

UNIVERZITET "VELJKO VLAHOVIĆ"
GRAĐEVINSKI FAKULTET - TITOGRAD

RATOMIR R. ŽIVALJEVIĆ

HIDROLOŠKA ANALIZA KRETANJA KRAŠKIH VODA
NA PRIMJERU SLIVA RIJEKE CRNOJEVIĆA

■ DOKTORSKA DISERTACIJA ■

T I T O G R A D , Januara 1992.g.

Umjesto predgovora

Ideja o sadržaju teme doktorske disertacije proizašla je iz nedovoljne hidrološke izučenosti sliva rijeke Crnojevića. Posljedice nedovoljne hidrološke izučenosti sliva mogu se smatrati kao jedan od negativnih činitelja na adekvatnost zaštite ljudskih i materijalnih dobara za vrijeme poplave grada Cetinja, februara 1986. godine. Posljedice toga ekstremnog hidrološkog stanja bile su katastrofalne, prije svega u oštećenju dijela arhivske dokumentacije duhovnog stvaralaštva.

Iste 1986. godine održano je savjetovanje o uzrocima i odbrani od poplava Cetinja. Na ovom savjetovanju je pokrenuta inicijativa o potrebi sagledavanja hidroloških procesa u kraškom sistemu rijeke Crnojevića, prije svega sa aspekta primjene hidroloških metoda i hidroloških analiza o kretanju kraških voda pri različitim hidrološkim stanjima sa ciljem definisanja veličine površine sliva - sistema rijeke Crnojevića: što je i osnovni sadržaj ove disertacije.

Završavajući doktorsku disertaciju izražavam zahvalnost Republičkom hidrometeorološkom zavodu Crne Gore na korišćenju hidroloških i meteoroloških karata i angažovanju kolega na saradnji u dijelu mjerenja i osmatranja i njihovim osnovnim obradama. Takođe, ističem koristan doprinos objavljenih radova i literature iz geologije, hidrogeologije i hidrologije koji se odnose za širi ili užu region sliva rijeke Crnojevića.

Za materijalnu pomoć pri istražnim radovima i izvođenju eksperimentalnih mjerenja zahvaljujem se preduzeću "Vodovod" iz Cetinja, posebno direktoru preduzeća ing. Marku Vrbici. Na isti način dugujem zahvalnost Nastić Radomiru vlasniku preduzeća "Ingprom" iz Titograda.

Ističem korektnost i korisnost saradnje kolega dr Stanke Filipović, dr Izeta Avdagića, kao i ing Mička Radulovića i Predraga Vujusića na zajedničkom radu u sklopu projekta "Unapređenje metoda korištenja i zaštite voda u oblasti mediteranskog krša" koji su tretirali region Cetinja i rijeke Crnojevića sa aspekta sadržaja teme projekta.

Posebnu zahvalnost dugujem dr Branislavu Glavatoviću, Draganu Aleksiću i mr B. Stiševiću u saradnji na izradi softvera i aplikacionih programa primijenjenih u disertaciji.

Na kraju, a po značaju na prvom mjestu, zahvaljujem se uvaženom profesoru dr Ognjenu Bonacciju, mentoru ove disertacije. Organizacioni pristup, dinamika i pravilno usmjeravanje na traženju bitni problema ka razjašnjenju nepoznatog kao i moralna podrška za uspješnost rješenja zasluga je profesora Bonaccija.

Konačno zahvaljujem se svojoj porodici na strpljenju i razumijevanju za uskraćeni dio njima zaslužene pažnje. Bez njihove podrške nije bilo moguće početi niti završiti ovu disertaciju.

" HIDROLOŠKA ANALIZA KRETANJA KRAŠKIH VODA
NA PRIMJERU SLIVA RIJEKE CRNOJEVIĆA "

S A D R Ž A J

1.	U V O D	1
2.	GEOFIZIČKE INFORMACIJE	4
2.1.	GEOLOGIJA SISTEMA	4
2.1.1	HIPSOMETRIJSKI POLOŽAJ	4
2.1.2.	GEOLOŠKA GRAĐA I TEKTONIKA	5
2.1.3.	GEOMORFOLOŠKI USLOVI	8
2.2.	HIDROGEOLOGIJA SISTEMA	10
2.2.1	GRANICE HIDROGEOLOŠKOG SLIVA	11-2
3.	INFORMACIJE O KLIMI PODRUČJA	12
4.	HIDROLOŠKI PARAMETRI IDENTIFIKACIJE KRAŠKOG SISTEMA I KRETANJA KRAŠKIH VODA	22
4.1.1.	ANALIZA KARAKTERISTNOG IZLAZNOG HIDROGRAMA	24
4.2.	ANALIZA GEOMETRISKIH KARAKTERISTIKA SREDINE	26
4.3.	ANALIZA REAKCIJE KRAŠKOG SISTEMA	28
4.4.	ANALIZA VREMENA REAKCIJE SISTEMA (t_c) METODOM KROSKORELACIJE	32
4.5.	REAKCIJA SISTEMA KROZ PROMJENU NIVOVA PODZEMNIH VOD U CETINJSKOM POLJU	38
4.6.	HIDROLOŠKO EKSTREMNO STANJE KAO PARAMETAR IDENTIFIKACIJE KRETANJA KRAŠKIH VODA U SISTEMU RIJEKE CRNOJEVIĆA	40
5.	HIDROLOŠKI BILANS SISTEMA	56

5.1.	OSNOVNE TEORIJSKE POSTAVKE	56
5.1.2.	OSNOVNE JEDNACINE HIDROLOŠKOG BILANSA	57
5.1.3.	BILANSNE JEDNACINE ZA KRASKI SUSTEM	58
5.2	METODE ODREĐIVANJA GLAVNIH KOMPONENTI HIDROLOŠKOG BILANSA	60
5.2.1.	EKVIVALENTNA VISINA PADAVNA	60
5.2.2.	ODREĐIVANJE OTICAJA NA IZLAZU SISTEMA	62
5.2.3.	ODREĐIVANJE ISPARAVANJA SA AKTIVNE POVRŠINE SISTEMA	65
5.3	RJEŠENJA JEDNACNE HIDROLOŠKOG BILANSA	78
6.	METODA KONCEPTUALNOG MODELA SSAR24-SSARRULAZ	86
6.1.	NAMJENA MODELA	86
6.2.	OSNOVNE KARAKTERISTIKE MODELA	87
6.3.	IZRACUNAVANJE UKUPNIH PADAVINA	89
6.4.	SIMULIRANJE VLAŽNOSTI ZEMLJISTA I PREDSTAVLJANJE INFILTRACIONIH GUBITAKA	91
6.5.	IZRACUNAVANJE EVAPOTRANSPIRACIONIH GUBITAKA	92
6.6.	IZRACUNAVANJE DUBINSKIH GUBITAKA	93
6.7.	IZRACUNAVANJE PODPOVRŠINSKE I POVRŠINSKE KOMPONENTE	94
6.8.	PROPOGACIJA KOMPONENTI OTICANJA	94
6.9.	METODOLOGIJA IDENTIFIKACIJE POMOCU SSARR MODELA	96
6.10.	REZULTATI PRIMJENE MODELA	97
7.	ZAKLJUČAK	102
	LITERATURA	106
	PRILOZI (1 - 23)	

Molitva čovjeku

" Neka prestanu vapaji žednih ,
neka bistro vrelo bude očni vid "

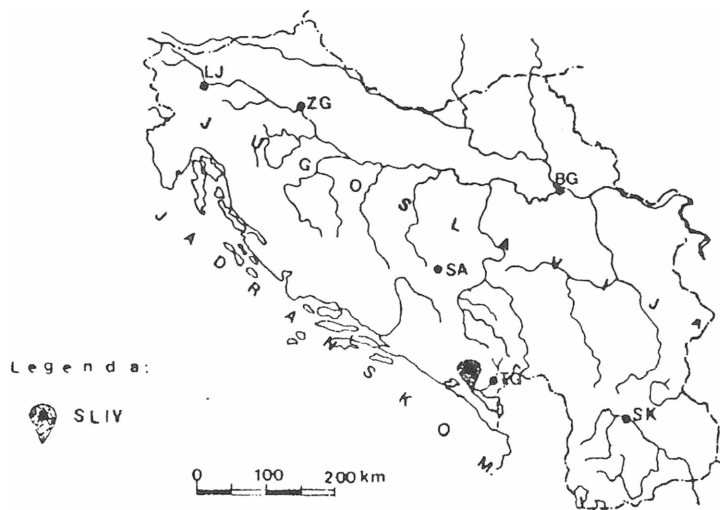
A u t o r

1. U V O D

1.1. PREDHODNE NAPOMENE

Izučavanje procesa kretanja vode u kršu je uslovljeno egzistencijalnim potrebama čovjeka za vodom i kontinuitetom njegovog opstanka. Ono je u neposrednoj povezanosti sa povećanjem broja stanovnika u već postojećim naseljima krša, kao i formiranjem novih urbanih sredina na kraškim područjima. Voda ne samo što je uslov života, već je bitna komponenta tehničko-tehnološkog razvoja. Globalni hidrološki bilans na mnogim karstnim područjima zadovoljava sadašnje i buduće potrebe za vodom. Međutim, neravnomjerna prostorna i vremenska raspodjela padavina kao ulazne komponente i kompleksnost uticaja na transformaciju padavina u oticanje su uzrok nedostataka vode i njene ograničene potrošnje. Iz ovih razloga, rezultati izučavanja kretanja voda u kršu predstavljaju temeljnu osnovu za rješavanje vodosnadbijevanja iz podzemlja kraških terena. S druge strane, naučni pristup izučavanja odnosa voda-krš, uslovljen je i imperativnim zahtjevima zaštite podzemnih voda od zagađivanja, te očuvanja kvaliteta koji sadrži zdrava pijaca voda.

U radu je sproveden postupak primjene hidrološke analize kretanja kraških voda na primjeru sliva -sistema Rijeke Crnojevića, u cilju određivanja veličine površine sliva. Sliv na kojem su razvijeni svi tipski površinski i podzemni karstni oblici (holokarst), lociran je u središnjem jugozapadnom dijelu Crne Gore- Jugoslavija zauzimajući jugoistočni dio Dinarida (sl.1)

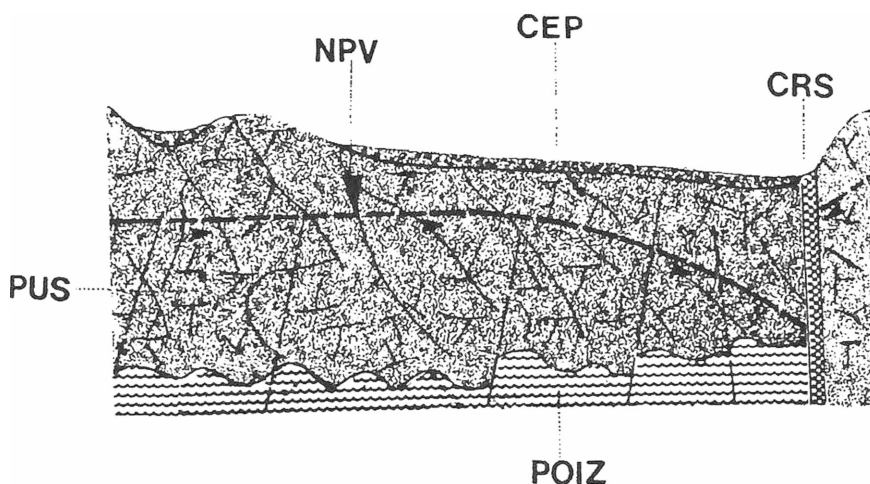


Sl.1. Lokacija sliva Rijeke Crnojevića

1.2. DEFINISANJE PROBLEMA I METODA RJESENJA

Pisani tragovi o prisustvu i kretanju vode u karstu imaju svoje polazište iz Antičkog vremena. Upravo, mediteranski krš sa svojim neobičnim oblicima, geofizičkim pojavama i drugim prirodnim manifestacijama djelovao je tajanstveno i zbog toga je i pobuđivao interesovanje velikih antičkih mislilaca : Homera, Aristotela i drugih filozofa toga vremena.

Ipak, značajniji istražni radovi na naučnom pristupu izučavanja odnosa voda-krš, izvršeni su tek u drugoj polovini 19 vijeka pa dalje. Kretanje voda u kršu, prije svega sagledavano je kroz izučavanje geološke građe i funkcionisanje hidrogeološkog sistema. Nasuprot tome, hidrološki aspekti i hidrološke metode u rješavanju ovog problema nedovoljno su izučeni. Izraz "nedovoljno" asocira preventivno, na izuzetno složene odnose voda-krš sa aspekta primjene dinamičkih hidroloških modela u oponašanju hidroloških procesa ili ukupnih odgovora sistema. Složenost je u samom fenomenu krša. Jer, krš kao heterogena ispucala masa rastvorljivih i vodopropustljivih karbonatnih stijena, sadrži u sebe komponentu slučajnosti. Komponenta slučajnosti primarno je izražena u prostornoj raspodjeli geometrije pukotina, sekundarnih i primarnih provodnika (sl.1.2)



LEGENDA :

- CRS - CETINJSKI RASJED
- NPV - PODZEMNE VODE
- PUS - PUKOTINSKI SISTEM
- POIZ - PODINSKI IZOLATOR
- CEP - CETINJSKO POLJE

Sl.1.2. Segment sekundarnih i primarnih provodnika i pukotinskog sistema u zoni kraške izdani Cetinjskog polja.

Slučajnost nije samo u sveukupnom karakteru krša kao čvrste faze, već u kapacitativnosti uskladištenja tečne faze i njene propusljivosti i transmisiji ka erozionim bazisima. Izuzimajući poznavanje generalnih smjerova kretanja kraških voda iz određenih zona koncetrisanog karsta, mnogi drugi parametri za egzaktno definisanje hidrološkog procesa su nepoznati. Prije svega, nedostatak informacija o stanju nivoa podzemnih voda sa više tačaka pretpostavljenog sliva odražava se na nemogućnost određivanja položaja podslivova-rezervoara i međusobnih komunikacija sa glavnom provodnom zonom ka izlazu iz sliva kao sistema.

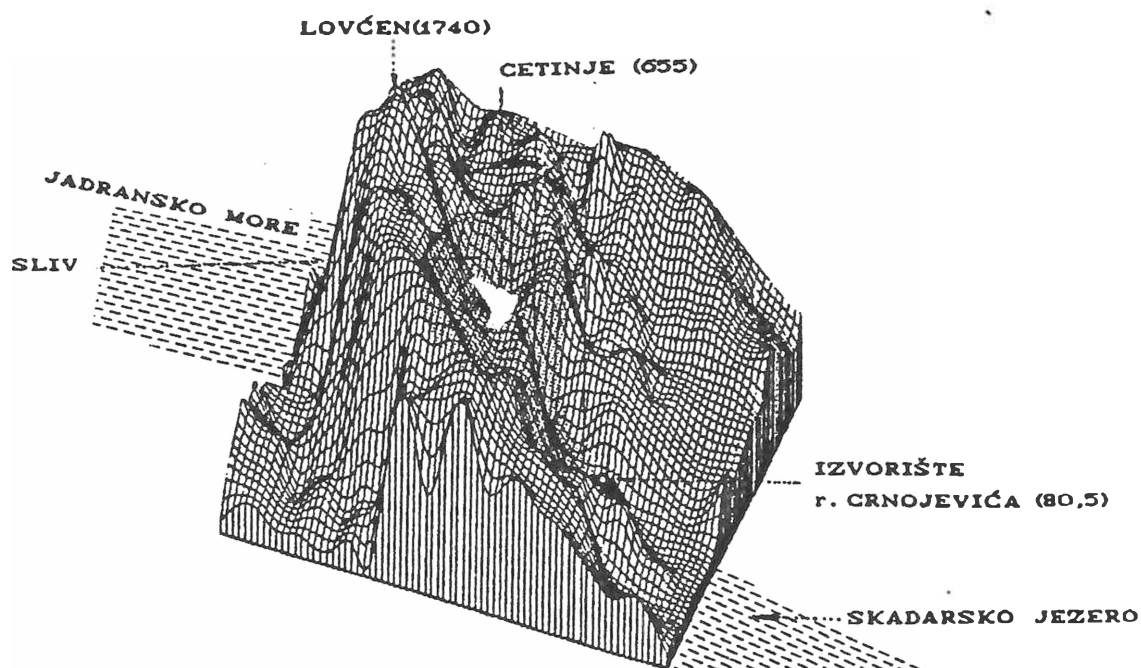
Iz ovih razloga je i prednost aplikativnosti hidrološke analize na izučavanje kretanja kraških voda u odnosu na sintezu. Naime, postoji činjenica da se efekti uticaja heterogenosti i komponente slučajnosti implicitno odražavaju kroz karakter oticanja na izlazu iz kraškog sistema (sliva). U suštini, hidrološka analiza za predmetni kraški sistem sadržana je :

■ u analizi izlaznog hidrograma, kao produkta efekata uticaja sveukupne složenosti krša na transformaciju padavina u oticanje. Pri čemu, vrijeme realizacije izdiferenciranog hidrološkog procesa odgovara vremenskom intervalu izlaznog hidrograma, odnosno reakciji (odzivu) sistema na učinke jedne padavinske epizode.

■ u proračunu hidrološkog bilansa kraškog sistema.

■ u primjeni konceptualnog hidrološkog modela SSARR sa ciljem definisanja mjerodavne veličine površine sistema.

Hidrolaški aspekt analize je oslonjen na korišćenju raspoloživih informacija interdisciplinarnog izučavanja, koja su dosada izvršena na području ograničenom na sl.1.3.



Sl.1.3 Digitalni prikaz reljefa u slivu rijeke Crnojevića

Kompatibilne informacija su prije svega iz domena geofizičkih karakteristika :

GEOLOGIJE,
HIDROGEOLOGIJE,
KLIMA.

Pored ovih korištene su informacije o ostalim karakteristikama kraškog sistema i to:

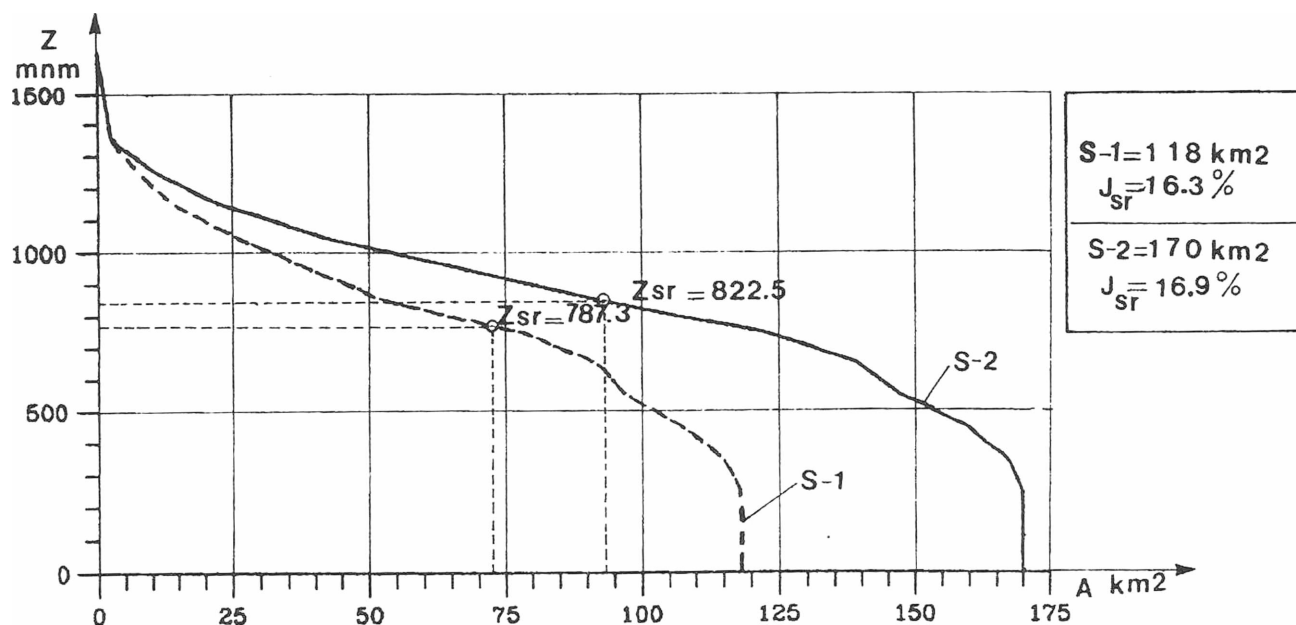
Speleološki pojavni oblici, hidrotehnička rješenja, seizmološke karakteristike, fizičko hemiski parametri kao indikatori smjerova kretanja podzemnih voda, istoriski zapisi o životu ljudi na ovom području i njihovom vjekovno druženje sa golim kršem i očima uprtim u nebo.

2. GEOFIZICKE INFORMACIJE

2.1 GEOLOGIJA SISTEMA

2.1.1. Hipsometrijski položaj

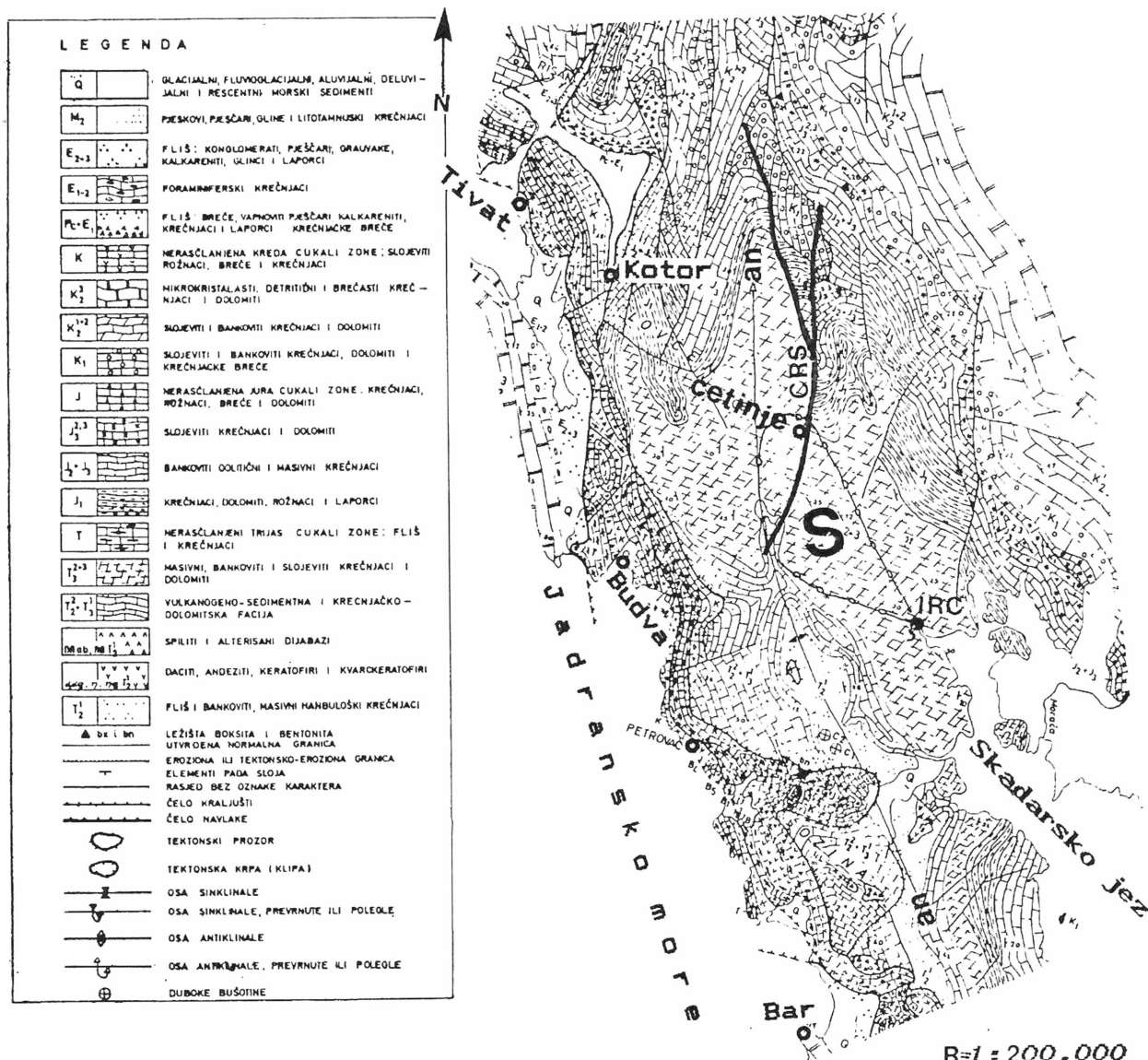
Reljef sistema je razuđen i dezorganizovan. Nalazi se u rasponu visinskih područja manjih od 100 mnm i većih od 1000 mnm (sl.2.1) Posebno se izdvaja zapadni dio terena sa veoma izraženom energijom, djelovi terena srednjeg i istočnog dijela su sa znatno slabijom energijom reljefa. Oblici rečnih dolina se jasno zapažaju od 400 mnm odnosno 600 mnm, dok se područje grebena samostalno javljaju na visinama većim od 1000 mnm.



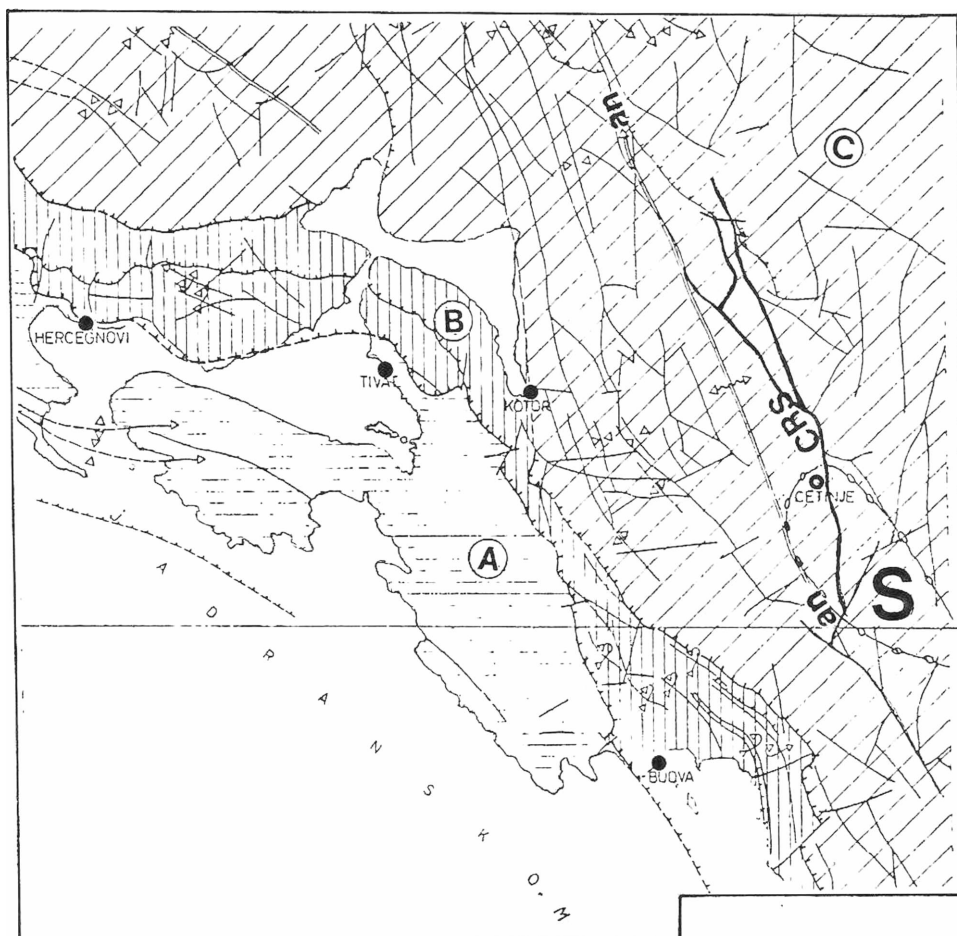
Sl.2.1. Hipsometrijski položaj kraškog sistema

2.1.2. Geološka građa i tektonika

U geološkom tektonskom pogledu kraški sistem je izgradjen pretežno od mezozojskih karbonatnih sedimenata i pripada "zoni visokog krša" koja zahvata oblast stare Crne Gore. U strukturno-tektonskom pogledu to je antiklinorijum, koji je prema jugu navučen na Budvansku-barsku zonu "Cukali zonu" sa osom koja se poklapa sa pravcem Bata -Cetinje i tone prema sjeverozapadu (sl.2.2).



Područje od Crnojevića rijeke do Kotora, generalno posmatrano predstavlja moćnu karbonatnu tablu koja je ispresijecana mnogobrojnim rasjedima, posebno u području planine Lovćena sa naborima i razlomima povijajući se pretežno u pravcu jugozapada (sl.2.2-2).



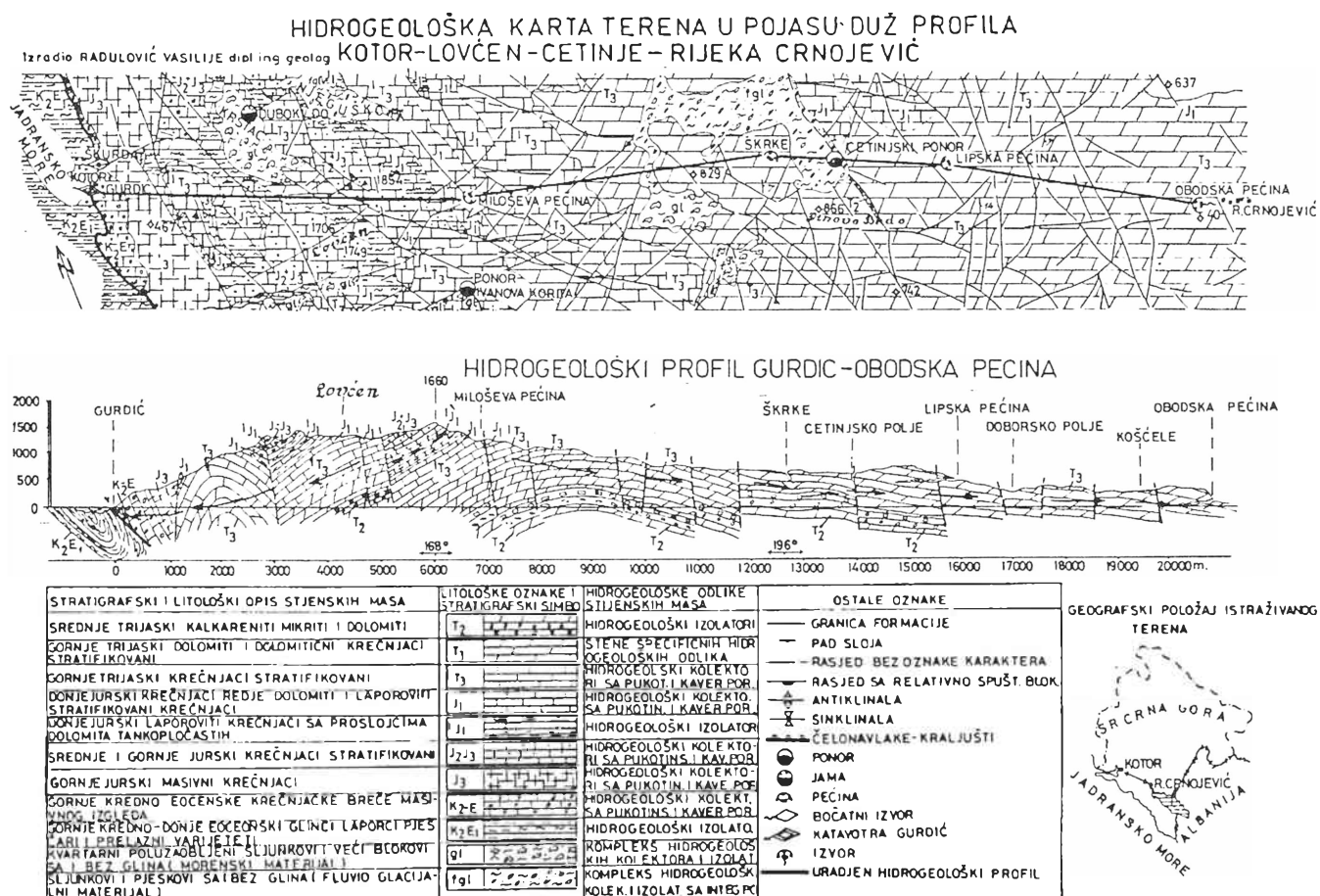
- Legenda :**
- A - Paraautohton
 - B - Budvansko-barska zona
 - C - Zona visokog krša
 - CRS - Cetinjski rasjed
 - S - Sliv r. Crnojevića

Sl.2.2-2. Pregledna tektonska karta šireg područja sliva r. Crnojevića i priobalnog dijela crnogorskog primorja (prema podacima: O.G.K- osnovna geološka karta, list "Kotor i Budva")

Jedan od najmarkantnijih elemenata geološko-tektonskog sklopa ovog kraškog sistema je magistralni rasjed - Cetinjski rasjed, koji je dijagonalnog pravca pružanja u odnosu na položaj osnovne strukture starocrnogorskog antiklinorijuma, veoma dobro morfološki izraženog u reljefu terena. Istočno krilo rasjeda spuštено je za preko 500 m i to samo u dijelu od V. Celinca do Cetinjskog polja, što se može zaključiti otkrivanjem jurskih sedimenata na znatnoj površini istočnog krila rasjeda, gdje su lijaske tvorevine dovedene u isti nivo sa gornjotrijaskim dolomitima i krečnjacima zapadnog krila

Glavna skraćena dolina razvijena je duž ose Starocrnogorske zaravni koja predstavlja antiklinalu. Donji potopljeni dio doline leži na obodu starog bazena Skadarskog jezera koji je kao morski zaliv postajao još krajem miocena, odnosno početkom pliocena. Zetska ravnica sa Skadarskim jezerom i cijelo Crnogorsko primorje su i danas geotektonski labilne zone. Skraćivanje dolina i dezoorganizacija površinske rečne mreže izvršene su krajem pliocena i izazvane spuštanjem Skadarskog basena i izdizanjem starocrnogorske kraške zaravni. Hidrografska veza između gornjeg i donjeg sliva prekinuta je na jugoistočnom obodu Cetinjskog polja, koje je tektonski predisponirano rasjedima; najvjerovatnije pliocenske starosti. Ovim najnovijim tektonskim pokretima ostvareni su geološko-tektonski uslovi za stvaranje podzemnog kraškog sistema.

Prema hidrogeološkoj karti terena između Kotora i Rijeke Crnojevića u pojasu duž h.g.profila "Kotor-Lovćen-Cetinje-Rijeka Crnojevića" (sl.2.2-1) slojevi stijenskih masa koji pretežno pripadaju geotektonskoj jedinici "zona visokog krša" imaju generalno pružanje kao i glavni nabori i rasjedi od sjeverozapada ka jugoistoku. U najvećem dijelu područja (Lovćen-C.Rijeka) pad slojeva je prema sjeveroistoku. U manjem dijelu područja (Lovćen-Kotorski zaliv) pojavljuju se padovi slojeva u skoro svim pravcima, ali ipak sa primarnom orijentacijom prema jugozapadu i sjeveroistoku.



Sl.2.2-1. Hidrogeološka karta terena u pojasu duž hidrogeološkog profila Kotor- Obodska pećina (V.Radulović,1974)

rasjeda. U južnom dijelu, od Cetinjskog polja do Uganjskih vrela i Obzovice, duž rasjeda su otkriveni vodonepropusni srednjotrijaski sedimenti (B.Mijatović, 1986).

Fotogeološkom analizom ruptura izdvojeni su svi rupturni oblici i izvršena njihova statistička obrada u smislu gustine ruptura na jedinici površine veličine 4km². Analizom ruptura izdvajani su djelovi terena gdje je direktno poniranje atmosferskih voda naročito intenzivno, kao i njihovo infiltriranje u dublje djelove terena (gustina rasjeda od 11-13 i više od 13 /4 km²), djelovi terena gdje se površinske vode-padavine mjestimično zadržavaju i poniru (gustina rasjeda od 6-10), kao i djelovi terena gdje su poniranja voda minimalna ili odsustvuju (gustina rasjeda manja od 6), bar kad je u pitanju postojanje ruptura koja bi bila u funkciji sprovođenja površinskih voda. Međutim, ovom analizom se nije došlo do zakonite veze između postojanja ruptura i podzemnih karstifikovanih oblika. Vjerovatno su isti mjestimično potpomognuti postojanjem ruptura, ali su u prvom redu uslovljeni stepenom rastvorljivosti stijena i trendom kretanja izdanskih voda (M. Radulović, P.Vujisić, 1989).

U gradnji terena učestvuju uglavnom karbonatne stijene trijaskе, jurske i kredne starosti a podređeno je kvartarne tvorevine. Najstarije stijene na terenu su srednjotrijaski sedimenti razvijeni u flišolikoj faciji sedimentno-vulkanogene serije ladinsko-anizijskog kata. Ove tvorevine, otkrivene na terenu u području Ugnji-Vrela-Obzovica, veoma su značajne s hidrogeološkog stanovišta, jer predstavljaju lokalnu erozionu bazu za podzemne (izdanske) vode iz kraškog kompleksa gornjetrijaskih krečnjaka i dolomita. Za to se u erozionim prozorima, kakva su Uganjska vrela i Obzovica pojavljuju gravitacioni izvori na kontaktu ove nepropusne serije i dolomitsko-krečnjačkih stijena.

Kraški sistem je pretežno izgrađen od gornjetrijaskih dolomita, dolomitičnih krečnjaka i krečnjaka, znatno oštećenih rasednom tektonikom. U okviru kvartarnih tvorevina izdvojena je: crvenica (terra rossa) u srednjem dijelu terena, glacijalni i fluvioglacijalni sedimenti na zapadnom dijelu terena. Ovi poslednji predstavljeni su nezaobljenim do sveričnim valucima krečnjaka različite veličine slabo vezanih pjeskovitom komponentom (R.Antonijević, M.Živaljevića).

2.1.3 Geomorfološki uslovi

Geomorfološki uslovi kraškog sistema posledica su litološko-facijalnih promjena, geotektonskog sklopa i rada egzogenih sila koje su snažno djelovale na formiranje današnjeg izgleda reljefa. U formiranju kraškog sistema važnu ulogu su imali hidrometeorološki, uslovi, posebno razvoj paleo klime od pliocena do danas. Počev od ranog kvartara, kada je smenjivanje glacijalnih i interglacijalnih faza (ginis, minidel, ris, virim I, virim II) i neotektonskih radijalnih pokreta (započetim snažnim pokretima još u pliocenu), veoma povoljno uticalo na intenzitet i brzinu razvoja kraških procesa u ovim terenima, hidrološki uslovi su imali obeležje izrazite vodnosti. Od pliocena pa kroz kvartar, obilje hladnih voda zajedno s glečerima modelirali su ove terene, stvarajući istovremeno i moćan epikraški sistem podzemnih komunikacija velikih

PRILOG.18

GODIŠNJI PREGLED ISPARAVANJA

Stanica C E T I M J E

 A = 79.3 km²

Godina 1987/88

DAN/MES	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	0.9	0.0	3.7	0.0	0.0	1.0	18.3	66.8	2.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	7.8	17.0	0.3	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.2	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.5	0.6	2.4	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.7	35.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	10.5	0.0	7.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	2.7	0.0	3.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
8	14.0	0.0	27.5	2.4	20.0	0.0	3.5	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0
9	12.8	0.0	0.0	2.0	16.8	0.0	0.9	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	25.8	1.9	0.6	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	82.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
12	16.9	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0
13	58.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
14	13.6	1.4	0.7	0.0	0.0	4.9	17.6	68.1	0.0	0.0	0.0	5.4
15	0.1	7.9	41.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.9	0.2	0.0	0.0	25.1
16	0.0	14.1	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	4.6	4.9	71.9
17	0.0	2.8	0.3	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	19.7
19	16.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.1
20	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	5.4	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.5	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	19.7
23	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	36.7	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	4.7
24	0.3	23.2	0.0	0.1	0.3	9.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
25	0.5	5.6	0.0	0.3	3.5	0.1	11.4	23.4	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	17.5	0.0	52.2	0.0	0.0	6.4	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	33.5	0.0	0.0	0.0	24.3	1.2	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	3.2	0.0	0.0	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.8	0.0	2.6	0.3	0.0	15.8	22.2	19.2	0.0	0.0	0.0
30	0.4	5.6	0.0	10.0	0.0	0.0	2.0	2.8	0.6	0.0	0.0	0.0
31	3.0	0.0	0.0	14.1	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SUMA	140.4	232.8	93.9	94.4	90.9	93.9	86.8	226.5	61.1	4.6	4.9	147.8

E = 1278.2 mm

E - godišnje isparavanje za period 01.10.1987 -30.09.1988

PRIOLOG.19

GODIŠNJI PREGLED ISPARAVANJA

Stanica C E T I N J E

A=92.0 km²

Godina 1987/88

DAN/MES	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	1.3	0.0	5.3	0.0	0.0	2.9	27.0	73.8	2.1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	12.4	18.5	0.3	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.4	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.6	0.7	2.3	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	1.3	45.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	14.1	0.0	11.7	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	3.3	0.0	4.9	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
8	17.4	0.0	34.6	3.2	24.7	0.0	3.9	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0
9	16.3	0.0	0.0	4.3	23.5	0.0	1.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	34.4	3.9	1.2	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	108.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0
12	21.2	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0
13	73.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
14	18.8	1.9	1.0	0.0	0.0	7.4	22.5	67.7	0.0	0.0	0.0	5.8
15	0.1	10.2	60.6	0.0	0.0	0.8	0.1	0.9	0.2	0.0	0.0	27.6
16	0.0	18.4	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	4.6	5.2	82.3
17	0.0	3.8	0.5	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	10.7	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	23.0
19	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.2
20	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	10.8	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	1.1	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	22.3
23	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	47.2	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	5.5
24	0.4	30.4	0.0	0.4	0.5	11.6	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
25	0.7	7.2	0.0	0.5	4.9	0.1	13.1	23.8	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	22.3	0.0	65.1	0.2	0.0	7.4	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	45.7	0.0	0.0	0.0	30.5	1.3	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	4.5	0.0	0.0	2.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	1.2	0.0	3.2	0.6	0.0	17.9	23.7	19.0	0.0	0.0	0.0
30	0.5	8.5	0.0	14.2	0.0	0.0	2.2	2.9	0.5	0.0	0.0	0.0
31	4.6	0.0	0.0	23.6	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SUMA	181.1	313.3	131.6	131.7	124.4	132.7	111.2	237.0	61.2	4.6	5.2	167.9

E = 1602.1 mm

E - godišnje isparavanje za period 01.10.1987 -30.09.1988

GODISNJI PREGLED DNEVNIH TEMPERATURA

Stanica: **Cetinje**Godina: **1987/88**

me S dan	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1.	8.2	2.9	5.5	3.2	2.2	1.3	3.9	9.9	13.4	22.0	22.7	18.3
2.	7.4	5.8	5.4	2.6	1.9	0.6	6.2	10.9	13.9	19.7	22.6	22.8
3.	8.8	5.8	2.9	2.4	2.7	0.5	3.9	11.8	14.2	19.8	23.8	19.3
4.	10.1	3.6	0.7	6.0	3.2	1.0	10.5	11.6	16.2	21.1	24.4	17.6
5.	9.6	3.0	3.1	3.0	7.3	0.1	11.8	14.4	15.5	23.5	23.5	18.9
6.	12.4	3.0	6.8	4.4	3.8	1.4	14.9	14.1	14.0	25.4	21.2	19.9
7.	15.1	3.7	3.9	7.1	6.1	3.5	14.0	16.4	16.4	25.2	21.8	15.4
8.	14.5	5.0	9.6	6.5	8.3	3.2	11.9	16.0	16.1	25.1	21.0	15.0
9.	13.4	7.5	5.3	2.5	4.8	0.4	11.1	15.2	16.8	23.4	17.4	13.7
10.	13.4	9.8	2.7	2.5	2.9	1.6	9.5	15.2	19.6	22.1	19.6	12.0
11.	14.0	10.4	2.7	2.0	-2.0	1.6	9.6	13.0	18.7	20.4	20.5	13.5
12.	14.0	6.6	-0.7	-0.5	3.5	-0.6	11.5	16.1	19.8	19.5	21.5	14.1
13.	13.6	9.3	-0.6	-0.4	4.9	2.8	8.9	14.6	17.4	20.3	23.0	16.8
14.	11.2	15.3	5.7	-1.1	2.4	4.2	5.9	17.6	17.2	21.3	24.6	17.8
15.	9.2	12.2	5.6	-1.8	3.9	4.2	1.9	15.9	17.1	22.3	24.4	16.2
16.	10.7	11.5	5.2	-2.6	-0.9	5.8	3.6	13.7	18.0	19.3	22.7	13.5
17.	12.8	9.0	2.8	3.4	-0.5	3.5	5.8	13.3	16.7	18.3	21.5	12.9
18.	12.4	8.4	4.9	-0.1	1.4	3.9	5.6	13.5	16.9	20.3	21.0	12.0
19.	9.9	6.8	4.5	3.2	0.1	2.6	10.8	16.0	17.5	20.6	20.6	11.8
20.	8.9	4.3	5.7	5.1	2.3	3.7	9.1	15.3	15.5	22.3	20.6	12.8
21.	10.8	3.2	7.1	5.2	1.3	5.3	11.4	15.6	15.8	22.2	21.0	14.8
22.	11.1	2.5	6.5	5.0	-0.8	8.8	10.0	12.5	17.0	22.9	20.9	14.3
23.	12.0	4.0	4.6	3.0	2.0	7.3	9.7	13.9	17.4	23.2	17.5	12.8
24.	13.1	10.8	-0.9	0.8	3.2	7.4	9.9	14.6	16.7	23.8	16.7	13.4
25.	12.7	12.3	-2.2	3.1	1.8	7.1	9.4	16.4	16.2	25.0	16.6	14.9
26.	12.8	13.4.	-0.5	9.7	0.9	8.4	9.4	15.9	17.5	26.7	17.2	15.1
27.	9.6	8.5	0.4	3.5	-0.1	8.3	11.5	17.1	18.2	25.3	15.8	14.2
28.	6.4	7.2	1.3	5.2	1.8	6.8	10.3	16.1	17.9	24.1	16.4	14.1
29.	7.8	5.2	2.1	10.1	2.2	5.8	10.7	13.2	17.7	23.8	18.3	14.3
30.	7.9	5.4	2.2	5.3		7.1	11.8	14.9	20.5	24.7	19.7	14.4
31.	5.1	5.0 ^a	1.4	3.7		3.0		16.6		24.2	20.3	
SRED	10.9	7.2	3.3	3.7	2.4	3.7	9.1	14.5	16.8	22.5	20.8	15.2

 $T_c^0 = 10.8$

T_c^0 - srednja godisnja temperatura za
period od 1.10.1987-30.09.1988g.

GODISNJI PRGLED DNEVNIH TEMPERATURA

Stanica: Cetinje

Godina: 1988/89

me S dan	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1.	15.1	-0.1	9.1	0.6	2.3	7.2	10.8	6.4	14.0	19.1	19.6	12.5
2.	12.4	1.3	8.7	-3.4	0.6	4.8	8.8	7.4	12.6	19.7	14.2	14.4
3.	11.7	3.2	8.2	-5.3	0.4	2.6	10.1	9.5	14.4	19.3	12.9	15.2
4.	10.5	2.4	6.5	-5.2	1.6	3.8	13.3	10.4	13.8	18.1	14.9	14.4
5.	9.4	0.2	5.5	-4.1	2.4	5.2	13.6	13.6	15.9	18.2	16.8	13.6
6.	11.0	-1.1	5.8	-1.9	0.6	5.6	9.4	13.9	15.0	21.0	16.8	13.6
7.	13.5	0.3	1.0	0.6	0.9	3.2	6.9	7.8	15.2	21.2	20.8	12.5
8.	11.8	-0.4	-0.9	2.8	0.7	3.2	7.4	8.2	14.8	22.7	21.2	12.8
9.	7.5	1.5	-0.8	3.2	0.6	5.9	8.8	10.0	15.8	23.0	23.6	13.7
10.	9.8	0.8	-0.2	0.6	0.8	5.5	10.6	11.1	16.6	22.7	19.2	15.8
11.	11.8	0.0	2.3	0.4	-0.2	5.6	12.0	12.3	16.8	23.1	20.6	14.8
12.	10.4	-0.4	0.6	0.0	-0.1	5.1	11.1	13.2	14.8	23.8	18.1	16.3
13.	11.7	6.4	0.5	0.0	1.0	5.9	9.0	18.0	14.6	21.0	19.9	14.8
14.	13.0	4.4	0.0	2.0	0.9	7.5	7.4	15.2	13.8	18.6	20.6	13.8
15.	12.7	1.5	-2.6	1.9	-0.8	7.0	8.5	14.4	14.0	16.2	21.4	13.3
16.	11.0	0.2	-3.6	1.8	1.0	6.7	8.4	13.8	12.5	18.0	23.4	14.0
17.	8.0	-2.6	-1.4	1.8	0.8	7.1	9.5	17.2	11.1	18.0	23.0	15.1
18.	8.2	-1.0	-1.4	0.6	1.0	9.2	6.0	13.8	13.3	17.3	21.8	16.3
19.	11.2	2.5	-2.9	0.2	2.3	10.5	8.0	12.6	14.6	15.9	21.3	16.3
20.	14.0	0.2	-0.1	0.2	5.0	10.6	10.6	14.2	15.8	16.0	20.4	16.6
21.	12.5	10.1	-5.4	0.1	4.0	10.1	12.6	13.1	14.8	18.0	19.4	16.4
22.	10.1	5.3	-6.1	0.1	7.0	5.8	12.3	15.0	16.2	19.3	20.0	15.6
23.	11.3	-0.5	-3.6	0.8	8.1	7.5	9.5	12.5	17.3	20.7	20.8	14.0
24.	11.1	-1.2	-0.9	-1.4	10.0	7.3	8.1	11.8	17.4	22.5	20.0	14.7
25.	9.7	-3.9	6.9	-1.6	10.5	8.3	9.7	12.4	18.2	22.2	19.0	15.0
26.	4.2	-1.2	-0.6	-2.3	7.3	9.8	12.6	14.2	18.9	18.5	18.8	14.2
27.	1.7	-0.5	-1.0	-1.0	5.4	9.6	14.2	13.8	18.8	18.3	18.4	13.4
28.	3.4	1.3	8.0	-1.3	5.3	9.0	8.6	12.2	18.6	17.2	18.2	13.4
29.	4.4	0.6	-0.7	-1.2		9.3	10.2	14.3	19.0	19.3	12.0	14.6
30.	7.3	4.2	-0.7	-0.3		10.3	5.4	14.5	19.8	18.6	11.7	12.8
31.	3.2		0.2	1.6		9.7		12.3		18.2	11.7	
SRED	9.8	1.1	1.0	-0.4	2.8	7.1	9.8	12.6	15.6	19.6	18.7	14.5

$T_c^0 = 9.3$
 T_c^0 - srednja godišnja Temperatura za
 period od 1.10.1988-30.09.1989g.

PRORAČUN TEMPERATURE U SISTEMU R.CRNOJEVICA NA OSNOVU TEMPERATURNOG GRADIJENTA

I OSMOTRENH TEMPERATURA NA MET.STANICI CETINJE U 1987/88 I 1988/89

PRIOG. 22

1956/1965

STANICA	H mm	θsr/mjesečno												god. C
		X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
CETINJE	655	10.3	7.1	3.6	1.0	1.4	4.6	9.2	13.8	17.7	20.1	19.9	15.2	10.3
IUAN.KORIT	1250	8.5	5.4	1.6	-1.0	-0.8	1.8	5.8	10.2	13.7	16.1	16.2	12.2	7.6
CR.RIJEKA	15	15.7	9.4	6.6	5.6	6.0	9.3	13.9	17.9	22.9	25.6	25.4	21.2	15.0

1987/1988

$\Delta\theta/100\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.56	0.32	0.40	0.53	0.55	0.60	0.65	0.62	0.74	0.77	0.74	0.73	$\theta\text{sr/}$	
STANICA	$\Delta H/$	$\theta\text{sr/mjesečno}$													god. o C
	100m	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
CETINJE		10.9	7.20	3.30	3.70	2.40	3.70	9.10	14.5	16.8	22.5	20.8	15.2	10.8	
BJELOSI	2.45	9.50	6.40	2.30	2.40	1.10	2.20	7.50	13.0	15.0	20.6	18.9	13.4	9.30	
OBZOVICA	1.85	9.80	6.60	2.50	2.70	1.40	2.60	7.90	13.3	15.4	21.0	19.4	12.8	9.60	
IVAN.KORIT	5.95	7.60	5.30	0.90	0.50	-0.9	-0.1	5.20	10.8	12.4	17.9	16.4	9.80	7.20	
CEKLICI	1.55	10.0	6.70	6.60	2.90	1.50	2.80	8.10	13.5	15.6	21.3	19.6	13.1	10.1	
NJEGUSI	1.95	9.80	6.60	2.50	2.70	1.40	2.60	7.90	13.3	15.4	20.6	19.4	12.8	9.60	
CR.RIJEKA	6.4	14.5	9.30	5.90	7.10	6.00	7.50	13.3	18.5	21.5	27.4	25.5	18.8	14.6	
		10.3	6.90	3.40	3.10	1.80	3.00	8.40	13.8	16.0	21.6	20.0	13.7	10.2	

1988/89

$\Delta\theta/100\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.56	0.32	0.40	0.53	0.55	0.60	0.65	0.62	0.74	0.77	0.74	0.73	$\theta_{sr}/$	
STANICA	$\Delta H/$	$\theta_{sr}/\text{mjesecno}$													god.
	100m	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	$^{\circ}\text{C}$	
CETINJE	0	9.8	1.1	1.0	-0.4	2.8	7.1	9.8	12.6	15.6	19.6	18.7	14.5	9.3	
BJELOSI	2.45	8.4	0.30	0	-1.7	1.4	5.6	8.2	11.1	13.8	17.7	16.9	12.7	8.9	
OBZOVIKA	1.85	8.7	0.5	0.3	-1.4	1.8	6.0	8.6	11.4	14.2	18.2	17.3	13.1	8.2	
IUVAN.KORIT	5.95	6.4	-0.8	-1.4	-3.6	-0.5	3.5	5.9	8.9	11.2	15.0	14.3	10.2	5.8	
CEKLICI	1.55	8.9	0.6	0.4	-1.2	1.9	6.2	8.8	11.6	14.4	18.4	17.5	13.4	8.4	
NJEGUSI	1.95	8.7	0.5	0.3	-1.4	1.8	6.0	8.6	11.4	14.2	18.2	17.3	13.1	8.2	
CR.RIJEKA	6.4	13.4	3.1	3.6	3.0	6.3	10.9	14.0	16.6	20.3	24.5	23.4	19.2	13.2	
$^{\circ}\text{sr.}\theta\text{ }^{\circ}\text{C} =$		9.2	0.8	0.6	-1.0	2.2	6.5	9.1	11.9	14.8	18.8	17.9	13.7	8.7	

JEDNACINE PRAVACA $\theta C = f(Z)$

$$\theta_I = -0.00536 Z + 5.30$$

$$\theta_{VI} = -0.0074 Z + 22.8$$

$$\theta_X = -0.0056 Z + 15.2$$

$$\theta_{II} = -0.0055 Z + 5.73$$

$$\theta_{VII} = -0.0077 Z + 25.2$$

$$\theta_{XI} = -0.0032 Z + 9.37$$

$$\theta_{III} = -0.006 Z + 9.13$$

$$\theta_{VIII} = -0.0074 Z + 25.2$$

$$\theta_{XII} = -0.00405 Z + 6.52$$

$$\theta_{IV} = -0.0065 Z + 13.8$$

$$\theta_{IX} = -0.0073 Z + 20.88$$

$$\theta_{600} = -0.0058 Z + 14.6$$

$$\theta = -0.0062 Z + 17.9$$

PRILOG.23

PRORACUN ISPARAVANJA SA SLOBODNE UODENE POURSINE (P E N M A N)

cetinje 1987/88

meteorolski parametri	m e s e c n e v r i j e d n o s t i											
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
n - broj casova sijanja sunca	167	85	106	88	105	114	160	167	204	253	322	220
N-max.casova sijanja sunca	325	285	263	257	280	347	376	430	435	443	415	354
v sr.vjetra u mjesec. m/sek.	0.4	1.9	0.6	0.8	1.3	1.1	1.1	0.7	0.9	0.6	0.9	1.2
T- temperatura vazduh (oC)	10.3	6.9	3.4	3.1	1.8	3	8.4	13.8	16	21.6	20	13.7
e-stvarni napon vod.pare(mb)	11.9	9.1	7.1	7.6	6.3	6.6	9.7	13.2	15.8	18	15.9	13.7
e s napon satur.vod.pare(mb)	13.2	10.1	7.6	8	7.3	8.1	10.3	17	19.4	26	25	17
Ra glob.sunc.zrac.(J/cm2/dan)	2221	1567	1256	1406	1947	2696	3448	3989	4221	4105	3662	2990
n/N	0.513	0.298	0.403	0.342	0.375	0.329	0.426	0.388	0.469	0.571	0.776	0.62
Ta-apsolutna temp. (oC)	283.3	279.9	276.4	276.1	274.8	276	281.4	286.8	289	294.6	293	286.
H-bilans toplote (J/cm2/dan)	2.032	0.612	0.146	0.403	1.144	2.104	3.665	4.413	5.404	5.885	6.007	3.85
Δ (mm/oC)-dimenzionalni fakt.	0.85	0.70	0.58	0.59	0.57	0.60	0.70	1.05	1.20	1.55	1.50	1.05
Ea-energija ispara.(mm/dan)	1.26	0.51	0.13	0.24	0.70.	1.23	1.98	3.06	3.83	4.65	4.9	2.76
Eo-mjes.ispara. (mm/mjes.)	39	15	4	8	20	38	59	95	115	144	152	83

ΣEo=772 mm/god

cetinje 1988/89

meteorolski parametri	m e s e c n e v r i j e d n o s t i											
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
n - broj casova sijanja sunca	203	150	150	196	151	284	137	205	272	258	283	190
N-max.casova sijanja sunca	325	285	263	257	280	347	376	430	435	443	415	354
v sr.vjetra u mjesec. m/sek.	0.5	0.7	1.2	0.7	2.0	1.2	1.5	1.4	0.9	0.6	0.8	0.5
T- temperatura vazduh (oC)	9.2	0.8	0.6	-1.0	2.2	6.5	9.1	11.9	14.8	18.8	17.9	13.7
e-stvarni napon vod.pare(mb)	10.8	6.0	5.6	4.8	6.0	7.4	9.3	10.9	14.1	17.4	16.5	14.4
e s napon satur.vod.pare(mb)	12.1	6.4	6.5	5.8	7.4	10.2	12.1	14.6	17.7	19.9	22.8	21.6
Ra glob.sunc.zrac.(J/cm2/dan)	2221	1567	1256	1406	1947	2696	3448	3989	4221	4105	3662	2990
n/N	0.624	0.526	0.570	0.763	0.539	0.818	0.364	0.477	0.625	0.582	0.682	0.53
Ta-apsolutna temp. (oC)	282.2	273.8	273.6	272	275.2	279.5	282.1	284.9	287.8	291.8	290.9	286.
H-bilans toplote (J/cm2/dan)	1.976	0.669	0.074	0.347	1.320	3.469	3.341	4.811	6.322	5.980	5.627	3.576
Δ (mm/oC)-dimenzionalni fakt.	0.79	0.46	0.45	0.44	0.51	0.67	0.78	0.91	1.10	1.35	1.30	1.03
Ea-energija ispara.(mm/dan)	1.20	0.33	0.19	0.28	1.08	2.18	2.26	3.31	4.31	4.20	4.26	2.76
Eo-mjes.ispar. (mm/mjes.)	38	12	6	9	26	65	66	106	133	135	136	83

ΣEo=815 mm/god

PODACI POTREBNI ZA DIGITALIZACIJU DOKTORSKE DISERTACIJE

Ime i prezime autora Ratomir Živaljević

Godina rođenja 1942

E-mail

Organizaciona jedinica Univerziteta Crne Gore

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Naslov doktorske disertacije

Hidrološka analiza kretanja kraških voda na primjeru sliva Rijeke Crnojevića

Prevod naslova na engleski jezik

Datum odbrane maj 1992

Signatura u Univerzitetnoj biblioteci¹

Naslov, sažeci, ključne riječi (priložiti dokument sa podacima potrebnim za unos doktorske disertacije u Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore)

Izjava o korišćenju (priložiti potpisano izjavu)

Napomena

¹ Podatak o signaturi (lokaciji) može ispuniti biblioteka organizacione jedinice/Univerzitetska biblioteka

**PODACI POTREBNI ZA UNOS DOKTORSKE DISERTACIJE U DIGITALNI ARHIV
UNIVERZITETA CRNE GORE**

Prevod naslova disertacije na engleski jezik

Mentor i članovi komisija (za ocjenu i odbranu)

Mentor: Slavoljub Jovanović

Vojislav Vukmirović, Staniša Ivanović, Slavoljub Jovanović

Sažetak *

Sažetak na engleskom (njemačkom ili francuskom) jeziku

Ključne riječi

Ključne riječi na engleskom jeziku

Naučna oblast/uža naučna oblast

Naučna oblast/uža naučna oblast na engleskom jeziku

Ostali podaci

* Ukoliko je predviđeni prostor za polja Sažetak, Sažetak na engleskom jeziku, Ključne riječi i Ključne riječi na engleskom jeziku nedovoljan, priložiti ih u posebnom prilogu.

IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku da u **Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore** unese doktorsku disertaciju pod naslovom

Hidrološka analiza kretanja kraških voda na primjeru sliva Rijeke Crnojevića

koja je moj autorski rad.

Doktorska disertacija, pohranjena u Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore, može se koristiti pod uslovima definisanim licencom Kreativne zajednice (Creative Commons), za koju sam se odlučio/la¹.

☐
☐
☐
☐
☒
☐

Autorstvo

Autorstvo – bez prerada

Autorstvo – dijeliti pod istim uslovima

Autorstvo – nekomercijalno

Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada

Autorstvo – nekomercijalno – dijeliti pod istim uslovima

Potpis doktoranda

Milica Crnojević

U Podgorici

13/06/2022

¹ Odabрати (čekirati) jednu od šest ponuđenih licenci (kratak opis licenci dat je na poledini ovog priloga)

Autorstvo

Licenca sa najširim obimom prava korišćenja. Dozvoljavaju se prerade, umnožavanje, distribucija i javno saopštavanje djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio).

Djelo se može koristiti i u komercijalne svrhe.

Autorstvo – bez prerada

Dozvoljava se umnožavanje, distribucija i javno saopštavanje djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio). Djelo se ne može mijenjati, preoblikovati ili koristiti u drugom djelu.

Licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu djela.

Autorstvo – dijeliti pod istim uslovima

Dozvoljava se umnožavanje, distribucija i javno saopštavanje djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio). Ukoliko se djelo mijenja, preoblikuje ili koristi u drugom djelu, prerade se moraju distribuirati pod istom ili sličnom licencom.

Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu djela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.

Autorstvo – nekomercijalno

Dozvoljavaju se prerade, umnožavanje, distribucija i javno saopštavanje djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio).

Komercijalna upotreba djela nije dozvoljena.

Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada

Licenca kojom se u najvećoj mjeri ograničavaju prava korišćenja djela. Dozvoljava se umnožavanje, distribucija i javno saopštavanje djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio). Djelo se ne može mijenjati, preoblikovati ili koristiti u drugom djelu.

Komercijalna upotreba djela nije dozvoljena.

Autorstvo – nekomercijalno – dijeliti pod istim uslovima

Dozvoljava se umnožavanje, distribucija, javno saopštavanje i prerada djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio). Ukoliko se djelo mijenja, preoblikuje ili koristi u drugom djelu, prerada se mora distribuirati pod istom ili sličnom licencom.

Djelo i prerade se ne mogu koristiti u komercijalne svrhe.

UNIVERZITET "VELJKO VLAHOVIĆ"
GRAĐEVINSKI FAKULTET - PODGORICA

RATOMIR R. ŽIVANJEVIĆ

HIĐROLOŠKA ANALIZA KRETANJA KRAŠKIH VODA
NA PRIMJERU SLIVA RJEKE CRNOJEVICA

■ DOKTORSKA DISERTACIJA ■

R E Z I M E

PODGORICA, Maja 1992.g.

HIDROLOŠKA ANALIZA KRETANJA KRAŠKIH VODA NA PRIMJERU SLIVA RIJEKE CRNOJEVICA

■ R E Z I M E ■

1. U V O D

Izučavanje procesa kretanja vode u kršu je uslovljeno egzistencijalnim potrebama čovjeka za vodom i kontinuitetom njegovog opstanka. Ono je u neposrednoj povezanosti sa povećanjem broja stanovnika u već postojećim naseljima krša, kao i formiranjem novih urbanih sredina na kraškim područjima. Voda ne samo što je uslov života, već je bitna komponenta tehničko-tehnološkog razvoja. Globalni hidrološki bilans na mnogim karstnim područjima zadovoljava sadašnje i buduće potrebe za vodom. Međutim, neravnomjerna prostorna i vremenska raspodjela padavina kao ulazne komponente i kompleksnost uticaja na transformaciju padavina u oticanje su uzrok nedostataka vode i njene ograničene potrošnje. Iz ovih razloga, rezultati izučavanja kretanja voda u kršu predstavljaju temeljnu osnovu za rješavanje vodosnadbijevanja iz podzemlja kraških terena. S druge strane, naučni pristup izučavanja odnosa voda-krš, uslovljen je i imperativnim zahtjevima zaštite podzemnih voda od zagađivanja, te očuvanja kvaliteta koji sadrži zdrava pijaća voda.

U radu je sproveden postupak primjene hidrološke analize kretanja kraških voda na primjeru sliva -sistema Rijeke Crnojevića, u cilju određivanja veličine površine sliva. Sliv na kojem su razvijeni svi tipski površinski i podzemni karstni oblici (holokarst), lociran je u središnjem jugozapadnom dijelu Crne Gore- Jugoslavija zauzimajući jugoistočni dio Dinarida.

1.2. DEFINISANJE PROBLEMA I METODA RJESENJA

Kretanje voda u kršu, sagledavno je prije svega kroz izučavanje geološke građe i funkcionisanje hidrogeološkog sistema. Nasuprot tome, hidrološki aspekti i hidrološke metode u rješavanju ovog problema nedovoljno su izučeni. Izraz "nedovoljno" asocira preventivno, na izuzetno složene odnose voda-krš sa aspekta primjene dinamičkih hidroloških modela u oponašanju hidroloških procesa ili ukupnih odgovora sistema. Složenost je u samom fenomenu krša. Jer, krš kao heterogena ispucala masa rastvorljivih i vodopropustljivih karbonatnih stijena, sadrži u sebe komponentu slučajnosti. Komponenta slučajnosti primarno je izražena u prostornoj raspodjeli geometrije pukotina, sekundarnih i primarnih provodnika. Slučajnost nije samo u sveukupnom karakteru krša kao čvrste faze već u kapacitativnosti uskladištenja tečne faze i njene propustljivosti i transmisivnosti kao erozionim bazisima.

Izuzimajući poznavanje generalnih smjerova kretanja kraških voda koncentrisanog karsta, mnogi drugi parametri za egzaktno definisanje hidrološkog procesa su nepoznati, nedostatak informacija o stanju nivoa podzemnih voda sa više tačaka pretpostavljenog sliva odražava se na nemogućnost određivanja položaja podslivova – rezervoara i međusobnih komunikacija sa glavnom provodnom zonom ka izlazu iz sliva kao sistema. Iz ovih razloga je i prednost aplikativnosti hidrološke analize na izučavanje kretanja kraških voda u odnosu na sintezu. Naime, postoji činjenica da se efekti uticaja hetereg-heteregenosti i komponente slučajnosti implicitno odražavaju kroz karakter oticanja na izlazu iz kraškog sistema (sliva).

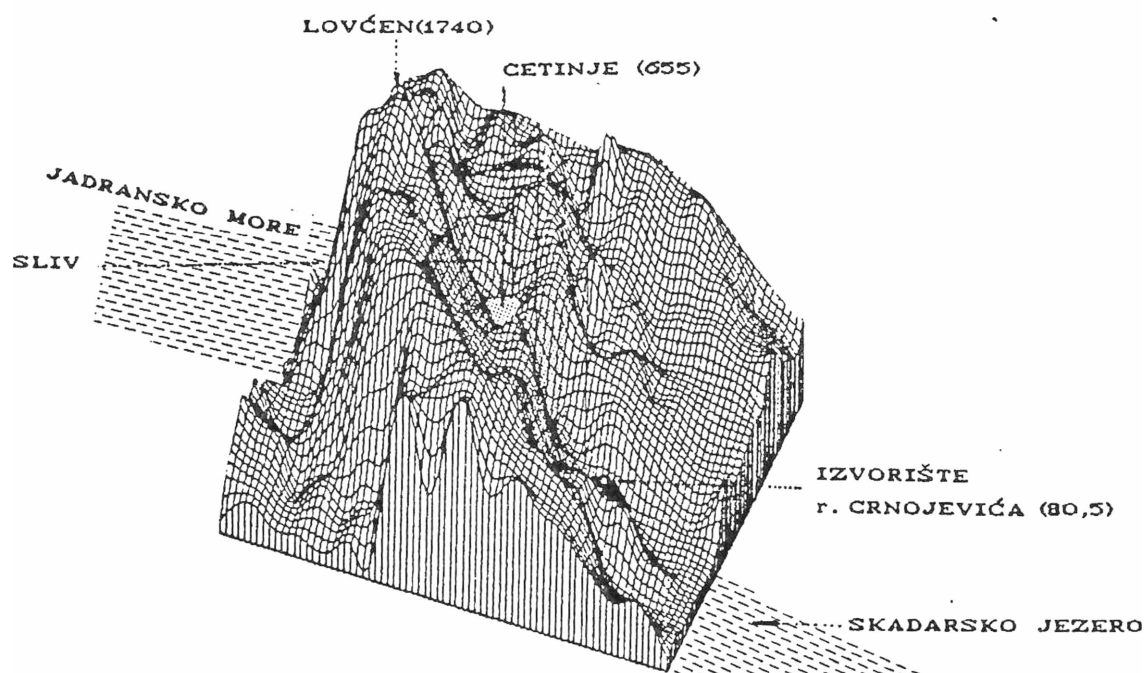
U suštini, hidrološka analiza za predmetni kraški sistem sadržana je :

I. u analizi izlaznog hidrograma, kao produkta efekata uticaja sve eukupne složenosti krša na transformaciju padavina u oticanje. Pri čemu, vrijeme realizacije izdiferenciranog hidrološkog procesa odgovara vremenskom intervalu izlaznog hidrograma, odnosno reakciji (odzivu) sistema na učinke jedne padavinske epizode.

II. u proračunu hidrološkog bilansa kraškog sistema.

III. u primjeni konceptualnog nelinearnog hidrološkog modela SSARR sa ciljem definisanja mjerodavne veličine površine sistema.

Hidrološki aspekti analize oslonjeni su na korišćenju raspoloživih informacija interdisciplinarnog izučavanja, koja su dosada izvršene na području ograničenom na sl.1.1. Kompatibilne informacije su prije svega iz domena: geologije, hidrogeologije i klime



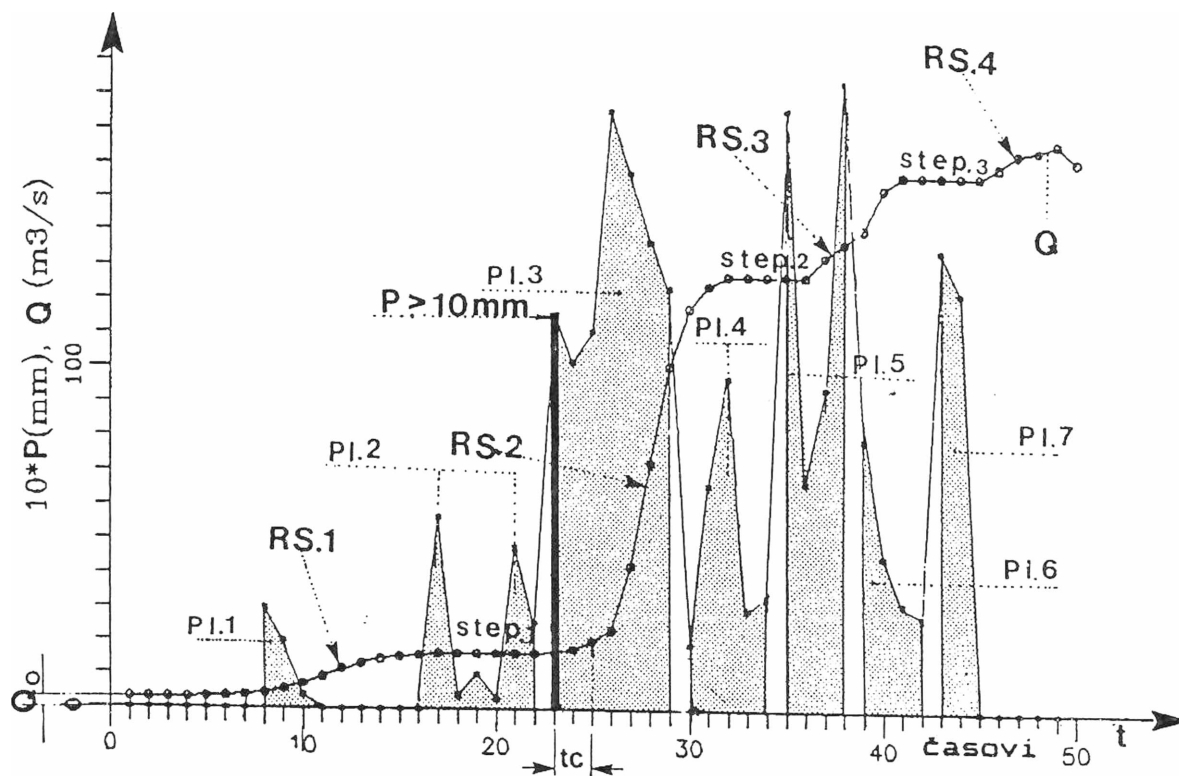
Sl.1.1 Digitalni prikaz reljefa u slivu rijeke Crnojevića

I. ANALIZA IZLAZNOG HIDROGRAMA

Polazeći od osnovnog zadatka i definicije problema, hidrološki aspekti analize oslonjeni su na rezultate istražnih hidroloških radova u trajanju od 3 godine (1 oktobar 1987 do 1 oktobar 1990 godine) i na raspoloživim informacijama interdisciplinarnog izučavanja na ovom i širem području sistema. Skoro sve hidrološke istrage u ovom periodu (osim mjerenja isparavanja) povezane su sa rezultatima mjerenja proticaja na novoj hidrološkoj stanici Rijeka Crnojevića na izlaznom profilu sistema sa jednoznačnom krivom proticaja $Q=f(H)$.

I.1 analiza reakcije kraškog sistema

Na osnovu analize konture izlaznog hidrograma sagledavan je odziv sistema ili brzina reakcije na padavinske impulse časovnog inteziteta (Sl.1.2). za dva karakteristična hidrološka stanja sistema.

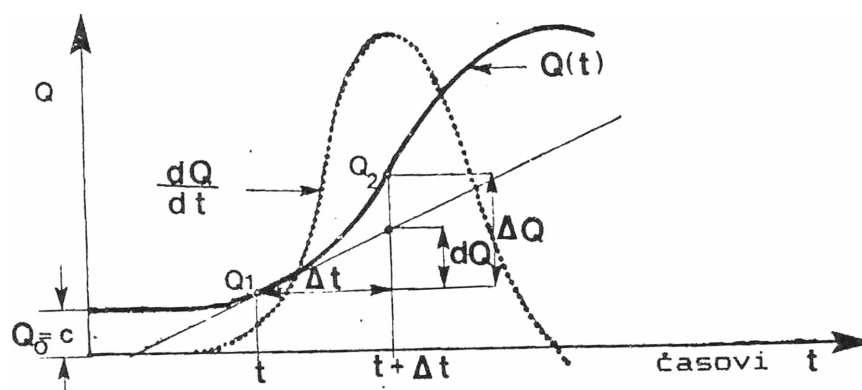


Sl.1.2 Prikaz koordinacije između padavina i oticanja na rastućoj grani hidrograma

Stepenasta forma uzlazne grane hidrograma je dokaz izražene koordinacije između oticanja i padavina. S druge strane, kroz stepenastu konturu manifestuje se dinamička nestabilnost hidrološkog procesa, što indicira na spoznaju da u sistemu ne postoje značajniji akumulacioni prostori, čiji bi se uticaji odrazili kroz sporiju reakciju sistema i mirniju dinamiku hidrološkog procesa. Rezultati analize pokazuju da na vrijeme početne reakcije sistema (t_c) bitno ne utiče predhodno hidrološko stanje u sistemu. Naime, bilo da je

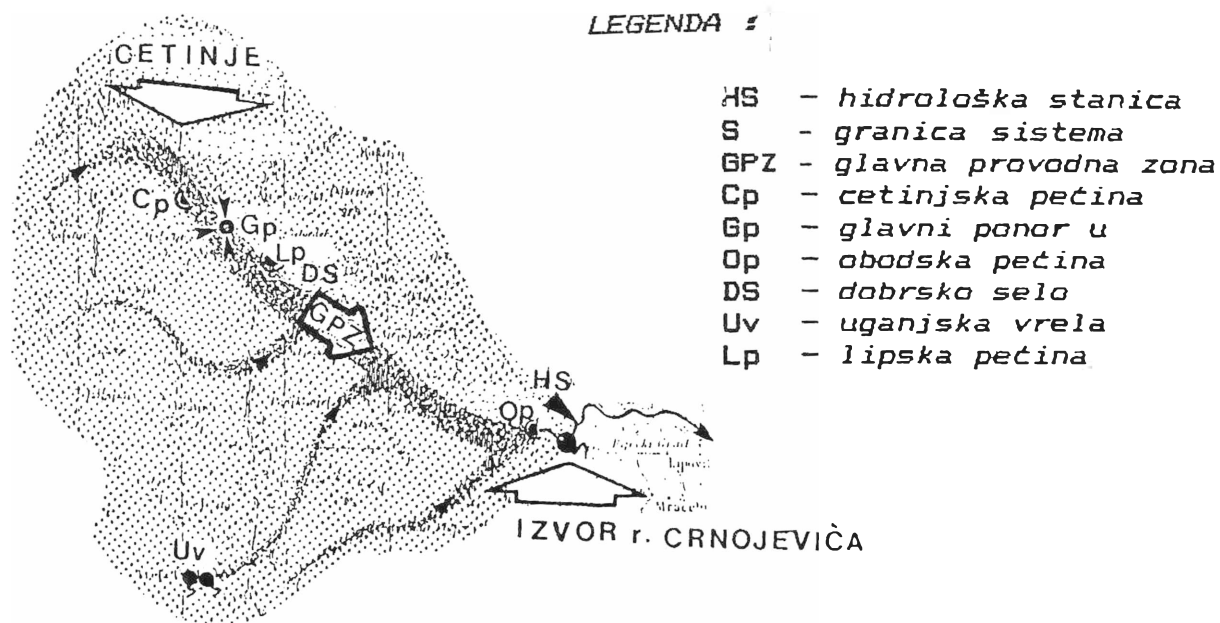
sistem u zasićenju ili na kraju iscrpljenosti, početno vrijeme reakcije u oba slučaja iznosi oko 2 časa i zavisi od inteziteta padavinskog impulsa iznad 10 mm/čas. Kroz ovu pojavu manifestuje se dominantnost uticaja provodnih zona na hidrološki proces i kretanje kraških voda u sistemu. Kvantifikacija vremena početka reakcije sistema (t_c) primjenom kroskorelacije između padavina i derivacija proticaja ferifikovala je vrijednost koja je dobijena hidrološkom analizom. Uvođenje derivacija protoka- dQ (Sl.1.1.3) ima svoje fizikalno značenje kroz samu brzinu reakcije proticaja, odnosno "brzinu promjene proticaja" u nekom vremenskom intervalu (t).

$$dQ = dQ/dt = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta Q/\Delta t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (Q_2 - Q_1)/\Delta t$$



Sl.1.1.3. Dijagram brzine promjene proticaja

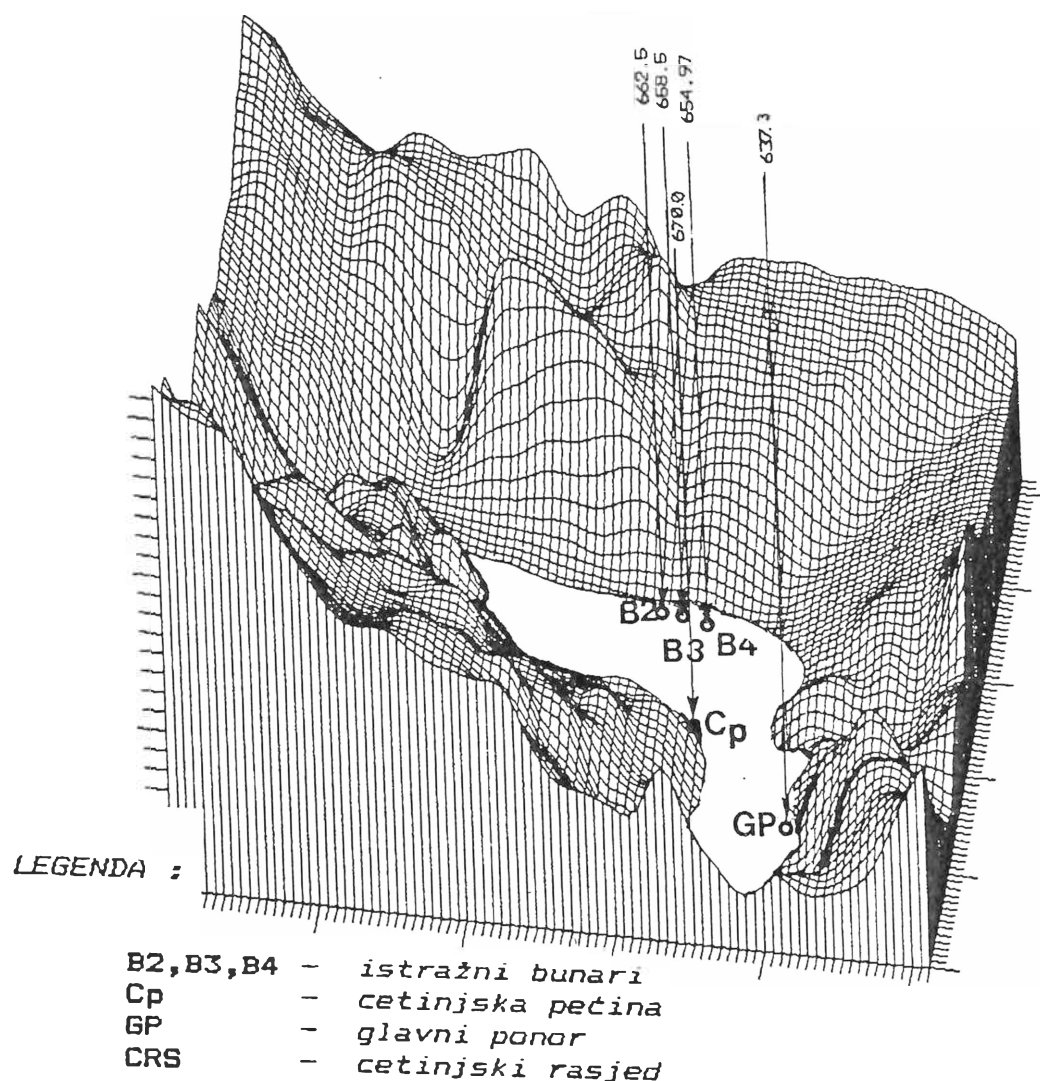
Rezultati analize idu u prilog hipotezi o postojanju glavne provodne zone kretanja kraških voda i da je pretežni dio sistema lociran neposredno uz provodnu zonu. Provodna zona ide u pravcu Cetinjsko polje- Lipska pećina- Dobrsko selo- Obodska pećina -izvor (Sl.1.1.4)



Sl.1.1.4 Mogući položaj glavne provodne zone kraškog sistema rijeke Crnojevića

Brzi odziv sistema na padavinske impulse registrovane u samom Cetinju je takođe parametar identifikacije dominantnog uticaja padavina na slivno područje Cetinjskog polja na hidrološko stanje ukupnog sistema i režim kretanja kraških voda ka izlaznom profilu.

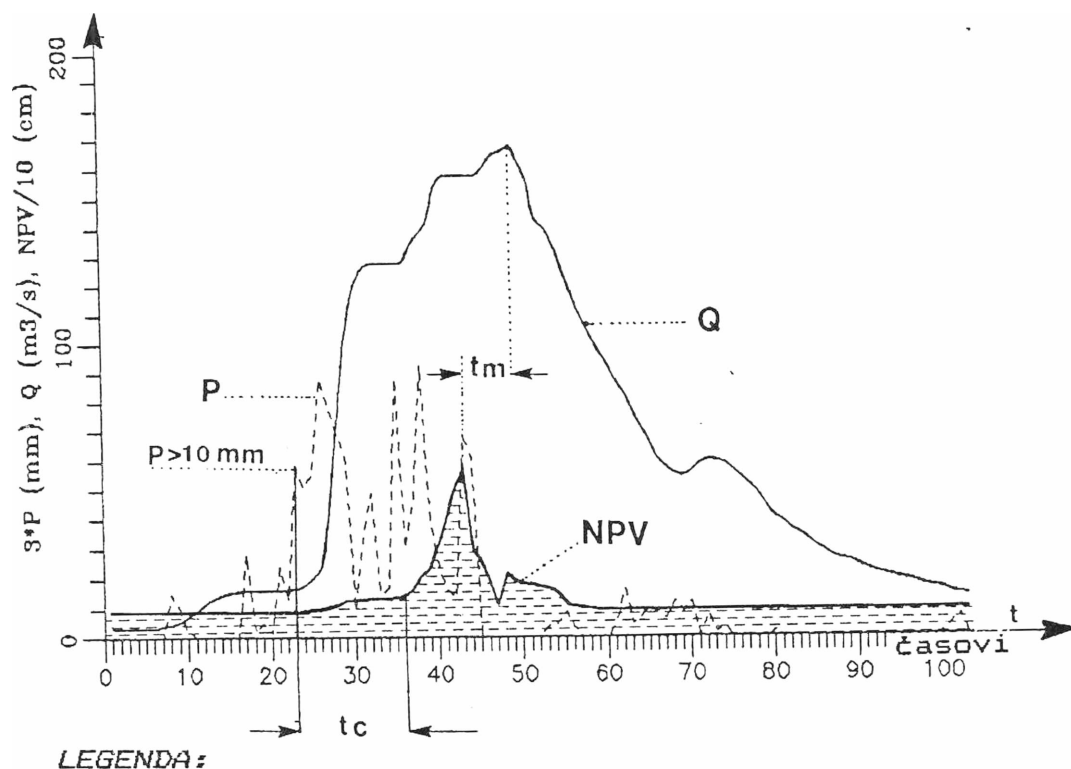
■ Za analizu reakcije sistema sagledavane su reakcije promjene stanja nivoa kraških voda u funkciji padavinskih impulsa preko istražnih bušenih bunara B2, B3, B4 i glavnog ponora, lociranih u neposrednoj blizini Cerinjskog rasjeda u Cetinjskom polju (Sl.1.4).



Sl. 1.4. Položaj istražnih objekata u Cetinjskom polju

Analiza reakcije sistema kroz promjenu nivoa podzemnih voda u Cetinjskom polju u neposrednoj blizini linije pružanja cetinjskog rasjeda usporenije slijedi produkcione impulse padavina. Pokazuje se zakašnjenje početka podizanja nivoa u odnosu na početak padavina i početnu reakciju ukupnog sistema. Početak intenzivne reakcije nivoa podzemnih voda je nakon 13 časova od pojave padavinskog impulsa većeg od 10 mm a sa vremenskim pomakom od 6 časova prije pojave vrha izlaznog hidrograma. Maksimum nivograma je trenutnog zadržavanja sa brzim padom na početno stanje.

Izduženi oblik nivograma podzemnih voda je pretežno u slučajevima kada je sistem Cetinjskog polja pod predhodnim uticajem padavina koje su većim dijelom ispunile pukotinski volumen područja, dok u slučaju stanja iscrpljenosti sistema nivo podzemnih voda ne reaguje (SL.1.5)

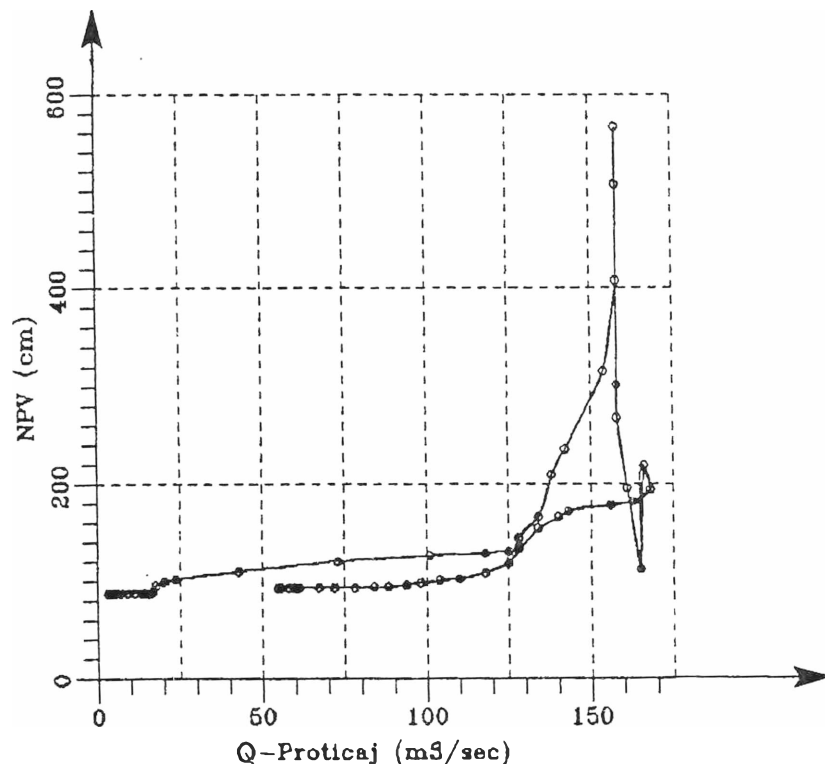


- Q - izlazni hidrogram
- P - padavine
- NPV - nivogram podzemnih voda u bunaru (B3)
- tc - početak intenzivnog podizanja nivograma
- tm - vremenski pomak masimuma Q i NPV

SL.1.5. Odziv sistema kroz promjenu nivoa kraških voda u Cetinjskom polju

Karakter reakcije nivoa podzemnih voda u blizini rasjeda u svakom slučaju je pod uticajem efekata hidrauličkog rada rasjeda kao prelivnog evakuacionog organa i njegove interakcije sa lokalnom geometrijom u području rasjeda i dijela područja Cetinjskog polja. Izvjesno je da rasjed izaziva prirodnu depresiju u zoni istražnih bunara (Donji kraj) na zapadnom krilu rasjeda, a slabija osjetljivost reakcije podzemnih voda na padavinske impulse je efekat izražene "fiktivne širine prelivne ivice" rasjeda. Kroz uspostavljanje veze između oticanja na izlazu iz sistema i promjene nivoa u zoni rasjeda manifestuje se uticaj rasjeda kroz pojavu "dvostruke grane" dijagrama. Vremenski pomak između izlaznog hidrograma i nivograma podzemnih voda odražava se u pojavi karakteristične "petlje" u tački koja slijedi odmah nakon naglog pada nivograma nivoograma. Odnosno, pojava maksimalnog proticaja pri najvećem

pražnjenju indicira na posledicu uticaja rasjeda kao lokalnog fenomena kretanje kraških voda (Sl.1.6).

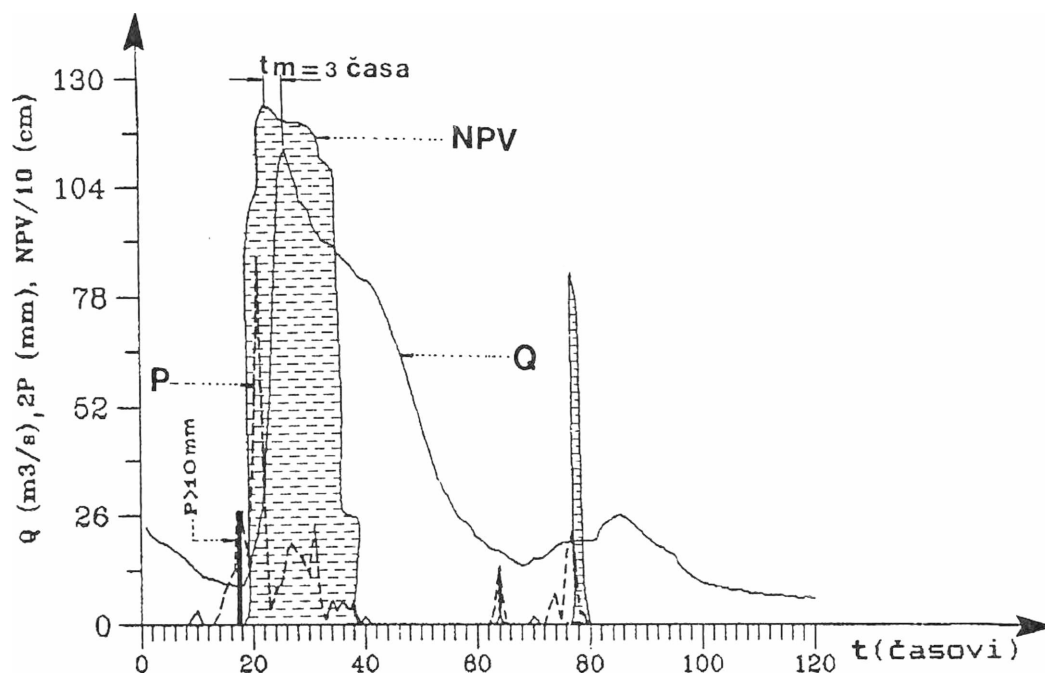


Sl.1.6. Dijagram odnosa između oticanja i promjene nivoa izdani u Cetinjskom polju (B3)

S druge strane, eksperimentalnim crpljenjem na granicama depresionog uticaja rasjeda ne odražava se na spustanje nivoa u području blisko lokaciji crpljenja, što se tumači o izraženom lokalnom uticaju geometrije sredine i slučajne komponente prostorne raspodjele pukotinskog sistema, prslina i provodnih kanala u kraškom sistemu Cetinjskog polja. Rezultati crpljenja idu u prilog predhodnih analiza ka gledištu da lokalitet istražnih bunara (Donji kraj) nije prioritetan smjer kretanja podzemnih voda iz Cetinjskog polja ka Cetinjskom rasjedu.

Rezultati analize "rada" glavnog ponora (Sl.1.7) pri intenzivnoj kišnoj epizodi pokazuju da ponor reaguje i na padavinske impulse manje od 10mm/čas sa naglim vertikalnim podizanjem i spustanjem po prestanku padavina na početno stanje. Karakter ovog procesa pokazuje da ne postoji koordinacija rada ponora u praćenju silazne grane hidrograma na izlaznom profilu sistema. Naime, trenutna reakcija ponora na padavinske impulse sa mogućim izlivanjem voda na površinu terena, indicira na postojanje geometrijskih smetnji "kontrakcije" kod podzemne veze ponora sa glavnom provodnom zonom, vjerovatno u neposrednoj blizini samog ponora. S druge strane, vertikalni pad silazne grane nivograma ponora pokazuje da je kretanje voda poslije kontrakcije bez smetnji, jer se po prestanku

padavina ne osjećaju nikakve refleksije hidrološkog procesa sistema na rad ponora. Što znači, da je rad ponora pod uticajem lokalnih karakteristika svoje provodne zone i njene prohodnosti ka rasjednoj zoni preko koje ponor komunicira sa glavnom provodnom zonom sistema. Porijeklo geometrijskih smetnji, vjerovatno je genetske prirode sa pogoršanjem propusnosti zbog velikih količina kanalizacionog sadržaja iz gradske kanalizacije Cetinja.



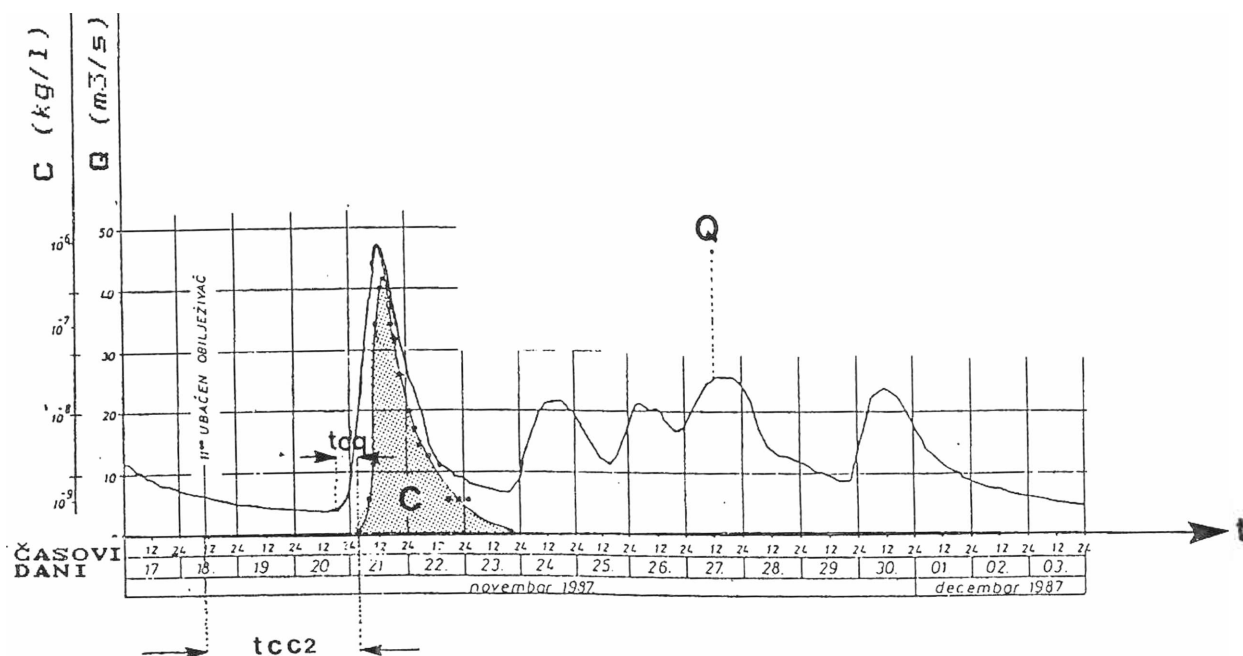
LEGENDA:

- NPV - nivogram na glavnom ponoru
- P - padavine časovnog inteziteta
- Q - hidrogram na izlaznom profilu sistema
- tm - vremenski pomak maksimuma NPV i Q

Sl.1.7. Prikaz reakcije podzemnih voda na glavnom ponoru u Cetinjskom polju

eksperimentalno određivanje brzine kretanja podzemnih voda pokazuju da je provodljivost podzemnih veza ponora smanjena za 64 -76 % u odnosu na 1934 godinu. Naime, prema prvom eksperimentalnom mjerenju (S.MILOJEVIĆ), vrijeme putovanja trasera od glavnog ponora do izlaza je 41 čas ili 0.074 m/s, a prema mjerenjima iz 1987 i 1988. vrijeme putovanja je 67, odnosno 72 časa ili 0.042 m/s, (Sl.1.8) odnosno 0.045 m/s. Realno je pretpostaviti da je pored uticaja kanalskog i drugog otpada na smanjenje funkcionalnosti rada ponorske provodne zone, moguć i utcaj zemljotresa jakog inteziteta aprila 1979. preko poremećaja geometrije sredine, a time i mogući uzročnik kontrakcije na podzemnoj vezi ponora sa glavnom provodnom zonom. Upoređujući rezultate mjerenja brzine putovanja trasera iz

zone istraţnih bunara (B.MIJATOVIĆ, 1974) sa brzinom kretanja trasera iz ponorske zone (glavni ponor) pokazuje se da je ono za 5,6 puta sporije u odnosu na traser ubačen u glavni ponor. Na ovaj naćin verifikuju se rezultati hidrološke analize o sporij reakciji podzemnih voda u Cetinjskom polju na padavinske impulse usled uticaja lokalnih fenomena geometrije sredine na kretanje kraških voda. S druge strane, potvrđuju se rezultati analize o kretanju kraških voda na pravcu Cetinjsko polje (ponorska zona) - Dobrsko selo - Obodska pećina.

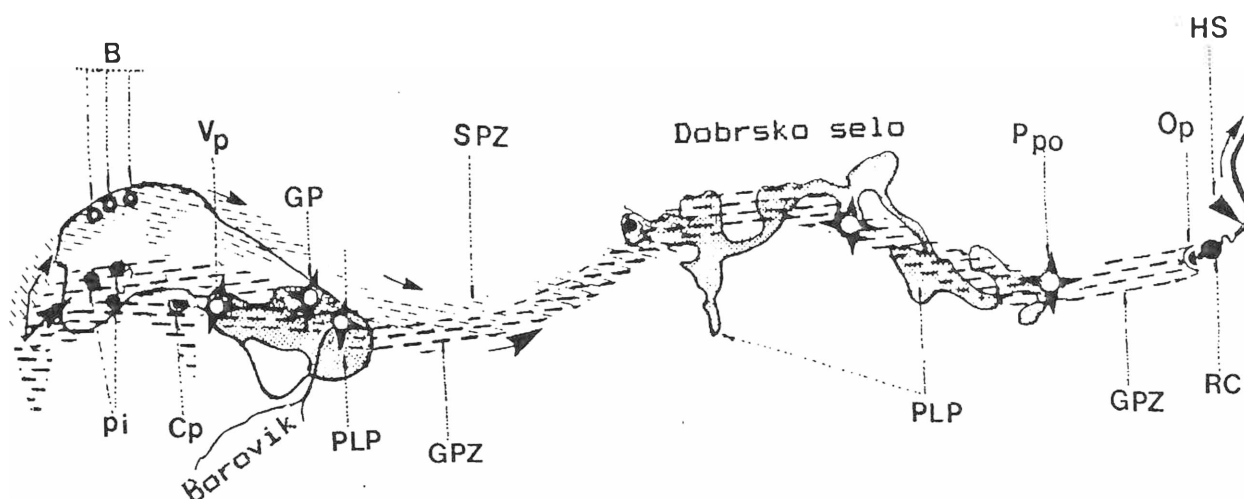


LEGENDA :






- C - dijagram koncentracije trasera
- Q - hidrogram na izlaznom profilu sistema
- tcc2 - vrijeme putovanja trasera
- tcq - vremenski pomak između C i Q

Sl. 1.8. Prikaz hidrološkog stanja sa dijagramom koncentracije Na-floresceina pri određivanju brzine kretanja podzemnih voda

■ Za identifikaciju kretanja kraških voda analizirane su pojave ekstremnog hidrološkog stanja (februar, 1986) na gradskom području Cetinja i u pravcu Rijeke Crnojevića. Ekstremno hidrološko stanje izazvalo je otvaranje novih ponora, pojavu novih izvorišta i plavljenje u pravcu izvora rijeke Crnojevića. Iz ćega prizilazi logičnost zaključka, da se najizraţeniji efekti reakcije sistema odigravaju na dominantnim podzemnim pravcima kretanja kraških voda. Ili, da prostorni poloţaj pojavnih oblika manifestuje efekte podzemnog rada sistema na površini terena, ćime se otkrivaju i najvjerojatniji putevi sa pravcom i smjerom kretanja podzemnih voda. Na ovaj naćin, koristeći "ućinke" ekstremnog hidrološkog stanja, identifikovan je mogući pravac i smjer kretanja podzemnih voda u području Cetinjskog polja i u pravcu Rijeke Crnojevića (Sl.1.9)



LEGENDA :

- PLP - *poplavljeno područje*
- GPZ - *najvjerovatniji položaj glavne provodne zone*
- SPZ - *sekundarni pravac kretanja kraških voda*
- Ppo - *pavremeni panori*
-  *zona pojave izvorišnih voda i bujica*
-  *poplavljena- panorska zona (Donje polje)*
-  *pavremena izvorišta*
-  *panori*
-  *istražni bunari*
- Cp *Cetinjska pećina*

Sl.1.9. Identifikacija mogućeg položaja glavne provodne zone sistema na osnovu hidrološkog ekstremnog stanja u Cetinjskom polju (16-18 februar, 1988)

II. HIDROLOŠKI BILANS SISTEMA

II.1. osnovne postavke

U suštini, hidrološki bilans nekog rječnog sliva (sistema) ili bilo kojeg drugog ograničenog prostora rezultat je kompleksnog dejstva vertikalnih promjena vlage uslovljenih termodinamičkim činiocima (*atmosferske padavine, sumarno isparavanje*) i horizontalnim promjenama vlage uslovljenih dejstvom hidrodinamičkih činioca (*površinsko, podzemno, rječno oticanje*). Što znači, da se komponente hidrološkog bilansa kao jedan prostorno vremenski kompleks može izučavati sa dva aspekta ; prostornog i vremenskog. Metodi analize

i određivanja komponenti vodnog bilansa u prostoru se u principu razlikuju i zavise u značajnoj mjeri od veličine analizirane površine sistema, kao i od stepena saglasnosti- poklapanja topografske i hidrološke vododjelnice sistema. Složenost izučavanja problema hidrološkog bilansa povećava se sa smanjenjem dužine vremenskog perioda u kojem se isti promatra. Bilans za jednogodišnji period, a naročito za periode kraće od jedne godine, predstavljaju složeni problem i ako su ovi bilansi od najvećeg teorijskog i praktičnog interesa. Hidrološki bilans, u širem smislu, može se shvatiti kao metod naučnog istraživanja, koji omogućava da se dublje pronikne u hidrološke procese koji se odvijaju u sistemu i njihovim zakonomjernostima. Tehnika primjene u ovom slučaju se sastoji u postavljanju bilansnih jednačina (*jednačina kontinuiteta*) kojima se definiše veza između pojedinih komponenti bilansa za pojedine djelove sistema ili za sistem u cjelini u posmatranom vremenskom intervalu-periodu.

formulacije vodnog bilansa kroz zakon održanju mase može se izraziti u obliku relacije :

$$UL(\Delta t) - IZ(\Delta t) = + \Delta V(\Delta t) \quad (2.1)$$

Gdje je:

$UL(\Delta t)$ - *prihodna komponenta*
 $IZ(\Delta t)$ - *izlazna komponenta*
 ΔV - *rezultujuća komponenta*
 Δt - *vremenski interval*

Pošto $\Delta V(\Delta t)$ predstavlja razliku između ukupnih zaliha vode u slivu na početku V i na kraju V vremenskog intervala Δt to je :

$$V_t - V_{t+\Delta t} = + \Delta V(\Delta t) \quad (2.2)$$

iz čega slijedi da se 2.1 može napisati u obliku ,

$$V_t + UL(\Delta t) - IZ(\Delta t) = V_{t+\Delta t} \quad (2.3)$$

II.2. BILANSNE JEDNACINE ZA KRAŠKI SISTEM

Osnovne jednačine hidrološkog bilansa u predhodnim izrazima imaju važnost za bilo koju ograničenu površinu u prostoru i za posmatrani vremenski interval - period. U slučajevima kraških sistema, kao što je prostor sistema r.Crnojevića, gdje je koeficijent zakr-
ašćenosti terena (f_k) blizak jedinici.

$$f_k = A_k/A \cong 1 \quad (2.4)$$

Gdje je:

A_k - *površina sa fenomenom karsta*
 A - *ukupna površina sistema*

odgovarajućem stanju holokarsta adekvatna bilansna jednačina može se napisati u vidu izraza :

$$P(t) - |E(t) + Q(t)| = D(t) \quad (2.5)$$

Gdje je:

- $P(t)$ - *atmosferske padavine na aktivnoj- prijemnoj površini (A) sistema (S) preko koje se ostvaruje realizacija ulaza u sistemu i transformaciju u oticanje pri hidrološkim procesu u kompleksnom kraškom podzemlju*
- $E(t)$ - *sumarno-stvarno isparavanje sa aktivne površine (A) kraškog sistema (S) u zavisnosti vremenskog intervala (t)*
- $Q(t)$ - *oticanje na izlazu iz kraškog sistema (S) sa aktivne površine (A) za promatrani vremenski interval (t)*
- $D(t)$ - *Deficit ili višak oticanja na izlazu iz sistema (S) u posmatranom vremenskom intervalu (t) = $\pm \Delta V(t)$ prema jed.2.2*

Promjena znaka $D(t)$ i promjena njegove vrijednosti je direktno u zavisnosti od promjene oticanja (Q), odnosno od veličine aktivne površine (A) sistema (S) koja je u startu nepoznata. Što znači, konvergencija apsolutne vrijednosti deficita (2.6) vrijednosti nula, je pokazatelj u strogo teorijskom smislu pri definisanju pripadne površine sistema. Međutim, u uslovima složenosti kraškog sistema, kao kriterijum za uspješnost rješavanja problema može se smatrati određivanjem veličine površine sistema, pri kojoj rješenja komponenti jednačine hidrološkog bilansa rezultiraju najmanju vrijednost deficita oticanja na izlaznom profilu sistema. Što znači, da se u najmanjoj vrijednosti deficita obezbeđuje i uslov najbolje pokrivenosti padavina sa oticanjem na izlazu iz sistema.

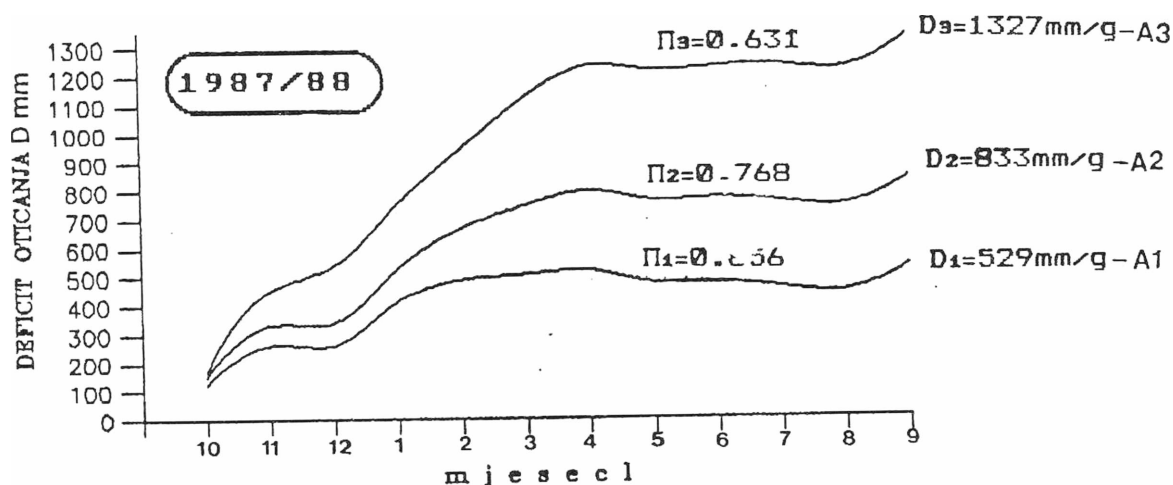
$$\lim |D(t)| \rightarrow 0 \quad \begin{array}{l} \text{za } t \rightarrow \text{višegodišnji period} \\ \text{za } t \rightarrow \text{hidrološka godina} \end{array} \quad (2.6)$$

Određivanje deficita (D) je u zavisnosti od tačnosti ostalih članova relacije (2.5). Greške koje se čine pri određivanju komponenti P , Q i E bitno utiču na veličinu i znak deficita. Što znači, da i nepoznata veličina površine (A) sistema (S) uslovljava konvergenciju lijeve strane jednačine 2.5 ka najmanjoj vrijednosti.

Pošto se radi o kompleksnom kraškom sistemu sa izraženom komponentom slučajnosti prostorne geometrije pukotinskog i prslinskog sistema kao i složenosti prostornog uticaja primarne provodne zone na dreniranje kraških voda sa pripadnih-aktivnih površina sistema; to se u polazištu tretiraju tri različite površine sistema : A_1, A_2, A_3 odnosno, veličine 79,3 km², 92,0 km² i 118 km²

Polazna saznanja o veličini površine sistema rijeke Crnojevića sadržana su u rezultatima izvršene hidrološke analize za različita hidrološka stanja u sistemu i hidroloških parametara identifikacije kretanja kraških voda u zonama koncentrisanih kraških fenomena sistema, kao i raspoloživih informacija iz domena geofizičke izučenosti područja (posebno hidrogeološke funkcije stijena u sistemu).

