



Crna Gora
ZAVOD ZA HIDROMETEOROLOGIJU
I SEIZMOLOGIJU

Broj 01-925/1
Podgorica, 23-04 2015 god.

Preliminarna hidrološka analiza oticanja
rijeke Lještance u profilu 1007 mnm
i proračun bruto energetskeg potencijala

Obrađivači:

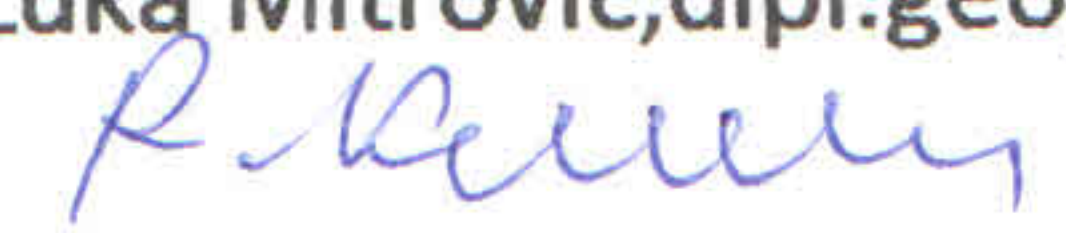

Nevzeta Alilović dipl.ing. građ


Mirjana Popović dipl.ing.građ



Direktor: 

mr Luka Mitrović, dipl.geog



IV Proleterske Brigade 19, 81000 Podgorica

Tel/fax. (+382) 20 655 183/197; Sektor seizmologije-Tel/fax: (+382) 20 648 980/146

E-mail: office@meteo.co.me, seismocg@t-com.me; Web: www.meteo.co.me, www.seismo.co.me

Sadržaj:

Strana

Uvod	1
Fizičko geografske karakteristike sliva i vodotoka	4
Određivanje srednjeg višegodišnjeg protoka u profilu P1007 mnm-	7
Metoda analogije	7
Metoda Langbein-a	10
Metoda predominantnih faktora (M.P.F.)	11
Metoda prof Srebrenovića	14
Analiza dobijenih rezultata i usvajanje Qsr za profil P 1007 mnm	15
Srednje vode	15
Velike vode (VV)	16
Proračun krive trajanja metodom analogije u profilu P 1007 mnm-	17
Proračun velikih voda u profilu P 723 mnm	19
Metoda predominantnih faktora (M.P.F.)	21
Metoda prof Srebrenovića	22
Proračun bruto energetskog potencijala rijeke Lještanice	23

Uvod

Ova analiza urađena je na osnovu Zahtjeva firme **Synergy d.o.o Podgorica** (broj 01/975 od 08.04.2015 g.) **za potrebe raspisivanja samoinicijativnog tendera**

Lještanica je desna pritoka Ljuboviđe i pripada njenom gornjem slivu. Izvor Lještanice se nalazi na prostoru Šljemena, na oko 1370 mnm.

U okviru svoje sekundarne mreže HS Hidrometeorološki zavod je na ušću Lještanice u Ljuboviđu imao hidrološku stanicu, HS Tomaševo, na kojoj su se osmatranja i mjerenja vršila u periodu 1992-1994, 1996-2004. ZHMS CG za profil P1007 mnm na Lještanici ne raspolaže sopstvenim osmatranjima i mjerenjima. Dakle, kako se radi o profilu koji hidrološki nije izučen, određivanje režima oticaja podrazumijeva studioznu analizu svih parametara koji na njega utiču, i primjenu metoda koje se koriste kada se radi o hidrološki neistraženim vodotocima.

U tom cilju potrebno je:

- Prikupljanje svih informacija i podataka koji mogu biti značajni za određivanje srednjeg višegodišnjeg proticaja u profilu bez sopstvenih osmatranja i mjerenja.
- Određivanje svih fizičkogeografskih karakteristika sliva i vodotoka koje su potrebne kao ulazni parametri kod metoda koje ćemo koristiti.

Kako se ovaj elaborat radi u svrhu hidroenergetskog iskorišćenja rijeke Lještanice njime je, za navedeni profil, potrebno definisati sledeće veličine:

- Prosječni protok u profilu vodozahvata,
- Krivu trajanja protoka u profilu vodozahvata
- Maksimalne protoke različitih povratnih perioda (T-godina), odnosno vjerovatnoća (p %).

Metode, za procjenu srednjeg višegodišnjeg režima proticaja, koje smo koristili u ovom radu su:

- Metoda analogije
- Metoda predominantnih faktora
- Metoda Langbein-a

Što se tiče definisanja velikih voda različitog povratnog perioda njih ćemo odrediti preko

- Metoda predominantnih faktora i
- Metoda profesora Srebrenovića

Ove metode su odabrane iz razloga što pored ostalih parametara, koriste godišnje sume padavina. **Međutim, za preciznije definisanje velikih voda i potrebe izrade glavnog projekta potrebna je analiza, koja uključuje trajanje i intenzitet padavina (ITP krive).**

Podaci o klimatsko meteorološkim prilikama na razmatranom slivu dobijeni su preko klimatoloških stanica iz razmatranog sliva i karte izohijeta godišnjih suma padavina koja je objavljena u "Vodoprivrednoj osnovi Crne Gore".

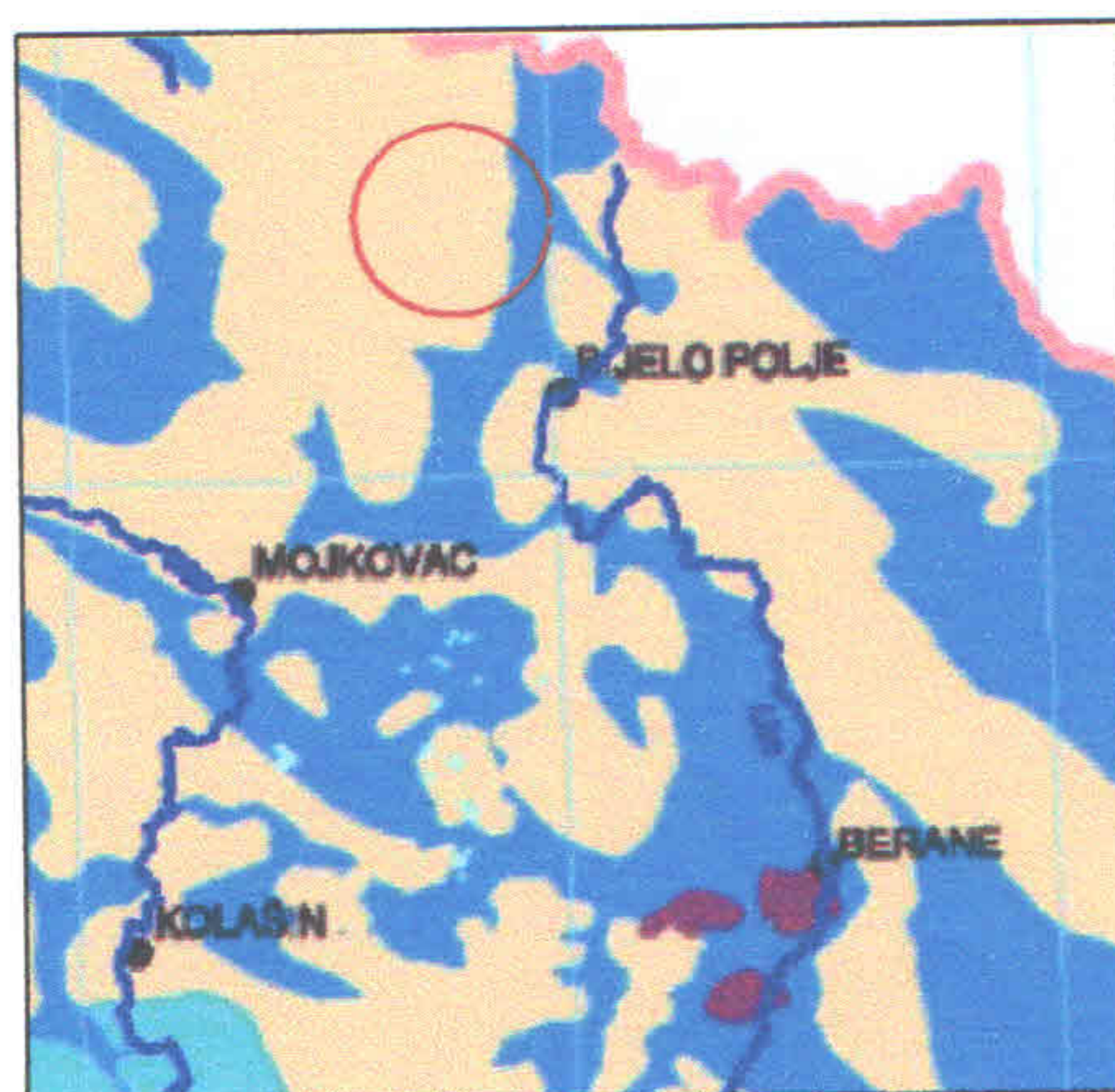
Od topografskih podloga korišćena je georeferencirana karta razmjere R: 1:25 000 i 1:50 000 a obrade su vršene pomoću softverskog paketa MapInfo.

Dakle, ova preliminarna analiza sadržaće sledeće proračune

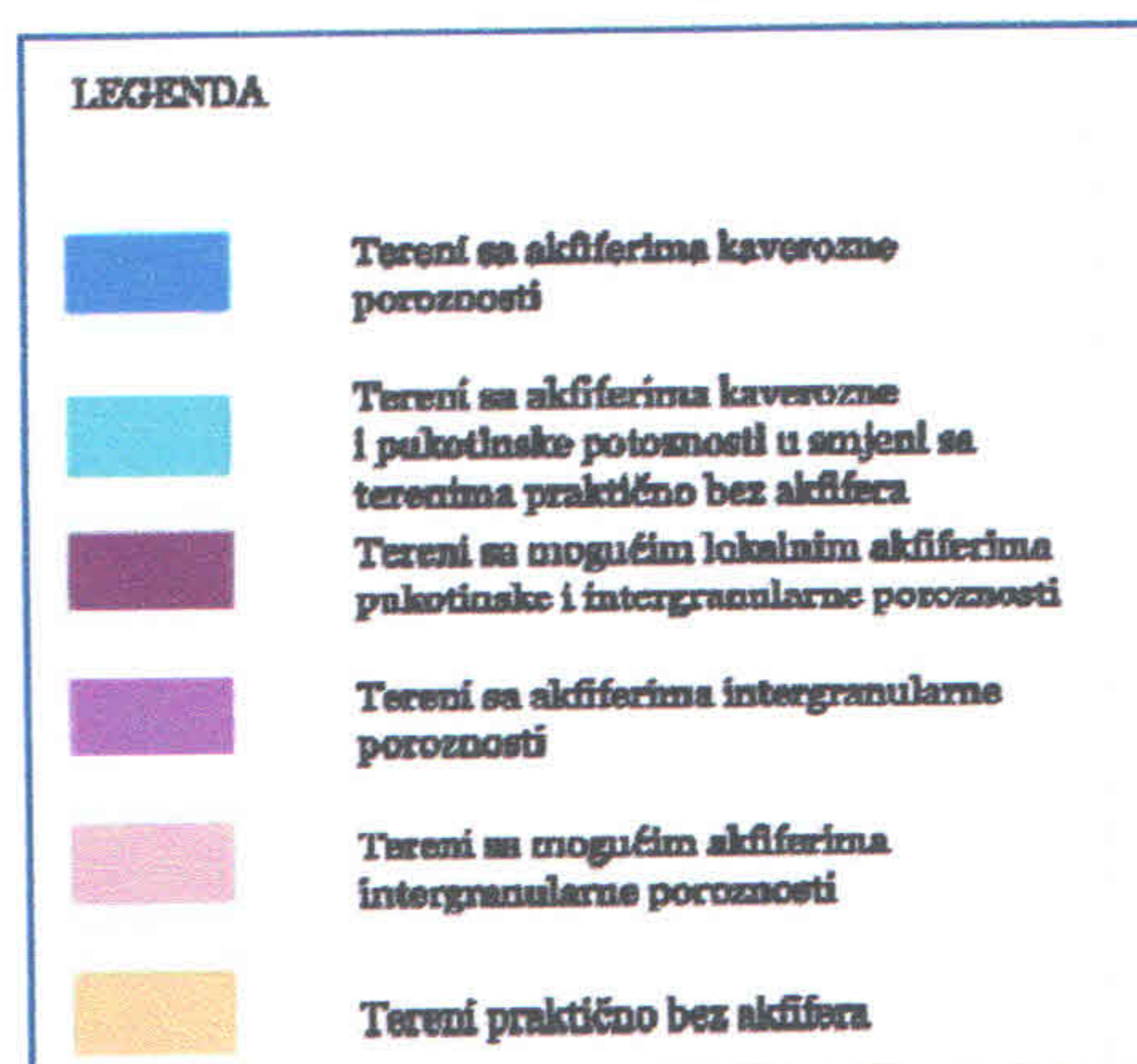
1. Fizičko geografske karakteristike sliva i vodotoka,
2. Određivanje srednjeg višegodišnjeg protoka po metodama koje su navedene u uvodu
3. Proračun krive trajanja metodom analogije
4. Proračun velikih voda u profilu mašinske zgrade
5. Proračun buto energetskog potencijala

U uvodnom dijelu elaborata, samo informativno, dajemo uopšteno informacije vezane za geologiju predmetnog sliv.

Na osnovu raspoloživih hidrogeoloških podloga ("Vodoprivredne osnove Republike Crne Gore" iz 1998 g.) može se zaključiti da gornji dio sliva rijeke Lještanice, čine tereni sa akviferima kaverozne poroznosti dok su u donjim djelovima sliva prisutni tereni praktično bez akvifera.

