

Hidrologija slivova rijeka Morače, Zete i Pive u kontekstu nove razvojne paradigme



prof. dr Goran Sekulić, dipl.ing.građ., prof.dr Mićko Radulović, dipl.ing.geol.
13.12.2016.Podgorica

Uvod

- “Krizna vode”
- Neravnomjernost vodnih potencijala u vremenu i prostoru
- Bruto potencijal na devet većih rijeka procijenjen na 9850 GWh/god
- **Iskorišćeno samo 17 % !!!**

•Aktuelni prognozni klimatski modeli govore o sve učestalijim ekstremnim klimatskim događajima: duži i topliji sušni periodi i intenzivniji i duži periodi sa (ekstremnim) padavinma (Hardy 2003).



Ocjena vodnosti Crne Gore

- Crna Gora se po vodnom resursu – svjetski vrh

Rijeka	Profil	F (km ²)	Pbrut(mm)	Pnet(mm)	E (Mm)	Ko	Qsr(m ³ /s)	q(L/s.km ²)
Ibar	Rožaje	145	1073	534	539	0,50	2,46	17,0
	Bać	405	982	436	546	0,44	5,62	13,9
Lim	Plav	364	1986	1670	316	0,84	19,3	53,0
	Andrijeвица	681	1798	1378	420	0,77	29,9	43,8
	Berane	1283	1569	1134	435	0,72	46,2	36,0
	Zaton	1794	1400	967	433	0,69	55,1	30,7
	B. Polje	2183	1348	939	409	0,70	65,4	29,9
Ćehotina	Pljevlja	393	933	539	394	0,58	6,73	17,1
	Gradac	810	930	521	409	0,56	13,4	16,5
Tara	Crna Polj.	247	2150	1543	607	0,72	12,1	49,0
	Trebaljevo	506	2061	1556	505	0,76	25	49,4
	Bistrica	780	1973	1381	592	0,70	34,2	43,8
	Đurđ.Tara	1381	1798	1339	459	0,74	58,7	42,5
	Šćep.Polje	2006	1703	1247	456	0,73	79,4	39,6
Piva	DuškiMost	379	1924	1255	669	0,65	15,1	39,8
	Šćep.Polje	1784	1719	1323	396	0,77	74,9	42,0
Morača	Pernica	441	2413	2157	256	0,89	30,2	68,5
	Zlatica	985	2381	1875	506	0,79	58,6	59,5
Zeta	Dukl.Most	327	2220	1782	438	0,80	18,5	56,6
	Danilovgr.	1216	2287	2034	253	0,89	78,5	64,6
Morača	Podgorica	2628	2336	1922	414	0,82	161,9	60,9
Cijevna	Trgaj	383	2500	2040	460	0,82	24,8	64,8

- Mali broj akumulacija
- Zapremina akumulacija čini 7% u odnosu na ukupnu zapreminu površinskih voda

U karstnim terenima Crne Gore izgrađenom od krečnjaka i dolomita vodi se neprestana borba između procesa **karstifikacije i rječne erozije**.

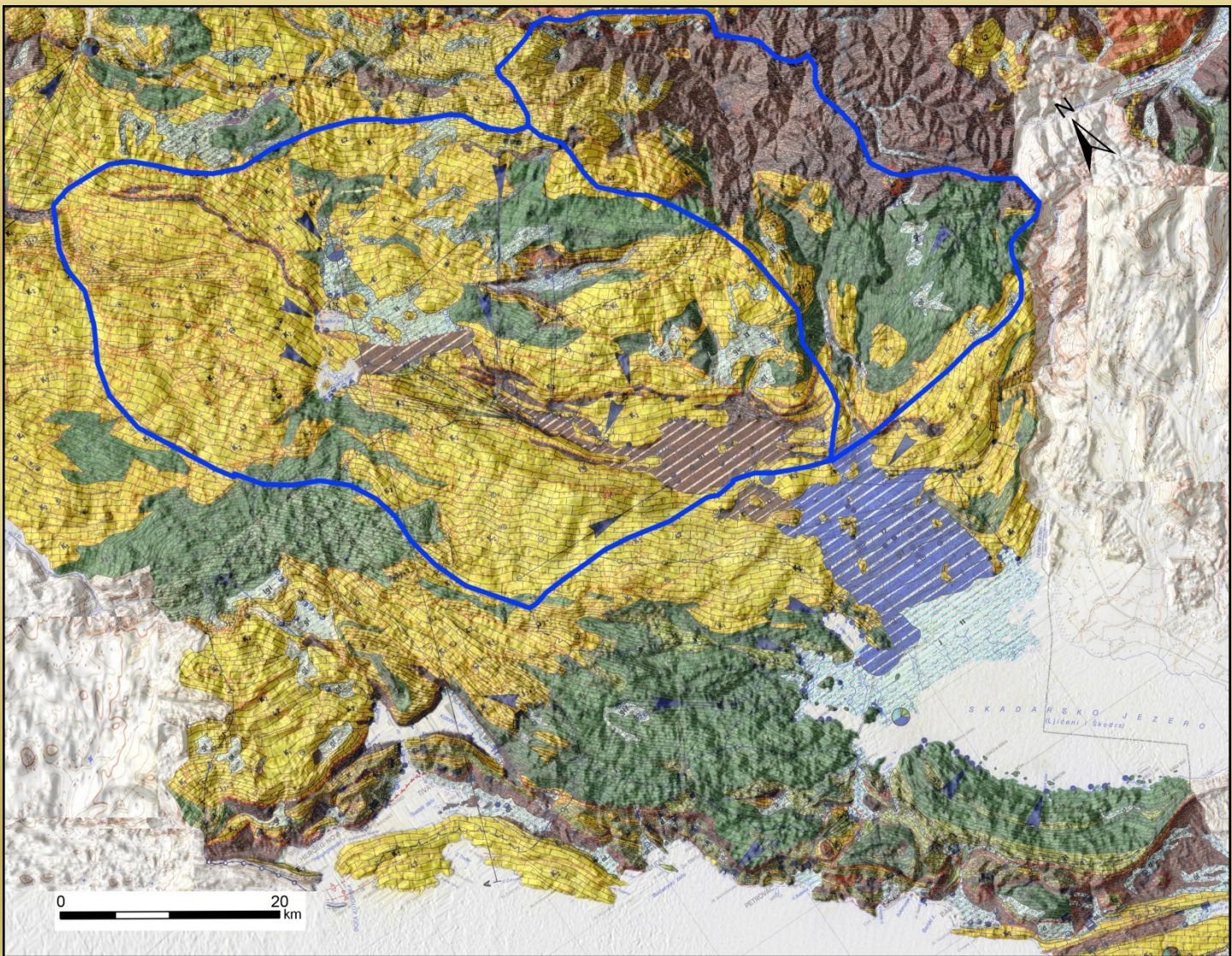
Rijeke sliva Crnog mora, koje dolaze iz flišnih terena usjekle su duboke kanjone u karbonatne stijene. Proces rječne erozije napreduje brže od procesa karstifikacije tako da duž njihovih kanjona egzistiraju jaka karstna vrela, koja im obezbjeđuju stalnost i kontinuitet toka i u sušnom periodu godine.



To nije slučaj sa rijekama Jadranskog sliva, gdje dominantno rasprostranjenje u građi terena imaju karbonatne stijene, podložne procesu karstifikacije.



Brojne rijeke Jadranskog sliva već su dezintegrisane i spuštene u podzemlje (Bokeljska rijeka, Cetinjska rijeka, Karučka i Sinjačka rijeka), dok neke od njih presušuju u ljetnjem periodu godine (Gornja Zeta, Morača, Cijevna).



4670000

6570000

Isječak iz Hidrogeološke karte Crne Gore 1 : 200000
(Radulović M., Radulović V., 2004)