Na osnovu konačnih rezultata rješenja jednačine hidrološkog bilansa u cilju definisanja veličine površine sistema -sliva rijeke Crnojevića, pokazuje se da je ta veličina najbliža vrijednosti predpostavljene površine $A1=79.3 \text{ km}^2$. Za ovu veličinu površine sistema pokrivenost padavina sa oticanjem (Π) na izlaznom profilu je najbolje izražena za dva karakteristična hidrološka stanja, odnosno za dvije karakteristične hidrološke godine. Pri čemu vrijednost koeficijenta $\Pi_2=0.867$ za malovodnu hidrološku godinu daje neke indikacije o mogućoj, ali ne i bitno izraženoj "pokretljivosti" veličine površine sistema iznad vrijednosti $A1$, jer i vrijednost koeficijenta pokrivenosti padavina sa oticajem $\Pi_1=0.931$ potvrđuje dominantnost zastupljenosti veličine površine sistema $A1$ i za hidrološko stanje u malovodnoj hidrološkoj godini. Za hidrološku vodnu godinu, veličina površine $A1$ je bliska donjoj graničnoj vrijednosti sa mogućom minimalnom kompresijom pri nekim ekstremnim hidrološkim stanjima maksimalne vodnosti u području glavne primarne zone sistema. Što znači, da se pri izraženoj ulaznoj komponenti padavina zbog brze reakcije sistema, može izvršiti transformacija padavina u oticanje sa neznatno manje površine od $A1$. Na sl.2.1 prikazane sumarne linije mjesečnih deficita oticanja u zavisnosti od razmatrane veličine površine sistema na izlaznom profilu a za vodnu hidrološku godinu



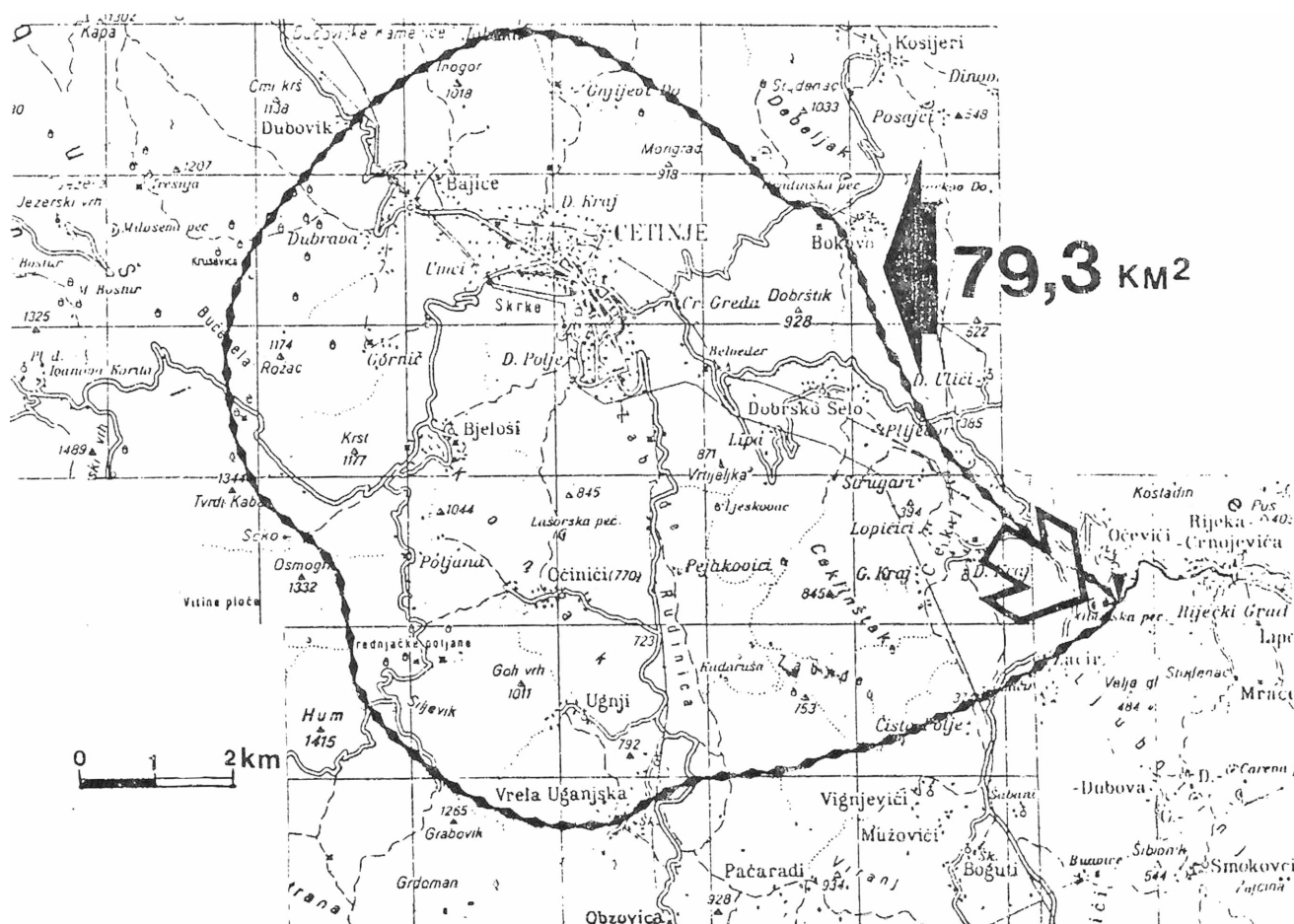
Sl.2.4. Sumarna linija mjesečnih deficita (D) za razmatrane veličine površine sistema (A) sistema (S) za vodnu hidrološku godinu

Na osnovu izloženih saznanja proizilazi da je opravdano usvojiti veličinu površine $A1$ (Sl.2.2) kao mjerodavnu površinu sistema rijeke Crnojevića za različita hidrološka stanja :

$$S(A) = A1 = 79.3 \text{ km}^2$$

Pokrivenosti padavina sa oticanjem na izlaznom profilu za mjerodavnu površinu $A1$ u procentualnom iznosu je :

$$\begin{aligned} \Pi &= \Pi_1 = 85.6 \% \Rightarrow \text{za hidrološku vodnu godinu} \\ \Pi &= \Pi_2 = 93.1 \% \Rightarrow \text{za hidrološku sušnu godinu} \end{aligned}$$



SL.2.2. Položaj merodavne površine sistema
rijeke Crnojevića S(A)

III. METODA KONCEPTUALNOG HIDROLOŠKOG MODELA SSARR24

Rezultati hidrološke analize pokazuju da se u kretanju kraških voda sistema rijeke Crnojevića manifestuju sličnosti sa kretanjem površinskih tokova u kraškim područjima. Ova specifičnost potvrđena je u primjeni konceptualnog hidrološkog modela SSARR na simulaciji oticanja preko padavina i evapotranspiracije u cilju određivanja mjerodavne veličine površine sistema. Identifikacija modela pokazuje vrlo dobro slaganje računskih i osmotrenih protoka za površinu od 79.3 km². Visoki koeficijent korelacije od $r = 0.89$ za hidrološku vodnu godinu i $r = 0.94$ za hidrološku sušnu godinu između računskih i osmotrenih protoka verifikuje određenu vrijednost mjerodavne površine metodom hidrološkog bilansa. Imajući u vidu da je osnovna svrha primjene modela SSARR bila u definisanju mjerodavne veličine površine sistema, to je kroz analizu osjetljivosti modela sagledavan uticaj promjenljivosti veličine površine na oblik rekonstruisanog hidrograma zadržavajući ostale parametre konstant-

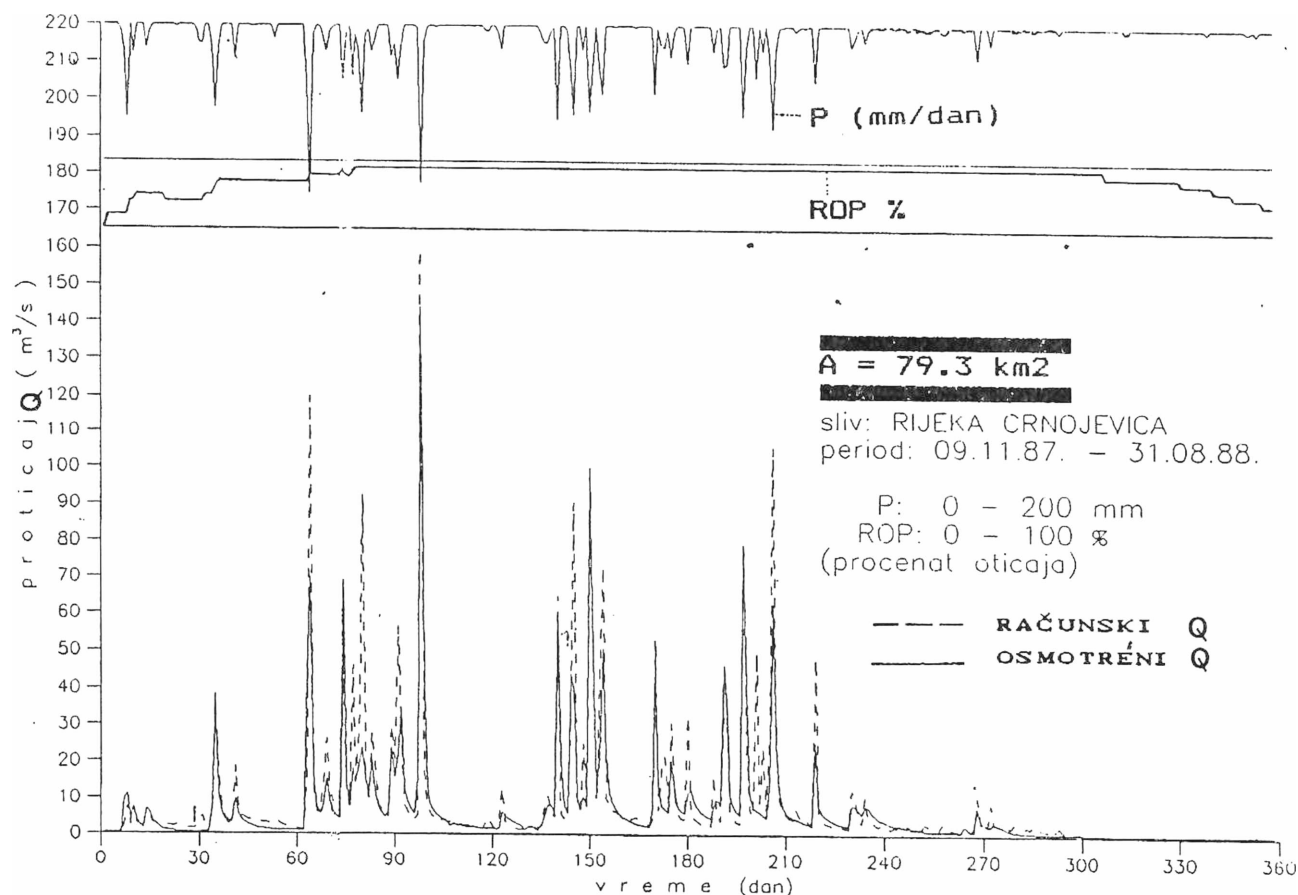
nim vrijednostima. U modelu su razmatrane veličine površina trećinih i metodom hidrološkog bilansa. Na osnovu rezultata izvršene identifikacije modela preko ukupne razlike količine proticaja ΣQ (tabela.1) prizilazi da je najbolji odziv modela za veličinu površine od 79.3 km² (Sl.2.3)

A (km ²)	ΣQ — parametar identifikacije			
	(R)	(O)	(R-O)	(R/O) %
79.3	2952.10	2556.40	395.70	13.4
92.0	1930.20	2556.40	626.20	24.5
118	1636.40	2556.40	920.00	36.0

tabela.1

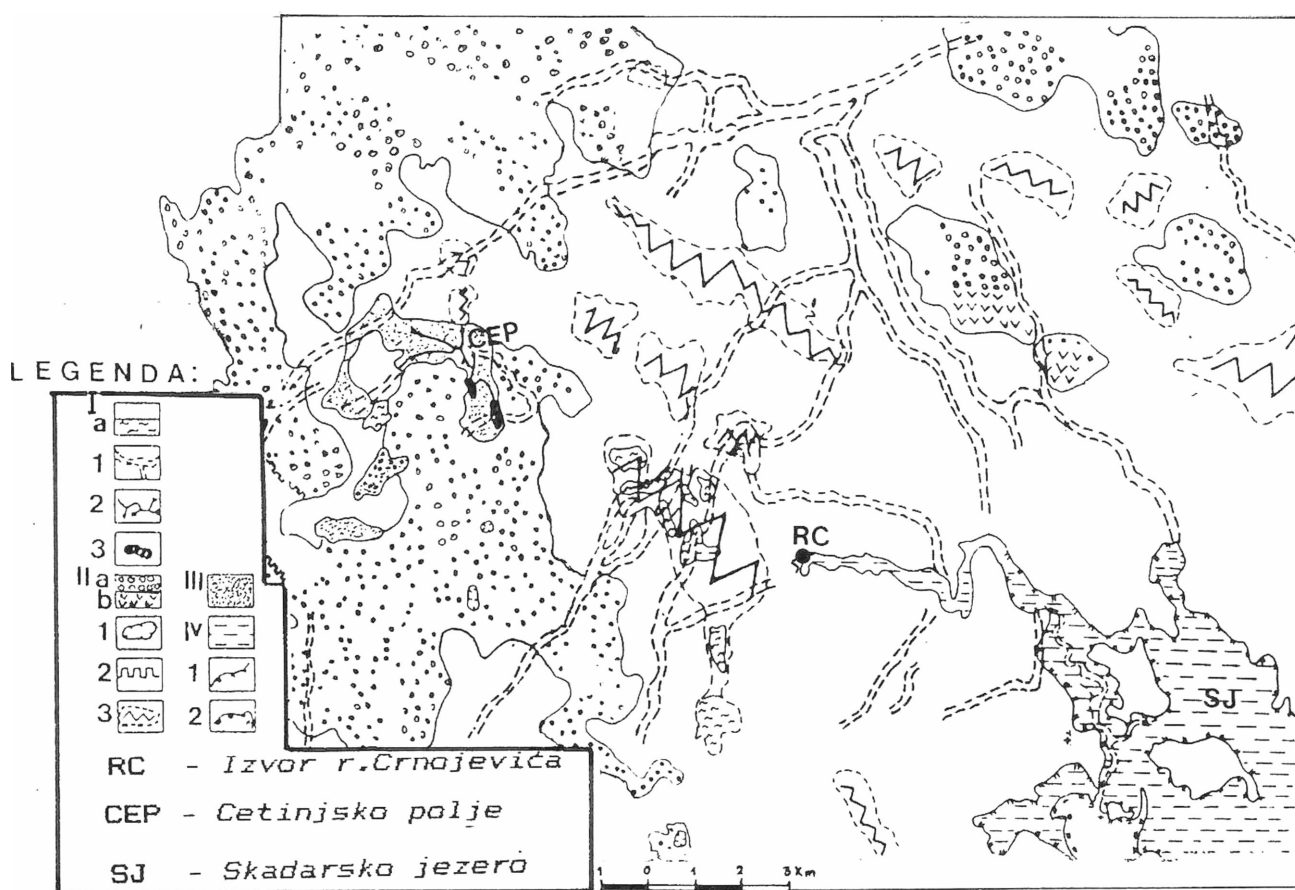
HIDROLOSKA 1987/88

PARAMETARI IDENTIFIKACIJE MODELA	RACUNSKA	OSMOTRENE	ODSTUPANJA	
	URIJEDNOSTI (R)	URIJEDNOSTI (O)	(R-O)	R/O
Q _{max} - max. proticaj m ³ /s	159.6	144.0	15.6	1.10
ΣQ - ukupna količina protoka	2952.10	2556.40	395.7	0.14
T _{max} - vrijeme pocetka max.talasa	98	98	0	
RMS - srednje kvadratno odstupanje		0.002706		
r - koeficijent korelacije		0.891717		



Sl.2.3. Uporedni prikaz računskih (R) i osmotrenih (O) proticaja na izlaznom profilu sistema

dimenzija. U nevelikom prostoru, od Cetinjskog polja do rijeke Crnojevića, razvijeni su svi oblici kraškog makro, mezo i mikro-reljefa, koji se uopšte mogu naći u svijetu. Naročito je impresivan pećinski razvoj unutar epikraškog sistema :Cetinjska pećina, Lipska pećina, Obodska pećina i druge manje pećine (B.Mijatović,1986) Sistem se nalazi u prostoru dominantnog razvoja fluviokraškog i kraškog reljefa te podređenog razvoja u području formiranja glacialnog i fluvio-akumulacijskog reljefa (sl.2.3). U okviru fluvio-kraškog reljefa posebno su značajni fosilni rječni tokovi dok su, u okviru kraškog reljefa značajne skraščene dolinaste depresije. Da bi se shvatila sva složenosti geomorfološke evolucije ovog prostora, treba uočiti da je rekonstruisani rečni tok u kraškom polju dobijao vode iz fosilnih rječnih tokova a potom ponirao u obodu polja (Cetinjsko polje). Glacijalni i fluvio-akumulacijski reljef su mlađi i nemaju značajnog uticaja na formiranje podzemnih kraških oblika (M.Radulović, P.Vujisić, 1989)



Sl.2.3. Geomorfološka karta šireg područja sliva rijeke Crnojevića
LEGENDA: I. **FLUVIO KRAŠKI RELJEF:** a. crvenica; 1. fosilni rječni tokovi utvrđeni na satelitskim snimcima; 2. rekonstruisani rječni tok; 3. ponorska zona; II. **KRAŠKI RELJEF:** a. bogunjavi kras; b. ljuti ili goli kras; 1. uvala; 2. Vrtače u nizu; 3. Skraščena dolinasta depresija. III. **GLACIJALNI RELJEF:** Morenski materijal. IV. **FLUVIO AKUMULACIJSKI RELJEF:** Akumulativne ravnice i periodično plavljeni tereni; 1. Niske obale od karbonatnih stijena; 2. niske obale od nekonsolidovanog materijala. (po U. PREMERU priredili : M.Radulović, P.Vujisić, 1990)

2.2. HIDROGEOLOGIJA SISTEMA

Hidrogeološki sistem je veoma kompleksan i podrazumijeva dva komplementarna sistema: epikraški i endokraški. Epikraški sistem zahvata pripovršinsku zonu razudjenih kraških kolektora, a endokraški sistem dublju drenažnu zonu, u kojoj je u toku stalna podzemna cirkulacija vode duž manje ili više izolovanih i privilegovanih kraških kolektora tektonski predisponiranih. Dok se epikraški sistem odlikuje relativno velikim dinamičkim kapacitetom vodoprijetima i u većem dijelu godine predstavlja suhu zonu, dotle se dubljoj drenažnoj zoni mogu pripisati svi atributi kraške izdani, promenljive i uglavnom velike transmisivnosti i male akumulativnosti (sl.2.4).

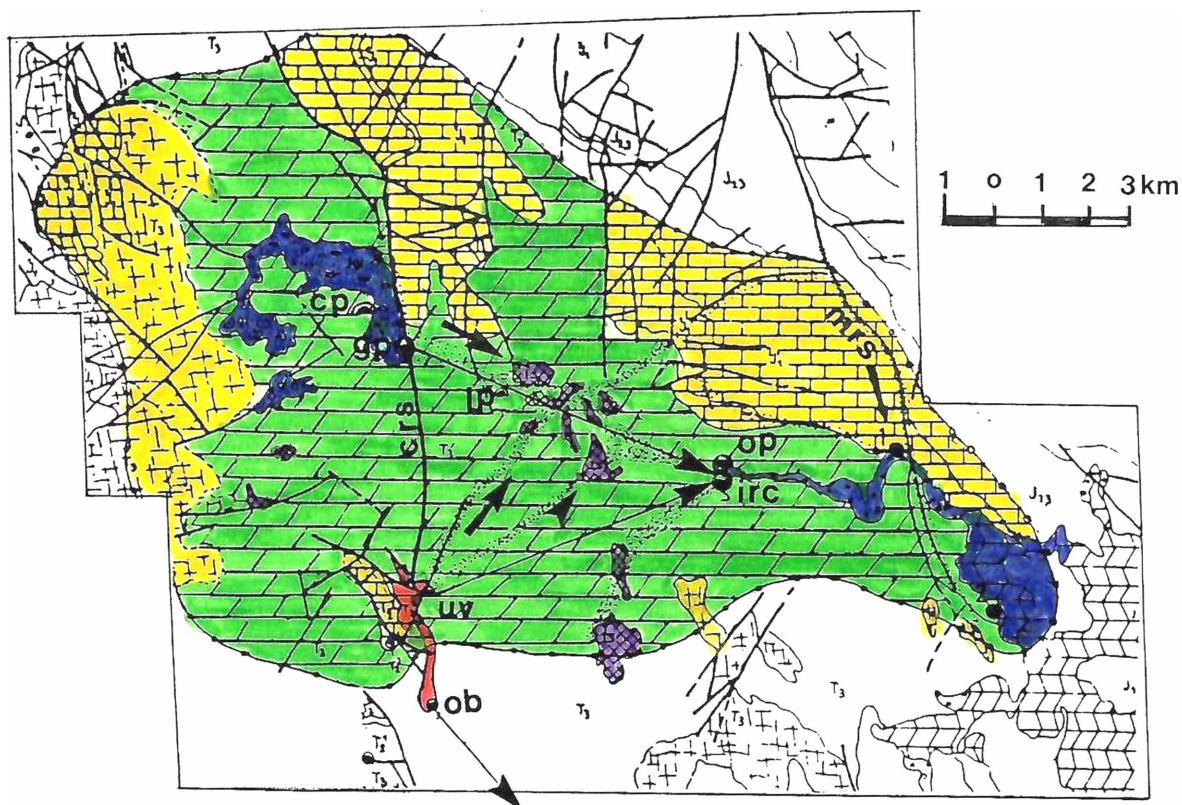
Intezivna karstifikacija razorila je površinsku rječnu mrežu i spustila je u podzemlje, tako da sada egzistiraju u kišovitom periodu godine samo kratkotrajni kraći površinski tokovi. Pravcem NW-SE tekla je rijeka koja je evolucijom kraškog procesa spuštена u podzemlje čiji su ostaci današnja vrela. Ostaci te rijeke su rijeka Cetinja o kojoj postoje zapisi i današnja Obodska vrela. Izvorište ove stare Cetinjske rijeke bilo je na istočnim padinama planine Lovčena. Tekla je dalje preko Bjeloša prema Cetinjskom polju. Ponornica je prvo postala kroz područje Vrtijeljke (između Cetinjskog polja i Doborskog sela) a potom u prevoju Koščela, gdje je Cetinjska rijeka sasvim prešla u podzemlje do izvorišta sadašnje rijeke Crnojevića (J.Petrović).

Rad podzemnih voda ponornice rijeke Cetinje, odnosno sadašnje podzemne rijeke Crnojevića je Obodska pećina. Ona, kao izlazni dio privilegovane provodne zone podzemnih voda iz sistema, predstavlja izvorište rijeke Crnojevića. Primarni uticaj na rad hidrogeološkog sistema ima Cetinjsko polje. Cetinjsko polje je erozionog porijekla. To je prostrana kraška uvala veličine oko 4 km², zaravnjena fluviglacijalnim nevezanim materijalom, koji je nanešen u polje prvenstveno spuštanjem glečara sa planine Lovčena.

Funkcionisanje hidrogeološkog sistema u gornjotrijaskom dolomitsko krečnjačkim stijenskim masama može da se proučava na osnovu geološko-tektonskih postavki:

- geološka osnova gornjotrijaskih karbonatnih stijena je anizijsko ladinska flišolika serija, koja u hidrogeološkom smislu predstavlja podinski izolator za sve kraške vode koje se dreniraju prema Skadarskom jezeru, i

- magistralni rased, pravca pružanja V. Celinac - Cetinjsko polje-Obzovica, oštro dijeli hidrogeološke uslove u ovom kraškom sistemu: zapadno krilo raseda predstavlja višu stepenicu kraške podzemne cirkulacije ili lokalnu erozionu bazu, a istočno krilo (područje od Cetinjskog polja do Rijeke Crnojevića i Skadarskog jezera) predstavlja nižu stepenicu kraške podzemne cirkulacije, identičnu regionalnoj erozionoj bazi ovih kraških terena (B.Mijatović, 1986) što znači, geološko-tektonska građa šireg područja Cetinjskog polja pruža realne izgledе o postajanju kraške izdani u gornjotrijaskim dolomitima i krečnjacima Cetinjskog polja koji izgrađuju zapadno krilo (sl.2.5).



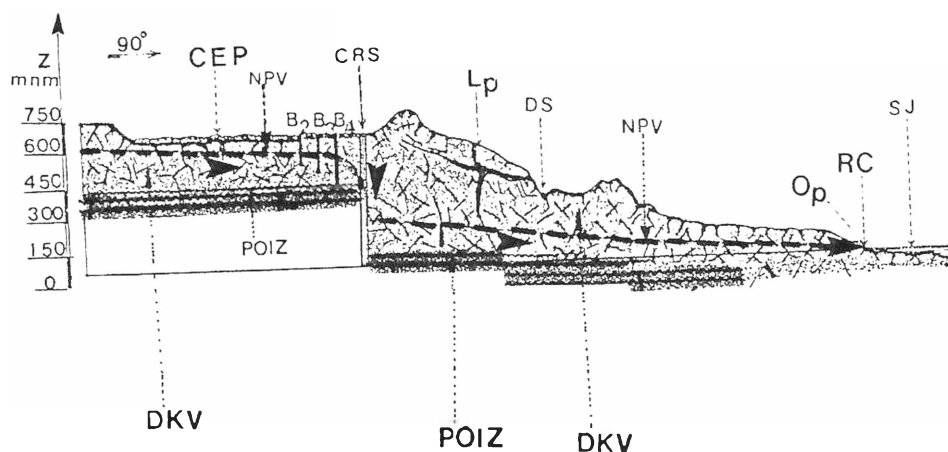
LEGENDA:

- | | | | |
|----------------------|---|--------------------|-------------------------------|
| 1. ts | CRVENICA | 4. J ₁ | KREČNJACI |
| 2. fgl | FLUVIOGLACIJALNI SEDIMENTI | 5. T ₃ | DOLOMITI |
| 3. J _{2,3} | KREČNJACI | 6. T ₂ | SEDIMENTNO-VULKANOGENA SERIJA |
| | KOMPLEKS PROPUSNIH I SLABO PROPUSNIH STIJENA SA ZBIJENIM TIPOM IZDANI MALE IZDAŠNOSTI | | |
| | DOBRO PROPUSNE STIJENE PUKOTINSKO-KAVERNOZNE POROZNOSTI SA KARSINIM TIPOM IZDANI | | |
| | SLABO I SREDNJE PROPUSNE STIJENE PUKOTINSKE I REDJE KAVERNOZNE POROZNOSTI SA KARSINO-PUKOTINSKIM TIPOM IZDANI | | |
| | PRETEŽNO NEPROPUSNI KOMPLEKS | | |

HIDROGEOLOŠKE OZNAKE:

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| VODODELNICA (predpostavljena) | PRAVAC IZDANSKOG TOKA |
| PONOR | UTVRDJENA VEZA OPITOM OBILJEŽAVANJA |
| PEĆINE | IZVOR |
| PROVODNE ZONE | crs- CETINJSKI RASJED |
| cp- CETINJSKO PEĆINA | rc- RIJEKA CRNOJEVIĆA |
| gp- GLAVNI PONOR | mrs- METERIZSKI RASJED |
| op- OBODSKA PEĆINA | |
| irc- IZVOR RIJEKE CRNOJEVIĆA | |

Sl.2.4. HIDROGEOLOŠKA KARTA PREDPOSTAVLJENOG SLIVA RIJEKE CRNOJEVIĆA (prema : M.Raduloviću i P.Vujišiću, 1989)



LEGENDA :

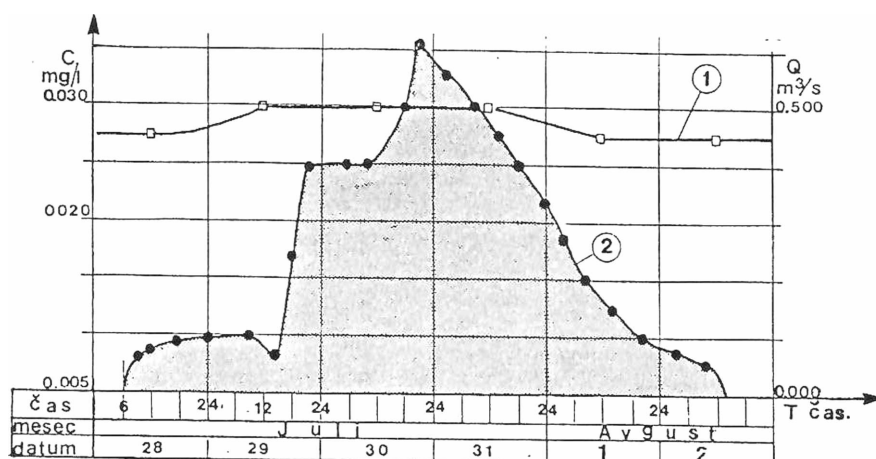
CEP - Cetinjsko polje	CRS - Cetinjski rasjed
B - Istržni bunari	DS - Dobarsko selo
RC - Izvor r. Crnojevića	Lp - Lipska pećina
SJ - Skadarsko jezero	Op - Obodska pećina
NPV - Nivo podzemne vode	POIZ - Podinski izolator-
DKV - Dolomitska krečnjački	srednjotrijaski fliš:
vodonosnik	krečnjaci, roznaci, tufiti

Sl.2.5. Shematski prikaz hipoteze o formiranju kraške izdani u Cetinjskom polju i njenom dreniranju prema Skadarskom Jezeru (B.Mijatović, 1986)

Pored dominantne uloge Cetinjskog rasjeda na hidrogeološko funkcionisanje sistema imaju uticaja i mnogi drugi rasjedi, pretežno vertikalni i različitih pravaca pružanja. Među ovim, sa hidrogeološkog aspekta je značajan rasjed generalnog pravca SW-SE, koji na jednom dijelu predstavlja granicu između sedimenata donjojurske i srednjojurske starosti. Ovim rasjedom dijelom je predisponiran i smjer cirkulacije podzemnih voda prema vruljama Grab i Ploče u Skadarskom jezeru (pojava podzemnih voda iz sistema rijeke Crnojevića duž ovog rasjeda nije dokazana). Na hidrogeološkoj karti (sl.2.4) ovaj rasjed naznačen je pod nazivom (MRS)- "Meterijski rasjed".

Prve pouzdane dokaze o postojanju veze između kraških podzemnih voda Cetinjskog polja i rijeke Crnojevića dao je S.Milojević 1935 godine ubacivanjem trasera u Glavnom ponoru. Pojava trasera na izvoru rijeke Crnojevića bila je nakon 41 časa od momenta ubacivanja trasera, uz djelimično poznato hidrološko stanje pri kojim je izvršeno trasiranje. Utvrđivanje ove veze obavljeno je i 1973 u sklopu hidrogeološkog istraživanja Cetinjskog polja. Ubacivanjem trasera (37 kg uranina) izvršeno je u istražno strukturnu bušotinu dubine 205 m, koja je locirana u neposrednoj blizini Cetinjskog rasjeda. Prva pojava trasera na izvoru rijeke Crnojevića konstatovana je poslije 17 dana od momenta ubacivanja.

Hidrološko stanje bilo je djelimično poznato: približna kriva proticaja i padavine u iznosu od 59 mm (od 25-27 jula). Od ukupne količine trasera pojavilo se 89 %, što je i dokaz o dobroj vezi rijeke Crnojevića sa kraškim vodama iz pravca Cetinjskog polja (sl.2.7.) Uz pretpostavku povećanja podzemne dužine toka za 30% od geodetskog rastojanja između Cetinjskog polja i rijeke Crnojevića, dobijena je vrijednost brzine kretanja trasera od 1cm/s. Na ovaj način su potvrđeni rezultati iz 1935 godine, a samim tim i hipoteza o hidrogeološkoj pripadnosti kraških izdanskih voda Cetinjskog polja sa izvorskim vodama rijeke Crnojevića.



LEGENDA :

- 1 - približni hidrogram na izvoru r.Crnojevića
- 2 - dijagram koncentracije trasera na izvoru

Sl.2.6. Dijagram koncentracije trasera sa izlaznim hidrogramom (B.Mijatović, 1973)

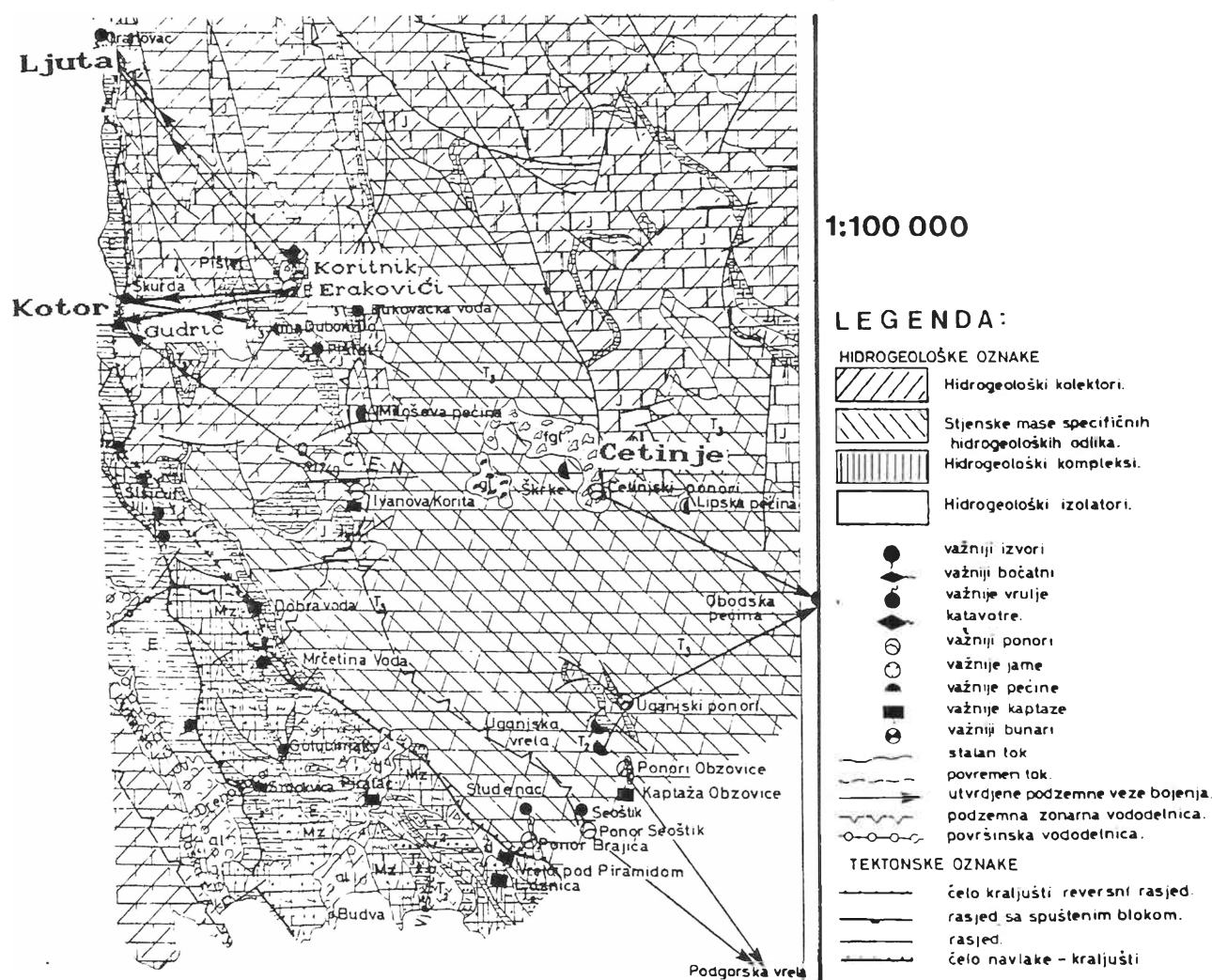
2.2.1 Granice hidrogeološkog sliva

Na osnovu stratografsko-litološkog sastava, tektonskog sklopa geomorfoloških svojstava, hidrogeoloških karakteristika i funkcija stijenskih masa, vrste, rasporeda i mehanizma funkcionisanja hidrogeološkog sistema a posebno rezultata dobijenih trasiranjem -bojanjem podzemnih voda naznačene su hidrogeološke granice sliva rijeke Crnojevića. Glavna vododelnica između sliva Skadarskog jezera i Kotorskog zaliva (B.Mijatović) istovremeno je i zapadna granica hidrogeološkog sliva rijeke Crnojevića. Što znači, da se sa izvjesnom pouzdanošću može ista povući između Majstora i Osmogrka duž istočnih padina Lovćena preko Miloševe pećine, Trešnje i Čekanja, povijajući se na sjeveroistoku do V.Čelinca ka rijeci Crnojevića (B.Mijatović)

Konačno, uzimajući u obzir uticaje hidrogeološke funkcije krečnjačkog-doomitskog kompleksa u užem i širem području Cetinjskog polja i

izvan juga , uloge gravitacionih rasjeda koji presijecaju područje i prvenstveno rezultata bojenja (sl.2.7), (posebno na zapadnoj granici) određena je moguća veličina površine sliva rijeke Crnojevića. Obojene vode u ponorima Ivanovih korita na Lovćenu i jami Duboki do (J.Petrović, 1959) pojavile su se na Gudriću kod Kotora a obojene vode u Erakovića ponoru i ponoru Koritnik na Njegušima pojavile su se na Gurdiću i Orahovačkoj Ljutoj. Brzina kretanja obojenih voda kretala se od 0.09-4.70 cm/s. Bojenja u povremenom ponoru kod Trešnjeva dokazana je veza sa Orahovačkom Ljutom (V.Radulović,1973) Bojenjem vode duž ponorske zone Uganjskih vrela dokazana je veza istih sa izvorom Crnojevića rijeke, a obojene vode izvora Obzovica pojavile su se na Podgorskim vrelima sa prosečnom brzinom kretanja od 13.8 cm/s, štoje i dosada najveća brzina kretanja podzemnih voda u slivu Skadarskog jezera i njegovom obodu (V.Radulović,1973).

Veličina površine sliva određena u dosadašnjim izučavanjima kreće se od 100 km² (B.Mijatović, 1986), 129 km² (V.Radulović, 1989) 175 km² (M.Radulović, P. Vujisić), 113 km² (D.Dragović)



Sl.2.7. Pregledna hidrogeološka karta utvrđenih pravaca i smjerova kretanja podzemnih voda na širem području sliva rijeke Crnojevića i Bokokokotorskog zaliva (V.Radulović, 1989)

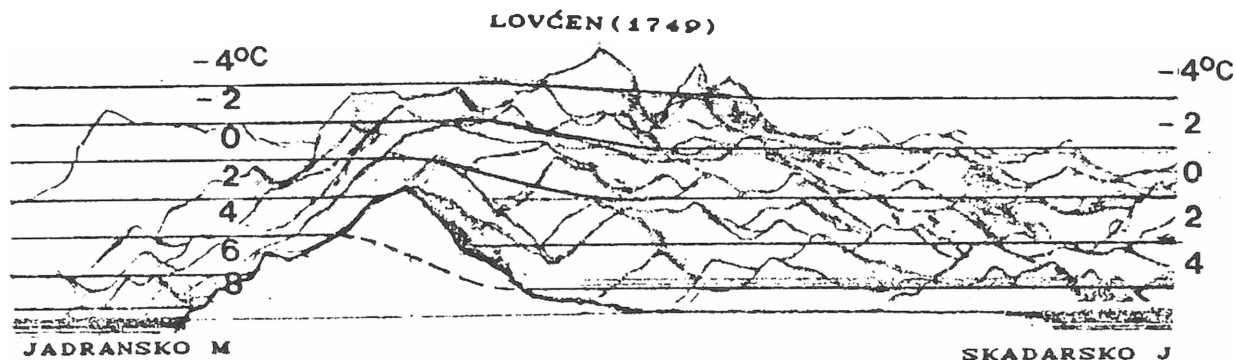
3. INFORMACIJE O KLIMI PODRUČJA

Geografski položaj kraškog sistema u središnjem jugozapadnom dijelu Crne Gore, blizina Jadranskog mora i Skadarskog jezera, konfiguracija terena i nadmorska visina teritorije uslovljava različite klimatske odlike šireg područja.

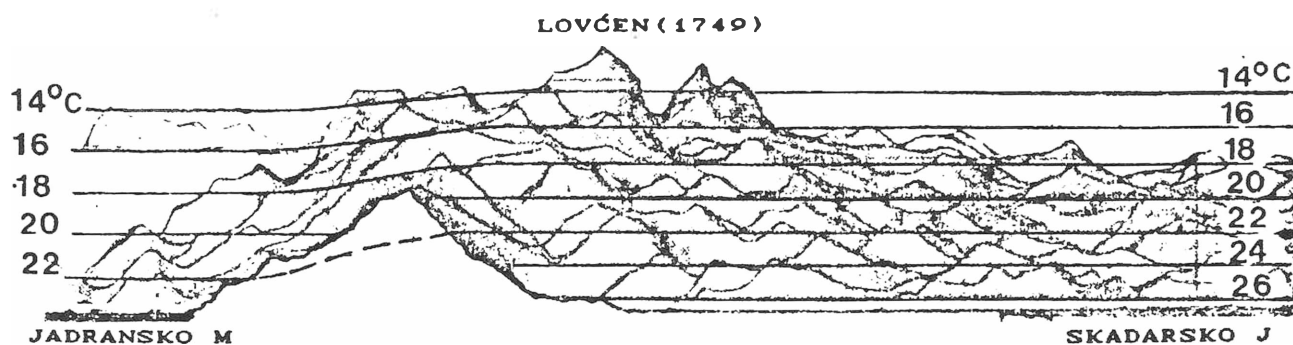
Prostor kraškog sistema rijeke Crnojevića odvojen je planinskim masivom Lovćena i Orijena od mora, pa je neposredni termički uticaj mediteranske klime zaustavljen. S druge strane preko bazena Skadarskog jezera ostvaruje se se maritimni uticaj sa nešto izmijenjenim osobinama na Riječku nahiju, dok je uticaj od Boke i bazena Trebinja slabije izražen u predjelu Njeguša i Cuca.

Od presudnog značaja na klimatske odlike područja je razlika u nadmorskoj visini (od 6-1749 mnm) koja se odražava na temperaturu vazduha po skoro svim parametrima u toku godine. Niz udolina (cucka, čeklička, cetinjska) utiču na pojavu inverzija i izmjenu režima hoda temperature u hladnom periodu godine. Na čitavom prostoru područja prisutan je mediteranski pluvijalni ciklus velikih padavina. Na osnovu ovih uticaja i uslova područje možemo podijeliti u tri klimatske zone koji su podtipovi širih zona klimata Crne Gore a to su :

- Zona Skadarskog basena (područje Zetsko-bjelopavličke ravnice) koje obuhvata istočne predjele područja do srednje godišnje izoterme od 12°C sa odlikama izmijenjene mediteranske klime.
- Zona katunske zaravni (podtip jugozapadnog središnjeg dijela Crne Gore) sa srednjom godišnjom temperaturom od 10°C i odlikama mediteransko-kontinentalne klime.
- Zona Lovćena i oaza visova ispod S.G. izoterme od 8°C sa odlikama planinsko mediteranske klime.



SL.3.1. Prikaz januarske izoterme područja



SL.3.2. Prikaz julske izoterme područja

Bitne odlike klime sadržane su kroz informacije o klimatskim pokazateljima (period 1931-1980) na lokacijama :

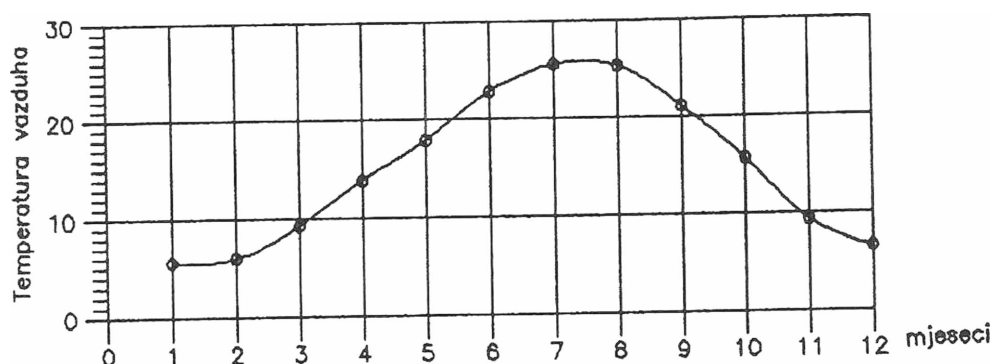
- Rijeka Crnojevića (10-15 mm) → zona Skadarskog jezera
- Cetinje (650 mm) → zona Katunske nahije
- Ivanova korita (1250 mm) → zona Lovćena

Mreža meteoroloških stanica zastupljena je sa meteorološkom stanicom u Cetinju (skraćeni program) i padavinskim stanicama : Karuč, Rijeka Crnojevića, Obzovica, Njeguši, Čeklići, Ivanova korita (ukinuta klimatološka stanica) i Cevo.

3.1. Rijeka Crnojevića - zona Skadarskog jezera

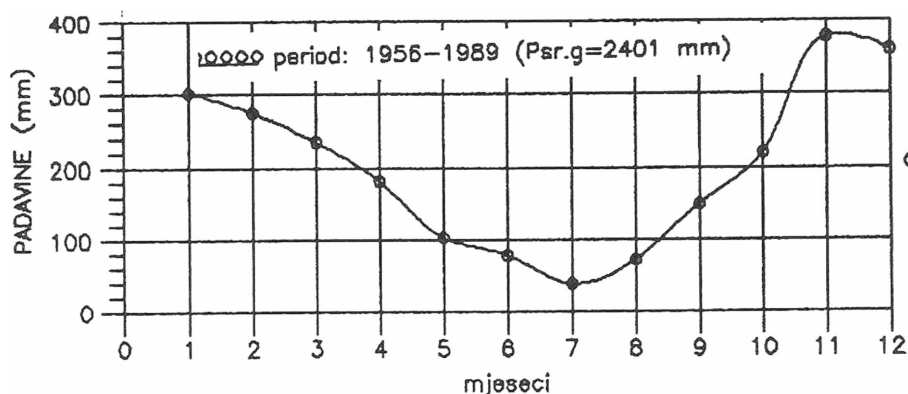
Rijeka Crnojevića ima klimatske karakteristike Skadarskog bazena. To je jadranska klima sa jačim uticajem kontinentalne klime i većim oscilacijama temperature (jače izraženi maksimum i minimum). Usled termičkog uticaja Jadranskog mora koji se prenosi rijekom Bojanom i Skadarskim jezerom, područje Rijeke Crnojevića ima slične karakteristike primorske oblasti. Međutim, usled hladnih vazдушnih struja koje se spustaju sa okolnih planina, zima u ovom području je znatno hladnija. Ove struje izazivaju povremene mrazove. Prosječan broj dana sa temperaturom manjom od 0°C u junuvaru mjesecu je 6,7 dana, februaru 3 a u martu 2,4 dana. Jesen je toplija od proljeća pa se mrazovi javljaju tek u novembru mjesecu i daleko su ređi (prosječno 1,5 dana). U odnosu na zaleđe klima ovog područja je znatno drukčija. Ove razlike su

najizraženije u zimskim mjesecima. Srednja januarska temperatura vazduha u Rijeci Crnojevića iznosi $5,5^{\circ}\text{C}$, dok je za isti mjesec temperatura na Cetine $1,4^{\circ}\text{C}$. I pored razlike u visini temperature oba mjesta imaju isti hod temperature vazduha – najniže u januaru a najviše u avgustu (SL.3.1-prema PRILOGU.1). Ljeta su vrlo topla sa srednjom temperaturom u avgustu $25,4^{\circ}\text{C}$. Godišnja amplituda temperature iznosi $53,5^{\circ}\text{C}$ ($-13, + 40,5$)



SL.3.3. Godišnji hod srednjih mjesnih temperatura za Rijeku Crnojevića (1951-1957)

Srednja temperatura vode jezera iznosi $14,9^{\circ}\text{C}$ (max. $28,8$, min. 0°C) Pojave leđenja vode su rijetko prisutne na otvorenim površinama jezera. Padavine su najobilnije u zimskim mjesecima (SL.3.4, prema PRILOGU.2). Snijeg se rijetko javlja, prosječno pada 5 dana godišnje ne zadržava se dugo. Na kišu otpada oko 115 dana godišnje. Više od 1/3 godine je vedro (136,8 dana), i to najčeće od juna do oktobra (max. 20 dana u avgustu, min. 6.8 dana u januaru i februaru). Skadarski bazen karakteriše intenzivna cirkulacija vazdušnih masa. Ovo se ogleda u pojavi niza vjetrova : bura, jugo, danik, noćnik, murlon, bojanac, orahovina, upor (smuta), širok, grbin, itd.



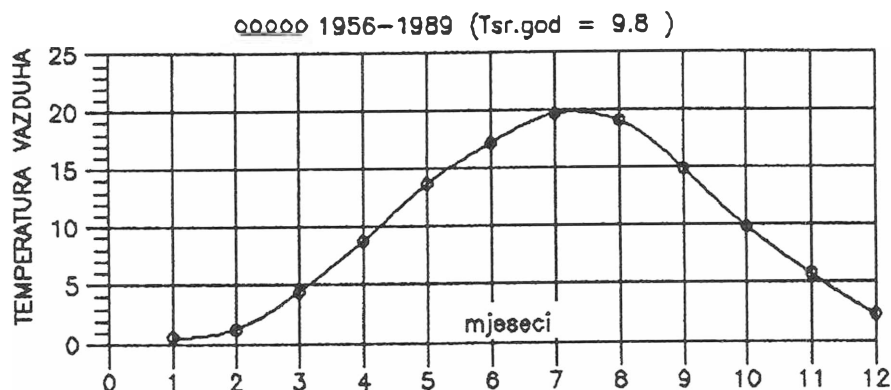
SL.3.4. Godišnji hod mjesečnih količina padavina za Crnojevića Rijeku (1956-1989)

3.2 Cetinje (650 m.n.m) → zona katunske zaravni

Geomorfološke odlike Cetinja bitno utiču na klimu a najznačajnije su : nadmorska visina, kotlinski položaj cetinjskog polja i neposredna blizina Lovćena. Cetinje se nalazi na rubu katunske nahije, pa su prisutni i uticaji od bazena Skadarskog jezera.

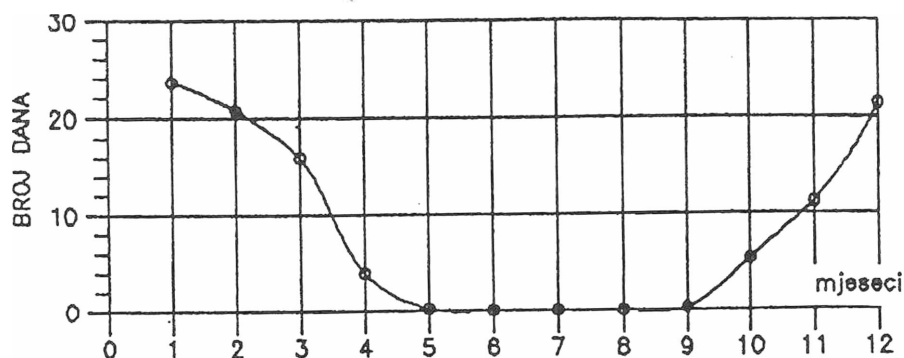
3.2.1. Temperatura vazduha

Kao Rijeka Crnojevića, Cetinje ima karakterističan hod temperature vazduha (SL.3.5, prema prilož. 3). Počev od mjeseca januara čija je temperatura najniža od svih mjeseci ona ima postepeni pad, ali već od februara brzo raste, dostižući maksimalni iznos u mjesecu july. Upoređujući maksimalnu vrijednost temperature sa minimalnom temperaturom u januaru, proizilazi vrijednost apsolutnog kolebanja od 56.9°C (36.4° i -20°C)



SL.3.5. Godišnji hod srednjih mjesečnih temperatura vazduha za Cetinje (1956-1989)

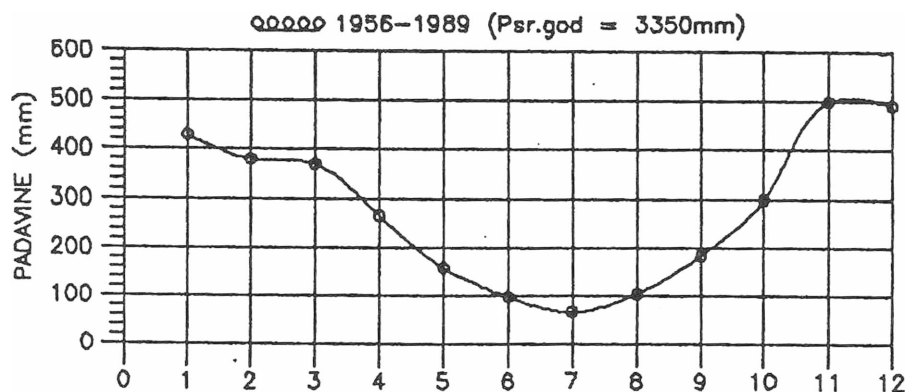
Od mjeseca avgusta temperatura počinje opadati. Izražena mjesečna kolebanja temperature mogu se objasniti kao posledica sučeljavanja nekoliko režima klime, u prvom redu primorskom i dosta izmijenjenom kontinentalnom klimom. Treba naglasiti pojavu inverzije koja je karakteristična za oblast Lovćena i čini anomaliju u hodu temperature. Zbog ove pojave u toku zimskih mjeseci niži djelovi Lovćena, pa i samo Cetinje imaju nižu temperaturu od djelova sa većom nadmorskom visinom, ali samo u toku zime za vrijeme vedrog anticiklonskog vremena. Period inverzije uslovljava nepokretnost vazдушnih masa i obratnu cirkulaciju, što povećava mogućnost zagađivanja vazduha. Povoljna je okolnost ljeta, ovi periodi kratko traju najčešće do 10 časova. Negativne temperature se pojavljuju počev od septembra pa završavaju sa mjesecom majom.



SL.3.6. Godišnji hod broja dana sa mrazom za Cetinje
 $T_{min} < 0^{\circ}C$ (period 1931-1980)

3.2.2. Padavine

Količina atmosferskog taloga u Cetinju je vrlo znatna što je normalno očekivati obzirom na iznešene karakteristike okoline područja sa aspekta klimatskih uticaja. Velikoj količini padavina doprinosi uticaj planine Lovćena, uz čije se strme padine vazduh zasićen vodenom parom iznad morskog basena uzdiže, da bi na samoj planini došlo do kondenzacije. Zbog toga dolazi do jakih pljuskova praćenih sa vrlo čestim grmljavinama. Jesenji i zimski mjeseci imaju najviše padavina sa opadanjem do mjeseca aprila. Od maja nailazi smanjenje padavina sa pojavom minimalnih vrijednosti u ljetnjom periodu (SL.3.7, prema prilogu.4). Novembar i decembar su mjeseci sa najvećom količinom padavina (1046 mm-decembar, 1958). Godišnja količina padavina je i preko 4500 mm, a dnevni intezitet padavina može biti i preko 300 mm. Prosječna vrijednost padavina je iznad 3300 mm, što je vjerovatno i najveća količina padavina na gradskom području, ne samo u Jugoslaviji već i u Evropi.



SL.3.7. Godišnji hod mjesečnih količina padavina
 za Cetinje (1956-1989)

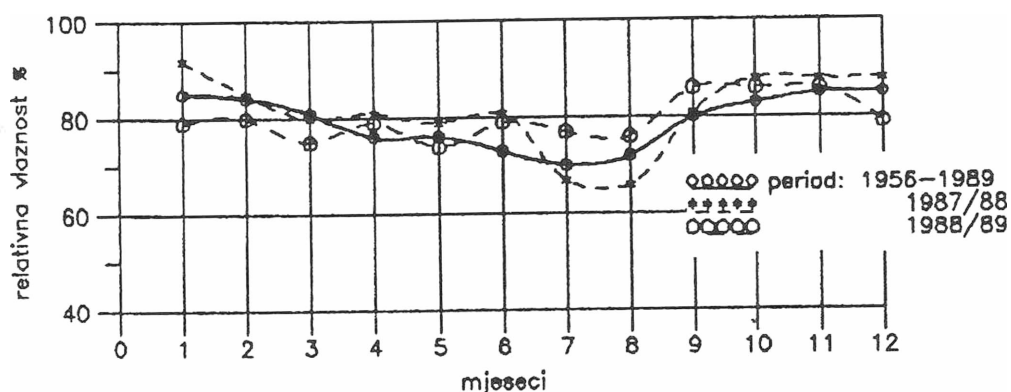
Broj dana sa padavinama većim ili jednakim 0.1mm iznose godišnje i preko 136 dana, sa najvećim brojem dana sa padavinama u novembru i decembru mjesecu.