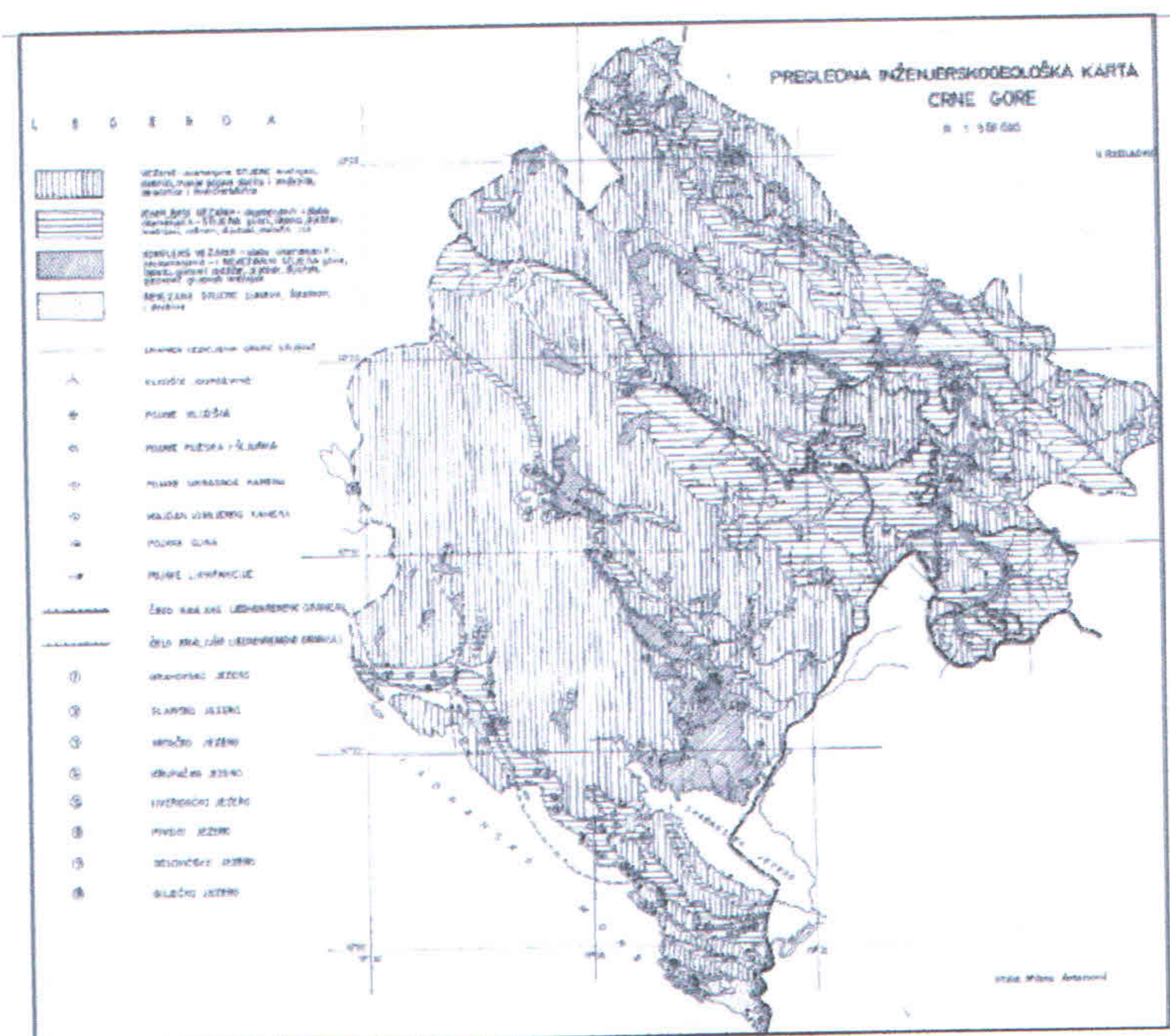


Hidrogeoloska karta Crne Gore



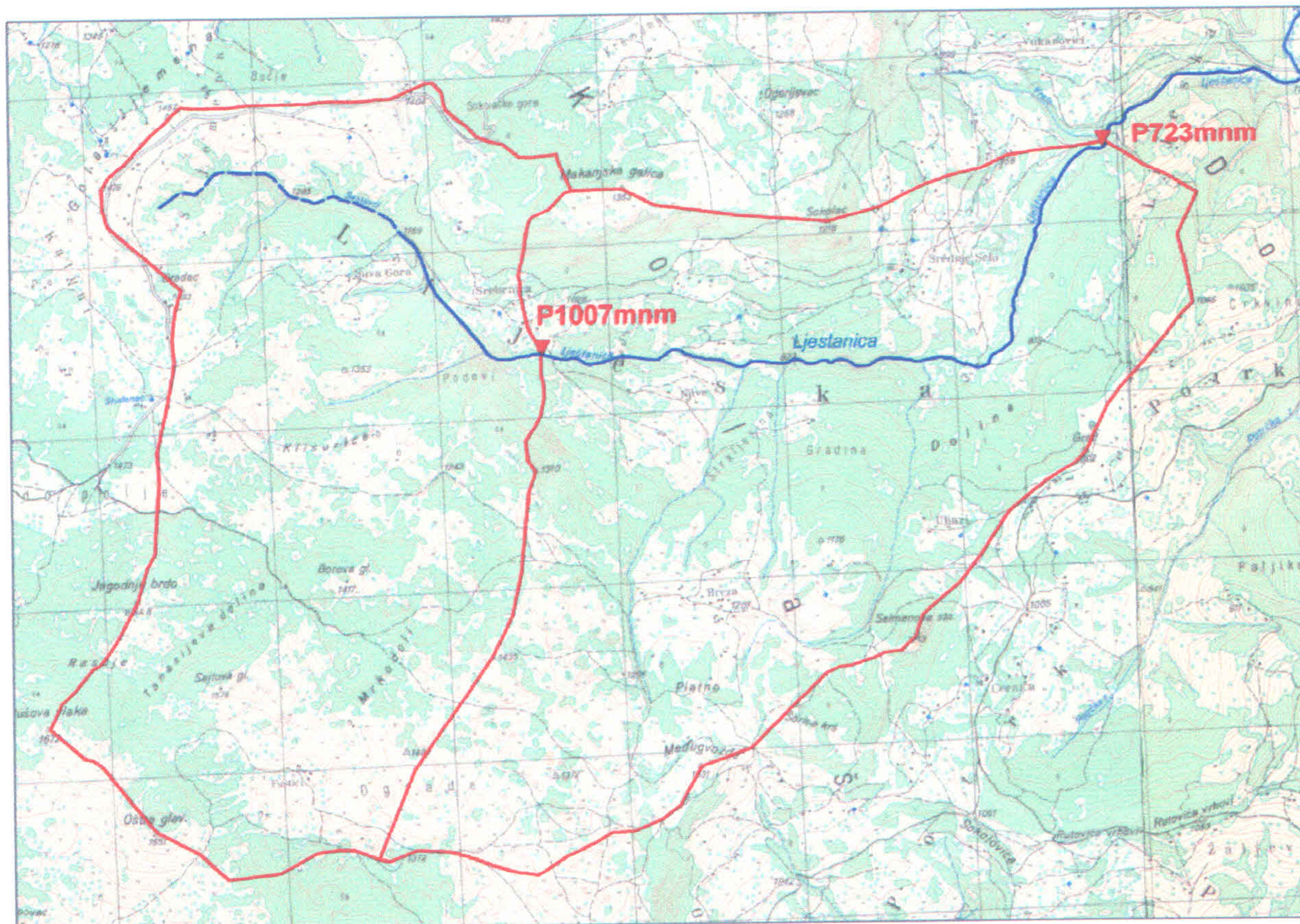
Hidrogeoloska klasifikacija stijena

U inženjerskogeološkom smislu ti tereni predstavljaju vezane okamenjene stijene, krečnjaci i dolomiti presijecani sa kompleksima vezanih-okamenjenih i slabo okamenjenih stijena- glinci, laporci, pješčari i krečnjaci. (prof. V. Radulović –Pregledna inženjerskogeološka karta Crne Gore).



Prema karti erozionih područja (PPCG do 2020g) u slivnom području Lještanice imamo prisustvo srednje jake erozije.

- Fizičko geografske karakteristike sliva i vodotoka-



Pregledna karta sliva rijeke Lještanice do kote 1007 i kote 723 mnm

Fizičkogeografske karakteristike sliva i vodotoka koje su nam potrebne pri određivanju srednjeg višegodišnjeg protoka i karakterističnih velikih voda različitog povratnog perioda, date su u tabeli na sledećoj strani.

Površina sliva rijeke Lještanice, do profila na koti 1007 mnm je 9.75 km². Oblik sliva je takav da pretpostavlja brzu koncentraciju, "krace" trajanje velikih voda i kratkotrajno oticanje duž samog toka.

Maksimalna visina u slivu je 1672 mnm, srednji pad sliva 34.0 %, uravnati pad stalnog toka do profila vodozahvata 11.3%, a 11.0% za stalni + povremeni tok.

U nastavku je prikazana tabela sa fizičko geografskim parametrima sliva i vodotoka koji će nam biti potrebni pri određivanju srednjeg višegodišnjeg protoka u profilu vodozahvata, kao i karakterističnih velikih voda.

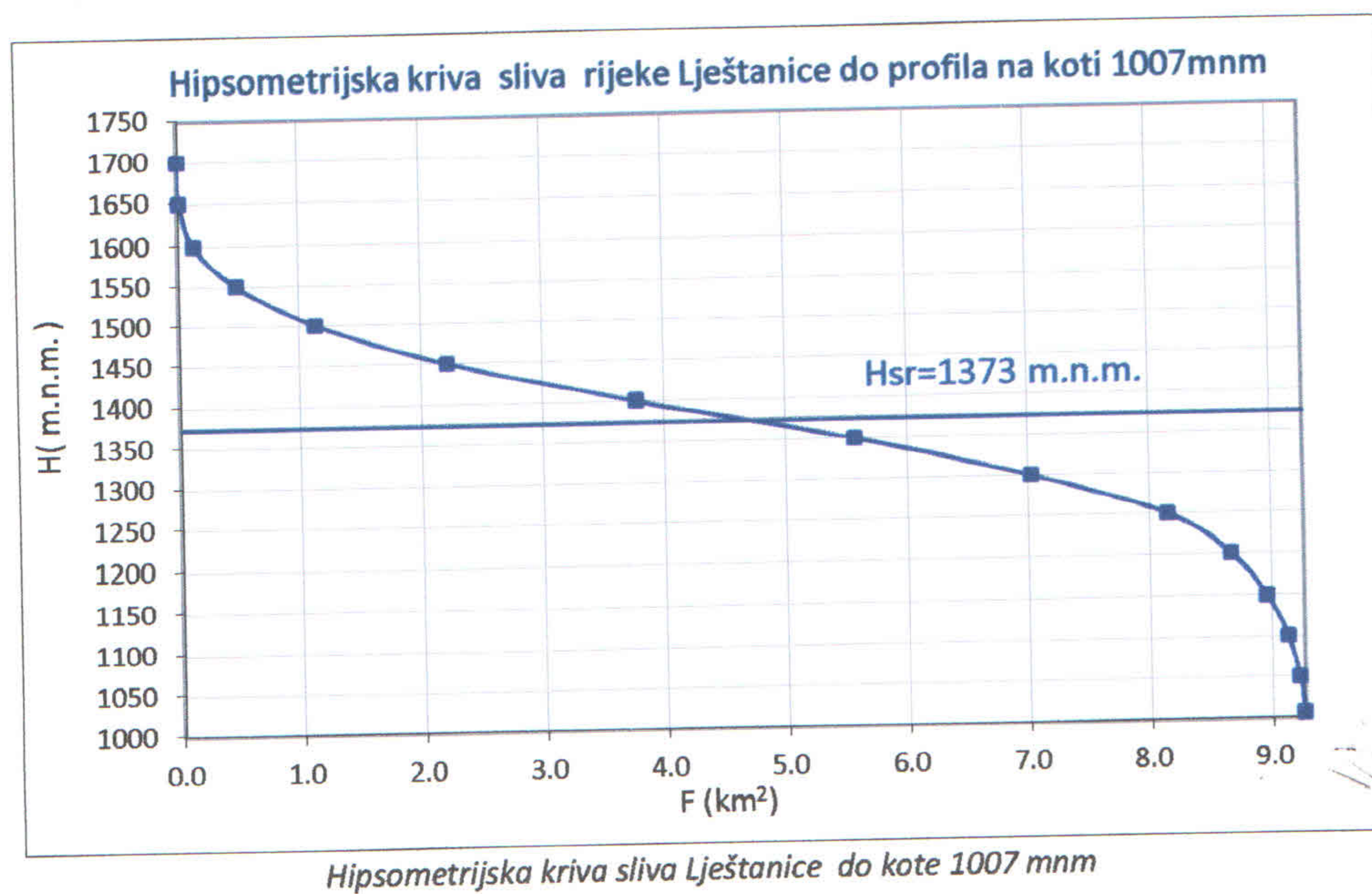
Tabela fizičko-geografskih karakteristika sliva i vodotoka

1	Površina sliva F	9.25	[km ²]
2	Dužina toka L_T	1.53(3.14)	[km]
3	Dužina sliva L_s	2.90	[km]
4	Obim sliva S	13.5	[km]
5	Srednja širina sliva $B=F/L_s$	3.19	[km]
6	Pravolinijska udaljenost izvor-ušće L_i	1.16(2.39)	[km]
7	Pravolinijska udaljenost težišta sliva od ušća U_T	1.54	[km]
8	Koeficijent razvijenosti vododjelnice K_s	1.254	[-]
9	Koeficijent izduženja sliva K_G	0.253(1.066)	[-]
10	Koeficijent koncentracije sliva K_c	0.890	[-]
11	Koeficijent krivudavosti toka K_L	1.319(1.314)	[-]
12	Maksimalna visina sliva H_{max}	1672	[mnm]
13	Minimalna visina sliva H_{min}	1007	[mnm]
14	Srednji pad sliva I_{sr}	34.0	[%]
15	Maksimalni pad kosine doline I_{max}	31.4	[%]
16	Srednja nadmorska visina sliva H_{sr}	1373	[mnm]
17	Srednja visinska razlika sliva ΔH	366	[m]
18	Uravnati pad toka I_t	11.3(11.0)	[%]
19	Maksimalni pad toka I_{t1}	15.5(18.1)	[%]
20	Srednji maksimalni pad toka I_{t2}	10.6(11.6)	[%]