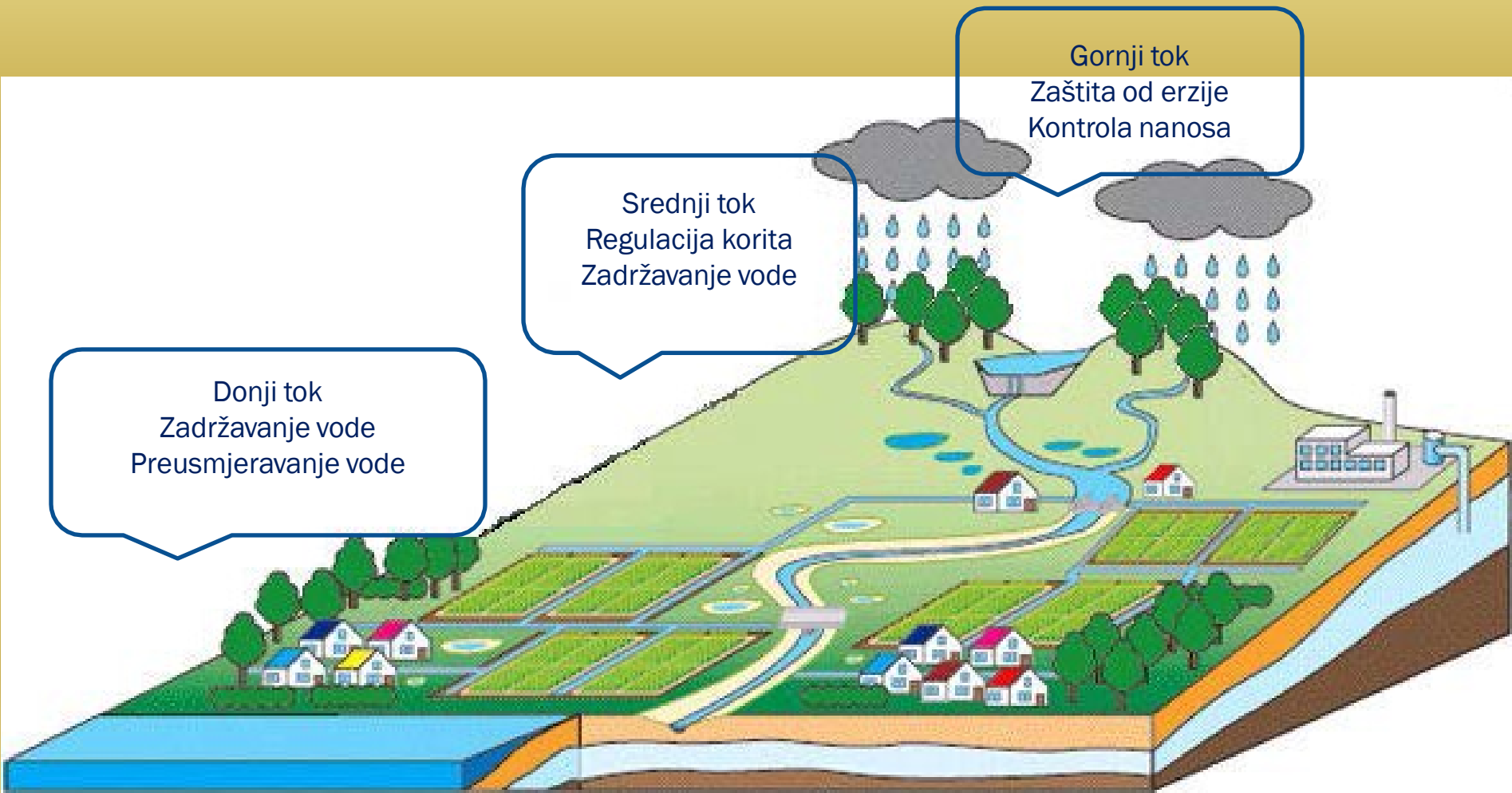
Hidogeološka karta slivova Morače i Zete

Poplave i odvodnjavanje karstnih polja

Ekstremne poplave registrovane su krajem 2010. godine u Zetskoj ravnici i duž vodotoka Bojane, kada je i registrovan maksimalni nivo Skadarskog jezera koji je dostigao kotu 10,44 m.n.m.

Slična je situacija bila i u Nikšićkom polju, gdje takodje nije uspostavljen odgovarajući režim eksploatacije akumulacija, a kapacitet ponora nije bio dovoljan da primi ukupan doticaj.

Problem poplava u Cetinjskom polju, dolini Lima, Ćehotine,



Zapremina i površina akumulacija po kontinentima (SHI Database)

Kontinent	Akumulacije									
	broj	V km ³	P km ²	Sa V >1km ³		Sa V >0.1km ³			Sa V <0.1km ³	
				broj	V m ³	broj	V m ³	P m ²	broj	V m ³
Evropa	134	516	45520	75	488	126	515	45480	8	0.40
Severna Amerika	234	1407	86280	183	1374	231	1406	86260	3	0.14
Afrika	57	910	40970	43	903	56	910	40960	1	0.04
Azija	245	1683	68550	170	1645	231	1681	67870	14	0.50
Južna Amerika	111	902	52160	82	885	106	902	52150	5	0.25
Australija	30	72.6	3708	21	67.7	29	72.5	5.0	1	0.10
Ukupno	811	5491	297200	574	5363	779	5489	292700	32	1.43

ČINJENICE !

Crna Gora spada među vodom bogate zemlje u odnosu na svoju površinu.

Crna Gora raspolaže sa 95,3% voda koje se formiraju na sopstvenoj teritoriji.

Voda predstavlja najznačajniji prirodni resurs kojim Crna Gora raspolaže.

Voda je potencijalno najvažniji faktor budućeg ekonomskog razvoja

HIDROENERGETSKI POTENCIJAL CRNE GORE



- BRUTO POTENCIJAL :
9.900 GWh/god..
- ISKORIŠĆENI POTENCIJAL :
1.700 GWh/god. (17%)
- PREOSTALI TEHNIČKI MOGUĆI
ISKORISTIVI POTENCIJAL U
VELIKIM HIDROELEKTRANAMA :
 - prirodni tok 4.600 GWh/god.
 - prevodjenje voda 5.300 GWh/god.

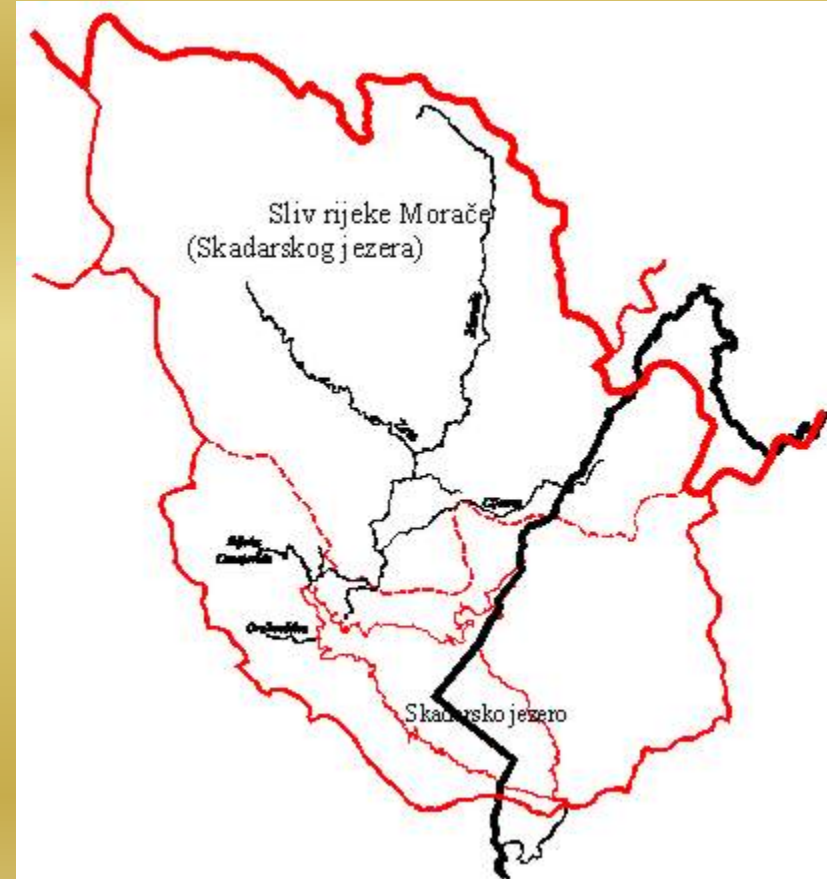
- *Korišćenjem vodnog potencijala u Crnoj Gori se stvaraju uslovi da se ulaže u razvoj države i zaštitu životne sredine.*
- *Zastoji u realizaciji HE postrojenja su nastali kao rezultat pogrešne ekološke ocjene planiranih objekata i odsustva dogovora o strategiji korišćenja vodnog potencijala*

KARTA SLIVOVA CRNE GORE



Površinske akumulacije prioritetno treba da se grade na slivovima sa HE potencijalom, uz obavezu izrade studija izvodljivosti i eko-uticaja, zaštite kulturnih i verskih objekata (npr. Manastir Morača), zaštite potencijalnih klizišta, zaštite izvorišta podzemnih voda. Sve ovo treba da je podložno reviziji.

MORAČA



Nastaje spajanjem Javorskog i Rzačkog potoka na oko 1000 mnm. Prostor Gornje Morače

