



HIDROENERGETSKI KAPACITET GRABOVIČKE RIJEKE I MOGUĆNOST IZGRADNJE MHE

mr.sc. **Tatjana Džeba**, dipl.ing.građ.
Građevinski fakultet
Sveučilište u Mostaru
Mile Tomić, mag.građ.

Sažetak: U ovom radu se na temelju raspoloživih topografskih i hidroloških podloga razmatra hidroenergetski kapacitet jedne od značajnijih, ali hidrološko i hidro-energetski neistraženih pritoka rijeke Vrbanje u BiH, Grabovičke rijeke, a sve u cilju mogućnosti izgradnje male hidroelektrane kao obnovljivog vida energije. Također je izračunata stabilnost preljevnog praga za pojavu velikih voda, te izvršen statički proračun preljeva računalnim programom Tower.

Ključne riječi: obnovljivi izvor energije, hidrološke podloge, hidroenergetski kapacitet, stabilnost preljeva.

HYDROPOWER CAPACITY OF THE GRABOVICKA RIVER AND POSSIBILITY OF CONSTRUCTION OF SHPP

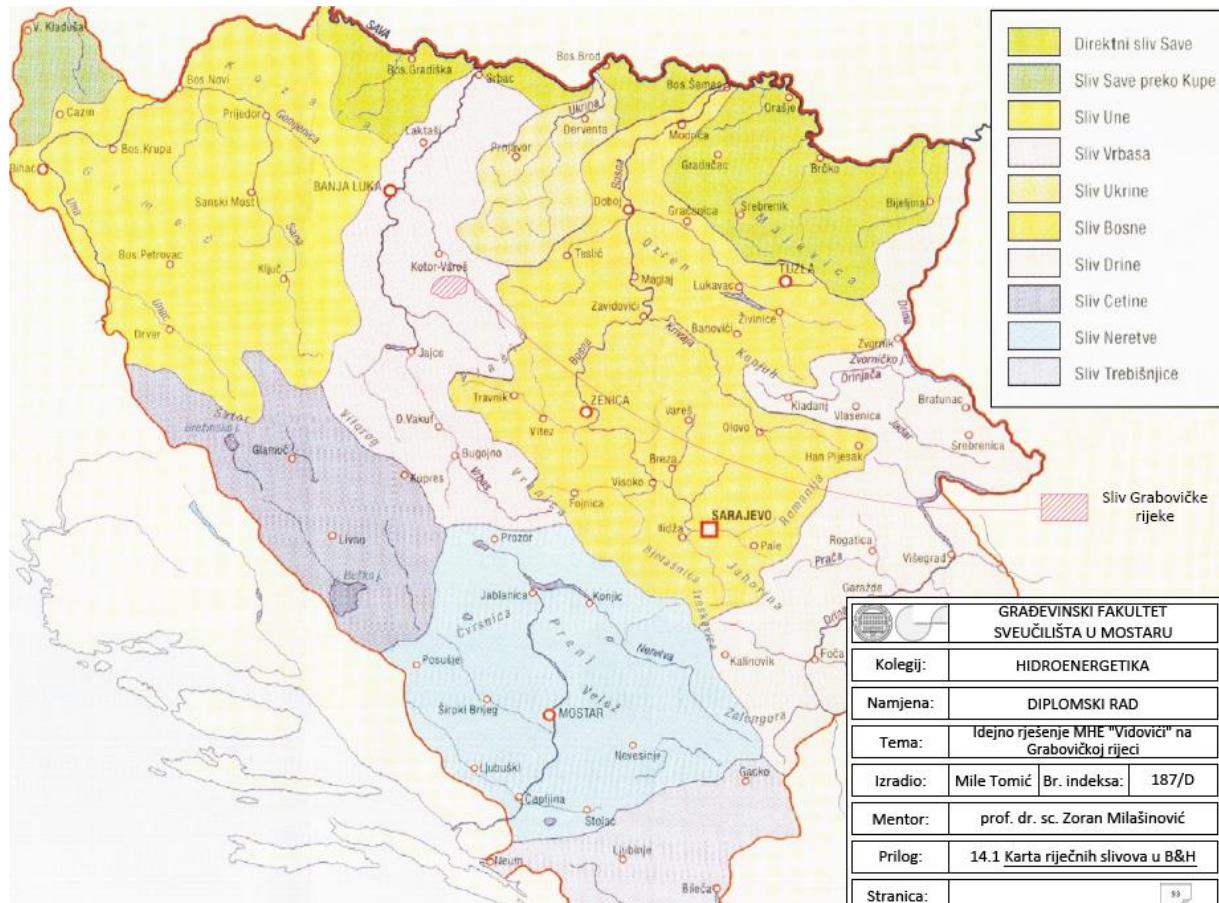
Abstract: Based on available topographical and hydrological data, this paper examines the hydropower capacity of one of the most significant, but in hydrological and hydropower terms unexplored tributaries of the Vrbanja River in BiH, the Grabovička River, and all aimed at the possibility of building a small hydropower plant as a renewable energy source. Also, stability of the spillway was calculated for the occurrence of high water, and structural analysis of the spillway was performed using the computer program Tower.

Key words: renewable energy source, hydrological data, hydropower capacity, spillway stability.

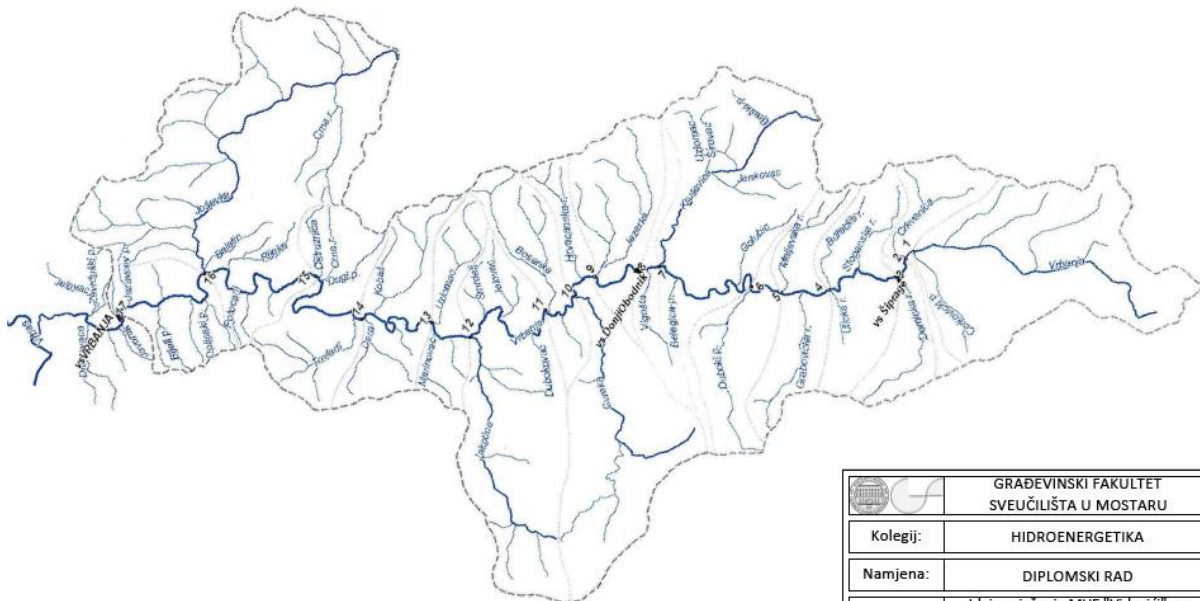



1. UVOD

Sukladno svjetskim trendovima u pogledu odnosa prema obnovljivim energetske resursima, te stvaranju pretpostavki za investiranja i realizaciju profitabilnih objekata kao što su male hidro-elektrane, u ovom radu se nastojao razmotriti hidroenergetski kapacitet jedne od značajnijih, ali hidrološko i hidro-energetski neistraženih pritoka rijeke Vrbanje u BiH, Grabovičku rijeku koja se kao lijeva pritoka ulijeva u Vrbanju oko **7 km** nizvodno od naselja Šiprage.



Grabovička rijeka drenira dio voda sa sjeverno-istočnih padina planine Vlašić, odnosno do vododijelnice sa slivom rijeke Ugar istočno od Skender-Vakufa. Dužina vodotoka je oko **8 km**, sa ušćem na koti **448 m. n. m.** i izvorom na koti **1050 m. n. m.** Sa aspekta hidro-energetskog korištenja voda, od posebnog je interesa srednji dio toka dužine cca **1.7 km**, odnosno potez od ušća Krčićkog potoka (kota **552.00 m. n. m.**) do sela Vidovići (kota **752.00 m. n. m.**). Razmatrana Grabovička rijeka pripada slivu rijeke Vrbasa i lijeva je pritoka rijeke Vrbanja. Nalazi se u zapadnom dijelu Bosne i Hercegovine. Slivna površina Grabovičke rijeke iznosi **18,99 km²**.



 GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U MOSTARU		
Kolegij:	HIDROENERGETIKA	
Namjena:	DIPLOMSKI RAD	
Tema:	Idejno rješenje MHE "Vidovići" na Grabovičkoj rijeci	
Izradio:	Mile Tomić	Br. indeksa: 187/D
Mentor:	prof. dr. sc. Zoran Milašinović	
Prilog:	14.2 Situacija sliva rijeke Vrbanje	
Stranica:	94	

2. PODLOGE

Za izradu ovog rada na raspolaganju su bile topografske podloge u i M: 1:2500 i M: 1:25000, te hidrološke podloge:

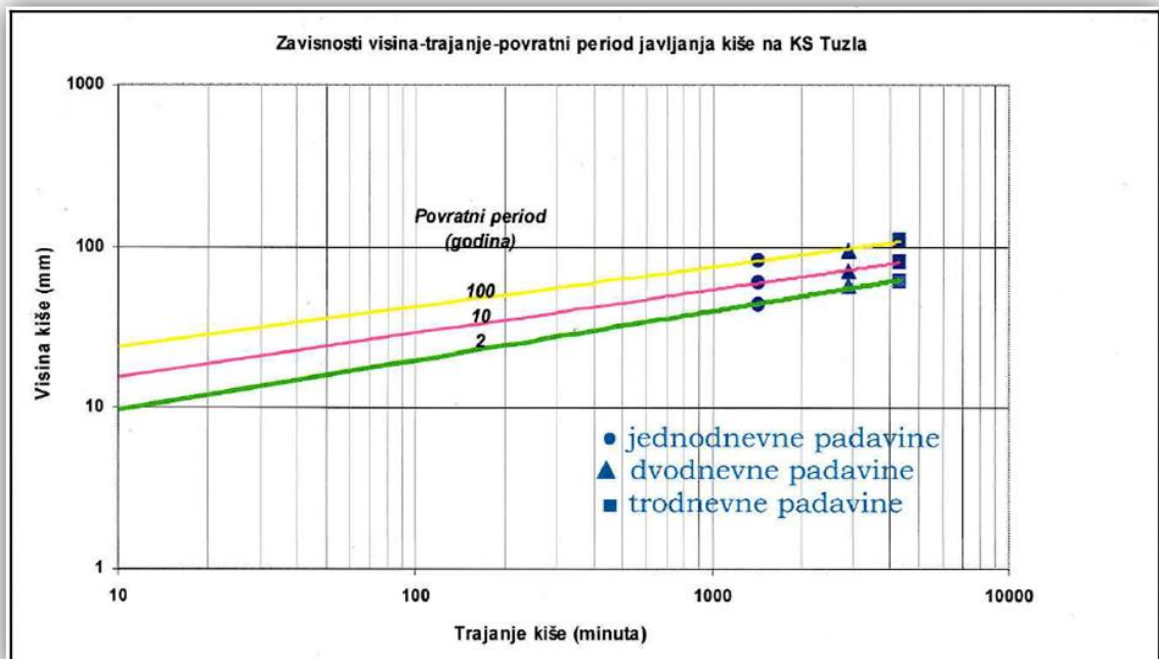
- Hidrološke obrade sa linijama trajanja protjecanja za VS Šiprage i VS Donji Obodnik na rijeci Vrbanji,
- Podatci o jednom simultanom mjerenju protoka na tri profila Grabovičke rijeke i na VS (vodomjernoj stanici) Šiprage i VS (vodomjernoj stanici) Donji Obodnik,
- Karta izohijeta srednjih padavina za Bosnu i Hercegovinu,
- Mjesečne i godišnje srednje padavine za KS (kišo-mjernu stanicu) Šiprage i KS Tuzla, period obrade od **1964.** do **1982.** godine,
- Dijagram ovisnosti "visina - trajanje - povratni period javljanja kiše za KS Tuzla, osmatrani period od **1954.** do **1982.** godine" (ovisnosti su povučene na osnovu **1, 2** i **3**-dnevnih kiša).

2.1. ANALIZA KIŠA ZA ŠIPRAGE

Obzirom da je za definiranje otjecanja bila primijenjena metoda sintetičkog jediničnog hidrograma, prvi korak u definiranju maksimalnog otjecanja je bilo određivanje efektivnih intenziteta kiše kratkog trajanja do **60** minuta povratnog perioda javljanja $T_p = 100$ godina, te su obrađeni i povratni periodi od **2** i **10** godina.



Jedino za KS Tuzla se u široj regiji raspolagalo rezultatima kiša kratkog trajanja (do 60 minuta). Pri tome je uvedena pretpostavka da su režimi kiša na stanicama Šiprage i Tuzla slični. Jednodnevne, dvodnevne i trodnevne padavine za KS Tuzla su određene statističkom analizom. Na "Slici 2" prikazan je PTP (visina kiše - trajanje - povratni period) dijagram za KS Tuzla. Dijagram je preuzet iz "Analiza kiša kratkog trajanja", autora prof. dr. Husno Hrelja.



Slika 2. Zavisnost visina - trajanje - povratni period javljanja kiše za KS Tuzla (1954. - 1982.)

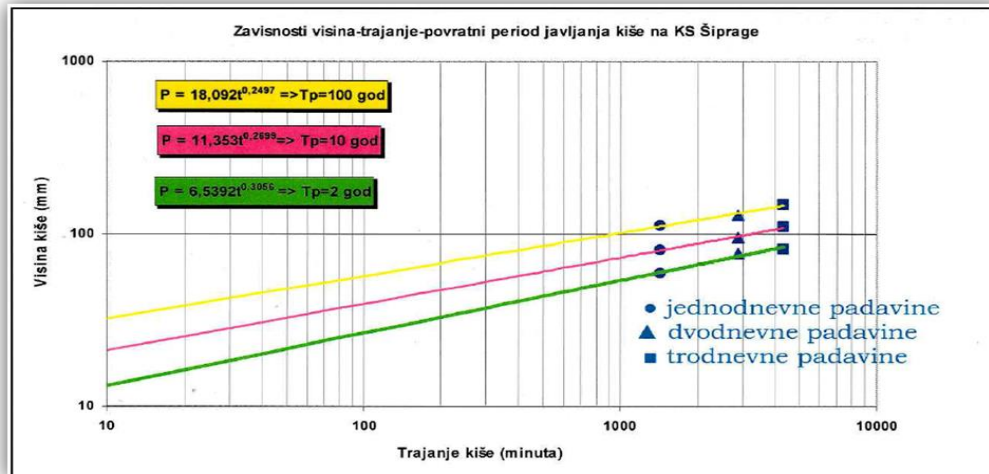
Da bi dobili PTP dijagram za KS Šiprage, bilo je potrebno množiti zavisnost PTP KS Tuzla s koeficijentom k , te nakon toga ekstrapolirati vrijednosti trajanja kratkih kiša što je i prikazano na narednoj skici.

$$k = \frac{P_{sr. \text{ Šiprage}}}{P_{sr. \text{ Tuzla}}}$$

$P_{sr. \text{ Šiprage}}$ - suma srednjih godišnjih padavina KS Šiprage (1964. - 1982.)

$P_{sr. \text{ Tuzla}}$ - suma srednjih godišnjih padavina KS Tuzla (1964. - 1982.)

Na dijagramu PTP za KS Šiprage bilo je potrebno izvršiti redukciju trajanja kiša. Krenulo se od pretpostavke da su kiše registrirane u uzastopnim vremenskim intervalima od 1, 2 i 3 dana, trajale 24, 48 i 72 sata. S obzirom da se kiše kraćih trajanja ponašaju drugačije od kiša dužeg trajanja, te da su "realna" (stvarna) trajanja ovih kiša dosta kraća, trajanja kiša od 24, 48 i 72 sata reducirana su na trajanja od 7, 12 i 20 sati (redukcija korištena iz literature). Dobiveni rezultati su prezentirani u "Tablici 1".