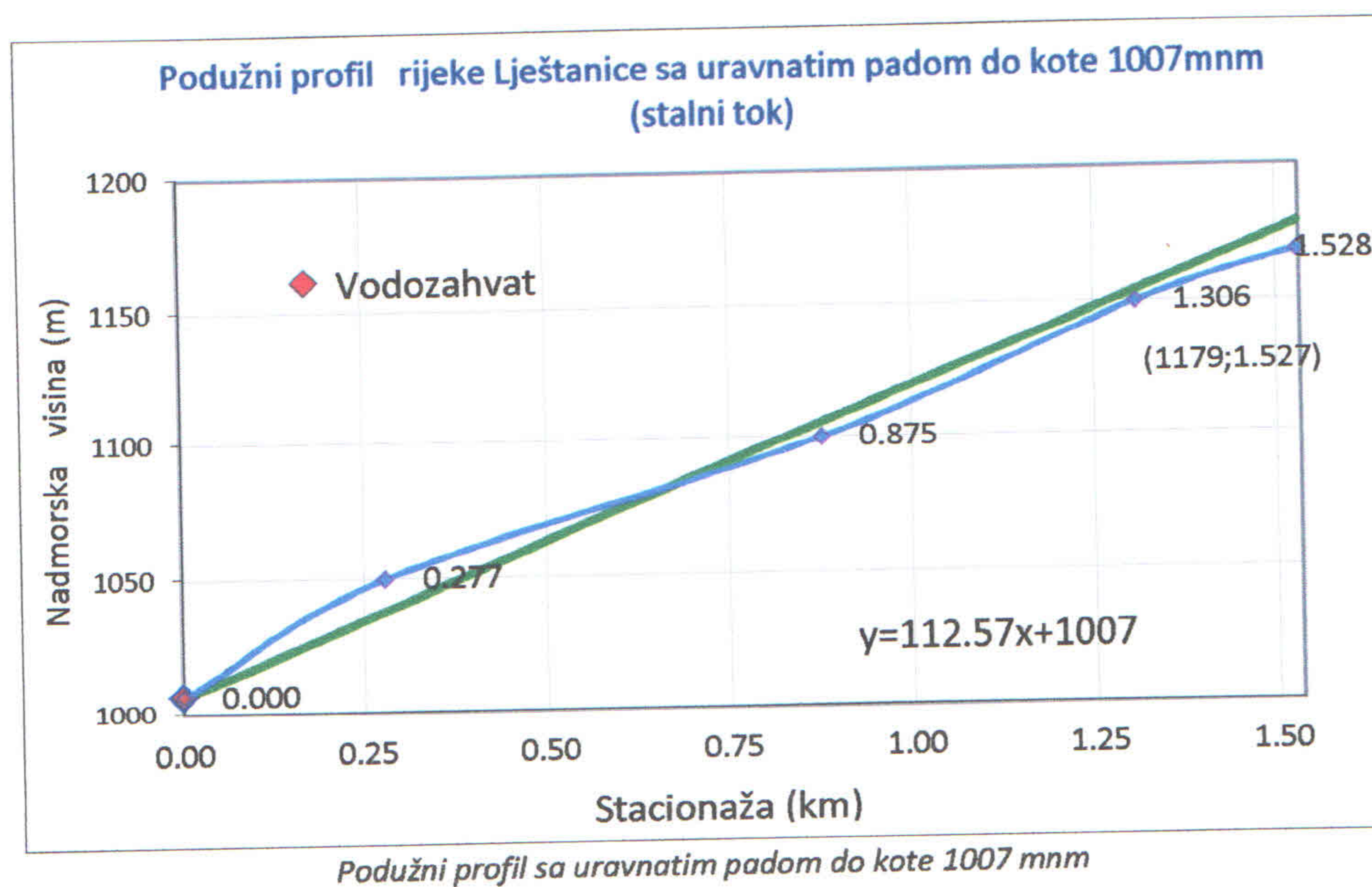
Jedan od potrebnih ulaznih parametara, kod metoda koje ćemo koristiti pri određivanju srednjeg višegodišnjeg protoka i karakterističnih velikih voda je i srednji pad sliva, koji se dobija na osnovu hipsometrijske krive sliva.

Hipsometrijska kriva sliva predstavlja zavisnost procentualne zastupljenosti pojedinih visina sliva u funkciji površine sliva.

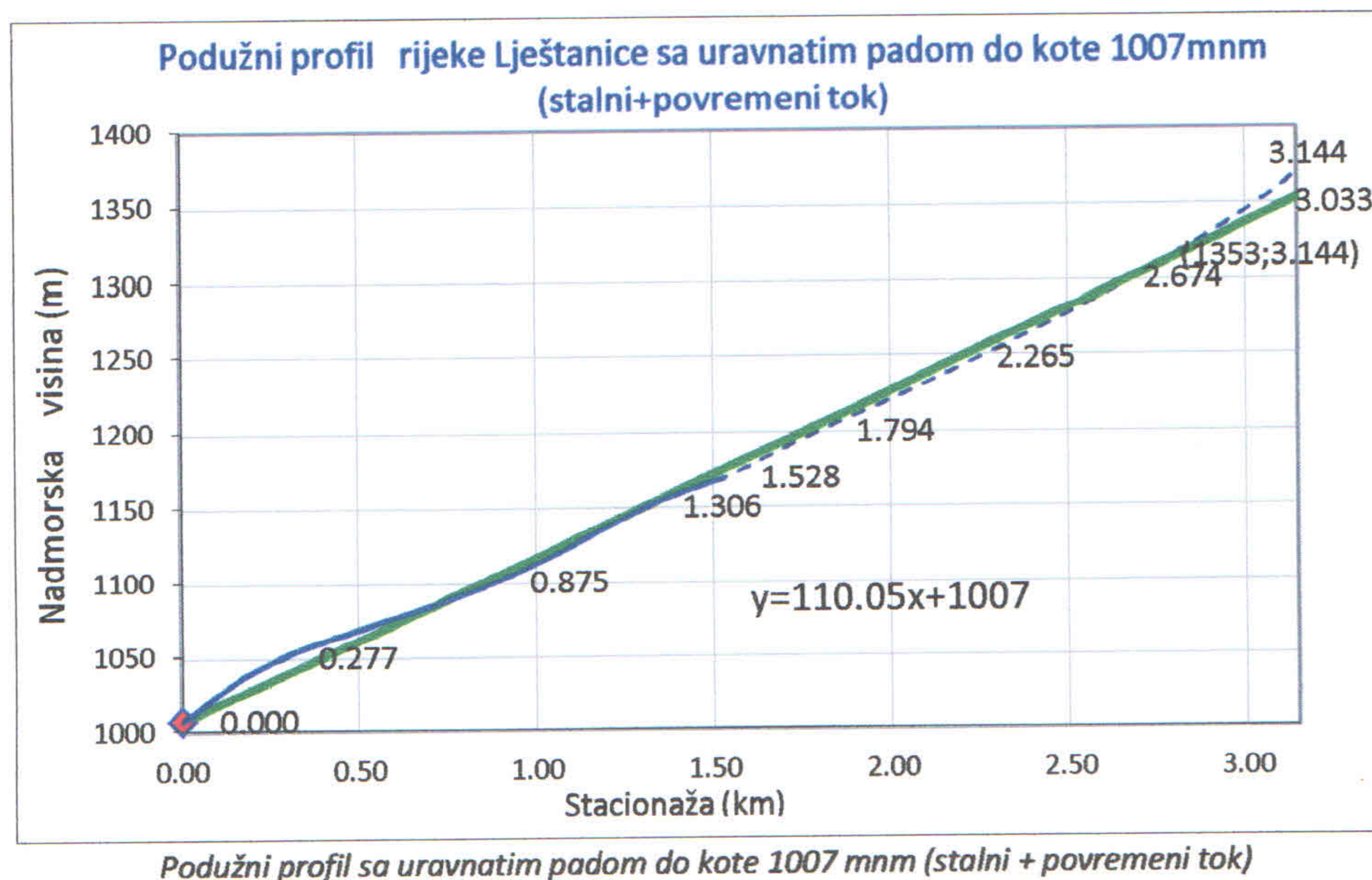
Srednja nadmorska visina sliva Lještanice do kote 1007 mnm iznosi 1373 mnm. Hipsometrijska kriva sliva do ove kote prikazana je na grafiku na sledećoj strani



Podužni profil Lještanice i njen uravnati pad do profila 1007 mnm za koji računamo srednji višegodišnji protok prikazan je na grafiku koji slijedi.



Podužni profil Lještanice i njen uravnati pad do vodozahvata (stalni+povremeni tok) dat je na grafiku koji slijedi.



-Određivanje srednjeg višegodišnjeg protoka u profilu P 1007 mnm-

-Metoda analogije-

Jedna od metoda za približno određivanje vrijednosti prosječnih godišnjih proticaja je metoda po kojoj se traži sliv analog, za koji se već raspolaže hidrološkim podacima. Ti se hidrološki podaci i analize na osnovu njih, zatim preslikavaju na hidrološki neizučeni tj nemjeren sliv od interesa.

Za približno određivanje prosječnih proticaja na hidrološki nemjerenom slivu, pomoću sliva analoga koristi se sledeći obrazac:

$$Q_n = Q_a \times \frac{F_n}{F_a} \times \frac{Z_n}{Z_a} \times \frac{P_n}{P_a} \quad \text{gdje je:}$$

n - indeks koji označava sliv za koji se računa proticaj (nepoznato Q)

a - oznaka za sliv analog (za koji se raspolaže mjernim podacima),

Q - prosječni višegodišnji proticaj,

F - površina sliva,

Z - srednja nadmorska visina sliva (mnm)

P - prosječne padavine na slivu (mm).

Da bi se neki sliv mogao uzeti za sliv analog, mora sa slivom koji se računa ispunjavati sledeće uslove

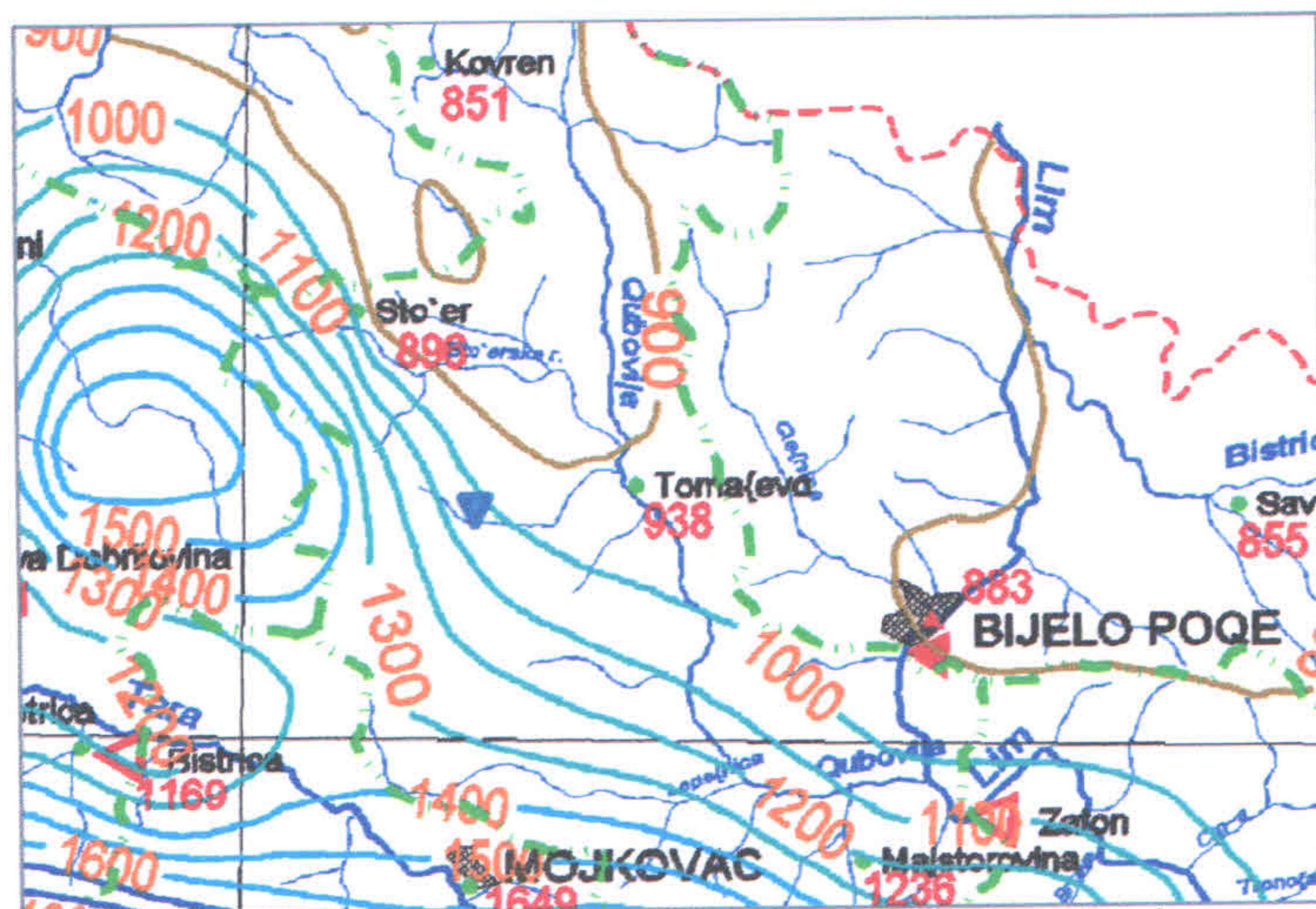
- Da je geografski blizak sa slivnim područjem koje se analizira
- Da u svim slivovima vladaju slični klimatski uslovi
- Da su uslovi formiranja oticaja, tip zemljišta, hidrogeološki uslovi itd. su slični i
- Da se površine slivova ne razlikuju više od 5-10 puta, a razlika srednjih nadmorskih visina ne prelazi 300 m.

Za određivanja srednjeg višegodišnjeg proticaja Lještanice u profilu vodozahvata (1007 mnm) metodom analogije, za slivove analoge koristimo podatke sa hidrološke stanice Tomaševo, istorijske podatke sa HS Sladici na Ljubovići kao i podatke sa HS Majstorovina na Bistrici koja je osmatrana u periodu 2007-2008 g.

Podaci sa HS Majstorovina prikazani su u elaboratu „*Hidrološka obrada za profile malih (mini, mikro) hidroelektrana (mHE) na pritokama glavnih vodotoka u Crnoj Gori (druga faza)*“. Ovaj elaborat je rezultat saradnje ZHMSCG i Norveškog direktorata za vode. U okviru elaborata proticaj Bistrice iz perioda (2007-2008 g.) je, na osnovu podataka o padavinama iz tog perioda, sveden na višegodišnju očekivanu vrijednost, koju ćemo u analizi koristiti.

Za HS Tomaševo na Lještanici vodnost perioda koji je osmatran odstupa od višegodišnjeg prosjeka svega 0,7%, tako da smo u proračun ušli sa podacima kojima smo raspolagali.