Dužina toka oko 100 km

Površina sliva do HS Podgorica je 2628 km²

Pritoke uglavnom kratkog toka i velikog pada

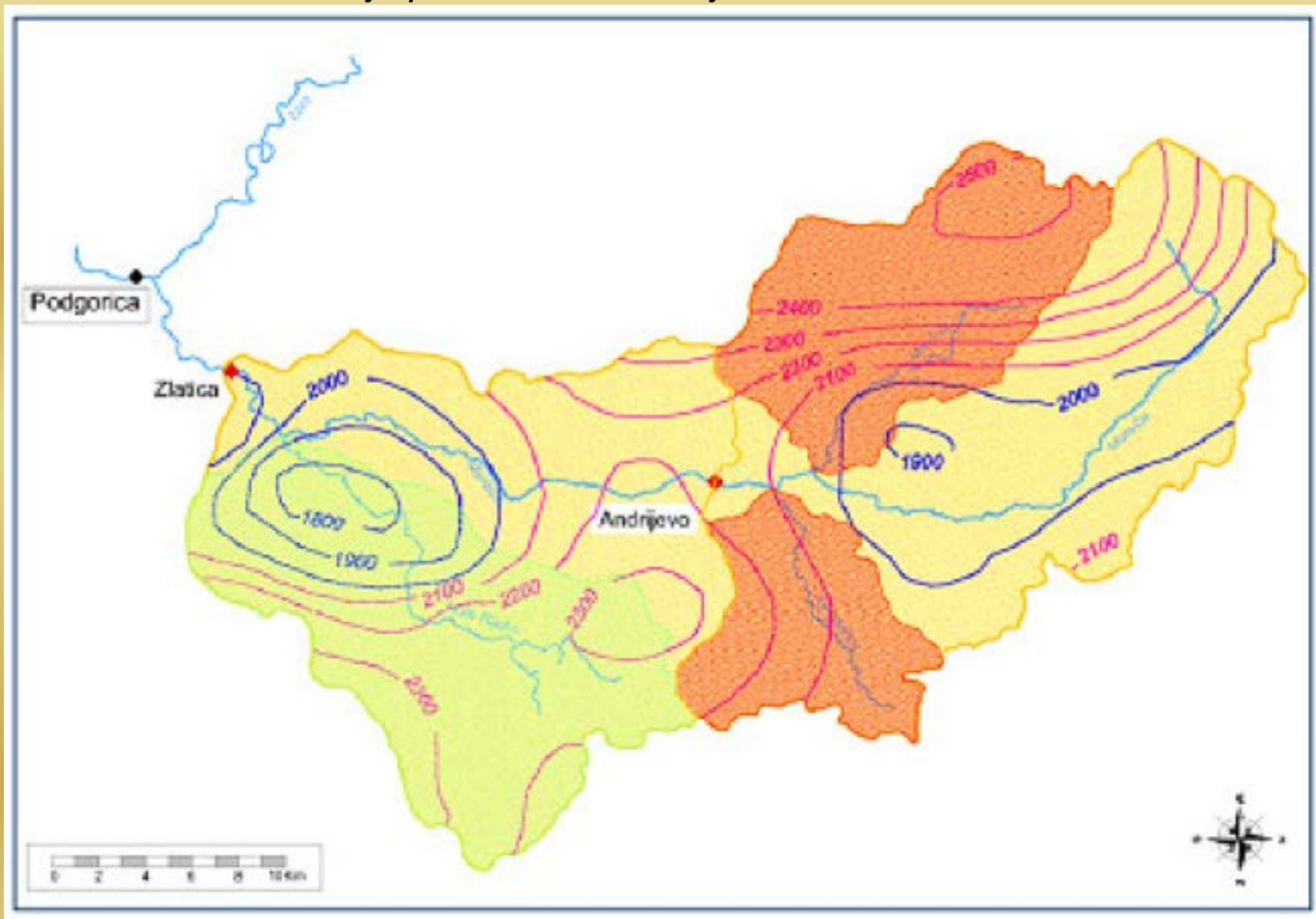
Najveći dio sliva izgrađen je od sedimenata koji pripadaju durmitorskom flišu. Najviši djelovi dolinskih strana su slabo slojeviti bankoviti krečnjaci sa ulošcima rožnaca. Rezultat je pojava velikog broja izvora



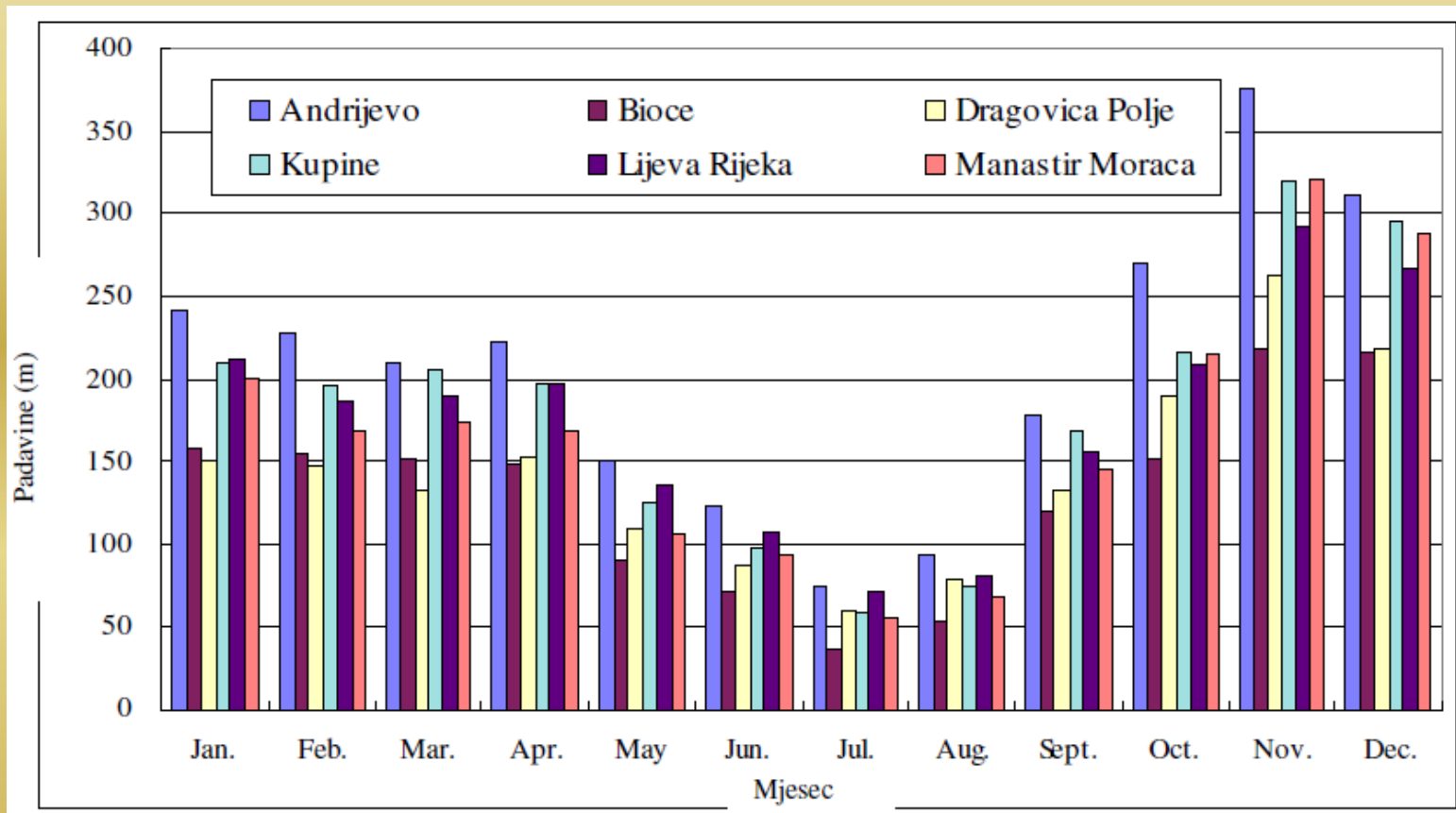
Osnovne informacije o padavinama u mjernim stanicama

Ime stanice	Geografski položaj		Nadmorska visina stanice (mnm)	Prosjek godišnjih padavina (mm)	Vremenski period (mjesečni podaci)
	Dužina (E)	Širina (N)			
Andrijevo	19°22'	42°42'	544	2480,9	1960~2010
Bioče	19°21'	42°31'	100	1572,1	1960~2009
Dragovića Polje	19°20'	42°51'	650	1721,3	1960~2010
Kupine	19°23'	42°38'	150	2165,9	1960~2010
Lijeva Rijeka	19°29'	42°39'	1120	2104,5	1960~2009
Manastir Morača	19°24'	42°46'	270	1988,5	1960~2010