3.2.4. Sniježni pokrivač

Sniježni pokrivač je znatan i to više po svojoj visini nego po vremenu zadržavanja. Nestalnost visine sniježnog pokrivača je izražena zbog čestih neposrednih prodora toplih južnih strujanja sa kišom. Ovi česti periodi predstavljaju najlošije vremenske prilike na Cetinju. Pojava prvog snijega moguća je i u oktobru a posljednjeg rijetko u maju. Srednji datum prvog dana sa sniježnim pokrivačem je 1 decembar a posljednjeg 1 aprila. Srednji broj dana sa sniježnim pokrivačem većim od 1 cm kreće se oko 60 dana, preko 50 cm 10-20 dana. Srednja max.visina sn.pokrivača je 80 cm a max. zabeležena visina je 200 cm (januar 1954 i februar 1958). Specifična težina snijega je znatno veća od uobičajene zbog vlažnosti sniježnog pokrivača.

3.2.5. Relativna vlažnost

Relativna vlažnost u Cetinju je visoka, što je logička posledica zastupljenosti velikih količina padavina koje su popraćene visokim procentima relativne vlažnosti (SL.3.8). Česte su pojave istovremenog padanja kiše i prisustva magle.



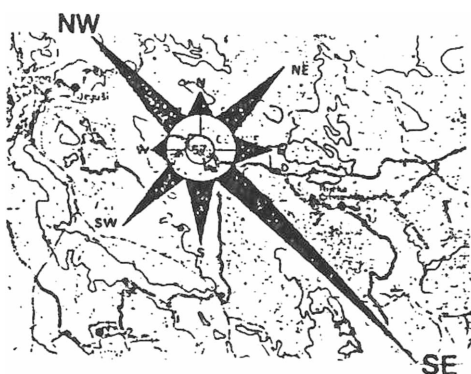
SL.3.8. Godišnji hod relativne vlažnosti vazduha za Cetinje

3.2.6. O b l a č n o s ć i t r a j n j e s i j a n j a s u n c a

Mjeseci sa najvećom prosječnom oblačnošću u Cetinju su novembar i decembar, čija prosječna vrijednost iznosi oko 6/10, tako da su ova dva mjeseca u tom pogledu ekstremna. U grupu sa malom oblačnošću (2/10–4/10) spadaju mjeseci: maj, juni, juli, avgust i septembar koji su dosta sunčani. Ukupna godišnja trajanja sijanja sunca na prostor Cetinja kreće se oko 2500 časova. Ograničenje u trajanja sijanja sunca čine obodna brda na jugozapadnom i zapadnom rubu polja. Povoljnost je u ekspoziciji cetinjskog polja sa nagibom prema istoku i jugu. Nepovoljnost zaklonjenosti Cetinja sa okolnim brdima negativno se odražava u stvaranju zasjenčenja a time i na mikroklimatske uslove djelova grada (Grude, Donje polje Bogdanov kraj i dio Bajica)

3.2.7. V j e t a r

Broj dana sa pojavom jakog vjetera je vrlo mali i prosječno iznosi po jedan dan u zimskim mjesecima, dok se u ljetnim mjesecima vrlo rijetko pojavljuje. U Cetinju je izražena pojava velikog broja dana bez vjetera (57%). Uzrok ovako velikog procenta tišina može se naći u kotlinastoj i zaklonjenoj poziciji Cetinja. Najveću učestalost ima jugoistočni i sjeverozapadni vjetar (25%), što je uslovljeno geomorfološkim odlikama prostora, odnosno sinklinalom Rijeka Crnojevića – Cetinje – Ćeklići... (SL.3.9). Neizražena pojava vjetrova i male brzine su razlog slabe turbulencije vazдушnih masa i slabog efekta isparavanja sa aktivne površine.



pravac	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
cestina %	1	5	2	17	4	5	1	8	57
jačina u boforima	2.1	1.8	1.6	1.7	2.0	1.9	1.7	2.0	

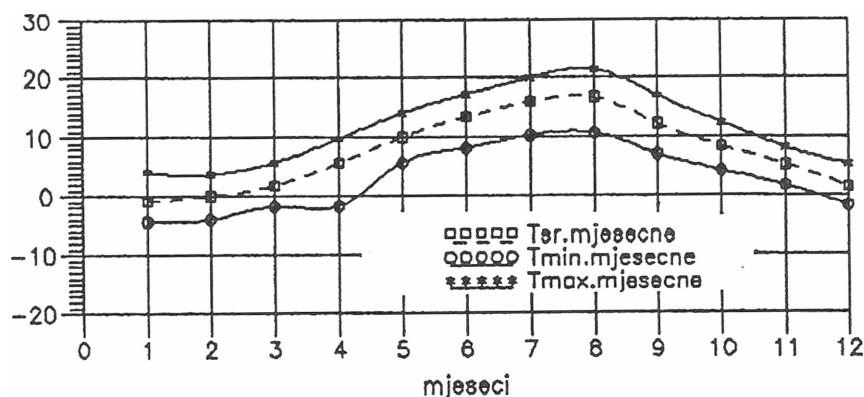
SL.3.9. Cestina smjera vjetera u Cetinju

3.3. Ivanova korita (1250 mm) → zona Lovćena

Ivanova korita se nalaze na središtu Lovćenskog platoa na nadmorskoj visini 1250 metara u plitkoj udolini. Relativna otvorenost prostora uslovljava stalnu cirkulaciju vazдушnih masa od mora i ka moru. Velika nadmorska visina i neposredni uticj mora manifestuju se na prostor masiva Lovćena, kako u pogledu opšteg klimata, tako u pogledu oscilacija temperature, količine padavina i pojave velike visine snježnog pokrivača i njegovog zadržavanja. Mjerenja koja su vršena u periodu od 7 godina (1957–1963) predstavljaju dragocjenu informaciju bez obzira na kratak period osmatranja.

3.3.1. Temperatura vazduha

Temperaturna kolebanja po godišnjim dobima u ovom dijelu su neznatna. U zimskim mjesecima počev od decembra pa do marta mjeseca srednje temperature su ujednačine. Kolebanje temperatura je u granicama $\pm 2.8^{\circ}\text{C}$. U ljetnoj polovini godine, kao i u ostalim ostalim prelaznim periodima ovo kolebanje je izraženije (SL.3.10, prema PRILOGU.1). Srednja apsolutna max. temperatura vazduha za ovaj period je u mjesecu januaru $+ 2.4^{\circ}\text{C}$, a najviša u avgustu $+ 21.4^{\circ}\text{C}$. Najviša zabeležena temperatura za ovaj period iznosi 30°C , a najniža -19.6°C (sl.3.10)



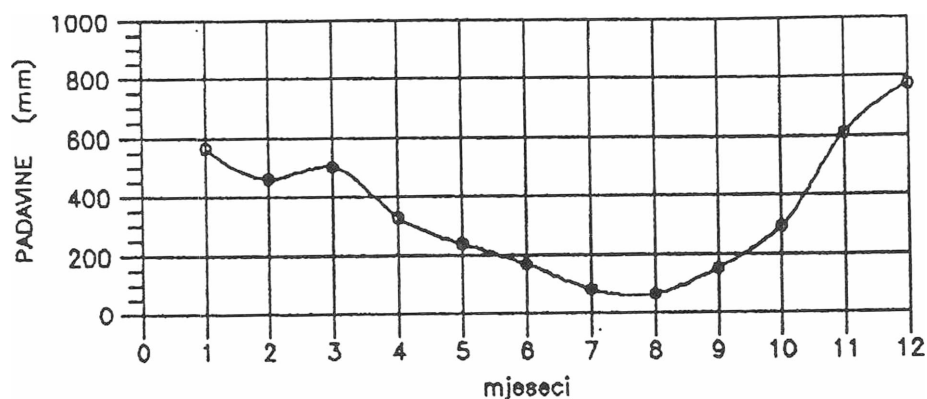
SL.3.10. Godišnji hod temperature vazduha za Ivanova korita

Broj dana sa pojavom mraza, odnosno temperaturom $T \leq 0$ iznosi 97 dana. Apsolutno kolebanje temperature vazduha u toku godine može iznositi 49.6°C , odnosno do -19.6 , što u odnosu na Cetinje predstavlja manju vrijednost kolebanja.

3.3.2 . P a d a v i n e

Padavinski režim za područje Ivanovih korita ima specifične uslove. Nadmorska visina mjesta je od presudnog značaja za količinu atmosferskog taloga na ovom području. Vazdušne struje

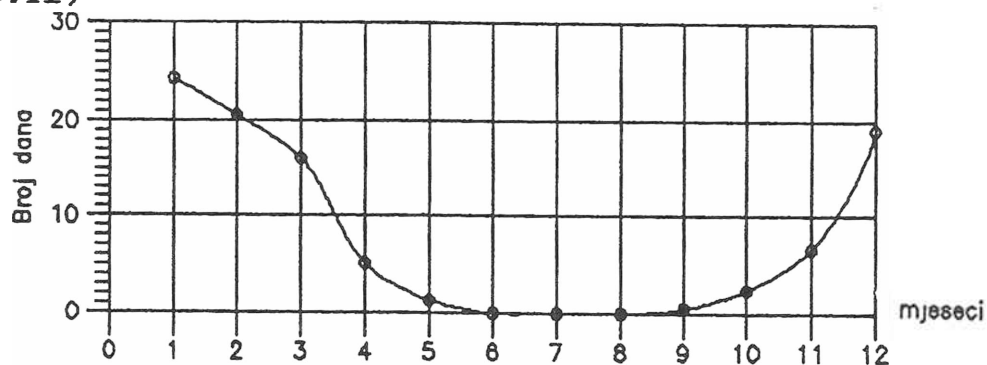
koje se kreću sa morskog bazena a koje su zasićene vodenom parom uzdižu se i u visokim predjelima Lovčena se kondenzuje i izlučuju u podrčju Ivanovih korita kao kiša ili snijeg. Maksimalne količine padavina su od mjeseca oktobra do marta. Prosječne količine padavina su za ovaj period je oko 584 mm sa međusobnim variranjem ne više od 200 mm. Mjesec sa najvišom količinom padavina je decembar sa prosječnom količinom padavina od 774 mm. Jesenje kiše su dugotrajne i burne, a ljetnje pljuskovite. Godišnja količina padavina za osmotreni period iznosi 4250 mm, max.količina u prosjeku 5233 mm i min.količina od 3245 mm . Mjesečni maximum je u decembru sa 1005 mm, a minimum u septembru 10 mm. Prosječno godišnje ima 141 dana sa pojavom padavina (SL.3.11, prema PRILOGU.5)



SL.3.11. Godišnji hod količina padavina za Ivanova korita (1957-1963)

3.3.3. Snježni pokrivač

U zimskim mjesecima ima obilnih snježnih padavina , kako po visini tako i po dužini zadržavanja. Prosječan broj dana sa snježnim pokrivačem godišnje se kreće oko 110 dana, max.121 dana i min. 97 dana (SL.3.12)

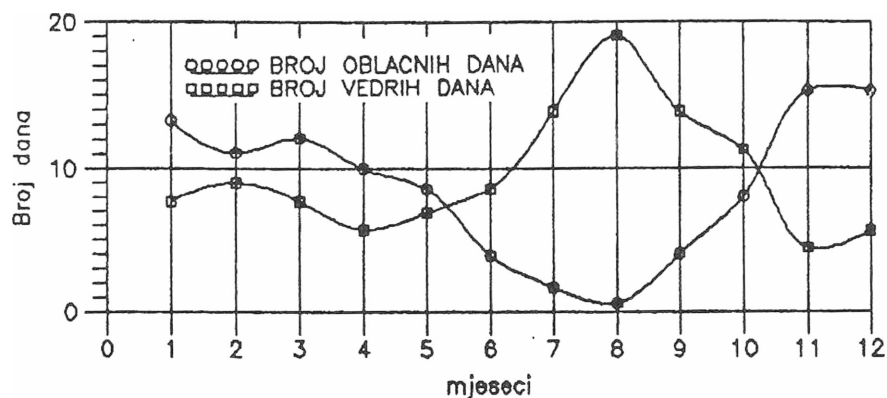


SL.3.12. Godišnji hod broja dana sa snježnim pokrivačem > 1cm (1957-1963) za Ivanova korita

3.3.4. Oblačnost i trajanje sijanja sunca

Mjeseci sa najvećom oblačnošću novembar, decembar i januar čija prosječna vrijednost iznosi 6-7/10, tako da su sva tri mjeseca u tom pogledu kao ekstremna. Mjeseci sa srednjom oblačnošću su juni, juli

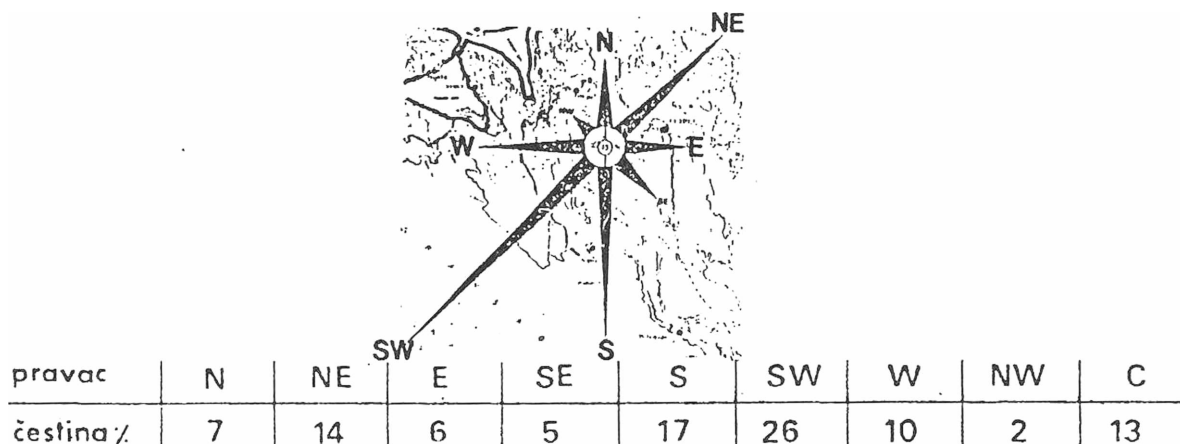
avgust, septembar i oktobar koji su dosta sunčani. Ukupno godišnje ima oko 114 vedrih i 130 oblačnih dana. Interesan je odnos broja oblačnih i vedrih dana na ovom području. Broj oblačnih dana analogan je hodu srednje dnevne oblačnosti, tako da imamo da je najviši broj oblačnih dana kao i kod srednje mjesečne oblačnosti od novembra do maja, dok je najveći broj vedrih dana od juna do oktobra (SL.3.13). Kao i prostor Cetinja, Ivanova korita imaju oko 2500 časova godišnje sijanja sunca. Ekspozicija prostora je povoljna što se može konstatovati i za sve topografske cjeline na platou Ivanovih korita i šire.



SL.3.12. Godišnji hod broja vedrih i oblačnih dana za Ivanova korita (1957-1963)

3.3.5. V j e t a r

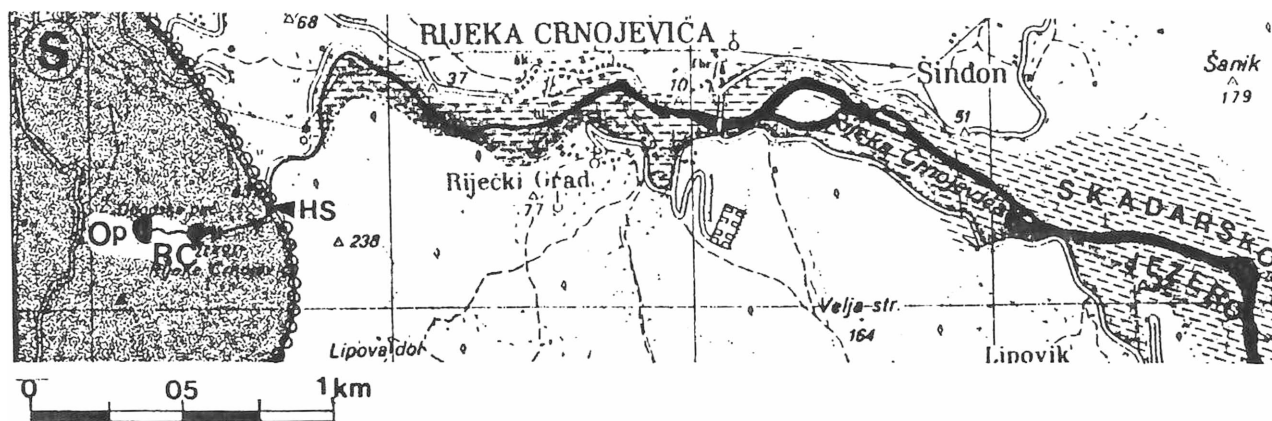
Na području Ivanovih korita i širem platou ima vrlo mali broj tišina (13%) a to je uslovljeno visinom stanica, gdje pretežno ima stalno strujanja vazduha. Na ovom području je najviše zastupljen jugozapadni vjetar (26%). Drugi po čestini je južni pravac (17%) a zatim sjevero-istočni (14%). Dani sa njačim vjetrovima raspoređeni su na zimske mjesec decembar i februar za oko 4 dana po mjesecu. Broj jakih vjetrova analogan je čestini vjetrova- u ovim prostorima su najčešći najjači vjetrovi (SL.3. (SL.3.14)



SL.3.13. Čestina smjera vjetra za Ivanova korita (1957-1963)

4. HIDROLOŠKI PARAMETRI IDENTIFIKACIJE KRAŠKOG SISTEMA I KRETANJA KRAŠKIH VODA

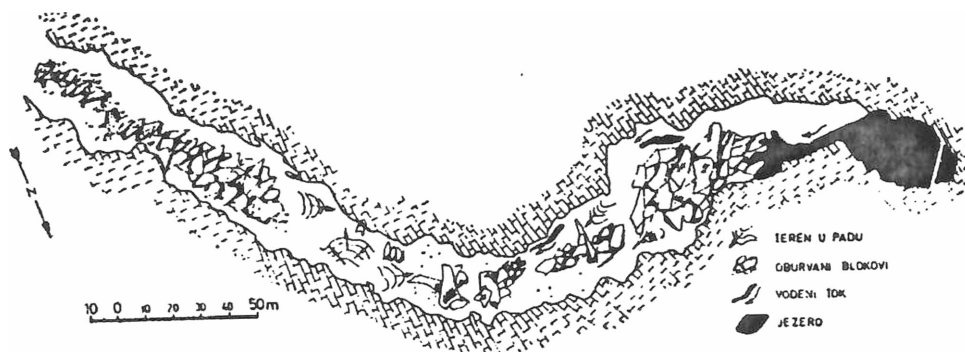
Superponovani uticaji složenosti kraškog sistema na hidrološke procese, manifestuju se prije svega kroz karakter oticanja na izlazu iz sistema. Polazeći od ove činjenice, analizirani su karakteristični izlazni hidrografi na hidrološkoj stanici Rijeka Crnojevića (sl.4.1)



LEGENDA :

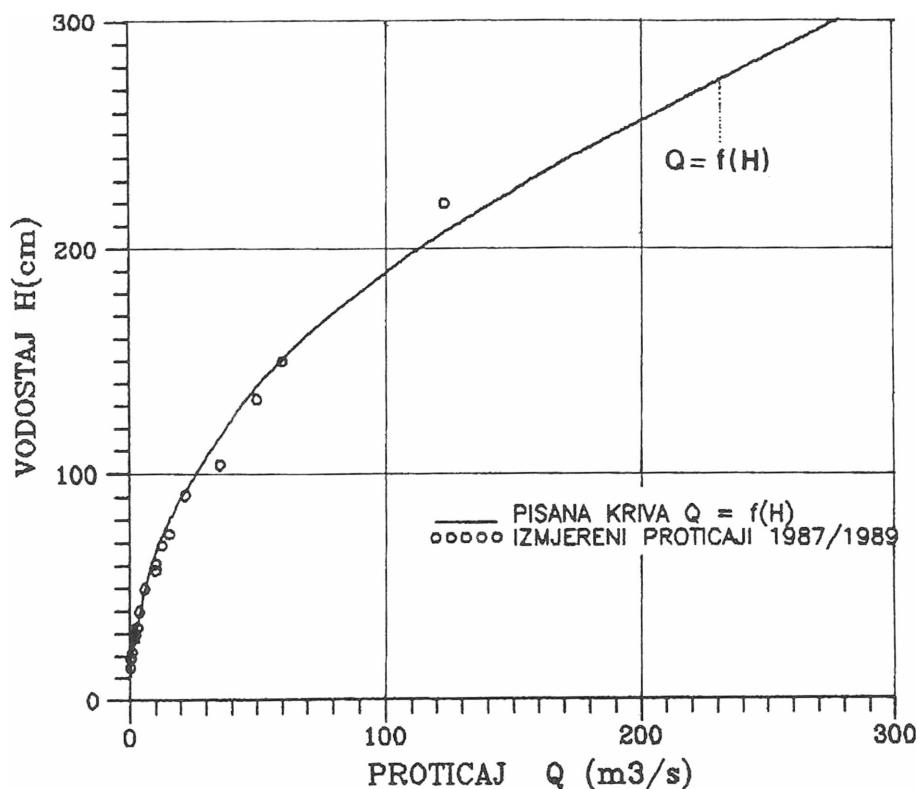
- 1 - Obodska pećina
- 2 - Izvor rijeke Crnojevića
- HS - Hidrološka stanica
- 8 - Sliv (Sistem) - izlazni dio

Sl.4.1. Situacija izvorišta Rijeke Crnojevića i uliva u Skadarsko jezero.

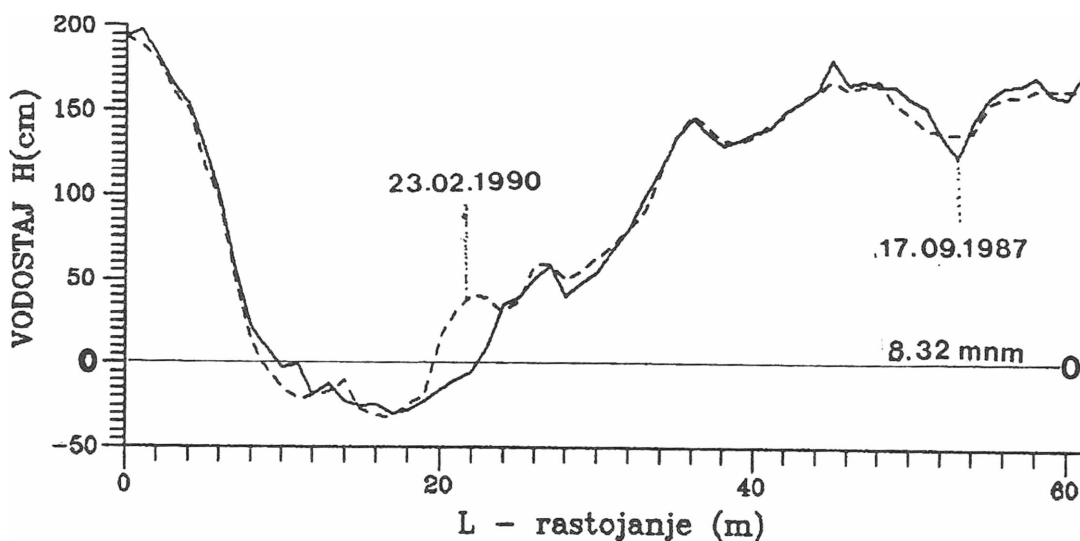


Sl.4.2. Situacija Obodske pećine (Snimili: S. Kusicki, M. Rudaković)

Na hidrološkoj stanici uspostavljena je jednoznačna veza između proticaja i vodstaja (sl.4.3), što je i dokaz da je hidrometrijski profil van zone uspora pri srednjim i velikim vodama Skadarskog jezera. Neznatne morfološke promjene profila pojavile su se počet- u obliku pješanog spruda na desnoj obali a paralelno liniji mati- ce rijeke i produbljenjem korita ka lijevoj obali (sl.4.4).



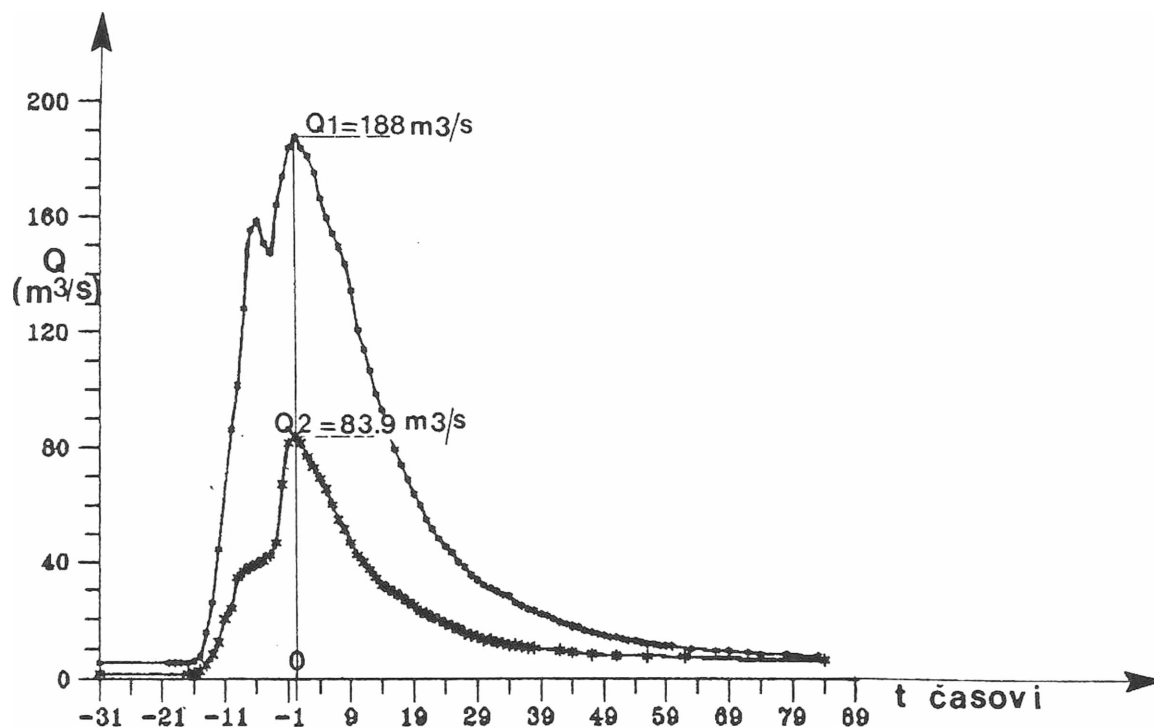
Sl.4.3. Kriva proticaja na izlaznom profilu sistema rijeke Crnojevića



Sl.4.4. Hidrometrijski profil hidrološke stanice "Rijeka Crnojevića" - izlazni profil

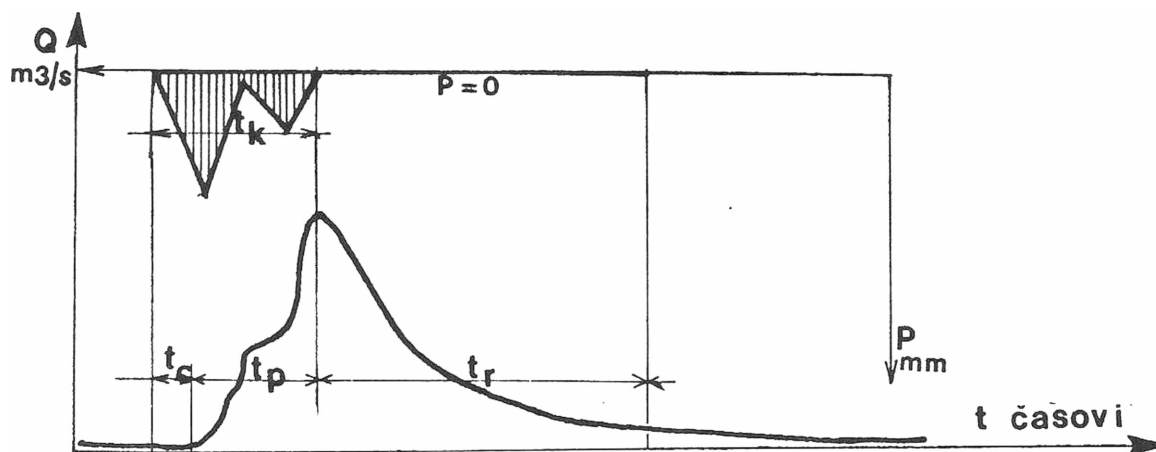
4.1.1. ANALIZA KARAKTERISTICNOG IZLAZNOG HIDROGRAMA

Na osnovu svih pojava hidrograma u istražnom periodu (1 oktobar 1987 do 30 septembra 1990 godine) izvršen je izbor dva hidrograma (sl.4.5, prema PRILOGU.7) koja karakterišu dva hidroška stanja iz režima velikih voda u kraškom sistemu. Izbor karakterističnog hidrograma izvršen je prvenstveno u cilju analize geometrijskih karakteristika sredine i režima oticanja.



Sl.4.5. Karakteristični izlazni hidrogrami

Produkciona komponenta padavina kod oba hidrograma odigrava se samo u vremenskom intervalu porasta hidrograma (t_p) sa prestankom na vrhu, odnosno početku vremenskog intervala opadanja hidrograma (t_r) sl.4.6.

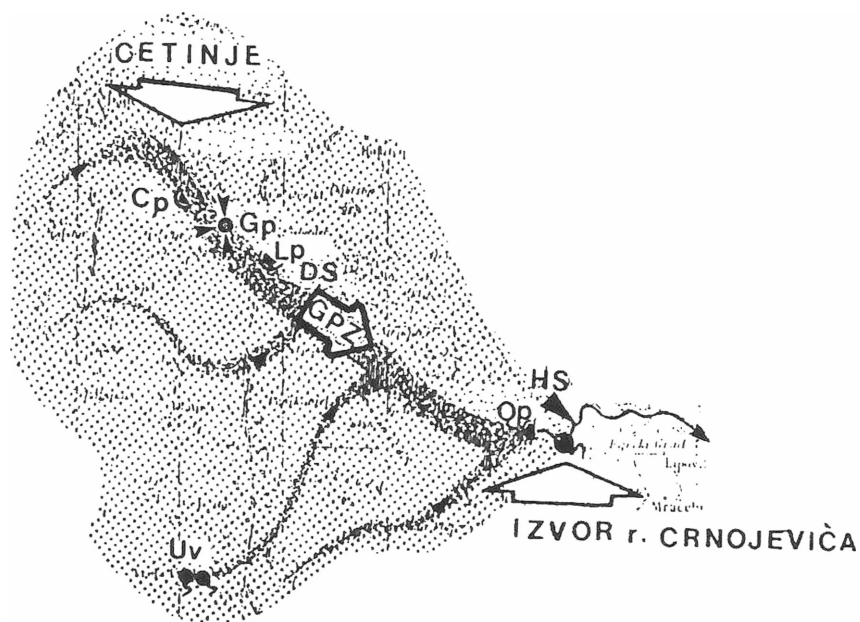


Sl.4.6. Oblik izlaznog karakterističnog hidrograma bez padavina u vrijeme recesije sistema

Na oba hidrograma su izdiferencirani karakteristični vremenski intervali. U oba slučaja vreme porasta, odnosno vrijeme pada hidrograma je:

$$t_p = 15 \text{ časova i } t_r = 48-72 \text{ časa}$$

Kratki vremenski interval porasta i pada hidrograma daju izduženi oblik hidrograma i predstavljaju manifestaciju uticaja kraškog sistema na hidrološki proces, izazvan učinkom jedne intenzivne padavinske epizode. Gdje izduženi oblik hidrograma predstavlja odraz slabe izraženosti reterdajuće komponente kraškog sistema u procesu transformacije padavina u oticanje. S druge strane, ovakav oblik hidrograma je najvjerojatnije i posljedica uticaja postojanja primarne ili glavne provodne zone (GPZ), duž izuzetno koncentrisanog kraškog sistema na pravcu: Cetinje (Cetinjsko polje) - Lipska pećina - Dobrsko selo - Obodska pećina (sl.4.7).



LEGENDA :

- HS - hidrološka stanica (izlaz iz sistema)
- S - granica sistema
- GPZ - glavna provodna zona
- Cp - cetinjska pećina
- Gp - glavni ponor u Cetinjskom polju
- Op - obodska pećina
- DS - dobrsko selo
- Uv - uganjska vrela
- Lp - lipska pećina

Sl.4.7. Mogući položaj glavne provodne zone kraškog sistema r.Crnojevića

4.2. ANALIZA GEOMETRISKIH KARAKTERISTIKA SREDINE I REŽIMA OTICANJA

Za sagledavanje geometrijskih karakteristika kraškog sistema i uticaja na hidrološki proces, posmatrana je eksponencijalna zakonitost padajuće grane hidrograma koju najbolje prilagođava Maillet-ova jednačina :

$$Q = Q_0 \cdot \exp -\alpha(t-t_0) \quad (4.2.1)$$

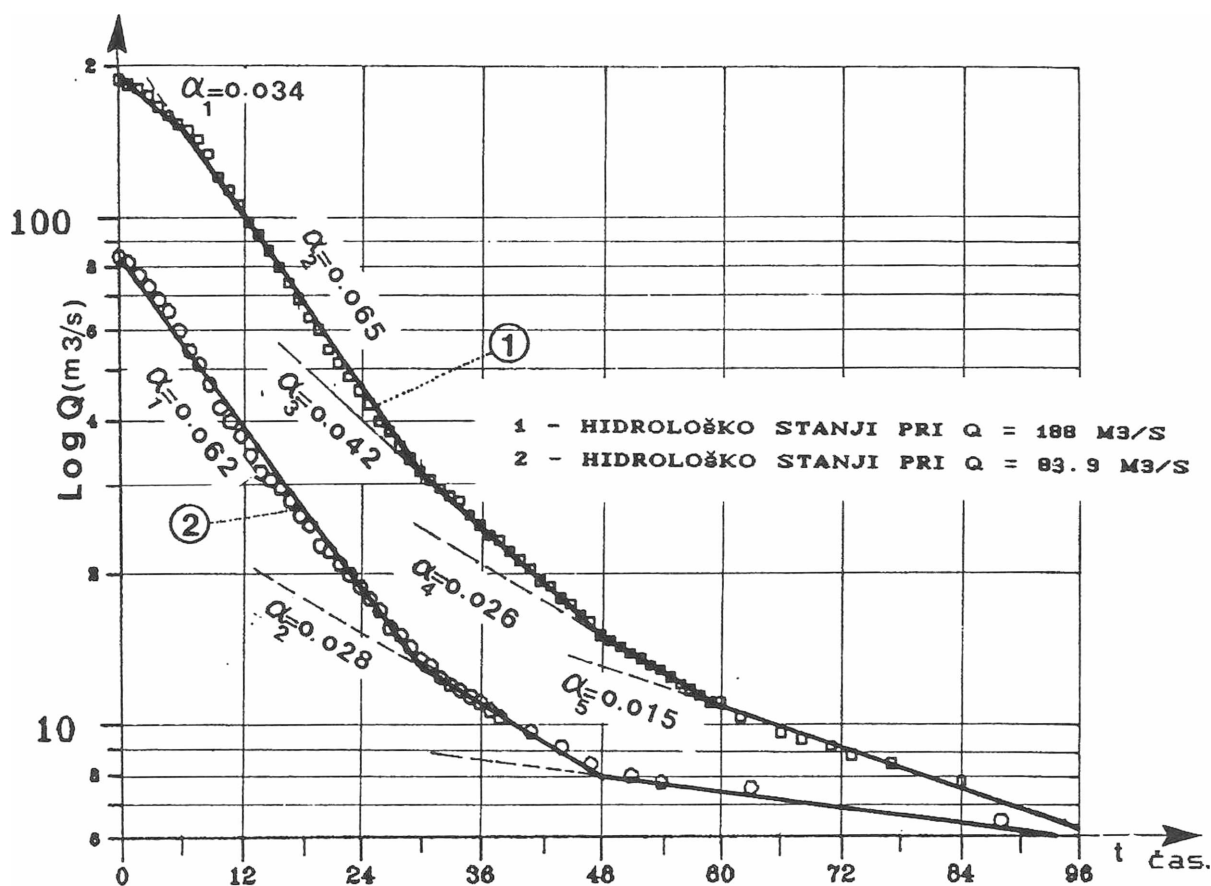
gdje je :

Q - proticaj na izlazu iz sliva ili na kraju segmentnog intervala hidrološkog procesa

Q_0 - početni proticaj na početku opadajuće grane hidrograma ili segmenta opadajuće grane

α - koeficijent pražnjenja kraške sredine

Logaritamskim prikazom oticanja na y-osi linearizovane su opadajuće grane karakterističnih hidrograma u tačkama promjene nagiba pojedinih segmenata (Sl.4.8)



Sl.4.8. Linija recesije kraškog sistema za dva hidrološka stanja

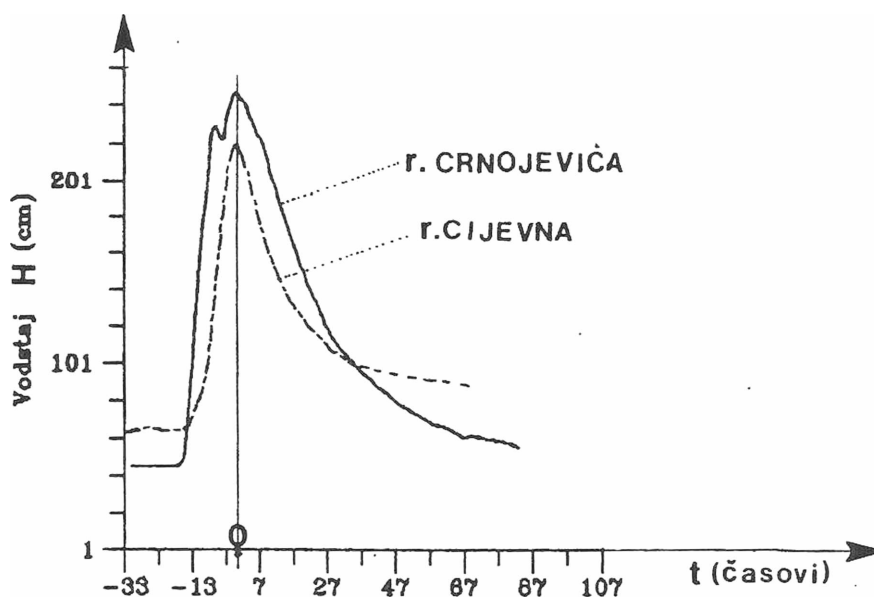
Kod oba hidrograma kojim se opisuju dva hidrološka stanja, zajednička je karakteristika da se u prvih 30 časova oticanje iz kraškog sistema smanji do 85% , sa približno istim koeficjentom pražnjenja :

$$\alpha_2^{(1)} = \alpha_1^{(2)} = 0.065 \quad (4.2.2)$$

Poslije ovog vremenskog intervala na oba hidrograma pražnjenje se odvija sa sukcesivnim smanjivanjem koeficjenta pražnjenja (α). Isto je saglasno geometriskim karakteristikama mikrореžima iz domena dva hidrološka stanja

$$\begin{aligned} (1) \quad \alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4 \quad & 0.034 < 0.065 > 0.042 > 0.026 > 0.015 \\ (2) \quad \alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3 \quad & 0.062 > 0.028 > 0.0074 \end{aligned} \quad \{(4.2.3)$$

Red veličine koeficjenta $\alpha = 0.065$ pokazuje da primarnu provodnu zonu (sl.4.7) čine provodnici izraženih poprečnih presjeka i velike propusne moći. Sa druge strane, jednakost koeficjenata (α) pri dva različita hidrološka stanja iz dvije hidrološke godine su indikacija za definisanje primarne provodne zone kao podzemnog rječnog toka. Jednakost koeficjenta u prvim časovima dominantnog pražnjenja sistema, mogu se tumačiti kao manifestacija uticaja izvjesne prostorne pravilnosti i konstantne vrijednosti geometriskih karakteristika podzemnog rječnog toka. Dovodeći u vezu hidrološki proces ovog podzemnog toka sa hidrološkim procesima u površinskim vodotocima kroz krašku sredinu, uočavaju se prepoznatljive slične manifestacije procesa kroz formu izlaznih hidrograma. Za ovo sagledavanje izvršena je komparacija sa izlaznim nivogramom površinskog vodotoka rijeke Cijevne. Ovaj vodotok drenira izrazito kraško područje u neposrednoj blizini Albansko - Jugoslovenske granice ka Skadarskom jezeru i rijeci Morači (sl.4.9).

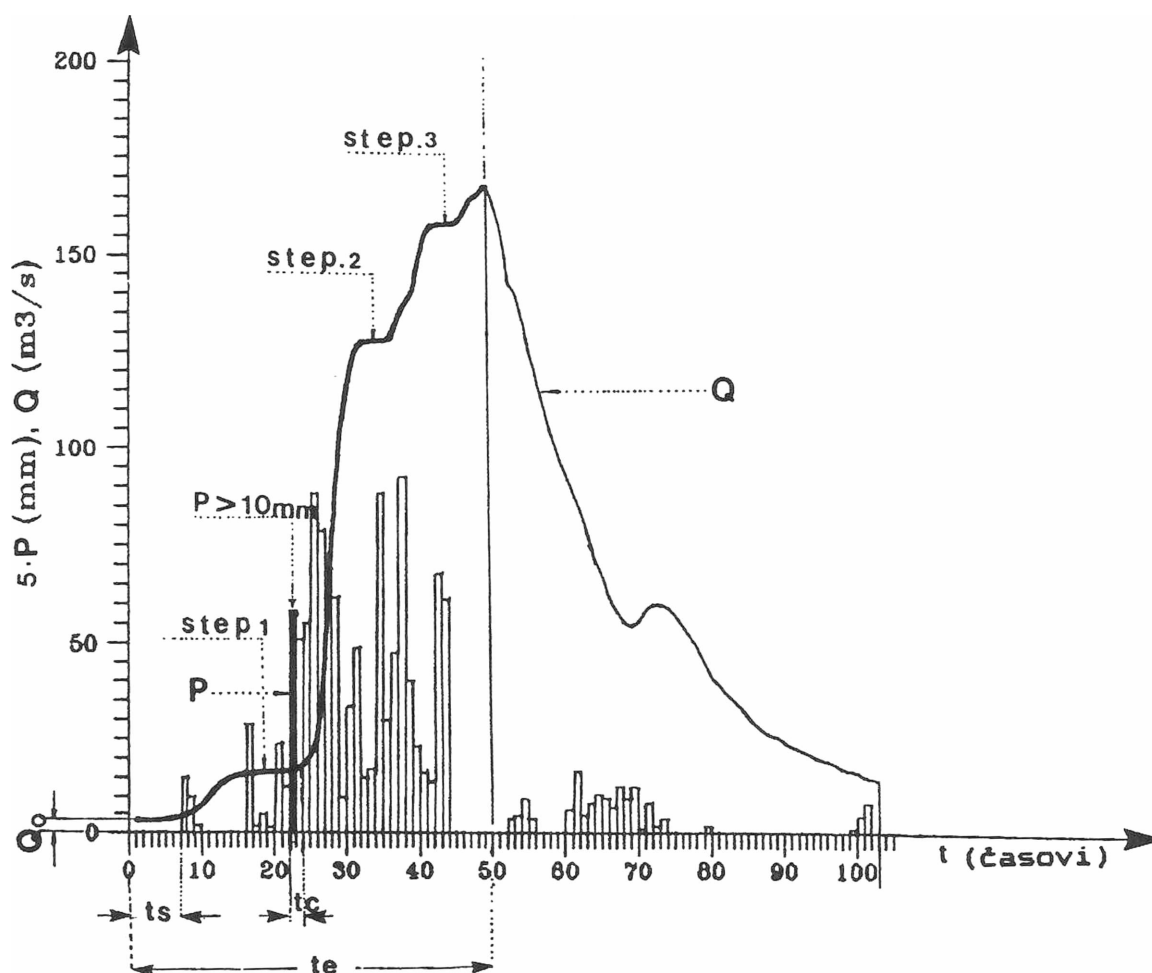


Sl.4.9. Uporedni nivogram između podzemnog i površinskog tečenja dva vodotoka

4.3. ANALIZA REAKCIJE KRAŠKOG SISTEMA

- Slučaj hidrološkog stanja na završetku jedne i početku druge kišne epizode

Reakcija sistema posmatrana je kroz odziv sistema na bilo koji impulsivni ulaz padavina na njegovu aktivnu površinu. Odziv sistema se manifestuje prije svega kroz oblik izlaznog hidrograma i nivograma podzemnih voda. Analiza reakcije sistema na impulsivni ulaz padaavina jakog inteziteta sagledavana je kroz promjenu konture izlaznog hidrograma u vremenskom intervalu jedne produktivne kišne epizode (sl.4.10, prema PRILOGU.7)



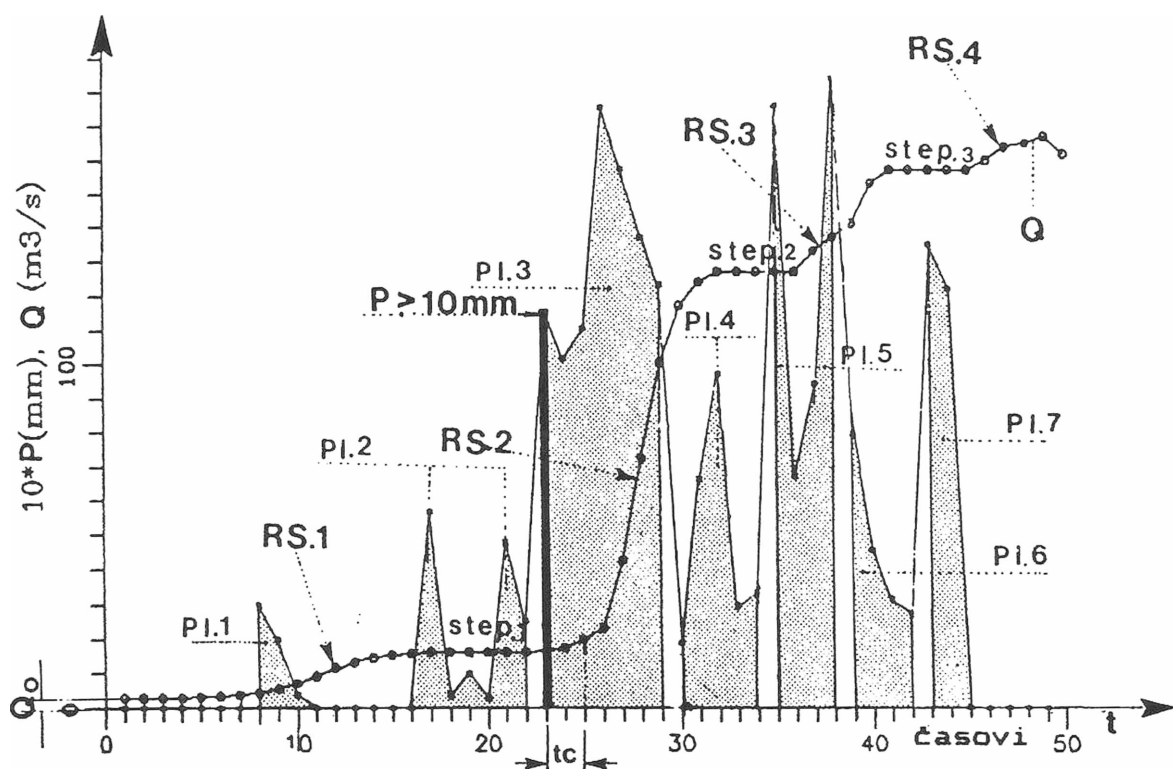
LEGENDA :

- t_c - vrijeme početka dizanja hidrograma
- t_s - vrijeme pojave prvog padavinskog impulsa
- t_e - vrijeme postignutog maksimuma proticaja
- Q - izlazni hidrogram
- P - padavine časovnog inteziteta
- Q_0 - početni proticaj

Sl.4.10. Analiza odziva sistema kroz promjenu oblika konture izlaznog hidrograma

Uočava se brzo reagovanje sistema na ulazne padavine. Ovo se odražava kroz izrazito kratko vrijeme početka reakcije sistema - vrijeme početka dizanja hidrograma (t_c). Izlazni hidrogram je inače karakterističan za pojavne hidrograme sa nešto razvučenom bazom; zbog frekventne promjene inteziteta časovnih padavina u vremenskom intervalu porasta hidrograma, kao i pojave padavina u toku intezivne recesije kraškog sistema. Na prekide časovnih padavina sistem brzo reaguje, što se manifestuje kroz "stepenasti oblik" konture hidrograma. A to znači, da postoji vrlo dobra koordinacija između padavina i odziva sistema. S druge strane, stepenasta kontura hidrograma izražava i dinamičku nestabilnost hidrološkog procesa; što ponovo indicira na spoznaju, da u sistemu ne postoje značajniji akumulacioni prostori, čiji bi se uticaji odrazili kroz sporije reakcije sistema i mirniju dinamiku hidrološkog procesa.

Na rastućoj grani aniliziranog izlanog hidrograma prikazana je reakcije sistema i izražena koordinacija između padavina i oticanja (sl.4.11).



Sl.4.11. Prikaz koordinacije između padavina i oticanja na rastućoj grani hidrograma

Naredno, uporedno sagledavanje vizuelnih oblika stepenaste konture u funkciji padavinskih impulsa, ima samo opisni karakter tumačenja-manifestacije hidrološkog procesa, kao interakcije između padavina i rada sistema :

Impuls padavina (PI.1) pri početnom oticanju Q_0 , izaziva reakciju sistema (RS.1). Prvi impuls je od padavina malog časovnog inteziteta, što je i razlog, da je početna reakcija sistema (RS.1) samo reakciju izlaznih djelova sistema u neposrednoj blizini hidrološke stanice Rijeka Crnojevića. Drugi impuls padavina (PI.2) koje su manje od 10 mm izazivaju odziv sistema (Step.1) koji se manifestuje

u održavanju konstantnog oticanja kao produkta prvog impulsa. Treći impuls (PI.3) redstavlja časovne padavine veće od 10 mm, i reakciju većeg dijela sistema (RS.2) koja se manifestuje u naglom podizanju hidrograma. Smanjenje padavina ispod 10 mm (PI.4) izaziva odziv sistema (Step.2) koji se manifestuje u odražavanju konstantnog oticanja produkta predhodnog padavinskog impulsa (PI.3). Proces koordiniranog rada između padavina i oticanja sukcesivno se odvija čineći stepenasti oblik uzlazne grane hidrograma, sve do postizanja maksimalanog oticanja, odnosno početka recesije sistema.

Za analizirani slučaj hidrološkog stanja (■) proizilazi da je prvi odziv izlaznih djelova sistema (djelimična reakcija) nakon 2 časa od početka prvog impulsa padavina slabog inteziteta, te je:

$$t_{co} \approx 2 \text{ časa} \Rightarrow \forall P \in \{P; 3\text{mm} \leq P \leq 10\text{mm}\} \quad (4.3.1)$$

predhodni izraz važi uz uslov da je početni proticaj $Q_0 \gg Q_{min.god.}$ odnosno, početno stanje sistema može se izraziti sa :

$$Q_0 \approx 10 * Q_{MIN.god} \quad (4.3.2)$$

a djelimična reakcija sistema (RS.1) uz padavinski impuls PI.1 i početno stanje (Q_0) za vrijeme (t_{co}) može se napisati u obliku:

$$RS.1 = f(Q_0, PI.1) \approx 5 * Q_0 = Q_{cost.} \quad (4.3.3)$$

gdje je:

- $PI.1 = \{P; 3\text{mm} \leq P \leq 10\text{mm}\}$
- $Q_{cost.} \Rightarrow \text{Step.1}$

Reakcija ukupnog sistema (RS.2) koja predhodi inteziviranju procesa "sistem u punom radu" može se zapisati izrazom približne matematičke korektnosti :

$$RS.2 = f(Q_{cost.}, PI.3) \quad (4.3.4)$$

gdje je :

- $PI.3 = \{P; P > 10\text{mm}\}$
- $Q_{cost.} = 5 * Q_0$

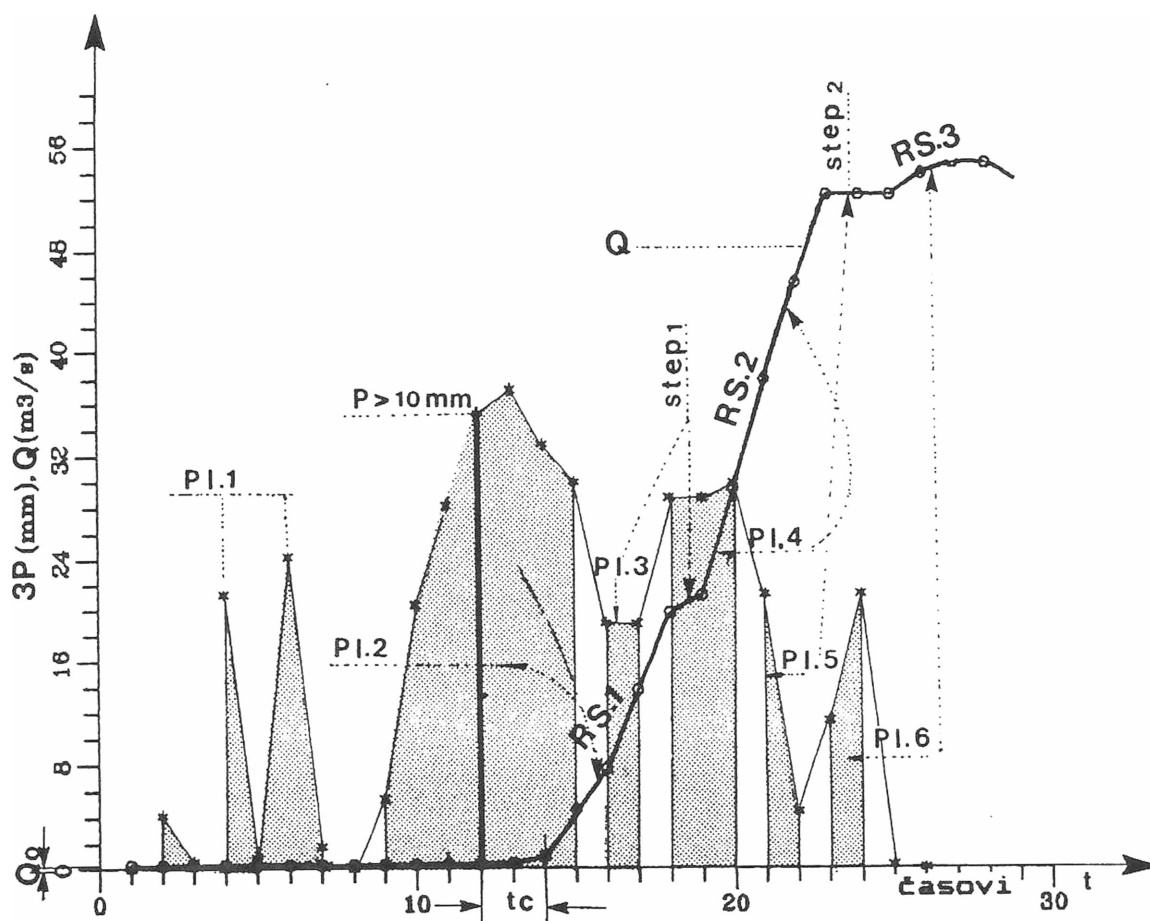
a vrijeme reakcije sistema za period inteziviranog procesa je od 1- 2 časa, odnosno:

$$1\text{časa} \leq t_c \leq 2 \text{ časa} \Rightarrow \forall P \in \{P; P > 10\text{mm}\} \quad (4.3.5)$$

Rezultati analize reakcije sistema na uzlaznoj grani hidrograma (Sl.4.11) u periodu inteziviranog procesa manifestuju se u potpunoj koordinaciji oticanja i padavina što se reflektuje u stepenastoj formi izlaznog hidrograma (Step.2, Step.3, Step.4).