Karta izohijeta (VORCG, period obrade 1949-1991 g) prikazana je na donjoj slici.



Karta izohijeta (Vodoprivredne osnove Republike Crne Gore)

▼ Profil na koti 1007 mnm

Prema karti izohijeta godišnjih suma padavina, prikazanoj na prethodnoj strani, prosječna višegodišnja suma padavina u slivu Lještanice kreće se od 1100 mm/god u gornjim dijelovima sliva do 900 mm/god u najnižim djelovima.

U ovom slivu 46.7% padavina se javlja u vegetacionom periodu. Najveće padavine se javljaju tokom perioda oktobar-decembar, kada se u prosjeku izluči 31% godišnje sume padavina, a najmanje u periodu jul-septembar sa 22% godišnjih padavina. U širem regionu (Bijelo Polje) maksimalne dnevne padavine se kreću od 48 mm/dan za vjerovatnoću $p=50\%$ pa do 145 mm/dan za $p=1\%$ (period 1951-1996 g).

Podaci za rijeku Lještanicu do kote 1007 mnm, potrebni za određivanje srednjeg višegodišnjeg protoka po metodi analogije su:

PVZ: 1007 mnm;

$F_n = 9.25 \text{ km}^2$;

$Z_n = 1373 \text{ mnm}$;

$P_n = 1050 \text{ mm}$.

▪ **Sliv analog - Lještanica profil HS Tomaševo**

Podaci sa HS Tomaševo potrebni za proračun po metodi analogije:

$Q_a = 1.708 \text{ m}^3/\text{s}$; $F_a = 27.6 \text{ km}^2$; $Z_a = 1192 \text{ mnm}$; $P_a = 950 \text{ mm}$

$$Q_n = Q_a \times \frac{F_n}{F_a} \times \frac{Z_n}{Z_a} \times \frac{P_n}{P_a} = 1.708 \times \frac{9.25}{27.6} \times \frac{1373}{1192} \times \frac{1050}{950} = 0.729 \text{ m}^3 / \text{s}$$

▪ **Sliv analog - Bistrica profil HS Majstorovina**

Podaci sa HS Majstorovina potrebni za proračun po metodi analogije:

$Q_a = 2.13 \text{ m}^3/\text{s}$; $F_a = 19.4 \text{ km}^2$; $Z_a = 1542 \text{ mnm}$; $P_a = 1300 \text{ mm}$

$$Q_n = Q_a \times \frac{F_n}{F_a} \times \frac{Z_n}{Z_a} \times \frac{P_n}{P_a} = 2.13 \times \frac{9.25}{19.4} \times \frac{1373}{1542} \times \frac{1050}{1300} = 0.730 \text{ m}^3 / \text{s}$$

▪ Sliv analog – Ljuboviđa profil Sadići

Podaci za profil Sadići potrebni za proračun po metodi analogije:

$$Q_a = 0.432 \text{ m}^3/\text{s}; F_a = 16.5 \text{ km}^2; Z_a = 1134.8 \text{ mnm}; P_a = 900 \text{ mm}$$

$$Q_n = Q_a \times \frac{F_n}{F_a} \times \frac{Z_n}{Z_a} \times \frac{P_n}{P_a} = 432 \times \frac{9.25}{16.5} \times \frac{1373}{1134.8} \times \frac{1050}{900} = 0.342 \text{ m}^3/\text{s}$$

-Metoda Langbein-a-

Primjena metode Langbein-a zahteva prethodno provjeravanje parametara metode na osmotrenim profilima hidroloških stanica u razmatranom slivu ili šire.

Za proračun vrijednosti srednjeg višegodišnjeg proticaja metoda Langbein-a koristi zavisnost

$$Q_{sr} / K = f(P_{sr} / K) \quad \text{gdje je:}$$

Q_{sr} - prosječni višegodišnji sloj oticanja u slivu u cm,

P_{sr} - prosječne višegodišnje padavine u slivu,

K - Temperaturni faktor koji se definiše preko izraza

$$K = 10^{(0.027 \cdot T + 0.886)}$$

T - prosječna višegodišnja temperatura vazduha u slivu u °C.

Na osnovu poznatih vrijednosti temperature vazduha, korišćenjem navedene jednačine dobija se odgovarajuća vrijednost promjenljive K .

Preko zavisnosti Langbein-a (uz korišćenje nomograma) za poznati odnos prosječnih višegodišnjih padavina i promjenljive K (temperaturni faktora) određuje se odnos Q_{sr}/K , a zatim i prosječni višegodišnji sloj oticanja Q_{sr} iskazan u cm.

U cilju sagledavanja klimatsko meteoroloških parametara na razmatranom slivu korišćeni su raspoloživi podaci ZHMSCG na najbližoj oficijelnoj meteorološkoj stanici Bijelo Polje. Prosječna višegodišnja temperatura vazduha na ovoj meteorološkoj stanici

iznosi 8.8°C. Trend smanjenja temperature vazduha sa visinom u Crnoj Gori iznosi 0.8°C/100m, što praktično znači, s obzirom da se najveći dio sliva nalazi između kota 1100 i 1500 mnm, da se prosječna višegodišnja temperatura vazduha u slivu Lještanice kreće između 4.8°C i 1.6°C. Unutar godine najtopliji mjesec je jul sa višegodišnjim prosjekom od 18.0 °C a najhladniji mjesec je januar sa vrijednošću od -1.7°C.

Za proračun sloja oticanja, u ovom radu smo koristili modifikovani izraz koji je dobijen tako što je za čitav sliv Lima urađena analiza oticanja po ovoj metodi, pa je na kraju izvršena njena modifikacija na osnovu osmotrenih proticaja i kao srednji pravac te zavisnosti dobijen je izraz

$$Q_{ot} = 1.124 \times Q_{1b} + 161 \text{ (mm) (HMZCG)}$$

Dalji proračun sprovedemo na osnovu ove relacije.

U tabeli je dat proračun srednjeg višegodišnjeg protoka po metodi Langbein-a za profil PVZ 1007 mnm

Rijeka,profil	F (km ²)	P _{sr} (cm)	T (°C)	K	P _{sr} /K	Qs/K	Q1b (cm)	Qot (cm)	q (l/s/km ²)	Q (m ³ /s)
Popča PVZ 845 mnm	9.25	105	2.6	9.04	11.6	6.11	55.2	78.1	24.8	0.229

-Metoda predominantnih faktora (M.P.F.)-

Ovom metodom dobijamo vrijednost srednjih prosječnih voda i velike vode različitih povratnih perioda (T= 10, 20, 50 i 100 g)

Po ovoj metodi velike vode se dobijaju interpolacijom a ne ekstrapolacijom opaženih veličina, što je njena glavna odlika i vrijednost. Hidrološki parametri koji su relativno konstantni po veličini i vremenu, a utiču na režim voda su:

- Prosječne godišnje padavine,
- Topografija sliva
- Pluvio topografski indeks

$$P_h = h \times I_{sl} \quad \begin{array}{l} h\text{-prosječna godišnja visina padavina na slivu (m)} \\ I_{sl} \text{ – srednji pad sliva} \end{array}$$

- Linijski pluviotopografski indeks

$$P_i = \frac{P_h \times l_t}{L} \times 10^9 \quad l_t - \text{uravnati pad toka (\%)} \\ L - \text{dužina toka (km)}$$

■ Koeficijent godišnjeg oticanja

$$\eta = \frac{A}{\frac{\pi}{2}} \times \arctg\left(\frac{P_h^{0.389}}{0.833}\right)$$

A – parametar stanja sliva koji varira od 0.90 do 1.10 i uključuje u sebi nedominantne faktore, koje je inače zametnije identifikovati.

$$h_0 = \eta \times h \quad \text{odnosno } q = \frac{h_0}{0.0315}$$

Parametar stanja sliva računa se po osnovu zastupljenosti vegetacije i pošumljenosti zemljišta.

$$A = (a_1 \times P_1 + a_2 \times P_2 + a_3 \times P_3 + a_4 \times P_4) \times a_5$$

$a_1 = 0.95$ za šume

$a_2 = 1.02$ za livade i pašnjake

$a_3 = 1.03$ za oranice

$a_4 = 1.04$ za goleti

$a_5 = 1.02$ za kompletan sliv

P_1, P_2, P_3, P_4 procentualno učešće zastupljenosti pojedinih struktura u slivu. ($P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1.0$)

■ Srednji godišnji protok

$$Q_{sr} = q \times F \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Srednji godišnji protok je potreban da bi se preko njega odredila prosječna velika voda Q_0 :

$$Q_0 = \eta_0 \times Q_{sr} \quad \text{gdje je } h_0 = 5.2 \times P_i^{0.230} + 1$$

Velike vode različitih vjerovatnoća pojave dobijaju se u odnosu na prosječnu veliku vodu:

$$h_{10g} = 0.51 \times P_i^{0.2315} + 1$$

$$\begin{aligned} h_{20g} &= 0.84 \times P_i^{0.1880} + 1 \\ h_{50g} &= 1.12 \times P_i^{0.1855} + 1 \\ h_{100g} &= 1.31 \times P_i^{0.1985} + 1 \\ h_{1000g} &= 1.85 \times P_i^{0.2045} + 1, \quad \text{pa je} \quad \max Q_{n \text{ god}} = h_{n \text{ god}} \times Q_0 \end{aligned}$$

Nakon opisa metode izvršen je proračun karakterističnih voda za Lještanicu u profilu P 1007 mnm. Potrebni ulazni podaci su:

- površina sliva do mjernog profila $F = 9.25 \text{ km}^2$
- dužina toka $L = 3.14 \text{ km}$
- prosječna godišnja visina padavina u slivu $h = 1050 \text{ mm}$
- srednji pad sliva $I_{sr} = 34\%$
- uravnati pad toka $I_t = 11\%$
- $A = 1.1$

Dobijene vrijednosti po metodi predominantnih faktora

	$Ph = 0.357$
	$\eta = 0.475$
	$h_o = 0.498$
	$q = 15.817 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$
	$Q = 0.146 \text{ m}^3/\text{s}$
	$P_i = 12506.4$
	$h_o = 16.789$
Prosjecna velika voda	$Q_o = 2.456 \text{ m}^3/\text{s}$
	$h_{10} = 2.560$
Velika voda (T=10 g P=10%)	$Q_{10} = 6.288 \text{ m}^3/\text{s}$
	$h_{20} = 3.082$
Velika voda (T=20 g P=5%)	$Q_{20} = 7.571 \text{ m}^3/\text{s}$
	$h_{50} = 3.743$
Velika voda (T=50 g P=2%)	$Q_{50} = 9.194 \text{ m}^3/\text{s}$
	$h_{100} = 4.416$
Velika voda (T=100 g P=1%)	$Q_{100} = 10.848 \text{ m}^3/\text{s}$

- Metoda prof Srebrenovića -

Ova formula je izvedena na osnovu Racionalne formule. Zbog dobro određenih odnosa između karakterističnih parametara od kojih zavisi oticanje velikih rijeka preporučljiva je za praktičnu primjenu. Maksimalni protoci različitih povratnih perioda definisani su izrazom

$$Q_{MP} = 0.48x \frac{\alpha}{(\beta x \omega)^{3/4}} x A^{0.96} x \Psi_P x S^{1/3} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \text{ gdje su } A - \text{površina sliva u km}^2;$$

$$\alpha = 0.80[1 + 0.075x(\log p - \beta)] - \text{koeficijent oticaja; } p - \text{povratni period}$$

$\beta = 1-3$ koeficijent zavisen od pošumljenosti, propustljivosti tla...

$$\Psi_P = [P(1 + 1.5 \log p)]^{1.43} \quad P - \text{prosječne godišnje padavine (m)}$$

$$S - \text{pad sliva određen izrazom } S = \frac{2\Delta H}{L} \quad (\text{m/km})$$

ΔH - je razlika između srednje nadmorske visine sliva H_0 i kote proticajnog profila H

$$\Delta H = H_0 - H \quad (\text{m})$$

L (km) - je duža stranica zamjenjujućeg pravougaonika, čija je površina jednaka površini sliva

$$L = \sqrt{\frac{A(2-K)}{K}} \quad (\text{km}) \quad K - \text{koeficijent koncentrisanosti sliva} \quad K = \frac{2A}{OU}$$

O (km) - obim sliva; U (km) - udaljenost težišta sliva od proticajnog profila

$$\omega - \text{je veličina određena izrazom } \omega = 1 + \frac{\tau_2}{\tau_1}$$

$$\tau_1 = \frac{20x\beta}{[P(1 + 1.5x \log p)]^{0.57} x S^{0.43}} \quad (\text{sati}) \quad - \text{vrijeme površinskog sabiranja}$$

$$\tau_2 = 2.6x \left(\frac{A}{S} \right)^{1/3} \quad (\text{sati}) \quad - \text{vrijeme tečenja duž vodotoka}$$

Tabelarni proračun velikih voda po formuli prof Srebrenovića za usvojeno $\beta = 3.0$ i $P = 0.90$ m. Ostali parametri potrebni za proračun dati su u tabeli fizičkogeografskih karakteristika sliva i vodotoka na strani 5.

	T10	T20	T50	T100
α	0.68	0.70	0.72	0.74
ψ_p	3.98	5.04	6.56	7.78
S	215.5	215.5	215.5	215.5
K	0.890	0.890	0.890	0.890
τ_1	3.435	3.124	2.813	2.627
τ_2	0.910	0.910	0.910	0.910
$\omega(\text{sati})$	1.265	1.291	1.324	1.346
Q (m³/s)	6.72	8.62	11.39	13.68

Iz tabele u kojoj su prikazane vrijednosti velikih voda različitog povratnog perioda dobijene metodom profesora Srebrešnića vidimo da se vrijeme površinskog sabiranja (padavine od kojih se formira direktni oticaj) kreće se od 3.435 h za 10-togodišnu do 2.627 h za stogodišnju veliku vodu i ove vrijednosti su u granicama za ovu veličinu sliva i njegove osobine.

Vrijeme prolaska talasa velike vode duž vodotoka je 0.910 h.

-Analiza dobijenih rezultata i usvajanje Q_{sr} za profil P 1007 mnm-

-Srednje vode-

Dobijene vrijednosti za Q_{sr} po metodi analogije i metodi predominantnih faktora i njihovi moduli oticaja dati su u sledećoj tabeli.