Izolinije padavina u slivu rijeke Morače



Godišnja distribucija padavina na mjernim mjestima



Period **velikih voda** u riječnom slivu je od **novembra do maja**,

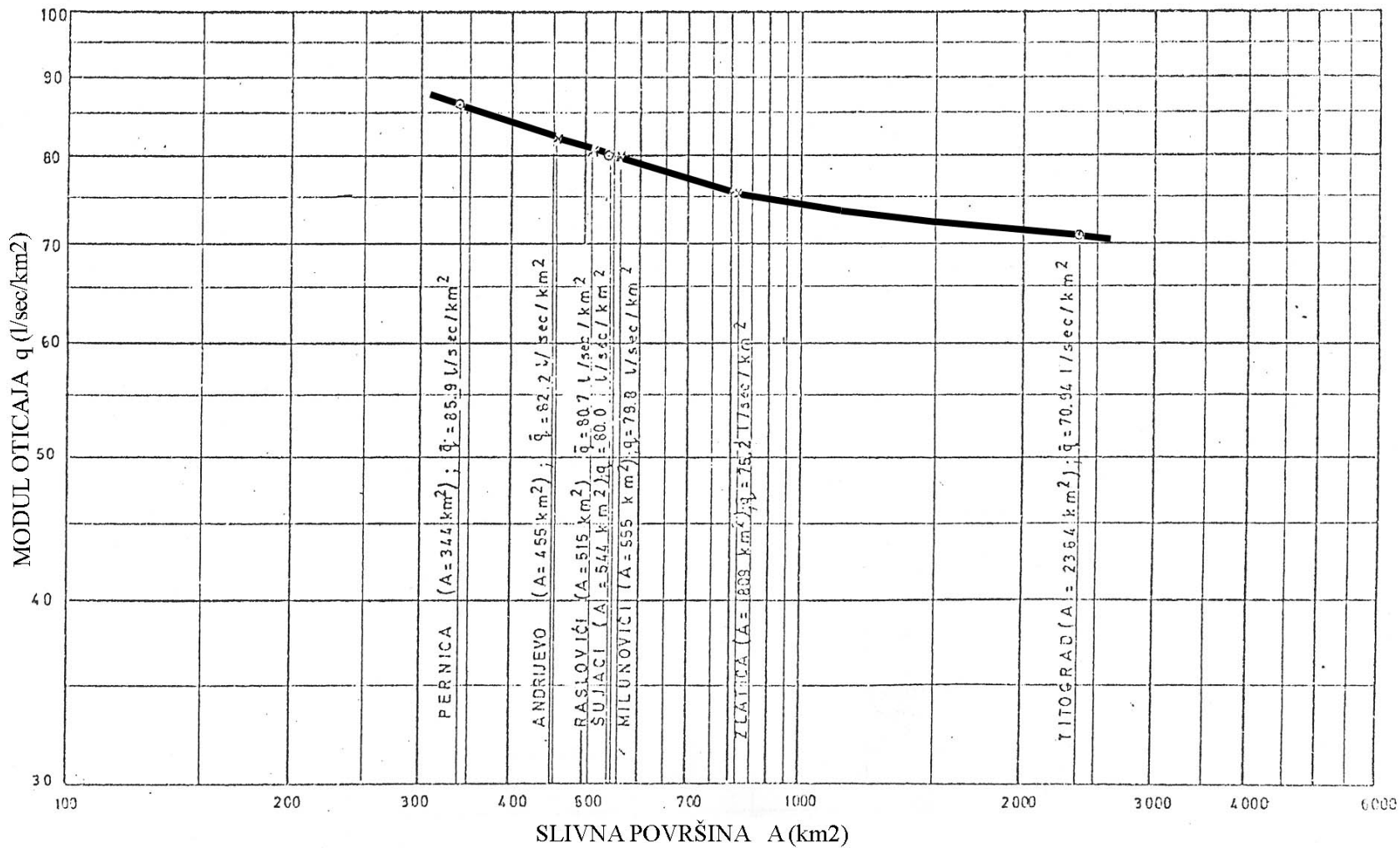
Tranzicioni period oticanja sa dodatnim količinama uslijed padavina kao i oticanje koje nastaje miješanjem padavina i otapajućeg snijega u februaru,

Period od **juna do oktobra** predstavlja **malovodni period** u riječnom slivu.

U slivu rijeke Morače postoji pet hidroloških stanica, **Pernica, Šujaci, Zlatica, Podgorica i Međurečje (Mrtvica)**

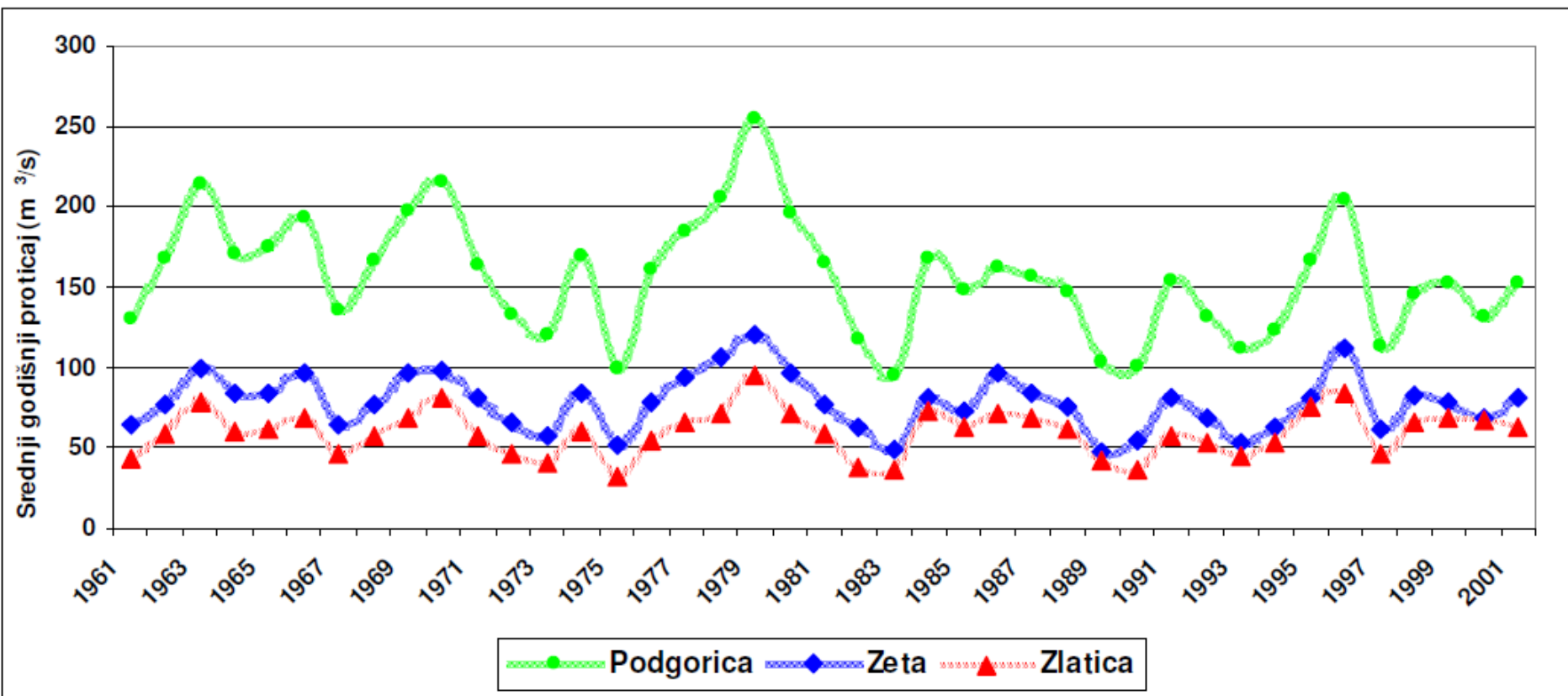
Ime stanice	Geografski položaj		Površina sliva (km ²)	Prosječni godišnji oticaj dubina (mm)	Vremenski period (dnevni podaci)
	Dužina (E)	Širina (N)			
Pernica	19°22'28.29"	42°41'57.36"	344	2.659	1956~2014
Zlatica	19°17'54.54"	42°28'27.20"	840	2.422	1983~2012
Podgorica	19°15'30.17"	42°26'21.54"	2,628	1.904	1948~2014
Medurecje	/	/	207	2.232	1948~2014





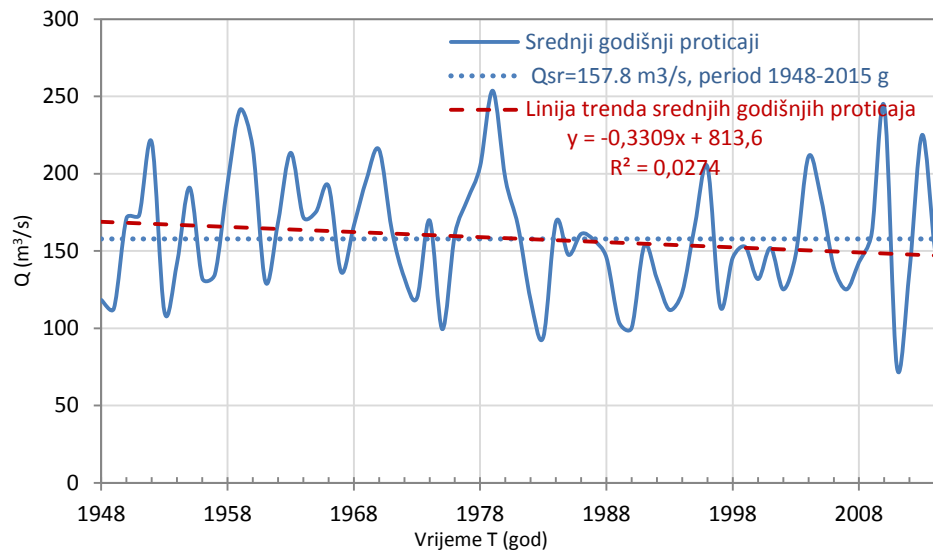
Zavisnost prosječnog modula oticaja i slivne površine duž sliva rijeke Morače

	Slivna površina (km ²)	Godišnji prosječan protok (m ³ /s)	Padavine (mm)	Dubina oticaja (mm)	Koeficijent oticaja
Hidrološka stanica Pernica	344	29.0	2,300	2,650	1.15
Hidrološka stanica Zlatica	840	66.4	2,150	2,493	1.16
Andrijevo brana	455	36.7	2,200	2,535	1.15
Zlatica brana	828	65.5	2,150	2,495	1.16

