

Glavni nalazi optimizacije hidro sistema Zete i Pive

Dr Miodrag Kaluđerović

Sadržaj



Opis postojećeg stanja
Korišćenje vode sliva rijeke Gračanice
Korišćenje vode iz dotoka Zete, Grabovika i Mrkošnice
Korišćenje vode sliva akumulacija Krupac i Slano
Efekti izgradnje RHE Norin, RHE Opačica i 8-og agregata
Efekti izgradnje RHE Oboštica i RHE Doganov Krš
Efekti izgradnje RHE Piva i RHE Kruševo

Opis postojećeg stanja

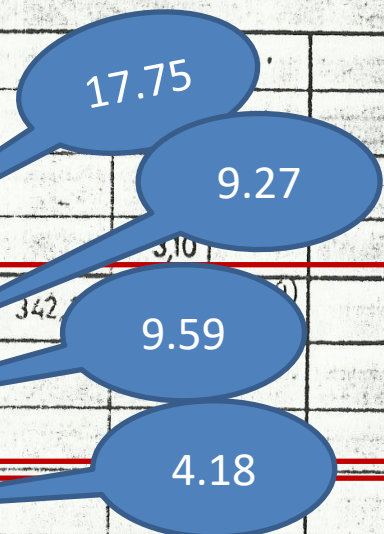
- Meteorološke i hidrogeološke karakteristike slivova Zete i Pive su dobro proučene
- Zanemarena je valorizacija kompleksnog korišćenja hidropotencijala
- Rješavanje uglavnom problem korišćenja hidroenergetskog potencijala
- Zbog složenosti i specifičnosti hidroenergetski potencijal nije adekvatno tretiran pa zbog toga nijesu nađena odgovarajuća rješenja
- Kompleksno korišćenje hidropotencijala nije na štetu korišćenja energetskog potencijala, naprotiv, ono je komplementarno

RHMZ- Raspored oticaja unutar sliva

Zete

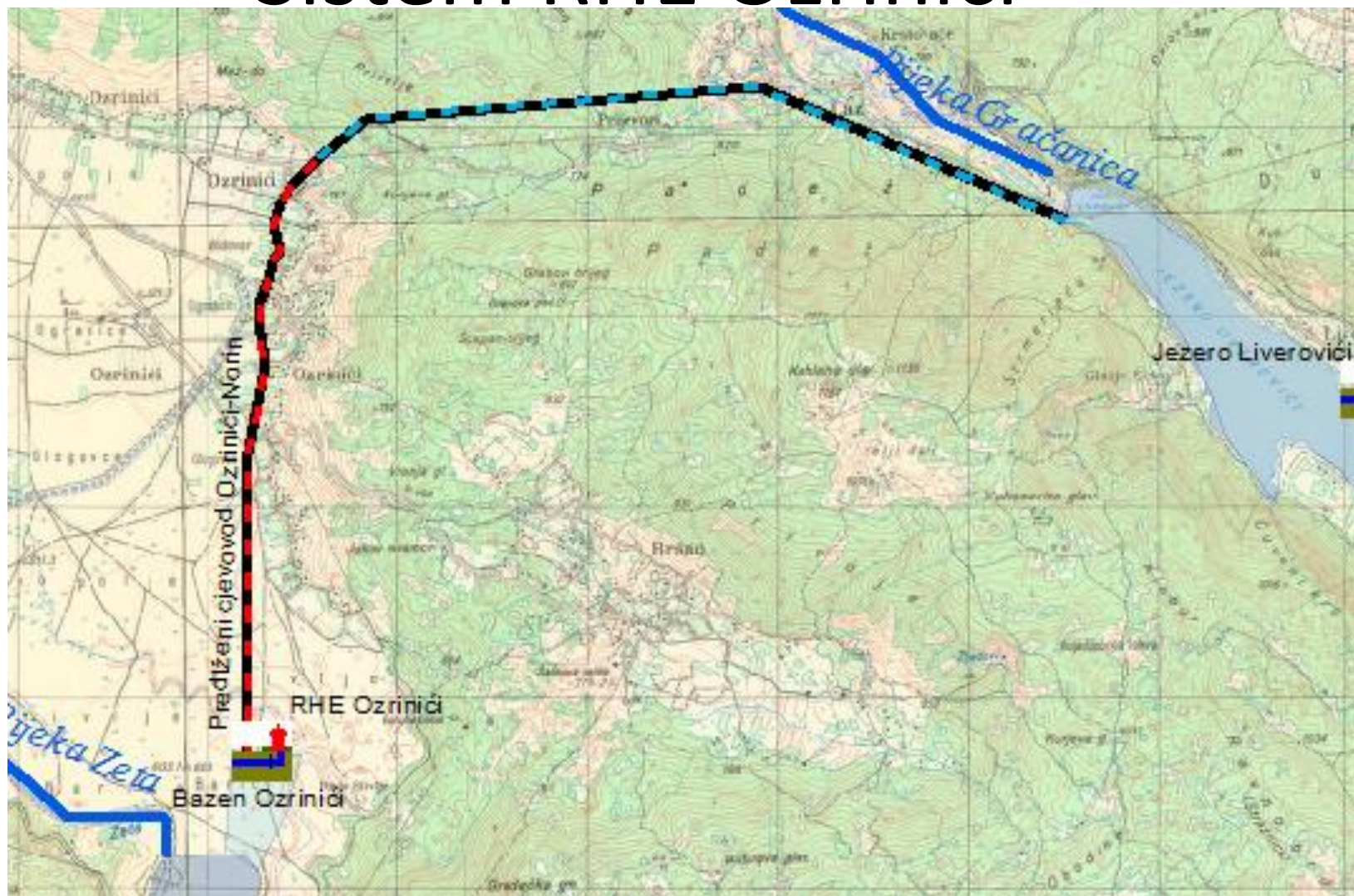
v. di. M. K. K. K.