Vodotok	Metoda analogije			Langbein	M.P.F.	Usvojena vrijednost
	Lješnica HS Lješnica	Bistrica HS Majstorovina	Ljuboviđa -Sadići			
Lješnica 1007 mnm Q(m ³ /s)	0.729	0.730	0.342	0.229	0.146	0.433
q (l/s*km ²)	78.811	78.919	36.973	24.757	15.784	46.811

Rezultati dobijeni primijenjenim metodama pokazuju velika odstupanja. U slučajevima kada imamo sopstvene podatke za vodotok na kom se računa profil bez sopstvenih osmatranja i mjerenja, srednji protok računskog profila usvojili bi smo na osnovu

podataka sa profila koji raspolaže sopstvenim podacima. Međutim, na osnovu mjerenja koja su vršena na profilima Lještanice u njenom gornjem (iznad 1000 mnm) i donjem toku (poslije ulivanja Vrela), pokazuju da na vodnost Lještanice značajno utiče vodotok Vrelo koji se u Lještanicu uliva na koti 725 mnm. Dakle, na osnovu tih saznanja i podataka sa terena, ne smijemo usvojiti proticaj koji se dobija na osnovu HS Tomaševo jer ne bi odgovarao stvarnom stanju na terenu. U ovom slučaju, iz analize ćemo isključiti minimalnu i maksimalnu dobijenu vrijednost (0.730 i 0.146 m³/s) i za Qsr u profilu 1007 mnm usvajamo osrednjenu vrijednost preostalih rezultata koja iznosi **0.433 m³/s**.

U nastavku sračunaćemo module oticaja za profil P1007 mnm i za profil Tomaševo na Lještanici.

$$\text{P 1007mnm} \quad q = \frac{Q \times 1000}{a} = \frac{0.433 \times 1000}{9.25} = 46.811 \text{ l/skm}^2$$

$$\text{Lještanica HS Tomaševo} \quad q = \frac{Q \times 1000}{a} = \frac{1.708 \times 1000}{27.6} = 61.88 \text{ l/skm}^2$$

-Velike vode (VV)-

Prikazaćemo tabelarno izračunate vrijednosti velikih voda i njihove module oticaja.

Q(m ³ /s)	MPF	Formula prof. Srebrenovića	q (m ³ /s*km ²)	
			MPF	Formula prof. Srebrenovića
Q ₁₀	6.29	6.72	0.68	0.73
Q ₂₀	7.57	8.62	0.82	0.93
Q ₅₀	9.19	11.39	0.99	1.23
Q ₁₀₀	10.85	13.68	1.17	1.48

Vrijednosti 100-godišnjih velikih voda dobijenih metodom M.P.F. i metodom prof. Srebrenovića se razlikuju oko 21%.

Kao što smo rekli za HS Tomaševo raspolažemo ukupno sa 14 godina sopstvenih osmatranja i mjerenja. Međutim taj niz je suviše kratak da bi smo na njega mogli primijeniti metode matematičke statistike i po nekoj od raspodjela dobili vrijednosti velikih voda.

Obzirom na sve ono što smo rekli vezano za vodnost gornjeg dijela sliva Lještanice u odnosu na donji, za profil 1007 mnm usvajamo vrijednosti dobijene po MPF.

Za potrebe izrade glavnog projekta potrebno je uraditi studiju koja će velike vode definisati u profilu vodozahvata i mašinske zgrade buduće mHE. Taj proračun treba da se zasniva na metodama koje uključuju intenzitet i trajanje padavina, za povratni period potreban za dimenzionisanje kote cjevovoda

- Proračun krive trajanja metodom analogije u profilu P 1007 mnm -

Za definisanje krive trajanja, korišćena je metoda analogije. Prvo smo za vodotok analog (Lještanica) odredili krivu trajanja sa karakterističnim vrijednostima trajanja.

Na osnovu nje urađena je modulna kriva trajanja za HS Tomaševo. Modulna kriva trajanja dobija se po obrascu:

$$K(T) = \frac{Q(T)}{Q_s} \quad \text{gdje su}$$

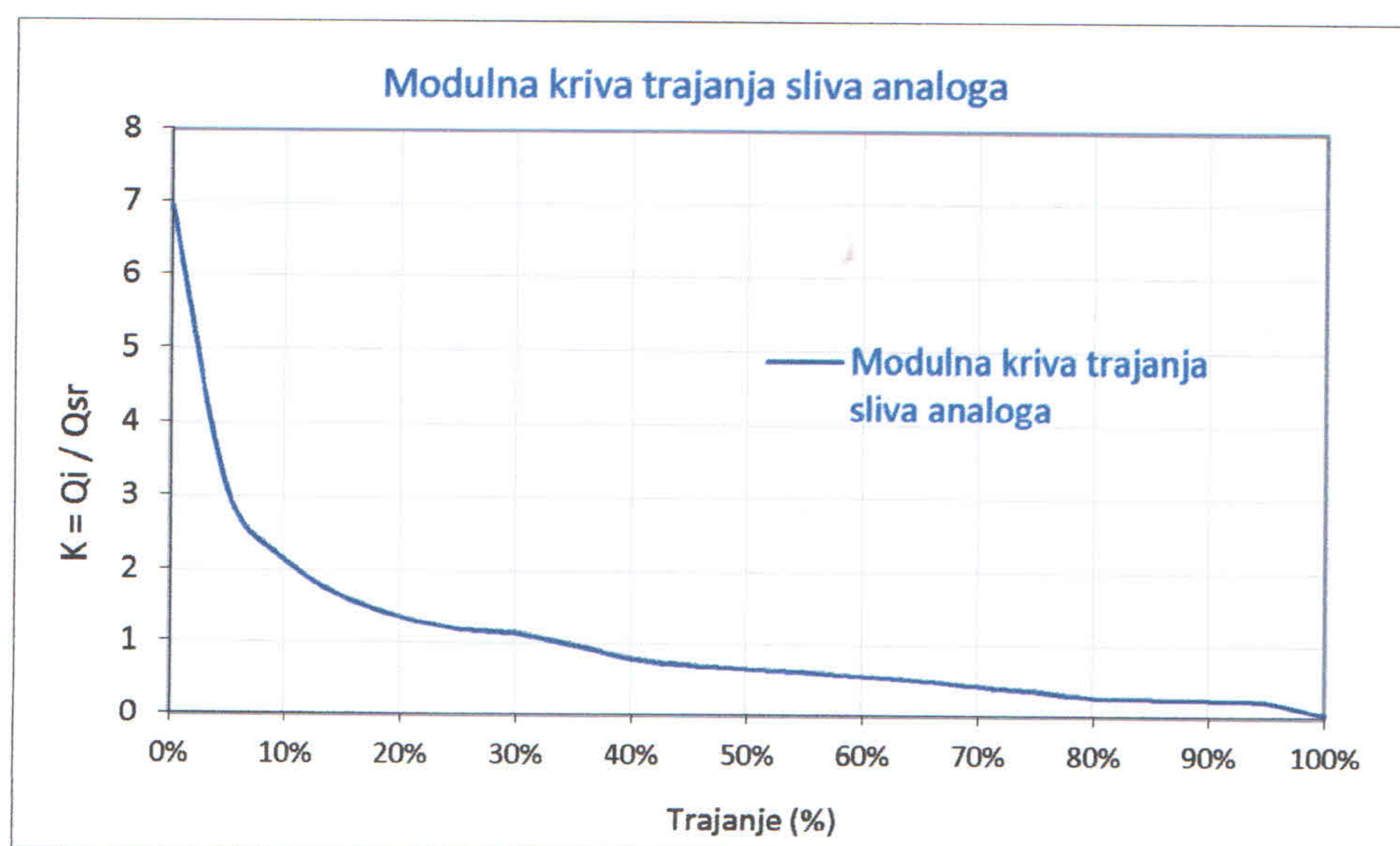
$Q(T)$ - Proticaj u profilu rijeke trajanja T u %.

Q_s - Prosječni višegodišnji proticaj u profilu razmatranog vodotoka.

Za proračun krive trajanja srednje dnevnih proticaja u profilu vodozahvata 1007 mnm, vrijednost ordinate krive trajanja dobijaju se pomoću sledeće formule

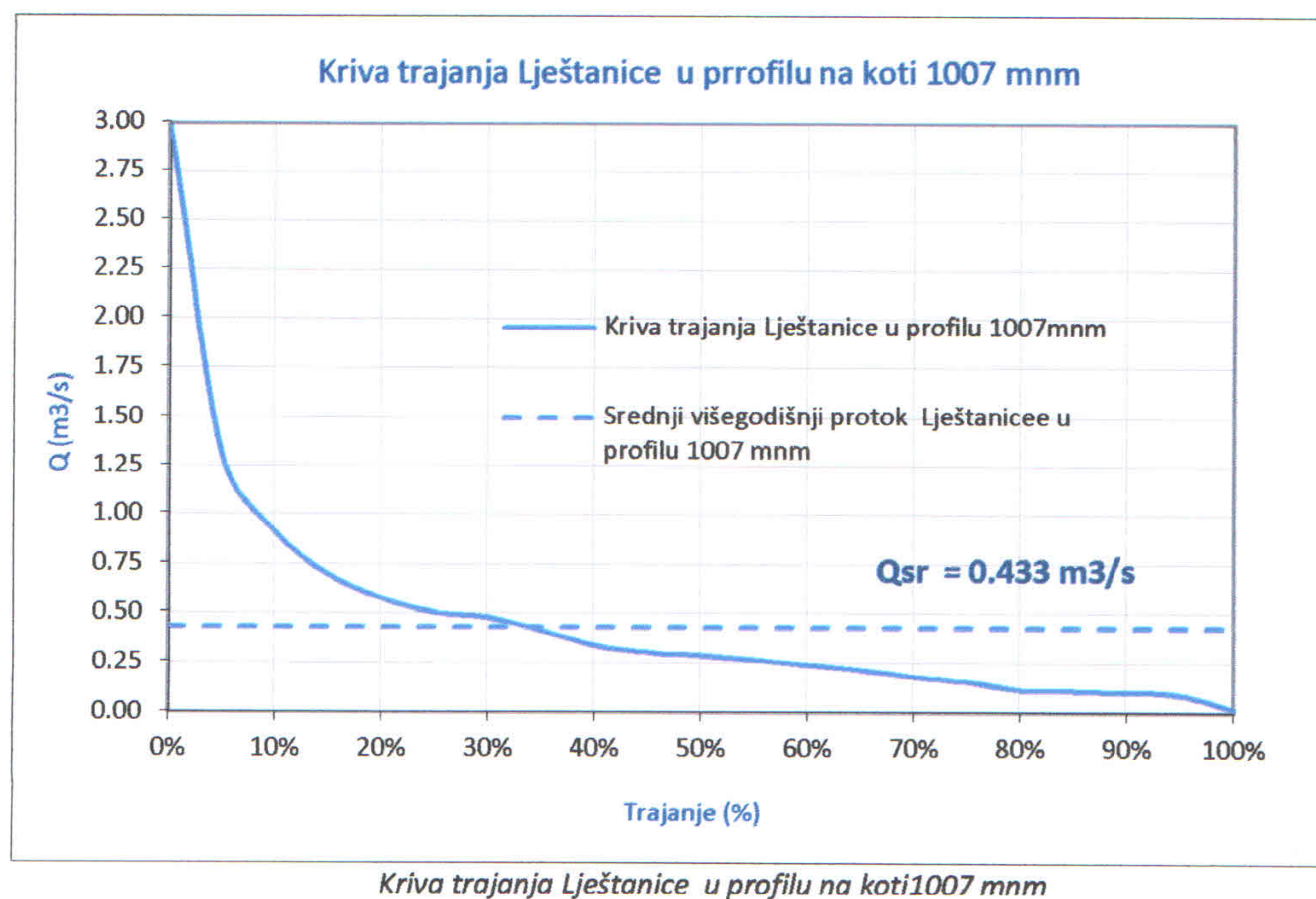
$$Q_{dn,VZ} = K(T) * Q_{sr}^{VZ} \quad \text{gdje je}$$

Q_{sr}^{VZ} - prosječni višegodišnji proticaj u profilu vodozahvata



Modulna kriva trajanja sliva analoga

Kriva trajanja Lještanice u profilu na kolu P1007 mnm prikazana je na grafiku koji slijedi



Karakteristična trajanja su prikazana u sledećoj tabeli.

T(%)	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Q(m3/s)	3.042	1.325	0.932	0.710	0.587	0.513	0.488	0.425	0.349	0.311	0.293
T(%)	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	
Q(m3/s)	0.273	0.247	0.222	0.184	0.158	0.120	0.102	0.082	0.040	0.019	

Srednji višegodišnji protok $Q = 0.433 \text{ m}^3/\text{s}$ i svi protoci veći od njega traju prosječno oko 35% ili 128 dana.