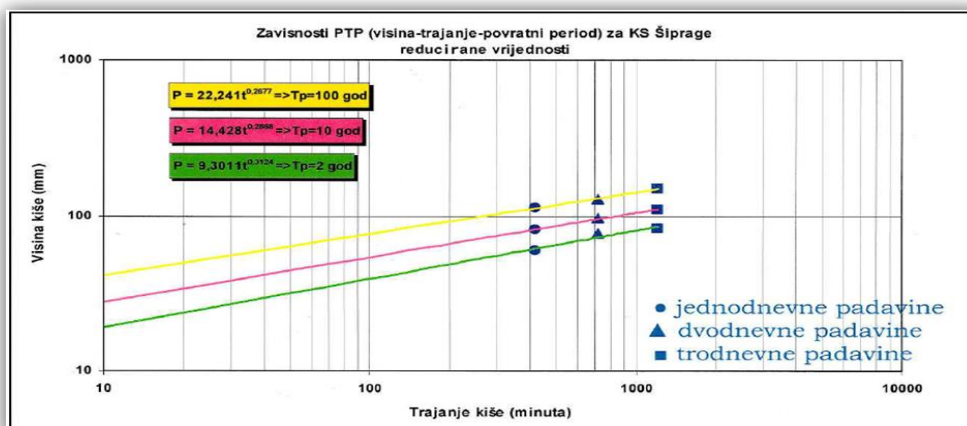


Slika 3. Zavisnost visina - trajanje povratni period javljanja kiše za KS Šiprage

Kišo-mjerna stanica:		Šiprage		
Koeficijenti:	t_k (dan)	1	2	3
	$t_{k,red.}$ (sati)	7	12	20
Povratni period T_p (god.):	2	59,6	77,2	82,6
	10	81,2	96,1	109,7
	100	112,4	128,6	148,9
Trajanje kiše (sati):		420	720	1200

Tablica 1. Visina padavina P (mm), trajanja 1, 2 i 3 dana, za $(T_p) = 2, 10$ i 100 godina

Grafički prikaz reduciranih PTP ovisnosti za KS Šiprage prikazane su na "Slici 4", a iste vrijednosti u numeričkom obliku date su u "Tablici 2".



Slika 4. Zavisnost PTP za KS Šiprage sa reduciranim vrijednostima trajanja kiša

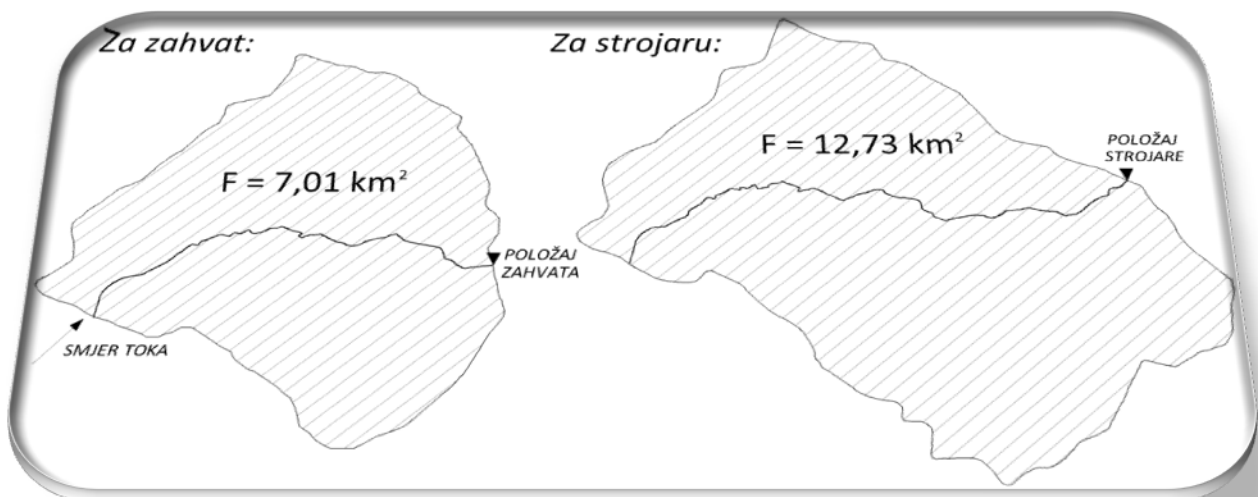


	t_k (min.)	10	20	25	30	40	50	60
Povratni period T_p (god.)	2	19	24	25	27	29	32	33
	10	28	34	36	38	42	44	47
	100	41	50	53	55	60	63	67

Tablica 2. Visine padavina P (mm) kratkog trajanja za različite povratne periode

2.2. DEFINIRANJE VRIJEDNOSTI MAKSIMALNOG OTJECANJA

Definiranje vrijednosti maksimalnog otjecanja izvršeno je za slivnu površinu Grabovičke rijeke za profile zahvata i strojare. Oblik slivne površine toka i sam položaj zahvata i strojare prikazani su na "Slici 5".



Slika 5. Shematski prikaz slivne površine Grabovičke rijeke od mjesta zahvata i strojare

Usvojeno je da se zahvatna građevina i strojara dimenzionira na maksimalno otjecanje povratnog perioda javljana $T_p = 100$ godina, kao što je uobičajeno za ovu vrstu hidrotehničkih objekata. Rezultati proračuna za profil zahvata i profil strojare date su u tablicama br.3. i br. 4.

Elementi sintetičkog dijagrama					Efektivnih padavina (mm)	Maksimalna ordinata	Otjecanje ($\frac{m^3}{s}$)
T_k	t_0	t_p	T_p	T_b	$T = 100$	q_{max}	$T = 100$
25	1,074	1,1991	1,4076	2,8152	23,85	1,4	33,4

Tablica 3. Elementi sintetičkog hidrograma za profil zahvata



Elementi sintetičkog dijagrama					Efektivnih padavina (mm)	Maksimalna ordinata	Otjecanje ($\frac{m^3}{s}$)
T_k	t_0	t_p	T_p	T_b	$T = 100$	q_{max}	$T = 100$
40	1,603	1,803	2,1365	4,273	27	1,668	45,04

Tablica 4. Elementi sintetičkog hidrograma za profil strojare

2.3. DEFINIRANJE SREDNJIH PROTOKA

Za određivanje energetske kapaciteta duž toka Grabovičke rijeke bilo je potrebno odrediti prosječne višegodišnje protoke na tri profila duž toka i to: na izvoru, na zahvatu i na samom ušću. Od raspoloživih podataka za ovaj dio zadatka korišteni su podatci za VS Šiprage kao referentnu stanicu i karta izohijeta za razmatrano područje. Za određivanje srednjih protoka korištena je formula koja se često primjenjuje u praksi za potpuno neistražene slivove:

$$Q_N = \frac{Q_P \cdot (F_N + P_N)}{(F_P \cdot P_P)}$$

Dobivene vrijednosti srednjih protoka za tri tražena profila iznose:

$$Q_{sr. izvor} = 0,00254 \frac{m^3}{s}; Q_{sr. zahvat} = 0,254 \frac{m^3}{s}; Q_{sr. ušće} = 0,7 \frac{m^3}{s}$$

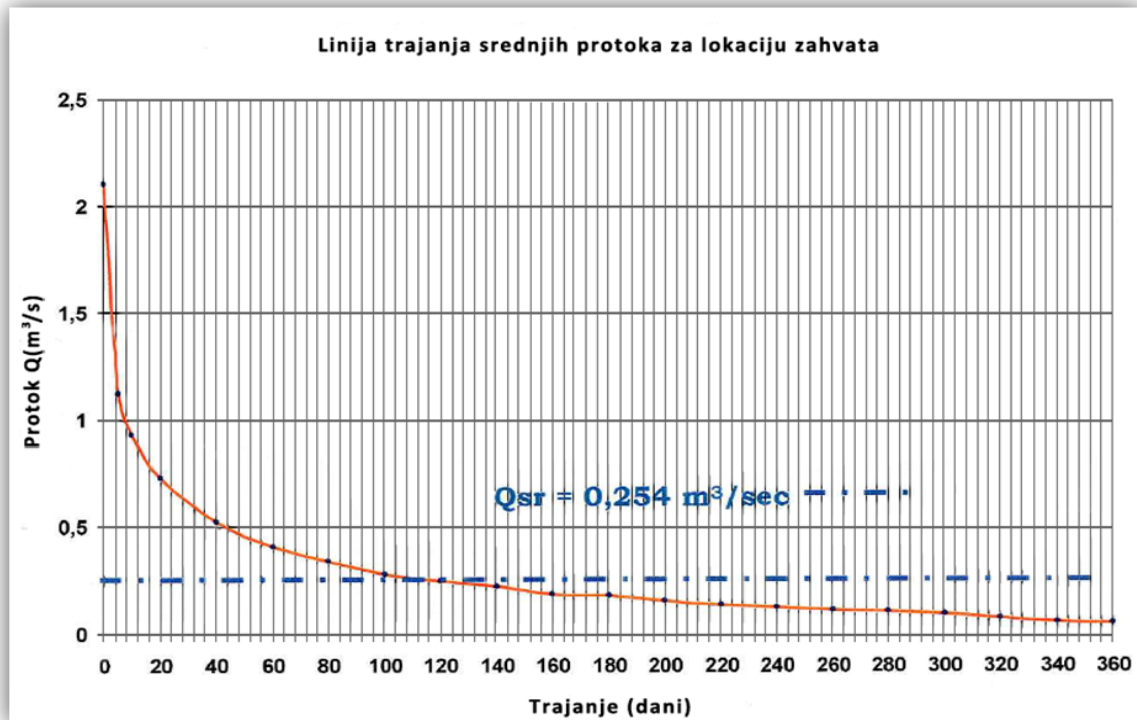
2.4. ODREĐIVANJE LINIJE TRAJANJA SREDNJIH PROTOKA

Liniju trajanja je bilo potrebno odrediti samo na mjestu zahvata. Za određivanje linije trajanja na raspolaganju je bila linija trajanja srednjih protoka za VS Šiprage, kao najbliža vodomjerna stanica našem posmatranom profilu.