REDNI BROJ	BROJ SLIVA	PROFIL	POVRŠINA SLIVA F (km ²)	PROTICAJI Q (m ³ /sec)	MODUL OTICANJA q (l/sec/km ²)	KUMULATIVNO			VELIKE VODE Pojave jednom u god.					
						F (km ²)	Q (m ³ /sec)	q (l/sec/km ²)	50 god.	100 god.	500 god.	1000 god.		
						7	8	9	10	11	12	13		
II b sliv Zete														
1.	1.	Sastav	301,1	17,8	58,5									
2.	2.	Bistrica	15,0	1,12	74,6									
3.	3.	Medusliv	26,1	1,93	74,6									
4.		Gubitak do Duklovog mosta		-3,10										
5.		Duklov most	342,2	17,75	52,5	342,2								
6.	4.	Mnoštatica	145,0	9,27	64,0									
7.	5.	Opačica	149,0	9,59	64,4									
8.	6.	Gračanica	65,0	4,18	64,4									
9.	7.	Medusliv	124,6	8,01	64,4									
10.		Gubitak do Slivlja		-26,70										
11.		HE Peručica - zahvat	483,6	(31,05) 4,35	(64,7)	825,8	(51,90) 22,10	(62,9)						
12.	8.	Oboštica	110,0	7,10	64,5									
13.	9.	Glava Zete	31,0	2,00	64,5									
14.		Dotok vode iz Nikšića		+22,8										



RHMZ - HIDROLOŠKA SLUŽBA - TIPOGRAFI

Sistem RHE Ozrinići



Korišćenje hidropotencijala rijeke Gračanice (1)

Hidropotencijal rijeke Gračanice se ne koristi

Napori stručnjaka da aktuelizuju postojeći koncept
pokazuju se neuspješnim

Nov pristup otvara izvanredne mogućnosti:

- Dogradnjom cjevovoda Ozrinići Norin, dužine 3 km
- Izgradnjom reverzibilne HE Norin snage 15 MW
- Proširenjem kompenzacionog bazena Norin

Korišćenje hidropotencijala rijeke Gračanice (2)

Izgradnjom objekata optimalnog rješenja dobija se:

- Veće iskorišćenje elektro energetskeg potencijala iz dotoka 35%
- Reverzibilan rad elektrane omogućava stalan maksimalan nivo akumulacije Liverovići
- Mogućnost navodnjavanja oko 10 000 ha zemljišta što je preko 4 puta više nego što se navodnjava u Crnoj Gori

Optimalni sistem koristi sve postojeće glavne objekte

Obezbijeđen je rad u taktu 8-og agregata u HE Perućica snage 60 MW u punom fondu vremena visoke tarife u toku godine.

Zavisnost neto prihoda od dotoka Gračanice i cijene električne energije u nižoj tarifi

Vrijednosti i proizvodnje na dotoku i u revirzibilnom režimu rada u RHE Norin i HE Perućica zavisno od dotoka												
Prodajna cijena električne enrgije u VT=60 €/MWh - Kupova cijena električne energije u NT= 30 €/MWh												
Red broj	Prosječni dotok u m ³ /s	Proizv. energije na dotoku u GWh	Proizv. reverzibilne energije u GWh	Ukupna proizvodnja u RHE Norin u GWh	Proizv. vršne energije u HE Perućica na bazi vode iz RHE Norin u GWh	Potrošnja energije za pumpanje u GWh	Proizv. vršne energije u HE Perućica i RHE Norin u GWh	Prihod od vršne energije u 000 evra	Izdaci za pumpanje u 000 evra	Neto prihod u 000 evra	Neto prihod u %, za 4 m ³ /s=100	
1	2	3	4	5	6	7=1,2*4	8=6+5	9	10	11=9-10	12	
1	2	20	50	60	240	60	300	18000	1800	16200	96	
2	3	30	40	60	240	48	300	18000	1440	16560	98	
3	4	40	30	60	240	36	300	18000	1080	16920	100	
4	5	50	20	60	240	24	300	18000	720	17280	102	
5	6	60	10	60	240	12	300	18000	360	17640	104	
6	7	70	0	60	240	0	300	18000	0	18000	106	
Prodajna cijena električne enrgije u VT=60 €/MWh - Kupova cijena električne energije u NT= 20 €/MWh												
1	2	20	50	60	240	60	300	18000	1200	16800	99	
2	3	30	40	60	240	48	300	18000	960	17040	101	
3	4	40	30	60	240	36	300	18000	720	17280	100	
4	5	50	20	60	240	24	300	18000	480	17520	104	
5	6	60	10	60	240	12	300	18000	240	17760	105	
6	7	70	0	60	240	0	300	18000	0	18000	106	

Matematički model

Na osnovu mjerenih podataka koji su prikupljeni za kompletan period 1991-2005 god. razvijen je originalni matematički model koji je obuhvatio unos (preko 20 000 podataka):

- promjena stanja akumulacija
- protoci na m.s. Duklo
- proizvodnja električne energije u HE Perućica

Izvršena je obrada podataka i dobijeni su korelacioni faktori za karakteristične tačke sistema, na osnovu kojih smo izračunali vrijednosti:

- Dotoka u Krupac i Slano
- Gubitaka iz Krupca i Slanog
- Preliva preko brana Krupac i Slano
- Potrošnja vode za proizvodnju električne energije u HE Perućica iz Krupca i Slanog u periodima kada nema vode Vrtcu

Korišćenje akumulacija Krupac i Slano po postojećoj koncepciji

Voda iz Krupca i Slanog se koristi kada se ispune sledeći uslovi:

- prema potrebama sistema dotok Zete nije dovoljan za proizvodnju električne energije
- Akumulaciji Vrtac nema vode da podmiri razliku

Prema rezultatima iz matematičkog modela u periodu 1991-2005 iz Krupca i Slanog prosječno godišnje je iskorišćeno 181 011 000 m³

- Gubici su veliki i iznose oko 70%
- Za Krupac su karakteristični veliki prelive vode, a za Slano gubici usled poniranja vode