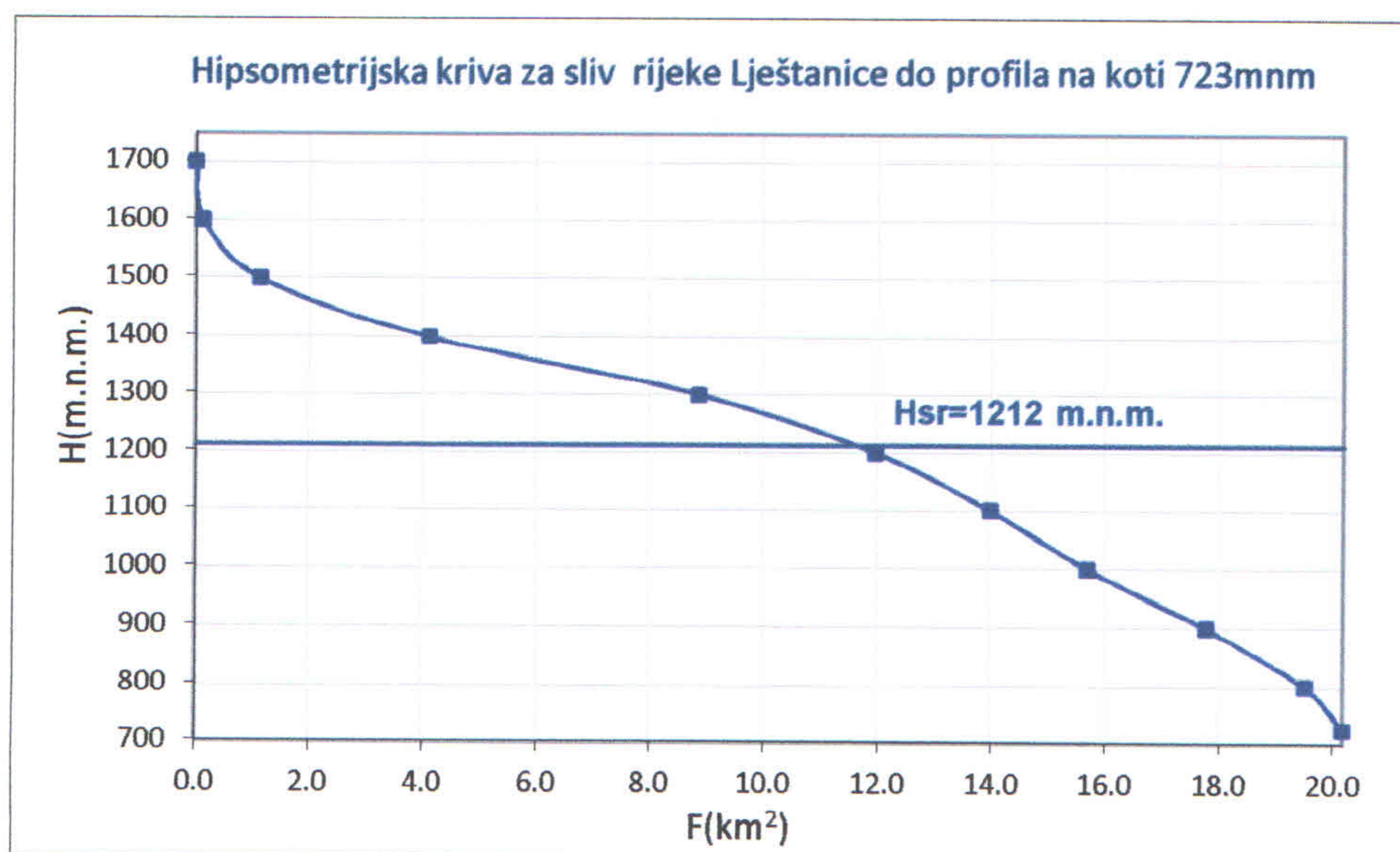
-Proračun velikih voda u profilu P723 mnm-

Da bi smo proračunali VV u profilu P723 mnm potrebno je bilo uraditi fizičkogeografske karakteristike sliva do predmetnog profila.

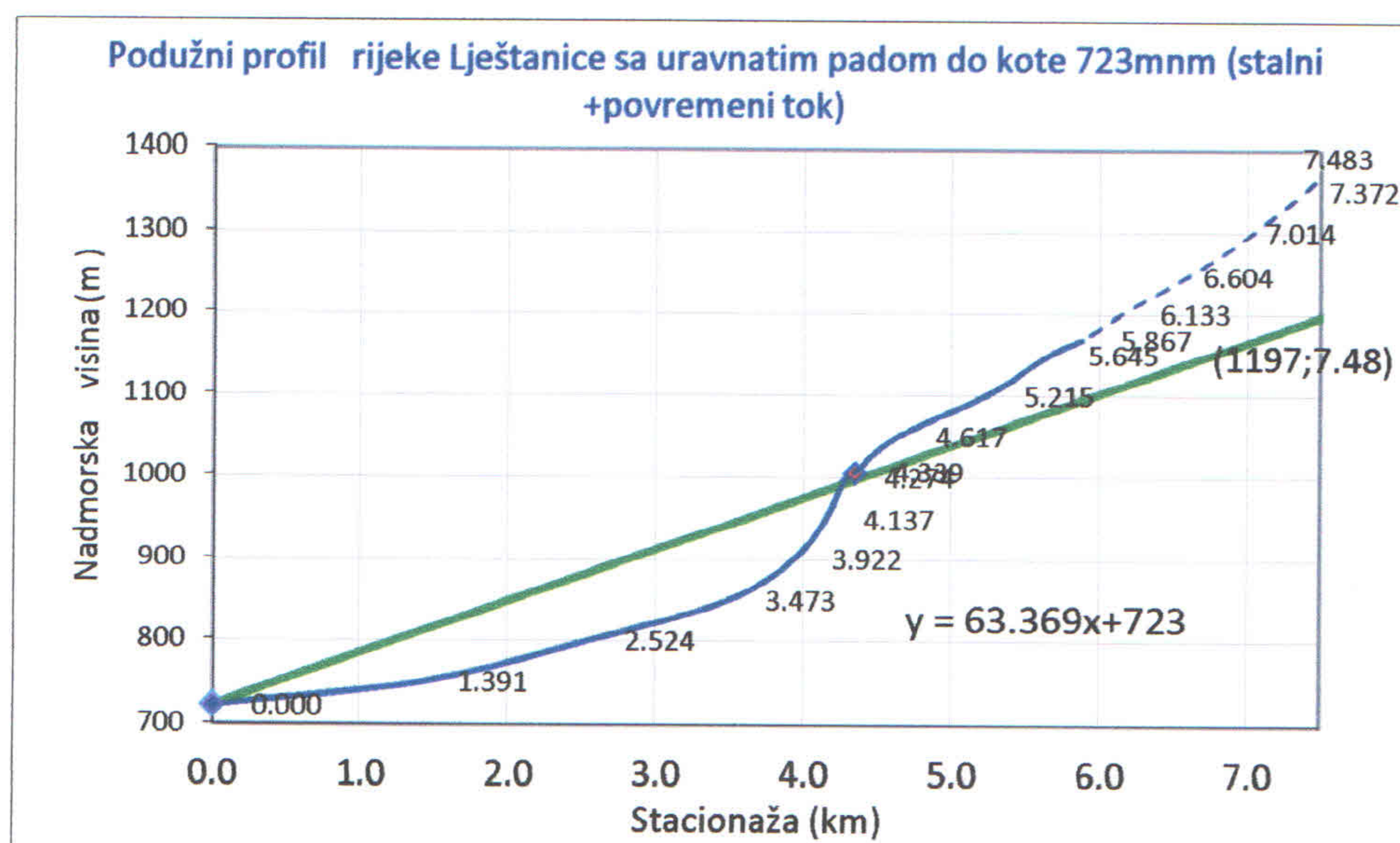
U nastavku ćemo prikazati tabelu sa potrebnim parametrima i grafike hipsometrijske krive sliva i podužni profil sa uravnatim padom

Tabela fizičko-geografskih karakteristika sliva i vodotoka

1	Površina sliva F	20.2	[km ²]
2	Dužina toka L_T	5.87(7.48)	[km]
3	Dužina sliva L_s	7.21	[km]
4	Obim sliva S	19.9	[km]
5	Srednja širina sliva $B=F/L_s$	2.80	[km]
6	Pravolinijska udaljenost izvor-ušće L_i	4.17 (5.50)	[km]
7	Pravolinijska udaljenost težišta sliva od ušća U_T	3.36	[km]
8	Koeficijent razvijenosti vododjelnice K_s	1.251	[-]
9	Koeficijent izduženja sliva K_G	1.706 (2.770)	[-]
10	Koeficijent koncentracije sliva K_c	0.604	[-]
11	Koeficijent krivudavosti toka K_L	1.408 (1.360)	[-]
12	Maksimalna visina sliva H_{max}	1672	[mnm]
13	Minimalna visina sliva H_{min}	723	[mnm]
14	Srednji pad sliva I_{sr}	34.2	[%]
15	Maksimalni pad kosine doline I_{max}	49.4	[%]
16	Srednja nadmorska visina sliva H_{sr}	1212	[mnm]
17	Srednja visinska razlika sliva ΔH	489	[m]
18	Uravnati pad toka I_t	5.25 (6.33)	[%]
19	Maksimalni pad toka I_{t1}	36.6 (36.6)	[%]
20	Srednji maksimalni pad toka I_{t2}	7.60 (8.65)	[%]



Hipsometrijska kriva sliva Lještanice do kote 723 mm



Podužni profil Lještanice sa uravnatim padom do koteP 723 mm

-Metoda predominantnih faktora (M.P.F.)-

Potrebni ulazni podaci za Lještanicu do kote 723 mnm su:

- površina sliva do mjernog profila $F = 20.2 \text{ km}^2$
- dužina toka $L = 5.87 + 7.48 \text{ km}$
- prosječna godišnja visina padavina u slivu $h = 1000 \text{ mm}$
- srednji pad sliva $I_{sr} = 34.2\%$
- uravnati pad toka $I_t = 6.33\%$
- $A = 1.1$

Dobijene vrijednosti po metodi predominantnih faktora

	$Ph = 0.342$
	$\eta = 0.469$
	$h_o = 0.469$
	$q = 14.883 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$
	$Q = 0.301 \text{ m}^3/\text{s}$
	$P_i = 2894.198$
	$h_o = 12.276$
Prosječna velika voda	$Q_o = 3.691 \text{ m}^3/\text{s}$
	$h_{10} = 2.112$
Velika voda (T=10 g P=10%)	$Q_{10} = 7.793 \text{ m}^3/\text{s}$
	$h_{20} = 2.581$
Velika voda (T=20 g P=5%)	$Q_{20} = 9.527 \text{ m}^3/\text{s}$
	$h_{50} = 3.091$
Velika voda (T=50 g P=2%)	$Q_{50} = 11.407 \text{ m}^3/\text{s}$
	$h_{100} = 3.555$
Velika voda (T=100 g P=1%)	$Q_{100} = 13.120 \text{ m}^3/\text{s}$

- Metoda prof Srebrenovića -

Tabelarni proračun velikih voda po formuli prof Srebrenovića za usvojeno $\beta = 3$ i $P = 1.0$ m

Ostali parametri potrebni za proračun dati su u tabeli fizičkogeografskih karakteristika sliva i vodotoka na strani 19.

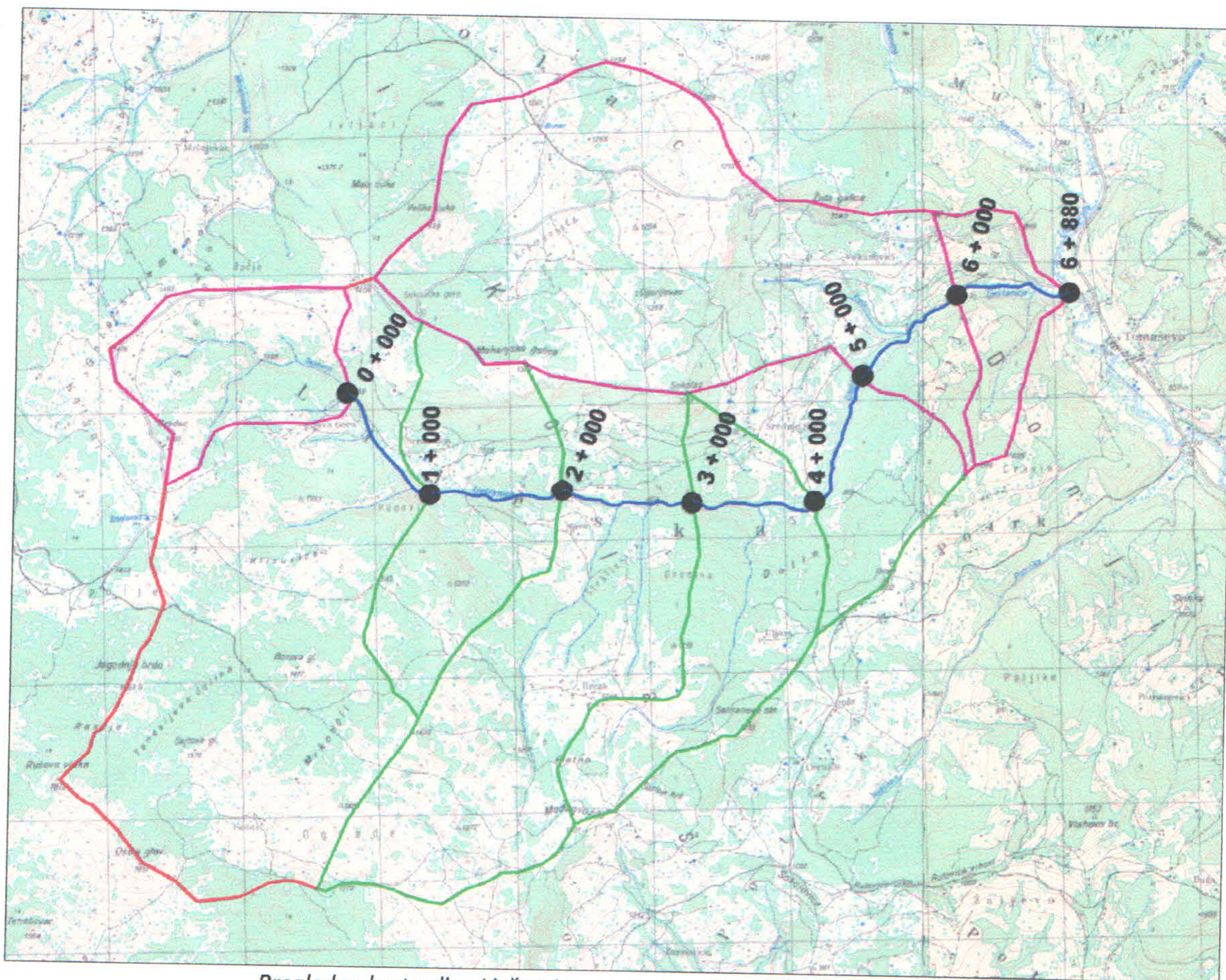
	T10	T20	T50	T100
α	0.68	0.70	0.72	0.74
ψ_p	3.71	4.70	6.12	7.26
S	143.2	143.2	143.2	143.2
K	0.604	0.604	0.604	0.604
τ_1	4.210	3.830	3.448	3.221
τ_2	1.354	1.354	1.354	1.354
$\omega(\text{sati})$	1.321	1.353	1.393	1.420
Q (m³/s)	11.21	14.33	18.88	22.63

Prikazaćemo tabelarno izračunate vrijednosti velikih voda i njihove module oticaja za profil 723 mm.

Q(m ³ /s)	MPF	Formula prof. Srebrenovića	q (m ³ /s*km ²)	
			MPF	Formula prof. Srebrenovića
Q ₁₀	6.29	11.21	0.311	0.555
Q ₂₀	7.57	14.33	0.375	0.709
Q ₅₀	9.19	18.88	0.455	0.935
Q ₁₀₀	10.85	22.63	0.537	1.120

Velike vode u profilu 723 mm usvajamo one dobijene po metodi prof Srebrenovića.