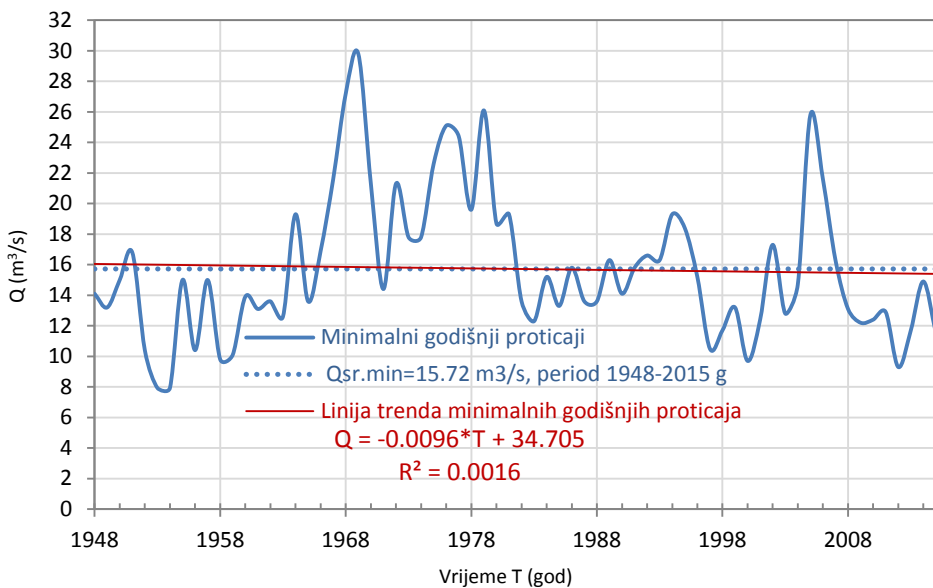


Srednji godišnji proticaj na tri posmatrane stanice

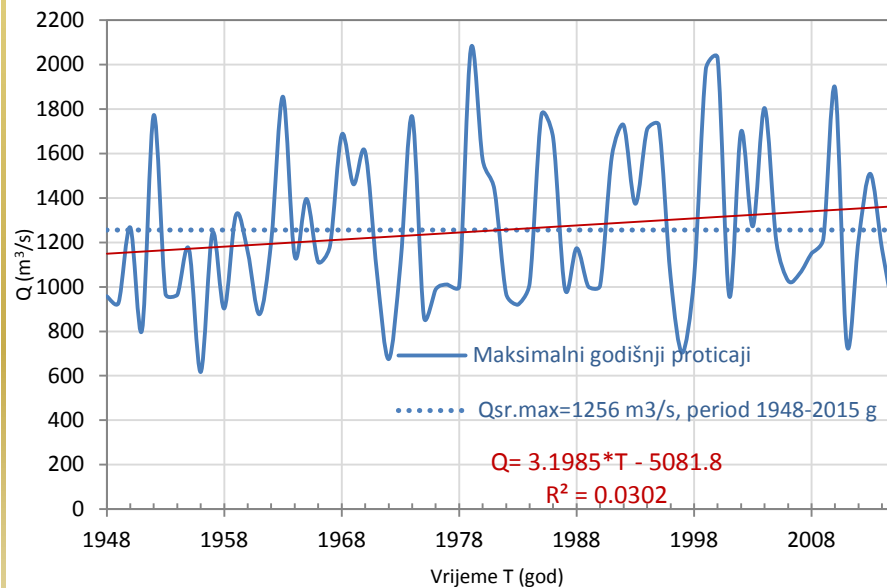
HS Podgorica - Morača



HS Podgorica - Morača



HS Podgorica - Morača



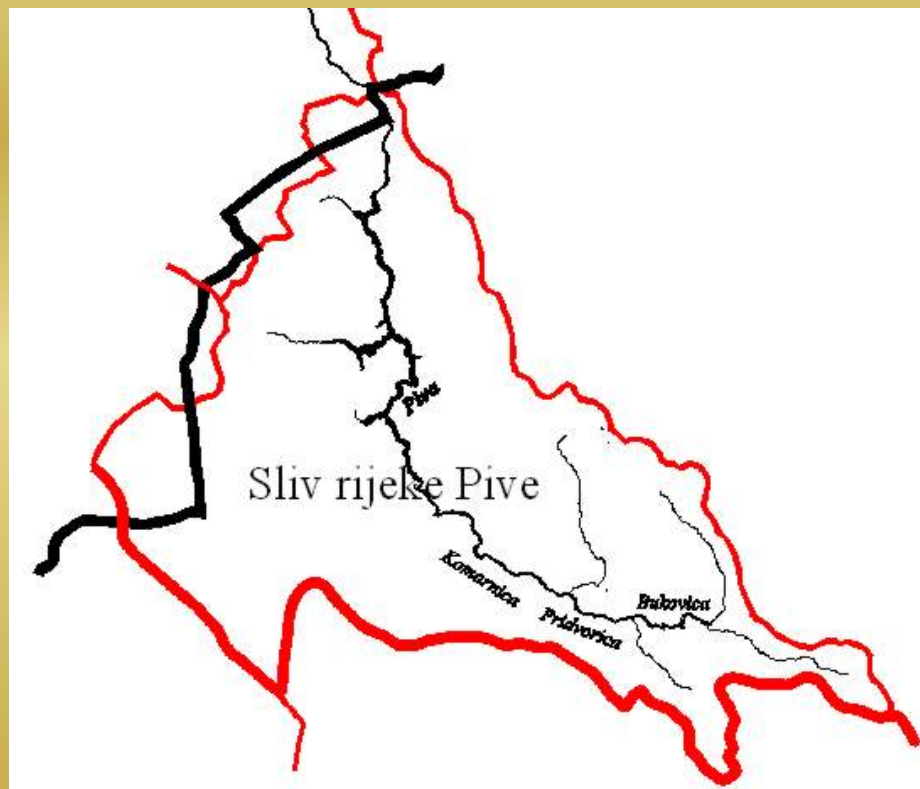
Trendovi proticaja rijeke Morače , stanica Podgorica

PIVA



Izvorišni dio Pive čini rijeka Tušina koja teče u pravcu Dinarida. Sjeverozapadno od sela Boan Tušina ulazi u krečnjačku klisuru duboku oko 300 m i spaja se sa Bukovicom koja dotiče sa sjevera.

Dalje do Šavnika glavni tok se zove Bukovica. Ispod Šavnika ona se spaja sa Bijelom koja dolazi sa jugoistoka. Najveća pritoka Pive je Sinjac, koji je izvira iz najvećeg karstnog vrela Crne Gore –Pivskog oka- prosječnog kapaciteta preko 20 m³/s. Ovo vrelo sada je potopljeno akumulacijom »Piva«. Na mjestu uliva Piva skreće i dalje teče prema sjeveru. Sa lijeve strane Piva prima pritoke Vrbnicu i Mratinjsku rijeku, a nizvodno od ušća Mratinjske rijeke, u kanjonskoj dolini, podignuta je brana kojom je formirana akumulacija »Piva« korisne zapremine oko 800 mil. Metara kubnih vode.