■ Slučaj hidrološkog stanja na kraju sezone iscrpljenosti sistema

Pojava stepenastog oblika uzlazne grane, odnosno izražena koordinacija između oticanja i padavina slijedi i na hidrogramu koji se pojavljuje pri hidrološkom stajanja, koje konvergira završnoj fazi isprpljenja zapremine vode iz pukotinskog sistema (sl.4.12, prema PRILOGU.8). Period realizacije hidrograma je u isto vrijeme i početak hidrolškog procesa kojim se obnavlja ciklus "punjenja" sistema sa početnim- baznim oticanjem $Q_0=0,254 \text{ m}^3/\text{s}$.



LEGENDA:

- PI - padavinski impulsi
- RS - reakcija sistema
- t_c - vrijeme reakcije ukupnog sistema
- step - konstantno oticanje
- Q_0 - početni-bazni oticaj (min.god.proticaj)

Sl.4.12. Prikaz koordinacije padavina i oticanja na uzlaznoj grani hidrograma za hidrološko stanje na kraju sezone iscrpljenosti

U slučaju ovog hidrološkog stanja, karakteristično je da na početne padavinske impulse nema reakcije izlaznih djelova sistema kao posledica dugog perioda bez padavina i prehranjivanja sistema. Polazeći od rezultata predhodnih analiza, da je sistem lociran neposredno duž primarne provodne zone, te da je reakcija sistema zavisna od veličine inteziteta padavinskog impulsa, a manje od kumulativnog iznosa časovnih padavina slabih inteziteta; Indetificirano je vrijeme reakcije sistema kojem je predhodio padavinski impuls časovnog inteziteta većeg od 10 mm.

Na osnovu izvršene analize, pokazuje se da je početno vrijeme reakcije sistema (t_c), odnosno prvi odziv sistema je na padavinski impuls (PI) inteziteta časovnih padavina većih od 10 mm nakon 2 časa. Vrijeme reakcije sistema (t_c) u periodu inteziviranog procesa je oko 1 čas. Što znači, da i pored stanja iscrpljenosti sistem brzo reaguje, a to je još jedan dokaz da su akumulacione sposobnosti kraškog sistema zanemarljivog uticaja na kretanje kraških voda u sistemu. Analiza vremena reakcije ovog i predhodnog slučaja hidrološkog stanja na osnovu stepenaste forme uzlazne grane dobija izvjesnu verifikaciju kroz primjenu metoda kroskorelacije.

4.4. ANALIZA VREMENA REAKCIJE SISTEMA (t_c) METODOM KROSKORELACIJE

Na osnovu izvršene analize koordinacije između padavina i oticanja uočavaju se izvjesni pokazatelji o pojavnosti i stalnosti vremena reakcije sistema (t_c) kao i graničnim vrijednostima časovnih padavina - impulsa (PI) koji pobuđuju sistem. Primjenom kroskorelacije izvršen je pokušaj kvantifikacije vremena početka reakcije sistema (t_c), a indirektno i granične vrijednosti inteziteta padavinskog impulsa koji izaziva reakciju sistema.

■ Teorijske postavke

Polazi se od pretpostavke da su dvije serije, x_t , i y_t , korelirane za bilo koji pomak τ . Tako je očekivani koeficijent kroskorelacije za pomak τ pozitivan, negativan ili nula, za dvije kontinualne serije sledećeg oblika:

$$\rho_{\tau}(x, y) = \frac{\text{cov}(x_t, y_{t+\tau})}{(\text{var}x_t \text{ var}y_t)^{1/2}} = \frac{\frac{1}{T-1} \int_0^{T-\tau} (x_t - \mu_x)(y_{t+\tau} - \mu_y) dt}{(\text{var}x_t \text{ var}y_t)^{1/2}} \quad (4.4)$$

$T \rightarrow \infty$

Za diskretne serije x_i i y_i , očekivana vrijednost ρ_k je :

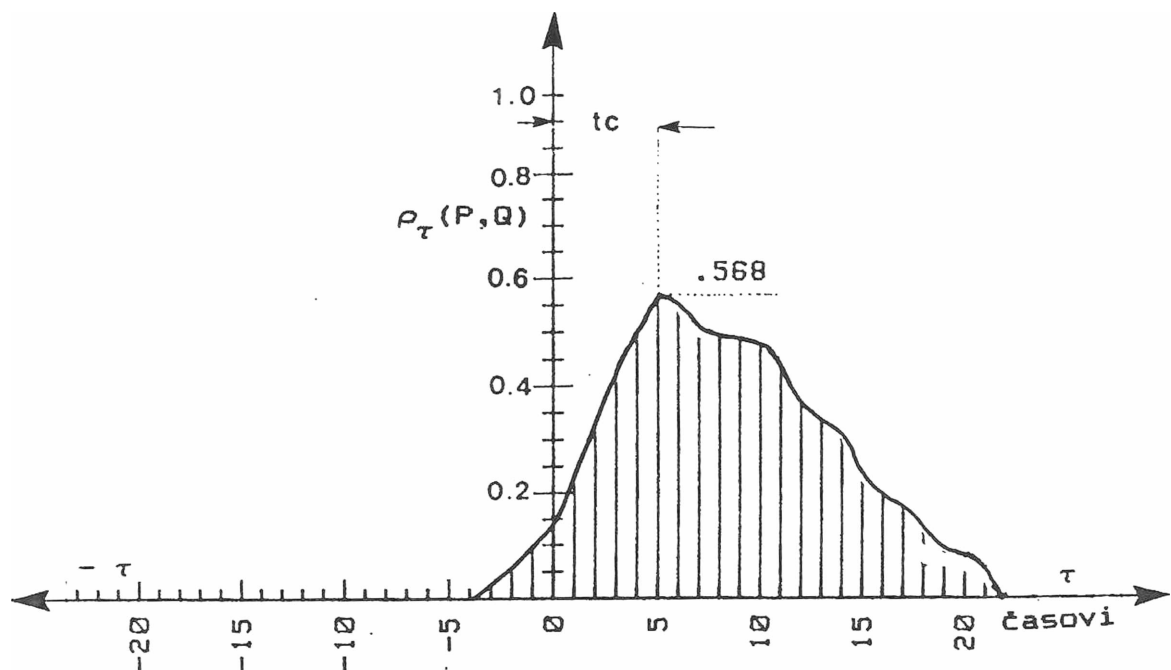
$$\rho_k(x,y) = \frac{-\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} x_i y_{i+k} - \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{\left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \mu_x^2 \right\}^{1/2} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 - \mu_y^2 \right\}^{1/2}} \quad (4.4.1)$$

$N \Rightarrow \infty$

Veza

$$\rho_\tau(x,y) = f_1(\tau) \quad , \quad i \quad \rho_k(x,y) = f_2(k) \quad (4.4.2)$$

je kroskorelacijska funkcija serija x_t i y_t ili njihov unakrsni korelogram. Za $\tau = 0$ ili $k = 0$ to se svodi na obični linearni korelacijski koeficijent $\rho(x,y)$, koji se obično upotrebljava pri korelaciji dviju promjenljivih. Slika 4.13 predstavlja unakrsni, ili kroskorelacijski korelogram između časovnih padavina i časovnih oticaja $\rho_\tau(P,Q)$ za slučaj hidrološkog stanja na završetku jedne i početku druge kišne epizode (■). Upotreba $\rho_\tau(P,Q)$ ili $\rho_k(P,Q)$ je jednaka upotrebi $\rho_\tau(Q,P)$ ili $\rho_k(Q,P)$ sa odgovarajućom zamjenom τ i k sa $-\tau$ i $-k$.



SL.4.13. Prikaz kroskorelacije serija P i Q

■ Osobnosti kroskorelacije pri karakterističnim slučajevima primjene

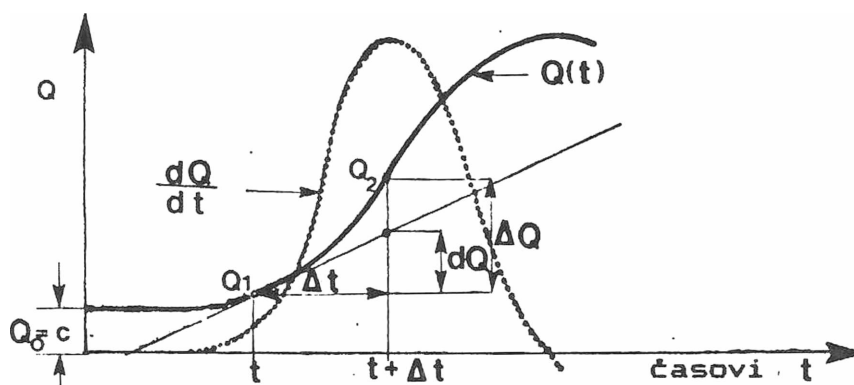
Unakrsni korelogrami nijesu simetrični za $\tau = 0$ ili $k = 0$ zato što τ i $-\tau$ ili k i $-k$ daju različite vrijednosti, ρ_{τ} i $\rho_{-\tau}$, odnosno ρ_k i ρ_{-k} . Često se puta dešava da se najveća apsolutna vrijednost ρ_k ne dobija za $\tau = 0$ ili $k = 0$ nego su pomjereni ka τ_0 i k_0 različitim od nule. To se obično događa kad jedna slučajna promjenljiva predhodi u vremenu u odnosu na drugu slučajnu promjenljivu kao što najveći intezitet kiše predhodi u odnosu na najveće oticanje ili kao što data meteorološka ili okeanska situacija predhodi za vrijeme τ_0 ili za broj vremenskih jedinica k_0 predviđenim padavinama ili oticajima prema sinoptičkoj situaciji. Vrijednost τ_0 i k_0 u hidrologiji nijesu konstante, zato što proces povezivanja x i y promjenljivih može dati brži odziv za y za veće vrijednosti od x (τ ili $k \rightarrow$ mali) nego za manje vrijednosti x (τ_0 ili $k_0 \rightarrow$ veliki)

Za predviđanje rezultata u hidrologiji je važno odrediti vremenske pomake ili vremenska kašnjenja povezanih hidroloških promjenljivih bilo kao konstanti, bilo kao parametarskih funkcija ili apsolutnih vrijednosti od x i y . Što su veći τ_0 i k_0 , duži je i vremenski interval predviđanja. Kroskorelacija je zbog toga jedna od tehnika koja služi za otkrivanje vremenskih pomaka maksimuma korelacije ili za istraživanje pomaka između hidroloških vremenskih serija.

■ Postupak prilagođavanja

Kroskorelacija između časovnih padavina i oticanja u doslovnom smislu ne definiše veličinu vremena reakcije sistema t_c (sl.4.13) odnosno ne daje očekivanu kvantum odgovora o veličini vremena početka odziva sistema na padavinski impuls. Zbog toga je izvršen postupak predhodnog prilagođavanja. Suština prilagođavanja je u zamjeni članova serije časovnih proticaja sa veličinom njihovih prvih derivacija po vremenu (dQ/dt). Fizikalno značenje derivacije proticaja blisko je značenju " brzina promjene proticaja " - ΩQ u vremenskom intervalu dt (sl.4.14), odnosno:

$$\Omega Q = dQ/dt = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta Q / \Delta t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (Q_2 - Q_1) / \Delta t \quad (4.4.3)$$

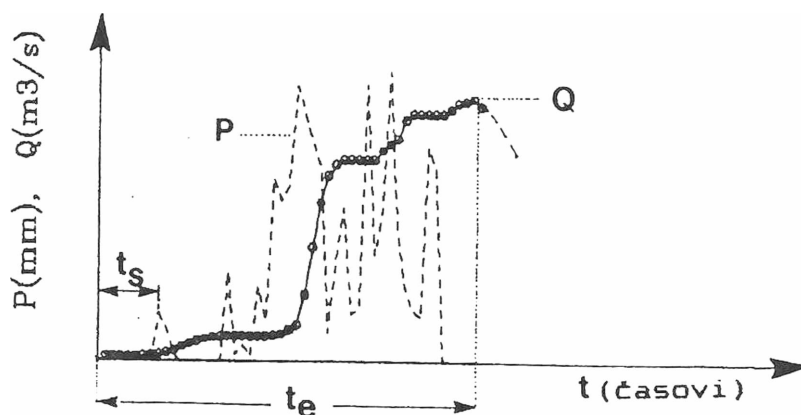


Sl.4.14. Dijagram brzine promjene proticaja

Uvođenjem nove promjenljive ΩQ umjesto Q obrazovana je serija :

$$\{P(t), \Omega Q(t)\} \quad (4.4.4)$$

Za razmatranje vremena početka reakcije sistema (t_c), seriju časovnih padavina $P(t)$ i prvih derivacija časovnih proticaja $\Omega Q(t)$ sačinjavaju samo članovi iz skupa kojem pripada uzlazna grana tretiranog hidrograma, odnosno serija za omeđeni vremenski interval t_s, t_e na sl.4.15



Sl.4.15. Prikaz granica vremenskog intervala za analizu reakcije sistema (t_c)

Sto znači da obrazovanje serija :

$$\{P(t), \Omega Q(t)\} \rightarrow \text{važi za interval } t_s \leq t \leq t_e \quad (4.4.5)$$

Gdje je :

t_s - vrijeme pojave prvog padavinskog impulsa

t_e - vrijeme za koje je proticaj postiže max.vrijednost u trajanju jedne kišne epizode

Na osnovu izvršenog prilagođavanja serija u dijelu formiranja serije časovnih proticaja, odnosno za seriju prema (4.4.5) može se napisati izraz kroskorelacije za kontinualnu seriju u obliku:

$$\rho_{P, \Omega Q} = \int_0^{\infty} P(t-\tau) * \Omega Q(t) dt \quad (4.4.6)$$

Za diskretnu seriju P i ΩQ očekivana vrijednost ρ_k je :

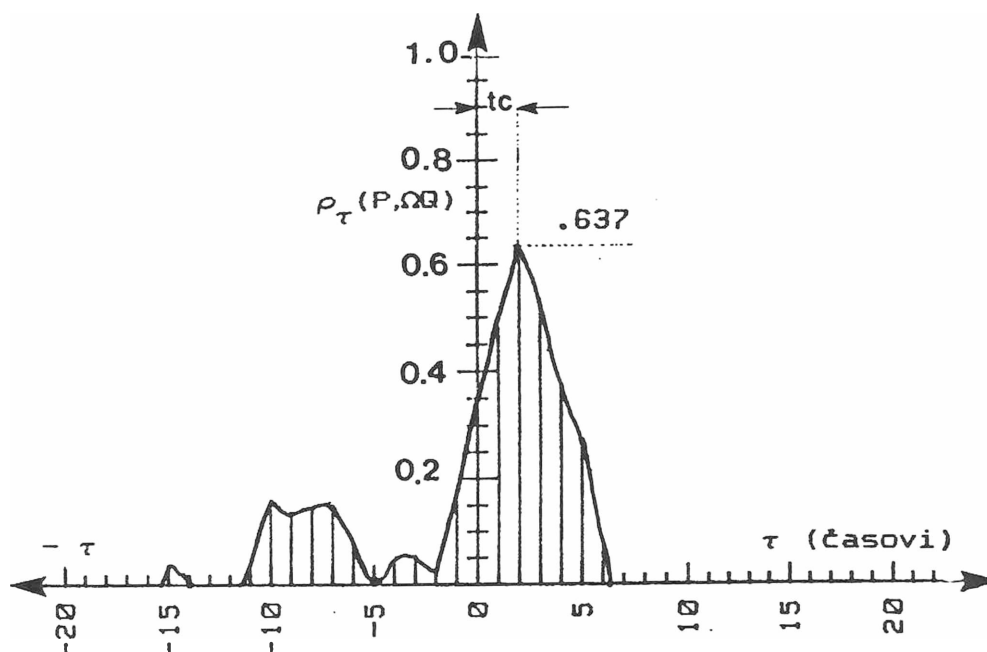
$$\rho_k(\tau, \Omega Q) = \sum_{i=k}^N P_{i-k} * \Omega Q \Delta t \quad (4.4.7)$$

Gdje je: N-broj članova u skupu serije

Proračun ΩQ i kroskorelacije izvršen je pomoću programskog paketa DADiSP- Signal Analysis Softwer za dva hidrološka stanja sistema gdje je odziv sistema i analiza vremena reakcije sagledavan kroz stepenastu formu uzlazne grane hidrograma, odnosno za :

- Slučaj hidrološkog stanja na završetku jedne i početku druge kišne epizode (PUNI RAD SISTEMA)

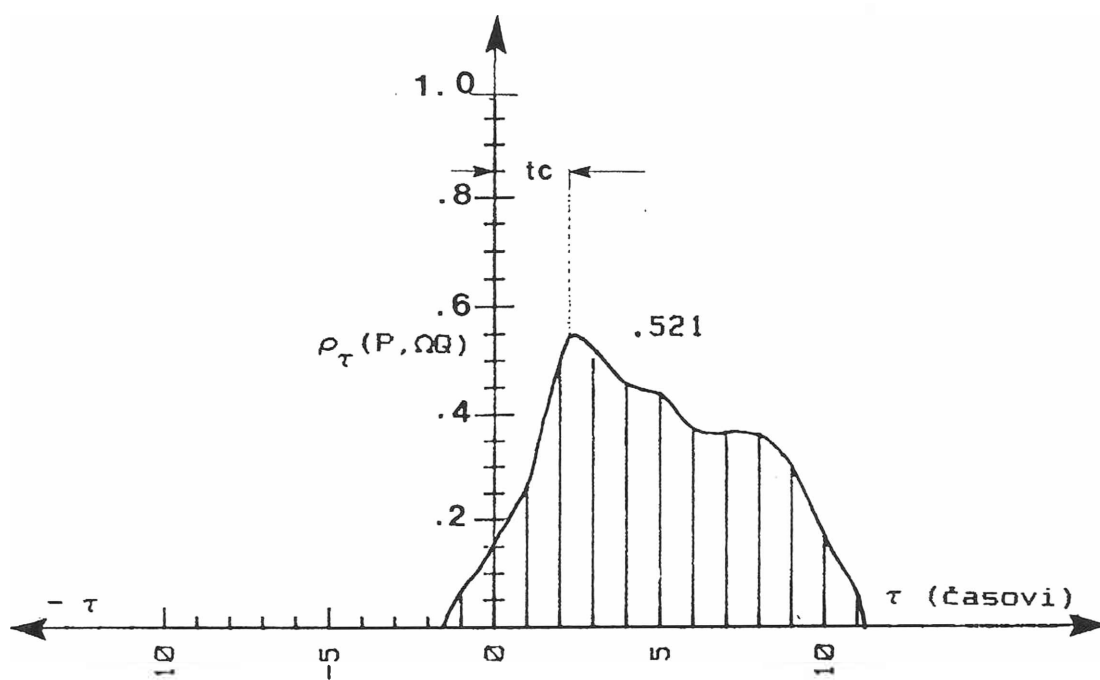
Rezultati proračuna prikazani na unakrsnom korelogramu (4.16) pokazuju da je najveća vrijednost unakrsne vremenske funkcije $\rho_{\tau}(\tau, \Omega Q)$ za vremenski pomak $t = 2$ časa, što je ekvivalentno vremenu reakcije sistema t_c , određenog analizom konture uzlazne grane hidrograma. Dobijena vrijednost vremenskog pomaka od 2 časa metodom kroskorelacije navodi ka postojanju zavisnosti vremena reakcije sistema a time i ukupnog odziva sistema (RS) u velikoj mjeri od neke donje granične vrijednosti inteziteta časovnih padavina. Tako, za posmatrani slučaj hidrološkog stanja koje se praktički nadovezuje neposredno po realizaciji jedne intezivne kišne epizode; padavinski impulsi od padavina inteziteta ispod 10 mm ne uspijevaju da izazovu intezivnu reakciju sistema. Nasuprot tome, padavine inteziteta iznad 10 mm nakon 2 časa izazivaju intezivnu reakciju.



Sl.4.4.3. Unakrsni korelogram za hidrološko stanje punog rada sistema (□)

00 Hidrološko stanje na kraju sezone iscrpljenosti sistema

Unakrsni korelogram na sl.4.17 pokazuje da je najveća vrijednost unakrsne vremenske funkcije $\rho(P, \Omega Q)$ za vremenski pomak $t = 2$ časa što odgovara vremenu reakcije sistema t_c identifikovanog analizom konture uzlazne grane hidrograma. Značajno je da rezultati kroskorelacije i na ovom primjeru pokazuju da se odziv sistema dešava na padavinske impulse inteziteta većih od 10 mm. Ovo je na izvjesan način verifikacija saznanja, da i u slučaju iscrpljenosti sistema u domenu min.godišnjih proticaja, reakcija sistema zavisi od veličine inteziteta padavina većih od 10 mm.

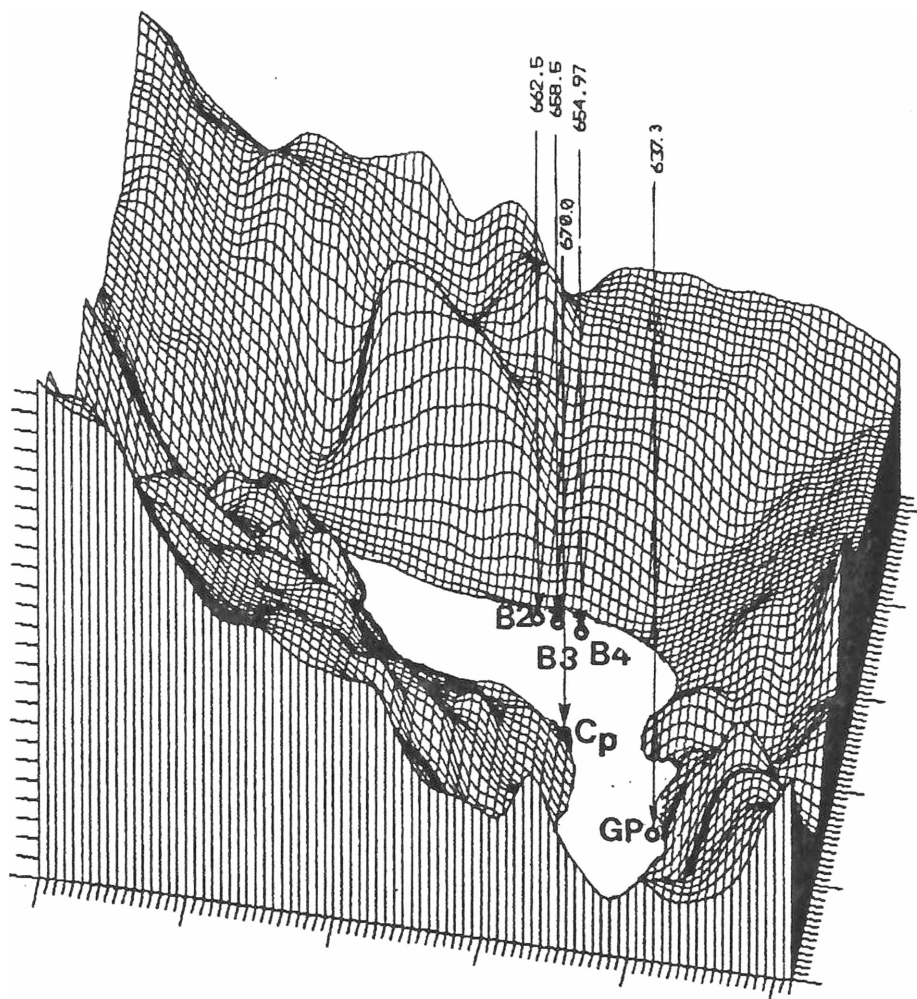


Sl.4.17. Unakrsni korelogram za hidrološko stanje na kraju sezone iscrpljenosti sistema

Predhodni rezultati analize reakcije sistema idu u prilog hipotezi o mogućem položaju glavne provodne zone kretanja kraških voda i da je pretežni dio sistema lociran neposredno uz provodnu zonu Cetinjsko polje- Lipska pećina- Dobrsko selo- Obodska pećina. S druge strane, brzi odziv sistema na padavinske impulse i njihova izražena koordinacija manifestuju karakter režima tečenja podzemnih voda sličan režimu tečenja površinskih tokova na kraškim područjima. Izraženost reakcije sistema na padavinske impulse registrovane u samom Cetinju takođe je parametar identifikacije dominantnog uticaja hidrološkog stanja sistema Cetinjskog polja na režim i kretanje kraških voda ka izlazu iz sistema.

4.5. REAKCIJA SISTEMA KROZ PROMJENU NIVOVA PODZEMNIH VODA U CETINJSKOM POLJU

Za analizu reakcije sistema sagledane su reakcije promjene stanja nivoa kraških voda u funkciji padavinskih impulsa preko istraţnih bušenih bunara B2,B3,B4 i glavnog ponora GP lociranih u Cetinjskom polju (sl.4.18)



LEGENDA :

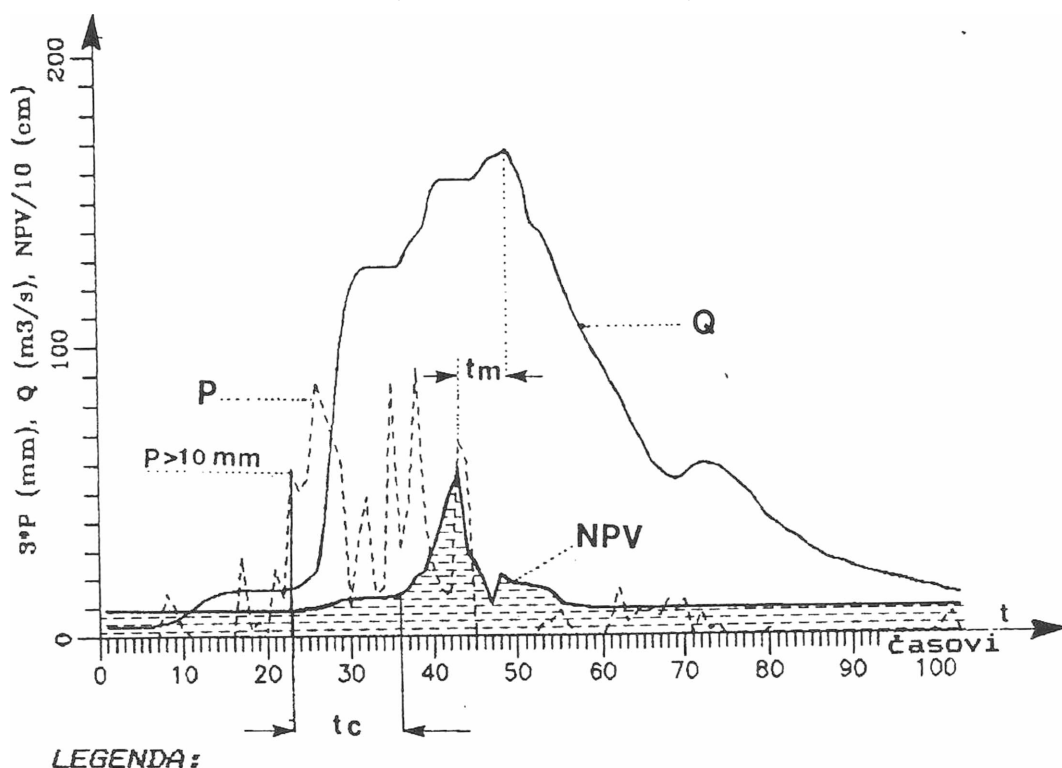
- B2,B3,B4 - istraţni bunari
- Cp - cetinjska pećina
- GP - glavni ponor
- CRS - cetinjski rasjed

Sl.4.18. Poloţaj istraţnih objekata u Cetinjskom polju

■ Analiza hidrološkog stanja preko istraţnih bunara

Analiza reakcije cjeline sistema pokazuje izraţenu koordinaciju izmeĊu padavina i oticanja. MeĊutim, promjena nivoa podzemnih voda u kraškom sistemu Cetinjskog polja, u neposrednoj blizini linije pruţanja Cetinjskog rasjeda usporenije slijedi produkcione impulse padavina. Analizom nivograma za bušotinu B-3 pokazuje se zakašnje-nje početka podizanja nivoa u odnosu na početak padavina i početnu reakciju ukupnog sistema. Ipak, uočava se blago reagovanje nivoa podzemnih voda nakon 2-3 časa od pojave padavinskog impulsa koji je izazivao početak intezivne reakcije sistema preko izlaznog hidrograma oticanja. Početak intezivne reakcije nivoa podzemnih voda u B3 realizuje se nakon 13 časova od pojave padavinskog impulsa $P > 10 \text{ mm}$, a sa vremenskim pomakom (t_m) izmeĊu maksimuma nivograma i maksimalnog oticanja u iznosu od 6 časova.

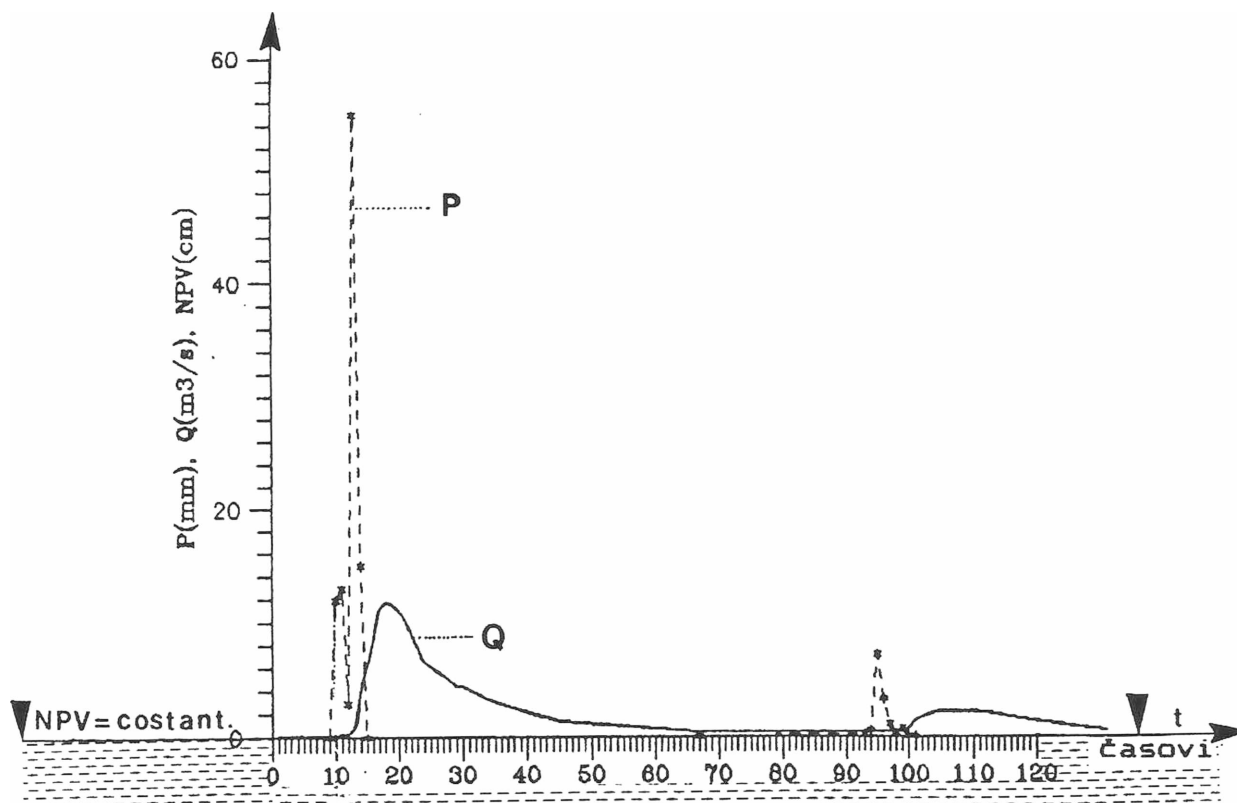
Pojava maksimuma nivograma je 6 časova prije maksimuma oticanja sa trenutnim zadržavanjem i vrlo brзом padu na početno stanje. Tendencija ponovnog blagog podizanja je prigušena reakcija na posljedni padavinski impuls kišne epizode (Sl.4.19, prema PRILOGU.7)



- Q - izlazni hidrogram
- P - padavine
- NPV - nivogram podzemnih voda u bunaru (B3)
- t_c - početak intezivnog podizanja nivograma
- t_m - vremenski pomak masimuma Q i NPV

Sl.4.19. Odziv sistema kroz promjenu nivoa kraških voda u Cetinjskom polju

Sa predhodnog dijagrama proizilazi saznanje o dužini vremenskog intervala podizanja nivograma, intezitetu i vremenskoj ustaljenosti časovnih padavina koje izazivaju značajniju reakciju nivoa kraških voda u Cetinjskom. Analiza pokazuje da se radi o časovnim padavinam inteziteta većih od 10 mm i stalnosti trajanja istih iznad 10 časova. Međutim, rezultati analize mogu se prihvatiti samo u slučajevima hidrološkog stanja koje karakteriše "puni rad sistema". Drugim riječima, sistem je već bio pod tretmanom intezivne kišne epizode koja je dijelom ispunila pukotinski volumen sistema. Što znači, za hidrološko stanje iscrpljenosti sistema, sistem neće reagovati na padavinske impulse časovnog inteziteta znatno većih od 10 mm (sl.4.20, prema PRILOGU.9)



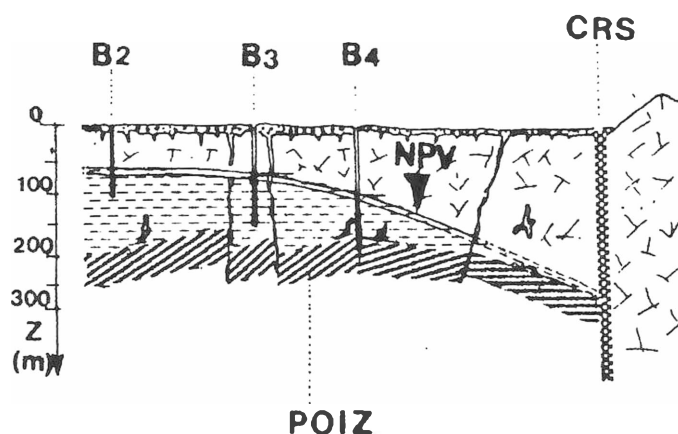
LEGENDA :

- Q - izlazni hidrogram
- P - padavine
- NPV - nivo podzemnih voda u bunaru (B3)

Sl.4.20. Prikaz reakcije kraške izdani pri hidrološkom stanju sezonske iscrpljenosti sistema

Na gornjem dijagramu uočljiva je brza reakcija sistema kroz izlazni hidrogram. Međutim, nivo kraške izdani u B3 ne reaguje na izraženi padavinski impuls od 50 mm časovnog inteziteta. Pored činjenice sezonske recesije sistema u iscrpljenosti pukotinskog uskladištenja vode, razlozi su i u neposrednom uticaju Cetinjskog rasjeda kao prijemnika pozemnih voda iz Cetinjskog polja i uticaja slučajne komponente geometrije sistema. U hidrauličkom smislu

njegov uticaj može se podvesti pod hidraulički rad preliva sa vertikalnom nizvodnom stranom i promenljivom širinom prelivne ivice. U suštini, efekti hidrauličkog rada raseda kao prelivnog evakuacionog organa su složeni i u funkciji su karaktera pojave hidrološkog stanja i njegove interakcije sa lokalnom geometrijom u području rasjeda i širem području Cetinjskog polja. Izvjesno je da postojanje rasjeda izaziva prirodnu depresiju u zoni istražnih bunara koji su u neposrednoj blizini zapadnog krila rasjeda (viša stepenica). Zbog izražene širine "fiktivne prelivne ivice", prelivna visina mlaza je slabo osjetljiva na podizanja nivoa kraške izdani. Posledica istog reflektuje se preko izražene depresione linije u području istražnog bunara B3. (sl.4.21) kroz usporeno podizanje nivoa kraške izdani u odnosu na izlazni hidrogram. Na osnovu istog proizilazi dio odgovora o karakteru reakcije podizanja nivoa podzemnih voda. Međutim, to nije i jedini uticaj. Naime, slučajna komponenta prostorne raspodjele geometrije pukotinskog sistema i izraženost karstnih pojava oblika (*ponori, pećine, jame, kolektorski provodnici...*) uslovljavaju kretanje podzemnih voda pod uticajem lokalnih fenomena sredine. Spoznaja indicira na postojanje izdiferenciranih kolektorskih provodnika i njihovog primarnog uticaj na kretanje podzemnih voda iz sistema Cetinjskog polja. Jedan od priloga ovakom gledištu sadržan je u manifestaciji ne samo u sporij reakciji podizanja nivoa u istražnim bunarima, već i pojavi vremenske neusaglašenosti njihove reakciji na padavinske impulse. Konačno, rezultate prdhodnog sagldavanja i tumačenje karaktera reagovanja podzemnih voda, treba posmatrati kao jedno u skupu mogućih za područje lokacije samih bunara (Donji kraj) u neposrednoj blizini Cetinjskog rasjeda.

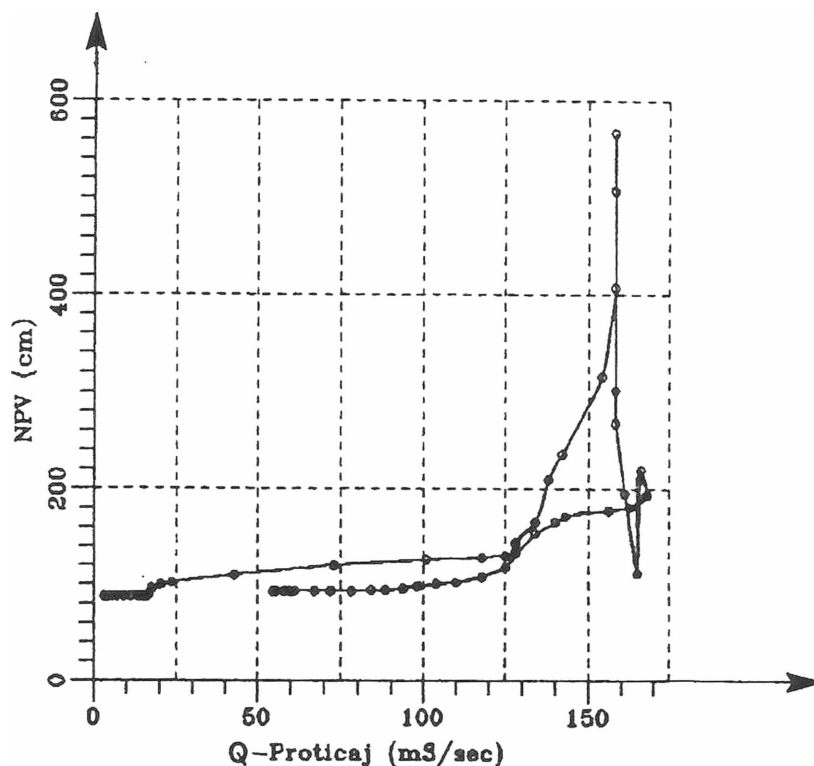


LEGENDA :

NPV - nivo podzemnih voda
CRS - cetinjski rasjed
POIZ - podinski izolator

Sl.4.21. Depresiona linija kraških voda na zapadnom krilu Cetinjskog rasjeda (Mijatović.B, 1969-1973)

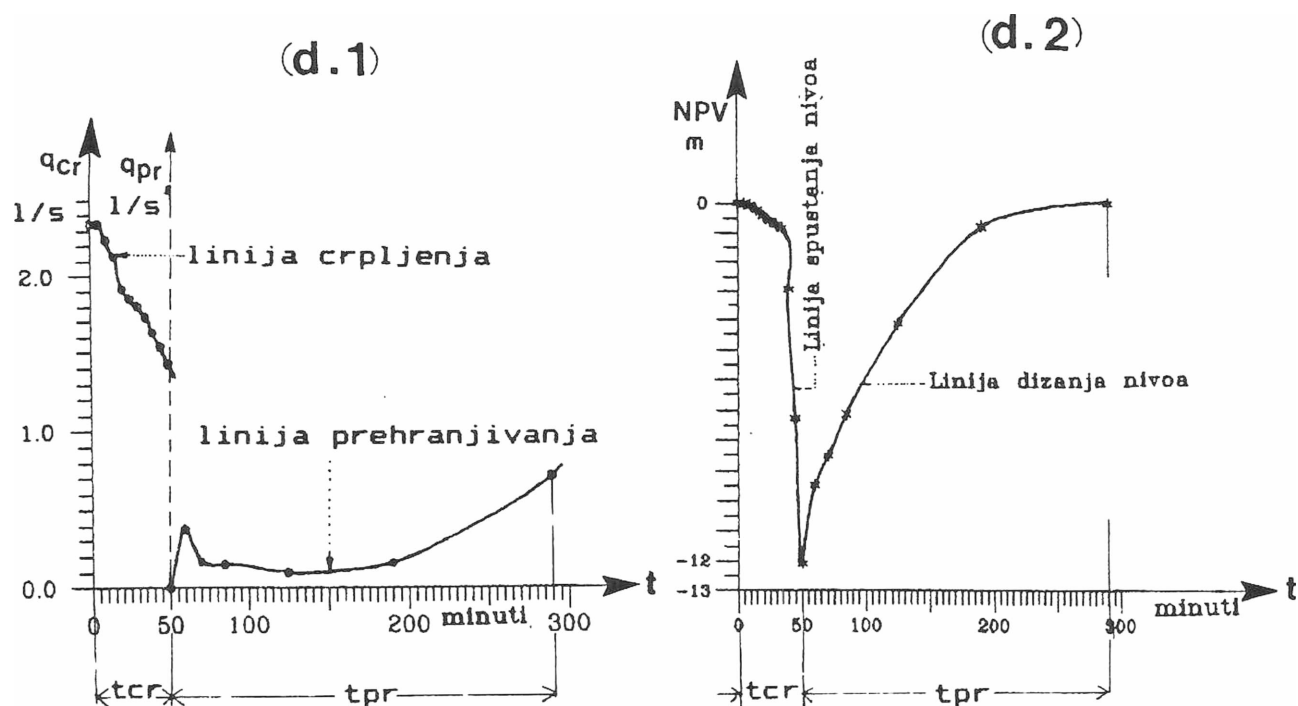
Dalje sagledavanje hidrološkog stanja u kontekstu oscilacija izdani u B3 i koordinacije sa padavinskim impulsima i odzivom sistema, izvršeno je u traženju postojanja unutrašnje zakonitosti između oticanja na izlazu iz sistema i promjene oscilacije nivoa vode u B3. (sl.4.22, prema PRILOGU.7). Grafički prikaz uspostavljene veze između oticanja na izlazu i promjene nivoa u B3 odražava rezultate izvršene analize odziva sistema kroz koordinaciju: $P-NPV-Q$ na sl.4.19 Vremenski pomak između početka reakcije nivoa kraške izdani u odnosu na produktivni padavinski impuls i početak reakcije sistema, a posebno nagli pad nivograma za 6 časova prije dostignutog maksimuma, uzrok su "dvostruke grane" dijagrama. Kao posledica toka procesa je i pojava karakteristične "petlje" u tački koja slijedi odmah poslije naglog pada nivograma, gdje se zbog pomaknute vremenske faze dostiže i maksimalno oticanje. Pojava maksimalnog proticaja pri maksimalnom pražnjenju (u dnu silazne grane nivograma) indicira na posledice uticaja Cetinjskog rasjeda (lokalni fenomen) na kretanje kraških voda iz Cetinjskog polja.



Sl.4.22. Dijagram odnosa između oticanja i promjene nivoa izdani u Cetinjskom polju (B3)

S druge strane, eksperimentalnim crpljenjem u bunaru B-2 ne izaziva se nikakva reakciju u vidu spuštavanja nivoa u nizvodnom bunaru B-3 i ako se nalazi na bliskom rastojanju (230 m). Što znači, da se pored njegovog položaja na granici uticaja depresije rasjeda odražava i uticaj lokalnih fenomena geometrije sredine u neposrednom području lokacije bunara. Prije svega, moguće je da u području B2 prestaju uticaji depresije, ili su malo izraženi,

a prevladavaju lokalni uticaji geometrije sredine. U prilogu istom su i rezultati crpljenja koji pokazuju nizak stepen kapacitativnosti i uskladištenja vode u pukotinskom sistemu u području B2 što se generalno može odnositi i na šire područje Cetinjskog polja. (sl.4.23, prema PRILOGU. 10)



LEGENDA :

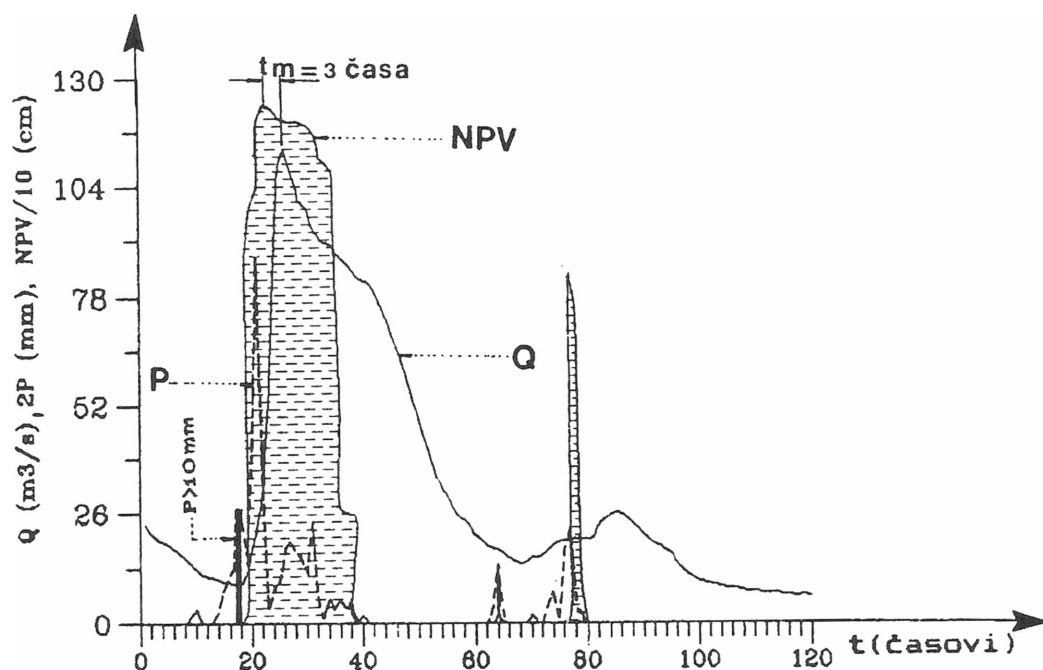
- d.1 - dijagram crpljenja i prehranjivanja
- d.2 - dijagram spustanja i dizanja nivoa
- t_{cr} - vrijeme crpljenja do iscrpljenja vode
- t_{pr} - vrijeme prehranjivanja-povraćaja vode
- q_{cr} - kapacitet crpljenja (do iscrpljenja)
- q_{pr} - izdašnost prehranjivanja po iscrpljenju
- NPV - nivo podzemnih voda

Sl.4.23. Dijagram reakcije nivoa kraške izdani pri eksperimentalnom crpljenju u B2

Rezultati crpljenja pokazuju, da je pored uticaja Cetinjskog rasjeda na kretanje kraških voda izražen uticaj slučajne komponente prostorne raspodjele pukotinskog sistema, prslina i provodnih kanala u kraškom sistemu Cetinjskog polja. U ovom smislu, realno je pretpostaviti da je međusobna neusaglašenost nivoa izdani u B2 i B3 posledica mikroprocesa koji je pod uticajem lokalnih fenomena geometrije sredine. Takođe, rezultati ovih i predhodnih analiza usmjeravaju ka gledištu da lokalitet istražnog bunara B2 nije na prioritarnom smjeru kretanja podzemnih voda iz Cetinjskog polja ka Cetinjskom rasjedu.

■ Analiza hidrološkog stanja kroz rad glavnog ponora

Glavni ponor (GP) lociran je na najnižim kotama Cetinjskog polja i sa Cetinjskom pećinom predstavlja najizraženiju manifestaciju koncentrisanog karsta i njegovih pojavnih oblika u zoni Cetinjskog polja. Kao takav, logički je predisponiran u analizi određenog hidrološkog stanja za sagledavanje reakcije sistema i njegove identifikacije (sl.4.24, prema PRILOGU.6)



LEGENDA:

- NPV - nivogram na glavnom ponoru
- P - padavine časovnog inteziteta
- Q - hidrogram na izlaznom profilu sistema
- t_m - vremenski pomak maksimuma NPV i Q

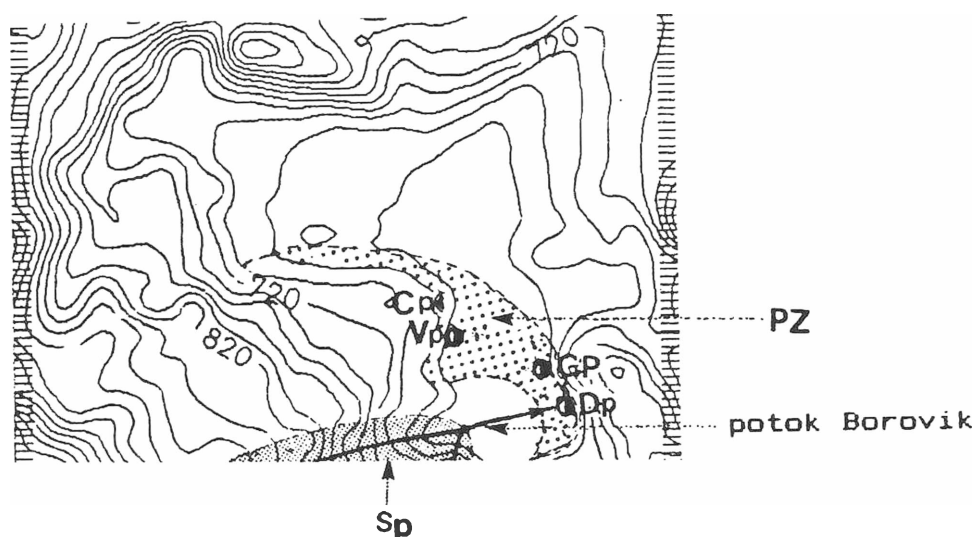
Sl.4.24. Prikaz reakcije podzemnih voda na glavnom ponoru u Cetinjskom polju

Hidrološko stanje pri kojem se dešava odziv podzemnih voda kroz ponor, karakteriše "puni rad sistema". Na prvi produktivni impuls padavina ($P > 10$ mm) istovremeno započinje i reakcija podzemnih voda (NPV) sa vertikalnim podizanjem uzlazne grane nivograma. Maksimalni nivo odigrava se nakon 5 časova od početka reakcije, a maksimalno oticanje nakon 7 časova. Nivogram ima tendenciju blagog spustanja linije vrha maksimuma za vremeski period trajanja padavina. Sa prestankom padavina nastaje naglo spuštanje silazne grane nivograma. U daljoj analizi uočava se da ponor reaguje i na padavinske impulse inteziteta manjih od 10 mm. Što znači, da je koncentracija padavina sa Cetinjskog polja usmjerena u pravcu glavnog ponora. Međutim, trenutna reakcija podizanja voda u ponoru, nagli

pad nivograma po prestanku padavina na početno stanje isključuju postojanje koordinacije "rada" ponora u praćenju silazne grane izlaznog hidrograma. Ovakav karakter reakcije ponora pokazuje da su podzemne veze ponora ka glavnoj provodnoj zoni neizražene prohodnosti. Brza reakcija na padavinske impulse i sa izlivanjem voda na površinu terena, indicira na mogući položaj geometrijskih kontrakcija u blizini samog ponora. Porijeklo kontrakcije, njena morfologija i površina preseka, vjerovatno su genetske priroda. Ipak, nije isključena mogućnost uticaja velikih količina kanalizacionog sadržaja gradske kanalizacije i raznovrsnog uličnog otpada koji se unosi u ponorski otvor.

S druge strane, nagli pad nivograma po prestanku padavina pokazuje da je poslije kontrakcije kretanje voda kroz provodne kanale bez smetnji, jer se u njemu po prestanku padavina ne reflektuju nikakve manifestacije hidrološkog procesa u sistemu. A to znači, da je rad glavnog ponora pod uticajem lokalnih karakteristika svoje provodne zone i njene prohodnosti ka rasjednoj zoni. Ustvari, nagli pad nivograma, logična je posledica uticaja Cetinjskog rasjeda sa kojim su provodne veze glavnog ponora posle izvjesnih geometrijskih smetnji (kontrakcija) u izraženom stepenu komuniciranja sa glavnom provodnom zonom kraškog sistema.

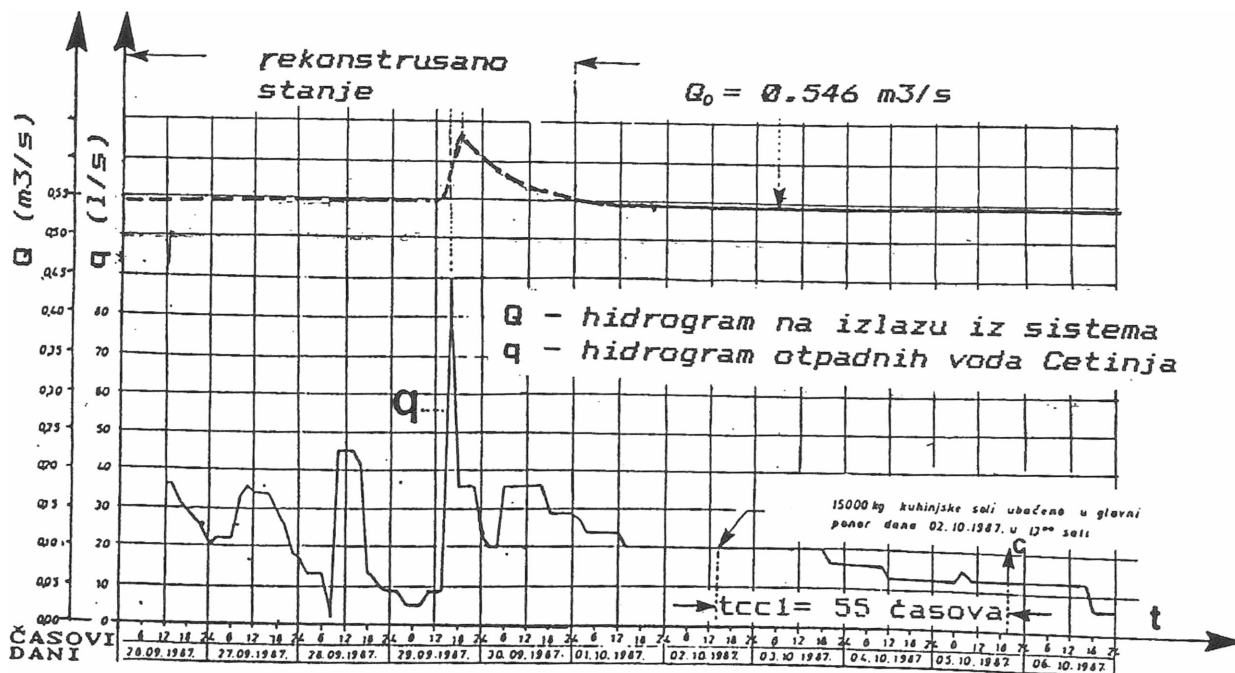
Izlivanje podzemnih voda kroz otvor glavnog ponora na površini terena intezivirano je sa proširenjem urbanog područja grada Cetinja. Pri čemu je pokrivenost gradskih ulica sa asfaltnim i betonskim zastorima povećala stepena oticanja ka Donjem polju sa koncentrisanom infiltracijom u ponorskoj zoni. Značajno usmjerenje padavina ka ponorskoj zoni Glavnog i Donjeg ponora je površinskim tokom potoka Borovik (sl.4.25)



- LEGENDA :**
- PZ - primarna ponorska zona
 - GP - glavni ponor
 - Dp - donji ponor
 - Vp - ponor u Vladićinoj bašti
 - Sb - sliv Potoka Borovik
 - Cp - cetinjska pećina

Sl.4.25. Položaj ponorske zone i površinskih tokova u Cetinjskom polju.

■ Postojanje kontrakcije na provodnoj zoni glavnog ponora pokriva se njegova uloga identifikacije podzemnih veza Cetinjskog polja sa primarnom provodnom zonom kraških voda, od Cetinjskog polja ka izvorištu rijeke Crnojevića. U cilju približavanja rješenju ovog problema, izvršeno je eksperimentalno određivanje vremena brzine kretanja podzemnih voda, odnosno prosječne brzine kretanja podzem- voda (V_{pv}) na pravcu : glavni ponor - izlaz iz sistema (sl.4.26).