-Proračun bruto energetskeg potencijala rijeke Lještanice-



Pregledna karta sliva Lještanice, sa stacionažom duž toka na 1.0 km

Određivanje hidroenergetskog potencijala je osnova za sva planirana iskorišćenja vodnih snaga u sklopu kompleksne hidroenergetike. Hidroenergetski potencijal se može proučavati nezavisno ako se znaju topografske karakteristike i vodni bilans na dovoljnom broju profila.

Međutim, njegovi iskoristivi vidovi moraju se proučavati u sklopu kompleksnih vodoprivrednih rješenja za korišćenje voda u slivu.

Konačni cilj izučavanja hidroenergetskog potencijala je određivanje stvarno tehnički i ekonomski iskoristivog potencijala.

Za sliv koji se izučava treba odrediti bruto-energetski potencijal. U našem slučaju odredićemo bruto energetski potencijal od voda koje stalno otiču, zanemarujući bruto potencijal od padavina.

Za određivanje morfometrijskih karakteristika sliva i vodotoka, koristili smo georeferenciranu topografsku kartu razmjere R: 1:50 000 a obrade su rađene u softverskom paketu MapInfo.

Dakle, da bi smo odredili BEP prvo je bilo potrebno odrediti

- Uzdužni profil vodotoka
- Pad na svaki km toka
- Prosječni proticaj na osmotrenom profilu
- Bruto-potencijal na vodotoku
- Ukupan bruto-potencijal po toku

U cilju proučavanja čitavih vodotoka uvode se pojednostavljenja, koja daju mogućnost brže procjene s manjom ali prihvatljivom tačnošću.

- Umjesto sa svim protocima približno se račun provodi sa srednjim godišnjim (Q_{sr})
- Umjesto pada energetske linije koristi se pad dna korita koji je dostupan zahvaljujući geodetskim podlogama

Dionica rečnog toka na kojoj je protok $Q(m^3/s)$, a denivelacija između ulaznog i izlaznog profila $H(m)$ raspolaže snagom:

$$N = \gamma \times Q \times H \text{ (kW) gdje je}$$

γ – zapreminska težina vode 9.81 kN/m^3

Q – prosječni višegodišnji protok (m^3/s)

H – denivelacija između ulaznog i izlaznog profila (m)

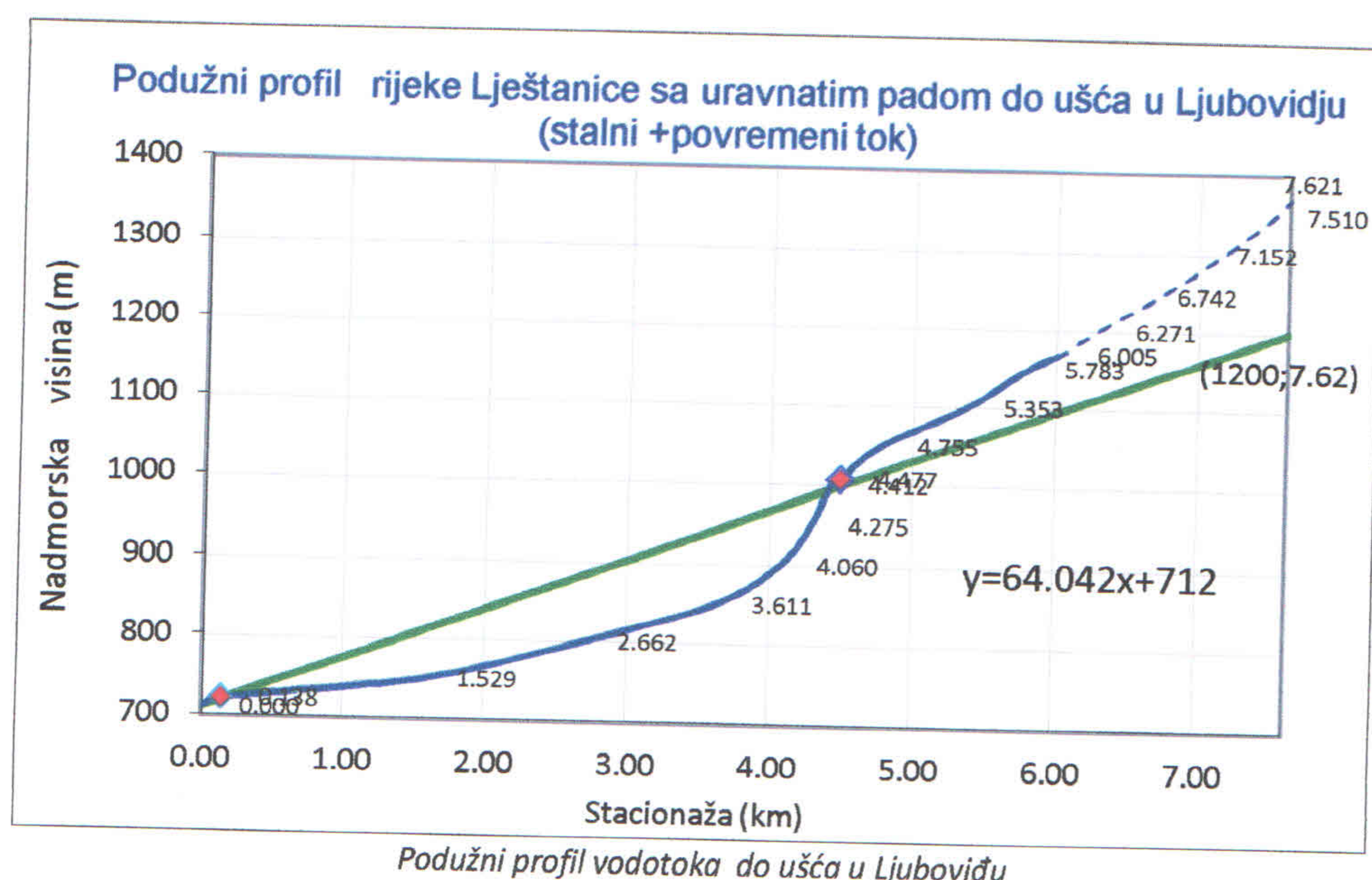
Energija razmatrane dionice rečnog toka u nekom intervalu vremena $T(h)$ iznosi:

$$E = N \times T \text{ (kWh)}$$

Gornji izrazi predstavljaju teorijsku snagu i energiju (bez gubitaka koji su neizbježni pri transformaciji energije vode u mehaničku i električnu).

-Proračun bruto snage i energije duž toka-

Srednji višegodišnji proticaj Lještanice u profilu 1007 mnm, $Q=0.433 \text{ m}^3/s$ koji smo usvojili u prvom dijelu Analize i proticaj na HS Tomaševo, raspoređićemo duž čitavog toka po stacionaži na 1.0 km, na osnovu pripadajućih slivnih površina.



Detaljan proračun snage i bruto energije na godišnjem nivou dat je u tabelama koje slijede.

Tabela 1 -određivanje pripadajućeg protoka po stacionaži

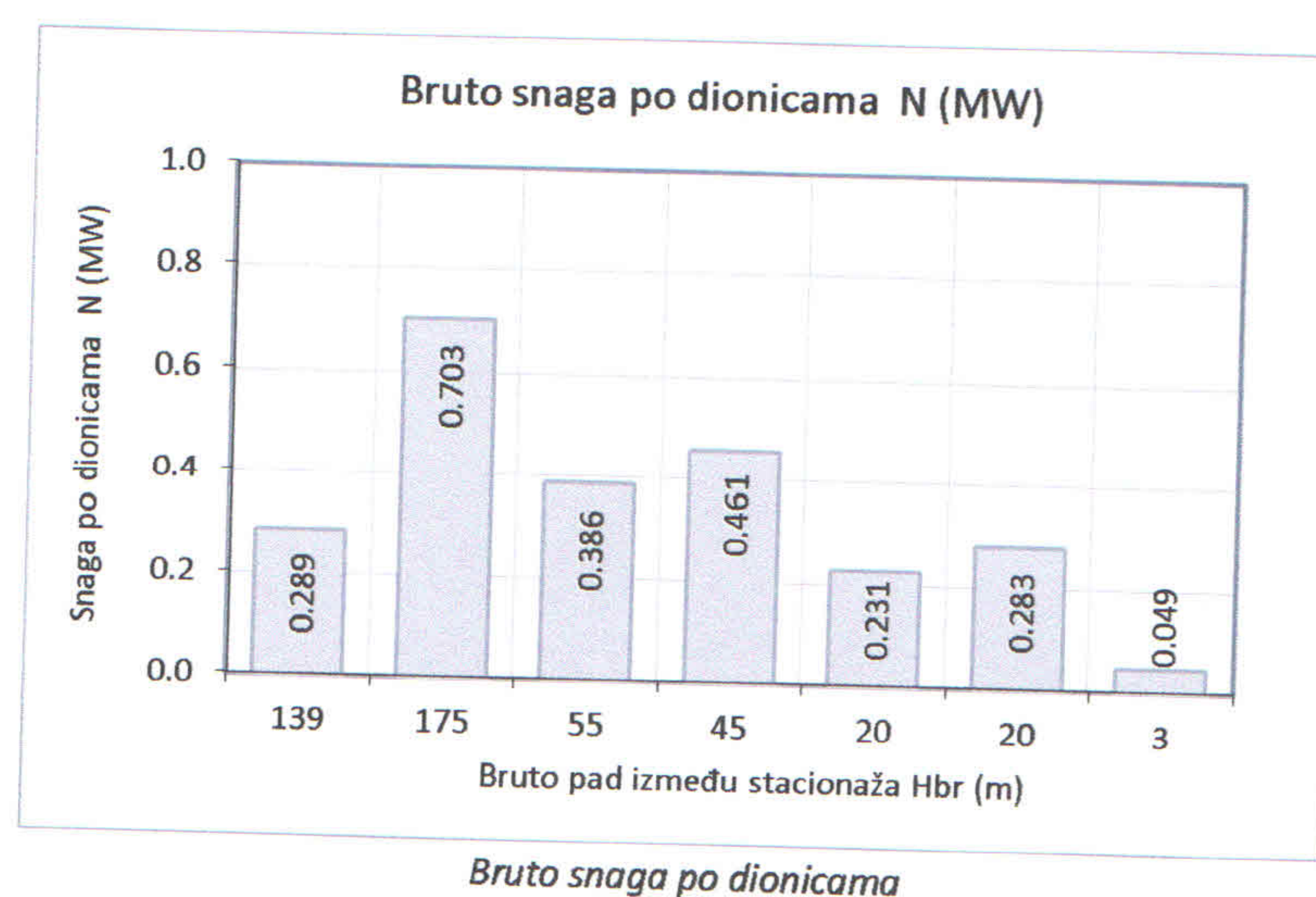
Stacionaža km	Kota (mnm)	Površina sl. između stacionaža (km ²)	Σ površina (km ²)	% učešće Σ površina u ukupnoj površini	Q (m ³ /s)
0+000	1169	1.615	1.615	5.86	0.069
1+000	1030	6.615	8.23	29.86	0.354
2+000	855	2.408	10.638	38.59	0.465
3+000	800	4.823	15.461	56.09	0.966
4+000	755	2.477	17.938	65.08	1.121
5+000	735	1.792	19.73	71.58	1.233
6+000	715	6.921	26.651	96.68	1.651
6+880	712	0.914	27.565	100.00	1.708