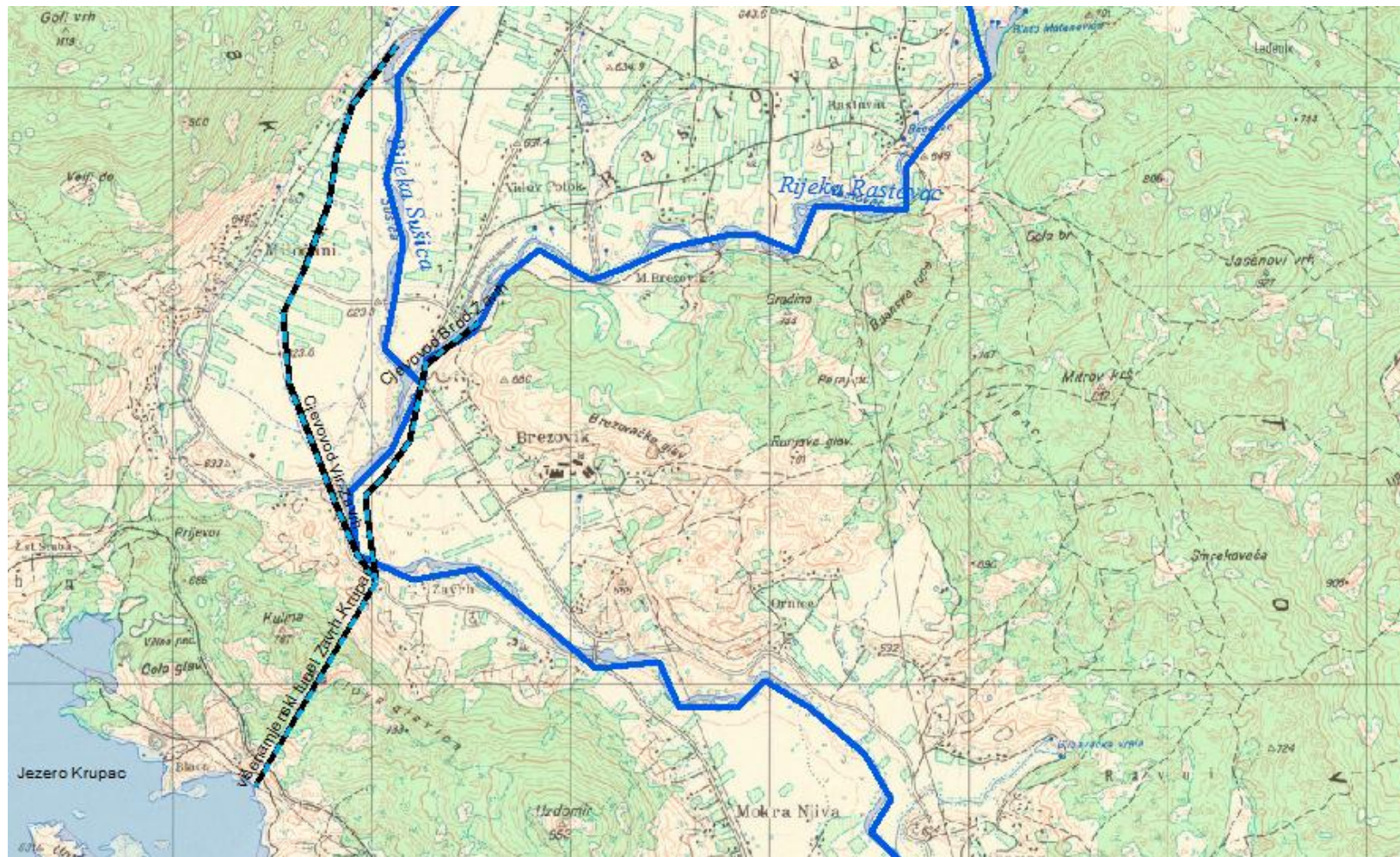
Rekapitulacija proračuna po algoritmu

- U periodu 1991-2005 prosječni godišnji doticaj je 729 619 000 m³
- Ukupno iskorišćenje vode za proizvodnju električne energije prosječno je godišnje 718 799 000 m³
- Za proizvodnju električne energije iz dotoka iskorišćeno je prosječno godišnje 537 788 000 m³
- Iz Krupca i Slanog iskorišćeno prosječno godišnje 181 011 000 m³
- Iz dotoka usmjereno u retenziju Vrtac prosječno godišnje 211 608 000 m³
- Gubici iz dotoka su prosječno godišnje 191 881 000 m³
- Iz retenzije Vrtac iskorišćeno je, prosječno godišnje 19 777 000 m³
- Procenat iskorišćenja vode iz retenzije Vrtac prosječno je godišnje 9.3%
- Gubici vode u retenziji Vrtac su veći od ukupno iskorišćene vode iz Krupca i Slanog

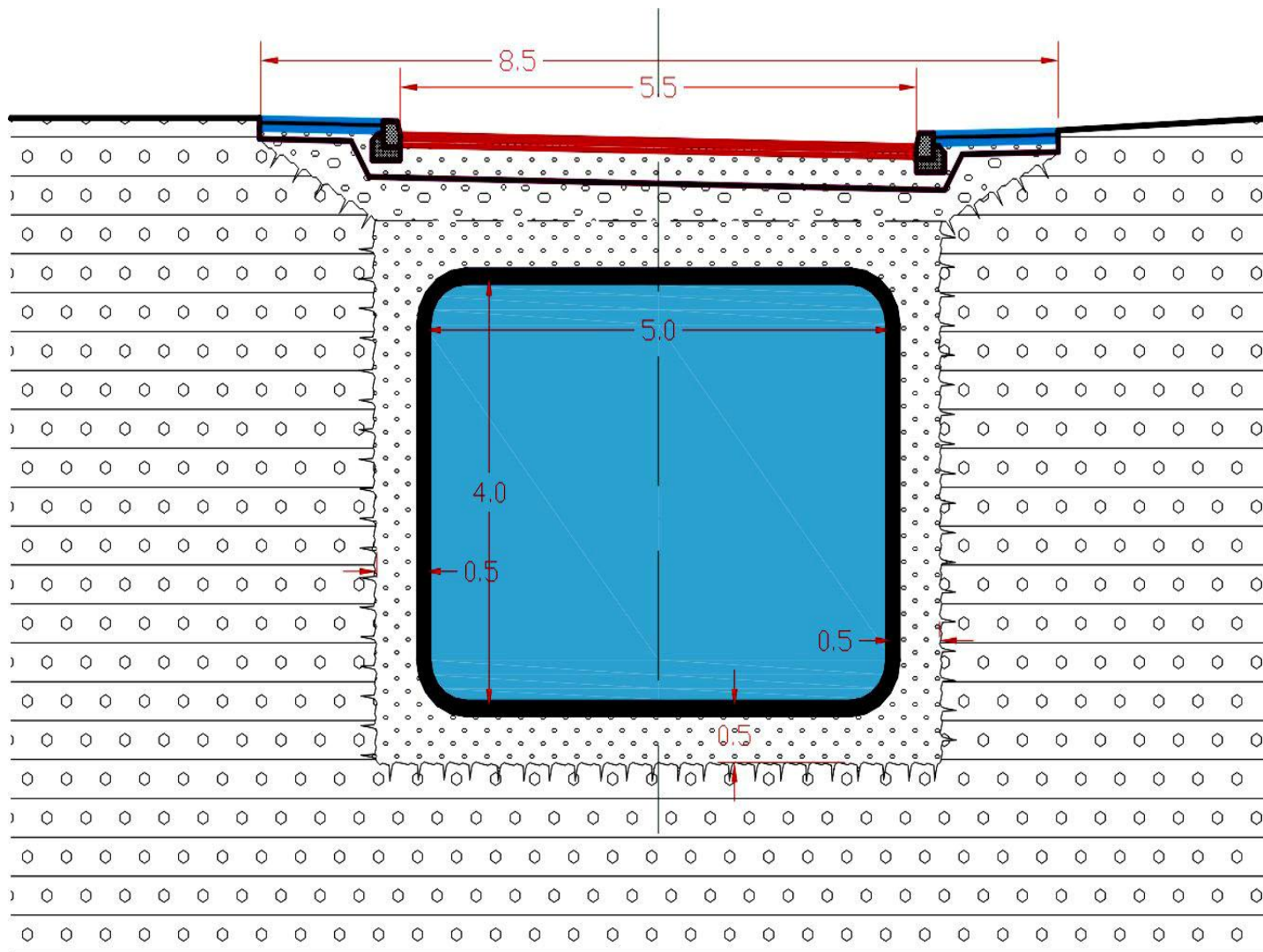
Razlozi za prevođenje Zete u Krupac i Slano