Sl. 4.26. Prikaz hidrološkog stanja pri određivanju brzine kretanja podzemnih voda sa NaCl- traserom

Ubacivanjem 15000 kg kuhinjske soli (NaCl) u glavni ponor, nakon 55 časova u dva uzorka vode na izlaznom profilu registrovano je izvjesno povećanje koncentracije soli u odnosu na početno stanje. Hidrološko stanje pri eksperimentu odražava režim malih voda na izlazu iz sistema $Q_0 = 0,505 \text{ m}^3/\text{s}$, i pri količini otpadnih voda grada Cetinja $q = 20 \text{ l/s}$ na ulazu u glavnom ponoru. Vrijeme brzine kretanja podzemnih voda $t_{cc1} = 55$ časova može se prihvatiti sa kritičkim odnosom njegove pouzdanosti, jer je proizvod povećane koncentracije iz svega dva uzorka vode na izlazu iz sistema (hidrološka stanica Rijeka Crnojevića). Za geodetsko rastojanje glavni ponor - izvor r.Crnojevića $L_g = 7,25 \text{ km}$, i pretpostavkom da je dužina podzemnog puta za 1,50 veća ($L_c = 1,5 \cdot 7,25$), brzina kretanja podzemnih voda (V_{pv}) iznosi :

$$V_{pv1} = 0,055 \text{ m/s}$$

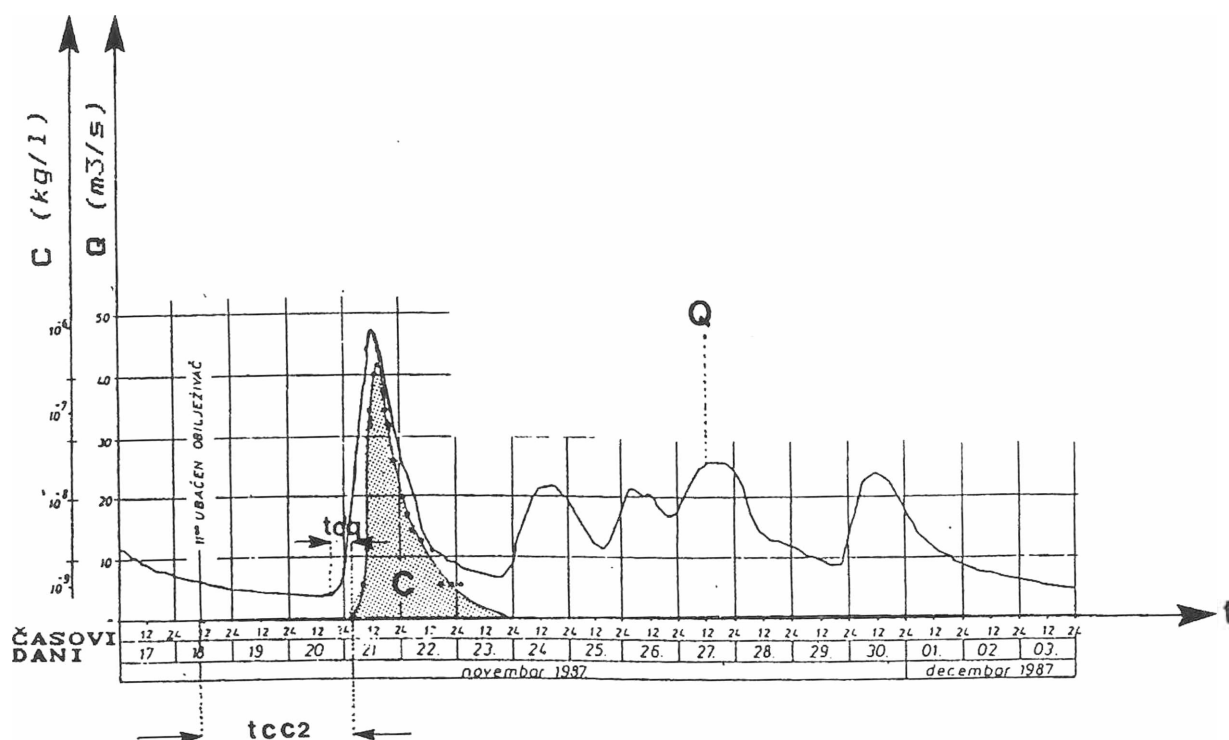
$$(4.5.1)$$

■ Drugo eksperimentalno mjerenje vremena brzine kretanja podzemnih voda na istom pravcu izvršeno je pri hidrološkom stanju karakteristično za "puni rad" sistema, a pri proticaju na izlaznom profilu sistema $Q_0 = 6.23 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_0 \rightarrow 18$ novembra 1987 u 11 časova) i 19 kg

natrijumfluoresceina ubačenog u glavni ponor, vrijeme kretanja vodene mase iznosi $t_{cc2} = 67$ časova. Na prikazu hidrološkog stanja (sl.4.27) postoji vremenski pomak od 11 časova između početka reakcije sistema i prve pojave trasera. Ovim pomakom manifestuje se karakter posrednosti podzemnih veza glavnog ponora sa primarnom provodnom zonom u sistemu. Približna paralelnost nagiba strmina dijagrama pokazuje uticaj promjene hidrološkog stanja sistema na smanjenje vremenske baze dijagrama koncentracije trasera. Za vrijednost $T_{cc} = 67$ časova u ovom slučaju eksperimentalnog mjerenja dobija se brzina kretanja podzemnih voda :

$$V_{pv2} = 0,045 \text{ m/s}$$

(4.5.2)



LEGENDA :

- C - dijagram koncentracije trasera
- Q - hidrogram na izlaznom profilu sistema
- t_{cc} - vrijeme putovanja trasera
- t_{cq} - vremenski pomak između C i Q

Sl.4.29. Prikaz hidrološkog stanja sa dijagramom koncentracije Na-floresceina pri određivanju brzine kretanja podzemnih voda

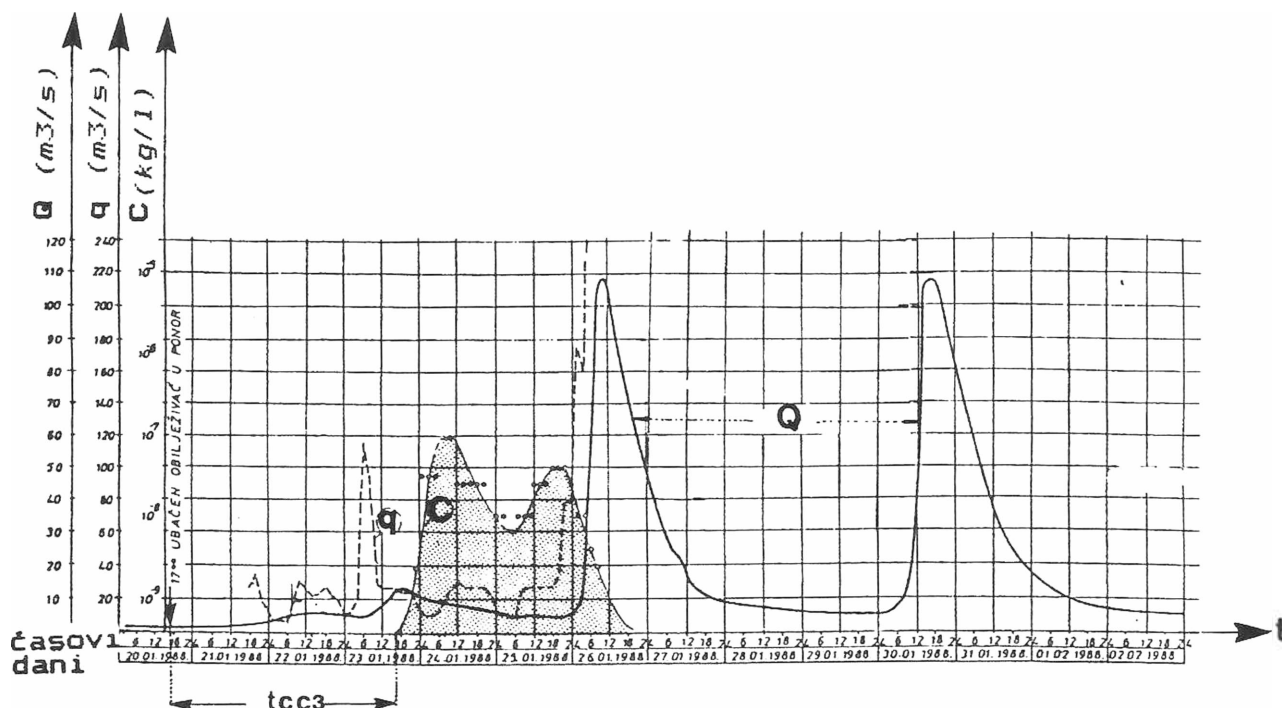
■■■ Eksperimentalno mjerenje brzine kretanja na istom pravcu izvedeno je i pri hidrološkom stanju sa početnim proticajem $Q_0 = 1.77 \text{ m}^3/\text{s}$ na izlazu iz sistema. Vrijeme putovanja vodene mase je $t_{cc3} = 72$ časa. Promjena hidrološkog stanja nastupila je 19 časova nakon ubacivanja trasera, u obliku dvije stepenaste reakcije sistema $Q_1 = 5.82 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_2 = 8.14 \text{ m}^3/\text{s}$ u tekućem vremenskom intervalu do

pojave trasera (sl.4.28). Karakteristični "sedlasti" oblik dijagrama koncentracije tumači se kao posledica stepenaste reakcije sistema u toku putovanja trasera. Izražajnost reakcije sistema je nakon pojave proticaja Q2 koji je pokrenuo "ostatke" trasera u prslinskim zonama. Podrška ovom tumačenju je i refleksija uticaja količine trasera, u odnosu na povećani stepen razblaženja pri promjeni hidrološkog stanja u odnosu na početno.

Brzina putovanja podzemnih voda za ovo eksperimentalno mjerenje je :

$$V_{pv3} = 0,042 \text{ m/s}$$

(4.5.3)



LEGENDA :

- C - dijagram koncentracije trasera
- Q - izlazni hidrogram
- tcc3 - vrijeme putovanja trasera
- q - hidrogram otpadnih voda Cetinja

Sl.4.

Prikaz hidrološkog stanja sa dijagramom koncentracije Na-floresceina pri određivanju brzine kretanja podzemnih voda

Na osnovu izvršene analize rezultata eksperimenta odredjivanja vremena kretanja trasera, odnosno vodene mase u pravcu glavni ponor - izvor rijeke Crnojevca, a u uslovima dva promenljiva hidrološka stanja; dobijaju se dvije približno iste vrijednosti za brzinu kretanja podzemnih voda (V_{pv}). Oba hidrološka stanja u

vremenskom intervalu putovanja trasera pripadaju režimu "punog rada" sistema, a njihove prosječne vrijednosti konvergiraju vrijednostima srednjih godišnjih proticaja za hidrološku 1987/88 ($Q_{sr} = 7.04 \text{ m}^3/\text{s}$) i 1988/1989 ($Q_{sr} = 4.03 \text{ m}^3/\text{s}$).

Dobijena vrijednost za brzinu kretanja pri hidrološkom stanju minimalnih proticaja $V_{pv1} = 0.055 \text{ m/s}$ veća je od brzine kretanja za hidrološko stanje "punog rada" sistema, što nije logično. Međutim, bliskost dobijenih rezultata ($V_{pv2} \approx V_{pv3}$) za dva promjenljiva hidrološka stanja, pokazuju da dobijena vrijednost za V_{pv1} mora biti ispod vrijednosti V_{pv2} odnosno V_{pv3} .

■ Usporedna analiza parametara verifikacije vremena i brzine kretanja podzemnih voda na pravcu Cetinjsko polje - izlaz iz sliva (izvor r.Crnojevića)

□ Prva eksperimentalna mjerenja vremena brzine kretanja podzemnih voda izvršena su 1934/35 godine (S.MILOJEVIĆ) u cilju dokazivanja hidrografske veze Cetinjsko polje - Obodska vrela. Ubacivanjem trasera u glavnom ponoru, on je dobio vrijeme putovanja trasera od $t_{cc} = 41$ čas, pri hidrološkom stanju $Q_0 \approx 1 \text{ m}^3/\text{s}$ i uvrnim vodama u ponoru $q = 100 \text{ l/s}$. Na osnovu vremena brzine putovanja, i predpostavljene dužine puta $L_c (1.5 * 7.25 \text{ km})$, brzina kretanja podzemnih voda bila bi:

$$*V_{pv} = 0.074 \text{ m/s} \quad (4.5.4)$$

Dovodeći isto u usporednu ravan sa predhodnim rezultatima dobija ju se sledeći odnosi :

■	za $Q_0 = 0.55 \text{ m}^3/\text{s}$	$*t_{cc}/t_{cc1} = 1.34$	(4.5.5)
■	za $Q_0 = 6.23 \text{ m}^3/\text{s}$	$*t_{cc}/t_{cc2} = 1.64$	
■	za $Q_0 = 1.77 \text{ m}^3/\text{s}$	$*t_{cc}/t_{cc3} = 1.76$	

Gornje vrijednosti (4.5.5) pokazuju da je vrijeme brzine kretanja trasera (t_{cc}) u posljednjim eksperimentalnim mjerenjima znatno produženo u odnosu na vrijeme brzine kretanja trasera iz 1934/35 godine. Distanciranjem od rezultata prvog mjerenja (■) sa NaCl, usporedni rezultati vremena brzine kretanja posljednja dva eksperimentalna mjerenja (■, ■) sa vremenom brzine kretanja $*t_{cc}$ pokazuju znatne promjene u funkcionalnosti provodnih veza glavnog ponora sa primarnom provodnom zonom sistema. Odnosno, stepen provdjivost podzemnih veza glavnog ponora sa primarnom provodnom zonom je smnjen za 64 -76 % u odnosu na stanje provodljivosti iz 1934/35 godine. S druge strane, dobijeni pokazatelji verifikuju karakter rada glavnog ponora i reakcije podzemnih voda na padavinske impulse.

Takođe, hipoteza o postojanju kontrakcije na provodnoj zoni ponora i njenom porijeklu, nalazi izvjesnu opravdanost u pokazateljima smanjenja njene provodljivosti u toku posljednjih 57 godina (1934-1990). Pored pretpostavki o mogućnosti uticaja sadržaja otpadnih voda Cetinja i drugog otpadnog materijala, moguć je i uticaj zemljotresa jakog inteziteta iz 1979. na poremećaj geometrije sredine, a time i smanjenja funkcionalnosti podzemnih veza.

□□ Eksperimentalnim mjerenjem vremena brzine trasera (B MIJATOVIĆ, 1974) ubačenog u strukturalnu bušotinu B4 u blizini Cetinjskog rasjeda, dobijena je vrijednost od 17 dana ($t_{cb} = 408$ časova). Upoređujući sa najvećom vrijednošću vremena brzine kretanja trasera ($t_{cc} = 72$ časa) ubačenog u glavni ponor, dobija se odnos :

$$t_{cb}/t_{cc} = 5.66 \quad (4.5.6)$$

Vrijednost količnika (4.5.6) pokazuje da je kretanje podzemnih voda sa lokacije istražnih bunara znatno sporije u odnosu na pravac kretanja glavni ponor - izlaz iz sistema. Ovaj pokazatelj sadrži u sebe elemente verifikacije rezultata analize o sporoj reakciji nivoa podzemnih voda na padavinske impulse i uticajima lokalnih fenomena sredine na kretanje kraških voda. S druge strane ovaj pokazatelj sadrži elemente identifikacije položaja i smjerova kretanja podzemnih voda iz Cetinjskog polja ka primarnoj provodnoj zoni kretanja kraških voda u sistemu. Što znači, da je vrijeme kretanja podzemnih voda na pravcu glavni ponor - izlaz iz sistema relativno kratko, te da su pravci i smjerovi kretanja kraških voda iz Cetinjskog polja i njihove podzemne veze realizuju u područjima najnižih tačaka Cetinjskog polja - ponorska zona u Donjem polju.

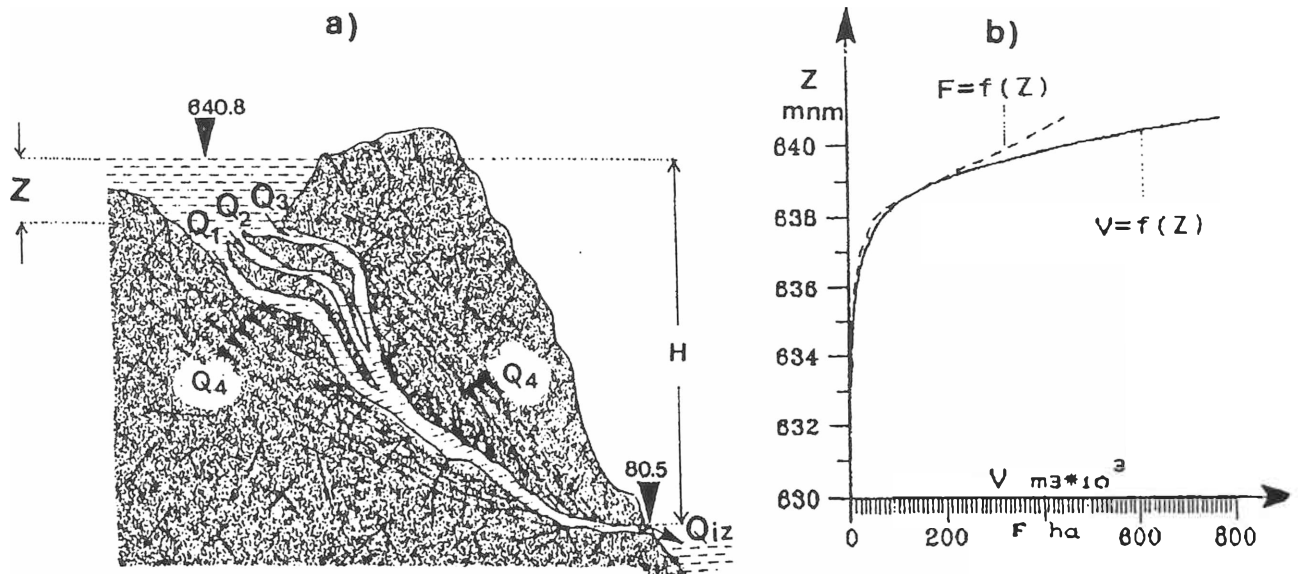
4.6. HIDROLOŠKO EKSTREMNO STANJE KAO PARAMETAR IDENTIFIKACIJE KRETANJA KRAŠKIH VODA U SISTEMU RIJEKE CRNOJEVIĆA

□□□ Parametar identifikacije kretanja podzemnih voda u području Cetinjskog polja je i karakter reakcije sistema pri ekstremnim hidrološkim stanjima. Padavine jakog inteziteta 5 -dnevnog trajanja (670mm) sa istovremenim topljenjem snijega u Cetinju (60 cm) i sa Lovčenskih padina (150 cm) bile su uzrok pojave ekstremnog hidrološkog stanja na Cetinju (februar, 1986). reakcija sistema odrazila se u izlivanju podzemnih voda preko ponorskih zona, izvora, Cetinjske pećine i površinskih voda potoka Borovik. Izlivane vode poplavile su istorisko jezgro grada, sa površinskom retenzijom u ponorskoj zoni Cetinjskog polja (Donje polje). Registrovanje pojave procesa nije se odvijalo prema hidrološkim osmatranjima i mjerenjima, već samo na osnovu tragova i zapisa vizuelnog pamćenja sa mjesta događaja. Prvenstveno, nije registrovan izlazni hidrogram, kao bitni pokazatelj karaktera hidrološkog stanja i efekata međusobnih uticaja u sistemu. Rekonstrukcija stanja izvršena je u proračunu maksimalnog proticaja na osnovu tragova velikih voda, registrovanog vodostaja na hidrološkoj stanici i pada korita. Na ovaj način određena je maksimalna vrijednost proticaja na izlazu :

$$Q_{iz} = 270 \text{ m}^3/\text{s}$$

(4.6.1)

Kao pozdaani podatak je zapremina akumulisane vode u području Donjeg polja (sl.4.29)



Sl.4.29. a) moguća hidraulička šema rada sistema za ekstremno hidrološko stanje

b) kriva zapremine i površine akumulisane vode u Cetinjskom polju (Donje polje)

Postavili se bilansna jednačina za hidrauličku šemu na sl.4.29 (a) u obliku :

$$Q_{ul} = F \frac{dz}{dt} + Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (4.6.2)$$

$$Q_{iz} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (4.6.3)$$

Gdje je :

Q_{ul} - površinski doticaji prema Donjem polju

Q_{iz} - ukupni proticaj na izlaznom profilu (270 m³/s)

$F \frac{dz}{dt}$ - zapremina akumulirane vode u jedinici vremena

Q_4 - podzemni dotok ka izlazu iz sliva

$Q_1 + Q_2 + Q_3$ - proticaji kroz tri glavna ponora

Usvajajući da Q_{ul} azno čine superponovani površinski dotoci :

$Q_{\text{Borovika}} + Q_{\text{Cetinjske pećine}} + Q_{\text{Bogdanovog kraja}}$

$Q_{\text{Borovika}} \approx 12.0 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow$ na osnovu predhodnih saznanja o

maksimalnom proticaju kroz površinski tok potoka Borovika

Q -Cetinjske pećine $\approx 26.2 \text{ m}^3/\text{s}$ \rightarrow na osnovu predhodnih informacija o istaćinju vode iz profila štolne Cetinjske pećine punim profilom i potopljenog svoda u trajanju preko 8 časova sa početkom od 18.02. oko 22h. sa postepenim smanjenjem u narednih 14h.

Iz poznate geometrije preseka štolne pećine i podužnog nagiba (i)- prema Manningovom izrazu sračunat je mogući proticaj kroz otvor Cetinjske pećine.
 $|i = 2.95\%, n=0.03, f= 6.08 \text{ m}^2, x=9.33 \text{ m}, C=31.04|$

Q -Bogdanovog kraja $\approx 15-20 \text{ m}^3/\text{s}$ \rightarrow na osnovu vizuelnog osmatranja stručnih lica i upoređivanja sa proticajima kroz otvor Cetinjske pećine, procijenjeno je da se preko izvorišnih zona u području Bogdanovog kraja obrazovao površinski tok reda veličine do $20 \text{ m}^3/\text{s}$

Na osnovu ovih procjena, može se pretpostaviti da je veličina površinskog dotoka (Q_{ul}) u pravcu glavne ponorske zona mogla biti od $50-60 \text{ m}^3/\text{s}$

Od svih elemenata u jednačinama (4.6.2 i 4.6.3) najpozdanije se može ocijeniti količina akumulisane vode u Donjem polju $F(dz/dt)$ U toku odbrane od poplave zapaženo je da je max.nivo akumulisane vode stigao najveću kotu 640.8 mnm sa porastom nivoa od 2 m za vrijeme od 10 časova. Na osnovu ovog podatka i zapremine akumulisane vode za isti period, dobija se prosječni doticaj u akumulaciji (dz/dt):

$$F \cdot dz/dt = \Delta V / \Delta t = (771.72 - 151.20 \cdot 10^3) / (10 \cdot 3600) = 17.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$F \cdot dz/dt = 17.2 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4.6.4)$$

Usvajajući da Q_{ul} lazno čine superponovani površinski dotoci :
 Q -Borovika + Q -Cetinjske pećine + Q -Bogdanovog kraja

$$Q_{ul} = 55-60 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4.6.5)$$

i proticaje kroz sva tri ponora u integrlnom obliku:

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (4.6.6)$$

Uzimajući u obzir gornje izraze (4.6.4 - 4.6.6) sistem jednačina 4.6.2 i 4.6.3 dobija oblik :

$$Q_{ul} = \Delta V/dt + Q_p \quad (4.6.7)$$

$$Q_{iz} = Q_p + Q_4 \quad (4.6.8)$$

Zamjenom poznatih vrijednosti u gornjim jednačinama dobija se :

$$55.00 = 17.20 + Q_p \quad (4.6.9)$$

$$277 = Q_p + Q \quad (4.6.10)$$

Rješenja gornjih jednačina su :

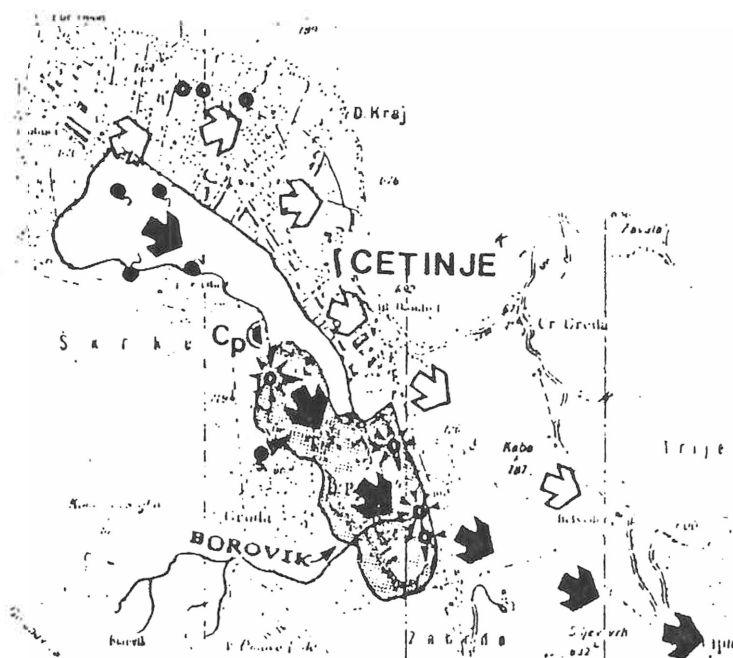
$$Q_p = 37.8 \text{ m}^3/\text{s} , Q = 239.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

(4.6.11)

Dobijena vrijednost proticaja $Q_p = 37.8 \text{ m}^3/\text{s}$ predstavlja učeće dotoka ponorske zone u akumulacionom prostoru u kojem je uključen i glavni ponor u Donjem polju. Što znači, da od ukupnog površinskog dotoka $Q_{ul} = 50-60 \text{ m}^3/\text{s}$ ponorska zona primala je oko $37.8 \text{ m}^3/\text{s}$ a $17.2 \text{ m}^3/\text{s}$ akumuliralo se na površini Donjeg polja.

Značajan je podatak o pojavi brzog pražnjenja akumulisanih voda, odmah po prestanku padavina (20 februar, u 13 časova) i da je sva otekla iz poplavljenog područja istoga dana u vremenskom intervalu trajnosti od 5 časova. Prosječna propusna moć ponorske zone u ovom intervalu bila bi oko $27.10 \text{ m}^3/\text{s}$. Pojava brzog pražnjenja akumulisanog prostora od trenutka prestanka padavina potvrđuje ranije analiziranu reakciju podzemnih voda preko rada glavnog ponora.

S druge strane, uočene zone pojavljivanja izvorišnih voda (sl.4.5.12) sa pravcem i smjerom kretanja ka ponorskoj zoni Donjeg kraja idu u prilog identifikacije ovog pravca kao najvjerojatnijeg položaja provodne zone i pretežnih kontakata podzemnih voda Cetinjskog polja sa glavnom provodnom zonom sistema









SL.4.30. Situacija Cetinjskog polja pri ekstremnom hidrološkom stanju velikih voda (16-18 februar, 1986)

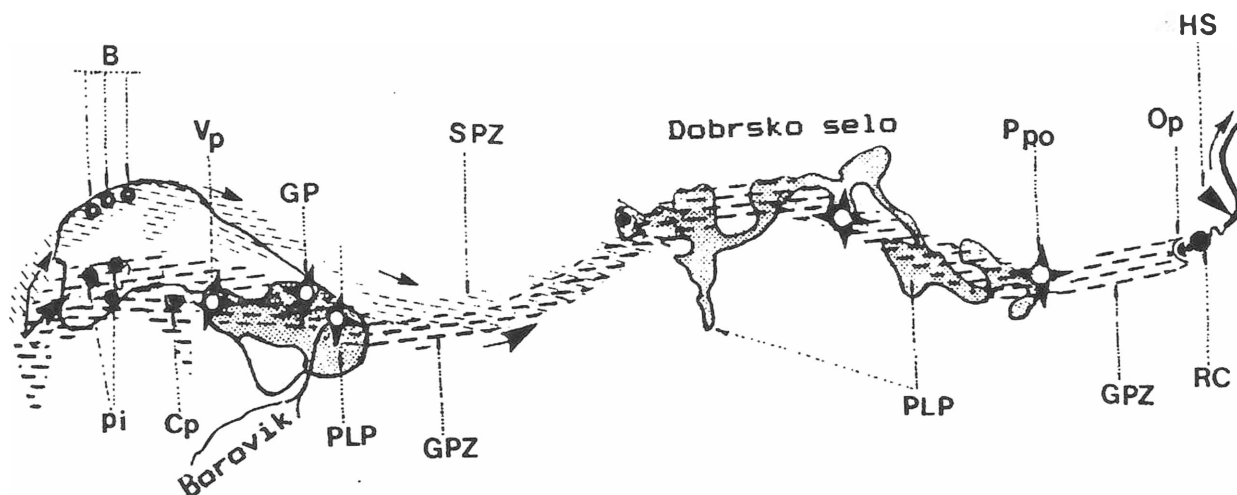
LEGENDA:



mogući glavni pravac kretanja podzemnih voda iz Cetinjskog polja

-  mogući sekundarni pravac kretanja podzemnih voda iz Cetinjskog polja
 zona pojave izvorišnih voda i bujica
 poplavljena- ponorska zona (Donje polje)
 povremena izvorišta
 ponori
 istražni bunari
Cp Cetinjska pećina

Ekstremno hidrološko stanje izazvalo je pojavu novih ponora, izvorišnih voda i plavljenja terena na putu ka izvoru rijeke Crnojevića. Obilaskom plavljenih područja registrovani su ovi prirodni fenomeni karsta. Logično je pretpostaviti, da se u uslovima ekstremnog hidrološkog stanja, najizraženiji efekti reakcije sistema odigravaju na dominantnim pravcima kretanja voda u podzemlju kraškog sistema. To znači da prostorni položaji pojavnih oblika kao efekata "rada" sistema sa manifestacijama na površini terena otkrivaju i najvjerovatniji položaj (pravac i smjer) pružanja primarne provodne zone sistema rijeke Crnojevića (sl.4.31).



SL.4.31. Identifikacija mogućeg položaja glavne provodne zone sistema na osnovu hidrološkog ekstremnog stanja u Cetinjskom polju (16-18 februar, 1986)

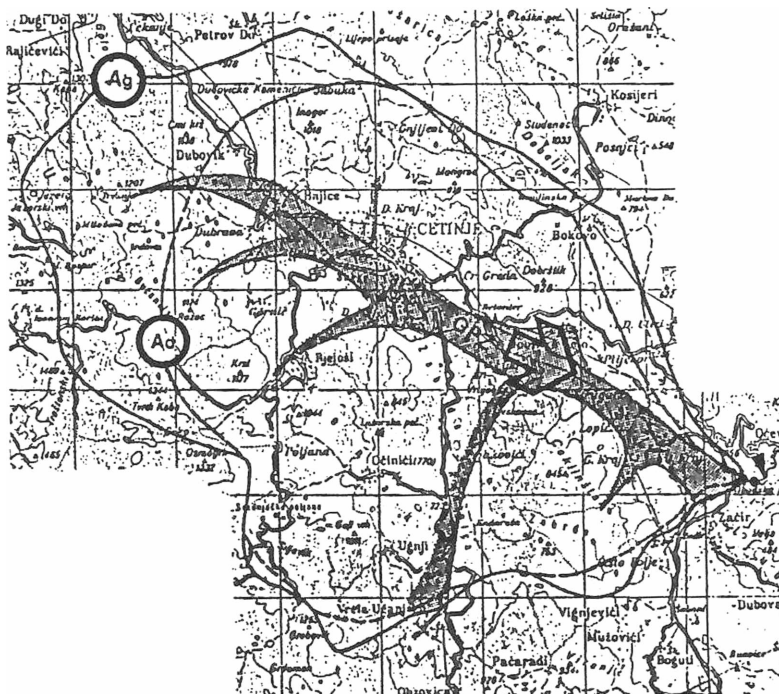
LEGENDA :

- PLP - poplavljeno područje
 GPZ - najvjerovatniji položaj glavne provodne zone
 SPZ - sekundarni pravac kretanja kraških voda
 Ppo - povremeni ponori

Cp	-	cetinjska pećina
B	-	istražni bunari
GP	-	glavni ponor
Dp	-	donji ponor
Vp	-	ponor u vladitičinoj bašti
pi	-	povremena izvorišta
Op	-	obodska pećina
RC	-	izvor rijeke crnojevića
HS	-	hidrološka stanica

Na osnovu svih predhodnih rezultata hidrološke analize za identifikaciju kraškog prostora i kretanja kraških voda u sistemu rijeke Crnojevića, prozilazi da je najvjerojatniji položaj granica sistema u neposrednoj zoni koncentrisanog karsta (sl.4.32). Odnosno, aktivna površina sistema locirana duž položaja glavne provodne (GPZ). Veličina površine sistema S(A) je unutar gornje granice veličine površine (Ag) i donje granice (Ad) odnosno, egzistira u omeđenom intervalu :

$$\begin{array}{l} \text{Ad} < \text{S(A)} < \text{Ag} \\ 70 \text{ km}^2 < \text{S(A)} < 120 \text{ km}^2 \end{array} \quad (4.6.12)$$



LEGENDA:

- GPZ - glavna provodna zona sistema
- Ag - gornja granica veličine površine sistema
- Ad - donja granica veličine površine sistema

SL.4.32. Intervalne granice površine sistema rijeke Crnojevića S(A)

5. HIDROLOŠKI BILANS SISTEMA

5.1. OSNOVNE TEORIJSKE POSTAVKE

Hidrološki bilans zasnovan je na zakonu o održanju mase a karakteriše proces kružnog kretanja vode u prirodi. Sastoji se od niza komponenti koje se, u skladu sa osnovnim smislom "bilans" mogu svrstati na tri osnovne grupe:

- Prihodne komponente bilansa : atmosferske padavine kao i svi drugi oblici dolaska vode iz atmosfere u sistemu i dotoci vode iz drugih sistema , bilo u vidu podzemnih voda ili, pak, površinskih voda.

- Rashodna komponenta bilansa : svi oblici isparavanja sa sliva i oticanje voda iz sistema površinskim ili podzemnim putem

- rezultujuća komponenta bilansa : smatra se veličinom promjena zaliha vlage u rečnom slivu, koja može biti pozitivni ili negativna veličina.

U suštini, hidrološki bilans nekog rječnog sliva (sistema) ili bilo kojeg drugog ograničenog prostora rezultat je kompleksnog dejstva vertikalnih promjena vlage uslovljenih termodinamičkim činiocima (*atmosferske padavine, sumarno isparavanje*) i horizontalnim promjenama vlage uslovljenih dejstvom hidrodinamičkih činioca (*površinsko, podzemno, rječno oticanje*). Što znači, da se komponente hidrološkog bilansa kao jedan prostorno vremenski kompleks može izučavati sa dva aspekta ; prostornog i vremenskog. Prostorni aspekt obuhvata izučavanje osobenosti raspodjele i varijacija količinskih pokazatelja svih komponenti bilansa u prostoru ili teritoriji (*bilo koja ograničena površina do ukupnog bilansa zemljine kugle*). Vremenski aspekt obuhvata varijacije bilansnih komponenti po vremenu ; višegodišnji period, hidrološka godina, sezona unutar godine ,mjesec, dekadno i dnevno. Takođe, izučavaju se pojedine karakteristične veze vodnog režima: period poplava, sušni period i slično. Metodi analize i određivanja komponenti vodnog bilansa u prostoru, se, u principu, razlikuje i zavisi u značajnoj mjeri o veličini analizirane površine sistema, kao i od stepena saglasnosti - poklapanja topografske i hidrološke vododjelnice sistema. Složenost izučavanja problema hidrološkog bilansa povećava se sa smanjenjem dužine vremenskog perioda u kojem se isti promatra. Bilans za jednogodišnji period, a naročito za periode kraće od jedne godine , predstavljaju složeni problem i ako su ovi bilansi od najvećeg teorijskog i praktičnog interesa.

Informacije klasičnih meteoroloških i hidroloških mjerenja i osmatranja su nedovoljna za punu korektnost rješavanja jednačina hidrološkog bilansa za kraći vremenski period : hidrološka godina (sezona, mjesec i dekada). Iz ovih razloga sprovode se kompleksna istraživanja na eksperimentalnim poligonima ili direktno u samom sistemu u vidu mjerenja i osmatranja bitnih elemenata hidrološkog bilansa, kao što su : režim površinskih i podzemnih voda, promjene NPV u toku vremena pri različitim hidrološkim stanjima u sistemu,

hidrogeološke karakteristike sistema, elementi radijacionog i toplotnog bilansa, potencijalno i stvarno isparavanje sa dinamikom promjene vlažnosti zemljišta i zraka, stepena i brzine infiltracije reterdajuće sposobnosti sistema i njegove kapacitativnosti uskladištenja vode u površinskim i podzemnim retenzijama-akumulacijama, geološko-pedološka struktura i debljine površinskog i kvazi površinskog prijemnog sloja aktivne površine sistem i drugi parametri specifični za određeni sistem.

Hidrološki bilans, u širem smislu, može se shvatiti kao metod naučnog istraživanja, koji omogućava da se dublje pronikne u hidrološke procese koji se odvijaju u sistemu i njihovim zakonomjernostima. Tehnika primjene u ovom slučaju se sastoji u postavljanju bilansnih jednačina (*jednačina kontinuiteta*), kojima se definiše veza između pojedinih komponenti bilansa za pojedine djelove sistema ili za sistem u cjelini u posmatranom vremenskom intervalu-periodu.

Različiti konceptualni modeli procesa padavine-oticanje i većina drugih postupaka primijenjenih u hidrološke proračune, baziraju na postulatu o održanju mase, odnosno na vodno-bilansnim metodama. Sa aspekta teorije sistema, hidrološki bilans se takođe može tretirati kao sistem od posebnih i međusobno povezanih podsistema u kojima se odvijaju različiti procesi transporta vlage i koji su u stanju dinamičke ravnoteže.

5.1.2. OSNOVNE JEDNAČINE HIDROLOŠKOG BILANSA

formulacije zakona o održanju mase kod hidrološkog bilansa sastoje se za određeni prostor (S) ograničen poznatom ili pretpostavljenom površinom (A) u posmatranom vremenskom intervalu sliva (Δt) i ukupnu vodenu masu (UL) koja uđe kroz prostor (S) za promatrani vremenski interval (Δt); da je jednaka vodenoj masi (IZ) koja iz nj izađe -uvećanoj ili smanjenoj za one količine vode (ΔV) za koje se uvećale ili smanjile vodene zalihe koje su postojale na početku vremenskog intervala za analizirani prostor (S). Opisani način formulacije vodnog bilansa kroz zakon održanju mase može se izraziti u obliku relacije :

$$UL(\Delta t) - IZ(\Delta t) = \pm \Delta V(\Delta t) \quad (5.1.1)$$

Gdje je:

UL(Δt) - *prihodna komponenta*
 IZ(Δt) - *izlazna komponenta*
 ΔV - *rezultujuća komponenta*
 Δt - *vremenski interval*

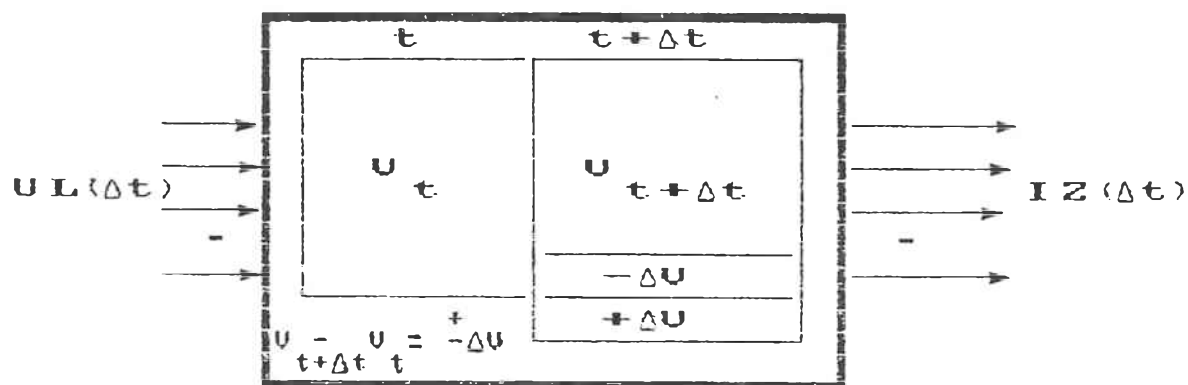
Pošto $\Delta V(\Delta t)$ predstavlja razliku između ukupnih zaliha vode u slivu na početku V_t i na kraju $V_{t+\Delta t}$ vremenskog intervala Δt to je :

$$V_t - V_{t+\Delta t} = \pm \Delta V(\Delta t) \quad (5.1.2)$$

iz čega slijedi da se 5.1.1 može napisati u obliku ,

$$V_t + UL(\Delta t) - IZ(\Delta t) = V_{t+\Delta t} \quad (5.1.3)$$

Izrazi 5.1.1 i 5.1.3 predstavljani su na blok šemi jednačina vodnog bilansa u osnovnom-nerazvijenom obliku (Sl.5.1). Za fiksirani vremenski interval može se izostaviti argument (Δt) , a u daljem razmatranju podrazumijevaće se pod nazivom "vremenski interval-period".



Sl.5.1. Blok šema osnovnih jednačina hidrološkog bilansa u relacijama 5.1.1 i 5.1.3

Komponente (UL) i (IZ) u gornjim jednačinama mogu se razložiti na veći broj komponenti, pri čemu ova razlaganja zavise od potreba izučavanja hidrološkog bilansa, od karakteristika i veičine površine sistema , kao i dužine vremenskog intervala za koji se sagledava hidrološki bilans.

5.2. BILANSNE JEDNAČINE ZA KRAŠKI SISTEM

Osnovne jednačine hidrološkog bilansa u predhodnim izrazima imaju važnost za bilo koju ograničenu površinu u prostoru i za posmatrani vremenski interval - period. U slučajevima kraških sistema , kao što je prostor sistema r.Crnojevića, gdje je koeficjent zakr- ašćenosti terena (fk) blizak jedinici.

$$fk = Ak/A \cong 1 \quad (5.2.1)$$

Gdje je:

A_k - površina sa fenomenom karsta
 A - ukupna površina sistema

odgovarajućem stanju holokarsta adekvatna bilansna jednačina može se napisati u vidu izraza :

$$P(t) - |E(t) + Q(t)| = D(t) \quad (5.2.2)$$

Gdje je:

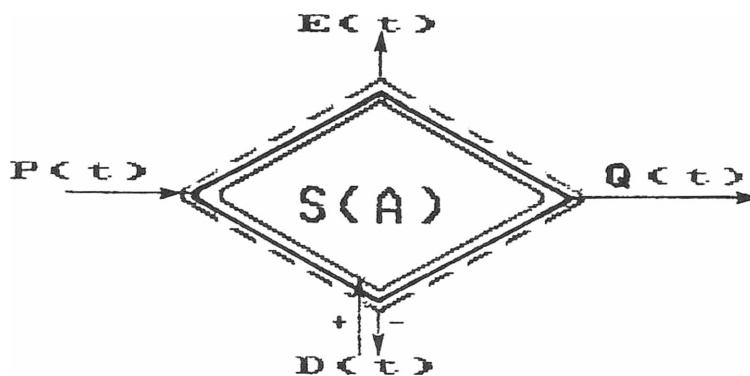
$P(t)$ - atmosferske padavine na aktivnoj- prijemnoj površini (A) sistema (S) preko koje se ostvaruje realizacija ulaza u sistem i transformaciju u oticanje pri hidrološkim procesu u kompleksnom kraškom podzemlju

$E(t)$ - sumarno-stvarno isparavanje sa aktivne površine (A) kraškog sistema (S) u zavisnosti vremenskog intervala (t)

$Q(t)$ - oticanje na izlazu iz kraškog sistema (S) sa aktivne površine (A) za promatrani vremenski interval (t)

$D(t)$ - Deficit ili višak oticanja na izlazu iz sistema (S) u posmatranom vremenskom intervalu (t)

Značenje relacije 5.2.2 prikazano je na blok dijagramu (Sl.5.2)



Sl.5.2. Blok dijagram jednačina hidrološkog bilansa za kraški sistem prema relaciji 5.2.2

Na slici 5.2. Predznak deficita oticanja $D(t)$ označen je različitim smjerom strelica, a promjena njegove vrijednosti direktno je u zavisnosti od promjene oticanja (Q), odnosno od veličine aktivne površine (A) sistema (S) koja je u startu nepoznata. Što znači, konvergencija apsolutne vrijednosti deficita (5.2.3) vrijednosti nula, je pokazatelj u strogo teorijskom smislu pri definisanju pripadne površine sistema. Međutim, u uslovima složenosti kraškog sistema, kao kriterijum za uspješnost rješavanja problema može se smatrati određivanjem veličine površine sistema, pri kojoj rješenja komponenti jednačine hidrološkog bilansa rezultiraju najmanju vrijednost deficita oticanja na izlaznom profilu sistema. Što znači, da se u najmanjoj vrijednosti deficita obezbeđuje i uslov najbolje pokrivenosti padavina sa oticanjem na izlazu iz sistema.

$$\lim |D(t)| \rightarrow 0 \quad \begin{array}{l} \text{za } t \rightarrow \text{višegodišnji period} \\ \text{za } t \rightarrow \text{hidrološka godina} \end{array} \quad (5.2.3)$$

Određivanje deficita (D) je u zavisnosti od tačnosti ostalih članova relacije (5.2.2). Greške koje se čine pri određivanju komponenti P , Q i E bitno utiču na veličinu i znak deficita. Što znači, da i nepoznata veličina površine (A) sistema (S) uslovljava konvergenciju lijeve strane jednačine 5.2.2 najmanjoj vrijednosti.

Međusobna zavisnost i uslovljenost komponenti bilansne jednačine zahtjeva optimalnu analizu njenih glavnih komponenti.

5.2. METODI ODREĐIVANJA GLAVNIH KOMPONENTI JEDNAČINE HIDROLOŠKOG BILANSA

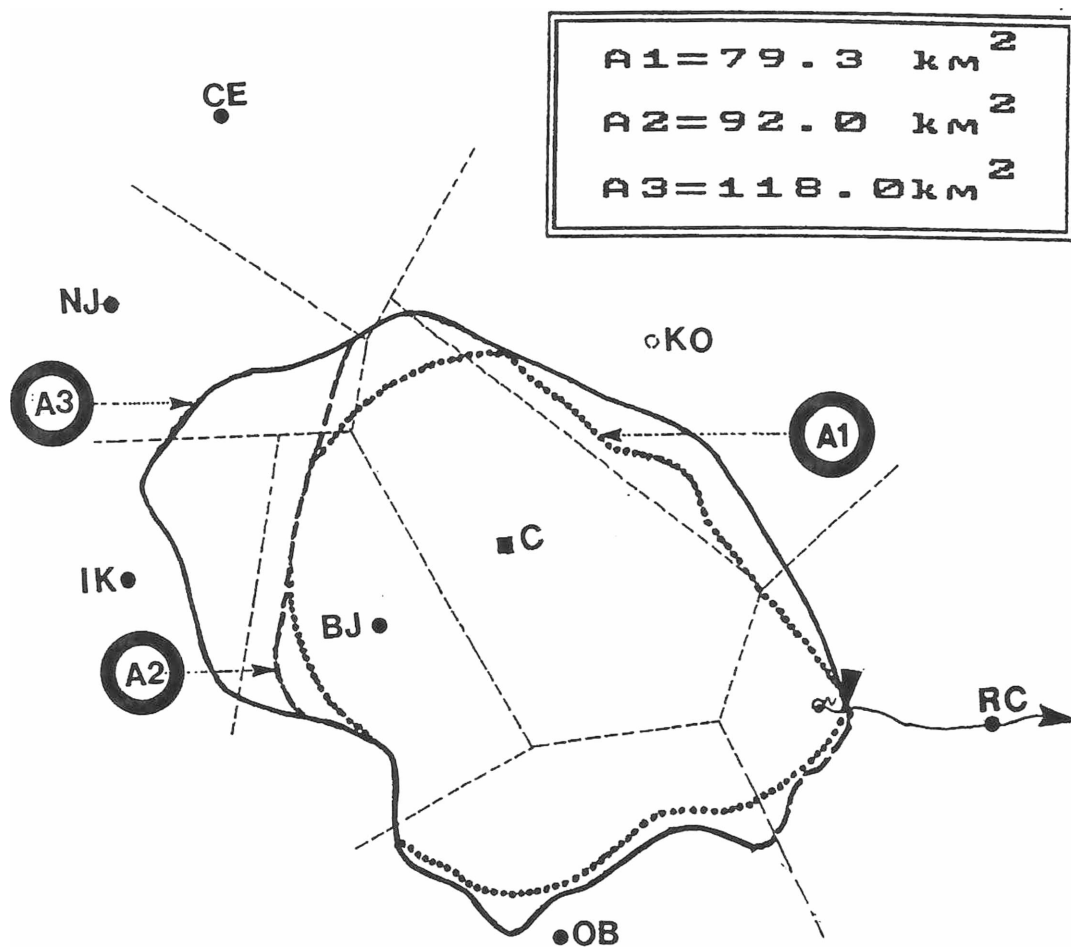
5.2.1. EKVIVALENTNA VISINA PADAVINA NA AKTIVNOJ POVRŠINI SISTEMA

Analiza prostorne varijacije padavina, sa osnovnim zadatkom određivanja ukupne zapremine, ili ekvivalentne visine padavina na aktivnu površinu (A) sistema (S) od suštinskog je značaja za određivanje hidrološkog bilansa. Problem ima svoju težinu u slučajevima tretmana kraških sistema, gdje se topografska i hidrološka vododjelnica ne poklapaju, odnosno veličina površine sistema kao nepoznata predstavlja okosnicu rješavanja problema hidrološkog bilansa u kraškom sistemu. Polazna saznanja o veličini aktivne površine sistema, sadržana su :

■ u rezultatima izvršene hidrološke analize sistema pri različitim hidrološkim stanjima; na osnovu hidroloških parametara identifikacije kretanja kraških voda u zonama koncentrisanih kraških fenomena sistema.

■ u raspoloživim informacijama interdisciplinarnog istraživanja sistema r.Crnojevića, prvenstveno iz domena geofizičke izučenosti sliva.

Pošto se radi o kompleksnom kraškom sistemu sa izraženom komponentom slučajnosti prostorne geometrije pukotinskog i prslinskog sistema kao i složenosti prostornog uticaja primarne provodne zone na dreniranje kraških voda sa pripadnih-aktivnih površina sistema; to se u polazištu tretiraju tri različite površine sistema (sl.5.3).



LEGENDA:

- - meteorološka stanica
- - padavinska stanica

C - Cetinje	RC - Rijeka Crnojevića
OB - Obzovica	CE - Ceklići
BJ - Bjeloši	KO - Kosijeri (postavljena 1989)
NJ - Njeguši	

Sl.5.3. Situacija polazaja mreže padavinskih stanica sa polaznim površinama sistema

Na osnovu polaznih granica, odnosno površina kraškog sistema (varijantna polazišta) i osmotrenih padavina na šest padavinskih i na jednoj meteorološkoj stanici (Cetinje) izvršen je proračun ekvivalentnih visina padavina za tri pretpostavljene površine sistema.

je zasnovan na primjeni dvije objektivne metode :

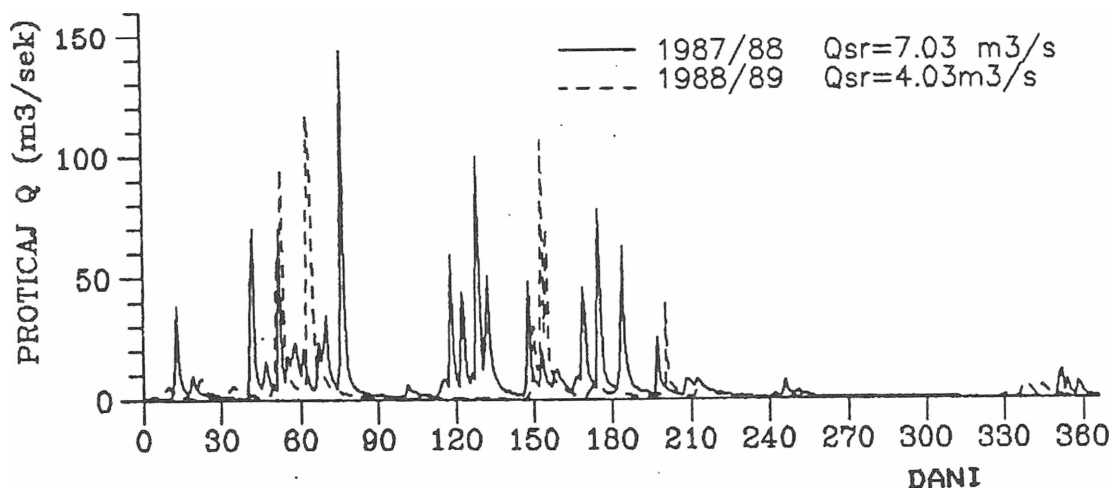
- o Thiessen-ovi poligoni
- o hipsometrijski metod

Rezultati proračuna po oba metoda pripadaju domenu realnih i prihvatljivih odstupanja. Naime, prostorni raspored padavinskih stanica ne pokriva središnje djelove prostora sliva, već je na granicama ili van granica sistema. Ipak, lokacija meteorološke stanice Cetinje u središnjem dijelu sistema Cetinjskog polja kao dominantnog sa udjelom površine u odnosu na ukupnu površinu sistema bitno eliminiše nepovoljnost prostornog rasporeda ostalih padavinskih stanica. Za dvije klimatološke stanice (Ivanova korita, Bjeloši) zbog prestanaka njihovog rada izvršeno je produžavanje niza višestrukom korelacionom analizom pomoću pouzdanog niza meteorološke stanice Cetinje. Osmotreni i produženi nizovi padavina dati su u prilogima (PRILOG. 11,12,13)

Određivanje padavina na površini sistema obuhvata period dvije hidrološke godine 1987/1988 i 1988/1989 godina (PRILOG. 14). Obe hidrološke godine sadrže u sebe dva karakteristična hidrološka stanja r.Crnojevića. Odnosno, 1987/88 predstavlja hidrološku vodnu a 1988/89 hidrološku sušnu godinu. Na ovaj način, problem konačnog definisanja veličine površine sliva metodom bilansa daje mogućnost sagledavanja "stalnosti" veličine površine sistema u zavisnosti pojave karakteristične hidrološke godine.

5.2.2. ODREĐIVANJE OTICAJA NA IZLAZU IZ SISTEMA

Određivanje oticaja na izlaznom profilu r.Crnojevića izvršeno je na osnovu direktnih mjerenja proticaja u zavisnosti promjene amplitude vodostaja na hidrološkoj stanici r Crnojevića. Na osnovu uspostavljene jednoznačne veze $Q=f(H)$ sračunati su dnevni proticaji na izlaznom profilu sistema, odnosno definisani su hidrogrami dnevnih proticaja (sl.5.4, prema PRILOGU. 15,16) za dve karakteristične hidrološke godine.