Prvi korak za formiranje linije trajanja srednjih protoka na mjestu zahvata je bio formiranje modulne krivulje za VS Šiprage.

Modulna krivulja za VS Šiprage je formirana tako što je linija trajanja srednjih protoka VS Šiprage podijeljena sa srednjim protokom te stanice ($Q_{sr.} = 4,08 \frac{m^3}{s}$).

Nakon što je dobivena modalna krivulja za VS Šiprage, ta ista je pomnožena sa vrijednošću $Q_{sr. zahvata}$. Na "Slici 6" prikazana je linija trajanja srednjih protoka na mjestu zahvata.



Slika 6. Linija trajanja srednjih protoka na mjestu zahvata

3. ANALIZA UKUPNOG HIDRO-ENERGETSKOG KAPACITETA

3.1. HIDRO-ENERGETSKI KAPACITET GRABOVIČKE RIJEKE

Hydro-energetski kapacitet je teorijska veličina koja predstavlja ukupnu snagu, odnosno energiju jednog vodotoka bez obzira na moguće načine iskorištenja energije i pri tome ostvarene energetske gubitke. Poznavanje bruto energetskeg potencijala duž vodotoka je osnova za definiranje racionalnog korištenja raspoloživih vodnih snaga. Odgovarajuća grafička interpretacija relativnih veličina iz proračuna omogućava jednostavno i lako uočavanje koncentracije energetskeg potencijala na pojedinim dionicama vodotoka i na taj način upućuje na raspored i tip hidro-energetskih objekata. Predpostavljajući stacionarno i ravnomjerno tečenje, u dijelu nekog vodotoka, moguće je definirati njegovu snagu;

$$\Delta P = 9,81 \cdot Q_{sr} \cdot \Delta H \text{ (kW)}$$

Odnosno energiju;

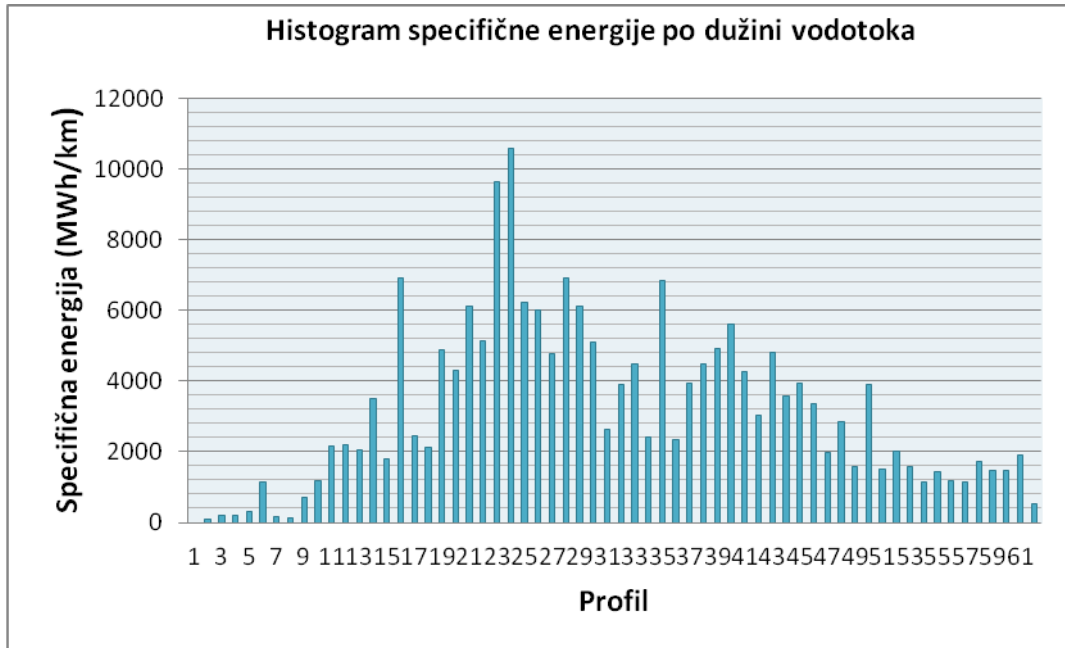
$$\Delta E = 9,81 \cdot Q_{sr} \cdot \Delta H \cdot T \text{ (kWh)}$$

Gdje su;



- $Q_{sr.} \left(\frac{m^3}{s} \right)$ - Srednje protjecanje dijela vodotoka za određeni vremenski period
 $\Delta H (m)$ - Visinska razlika vodotoka
 $T (h)$ - Vremenski period

Integrirajući gornja dva izraza, u granicama od ušća do izvora, dobije se ukupni teoretski energetska kapacitet vodotoka. To podrazumijeva iskorištenje svih potencijalnih količina i cjelokupnog raspoloživog pada, te konstantan prirast protjecanja između dvije točke.



Slika 7. Histogram specifične energije po dužini vodotoka Grabovičke rijeke

Da bi se izračunao energetska kapacitet potrebno je poznavanje funkcije rasporeda protjecanja duž toka ($Q_{sr.} = f(L)$) za izučavani vodotok. Ova zavisnost data je linearnom funkcijom, pa se energetska kapacitet izračunava pomoću pada i protjecanja u svakoj točki uzdužnog profila. Prirast protjecanja između točaka vodotoka uzima se kao linearan po dužini toka, ne uzimajući skokove na mjestima pritoka iz razloga kao što je gore već rečeno, nije se raspolagalo dovoljnom količinom podataka.

Provedeni proračun energetska kapaciteta za razmatranu Grabovičku rijeku izrađen je tabelarno, a ovdje je samo prikazan specifični energetska kapacitet ($E_{spec.}$)

Na osnovu gore sprovedene analize hidro-energetska potencijala Grabovičke rijeke, potvrđena je uvodna činjenica da je srednji dio toka interesantan sa stanovišta energetska potencijala.

Važno je naglasiti da se gornji dio toka nalazi u terenu koji je karstificiran, tako da će iz tog razloga vodo-zahvat biti lociran na koti **752 m. n. m.**

Nakon razmatranja više varijanti, tehno-ekonomskom analizom je usvojena varijanta rješenja MHE kao postrojenja koje koristi **198,8 m** pada srednjeg dijela toka Grabovičke rijeke. To je derivacijsko protočno postrojenje koje se sastoji od zahvata na dnu sa taložnicom, ukopanog tlačnog cjevovoda i strojare.



Usvojeni instalirani protok je:

$$Q_{inst.} = 0,37 \frac{m^3}{s}$$

Zahvaćanje vode se vrši u dnu, tzv. "Tirolskim" zahvatom. Zahvaćene količine vode se nakon taložnice odvede ukopanim derivacijskim tlačnim cjevovodom do strojare. Odabrane su cijevi od poliestera sa staklenim vlaknima tzv. "GRP" cijevi promjera **500 mm**.

U strojari je smještena jedna Peltonova turbina sa horizontalnom osovinom i sa pripadajućom opremom. Dimenzije strojare su u funkciji dimenzija izabrane opreme. Pristup lokaciji vodo-zahvata je sa postojećeg makadamskog puta na desnoj obali rijeke. Pristup lokaciji strojare je moguć sa postojeće prometnice na desnoj obali. Predviđeno je da se proizvedena energija plasira u elektroenergetski sustav putem srednje-naponske mreže, pa će se izvršiti transformacija na **10(20) kV** naponski nivo u vlastitoj transformatorskoj stanici u sklopu strojare. Također je predviđeno da postrojenje može raditi i u "otočnom" režimu, tj. da napaja dio mreže koji je izoliran od ostale mreže elektroenergetskog sustava.

Na osnovu usvojenog instaliranog protoka, neto pada postrojenje i moguće snage turbine, a prema asortimanu tipiziranih turbina za male hidro-elektrane izvršen je izbor broja i tipa turbine. Odabrana je jedna Peltonova turbina sa horizontalnom osovinom. Hidromehaničku opremu čine:

❖ Oprema "Tirolskog" zahvata:

- Tablasti zatvarač na ulazu taložnice,
- Tablasti zatvarač na ispustu za pražnjenje taložnice,
- Tablasti zatvarač na zimskom otvoru,
- Tablasti zatvarač na ulazu u cjevovod,
- Gruba rešetka na zahvatu vode i fina rešetka na ulazu u cjevovod sa čistilicom.