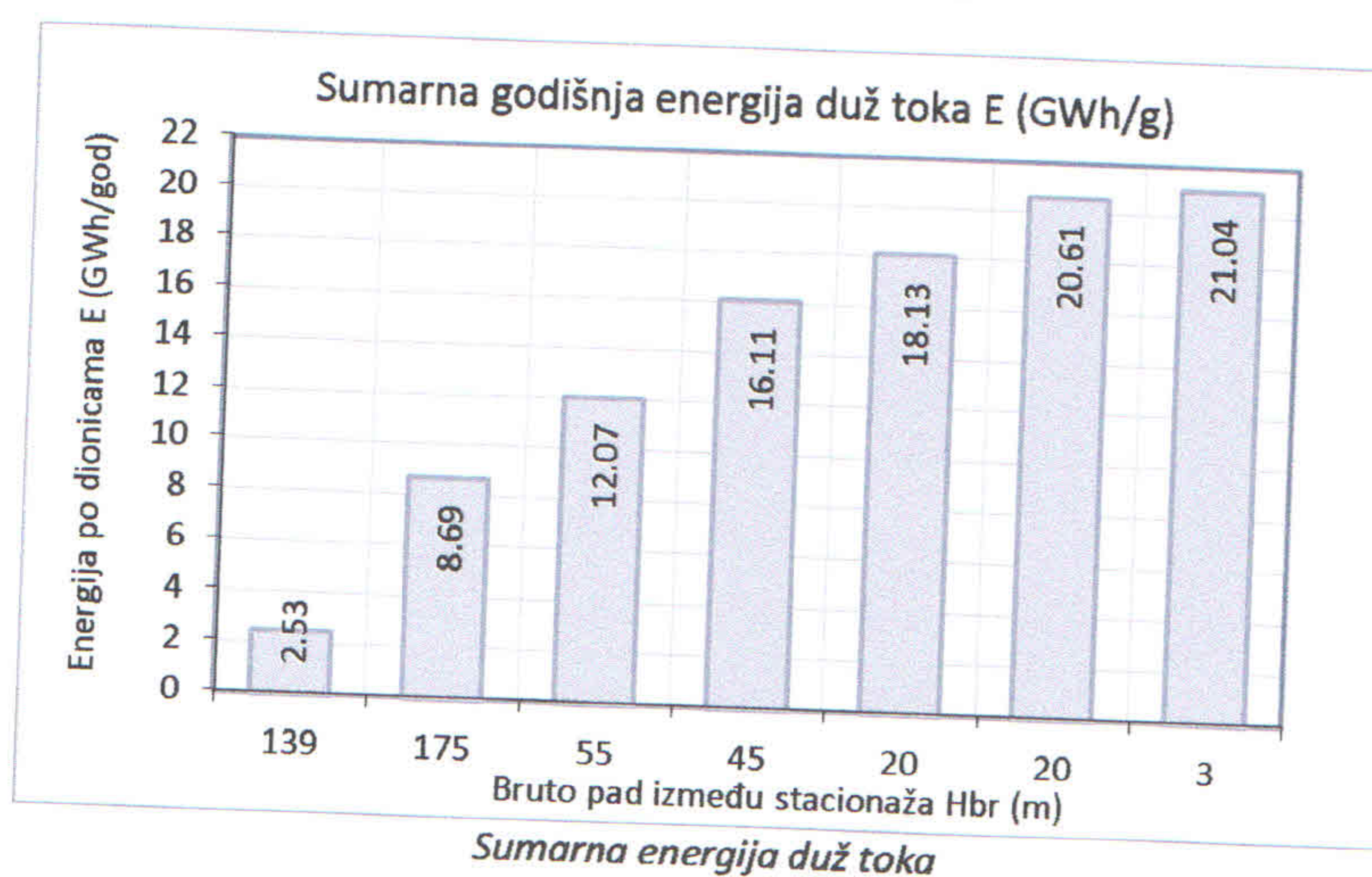
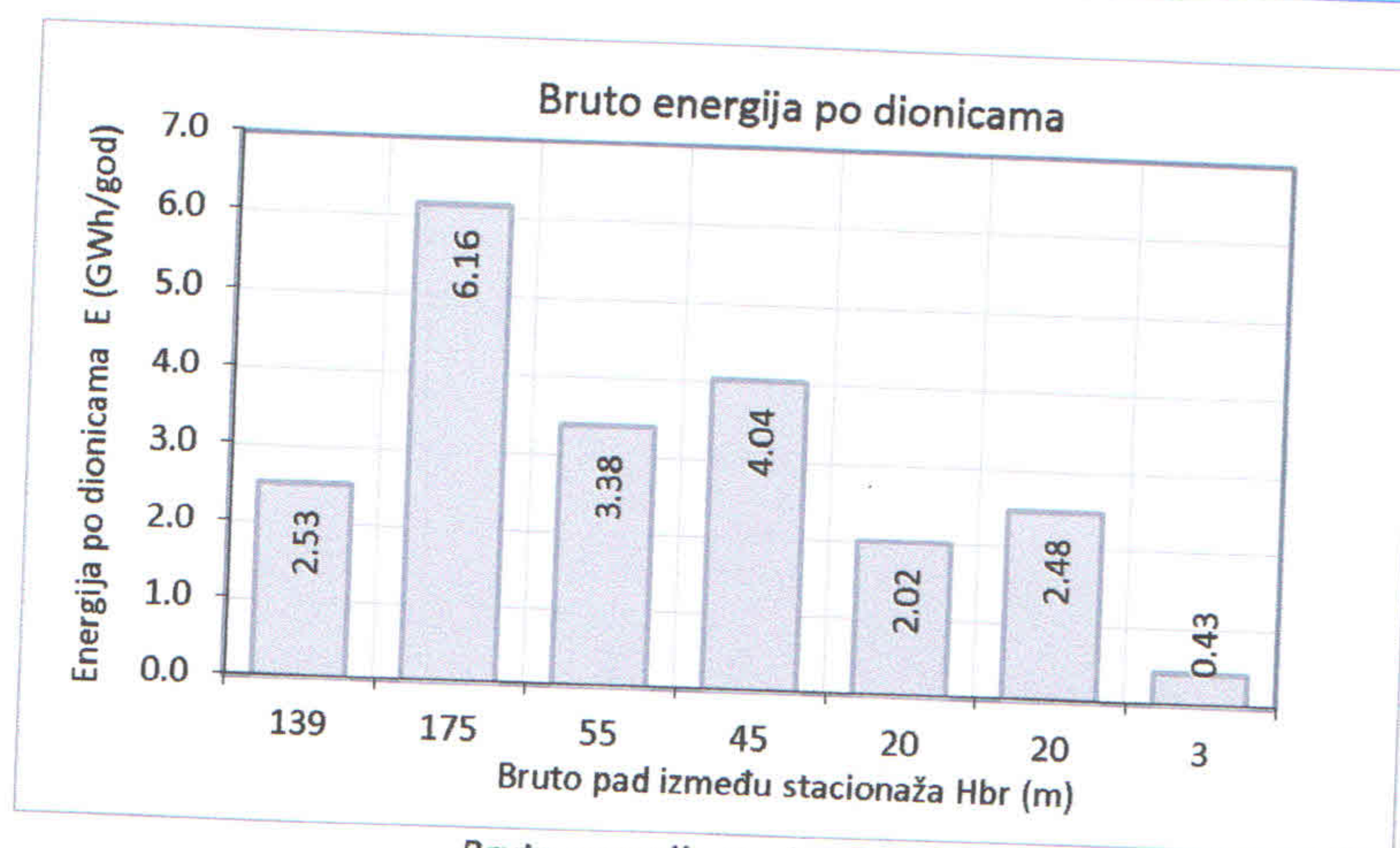
Tabela 2 -određivanje snage i energije po stacionaži

Stacionaža km	Kota (mnm)	Bruto pad (m)	Q (m ³ /s)	Snaga po dionicama N (kW)	Energija E (GWh)	God. ener. E (GWh/god)
0+000	1169	139	0.212	289.1	2.532	2.532
1+000	1030	175	0.410	703.01	6.158	8.691
2+000	855	55	0.716	386.05	3.382	12.072
3+000	800	45	1.044	460.65	4.035	16.108
4+000	755	20	1.177	230.93	2.023	18.131
5+000	735	20	1.442	282.92	2.478	20.609
6+000	715	3	1.680	49.43	0.433	21.042
6+880	712					

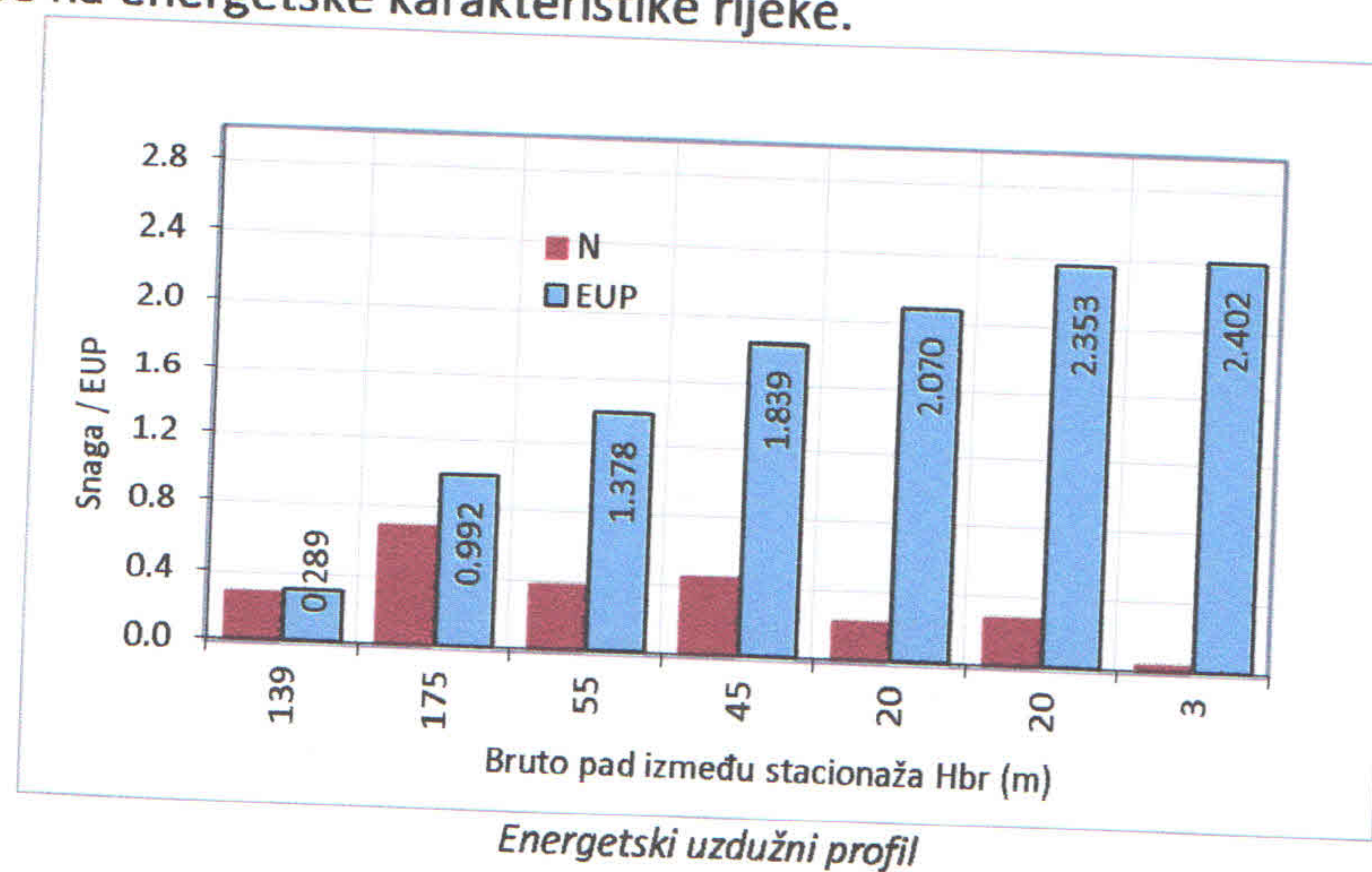
Na graphicima koji slijede, na sledećoj strani, dati su sledeći grafički prilozi:

- Bruto snaga vodnog toka po dionicama (MW),
- Odgovarajuće energije po dionicama (GWh/g)
- Sumarna, bruto godišnja energija, koja je sračunata po dionicama određenim stacionažom na 1.0 km
- Energetski uzdužni profil vodotoka EUP





Energetski uzdužni profil (EUP) prikazuje prirast bruto snage duž cijelog toka. Na grafičkom prikazu jasno se ističu djelovi vodotoka s većim prirastom potencijala. Prema tome, to je grafička energetska karakteristika vodotoka, koja sadrži cijeli skup podataka koji se odnose na energetske karakteristike rijeke.



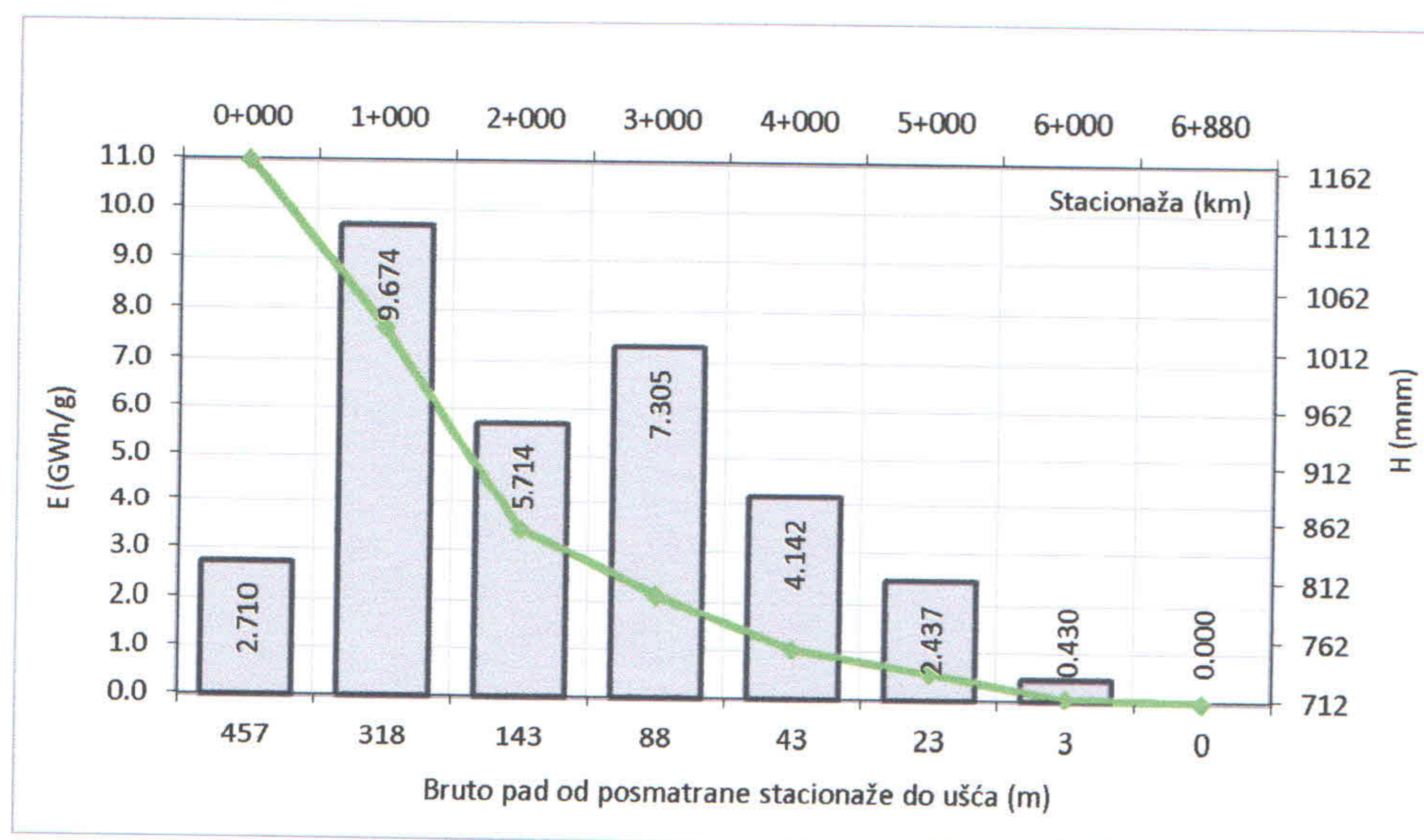
-Bruto potencijal duž vodotoka za posmatrane kote u odnosu na ušće -

U tabeli koja slijedi dat je proračun bruto godišnje energije sračunate za kote po stacionaži od 1.0 km, u odnosu na ušće vodotoka.

Tabela 3 -određivanje snage i energije po stacionaži u odnosu na ušće

Kota (mnm)	Q (m ³ /s)	Stacionaža (km)	H _{br} (m)	God. ener.E (GWh/god)
1169	0.069	0+000	457	2.71
1030	0.354	1+000	318	9.674
855	0.465	2+000	143	5.714
800	0.966	3+000	88	7.305
755	1.121	4+000	43	4.142
735	1.233	5+000	23	2.437
715	1.651	6+000	3	0.43
712	1.708	6+880	0	0

Grafik koji slijedi prikazuju bruto godišnju energiju ostvarenu od posmatrane stacionaže do ušća vodotoka.



Godišnja energija Lještanice od posmatrane stacionaže do ulivanja u Ljuboviđu