Sl.5.4. Hidrogrami godišnjih oticanja na izlaznom profilu sistema r.Crnojevića

Količnik srednjih godišnjih proticaja hidrološke 1988/89 : 1987/88 je:

$$K = 0.57 \quad (5.2.4)$$

Gornja vrijednost (K) može se smatrati kao mjera vodnosti između dve karakteristične hidrološke godine, koja je značajno izražena. Na osnovu proračuna ekvivalentne visine padavina za pretpostavljene površine sistema (tabela.1,2,3,4,5,6) i grafičkih prikaza uporednog sagledavanja mjesečnih visina padavina i odgovarajućih mjesečnih oticanja u sumarnom obliku proizilazi najbolja "pokrivenost" padavina sa oticanjem za pretpostavljenu površinu sliva od 79,3 km² (Sl.5.5 - 5.7). Ovo je i logička posljedica rezultata hidrološke analize koji su indicirali lokaciju površine sistema neposredno duž glavne provodne zone. Veličina ove površine S(A) je u predhodno izloženim intervalnim granicama od 70 km² do 118 km². Početna, globalna provjera moguće veličine površine iz ovih intervalnih granica izvršena je redukcijom bruto padavina (P) u neto padavine (P_e) preko proračuna isparavanja (E) po indirektnoj metodi TURC-a

$$E = \frac{P}{\{0.90 + \left| \frac{P}{I_T} \right|^2\}^{1/2}} \quad (5.2.5)$$

Gdje je

E - godišnja evapotranspiracija (mm)

P - godišnje padavine u sistemu (mm)

$$I_T = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^3$$

T = srednja god. temperatura zraka (°C)

Za hidrološku vodnu godinu 1987/88 : P = 3709 mm , T = 10.2 °C

$$\text{Prema : } 5.2.5 \Rightarrow E = 601 \text{ mm} \Rightarrow (P-E) = 3088 \text{ mm} = P_e = H_Q \quad (5.2.6)$$

Gdje je

H_Q - visina oticanja na izlaznom profilu sistema (mm)

$$H_Q = \frac{Q_w}{1000 \cdot A} \quad (5.2.7)$$

Gdje je

Q_w = Q · T - zapremina ukupnog godišnjeg oticanja (m³)

Q - Q_{sr.god.} proticaj na izlaznom profilu sistema (m³/s)

T - zadati vremenski interval (sec)

A - veličina površina sistema (km²)

Za hidrološku vodnu godinu 1987/88 : Q = Q_{sr.god.} = 7.03 m³/s

Na osnovu izraza 5.2.6 i 5.2.7 dobija se izraz za veličinu površine sistema :

$$A = \frac{Q * T}{1000 * (P-E)} \quad (\text{km}^2) \quad (5.2.8)$$

Na osnovu izloženih numeričkih vrijednost, a prema izrazu 5.2.8 za hidrološku vodnu 1987/88. veličina površine sistema iznosi:

$$A = 72.00 \text{ km}^2 \quad (5.2.9)$$

Vrijednost deficita oticanja (P-Q) za površinu sistema od 79.3 km² u odnosu na ostale dvije (92.0 km² i 118 km²) najmanje odstupa od deficita oticanja za početnu vrijednost površine sistema A= 72 km²

tabela.1

1987/88

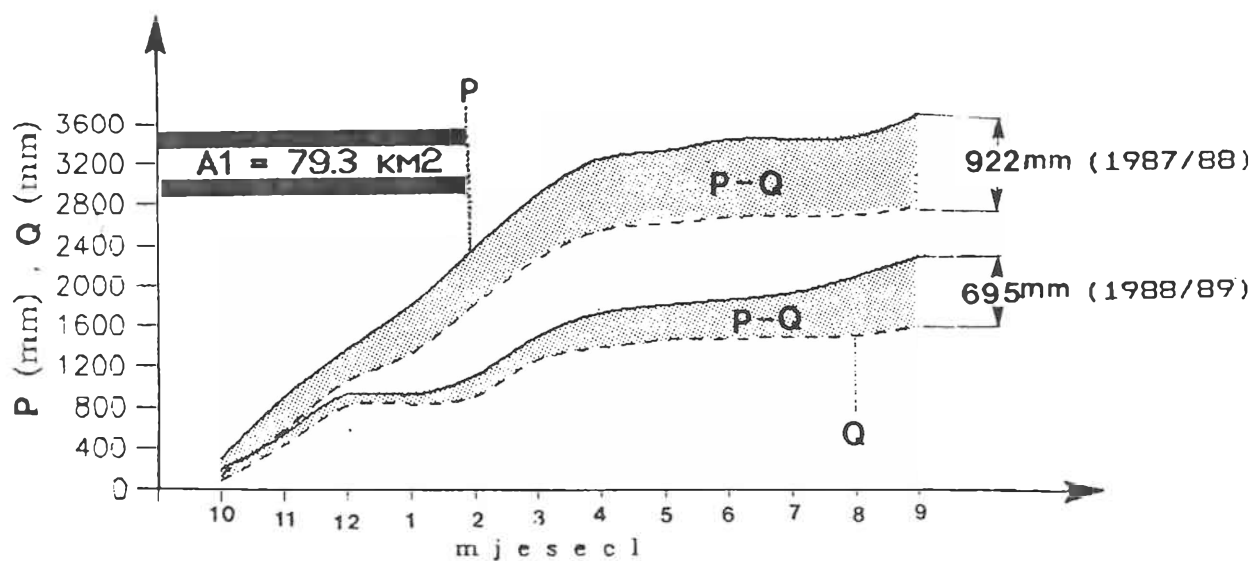
KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESECNE URIJEDNOSTI (mm)												God. (mm)	P-Q (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
P-Padavine	291	602	476	437	578	519	351	80	105	6	22	242	3709	922
Q-Oticaj	126	451	473	280	483	463	278	71.7	54.6	17.5	14.2	75.8	2787	

$$A1 = 79.3 \text{ km}^2$$

tabela.2

1988/89

KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESECNE URIJEDNOSTI (mm)												God. (mm)	P-Q (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
P-Padavine	185	349	392	4	189	385	231	73	57	67	171	194	2299	695
Q-Oticaj	79	346	385	23	79	361	118	73	15	11	17	97	1604	



SL.5.5. Uporedni prikaz sumarnih mjesečnih padavina i oticanja za A1=79.3km²

tabela.3

1987/88

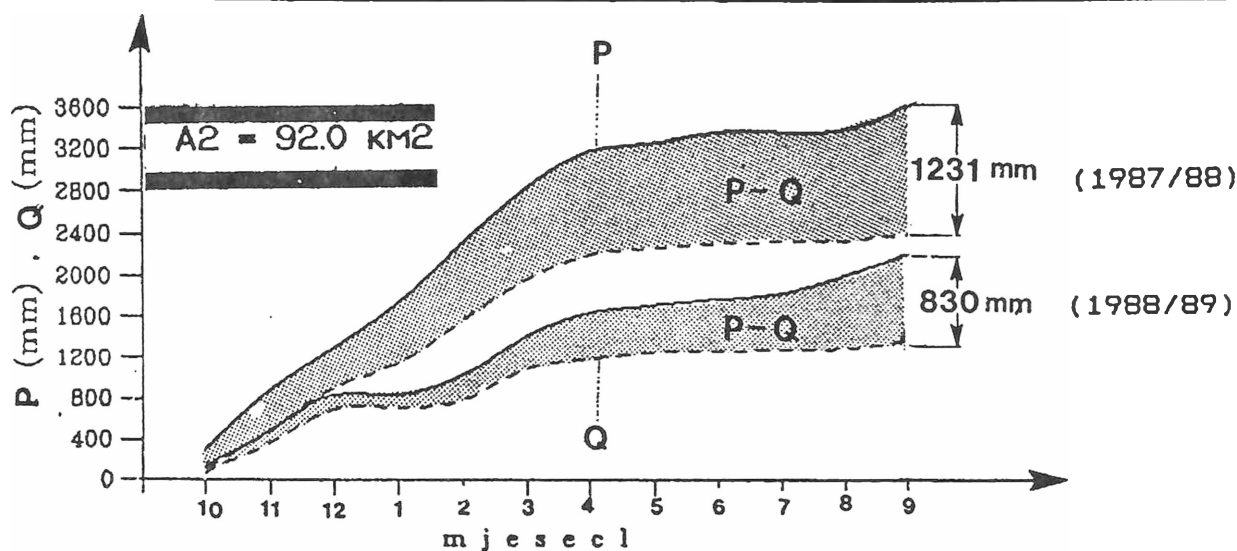
KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESEČNE VRIJEDNOSTI (mm)													God.	P-Q
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	(mm)	(mm)	
P-Padavine	299	582	420	433	576	517	350	81	105	6	22	242	3633	1231	
Q-OticaJ	108	388	408	241	417	399	239	61.7	47.9	15.1	12	65	2482		

tabela.4

1988/89

A2 = 92.0 km2

KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESEČNE VRIJEDNOSTI (mm)												God.	P-Q
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	(mm)	(mm)
P-Padavine	182	307	350	4	188	382	230	74	57	60	174	204	2212	830
Q-Otlocaj	68	298	332	19.5	68.3	311	102	62.3	13	9	15	84	1382	



SL.5.6. Uporedni prikaz sumarnih mjesečnih padavina i oticanja za A2 = 92 km2

tabela.5

1987/88

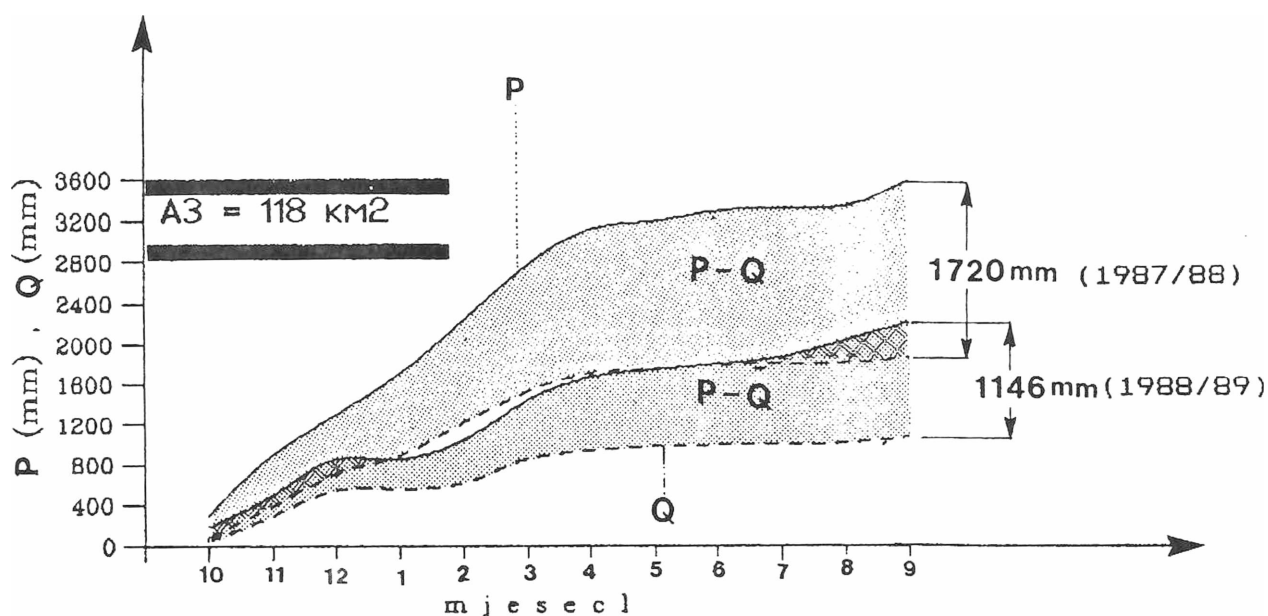
KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESEČNE VRIJEDNOSTI (mm)													God.	P-Q
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	(mm)	(mm)	
P-Padavine	291	601	406	406	538	528	358	82	98	23	21	239	3591	1720	
Q-Oticaj	84	303	317	188	325	311	187	46	37	12	10	51	1871		

tabela.6

1988/89

A3 = 118 km2

KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESEČNE VRIJEDNOSTI (mm)													God. (mm)	P-Q (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
P-Padavine	184	312	356	3	192	394	231	74	58	71	171	177	2223	1146	
Q-Oticaj	53	233	259	15	53	242	79	49	10	7	12	65	1877		



Sl.5.7. Uporedni prikaz sumarnih mjesečnih padavina i oticanja za $A_3=118 \text{ km}^2$

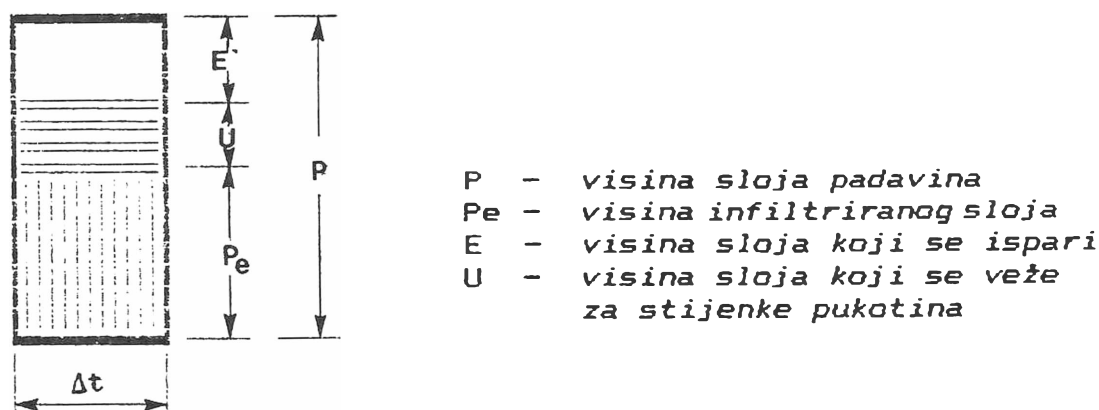
5.2.3. ODREĐIVANJE ISPARAVANJA SA AKTIVNE POVRŠINE SISTEMA

Isparavanje kao fizički proces prenošenja vodene pare sa aktivne površine u atmosferu predstavlja složeni problem u rješavanju jednačine hidrološkog bilansa. U prirodnim uslovima aktivna površina je slobodna vodena površina, zemljište i vegetacija.

Na kraškom području određivanje veličine isparavanja predstavlja posebnu teškoću pošto nedostaju eksperimentalni podaci o stvarnom isparavanju u postojećim vremenskim uslovima i uslovima vlažnosti krša. Hidrološka analiza kretanja kraških voda a posebno brzina reakcije sistema na padavinske impulse sa pretežno visokim koeficijentom oticanja indicira o pojavi malih gubitaka na isparavanje. Razlog tome je posljedica slabe zastupljenosti rastresitog, pokrivača, ili pak, njegovog nepostojanja u uslovima golog krša u sistemu r.Crnojevića. Što znači, da se padavine na površini ili u površinskom sloju (epikrastu) kratko zadržavaju. Međutim, i ako su gubici na isparavanje (stvarna evapotranspiracija) u kraškom sistemu manji ili mali u odnosu na nekraške sisteme, oni imaju bitan značaj kod bilansiranja kraških voda i konačnih rješenja bilansne jednačine. Za njegovu procjenu korišćene su indirektno metode koje u svojim postavkama sadrže rješenja koja konvergiraju mogućim graničnim ili približnim vrijednostim isparavanja.

■ Ocjena isparavanja po metodi koeficijenta oticanja u zavisnosti od temperature zraka dan prije početka kišne epizode

Metoda, ili više pokušaj za ocjenu isparavanja, proizišla je prema istraživanjima oticanja u kraškim sistemima (Avdagić, 1987). Bazi-
rajući se na specifičnosti krša, ovaj metod svodi redukciju bruto
padavina u neto padavine na određivanje isparavanja do kojeg dola-
zi u periodu trajanja kišne epizode, odnosno u periodu padavina
(sl.5.8). Mala poroznost (do 5%) i povezanost pukotinskog sistema
(V) ukazuje na vrlo malu količinu padavina koja se vezuje za tlo,
a to znači da je količina isparavanja (E) vezana za tlo mala, i
ako se taj proces odvija kroz duži period.



Sl.5.8. Dekompezacija sloja pale vode po procesima u toku kišne epizode na kraškom sistemu (AVDAGIC, 1987)

Polazeći od postavke da je isparavanje (E_i) složen klimatski proces i da je srazmjerano deficitu vlažnosti (d) :

$$E_i = \gamma(d) \quad (5.2.5)$$

$$d = e_s - e \quad (5.2.6)$$

Gdje je

e_s - napon zasićene vodene pare

e - stvarni napon vodene pare

Gornje vrijednosti napona zavise od temperature zraka ,odnosno od psihometrijske razlike ($\Delta\Theta$) i pritiska vazduha (Pa). Gdje je psi-
hometrijska razlika $\Delta\Theta$ razlika temperature suvog termometra (Θ) i
temperature mokrog termometra (Θ'). Uvodeći zavisnost za napon vo-
dene pare:

$$e = e_s - 0.00079 \text{ Pa } (\Theta - \Theta') \quad (5.2.7)$$

u izrazu (5.2.6) dobija se da su deficit vlažnosti, odnosno isparavanje, zavisni od psihometrijske razlike i pritiska vazduha :

$$d = 0.00079 \text{ Pa } (\Theta - \Theta') \quad (5.2.8)$$

$$E_i = f | (\Theta - \Theta') \text{ Pa } | \quad (5.2.9)$$

Pošto atmosferski pritisak (Pa) varira u toku godine i između pojedinih vremenskih intervala ali da te varijacije nemaju bitnog značaja, te se isti uzima kao konstanta sliva :

$$E_i = b (\Theta - \Theta') \quad (5.2.9)$$

Iz saznanja da je debljina rastresitog pokrivača mala i da je veza na voda u površinskom sloju beznačajna može se za dnevne vrijednosti prema (5.8) napisati:

$$P_e = P - E_i \quad (5.2.10)$$

Gdje je

P_e - *efektivne padavine (mm)*

P - *bruto padavine (mm)*

E_i - *isparavanje (mm)*

i koeficijent oticanja :

$$\eta = \frac{P_e}{P} \quad (5.2.11)$$

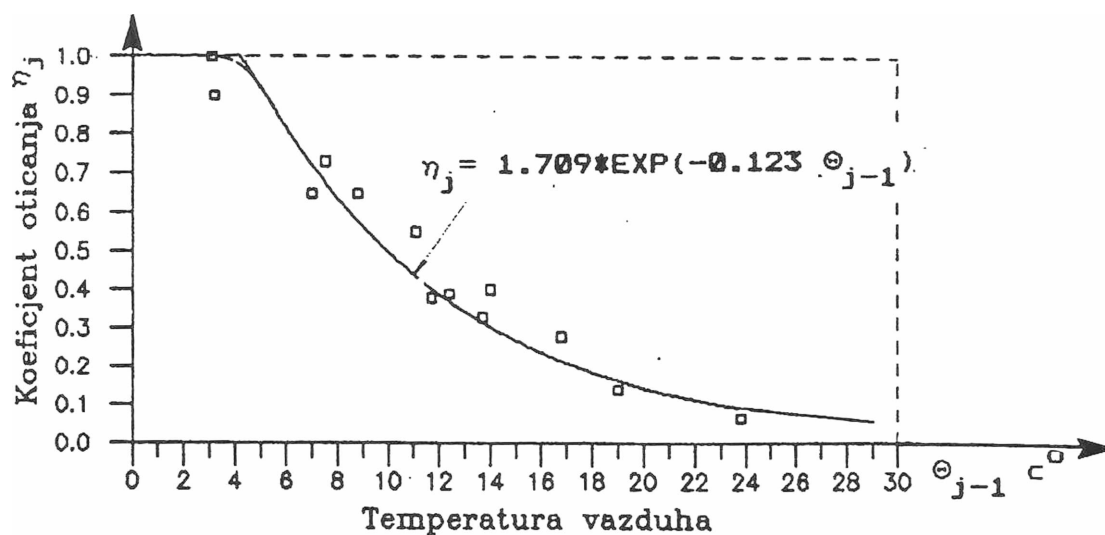
Dovođenjem isparavanja sa psihometrijskom razlikom i činjenicom da je u toku padanja kiše ta razlika vrlo mala predstavlja suštinu postupka za uspostavljanje zavisnosti redukcije padavina od razlike temperature zraka dana prije početka kišne epizode i temperature na dan početka kišne epizode:

$$\eta_j = f(\Theta_{j-1}) \quad (5.2.12)$$

Na osnovu izraza (5.2.12) isparavanje u toku trajanja jedne intezivne kišne epizode :

$$E_i = P(1 - \eta)$$

Predhodnom analizom izvršen je izbor intezivnih kišnih epizoda za hidrološku 1987/88 i 1988/89 godinu u zavisnosti od temperature zraka jedan dan prije početka kiše i sračunat koeficijent oticanja za predpostavljene površine sistema (sl.5.9, prema PRILOGU.17)

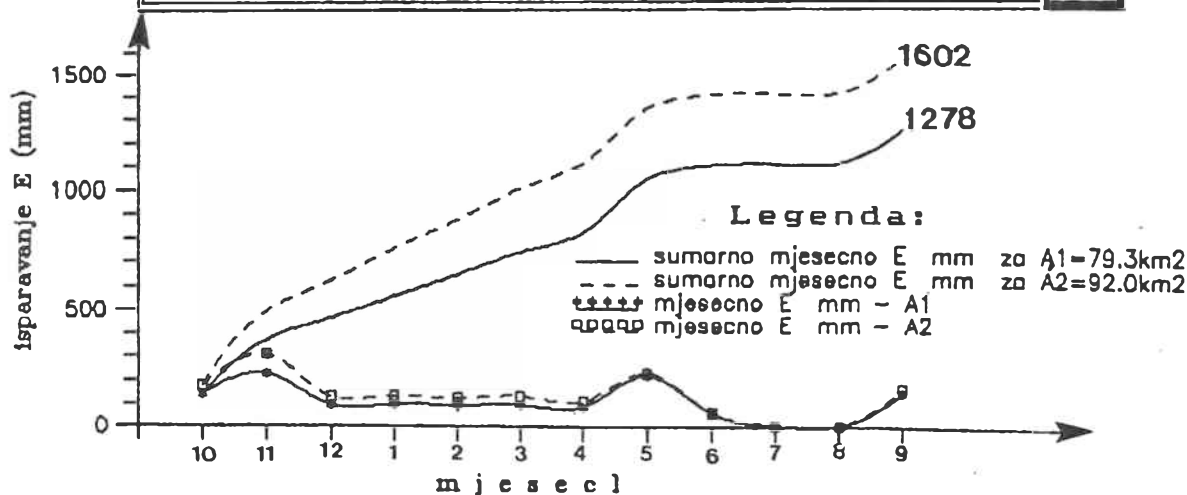


Sl.5.9. Zavisnost koeficijenta oticanja (η_j) od temperature zraka predhodnog dana θ_{j-1}

Na osnovu uspostavljene zavisnosti koeficijenta oticanja od temperature predhodnog dana izvršen je proračun dnevnog isparavanja prema (5.2.13) za površine sistema A1 i A2 sa prikazom mjesečnog i sumarnog isparavanja po mjesecima za hidrološku 1987/88. (Sl.5.10, prema PRILOGU. 18,19)

1987/88

A (km ²)	Mjesečne vrijednosti isparavanja - AVDAGIC E mm												E _g mm
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
79.3	140	233	94	94	91	94	187	226	61	5	5	148	1278
92.0	181	313	132	132	124	133	111	237	61	5	5	168	1602



Sl.5.10. Prikaz mjesečnog sumarnog isparavanja prema izrazima 5.2.12 (η_j) i 5.2.13 (E_i)

■ Ocjena potencijalnog-maksimalnog isparavanja (PENMAN)

Ovo je indirektna kombinovana metoda za određivanje potencijalnog isparavanja sa vodene površine ili maksimalne količine vode koja bi mogla da se ispari pri određenim vremenskim uslovima. Ovaj termin se u prvo vrijeme odnosio samo na vodenu površinu, ali je kasnije proširen i na druge aktivne površine, pod uslovom da ima dovoljno vode. Isparavanje sa vodene površine je uvijek potencijalno, dok je kod zemljišta to slučaj samo ako je ono zasićeno do punog vodnog kapaciteta. Ako se pođe od toga da i isparavanje zasićenog zemljišta i isparavanje sa slobodne vodene površine zavise samo od evaporacione moće vazduha, u primijenjenom inženjerstvu vrlo se često uzima isparavanje sa slobodne vodene površine kao mjera za isparavanje vlažnog zemljišta. Međutim, dok u zasićenom zemljištu potencijalno i stvarno isparavanje imaju približne vrijednosti, u nezasićenom zemljištu, u uslovima nedovoljne vlažnosti, oni se mogu znatno razlikovati. U našim umjerenim širinam najveće razlike nastaju u periodu ljetnih suša, kada je stvarno isparavanje blisko nuli, a potencijalno, zbog visoke temperature i velikog deficita zasićenosti vazduha, ima vrlo visoke vrijednosti.

Penmanova metoda zasnovana je na kombinaciji aerodinamičke metode i metode bilansa energije za izračunavanje isparavanja sa slobodne vodene površine, vlažnog zemljišta bez vegetacije i evapotranspiracije. Ocjena isparavanja po ovoj metodi ima cilj definisanja maksimalno mogućeg isparavanja, ili gornje granice pri ocjeni stvarnog isparavanja u zadatom periodu. Opšti oblik jednačine je :

$$E_o = \frac{\Delta H/L + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \quad (\text{mm/dan}) \quad (5.2.14)$$

Gdje je

Δ - dimenzionalni parametar (mm/°C)

H - bilans toplote, neto količina energije na površini zemlje, odnosno razlika između kratkotalasnog (R_1) i dugotalasnog izračivanja (R_B) J/cm²/dan

L - latentna toplota isparavanja : 247 J/cm²/dan = 1mm vodene pare

γ - psihometrijska konstanta (0.653)

E_a - energija utrošena na isparavanje (riješena primjenom aerodinamičke metode (mm/dan)

$$H = R_1 - R_B \quad (\text{J/cm}^2/\text{dan}) \quad (5.2.15)$$

$$R_1 = R_a(0.18 + 0.55 n/N)(1 - r) \quad (\text{J/cm}^2/\text{dan}) \quad (5.2.16)$$

Gdje je: R_a - globalno sunčevo zračenje (J/cm²/dan)
 n - stvarni broj časova sijanja sunca u mjesecu
 N - mogući broj časova sijanja sunca u mjesecu
 r - koeficijent refleksije (usvojeno $r=0.60$)

$$R_B = \sigma^4 * T_a (0.47 - 0.067 * e^{1/2}) * (0.20 + 0.80 * n/N) \quad (J/cm^2/dan) \quad (5.2.17)$$

Gdje je:

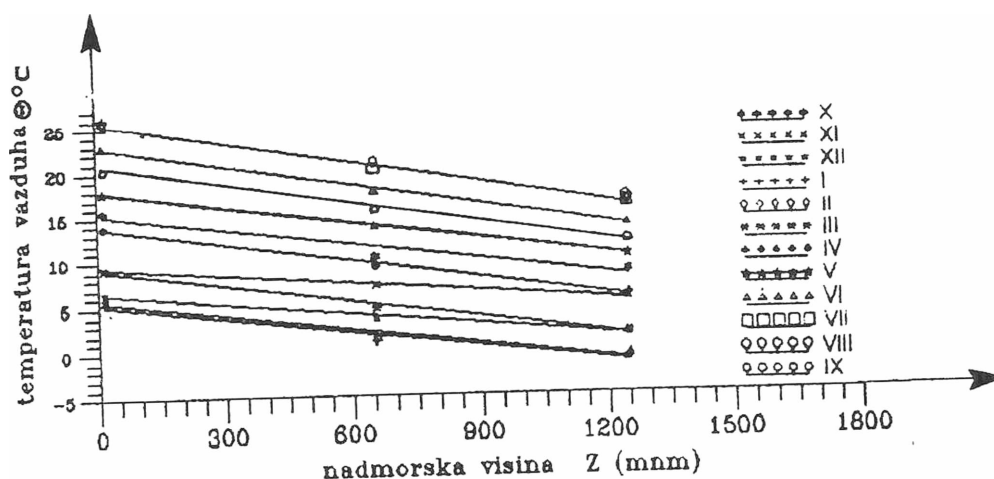
$T_a = 273 + T$ C⁰ - apsolutna temperatura
 $\sigma = 493 * 10^{-9}$ - konstanta

$$E_a = 0.263 (e_s - e) * (0.50 + 0.54 u_2) \quad (5.2.18)$$

Gdje je:

e_s - napon zasićene vodene pare (mb)
 e - stvarni napon vodene pare (mb)
 u_2 - brzina vjetra na visini od 2m (m/s)
 (srednja mjesečna vrijednost)

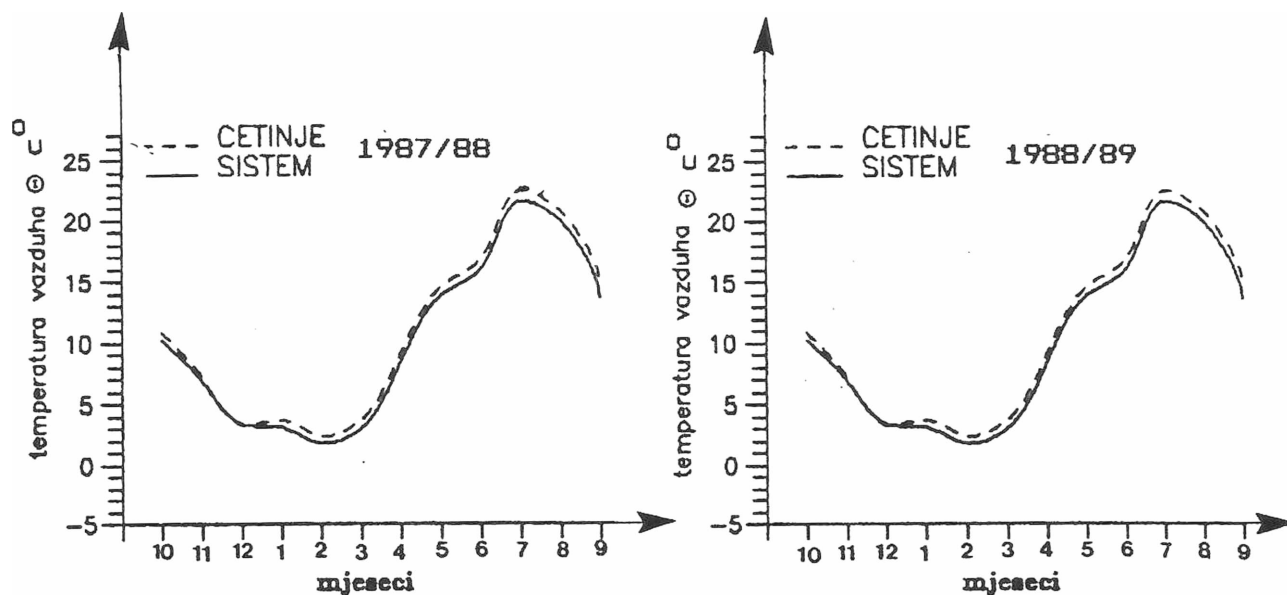
Dva bitna parametra ove metode su temperatura vazduha i brzina vjetra. U ovom smislu izvršeno je određivanje temperature na širem području pretpostavljenog sistema. Na osnovu postojećih osmatranja temperature zraka za tri klimatološke stanice u periodu 1956-1965 uspostavljena je linearna zavisnost između temperature i i nadmorske visine sistema (Sl.5..11, prema PRILOGU.22)



Sl.5.11. Dijagrami zavisnosti mjesečnih temperatura vazduha u zavisnosti od nadmorske visine sistema

Na osnovu uspostavljenih zavisnosti mjesečnih temperatura vazduha od nadmorske visine i raspoloživih podataka o temperaturi sa meteorološke stnice Cetinje za 1987/88 i 1988/89 (PRILOG. 20,21,22) sračunate su temperature na području predpostavljenih granica sistema odnosno lokacijama padavinskih stanica. Na osnovu rezultata proračuna i grafičkog prikaza, pokazuje se da su mjesečne temperature vazduha na području sistema nešto niže od mjesečnih temperatura Cetinja kao središnje lokacije sistema r.Crnojevića (SL.5.12).

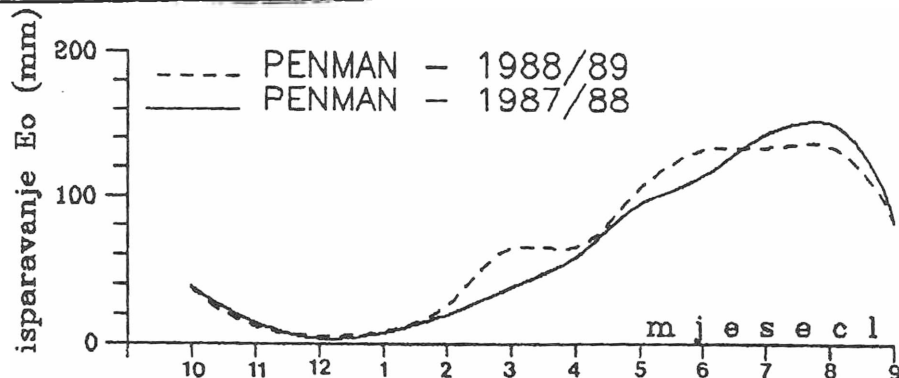
GODINA	Mjesečne vrijednosti temperature zraka u sistemu $\theta(^{\circ}\text{C})$												$\theta_{\text{sr.g}}$ ($^{\circ}\text{C}$)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1987/88	10.3	6.9	3.4	3.1	1.8	3.0	8.4	13.8	16.0	21.6	20.0	13.7	10.2
1988/89	9.2	0.8	0.6	-1.0	2.2	6.5	9.1	11.9	14.8	18.8	17.9	13.7	8.7



Sl. 5.12. Uporedni prikaz mjesečnih temperatura vazduha za Cetinje i područje sistema

Na osnovu definisane temperatura u području sistema kao i meteoroloških podataka osmotrernih u području Cetinja izvršen je proračun potencijalnog isparavanja po metodi Penmana. Rezultati proračuna proračuna za hidrološku 1987/88 i 1988/89. su bliskih vrijednosti a veličine mjesečnog isparavanja slijede količinu toplotne energije. Niske temperature u jesenjem i zimskom periodu kao i izrazito male brzine vjetra u središnjem- dominantnom području sistema (Cetinje) posljedica su relativno niskih vrijednosti potencijalnog isparavanja u periodu oktobar - mart (Sl.5.13, prema PRILOGU. 23)

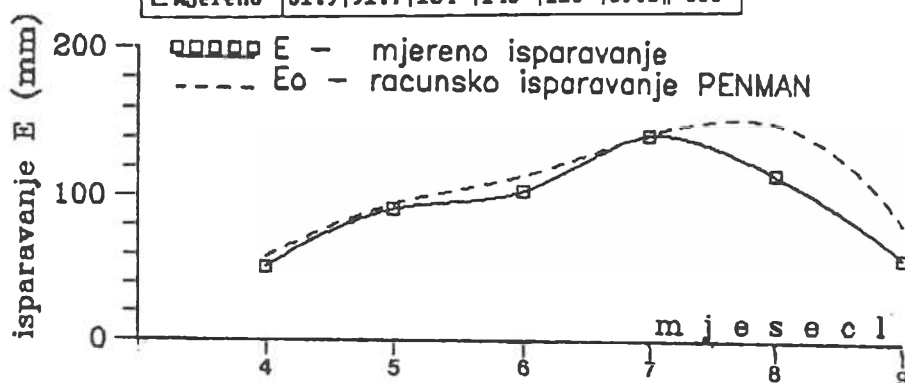
GODINA	Mjesečne vrijednosti isparavanja—PENMAN Eo mm												Eo mm/GOD.
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1987/88	39	15	4	8	20	38	59	95	115	144	152	83	772
1988/89	38	12	6	9	26	65	66	106	133	135	136	83	815



Sl.5.13. Prikaz rezultata proračuna potencijalnog isparavanja sa vodene površine (PENMAN)

Provjera dobijenih rezultata potencijalnog isparavanja po Penmanu izvršena je preko eksperimentalnog mjerenja isparavanja sa slobodne vodene površine pomoću isparitelja klase A u Cetinju (april-septembar, 1990). Upoređivanje je izvršeno sa 1988 za isti period sa vrlo bliskim mjesečnim temperaturama zraka. Na grafičkom prikazu (Sl.5.14) uočljive su podudarnosti računskih i izmjerenih vrijednosti potencijalnog isparavanja, izuzimajući mjesec avgust i septembar gdje su izmjerene vrijednosti izraženije nižih vrijednosti u odnosu na računske. U svakom slučaju izmjerene vrijednosti isparavanja pokazuju da su računske vrijednosti isparavanja po Penmanu gornja granica pri ocjeni stvarnog isparavanja u sistemu.

E (mm)	Mjesečne vrijednosti (mm)							ΣE (mm)
	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
E (PENMAN)	59.0	95.0	115	144	152	83.0	648	
E _{izmjereno}	51.9	91.7	104	143	116	59.0	566	



Sl.5.14. Uporedni prikaz rezultata računskog i izmjerenog isparavanja

Zavisno od koeficijenta refleksije (r) pri održivanju bilansa toplote, dobija se isparavanje sa slobodne vodene površine, vlažnog zemljišta ili potencijalna evapotranspiracija (PET). Evapotranspiracija pored isparavanja sa zemljišta i vodene površine obuhvata i transpiraciju kao fiziološki proces isparavanja vode sa površine lista, stabljike i drugih biljnih djelova. Pored meteoroloških parametara, transpiracija je zavisna i od fizioloških osobina biljke, faze razvića, razvijenosti korjenovog sistema broja i rasporeda stoma. Šikarasta niska šuma, degradirani i veoma degradirani tipovi vegetacije na tzv. ljutom kršu, prilagođeni su vrlo nepovoljnim uslovima razvoja korjenog sistema na gruboj skeletnoj podlozi sa dubokim pukotinama i škrapama u uslovima deficita vode u vegetacionom periodu. Što znači, da biljni pokrivač na ovom prostoru egzistira pod vrlo niskim koeficijentima transpiracije u periodu sa najvećim toplotnim bilansom, odnosno isparavanjem sa aktivne površine.

$$PET = \alpha * E_o \quad (mm) \quad (5.2.18)$$

Gdje je : E_o - isparavanje po PENMANU (mm) - sl.5.13

$$\begin{aligned} \alpha (XI, XII, I, II) &= 0.60 ; \alpha (V, VI, VII, VIII) = 0.80 \\ \alpha (III, IV, IX, X) &= 0.70 ; \end{aligned} \quad (5.2.19)$$

Na osnovu izraza 5.2.18 i 5.2.19 dobijaju se vrijednosti za PET :

$$\begin{aligned} Za \quad 1987/88 &\Rightarrow PET = 587 \text{ mm} \\ Za \quad 1988/89 &\Rightarrow PET = 611 \text{ mm} \end{aligned} \quad (5.2.20)$$

■ Ocjena isparavanja LANGBEIN-ovim postupkom

Postupak se svodi na indirektno određivanje isparavanja kroz definisanje prosječnog oticanja u slučajevima kada su na raspolaganje samo podaci o padavinama i temperaturama vazduha u sistemu. Postupak je primjenljiv na slivovima sa prirodnim oticanjem i gdje rečni tok (na izlaznom profilu) u potpunosti drenira i podzemne vode sistema. Prema rezultatima hidrološke analize kretanja kraških voda u podzemnom sistemu r Crnojevića manifestovane su pojave karakteristične režimu kretanja površinskih tokova u karstnim područjima. Ova karakterističnost daje mogućnost primjene LANGBEIN-ovog postupka za ocjenu stvarnog isparavanja u sistemu. Cio postupak se svodi na jednoznačnoj vezi između P/K i Q/K , gdje je:

P - prosječne godišnje padavine u sistemu (cm)
 Q - prosječno godišnje oticanje (cm)
 K - temperaturni faktor

Ako su P i Q date u centimetrima onda je ,

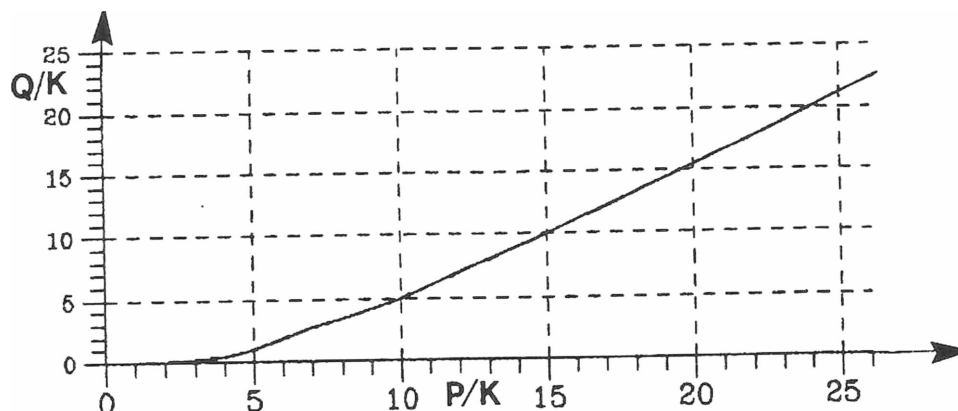
$$K = 10^{(0.027\theta + 0.886)} \quad (5.2.21)$$

Gdje je

θ - prosječna godišnja temperatura u sistemu

Na osnovu relacija za $K = f(\Theta)$ i grafičkog prikaza $P/K = f(Q/K)$ (Sl.5.15) sračunati su godišnji gubici na isparavanje (E) preko prosječnog godišnjeg oticanja (Q) a za pretpostavljene površine sistema.

$$E = P - Q \quad (mm) \quad (5.2.22)$$



Sl.5.15. Dijagram zavisnosti $Q/K=f(P/K)$

POVRŠINA	A=79.3 km2							A=92.0 km2						
Godina	parametri za proračun isparavanja po LANGBEIN-u													
	P cm	θ c	K	P/K	Q/K	Q cm	E mm	Pcm	θ c	K	P/K	Q/K	Q cm	E mm
1987/88	370.9	10.2	14.5	25.6	21.5	311.7	591	362	10.2	14.5	24.9	21	304.5	578
1988/89	229.9	8.7	13.2	17.4	12.6	166.3	632	219	8.7	13.2	16.6	11	151.8	675

■ Ocjena deficita oticanja prema SREBRENOVIĆU

Na osnovu istraživanja oticaja na 90 profila u slivu r.Drave, Save i nekoliko tokova sliva Jadranskog mora dobijene su linearne veze između padavina i oticanja u sledećem obliku :

$$Q = 0.895 * P - 405 \quad (5.2.23)$$

pri čemu je vjerovatna donja i gornja granica za oticanje :

$$\begin{aligned} Q_g &= 0.855 * P - 385 \\ Q_d &= 0.935 * P - 420 \end{aligned} \quad (5.2.24)$$

Gdje je

Q - prosječno oticanje u slivu (mm)

P - prosječne godišnje padavine u slivu (mm)

Na osnovu sračunatog oticanja gubitci na isparavanje računati su u domenu donje i gornje granice (E_d , E_g) za pretpostavljene površine sistema (A_1, A_2)

$$\begin{array}{l} E_d = Q_d - P \\ E_g = Q_g - P \end{array} \quad (5.2.25)$$

79 . 3 km²

	$E_g = 923$ mm
1987/88	$E_d = 661$ mm
1988/89	$E_g = 719$ mm
	$E_d = 578$ mm

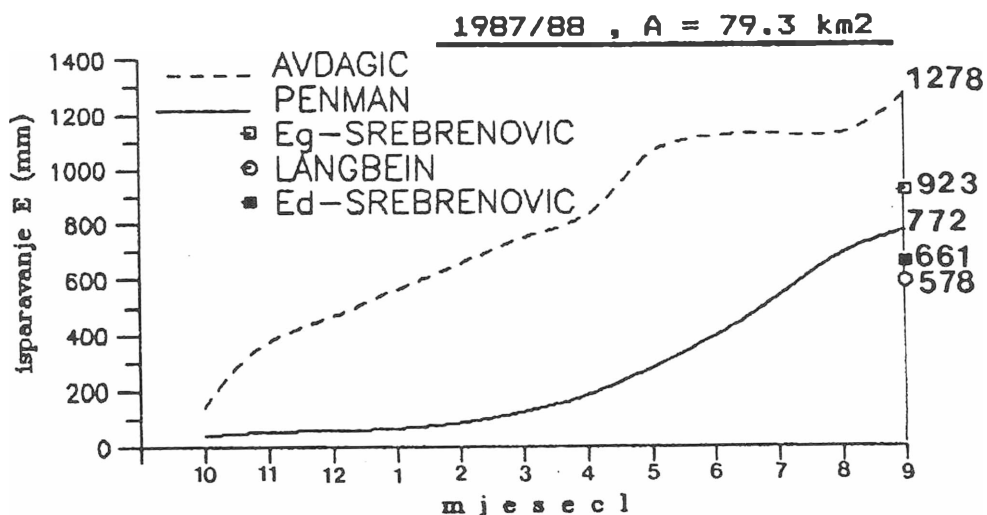
92 . 0 km²

	$E_g = 918$ mm
1987/88	$E_d = 655$ mm
1988/89	$E_g = 782$ mm
	$E_d = 562$ mm

ANALIZA UPOREDNIH REZULTATA OCJENE ISPARAVANJA

Kod primijenjenih indirektnih metoda za ocjenu isparavanja (AVDAGIĆ, PENMAN, LANGBEIN, SREBRENVIĆ) dobijaju se različite vrijednosti. Ipak, pokazuje se da se postupkom uspostavljanja zavisnosti koeficijenta oticanja od temperature zraka predhodnog dana (AVDAGIĆ) dobijaju najveće vrijednosti. Ovim postupkom dobijaju se vrijednosti isparavanja koje ne slijede zakonitost promjene toplotnog bilansa, već, prvenstveno količinu padavina, odnosno oticanje na izlaznom profilu sistema. Što znači, u danima niskih temperatura i izraženih padavina dobijaju se najveće vrijednosti isparavanja, a u danima visokih temperatura i neizraženih padavina dobijaju se male vrijednosti isparavanja. Upoređujući mjesečne vrijednosti i sumarno godišnje isparavanje ovog postupka sa rezultatima proračuna potencijalnog isparavanja sa vodene površine (PENMAN) kao maksimalno mogućeg isparavanja, oni se ne mogu prihvatiti, jer su nelogični. Upoređujući vrijednosti godišnjeg isparavanja, dobijenog kao rezliku između prosječnog oticanja i prosječnih padavina u slivu (LANGBEIN), sa gornjom granicom isparavanja (Penman) isti su nižih vrijednosti, i kao takvi daju razloga usmjerenja ka mogućim vrijednostima stvarnog isparavanja u sistemu. I pored nedostatka verifikacionih pokazatelja primjenljivosti ove metode na kraškom području kod proračuna

oticanja, dobijeni rezultati pihvataju se kao granični pokazatelji pri ocjeni komponente isparavanja u bilansnoj jednačini. Vrijednosti godišnjeg isparavanja po linearnim zakonitosima između padavina i oticanja (SREBRENOVIC) imaju izvjesnu realnost, tim prije što su jednim dijelom zasnovane i na rezultatima istraga na vodotocima sliva Jadranskog mora. Vrijednosti isparavanja po ovom postupku prelaze vrijednosti potencijalnog isparavanja, samo pri nekoj gornjoj graničnoj vrijednosti (E_g). Analiza uporednih rezultata prikazana je na Sl.5.16.



SL. 5.16. Uporedni dijagram rezultata isparavanja po primijenjenim metodama proračuna

Analizom uporednih rezultata usvajaju se rezultati proračuna isparavanja po metodi Penmana kao najprihvatljiviji u daljoj analizi hidrološkog bilansa. Mjesečne vrijednosti potencijalnog isparavanja, kao maksimalno moguća vrijednost stvarnog isparavanja daju odgovor o njegovoj gornjoj granici, što je bitno saznanje u kontekstu kompleksnosti adekvatnog rješavanja komponente isparavanja. S druge strane, pouzdanost proračuna isparavanja po metodi Penmana potvrđena je kroz eksperimentalno mjerenje isparavanja sa slobodne vodene površine za period sa najvećim uticajem toplotnog bilansa na energiju isparavanja (*april-septembar, 1990*). Eksperimentalni rezultati, bliski su računskim, izuzimajući mjesec avgust koji je izraženo nižih vrijednosti, idu u prilog verifikaciji Penmana kao gornje granice mogućeg stvarnog isparavanja u sistemu.

Rezultati isparavanja po Penmanu usvojeni su bez korekcije, kao moguće stvarno isparavanje za period oktobar-april. Opravdanost ovog pristupa je u činjenici, što se u ovom periodu realizuje najveća količina padavina i time odražava kontinuitet vlažnosti kraških površi, što je u saglasnosti saznanju, da se isparavanje po Penmanu proširuje i na definisanju isparavanja sa površine zemljišta bez deficita vlažnosti. Za period maj-septembar, a posebno za mjesec juni-avgust u cilju ocjene stvarnog isparavanja (*evapotranspiracija*) izvršena je korekcija isparavanja po Penmanu. Kriterijum korekcije je analiza dnevnih količina padavina i njihove pojave u toku mjeseca, odnosno njihovog trajanja. Naime, ukoliko je mjesec-

na količina padavina veća od računskih vrijednosti isparavanja po Penmanu, onda je računska vrijednost isparavanja usvojena kao vrijednost mogućeg stvarnog isparavanja (*avgust*). U slučajevima kada su mjesečne padavine manje od vrijednosti isparavanja po Penmanu, iste su usvojene kao gubitak na isparavanje u cjelokupnm, ili neznatno smanjenom iznosu. Opisani kriterijum korekcije isparavanja po Penmanu za ljetni period, može se napisati u približno korektnom matematičkom iskazu :

$$\begin{array}{l} \forall P \geq E_o \rightarrow E \cong E_o \\ \forall P \leq E_o \rightarrow E \cong P \end{array} \quad (5.2.26)$$

Gdje je:

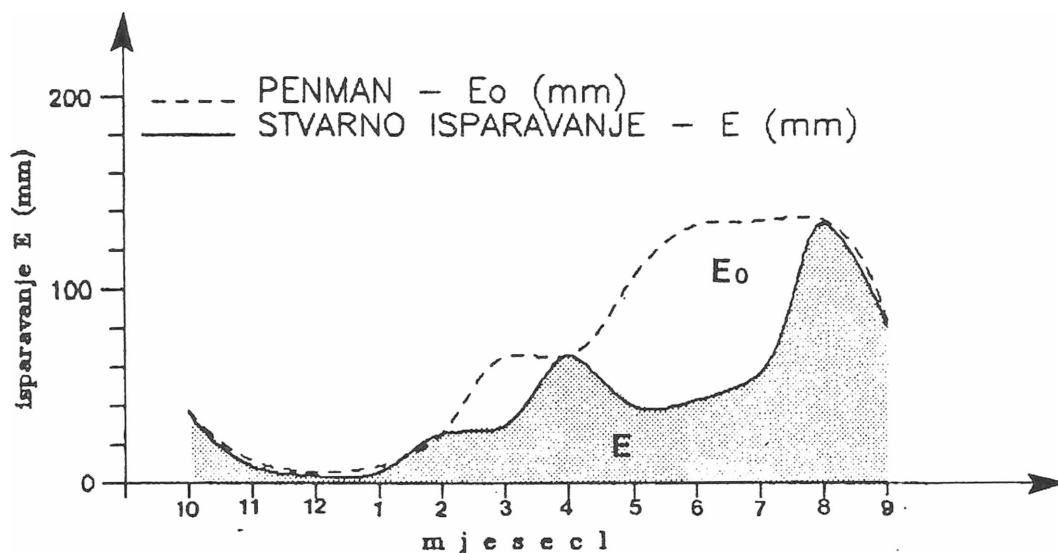
P - mjesečna visina padavina u sistemu (mm)

E_o - isparavanje po Penmanu (mm)

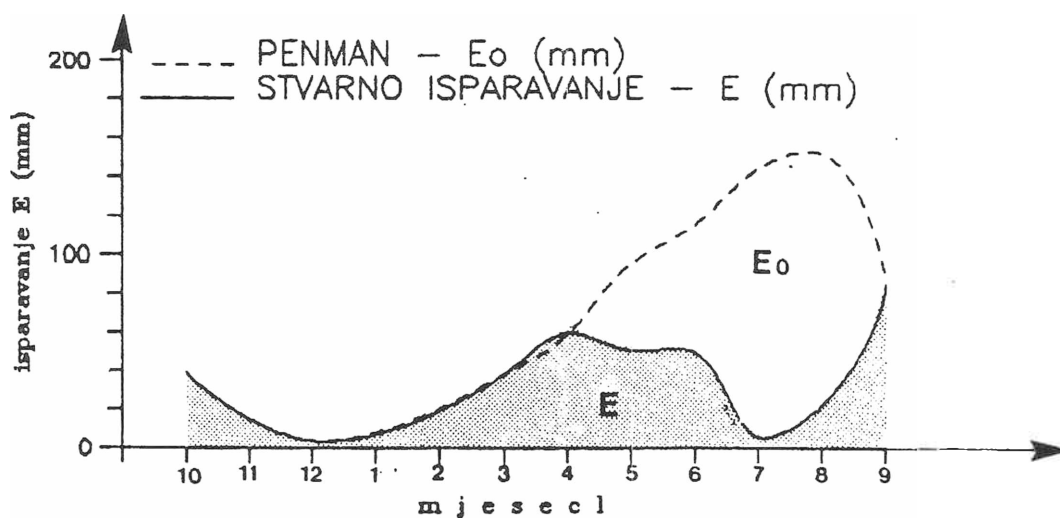
E - korigovani Penman \rightarrow stvarno isparavanje (mm)

Na osnovu usvojenih vrijednosti isparavanja po metodi Penmana za period *oktobar-april* i korekcije rezultata Penmana za ljetni period *maj-septembar* prema iskazima (5.2.26) izvršena je konačna ocjena mogućeg stvarnog isparavanja u sistemu r. Crnojevića (Sl.5.17, 5.18) a time i rješenje jednačine bilansa za predpostavljene površine sistema.

GODINA	Mjesečne vrijednosti stvarnog isparavanja E (MM)												Egod mm
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1987/88	39	15	4	7	19	38	60	51	50	6	22	82	393
1988/89	37	9	4	6	26	30	66	40	43	57	134	82	534



Sl.5. 17. Dijagram korekcije isparavnja po Penmanu
- stvarno isparavanje za 1987/88



Sl.5.18. Dijagram korekcije isparavnja po Penmanu
- stvarno isparavanje za 1988/89

5.3. RJEŠENJA JEDNACINE HIDROLOŠKOG BILANSA

Definisanjem kompennti P , Q , E u bilansnoj jednačini (5.2.2) kroz njena konačna rješenja dobijaju se veličine mjesečnih i godišnjih deficita oticanja (D) na izlaznom profilu predpostavljenih veličina površine sistema (Sl.5.19 - 5.21)

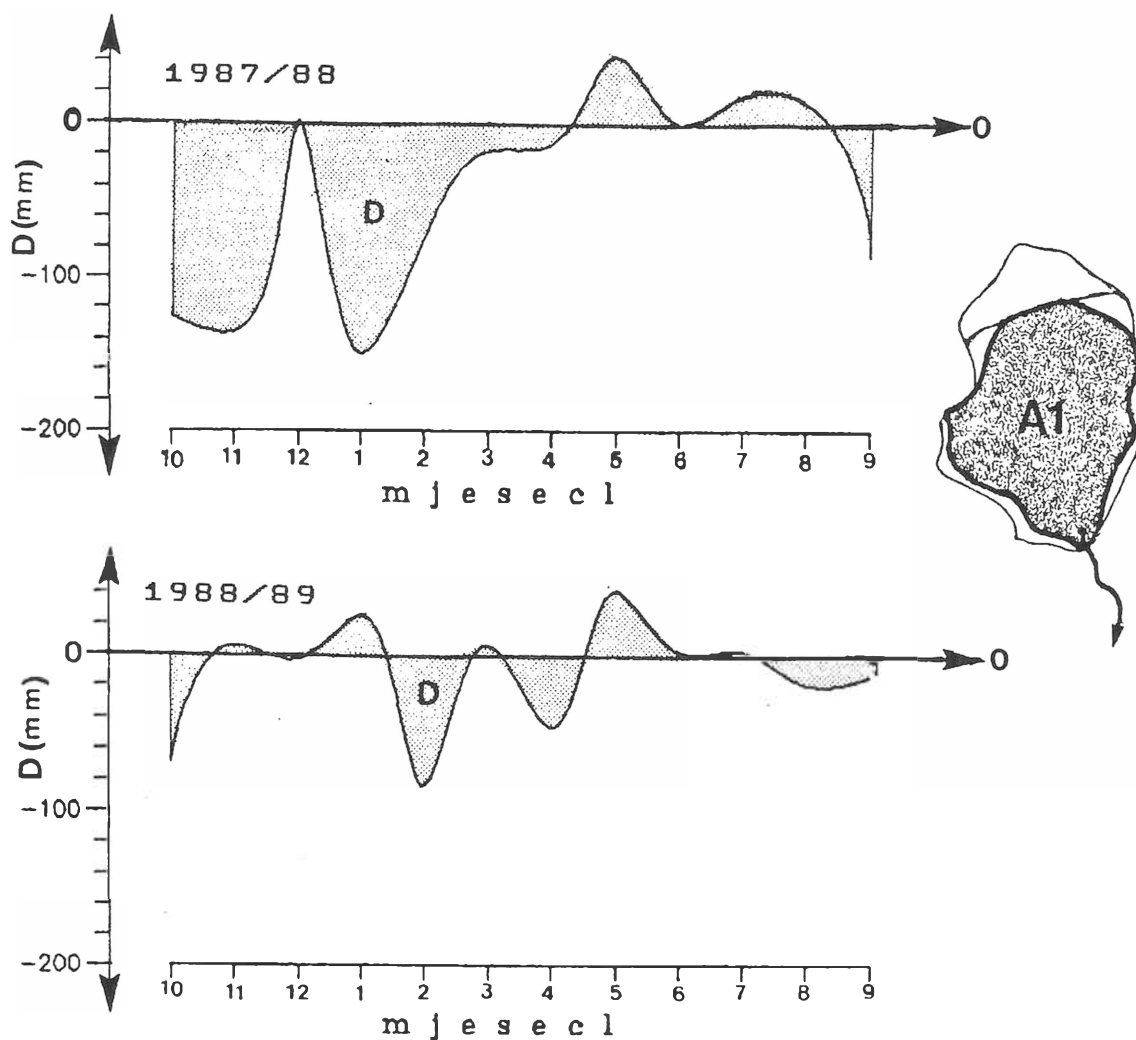
1987/88

KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESECNE VRIJEDNOSTI (mm)												God. (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
P-Padavine	291	602	476	437	578	519	351	80	105	6	22	242	3709
Q-Oticaj	126	451	473	280	483	463	278	71.7	54.6	17.5	14.2	75.8	2787
E-Isparav.	39	15	4	7	19	38	60	51	50	6	22	82	393
Q+E	165	466	477	287	502	501	338	123	105	23.5	36.2	157	3180
D=P-(Q+E)	-126	-136	1	-150	-76	-18	-13	43	0	17.5	14	-85	-529
$\eta=Q/P$	0.43	0.75	0.99	0.64	0.83	0.89	0.79	0.88	0.51		0.63	0.30	0.75

1988/89

KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESECNE VRIJEDNOSTI (mm)												God. (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
P-Padavine	185	349	392	4	189	385	231	73	57	67	171	194	2297
Q-Oticaj	79	346	385	23	79	361	118	73	15	11	17	97	1604
E-Isparav.	37	9	4	6	26	30	66	40	43	57	134	82	534
Q+E	116	355	389	29	105	391	184	113	58	68	151	179	2138
D=P-(Q+E)	-69	6	-3	25	-84	6	-47	40	1	1	-20	-15	-159
$\eta=Q/P$ -koef.otie.	0.43	0.99	0.98		0.42	0.94	0.51		0.26	0.16	0.10	0.50	0.70

A1=79.3km²



SL.5.19. Prikaz mjesečnih deficita oticanja
za površinu sistema A1=79.3 km²

tabela.