4. OBRAČUN MOGUĆE GODIŠNJE PROIZVODNJE POSTROJENJA

Proračun godišnje moguće proizvodnje urađen je na osnovu prosječne krivulje trajanja protoka za usvojeni instalirani protok i broj agregata. Proračun je obuhvatio moguća ispuštanja biološkog minimuma kao i zaustavljanje rada u slučajevima dotoka manjih od tehničkog praga turbine. Za ovaj nivo razrade usvojen je biološki minimum u iznosu od $25 \frac{l}{s}$ jer nije planirano uzimanje voda za druge potrebe. Proračun instalirane snage vršen je po formuli:

$$N_i = 9,81 \cdot Q_i \cdot H_n \cdot \eta_g \cdot \eta_t \text{ (kW)}$$

a moguća godišnja proizvodnja računata je relacijom:

$$E_{god.} = 9,81 \cdot \eta_g \cdot \eta_t \cdot Q_{isk.} \cdot H_{n\ isk.} \cdot 8760 \text{ sati (kWh)}$$

Moguća godišnja proizvodnja iznosi:

$$1,81 \text{ GWh}$$



4.1. ekonomičnost izgradnje postrojenja

Procjena podataka za ocjenu ekonomičnosti izgradnje ovog postrojenja:

- ❖ Ukupne investicije..... **1 745 565 KM**
- ❖ Specifične investicije..... **0,91 $\frac{KM}{kWh}$**
- ❖ Moguća godišnja proizvodnja..... **1,81 GWh (1 810 000 kWh)**

Ukupne investicije za ovo rješenje iznose **1 745 565 KM**, a specifične investicije **0,91 $\frac{KM}{kWh}$** .

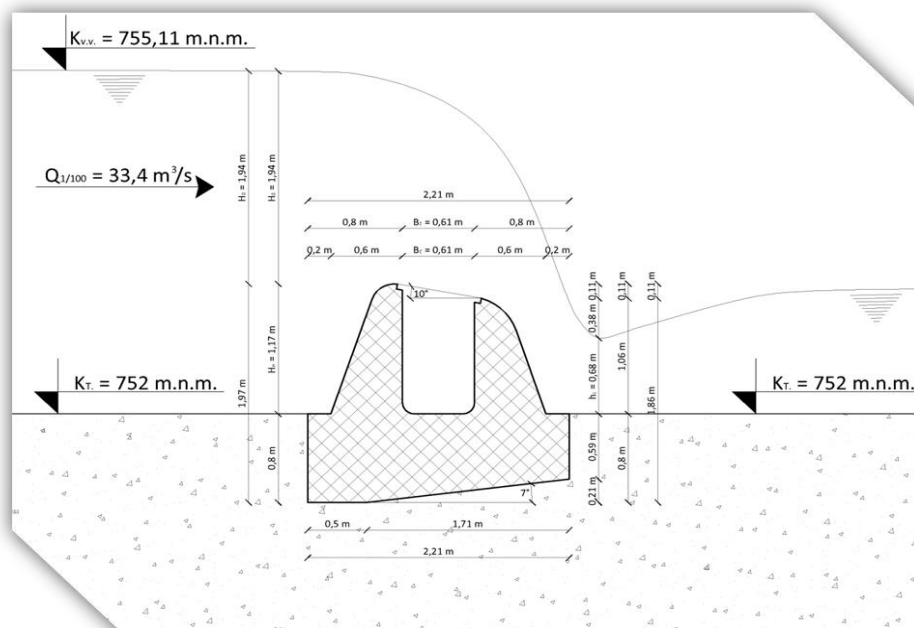
Ako uzmemo u obzir i podatak da je moguća godišnja proizvodnja **1,81 GWh (1 810 000 kWh)**, a da je trenutna tržišna cijena **1 kWh** oko **0,09 KM**, dolazimo do podatka da je godišnja zarada od prodaje električne energije oko **170 000 KM**.

Ako na sve ovo dodamo i troškove otplate mogućih kredita, zatezних kamata i zaduženja po raznim osnovama, dolazimo do podatka da će se naše postrojenje isplatiti u periodu rada elektrane od **10 do 11 godina**, što se smatra ekonomičnim investicijskim ulaganjem.

U radu je još provjerena stabilnost preljevnoг прага за појаву великих вода, те извршен статички прораčун у рачуналном моделу TOWER. Резултати су дати у наставку.

5. STABILNOST PRELJEVNOG PRAGA ZA POJAVU VELIKIH VODA

5.1. ANALIZA OPTEREĆENJA



Slika 8. Dimenzije preljevnoг прага zajedno sa velikom vodom



$$K_{v.v.} = K_T + H_n + H_0 = 752 + 1,17 + 1,94 = 755,11 \text{ m. n. m.}$$

$$H_n + H_0 = h_c + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad q = \frac{Q}{B}$$

$$H_n + H_0 = h_c + \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot h_c^2 \cdot \varphi^2}$$

$$q = \frac{33,4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{7,5 \text{ m}} = 4,4533 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

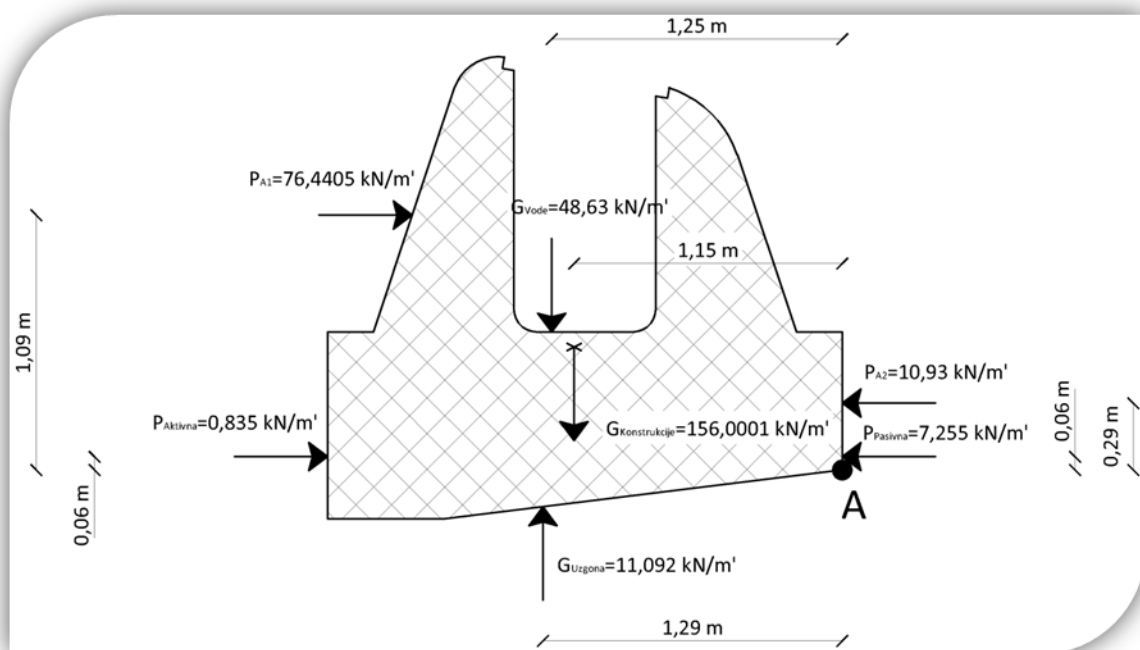
$$1,17 + 1,94 = h_c + \frac{4,4533^2}{2 \cdot 9,81 \cdot h_c^2 \cdot 0,95^2}$$

$$3,11 = h_c + \frac{1,120015913}{h_c^2}$$

↓↓↓ *probanjem* ↓↓↓

$$h_c = 0,678727 \text{ m}$$

5.2. UKUPNE SILE I MOMENTI KOJI DJELUJU NA KONSTRUKCIJU



Slika 9. Sile koje djeluju na konstrukciju i njihovi krakovi do točke "A"

5.3. ISPITIVANJE STABILNOSTI KONSTRUKCIJE NA KLIZANJE

$$\gamma_{klizanja} = \frac{(G_{konstrukcije} + G_{vode} - G_{uzgona}) \cdot \tan \varphi}{P_{A1} - P_{A2} + P_{aktivna} - P_{pasivna}} \geq \gamma_{min.} = 1,50$$



$$\gamma_{klizanja} = \frac{(156,0001 + 48,63 - 11,092) \cdot \tan 28^\circ}{76,4405 - 10,93 + 0,834965854 - 7,25502349} = \frac{193,5381 \cdot 0,531709431}{59,09044236} = \frac{102,906033}{59,09044236}$$

$$\gamma_{klizanja} = 1,741500468$$

Stabilnost konstrukcije na klizanje je zadovoljena jer je faktor $\gamma_{kliz.}$ veći od faktora $\gamma_{min.}$!