- Upućivanje vode u retenziju Vrtac praktično je gubitak vode
- Neophodno je naći takvo rješenje za prevođenje vode iz dotoka da se isključi dovodjenje vode u retenziju Vrtac
- Razlozi i potreba prevođenja Zete u Krupac i Slano uočeni su odavno
- Postojeća rješenja nijesu dala prihvatljive rezultate i brojni su konflikti sa okolinom
- Zbog toga se nude nova rješenja u nastavku

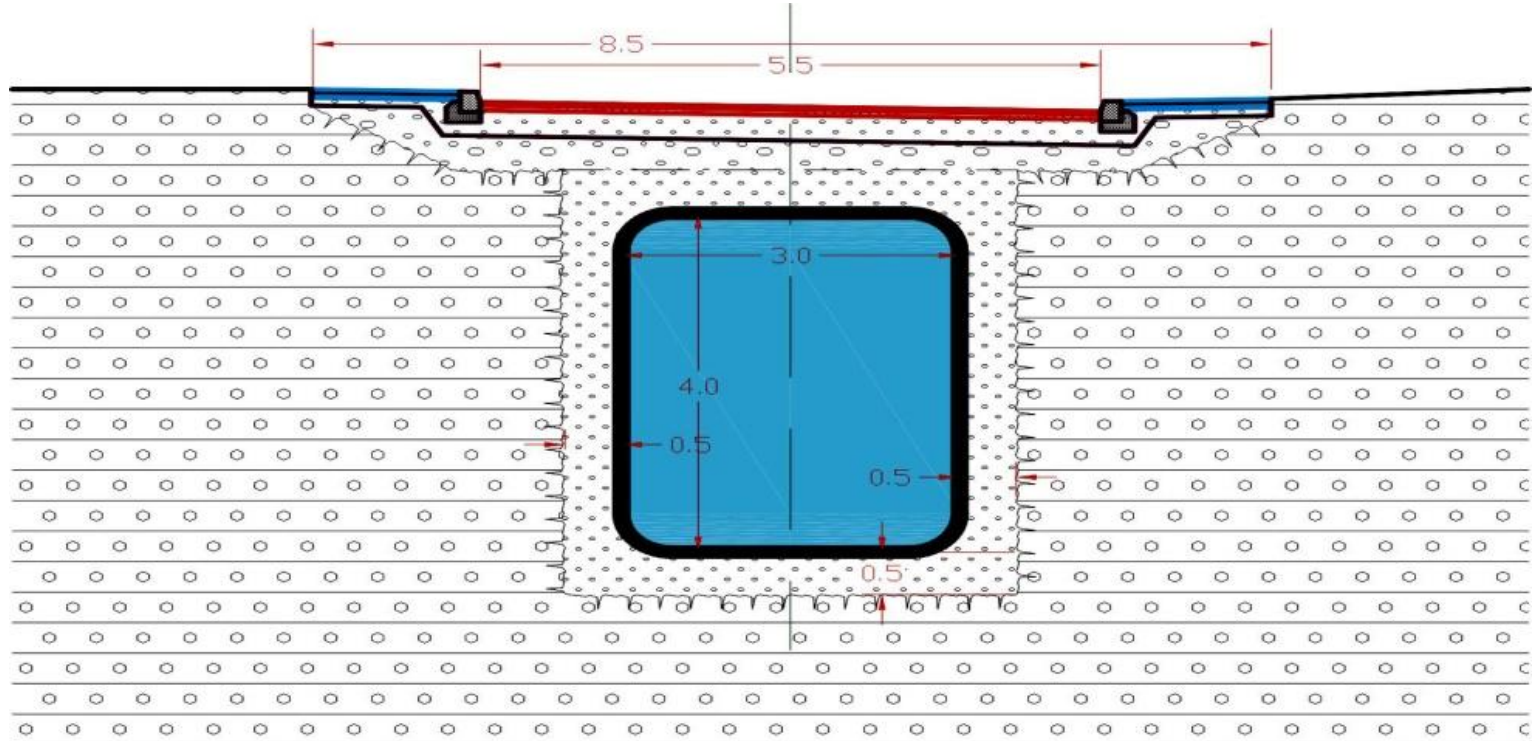
PRIKAZ PREDLOŽENOG SISTEMA PREVOĐENJA DIJELA VODE IZ ZETE U KRUPAC



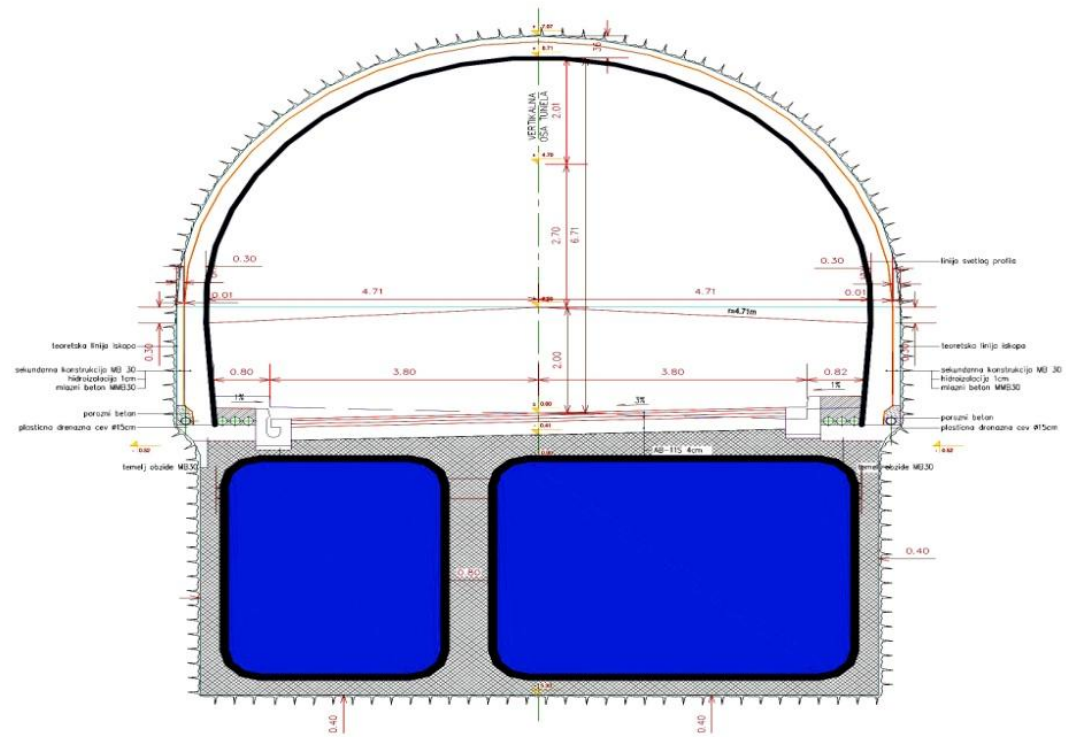
PRESJEK AB-CIJEVI I PUTA VIR-KRUPAC



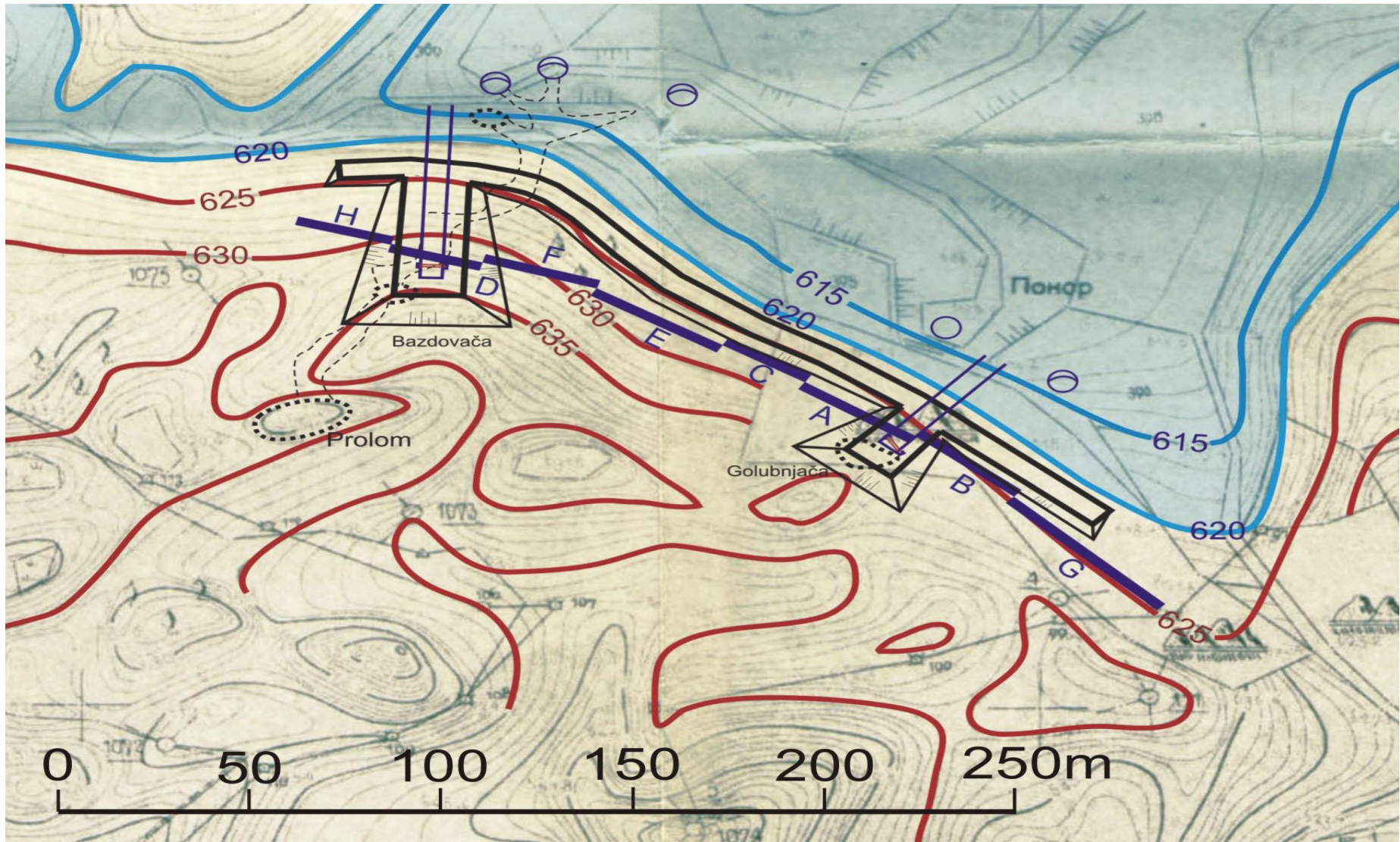
PRESJEK AB-CIJEVI I PUTA BROD-KRUPAC



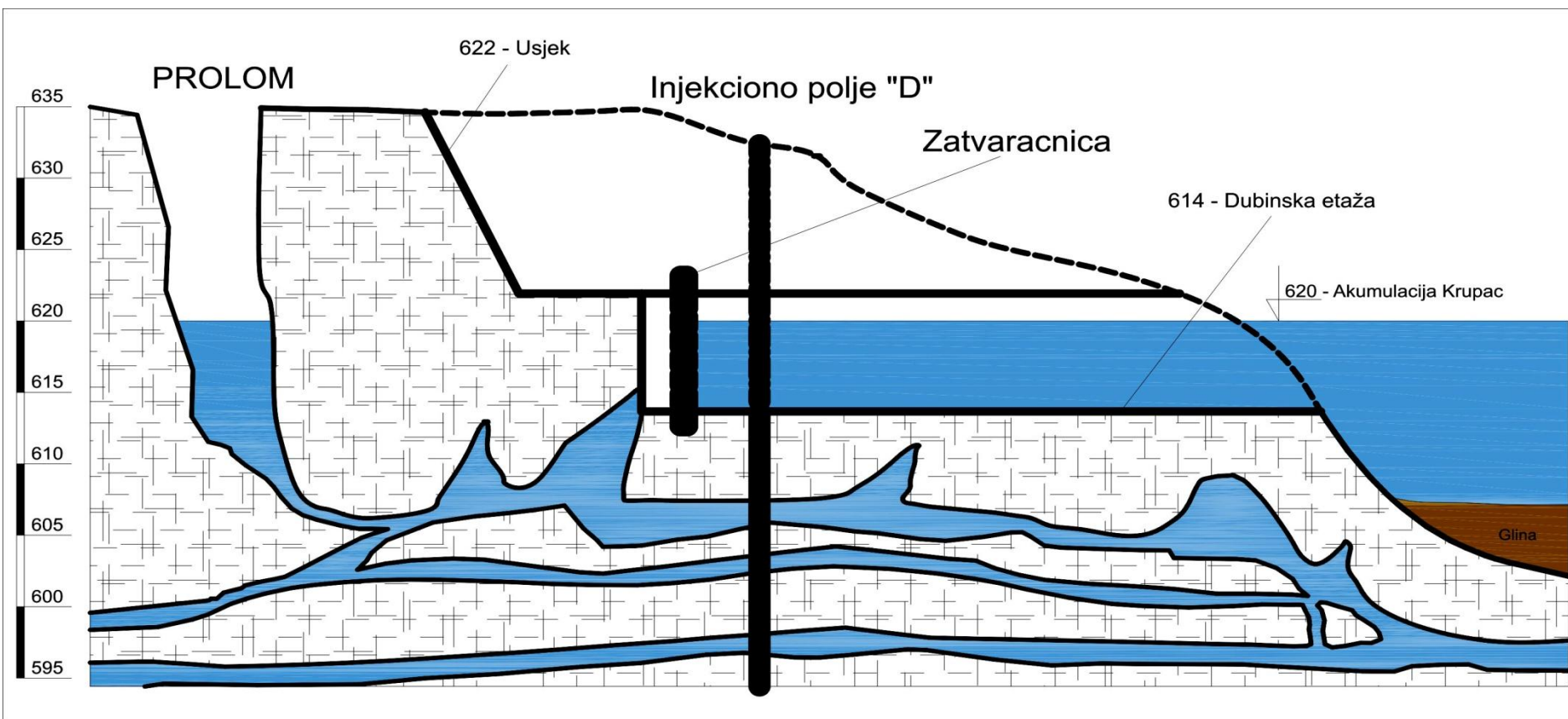
VIŠENAMJENSKI TUNEL ZETA-KRUPAC



VEZA KRUPCA I SLANOG SA USJECIMA I PALEORIJEKAMA GOLUBNJAČOM I PROLOMOM



PROFIL TERENA PREKO KRUPCA I JAME PROLOM



Definisanje dotoka vode u sistem

Rječni tokovi sistema i korelacija među njima:

- Ukoliko protok Duklo je uzmemo kao referentni sa koeficijentom 1, tada imamo:
 - Dotoci Grabovik i Mrkošnica – koeficijent 0,1
 - Dotoci Krupac i Slano - koeficijent 0,92
 - Dotok Gračanice - koeficijent 0,20

U odnosu na protok Duklo dotok u sistem je sa koeficijentom 2,22

Rad sa ovako definisanim tokovima omogućava analizu i optimizaciju korišćenja dotoka vode i vode iz akumulacija

Novi objekti

- U HE Perućica ugraditi 8-i agregat snage 60 MW