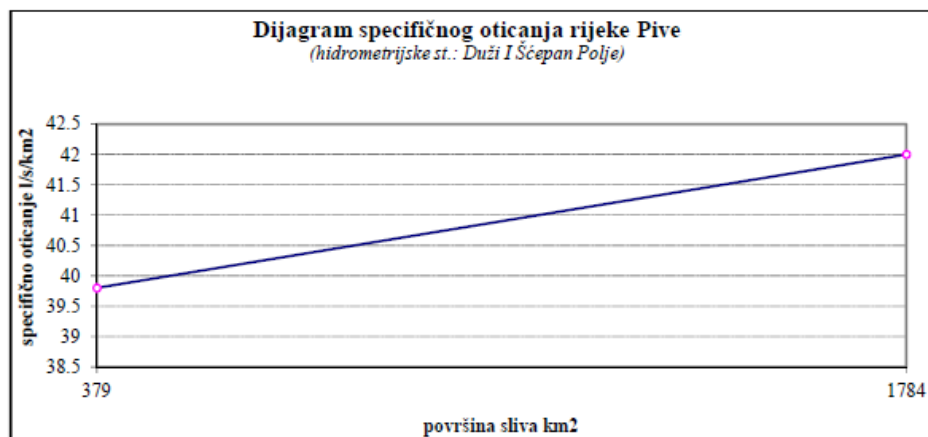




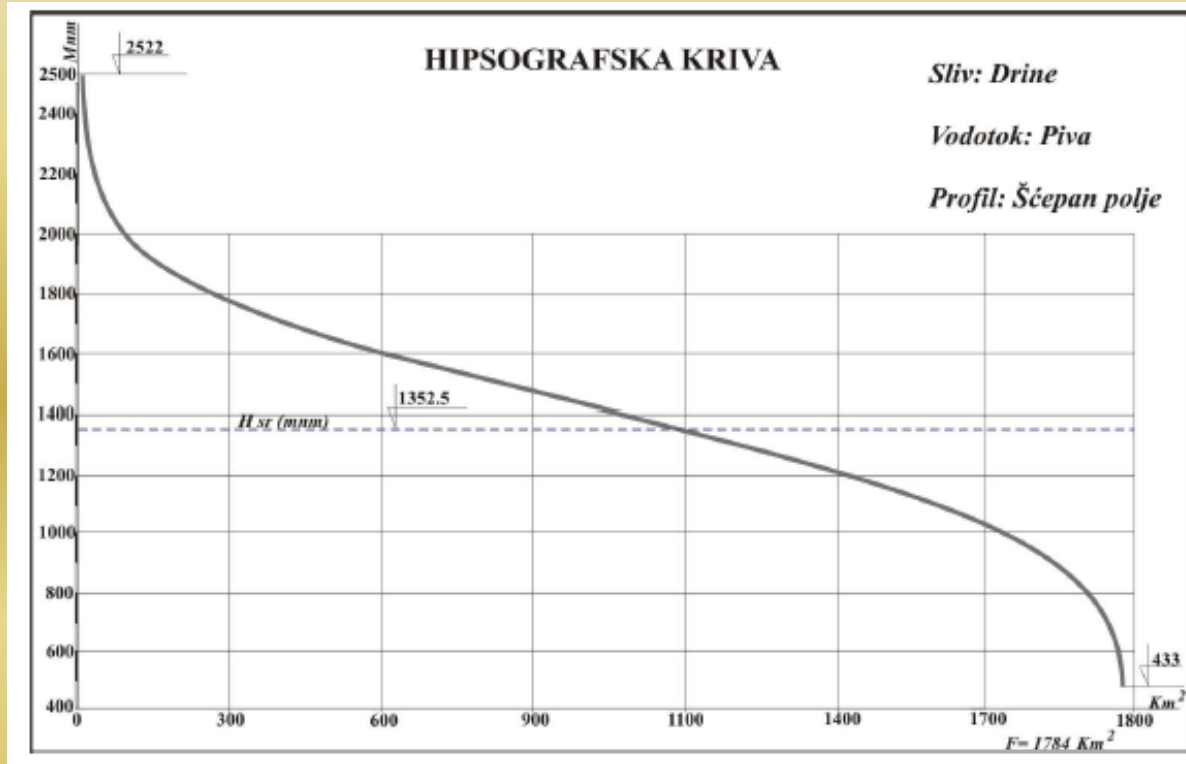
1. Linije izohijeta sliva gornje Drine



1. Linije specifičnog oticaja sliva gornje Drine



Sliv Pive, što se tiče raspodjele oticanja kao i njegove kontrole, sa najviše je izraženih problema, loš raspored hidroloških stanica i njihova neravnomjernost. Stanica Duži, koja kontrolira svega 379 km² ili 21% sliva, izlazni profil u Šćepan polju sa 1784 km².



1. Prisustvo brojnih vrela u slivu
2. neravnomjermi specifičnim oticaji
3. neravnomjermi koeficijentima oticaja duž toka.

Najveću vodnost tokom aprila i maja izražena za vodotoke crnomorskog sliva, sa izraženim maksimumima u novembru i decembru.

<i>Vodotok</i>	<i>Profil</i>	F_{ist} km ²	L_t km	L km	P mm	Q_{sr} m ³ /s	φ	q l/s/km ²	W hm ³ /g
<i>Piva</i>	Duži	379	34	144	1924	15.1	0.65	39.8	476.2
	Šćepan polje	1784	94	286	1719	74.9	0.77	42.0	2362.0

<i>Hidrološ. stanica</i>	<i>Mjesec</i>												<i>Godiš-nje</i>
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>Duži</i>	13.20	13.24	16.26	27.48	27.50	12.66	4.50	3.41	4.48	11.08	23.64	23.26	15.06
<i>Šćepan polje</i>	73.46	71.16	80.30	125.40	131.15	75.82	33.19	21.00	25.31	52.18	109.06	107.58	74.88

Vjerovatnoća pojave maksimalnih proticaja (m³/s) u odabranim stanicama

<i>Rijeka</i>	<i>Hidrološka Stanica</i>	<i>Vjerovatnoća pojave u %</i>			
		1%	2%	5%	10%
<i>Piva</i>	Šćepan polje	1246	1101	920	788
<i>Piva</i>	Duški most	719	579	430	338

Kvantitativne karakteristike režima voda

<i>Rijeka</i>	<i>Hidrološka Stanica</i>	Q (m ³ /s)	Q (l/s/km ²)	$Q_{\text{max,1\%}}$
<i>Piva</i>	Šćepan polje	74.9	42.0	1246
<i>Piva</i>	Duški most	15.1	31.8	719

Apsolutno maksimalni proticaji (m³/s) za karakteristične povratne periode T (god.)

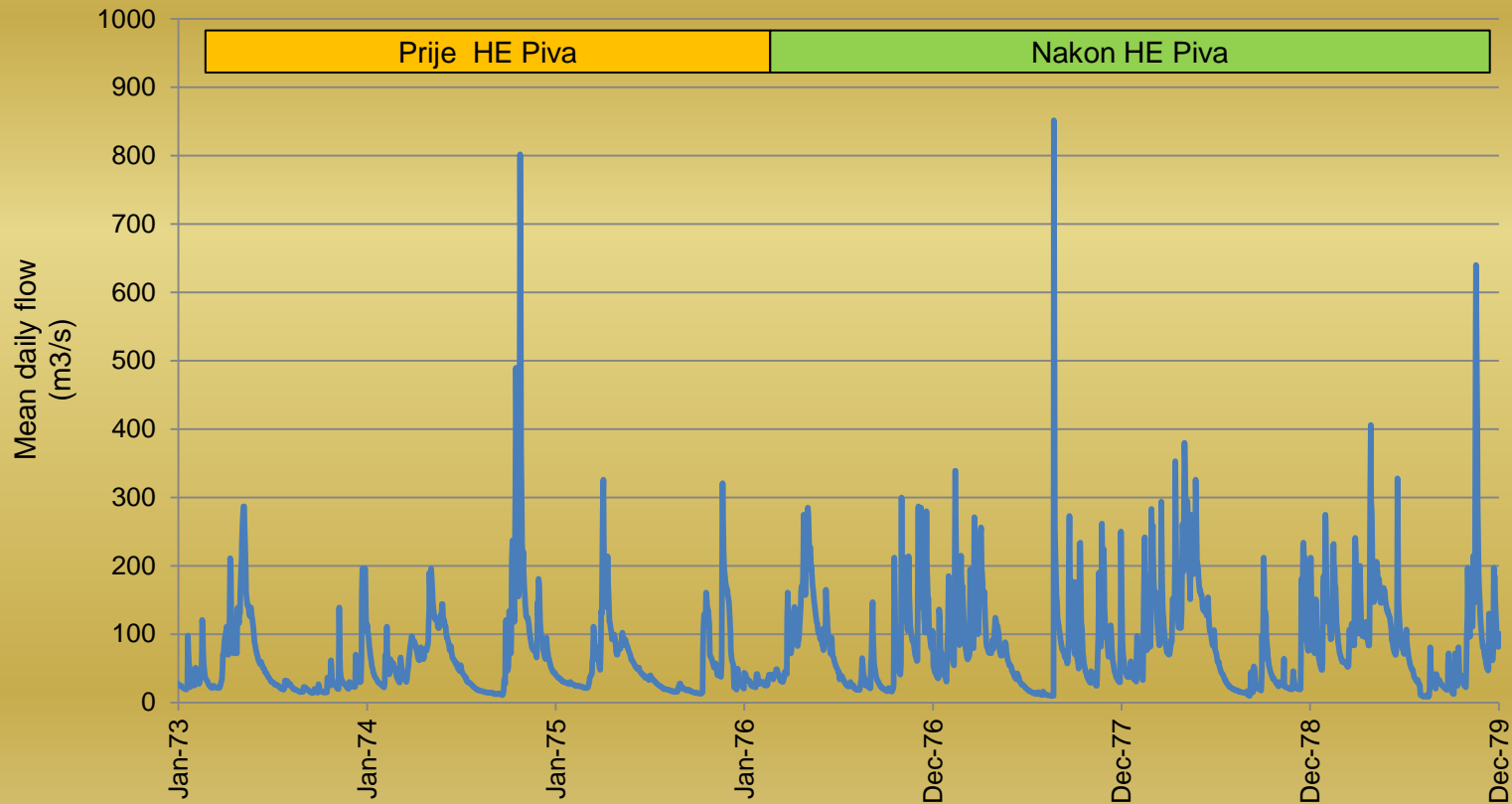
Vodotok	Hidrol. stanica	F km ²	q	Q	q	Q	q	Q
			l/s/km ²	m ³ /s	l/s/km ²	m ³ /s	l/s/km ²	m ³ /s
			100		50		20	
Piva	Duži	379	1896.8	718.9	1527.4	578.9	1133.8	429.7
	Ščepan polje	1784	712.5	1245.5	617.0	1100.9	515.6	919.9

Vodotok	Hidrol. stanica	F km ²	q	Q	q	Q	q	Q
			l/s/km ²	m ³ /s	l/s/km ²	m ³ /s	l/s/km ²	m ³ /s
			10		5		2	
Piva	Duži	379	893.1	338.5	690.8	261.8	463.5	175.
	Ščepan polje	1784	442.0	788.5	369.2	658.8	267.2	476.7

Veliki nedostatak za rijeku Pivu je taj što ne postoje novi podaci o vodostajima, odnosno proticajima duž njenog toka. HS Duži nije u funkciji od 2004. godine, kao ni HS Lonci. Trenutno aktivne stanice u slivu Timar i Gornja Bijela