5.4. ISPITIVANJE STABILNOSTI KONSTRUKCIJE NA PREVRTANJE

$$\gamma_{prevrtanja} = \frac{M_{konstrukcije} + M_{vode} + M_{nizvodno} + M_{pasivni}}{M_{uzvodno} + M_{aktivni} + M_{uzgona}} \geq \gamma_{min.} = 1,50$$

$$\gamma_{prevrtanja} = \frac{195,000125 + 55,9245 + 3,1697 + 0,435301409}{83,320145 + 0,050097951 + 14,30868} = \frac{254,5296264}{97,67892295} = 2,605778388$$

Stabilnost konstrukcije na prevrtanje je zadovoljena jer je faktor $\gamma_{pr.}$ veći od faktora $\gamma_{min.}$!

6. STATIČKI PRORAČUN PRELJEVNOG PRAGA U TOWER-U

OSNOVNI PODATCI O MODELU

Datoteka: Preljevni prag.twp
 Datum proračuna: 20.10.2016
 Način proračuna: 3D model

- Teorija I-og reda Modalna analiza Stabilnost
 Teorija II-og reda Seizmički proračun Faze građenja
 Nelinearan proračun

Veličina modela

Broj čvorova: 1014
 Broj pločastih elemenata: 950
 Broj grednih elemenata: 0
 Broj graničnih elemenata: 5928
 Broj osnovnih slučajeva opterećenja: 3
 Broj kombinacija opterećenja: 2

Jedinice mjera

Dužina: m [cm,mm]
 Sila: kN
 Temperatura: Celsius



Shema nivoa

Naziv	z (m)	h (m)
	0,80	0,40
	0,40	0,40
	0,00	

Tablica materijala

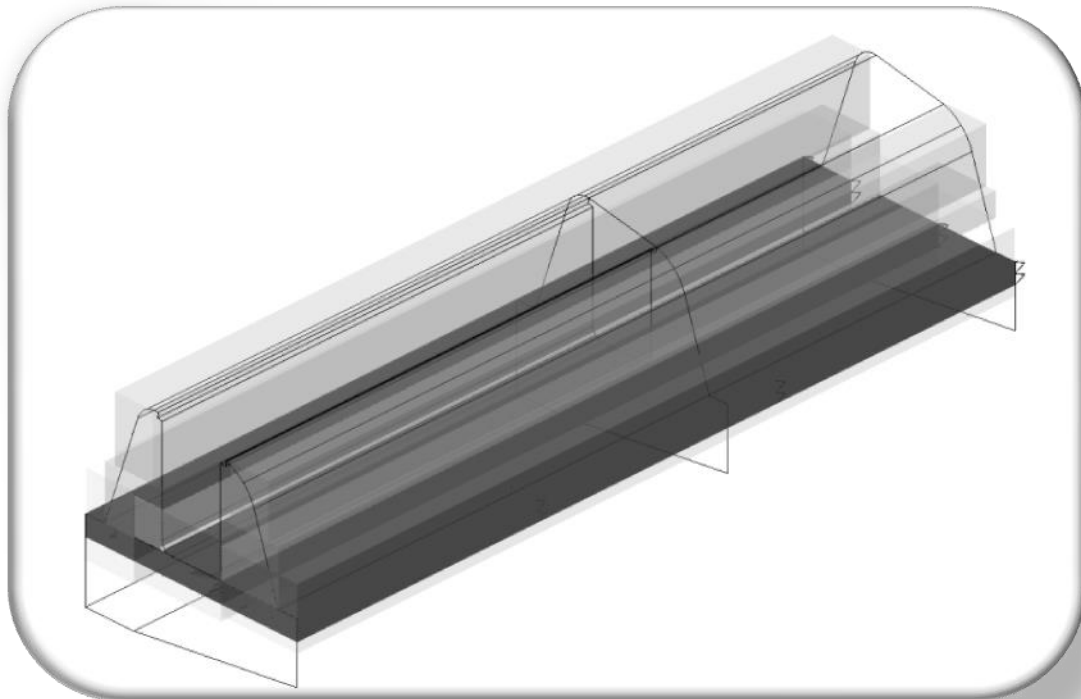
No	Naziv materijala	E (kN/m ²)	μ	γ (kN/m ³)	α_t (1/C)	E_m (kN/m ²)	μ_m
1	Beton MB 30	3.150e+7	0.20	25.0	1.000e-5	3.150e+7	0.20

Setovi ploča

No	d (m)	e (m)	Materijal	Tip proračuna	Ortotropija	E_2 (kN/m ²)	G (kN/m ²)	α
1	0.800	0.400	1	Tanka ploča	Izotropna			
2	0.700	0.350	1	Tanka ploča	Izotropna			
3	0.600	0.300	1	Tanka ploča	Izotropna			
4	0.400	0.200	1	Tanka ploča	Izotropna			

Setovi površinskih oslonaca

@1@ Set	K, R_1	K, R_2	K, R_3
1	1.000e+4	1.000e+4	1.000e+4



Slika 10. Shematski prikaz modela

**Nivo: (0.80 m)****@1@PBAB 87** **$d_{pl.} = 60.0 \text{ cm}$** **MB 30**

Gornja zona: MA 500/560 (a=5.0 cm)

Donja zona: MA 500/560 (a=5.0 cm)

Kompletna shema opterećenja

Točka 1 $x=-0.80 \text{ m}; y=2.96 \text{ m}; z=0.80 \text{ m}$ Pravac 1: ($\alpha = 0^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

 $1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$ $M_u = 31.60 \text{ kNm}$ $N_u = 0.00 \text{ kN}$ $\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.336/10.000\text{‰}$ $A_{g1} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{d1} = 1.16 \text{ cm}^2/\text{m}$ Pravac 2: ($\alpha = 90^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

 $1.00 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$ $M_u = 5.01 \text{ kNm}$ $N_u = 0.00 \text{ kN}$ $\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.137/10.000\text{‰}$ $A_{g2} = 0.07 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{d2} = 0.18 \text{ cm}^2/\text{m}$ **Točka 2** $x=-0.80 \text{ m}; y=7.50 \text{ m}; z=0.80 \text{ m}$ Pravac 1: ($\alpha = 0^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

 $1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$ $M_u = 35.93 \text{ kNm}$ $N_u = 0.00 \text{ kN}$ $\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.360/10.000\text{‰}$ $A_{g1} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{d1} = 1.33 \text{ cm}^2/\text{m}$ Pravac 2: ($\alpha = 90^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

 $1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II$ $M_u = 0.65 \text{ kNm}$ $N_u = 0.00 \text{ kN}$ $\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.047/10.000\text{‰}$

Nije potrebna armatura.

Točka 3 $x=-0.80 \text{ m}; y=5.53 \text{ m}; z=0.80 \text{ m}$ Pravac 1: ($\alpha = 0^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

 $1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$ $M_u = 34.94 \text{ kNm}$ $N_u = 0.00 \text{ kN}$ $\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.354/10.000\text{‰}$ $A_{g1} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{d1} = 1.28 \text{ cm}^2/\text{m}$ Pravac 2: ($\alpha = 90^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

 $1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.8 \cdot III$ $M_u = 6.91 \text{ kNm}$ $N_u = 0.00 \text{ kN}$ $\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.153/10.000\text{‰}$ $A_{g2} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{d2} = 0.25 \text{ cm}^2/\text{m}$ **@1@PBAB 87** **$d_{pl.} = 70.0 \text{ cm}$** **MB 30**

Gornja zona: MA 500/560 (a=5.0 cm)

Donja zona: MA 500/560 (a=5.0 cm)

Kompletna shema opterećenja

Točka 4 $x=-1.16 \text{ m}; y=3.55 \text{ m}; z=0.80 \text{ m}$ Pravac 1: ($\alpha = 0^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

 $1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$ $M_u = 47.73 \text{ kNm}$ $N_u = 0.00 \text{ kN}$ $\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.351/10.000\text{‰}$ $A_{g1} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{d1} = 1.49 \text{ cm}^2/\text{m}$ Pravac 2: ($\alpha = 90^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

 $1.00 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$ $M_u = 7.69 \text{ kNm}$ $N_u = 0.00 \text{ kN}$ $\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.143/10.000\text{‰}$ $A_{g2} = 0.09 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{d2} = 0.24 \text{ cm}^2/\text{m}$

Točka 5 $x=-1.35$ m; $y=7.50$ m; $z=0.80$ mPravac 1: ($\alpha = 0^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

$$1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$$

$$M_u = 57.16 \text{ kNm}$$

$$N_u = 0.00 \text{ kN}$$

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.385/10.000\text{‰}$$

$$A_{g1} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{d1} = 1.78 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Pravac 2: ($\alpha = 90^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

$$1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$$

$$M_u = 1.12 \text{ kNm}$$

$$N_u = 0.00 \text{ kN}$$

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.051/10.000\text{‰}$$

Nije potrebna armatura.