- Izgraditi RHE Norin sa pratećim objektima
- Odgovarajućim rješenjima obezbijediti da svi viškovi vode iz Zete mogu da se prevedu u Krupac i Slano
- Izvesti injekcionu zavjesu iz projektovanog potkopa na južnom obodu akumulacije Slano
- Izgraditi RHE Opačica sa pratećim objektima snage 30 MW
- Izgraditi bazen za donju vodu RHE Opačica kapaciteta do 5 miliona m³
- Na ovaj način obezbjeđuje se dodatna proizvodnja od 650 Gwh

Režim korišćenja vode iz dotoka za rad HE Perućica sa 8 agregata

- Ukupan postojeći sistem akumulacija ima kapacitet 163 miliona m³
- Brojnim analizama utvrđeno je da je racionalno maksimalno prazniti akumulacije kada je nivo u akumulacijama iznad 120 miliona m³
- Maksimalna dnevna potrošnja pri radu 8 agregata podrazumijeva rad u višoj i nižoj tarifi i potrošnju od 77 m³/sec ili 6 652 000 m³ dnevno
- kada je nivo u akumulacijama manji od 120 miliona m³ treba raditi samo u višoj tarifi što odgovara radu pri maksimanoj snazi potrošnji od 4 434. 000 m³ dnevno

Rezime proračuna za HE Perućica

Prednosti sistema u odnosu na postojeće stanje:

- Ukupna proizvodnja povećava se sa sadašnjih 892 Gwh na 1 408 Gwh što je prosječno godišnje više za 516 Gwh
- Proizvodnja u višoj tarifi povećava se sa sadašnjih 428 Gwh na 1 035 Gwh ili 2,4 puta više
- Odnos potrošnje vode iz akumulacija i ukupne potrošnje povećava se sa sadašnjih 0,25 na 0,64

Nedostaci datog rješenja:

- U hidrološki intenzivnim godinama javljaju se prelivi iz akumulacija prosječno godišnje 173 000 000 m³ što su ustvari gubici vode
- Značajna proizvodnja od 372 Gwh ostvaruje se u nižoj tarifi
- Navedeni nedostaci mogu se isključiti povećanjem instaliranog kapaciteta ili povećanjem kapaciteta akumulacija

Mjere za dalja povećanja proizvodnje i stabilnosti sistema

Pored značnog povećanja proizvodnje uz relativno male investicije sistem i dalje ima slijedeće nedostatke:

- Nestabilnost proizvodnje
- Gubici energije zbog preliva u hidrološki bogatim godinama

Dodatna povećanja proizvodnje i stabilnosti sistema

- Izgradnja RHE Oboštica snage 560 MW
- Regulisani protoci kroz HE Perućica i RHE Oboštica omogućavaju izgradnju RHE Doganov krš instalisane snage 15 MW korišćenjem akumulacije Slap

Rezime proračuna datih u tabelama

- Prednosti predloženog sistema u odnosu na postojeće stanje:
 - Ukupna proizvodnja povećava se sa 892 Gwh na 1 651 Gwh što je prosječno godišnje više za 759 Gwh
 - Proizvodnja u višoj tarifi povećava se sa 428 Gwh na 1 545 Gwh ili 3,6 puta više
 - Odnos potrošnje vode iz akumulacija i ukupne potrošnje povećava se sa sadašnjih 0,25 na 0,77
 - Navedeni pokazatelji odnose se isključivo na proizvodnju energije iz prirodnog dotoka
 - Posebnu pogodnost ovakvog koncepta omogućava rad RHE Oboštica u reverzibilnom režimu rada čime se omogućava stabilan režim rada nezavisno od hidroloških uslova