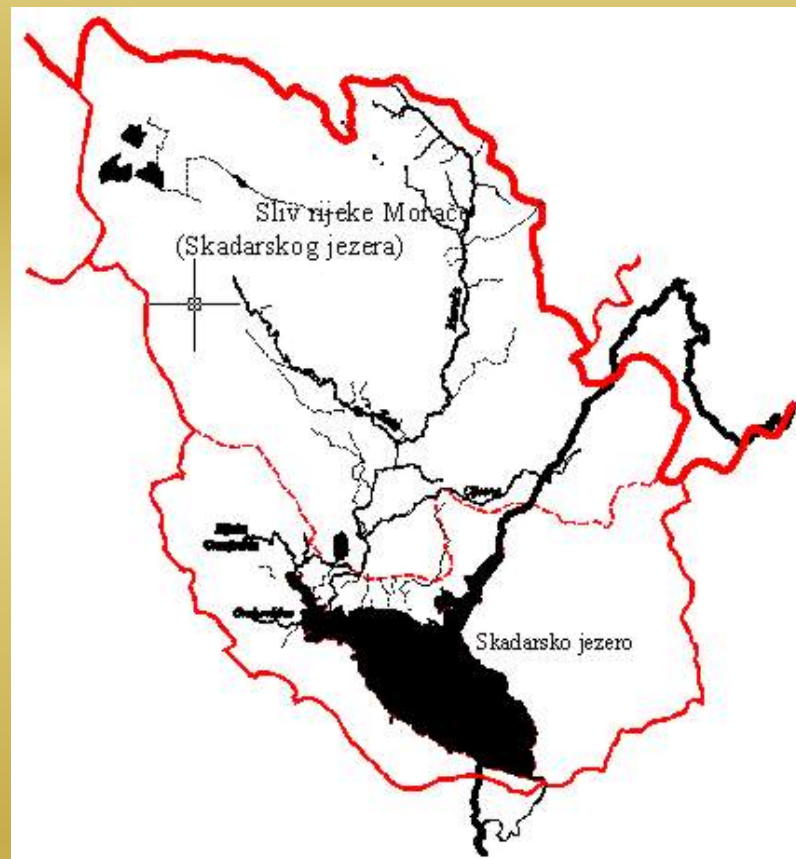
Hidrometrijski profil	F	Velike vode			
		$Q_{1\%}$	$q_{1\%}$	$Q_{2\%}$	$q_{5\%}$
	km ²	m ³ /s	l/s / km ²	m ³ /s	l/s / km ²
Profil brane HE "Piva" (projektna dokumentacija)	1757	1231,0	701	913.6	520
Ščepan polje-Piva (VOCG)	1784	1246,0	698	919,9	516

Rijeka Piva, koja uglavnom protiče preko karstnih terena, ima veliku “energiju reljefa” usljed velike razlike najviše (izvorišta) i najniže tačke (uliv u akumulaciju) a sve na relativno kratkom toku (45km). Zbog velikih gradijenata i brzine toka neminovno je bilo punjenja akumulacije u ekstremno kratkom vremenu



ZETA

Rijeka Zeta nastaje u Gornjem polju od rijeke Sušice i Rastovca. Sušica, kao veći vodotok, nastaje od Vidrovanske rijeke i Boljašnice. Zeta generalno teče prema jugu do sela Zavrh, gdje gubi dio voda na postojeće estavele, a voda se pojavljuje u akumulaciji Krupac. Odavde Zeta skreće na istok, prema Glibavcu, praveći veće i manje meandre. Dalje teče, generalno prema jugoistoku (od Vukovog mosta betonskim kanalom) sve do Budoša, gdje skreće prema jugoistoku i istoku do kompenzacionog bazena, odakle se tunelom i cjevovodima voda dovodi do HE »Perućica«.



Tokom sušnog perioda, svi vodotoci u Nikšićkom polju presuše sem Zete i Grabovika. Međutim, tokom ekstremno sušnih godina i Zeta presuši, jer mali proticaj hrani izdan u koritu rijeke.

Hidrogeološke karakteristike Nikšićkog polja

- Brojna vrela, estavele, jame, ponori
- Lako dođe do plavljenja, lako i do pražnjenja
- Gubi se 85% voda, samo 15% je akumulisano

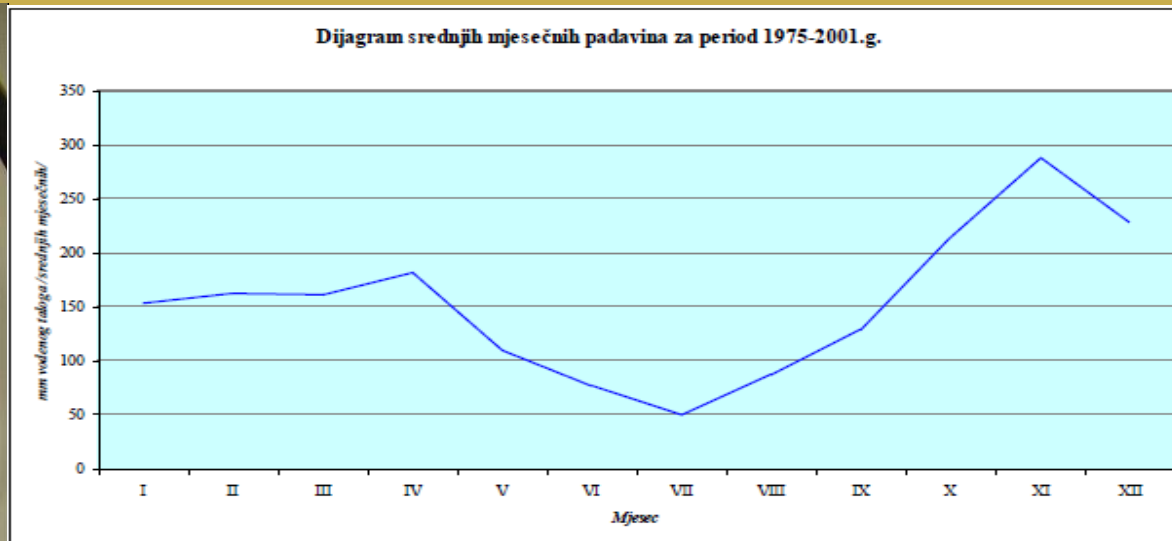
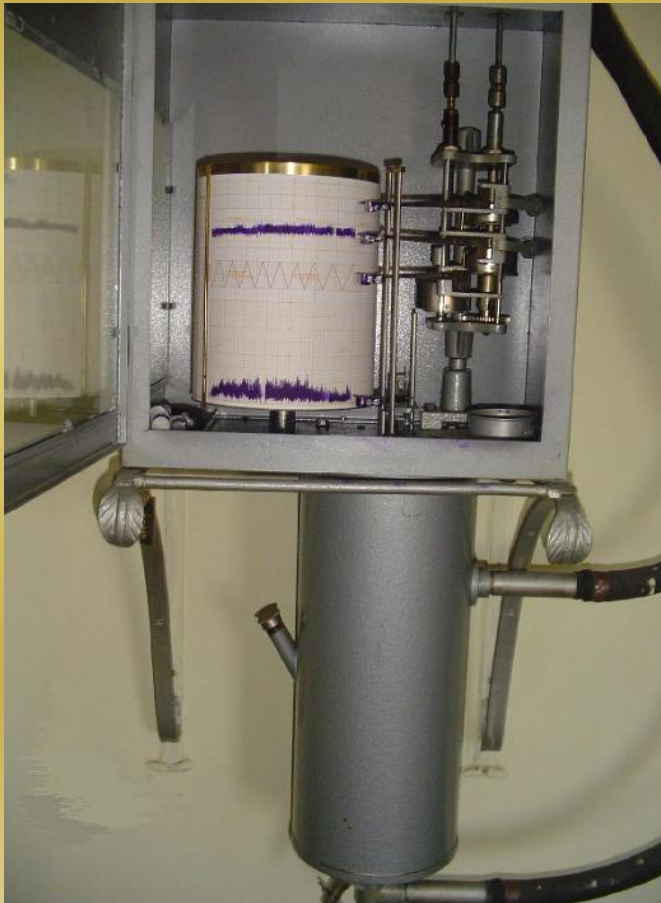
Hidrološke karakteristike

- U jesenjem i proljećnjem periodu vodostaji najveći, ljeti često presušenje

God.	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec	Qsr
2000	17,75	8,59	17,89	46,22	10,83	2,29	1,41	0,77	1,30	32,74	49,74	36,43	18,83
2001	65,77	34,82	50,24	39,80	14,50	3,31	1,45	0,82	7,09	1,54	36,53	10,94	22,23
2002	6,82	20,46	16,01	27,47	8,09	4,00	1,10	6,86	16,33	46,92	23,30	32,04	17,45
2003	51,64	12,45	7,20	26,23	12,10	2,41	0,81	0,11	0,00	25,84	57,49	32,38	19,06
2004	37,08	29,44	53,32	59,99	43,90	18,46	2,72	1,43	0,92	16,92	30,88	73,72	30,73
2005	11,37	12,49	41,42	65,64	35,60	10,10	5,45	2,69	6,91	12,51	21,87	67,10	24,43
2006	33,81	23,19	48,97	55,04	29,45	11,77	2,95	1,94	3,29	1,15	5,64	31,24	20,70
2007	29,57	44,06	35,10	27,53	9,02	5,21	1,56	0,23	3,67	19,31	38,47	26,55	20,02
2008	23,37	12,17	47,97	37,79	15,17	5,06	0,83	0,29	0,26	12,91	54,35	115,6	27,15
2009	75,16	39,44	28,07	27,03	8,51	5,68	3,02	0,45	0,21	23,21	62,70	72,04	28,79
Sr.mjes	35,23	23,71	34,62	41,27	18,72	6,83	2,13	1,56	4,00	19,31	38,10	49,81	22,94
Sr.dnev	22,75	12,66	16,48	14,84	12,83	5,14	1,44	2,04	5,07	13,90	18,17	31,44	4,61

