ter natančni naslov in ID DDV številko plačnika.

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 izpitih in izpitni programi) in po telefonu (01) 547-33-15 ob uradnih urah (ponedeljek, sreda, 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

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Urška Sodja, Projektiranje nosilne konstrukcije enostanovanjskega objekta, mentor doc. dr. Jože Lopatič

Jože Bartol, Problem striga pri ploščah na stebrih, mentor doc. dr. Jože Lopatič

Miha Frelih, Nosilna konstrukcija montažnega poslovnega objekta, mentor doc. dr. Jože Lopatič, somentor asist. dr. Drago Saje

Metka Kralj, Analiza časovnih odstopanj pri gradnji dveh stanovanjskih blokov, mentor doc. dr. Jana Šelih

Aleš Pantar, Cestne naprave in oprema, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor asist. mag. Robert Rijavec

Ivo Jereb, Podporne konstrukcije za premostitvene objekte, mentor prof. dr. Darko Beg, somentor Primož Može

Mile Marin, Začasno varovanje gradbene jame z »Jet grouting« piloti z dvakratnim sidranjem, mentor prof. dr. Bojan Majes, somentor doc. dr. Janko Logar

Manja Kalšek, Prometna oprema na območju predorov, mentor doc. dr. Tomaž Maher, somentor asist. mag. Robert Rijavec

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Martin Starič, Koncipiranje video detekcijskega sistema pri nadzoru in vodenju prometa na cestah, mentor izr. prof. dr. Tomaž Kastelic, somentor asist. mag. Robert Rijavec

Peter Koren, Vzpostavitev naprednih sistemov za podajanje prometno potovalnih informacij na slovenskem avtocestnem omrežju, mentor izr. prof. dr. Tomaž Kastelic, somentor asist. mag. Robert Rijavec

Krištof Kučić, Metoda momentov pri verjetnostni analizi visokih vod, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš, somentor izr. prof. dr. Goran Turk

Aleš Lah, Meritve in analiza prestrežnih padavin, mentor prof. dr. Mitja Brilly, somentor asist. dr. Mojca Šraj

Andraž Hočevar, Vpliv vrste cementa na sulfatno odpornost betonov, mentor doc. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, somentor mag. Franci Kavčič

Primož Jamnik, Optimizacija struge Malega grabna na območju Viča, Ljubljana, mentor prof. dr. Matjaž Mikoš, somentor mag. Rok Fazarinc

Miran Šmon, Program za dimenzioniranje armiranobetonskih gred v skladu s standardom EC8, mentor doc. dr. Matjaž Dolšek

Špela Zaletel, Smotrnost uporabe betona visoke trdnosti, mentor doc. dr. Jože Lopatič, somentor asist. dr. Drago Saje

David Štular, Projektiranje stolpa za kontrolo zračnega prometa na Brniku, mentor doc. dr. Matjaž Dolšek, somentor Zvonko Sajevic

Matic Poznič, Analiza življenjskih stroškov stavb s poudarkom na vzdrževanju, mentor doc. dr. Jana Šelih, somentor doc. dr. Dušan Zupančič

Eva Lovrenčič, Primerjava različnih metod potresne analize na primeru 15 nadstropne jeklene stavbe, mentor prof. dr. Darko Beg

Sergej Muhič, Projektiranje konstrukcij na podlagi modelirnika Revit, mentor prof. dr. Žiga Turk, somentor doc. dr. Matjaž Dolšek

Borislav Majkić, Požarna analiza jeklenih stavb z naprednimi metodami, mentor prof. dr. Darko Beg

Urška Zagožen, Analiza projektnega financiranja – primer projekta gradnje večstanovanjskega objekta Metuljček v Kamniku, mentor izr. prof. dr. Maruška Šubic-Kovač, somentor mag. Damijan Dolinar

Nataša Aleksić, Tlačna in upogibna nosilnost polnostenskih nosilcev, ojačanih z vzdolžnimi ojačitvami, mentor prof. dr. Darko Beg

Gorazd Božič, Modeliranje večfazne narivne gradnje viadukta z metodo končnih elementov, mentor izr. prof. dr. Boštjan Brank, somentor mag. Miran Lozej

MAGISTRSKI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Jožica Cezar, Nova spoznanja pri dimenzioniranju voziščnih konstrukcij in načrtovanju sanacijskih ukrepov na obstoječih cestah, mentor doc. dr. Alojzij Juvanc, somentor prof. dr. Janez Žmavc

Manja Velkavrh, Vpliv komunalne infrastrukture v regionalnih in glavnih cestah na njihovo kvaliteto in prometno varnost, mentor prof. dr. Janez Žmavc