Proračun režima korišćenja vode sistema

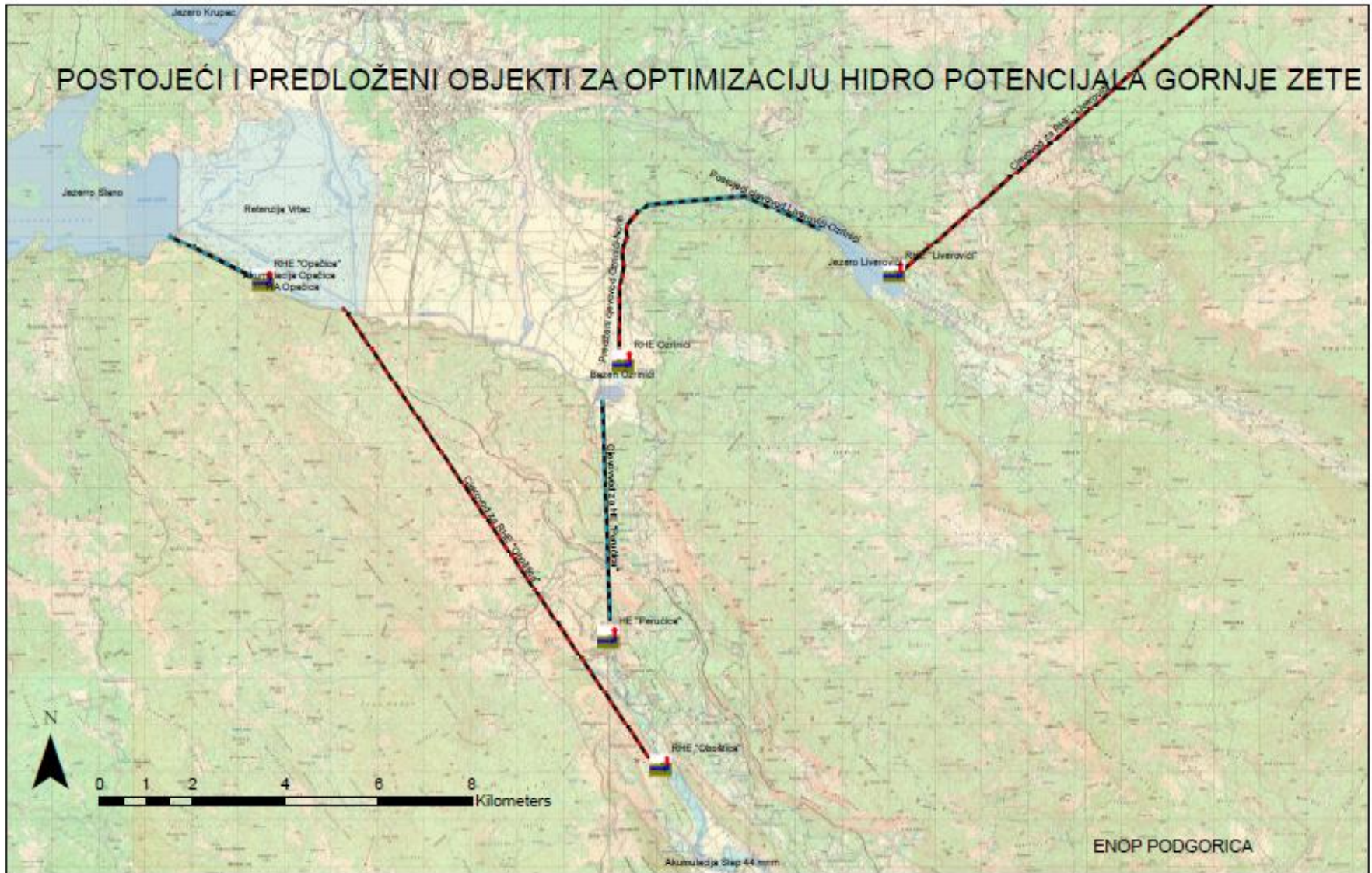
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	1Godine 8 AGPER 1979 2005	2Dan	3Mesec	4Re mont	5Dan u nedelji	6Protok Duklo u m3/sek	7Dotoci u m3/sek	8Dotoci u 000m3	9Potrošnja u 000m3	10=8*9Razli ka dot. i potr. u 000m3	11Daje u Akumulacije u 000m3	12 Uzima iz akumulaja u 000m3	13Stanje akumulacija u 000m3	14Preliva 000m3	15Razlika potrošnje i dotoka Zete, Gr. I Mr. u 000 m3	16Potrošnja iz akumulacija u 000 m3	17Prevedeno iz dotoka u akumulacije u 000 m3	18Dodatno prevođenje za vrijeme niže tarife u 000 m ³	19Moguće dodatno prevesti za vrijeme niže tarife u 000
2	1979	1	1		1	70,20	155,84	13465	4434	9031	9031	0	51707	0	-2238	0	-2238	-14	0
3	1979	2	1		2	70,20	155,84	13465	4434	9031	9031	0	60738	0	-2238	0	-2238	-14	0
4	1979	3	1		3	59,80	132,76	11470	4434	7036	7036	0	67774	0	-1249	0	-1249	645	645
5	1979	4	1		4	45,60	101,23	8746	4434	4312	4312	0	72086	0	100	100	0	1444	1444
6	1979	5	1		5	34,26	76,06	6571	4434	2137	2137	0	74224	0	1178	1178	0	1085	1085
7	1979	6	1		6	25,20	55,94	4834	0	4834	4834	0	79057	0	-2395	0	-2395	-1597	0
8	1979	7	1		7	19,19	42,60	3681	0	3681	3681	0	82738	0	-1824	0	-1824	-1216	0
9	1979	8	1		1	15,76	34,99	3023	4434	-1411	0	-1411	81327	0	2936	2936	0	499	499
10	1979	9	1		2	12,60	27,97	2417	4434	-2017	0	-2017	79310	0	3236	3236	0	399	399
11	1979	10	1		3	12,00	26,64	2302	4434	-2132	0	-2132	77177	0	3294	3294	0	380	380
12	1979	11	1		4	30,50	67,71	5850	4434	1416	1416	0	78594	0	1535	1535	0	966	966
13	1979	12	1		5	93,80	208,24	17992	4434	13558	13558	0	92151	0	-4481	0	-4481	-1509	0
14	1979	13	1		6	55,72	123,70	10688	0	10688	10688	0	102839	0	-5296	0	-5296	-3531	0
15	1979	14	1		7	35,20	78,14	6752	0	6752	6752	0	109590	0	-3345	0	-3345	-2230	0
16	1979	15	1		1	23,60	52,39	4527	4434	93	93	0	109683	0	2191	2191	0	748	748
17	1979	16	1		2	17,80	39,52	3414	4434	-1020	0	-1020	108663	0	2742	2742	0	564	564
18	1979	17	1		3	13,80	30,64	2647	4434	-1787	0	-1787	106876	0	3122	3122	0	437	437
19	1979	18	1		4	11,44	25,40	2194	4434	-2240	0	-2240	104636	0	3347	3347	0	362	362
20	1979	19	1		5	9,76	21,67	1872	4434	-2562	0	-2562	102075	0	3506	3506	0	309	309
21	1979	20	1		6	8,32	18,47	1596	0	1596	1596	0	103670	0	-791	0	-791	-527	0
22	1979	21	1		7	7,00	15,54	1343	0	1343	1343	0	105013	0	-665	0	-665	-444	0
23	1979	22	1		1	5,68	12,61	1089	4434	-3345	0	-3345	101668	0	3894	3894	0	180	180
24	1979	23	1		2	4,80	10,66	921	4434	-3513	0	-3513	98155	0	3978	3978	0	152	152
25	1979	24	1		3	4,46	9,90	855	4434	-3579	0	-3579	94577	0	4010	4010	0	141	141

DISPOZICIJA OBJEKATA RHE OPAČICA

Dispozicija objekata RHE Opačica



Postojeći i predloženi objekti



Pregled parametara sistema

- Unakrsna višedimenziona tabela omogućava:
 - analizu elemenata po željenim parametrima za odabrana vremenska razdoblja
 - međusobnu zavisnost i povezanost parametara sistema
 - Posebno je ilustrativna tabela proizvodnih pokazatelja za hidrološki niz 1979-2005 među kojima su posebno značajni slijedeći:
 - Potrošnja vode za proizvodnju električne energije u višoj i nižoj taifi
 - Povećanje proizvodnje u odnosu na postojeće stanje
 - Odnos proizvodnje električne energije iz dotoka i iz akumulacija
 - Definisane prelive tj. gubitaka vode