Padavine

- Prosječne padavine 1929,1 mm vodenog stuba
- Najsušnija 1983. god (1270,2 mm), najkišovitija 2010. god. (3198,0 mm)
- Najkišovitiji oktobar, novembar, mart i april
- Najsušniji jun, jul i avgust

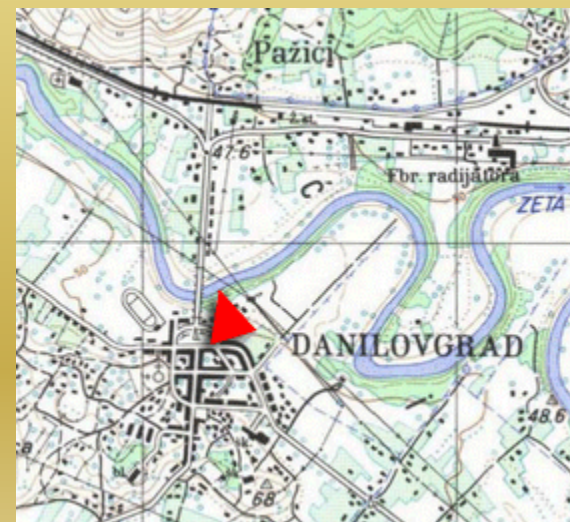
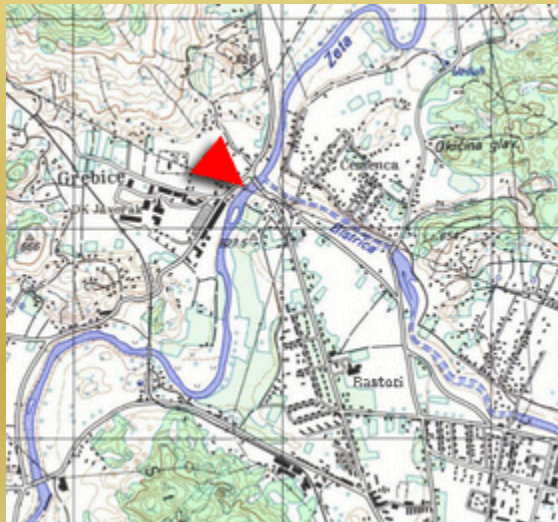


HIDROLOGIJA

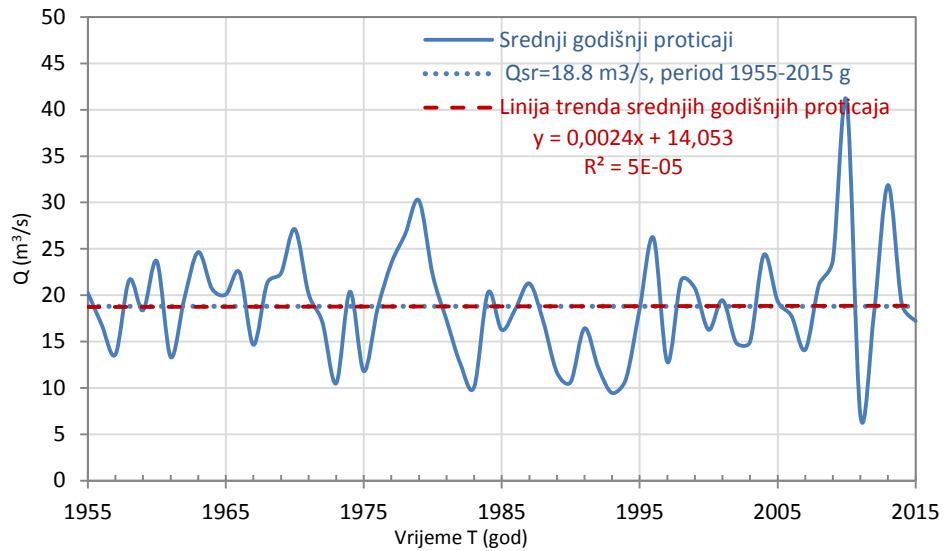
Površina sliva	850 km ²
Prosječne godišnje padavine	2072 mm/m ²
Srednji godišnji proticaj	49,74 m ³ /s

AKUMULACIJE

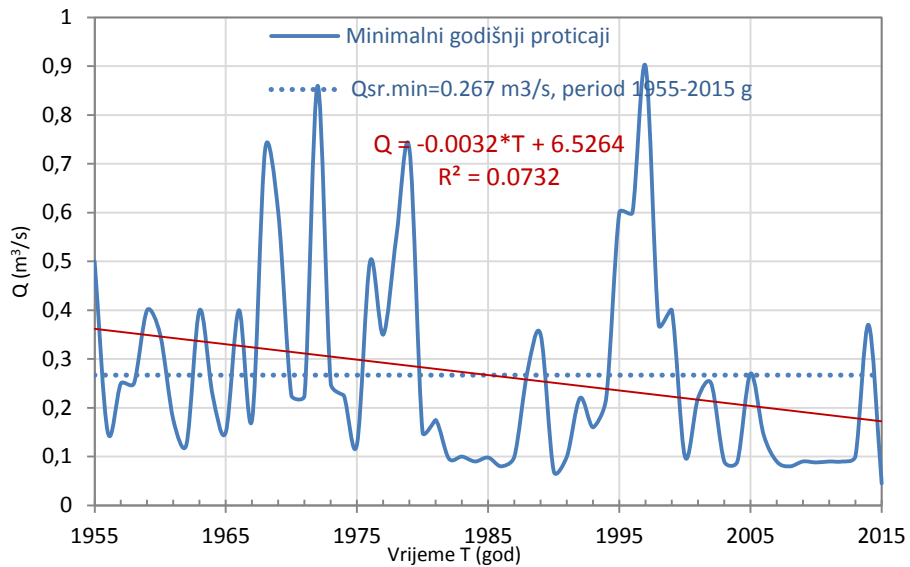
Krupac	42 x 10 ⁶ m ³
Slano	111,2 x 10 ⁶ m ³
Vrtac	71,9 x 10 ⁶ m ³



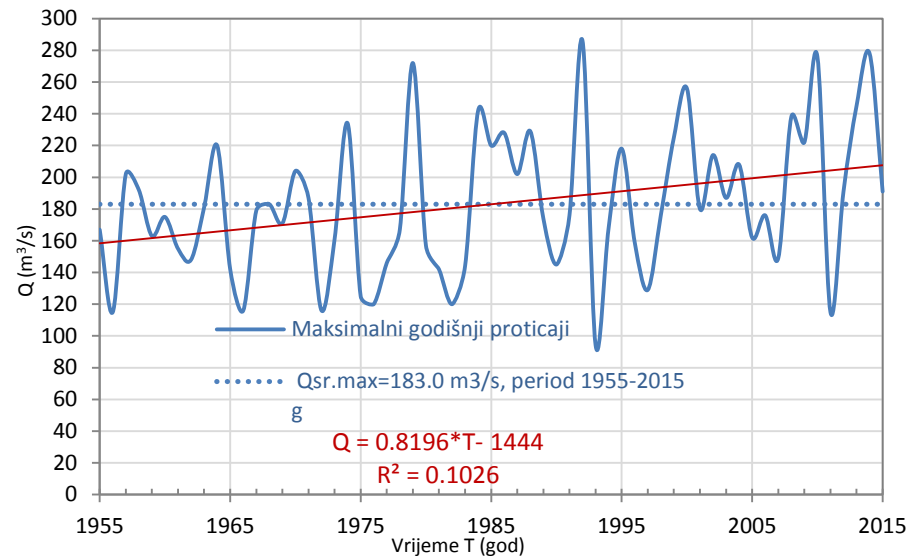
HS Duklov Most - Zeta



HS Duklov Most - Zeta



HS Duklov Most - Zeta



Trendovi proticaja rijeke Zete , stanica Duklov Most

ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Nepovoljna vremenska neravnomjernost protoka - jedna od najvećih u svijetu. Svi vodotoci imaju bujične vodne režima, sa odnosom između karakterističnih malih i velikih voda koji prelaze 1:1000, pa čak i 1:2000. Zbog tog fenomena, kao i zbog izražene duboke karstifikacije slivova, javlja se 'resursni paradoks'

Zbog velike neravnomjernosti voda po prostoru i vremenu - zahtijevana visoka obezbjeđenost svih vidova potrošnje, zatim, adekvatna zaštita kvaliteta voda i zaštita od poplava - ne mogu se ostvariti bez razvoja integralnih sistema, koji moraju da imaju akumulacije za sezonsko / godišnje regulisanje protoka

Jedna od najozbiljnijih posledica globalnih klimatskih promena, koja se već očituje, jeste dalje pogoršavanje vodnih režima, u smislu povećavanja ekstremnih hidroloških fenomena, prije svega - pogoršavanja odnosa između malih i velikih voda.

Razvojno i ekonomski postalo je neodrživo sadašnje zaostajanje Crne Gore u iskorišćenju vodnih potencijal