Alenka Robas, Uporaba presiometrskih meritev za napoved nosilnosti vertikalno obremenjenih pilotov, mentor doc. dr. Janko Logar

Primož Zupančič, Javni potniški promet na ruralnih območjih Republike Slovenije v funkciji zadovoljevanja javnih potreb, mentor izr. prof. dr. Albin Rakar, somentor doc. dr. Marjan Lep

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ VODARSTVO IN KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kristina Raspor, Meritve in analiza transpiracije listnatega gozda na povodju Dragonje, mentor prof. dr. Mitja Brilly, somentor asist. dr. Mojca Šraj

Tanja Čerič, Priprava pitne vode v vodarni Frankolovo, mentor izr. prof. dr. Boris Kompare

Janja Mlakar, Modeliranje zadrževanja in razbremenjevanja onesnaženosti padavinskih voda na kanalizacijskih sistemih, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor asist. dr. Mario Krzyk

Aleš Kelhar, Benchmarking metoda pri komunalnih čistilnih napravah, mentor izr. prof. dr. Jože Panjan, somentor doc. dr. Polona Domadenik

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Mateja Dvoršak, Analiza prve pasivne hiše v Sloveniji, mentor pred. Uroš Lobnik

Staniša Jakovljević, Uporaba programskega paketa hsbCAD pri izdelavi proizvodno tehnične dokumentacije v procesu izdelave lesenih montažnih hiš, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj, somentor pred. Benedikt Boršič

Bojana Mastnak, Projekt organizacije gradbišča »Izgradnja garaž za kamione in skladišča za števce« s terminskim planom napredovanja del, mentor pred. Metka Zajc Pogorelčnik

Simon Simčič, Dimenzioniranje fleksibilnih cestnih konstrukcij ojačanih z geotekstilom, mentor izr. prof. dr. Bojan Žlender, somentor izred. prof. dr. Tomaž Tollazzi

Manja Simonič, Vloga geodeta v postopku pridobivanja zemljišč za potrebe gradnje avtocest, mentor doc. dr. Boštjan Kovačič

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Matjaž Likar, Problematika stanovanjske oskrbe v Mariboru, mentor doc. dr. Metka Sitar

Robert Turk, Osnove varjenja, varilni postopki in kontrola zvarov, mentor red. prof. dr. Stojan Kravanja, somentor dr. Simon Šilih

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA

Valentina Jakopina, Predelava gradbenih odpadkov v gramoznici Obrovnik, mentorja doc. dr. Andrej Štrukelj in izr. prof. dr. Borut Bratina

Andrej Petrovič, Prostokonzolna gradnja mostu čez Dravo na Ptuju in projekt nadvišanja konstrukcije, mentorja doc. dr. Andrej Štrukelj in izr. prof. dr. Jožica Knez Riedl, somentor pred. Viktor Markelj

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

Vabilo

na 29. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije

Bled, hotel Golf
18.-19. oktober 2007

Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev

SDGK
Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev

Prijava

Svojo udeležbo na zborovanju prijavite s tem, da nam pošljete izpolnjeno prijavo, ki jo odrežete od tega vabila in nakažete kotizacijo na naslov:
Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev, Jamova 2, 1000 Ljubljana.

Kotizacijo nakažite na TR Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev **02085-0015319187** s pripisom za 29. zborovanje gradbenih konstruktorjev. Prijavi priložite potrdilo o plačani kotizaciji.

Za dodatne informacije lahko pokličete Jožeta Lopatiča po telefonu na št.: **01 476 8500** ali pošljete elektronsko pošto na naslov: **jlopatic@fgg.uni-lj.si.**

Kotizacija

Kotizacija za udeležbo na zborovanju, v kateri so zajeti stroški organizacije in publikacije zborovanja, kakor tudi stroški družabnega srečanja, znaša **180 EUR** na osebo. Za upokojence in študente znaša kotizacija 90 EUR. Kotizacija je prenosljiva na drugo osebo, ne bomo pa je vračali.

Promocija dejavnosti

Na podlagi dogovora z organizatorjem bo na zborovanju mogoča tudi promocija vaših izdelkov in storitev.

Prijava za 29. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije 18. in 19. oktobra 2007

Ime in priimek: _____

Podjetje oz. ustanova: _____

Naslov: _____

Telefon: _____

E-mail: _____

Davčna številka: _____

Podpis: _____

Kotizacija je bila nakazana na transakcijski račun Slovenskega društva gradbenih konstruktorjev, Jamova 2, Ljubljana, št. 02085-0015319187.

Potrdilo o plačani kotizaciji je priloženo.