DISPOZICIJA GLAVNIH OBJEKATA ZA RHE KRUŠEVO



Upoređenje vrijednosti sistema na Zeti i Pivi prije i poslije ulaganja

- Sadašnja vrijednost
 - HE Perućica $305 \text{ MW} * 1\,500\,000 \text{ €/MW} = 457\,500\,000 \text{ €}$ (1)
 - HE Piva $360 \text{ MW} * 1\,500\,000 \text{ €/MW} = 540\,000\,000 \text{ €}$ (2)
 - Ukupno (1)+(2) = $997\,500\,000 \text{ €}$ (3)
- Vrijednost poslije ulaganja
 - Ukupno Zeta $1\,045 \text{ MW} * 1\,500\,000 \text{ €/MW} = 1\,567\,500\,000 \text{ €}$ (4)
 - Ukupno Piva $990 \text{ MW} * 1\,500\,000 \text{ €/MW} = 1\,485\,000\,000 \text{ €}$ (5)
 - Ukupno (4)+(5) = $3\,052\,500\,000 \text{ €}$ (6)
 - Ukupna ulaganja
 - Zeta $500\,000\,000 \text{ €}$ (7)
 - Piva $280\,000\,000 \text{ €}$ (8)
 - Ukupno (7)+(8) = $780\,000\,000 \text{ €}$ (9)
 - Neto prirast vrijednosti
 - (6)-(3)-(9) = $1\,275\,000\,000 \text{ €}$
- Vrijednost instaliranog MW veća zbog veće i kvalitetnije proizvodnje po instaliranom MW

Uticaj na okolinu

- Projekat nema konflikte sa okolinom, naprotiv ima brojne pozitivne efekte od kojih ističemo nekoliko najznačajnijih:
 - Preko Krupca, Slanog i Liverovića obezbjeđuje se iskorišćenje vode bez preliva pa se od periodičnog plavljenja oslobađaju Vrtac i Slivlje cca 2 500 ha
 - Isključuju se poplave u Gornjem Polju, Miločanima, Zavrhu, Brezoviku, Mokroj Njivi, Glibavcu i Vitalcu
 - Isključuju se poplave u Bjelopavlićima a značajno se smanjuju poplave u Zeti i priobalnom pojasu Skadarskog jezera
 - Omogućava se navodnjavanje u Nikšićkom polju i Župi Nikšićkoj do 10 000 ha
 - Akumulacije Slano površine oko 8,5 km² sa obalnom linijom 21 km, Krupac površine oko 4,5 km² sa dužinom obalne linije 11 km i Liverovići površine 1 km² sa dužinom od 5,6 km su stalno na maksimalnom nivou čime se njihove ambientalne i druge vrijednosti znato povećavaju
 - Pivska akumulacija površine 19 km² sa obalnom linijom 109 km ima stalan nivo
 - Vrijednost zemljišta koje se oslobađa od periodičnog plavljenja znatno je veće od ulaganja u predložene objekte
 - Proizvodna cijena električne energije višestruko je manja od alternativnih projekata u Crnoj Gori i okruženju

Bibliografski izvori

- <http://www.hydro.org/wp-content/uploads/2010/12/Pumped-storage5.pdf>
- Elektroprivreda Crna Gora, OOUR HE "Perućica", Nikšić: HIDROSISTEM HE "PERUĆICA", problematika razvoja i izgradnje, 1977. godina
- SOUR ELEKTROPRIVREDA CRNE GORE, NIKŠIĆ - RO "HES GORNJA ZETA" Hidrološka služba: Jednačine za računanje voda u Nikšićkom polju
- ZAJEDNICA JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE; Produktivnost hidroelektrana u Jugoslaviji; Model 1987; Knjiga 5, SR CRNA GORA; Energoprojekt-Beograd, januar 1987. godine
- Mr. M. Vlahović :Projekat poboljšanja vododrživosti akumulacija "Krupac" i "Slano", 1999. godina
- HE "Perućica", Izvod iz dnevnog pogonskog izvještaja komande, 15 knjiga po 366 strana, za svaku godinu posebno za period 1991-2005. godina
- Projekat tehničkog osmatranja brane Liverovići, Građevinski fakultet-Beograd, 1996. god. Hidrološka studija, J.Černi Beograd 1962
- The European Market for Pumped Storage Plants, ecoprog, Cologne, March 2011
- Mićko Đ. Radulović: Hidrogeologija karsta Crne Gore, Podgorica, 2000
- B.Đorđević, G.Sekulić, M. Radulović, M.Šaranović: Vodni potencijali Crne Gore, CANU, Podgorica 2010
- M. Grbović, P. Tomašević D.Krivokapić: Rad HE Piva u tržišnim uslovima, EPCG

Zaključna razmatranja

Osnova i opseg Projekta
Struktura primijenjene metodologije
Korelacije i parametarizacije

Vujković Stanko, dipl.inž.elektrotehnike

Zaključna razmatranja: osnova i opseg Projekta

Model obuhvata

- Rijeke: Sušica, Rastovac, Zeta, Grabovik, Mrkošnica, Gračanica
- Akumulacije: Krupac, Slano, retenzija Vrtac, Liverovići, kompenzacioni bazen Slivlje

Složen hibridni sistem

- Podsystemi - segmenti
- Elementi – odnos među elementima, grupisanje po značaju
- Cilj – integralni koncept

Zaključna razmatranja: struktura primijenjene metodologije

Osnova – bilansi upotrebljivih (iskorišćenih) površinskih voda

Baza podataka 15 god. – dnevna mjerenja

- Protok Zete – mjerna stanica Duklo
- Nivo akumulacija
- Potrošnja vode u HE Perućica
- Kvalitet – analiza globalnih hidroloških veličina slivova i dotoka – manja pouzdanost

Obrada mjernih podataka

Proračun vrijednosti elemenata sistema

- Dotoci
- Potrošnja iz akumulacija – oticaj
- Gubici
- Prelivi

Zaključna razmatranja

Korelacije i parametarizacije

- Iterativni procesi
 - konvergentnost
 - nivo elementa, podsistema i Projekta u cjelini
 - Podudarnost – protok, proizvodnja, padavine
- Efektivnost metodologije
 - Funkcionalna dokumentovanost – fitovane krive
 - Homofornost sa podacima Hidrometeorološkog zavoda

Kvantitativna analiza korelacionih elemenata u sistemu

- Povećanje uzorka – relacioni model baze podataka, aplikativni sloj
- Detaljna korelacija – hidrologija – meteorologija – dnevni nivo