Točka 6 $x=-1.35$ m; $y=5.33$ m; $z=0.80$ mPravac 1: ($\alpha = 0^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

$$1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$$

$$M_u = 56.32 \text{ kNm}$$

$$N_u = 0.00 \text{ kN}$$

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.382/10.000\text{‰}$$

$$A_{g1} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{d1} = 1.75 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Pravac 2: ($\alpha = 90^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

$$1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$$

$$M_u = 10.90 \text{ kNm}$$

$$N_u = 0.00 \text{ kN}$$

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.163/10.000\text{‰}$$

$$A_{g2} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{d2} = 0.34 \text{ cm}^2/\text{m}$$

@1@PBAB 87

 $d_{pl.} = 80.0$ cm

MB 30

Gornja zona: MA 500/560 (a=5.0 cm)

Donja zona: MA 500/560 (a=5.0 cm)

Kompletna shema opterećenja

Točka 7 $x=-2.21$ m; $y=3.36$ m; $z=0.80$ mPravac 1: ($\alpha = 0^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

$$1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II$$

$$M_u = 0.09 \text{ kNm}$$

$$N_u = 0.00 \text{ kN}$$

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.012/10.000\text{‰}$$

Nije potrebna armatura.

Pravac 2: ($\alpha = 90^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

$$1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$$

$$M_u = -3.59 \text{ kNm}$$

$$N_u = 0.00 \text{ kN}$$

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.080/10.000\text{‰}$$

$$A_{g2} = 0.10 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{d2} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Točka 8 $x=-1.71$ m; $y=5.72$ m; $z=0.80$ mPravac 1: ($\alpha = 0^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

$$1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$$

$$M_u = 32.15 \text{ kNm}$$

$$N_u = 0.00 \text{ kN}$$

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.246/10.000\text{‰}$$

$$A_{g1} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{d1} = 0.87 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Pravac 2: ($\alpha = 90^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

$$1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$$

$$M_u = 5.62 \text{ kNm}$$

$$N_u = 0.00 \text{ kN}$$

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.100/10.000\text{‰}$$

$$A_{g2} = 0.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{d2} = 0.15 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Točka 9 $x=-1.71$ m; $y=5.33$ m; $z=0.80$ mPravac 1: ($\alpha = 0^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

$$1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$$

$$M_u = 31.95 \text{ kNm}$$

$$N_u = 0.00 \text{ kN}$$

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = -0.244/10.000\text{‰}$$



$$A_{g1} = 0.00 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$A_{d1} = 0.86 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Pravac 2: ($\alpha = 90^\circ$)

Mjerodavna kombinacija:

$$1.60 \cdot I + 1.80 \cdot II + 1.80 \cdot III$$

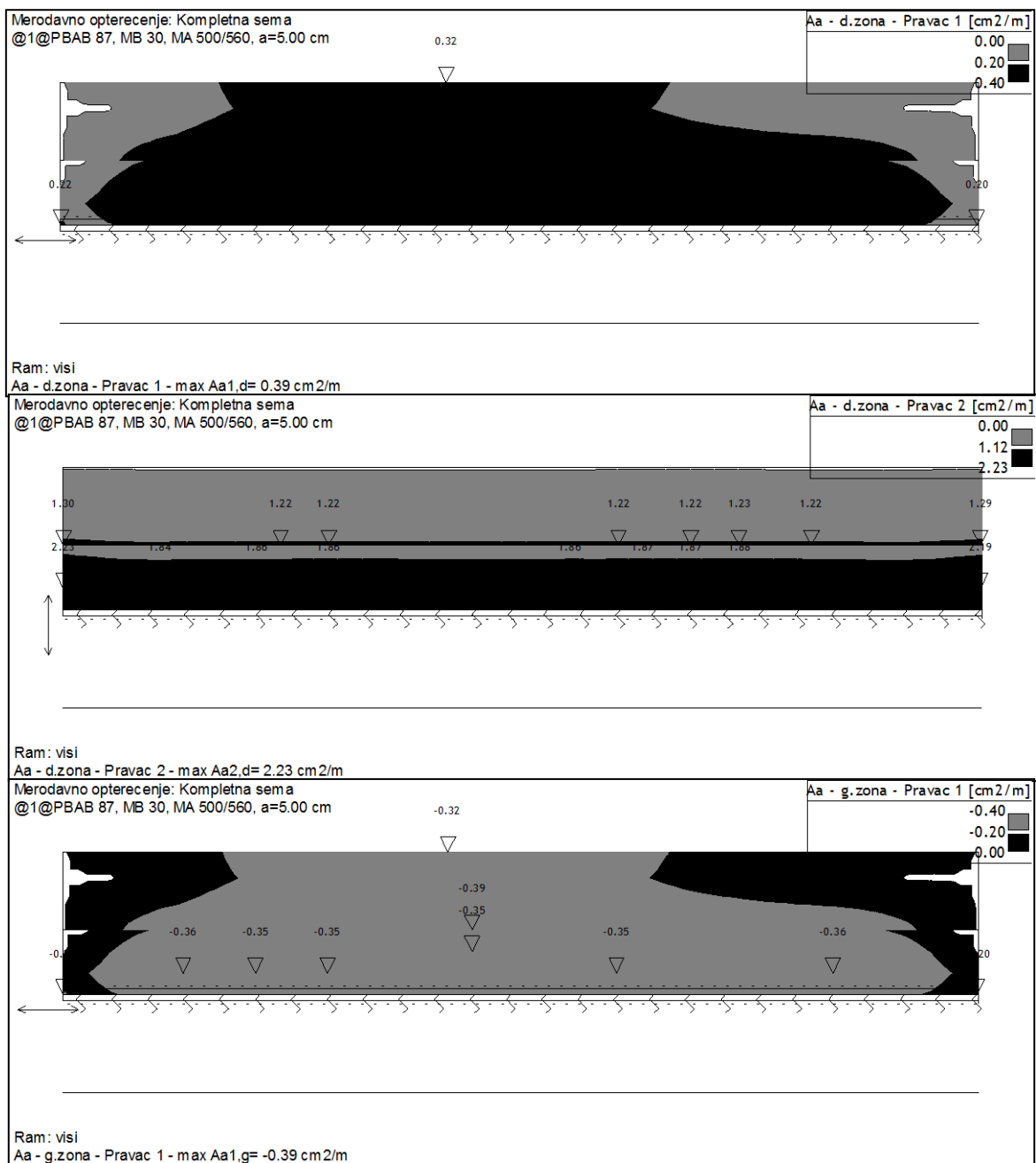
$$M_u = 5.59 \text{ kNm}$$

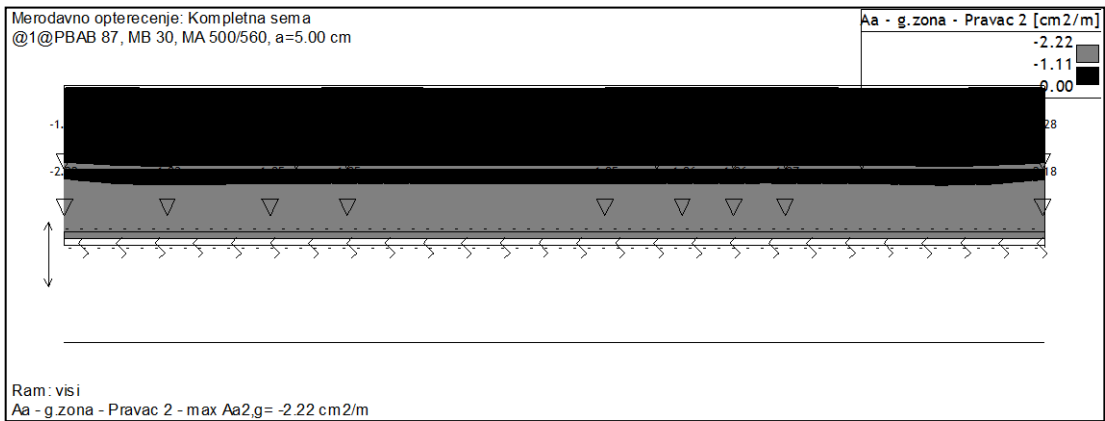
$$N_u = 0.00 \text{ kN}$$

$$\frac{\epsilon_b}{\epsilon_a} = -0.100 / 10.000 \text{‰}$$

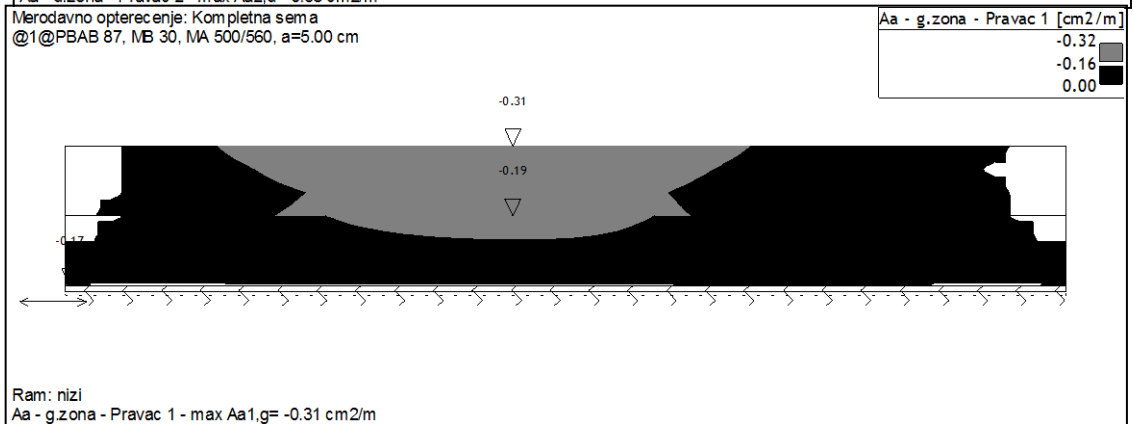
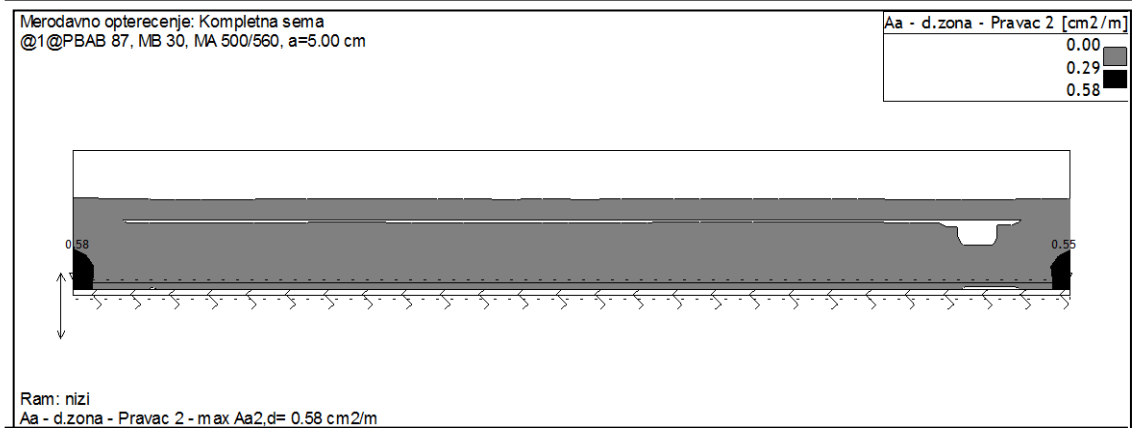
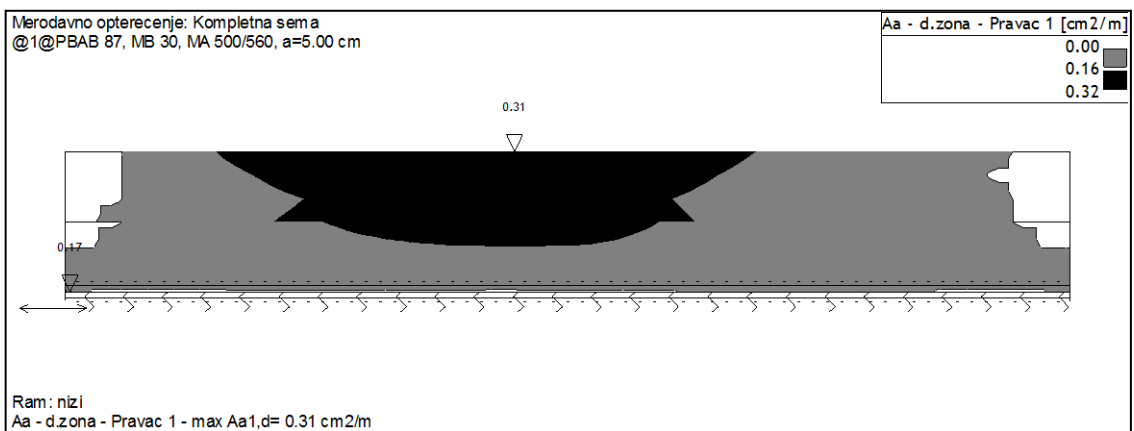
$$A_{g2} = 0.00 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

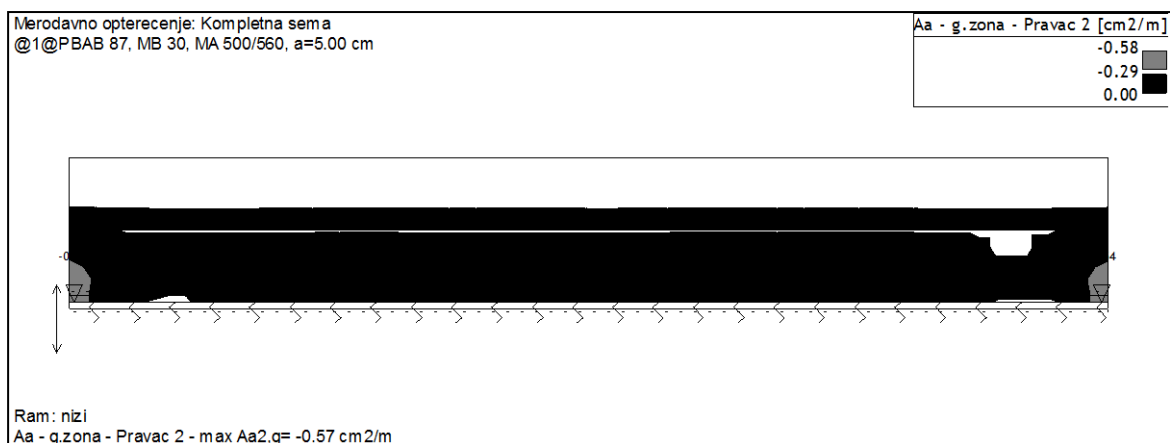
$$A_{d2} = 0.15 \text{ cm}^2 / \text{m}$$





Slika 11. Potrebna armatura u višem okviru (zidu) - u obje zone i u oba smjera





Slika 12. Potrebna armatura u nižem okviru (zidu) - u obje zone i u oba smjera



LITERATURA

1. G. Hajdin: "Prilog hidrauličkoj analizi vodozahvata u dnu", Saopštenja sa IV savjetovanja jugoslavenskih stručnjaka za hidraulička ispitivanja, Sarajevo 1996.
2. I. Valant: "Zgradimo majhno hidroelektrano - Gradbena izvedba mejhne hidroelektrane", Zvezda organizacij za tehničko kulturo Slovenije, Ljubljana 1986.
3. З. Л. Лазарян: "Водоприемники", Москва 1960.
4. G. Hajdin: "Prilog dimenzionisanju sabirnih kanala sa ravnomjernim proticajem", Saopštenja sa VI kongresa Jugoslavenskog nacionalnog komiteta za visoke brane, Opatija 1963.
5. B. Đorđević: "Korišćenje vodnih snaga - Objekti hidroelektrana", Naučna knjiga Građevinski fakultet, Beograd 1989.
6. P. Stojić: "Hidrotehničke građevine", Sveučilište u Splitu Građevinski fakultet, Split 1998.
7. П. Г. Киселев: "Справочник по гидравлическим расчетам", Москва 1974.
8. М. Д. Чертоусов: "Гидравлика - Специальный курс", Москва 1957.
9. I. I. Agroskin: "Hidraulika", Tehnička knjiga, Zagreb 1973.
10. E. Svetličić: "Hidraulika otvorenih korita", Zagreb 1777.
11. E. Petrešin: "Vodovod III", Poslovna politika, Beograd 1989.
12. J. Mutschmann & F. Stimmelmayer: "Snabdjevanje vodom", Priručnik Građevinska knjiga, Beograd 1999.
13. Bata, Jovanović, Vukmirović: "Nomogrami za hidrauličke proračune", Saopštenja br. 28 Instituta "Jaroslav Černi", Beograd 1963.
14. K. Begović: "Hidroenergetska postrojenja", Uvod u probleme izbora opreme - DELIT, Sisak 1986.
15. HOBAS: "Pipelines Textbook", Austria 1995.
16. DIPLOMSKI RAD: Idejno rješenje MHE "Vidovići" na Grabovičkoj rijeci, GF UNSA, odsjek za hidrotehniku, I
DIPLOMSKI RAD: Idejno rješenja MHE "Vidovići" na Grabovičkoj rijeci, GF Sveučilišta u Mostaru