1987/88

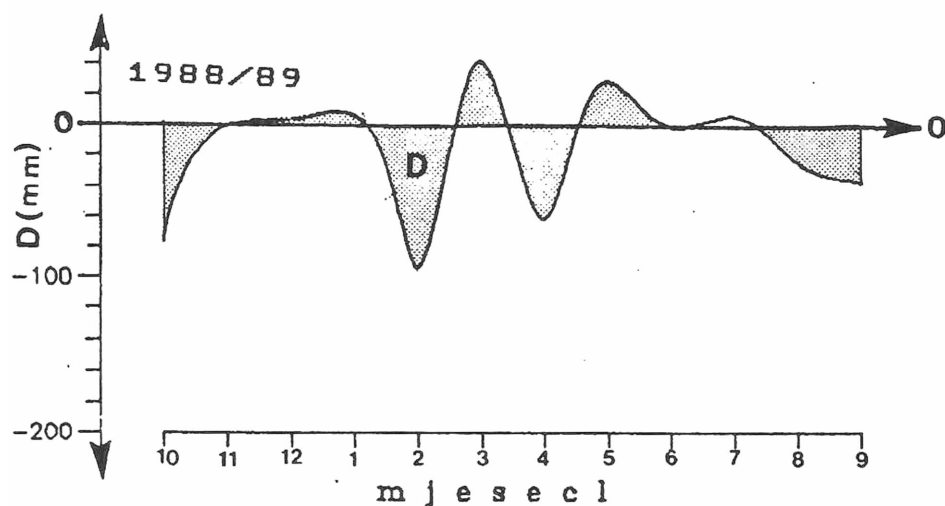
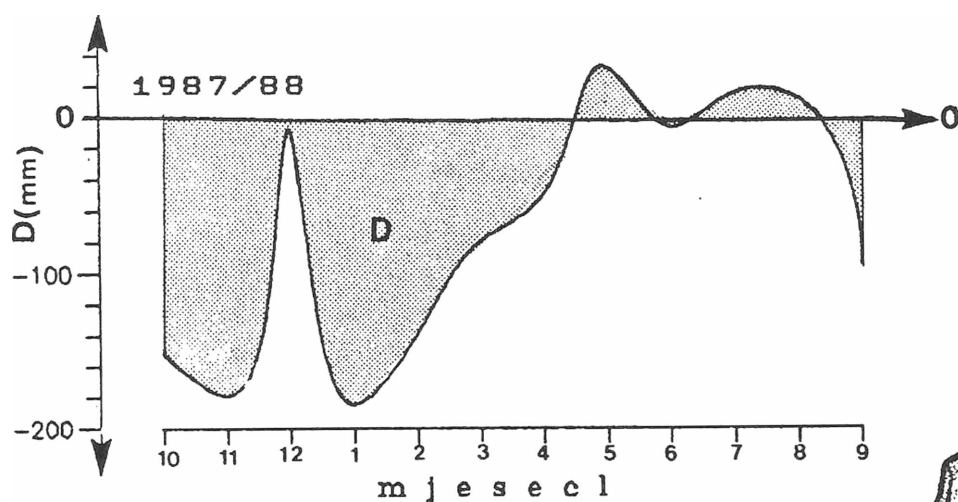
KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESEČNE VRIJEDNOSTI (mm)												God. (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
P-Padavine	299	582	420	433	576	517	350	81	105	6	22	242	3623
Q-Oticanje	108	388	408	241	417	399	239	61.7	47.9	15.1	12	65	2402
E-Isparav.	39	15	4	7	19	38	60	51	50	6	22	82	393
Q+E	147	403	412	248	436	437	299	113	98	21	34	147	2795
D=P-(Q+E)	-152	-179	-8	-185	-140	-80	-51	32	-7	15	12	-95	-838
$\eta=Q/P$	0.36	0.67	0.97	0.55	0.72	0.77	0.68	0.76	0.46		0.54	0.27	0.66

A2=92.0km²

1988/89

KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESEČNE VRIJEDNOSTI (mm)												God. (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
P-Padavine	182	387	350	4	188	382	230	74	57	60	174	204	2212
Q-Oticanje	68	298	332	19.5	68.3	311	102	62.3	13	9	15	84	1382
E-Isparav.	37	9	4	6	26	30	66	40	43	57	134	82	534
Q+E	105	387	336	26	94	341	168	102	56	66	149	166	1916
D=P-(Q+E)	-77	0	-14	+22	-94	-41	-62	28	-1	6	-25	-38	296
$\eta=Q/P$ -koef.otic.	0.37	0.97	0.95		0.36	0.81	0.44	0.84	0.23	0.15		0.41	0.63

A2=92.0km²



SL.5.20. Prikaz mjesečnih deficita oticanja
za površinu sistema A2 = 92.0 km²

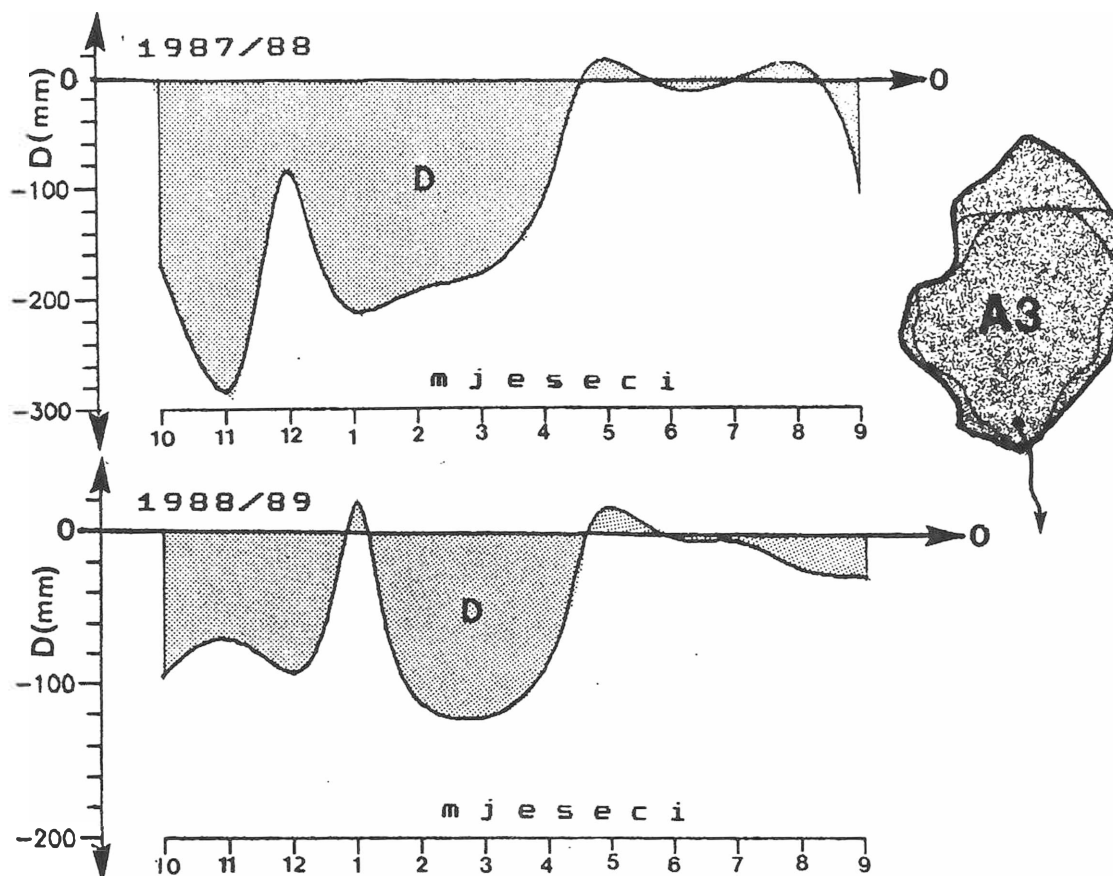
1987/88

KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESECNE VRIJEDNOSTI (mm)													God. (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
P-Padavine	291	601	406	406	538	528	358	82	98	23	21	239	3591	
Q-Oticaj	84	303	317	188	325	311	187	46	37	12	10	51	1871	
E-Isparav.	39	15	4	7	19	38	60	51	50	6	22	82	393	
Q+E	123	318	321	195	344	349	247	97	87	18	32	133	2264	
D=P-(Q+E)	-168	-283	-85	-211	-194	-179	-111	+15	-11	-5	+11	-106	-1327	
$\eta=Q/P$	0.29	0.50	0.78	0.46	0.60	0.59	0.52	0.56	0.38	0.52	0.47	0.21	0.52	

1988/89

KOMPONENTE JEDNAC- INE H.BILANSA	MJESECNE VRIJEDNOSTI (mm)													God.
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	(mm)	
P-Padavine	184	312	356	3	192	394	231	74	58	71	171	177	2223	
Q-Oticaaj	53	233	259	15	53	242	79	49	10	7	12	65	1077	
E-Isparav.	37	9	4	6	26	30	66	40	43	57	134	82	534	
Q+E	90	242	263	21	79	272	145	89	53	64	146	147	1611	
D=P-(Q+E)	-94	-70	-93	+18	-113	-122	-86	+15	-5	-7	-25	-30	-612	
$\eta=Q/P$	0.29	0.75	0.73		0.28	0.61	0.34	0.66	0.17	0.09	0.07	0.37	0.48	

A3=118 km²



SL.5.21. Prikaz mjesečnih deficita oticanja
za površinu sistema A3 = 118.0 km²

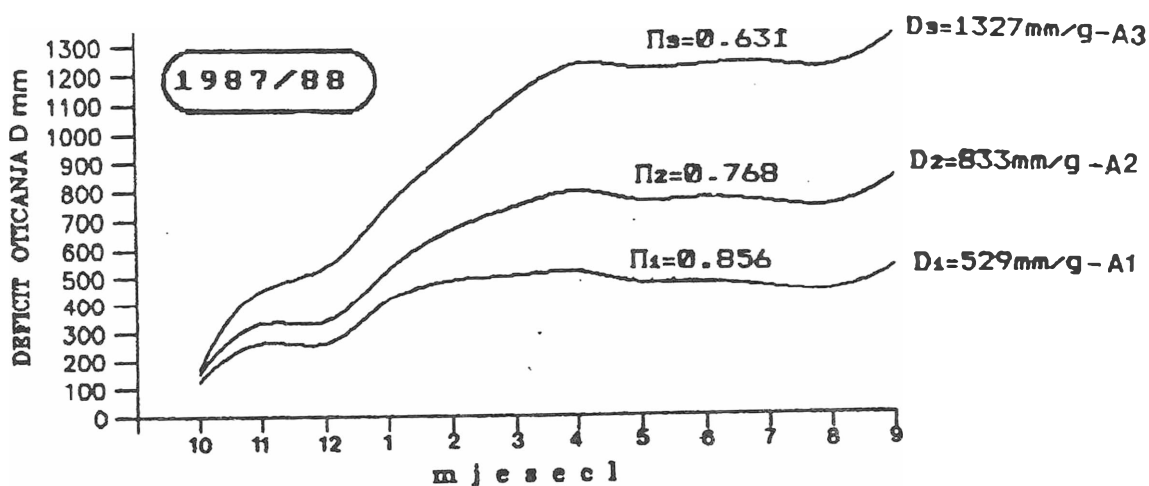
Na osnovu analize veličine deficita oticanja u zavisnosti od razmatrane površine sistema, proizilazi, da je najmanja vrijednost godišnjeg deficita za površinu A1 kao najmanja od tri pretpostavljene površine sistema. Porast deficita prati povećanje površine kod oba hidrološka stanja, a najveće vrijednosti deficita unutar godišnje raspodjele oticanja je u periodu oktobar- april. Analiza hidrološkog bilansa kroz veličinu deficita pokazuje da je dominantna veličina površine sistema za oba hidrološka stanja površina A1. Veličine površine sistema iznad A1 izazivaju povećanje deficita oticanja i smanjene pokrivenosti padavina sa odgovarajućim oticanjem na izlazu iz sistema. Kao parametar kvantifikacije uzajemne zavisnosti deficita oticanja i površine sistema je količnik deficita oticanja i ukupne godišnje sume ekvivalentne visine padavina na površinu sistema. Vrijednost ovog količnika (Φ) predstavlja mjeru nepokrivenosti padavina sa odgovarajućim oticanjem na izlaznom profilu :

$$\Phi = \frac{D}{P} \quad (5.2.27)$$

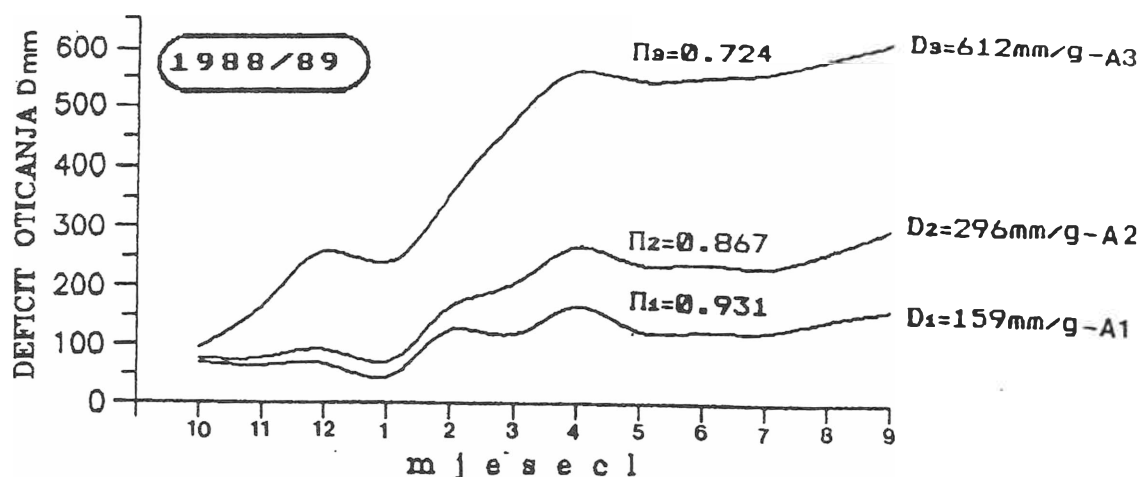
ili :

$$1 - \Phi = \Pi \quad (5.2.28)$$

Gdje je koeficijent (Π) mjera pokrivenosti padavina sa oticanjem na izlaznom profilu sistema.



SL:5.22. Sumarne linije mjesečnih deficita (D) za pretpostavljene veličine površina (A) sistema (S) za vodnu hidrološku godinu



SL.5.23. Sumarne linije mjesečnih deficita (D) za predpostavljene veličine površina (A) sistema (S) za sušnu hidrološku godinu

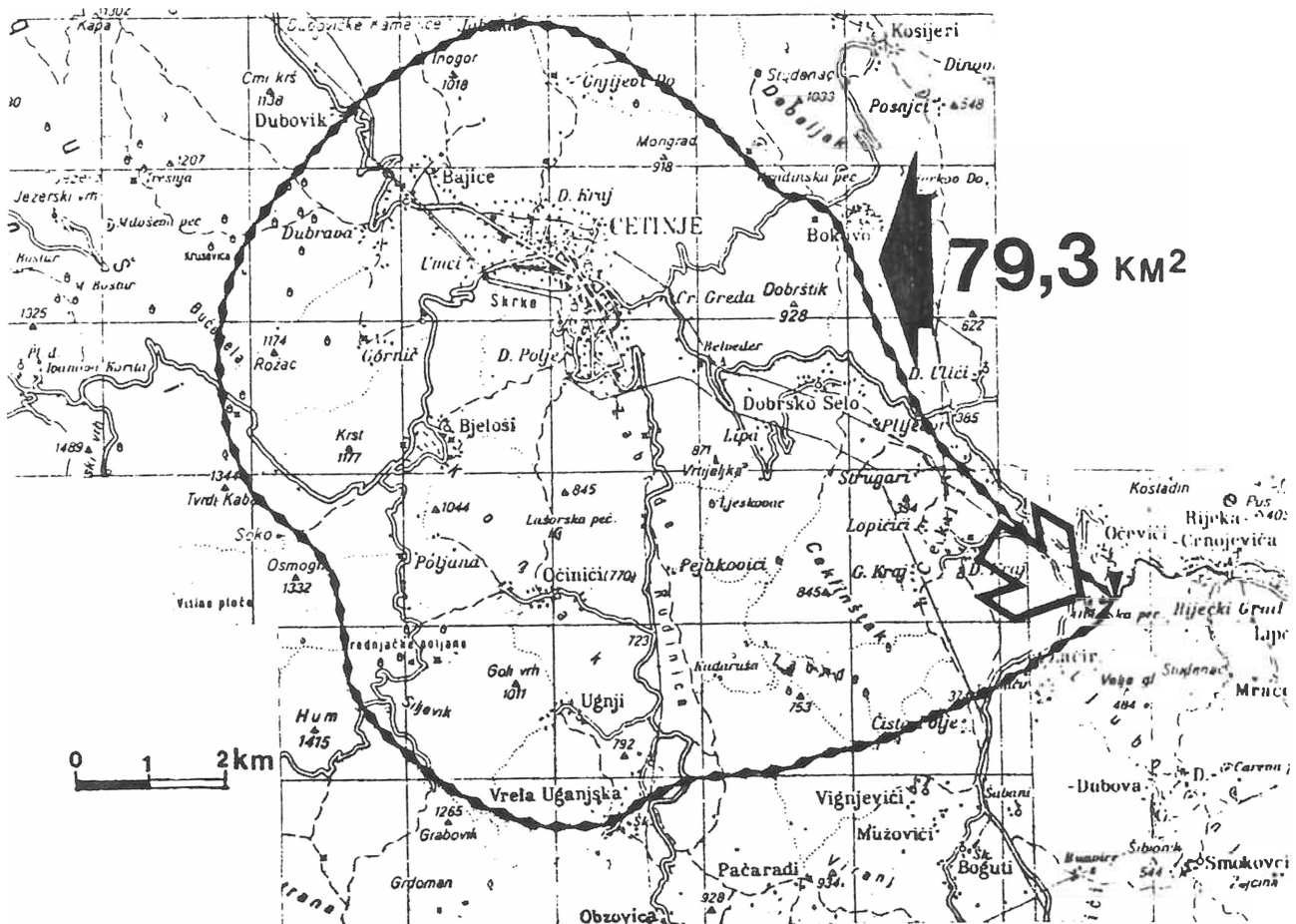
Na osnovu konačnih rezultata rješenja jednačine hidrološkog bilansa u cilju definisanja veličine površine sistema-sliva rijeke Crnojevića, pokazuje se da je ta veličina najbliža vrijednosti predpostavljene površine $A1=79.3 \text{ km}^2$. Za ovu veličinu površine sistema, pokrivenost padavina sa oticanjem na izlaznom profilu je najbolje izražena za dva karakteristična hidrološka stanja, odnosno za dvije karakteristične hidrološke godine. Pri čemu vrijednost koeficijenta $\Pi_2=0.867$ za malovodnu hidrološku godinu daje neke indikacije o mogućoj, ali ne i bitno izraženoj "pokretljivosti" veličine površine sistema iznad vrijednosti $A1$, jer vrijednost koeficijenta pokrivenosti padavina sa oticajem $\Pi_1=0.931$ potvrđuje dominantnost zastupljenosti veličine površine sistema $A1$ i za hidrološko stanje u malovodnoj hidrološkoj godini. Za hidrološku vodnu godinu, veličina površine $A1$ je bliska donjoj graničnoj vrijednosti sa mogućom minimalnom kompresijom pri nekim ekstremnim hidrološkim stanjima maksimalne vodnosti u području glavne primarne zone sistema. Sto znači, da se pri izraženoj ulaznoj komponenti padavina zbog brze reakcije sistema, može izvršiti transformacija padavina u oticanje sa neznatno manje površine od $A1$. Na osnovu izloženih saznanja proizilazi da je opravdano usvojiti veličinu površine $A1$ (SL.5.24) kao mjerodavnu površinu sistema rijeke Crnojevića za različita hidrološka stanja.

$$S(A) = A1 = 79.3 \text{ km}^2 \quad (5.2.29)$$

Pokrivenosti padavina sa oticanjem na izlaznom profilu u procentualnom iznosu je :

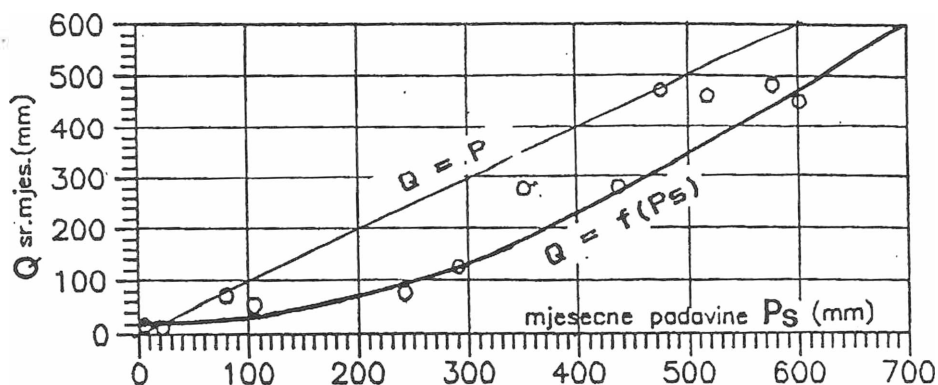
$$\begin{aligned} \Pi &= \Pi_1 = 85.6 \% \Rightarrow \text{za hidrološku vodnu godinu} \\ \Pi &= \Pi_1 = 93.1 \% \Rightarrow \text{za hidrološku sušnu godinu} \end{aligned}$$

Deficit oticanja pri hidrološkoj vodnoj godini od 15.4 % je logačka posledica izraženog uticaja slučajne komponente prostorne raspodjele geometrije prslinskog sistema i kolektorskih provodnika na transformaciju padavina u oticanje i režim kretanja kraških voda pri ekstremnim hidrološkim stanjima. Jedan vid manifestacija ovih uticaja na deficit pri maksimalnim vodama odražava se u kretanju dijela voda iz graničnih zona Obzovice ka pravcu Podgorskih vrela. Deficit oticanja preko uticaja rasjednih zona Meterizskog rasjeda u pravcu vrulja u Skadarskom jezeru (Grab ,Ploče..) nije eksperimentalno dokazan. Deficit oticanja pri hidrološkoj sušnoj godini od 7 % je potvrda primarne zastupljenosti mjerodavne veličine površine sistema na transformaciju padavina u oticanje preko izlaznog profila.

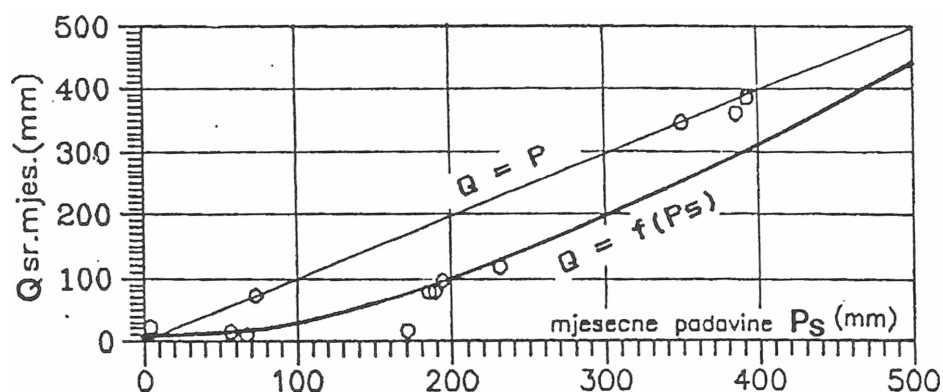


**SL.5.24. Položaj merodavne površine sistema
rijeke Crnojevića S(A)**

Odnos padavina i oticanja za mjerodavnu površinu sistema kod oba hidrološka stanja (SL.5.25, 5.26) pokazuje izraženost oticanja pri maksimalnim padavinam sa tendencijom gornjeg dijela eksponencionalne krive jediničnom pravcu ($Q = P$), odnosno koeficijentu oticanja $\eta = 1$. Na grupisanje tačaka u gornjem dijelu krive u blizini jediničnog pravca i iznad njega, pored uticaja brze reakcije sistema na velike količine padavina, manifestuje se i uticaj doprinosa snijega koji nije tretiran u sklopu ulazne komponente.



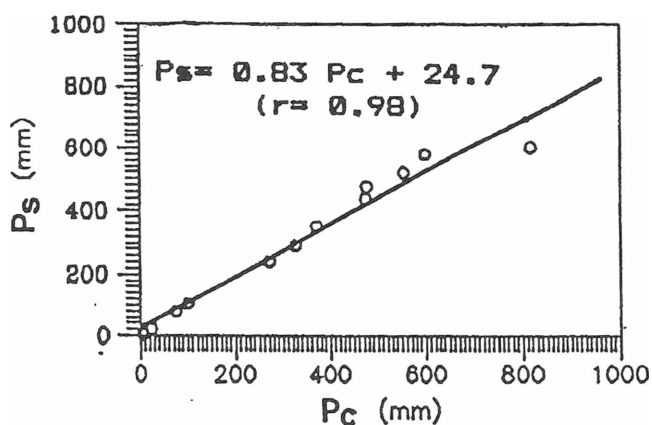
SL.5.25. Zavisnost oticanja od padavina za hidrološku vodnu godinu



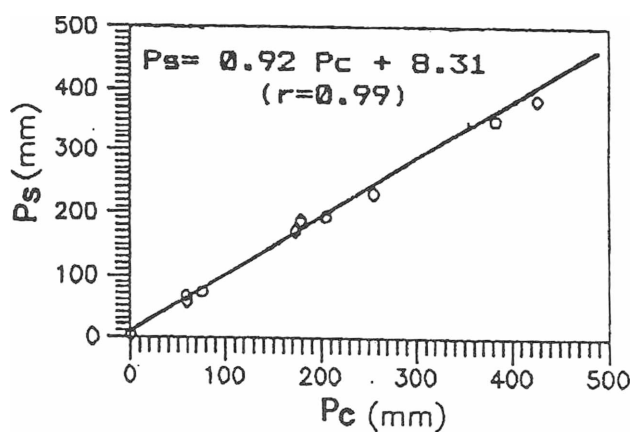
SL.5.26. Zavisnost oticanja od padavina za hidrološku sušnu godinu

Odnos ekvivalentne visine padavina na sistemu (P_s) i padavina u Cetinju (P_c) kao središnjeg i dominantnog područja sistema u hidrološkom procesu pokazuje visok stepen korelacione zavisnosti linearnog oblika (SL.5.27). Korišćenjem ove veze i odnose između oticanja i padavina na predhodnim prikazima, moguće je sračunati globalni hidrološki bilans sistema rijeke Crnojevića za višegodišnji period mjerenja padavina za Cetinje.

a. HIDROLOŠKA VODNA GODINA



b. HIDROLOŠKA SUSNA GODINA



SL.5.27. Odnos između ekvivalentne visine padavina sistema i padavina za Cetinje

6. METODA KONCEPTUALNOG MODELA "SSARR24-SSARRULAZ"

6.1. NAMJENA MODELA

Na osnovu rezultata hidrološke analize i reakcije sistema, pokazuju se da postoji brzi odziv sistema na padavinske impulse i njihova izražena koordinacija u vremenu pojavljivanja. Sto indicira, da manifestacije hidrološkog procesa u podzemnom kretanju imaju sličnost sa karakterom tečenja površinskih tokova u kraškim područjima. Iz ovih razloga, u sistemskom pristupu praćenja ulaznih voda-padavina i izlaza iz sliva, primijenjen je konceptualni nelinearni model SSARR za određivanje mjerodavne veličine površine sistema rijeke Crnojevića. Simulacijom oticanja u slivu na osnovu padavina i evapotranspiracije, za različite površine sistema određena je mjerodavna površina sa najboljim odzivom modela.

Model SSARR je konceptualni nelinearni hidrološki model za izračunavanje oticanja sa rječnog sliva na osnovu podataka o padavinama i evapotranspiracije. Kod realizacije modela tražena je ravnoteža između složenosti hidroloških pojava koje se opisuju i mogućnosti praktične primjene modela s obzirom na raspoloživost podataka. Program se može koristiti u hidrološkim analizama pojedinih slivova na dužim vremenskim intervalima. Drugi vid korišćenja je u hidrološkom prognoziranju. Model izračunava u uzastopnim vremenskim intervalima stanje promjenljivih u modelu i vrijednosti indeksa koji opisuju hidrološke procese. Zadavanje vrijednosti ovih promjenljivih, moguće je nastaviti simulaciju počevši od zadatog vremenskog koraka u cilju dobijanja hidrološke prognoze oticanja.

Model koristi kao ulaz podatke o visini vodenog stuba padavina na slivu. Za opisivanje stanja vlažnosti tla, uvodi se indeks vlažnosti zemljišta. U zavisnosti od stanja vlažnosti tla, određuje se procenat ukupnog oticanja od vodenog stuba na ulazu u model. Na smanjenje vlažnosti zemljišta utiče evapotranspiracija, koja se u modelu opisuje preko mjesečnih koeficijenata evapotranspiracije (potencijalne). Primjena indeksa vlažnosti zemljišta vrši se prema nelinearnoj zavisnosti, tako da za manje vrijednosti indeksa tlo može da primi veću količinu vodenog taloga pa je procenat oticanja niži. Za veću vrijednost indeksa vlažnosti zemljišta tlo je više zasićeno, pa raste procenat oticanja od vodenog taloga na ulazu u model.

Indeks dubinske infiltracije opisuje razdvajanje ukupnog oticanja na sporiju dubinsku komponentu i na direktni oticaj. Nelinearna zavisnost opisuje razdvajanje unutar direktnog oticanja na

površinsku i podpovršinsku komponentu. Sve tri komponente (površinska, podpovršinska i dubinska) se transformišu preko određenog broja rezervara. Izlazi iz odgovarajućih rezervara po komponentama oticaja se sabiraju i daju rezultujući oticaj sliva.

Simulaciju je moguće vršiti za vremensku diskretizaciju od 1-24 časa, na osnovu odgovarajućih ulaznih podataka. Model SSARRULAZ daje pregled ulaznih podataka i parametara modela kao i nelinearnih- funkcionalnih zavisnosti a na osnovu ulaznih podataka za model SSARR24.

6.2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE MODELA SSARR

Da bi se simulirao proces pretvaranja padavina u oticanje za slivove proizvoljne hidrografske konfiguracije i istovremeno omogućilo simuliranje hidrograma na više proizvoljno lociranih profila u slivu realizovan je program SSARR koji predstavlja diskretni model sliva i vrši sledeće funkcije :

- modelira hidrološke fenomene u slivu
- simulira tok u rečnom koritu
- vrši slaganje hidrograma i sekvencije operacija za sliv proizvoljne strukture

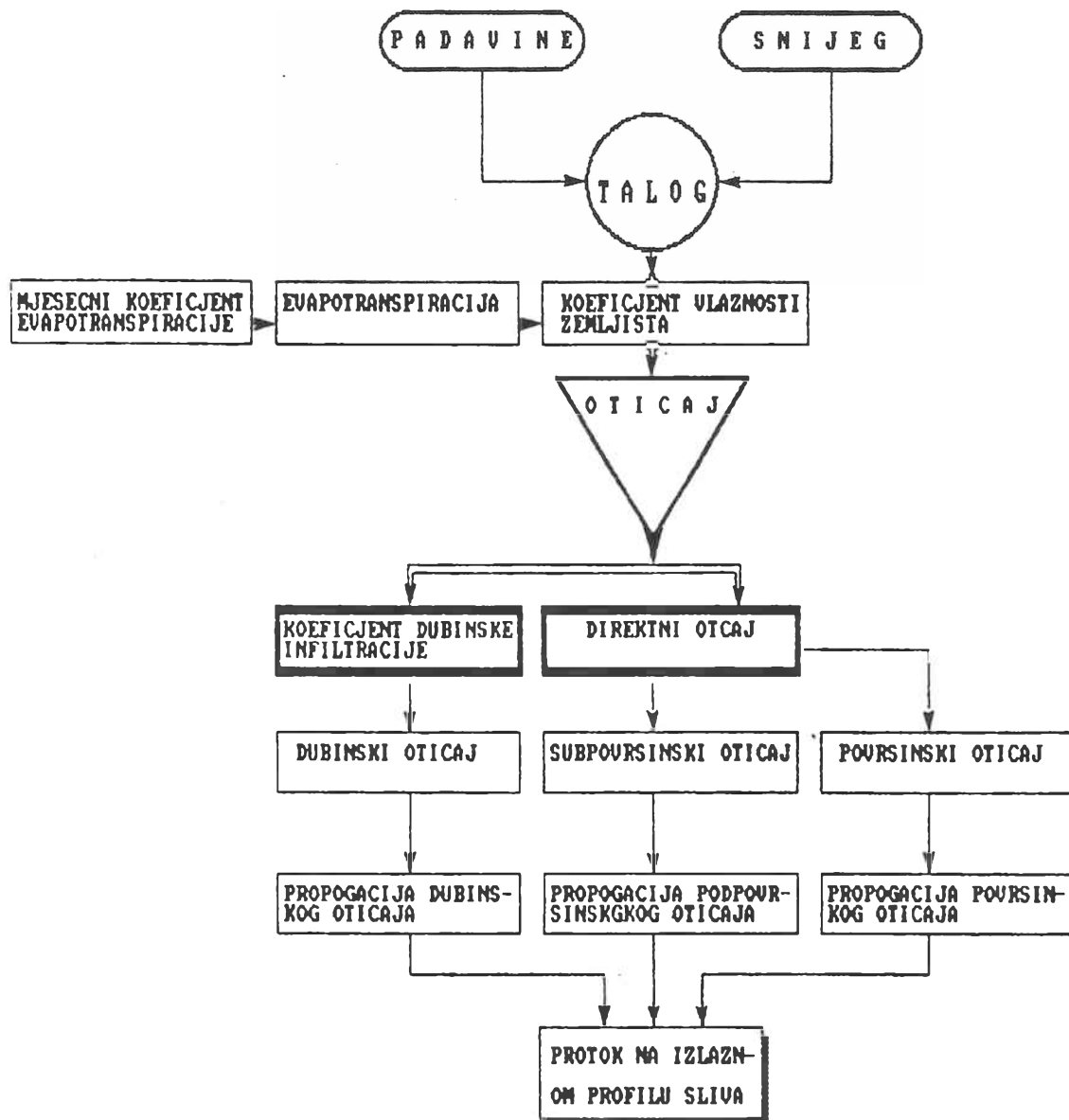
Model rečnog sliva je diskretan, u smislu da se posmatrani period simulacije dijeli u vremenski ekvivalentne intervale unutar kojih se smatra da veličina ostaje konstantna. Usled toga je interval diskretizacije bar za red veličine manji od perioda simulacije i manji od vremena koncentracije, a saobrazan raspoloživim mjernim podacima. Vrijeme koncentracije se definiše kao vrijeme proticaja od vrha sliva do posmatranog profila na rečnom slivu. Zbog toga, vremenski interval koji se u jednoj simulaciji posmatra iznosi od nekoliko sati do nekoliko dana (mjeseci).

Shematski dijagram SSARR modela prikazan je na sl.6.1.

Najznačajnije komponente ovog matematičkog modela su:

- izračunavanje ukupnih padavina
- izračunavanje otapanja snijega i ukupnog taloga
- simuliranje vlažnosti zemljišta i predstavljanje infiltracionih gubitaka
- izračunavanje evapotranspiracionih gubitaka
- izračunavanje dubinskih gubitaka
- izračunavanje površinske i podpovršinske komponente oticanja za odgovarajuću ili pretpostavljenu površinu sliva-sistema

- simuliranje propogacije površinske, podpovršinske i dubinske komponente oticaja.
- identifikacija i verifikacija parametara modela



SL.6.1. Shematski prikaz SSARR modela

6.3. IZRACUNAVANJE UKUPNIH PADAVINA

Prosečna količina padavina u slivu u toku popsmatranog intervala simulacije određuju se na osnovu podataka o padavinama sa mjernih stanica. Mjerni podaci su dvojake prirode. Sumarne stanice kojih obično ima više, daju samo ukupne padavine izmjerene na mjernoj stanici u intervalu simulacije, a registracione stanice daju i padavine po svim diskretnim intervalima unutar perioda simulacije. Ukupne padavine u slivu izračunavaju se na osnovu padavina izmjerenih u mjernim stanicama iz izraza :

$$PADV = \text{SUMA} \{ WPAD(J) * PAD(J,K) \} \quad (6.1)$$

Gdje je:

PADAV - srednje padavine u k-tom intervalu u cm
WPAD(J) - težinski faktor j-kišomjerne stanice
PAD(J,K) - padavine registrovane u k-tom intervalu u j-toj kišomj-
ernoj stanici

Težinski faktor određuje se na osnovu neke od poznatih metoda kao što je Thiessen-ova metoda, ili na osnovu normalnih padavina izmjerenih na stanicama i normalnih padavina u slivu. Podaci sa sumarnih stanica se koriste na taj način ,što se procentualno dijele na intervale proporcionalne padavinama sa registracionih stanica.

6.3. OTAPANJE SNIJEGA

U intervalima simulacije u kojima postoji sniježni pokrivač, razmatra se količina napadanog i otopljenog snijega, i to po visinskim zonama od po 200 m, do 10 zona. Referentne temperature zadate ulaznim podacima predstavljaju temperature u podnožju najniže zone, a temperature u ostalim zonama sračunavaju se sukcesivnim sniženjem temperature za DTEMP stepeni za svaku narednu visinsku zonu. Referentna temperatura topljenja snijega obeležava se sa F, i takođe predstavlja podatak koji se očitava, jer se mogu očekivati i odstupanja od 0°C, s obzirom na temperaturna kolebanja unutar diskretnog intervala. Količina otopljenog snijega se obično usvaja da je srazmjerna temperaturnoj razlici :

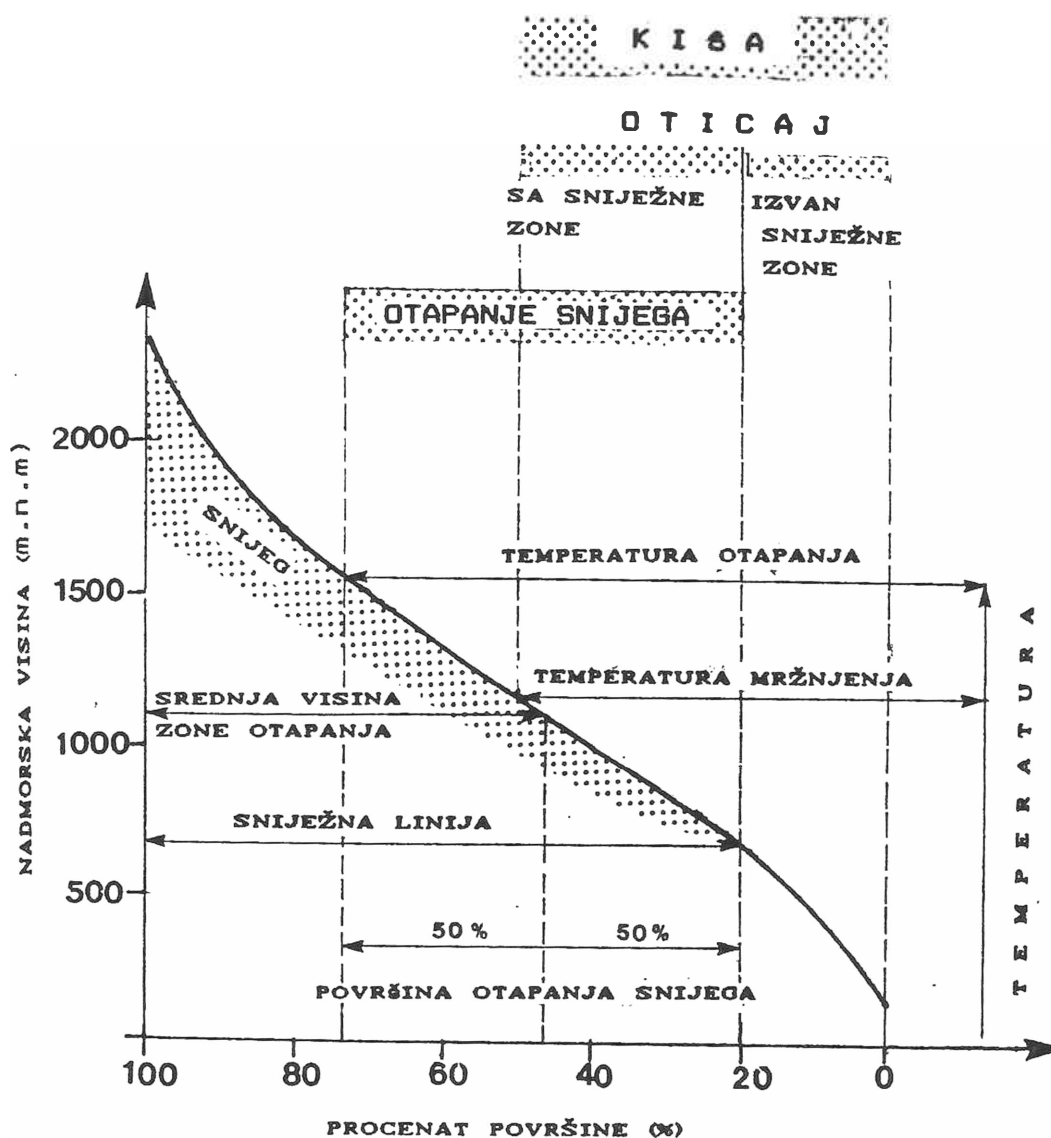
$$OSNEG = CI * \{ TEMP(K) - F \} \quad (6.2)$$

Gdje je:

OSNEG - topljenje u cm na dan u posmatranoj visinskoj zoni

TEMP(K) - temperatura vazduha visinske zone K-tog dana u $^{\circ}\text{C}$
 CI - koeficijent topljenja
 F - temperatura zamrzavanja u $^{\circ}\text{C}$.

Dali su padavine (kada postoje) u posmatranoj visinskoj zoni u obliku kiše ili snijega utvrđuje se poređenjem temperature zone sa vrijednošću $F+1$. U jednačini bilansa sniježnog pokrivača otopljeni snijeg se oduzima, a količina napadanog snijega dodje postojećem sniježnom pokrivaču u toj visinskoj zoni. Shematski prikaz različitih meteoroloških uslova i njihovog uticaja na karakter padavina i otapanje snijega dat je na sl.6.2. Ukupni vodeni talog dobija se sabiranjem, po svim visinskim zonama taloga usled padavina i usled otapanja snijega, a zatim se iz ove sume određuje prosječna vrijednost nad slivnom površinom u svakom vremenskom intervalu.



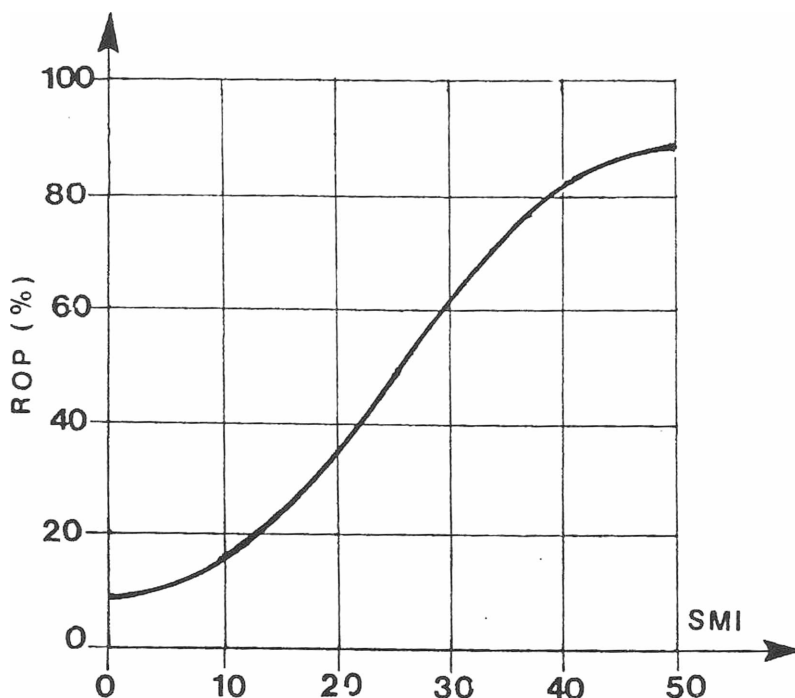
SL.6.2. Zone padanja, taloženja i otapanja snijega i padanja kiše u funkciji visine temperature

6.4. SIMULIRANJE VLAŽNOSTI ZEMLJIŠTA I PREDSTAVLJANJE INFILTRACIONIH GUBITAKA

Vodeni talog se umanjuje usled evapotranspiracionih gubitaka i usled infiltracije u zemljište. Učinjene su sledeće osnovne pretpostavke u proceni gubitaka usled infiltracije. Procenat vodenog taloga koji se pretvara u oticaj O srazmeran je ukupnom talogu $STPADV$, odnosno :

$$O = ROP(SMI) * 100 * STPADV \quad (6.3)$$

Koeficijent proporcionalnosti $ROP(SMI)$ je nelinearna funkcija indeksa vlažnosti zemljišta (SMI) i ima funkcionalni oblik (sl.6.3). Uočava se da kriva ulazi u zasićenje i pri vrlo malim i vrlo velikim vrijednostima indeksa vlažnosti. U slučaju vrlo male vrijednosti indeksa vlažnosti, zemlja je relativno suva i vodni talog se infiltrira u zemljište, te je procenat taloga koji se pretvara u oticaj mali. U slučaju velike vrijednosti indeksa vlažnosti, zemlja je natopljena vodom i nije u stanju da i dalje asimilira nove količine te se veliki procenat taloga pretvara u oticaj.



SL.6.3. Zavisnost sadržaja vlage (ROP) koji se pretvara u oticaj od vlažnosti zemljišta (SMI)

Indeks vlažnosti zemljišta mijenja se tokom vremena shodno jednačini :

$$SMI(K+1) = SM(K) + \{STPADV(K) - O(K) - E(K)\} \quad (6.4)$$

Gdje je :

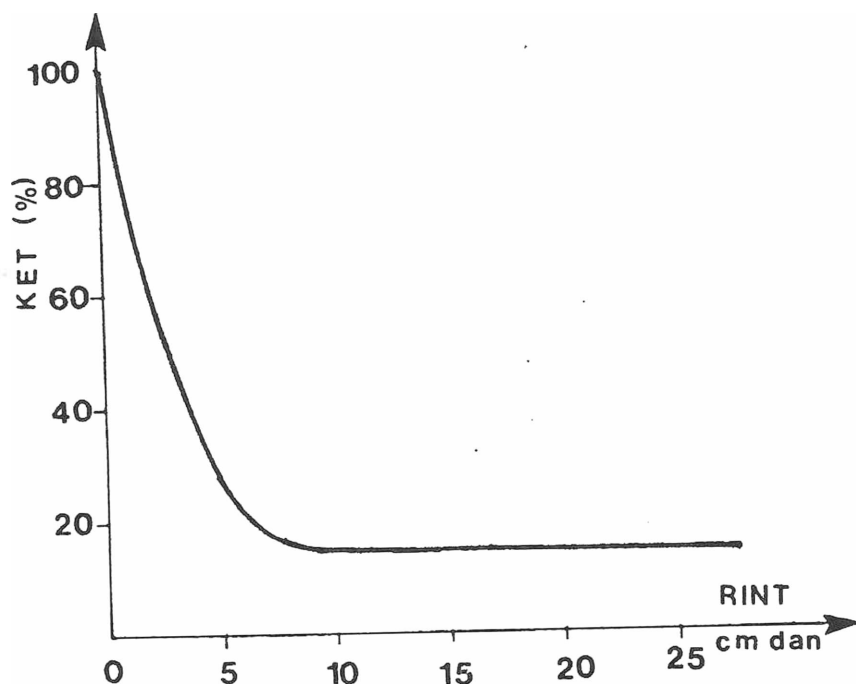
SMI(K+1) - vrijednost indeksa vlažnosti u (K+1) periodu diskretizacije (cm/t)
 SMI(K) - vrijednost indeksa vlažnosti u K-tom periodu diskretizacije
 STPADV(K) - ukupan vodeni talog (cm/t)
 O(K) - primarni oticaj (cm/t)
 E(K) - evapotranspiracioni gubici (cm/t)

6.5. IZRACUNAVANJE EVAPOTRANSPIRACIONIH GUBITAKA

Smatra se da su evapotranspiracioni gubici za tretirani region određeni za stacionarne atmosferske prilike i da su u datim meteorološkim uslovima samo funkcija vlažnosti. Vlažnost se mjeri i kroz količinu padavina u periodu diskretizacije, tako da se fiksni evapotranspiracioni gubici umanjuju sa povećanjem padavina po funkcionalnom zakonu (sl.6.4). Stvarni evapotranspiracioni gubici se prema tome određuju iz formule :

$$E = DT/24 * KET * ET(M) \quad (6.5)$$

Pri čemu je ET(M) koeficijent evapotranspiracionih gubitaka u mjesecu M koji se obično određuje pan-evaporacijom i uzima se da je konstantan u toku jednog kalendarskog mjeseca, DT je period diskretizacije a KET procenat redukcije evapotranspiracije zbog vlažnosti vazduha.



SL.6.4. Redukcija evapotranspiracije KET (%) zbog vlažnosti vazduha RINT (cm/dan)

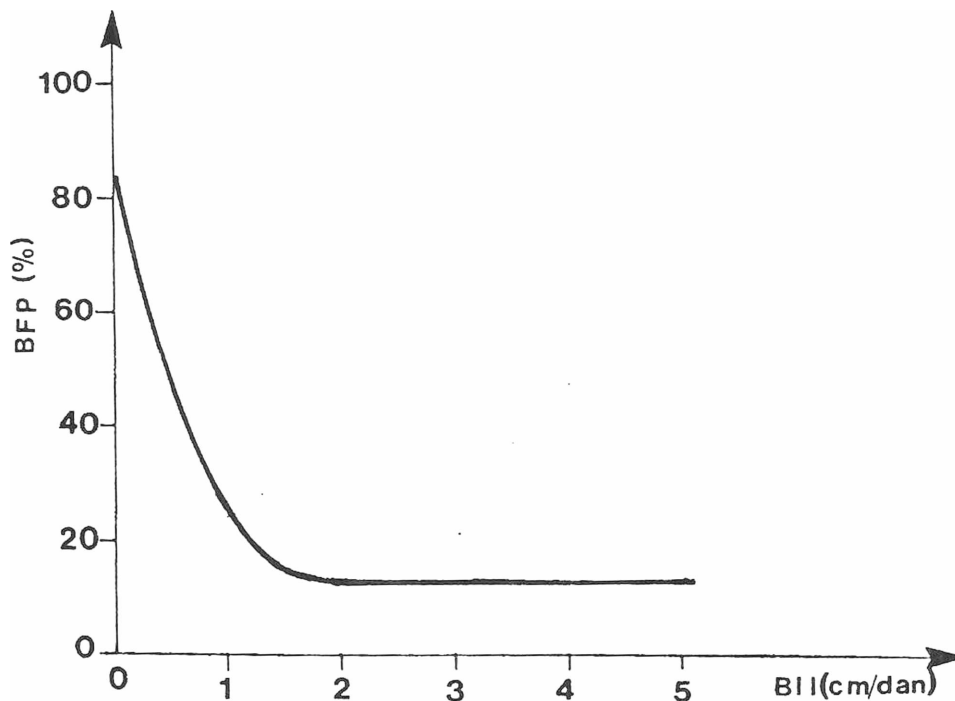
6.6. IZRACUNAVANJE DUBINSKIH GUBITAKA

Dubinski oticaj je funkcija indeksa dubinske infiltracije BII, a procenat dubinskog oticaja BFP u funkciji indeksa dubinske infiltracije (sl.6.5). Indeks dubinske infiltracije se mijenja tokom vremena shodno jednačini:

$$BII(K+1) = BII(K) + 24 \cdot Q / DT - BII(K) \cdot DT / (TSB + 0.5 \cdot DT) \quad (6.6)$$

Gdje je:

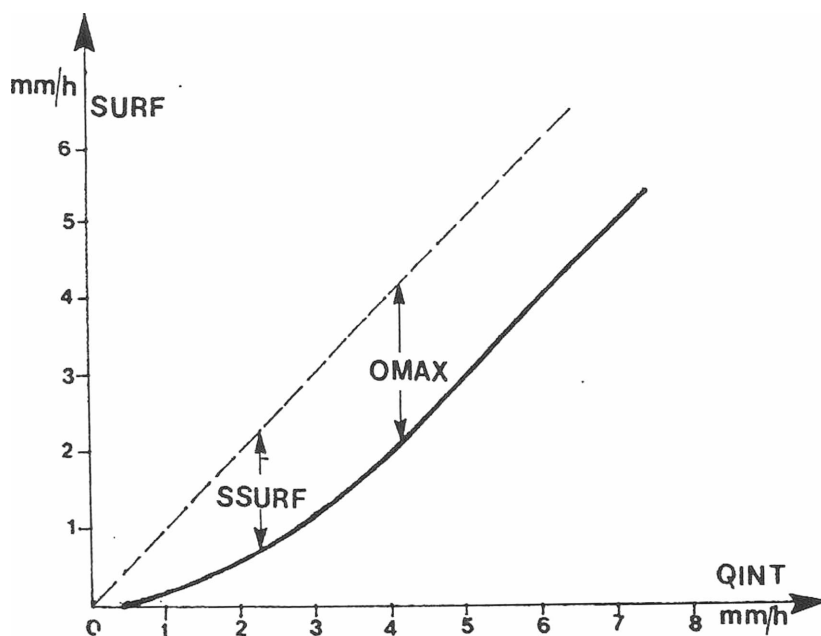
- BII(K+1) - vrijednost indeksa dubinske infiltracije u K+1 periodu diskretizacije (cc/t)
- BII(K) - vrijednost indeksa dubinske infiltracije u K-tom periodu diskretizacije
- TSB - vremenska konstanta kašnjenja u procesu dubinske infiltracije



SL.6.5. Zavisnost dubinske infiltracije BFP (%) od koeficijenta dubinske infiltracije BII

6.7. IZRACUNAVANJE PODPOVRŠINSKE I POVRŠINSKE KOMPONENTE

Preostali, odnosno direktni oticaj se u modelu dijeli na površinski SURF i podpovršinski oticaj SSURF. Funkcionalna zavisnost površinskog oticaja od direktnog oticaja QINT prikazana je na sl.6.6



SL.6.6. Zavisnost površinskog oticaja SURF od direktnog oticaja QINT

6.8. PROPOGACIJA KOMPONENTI OTICAJA

Komponente dubinskog, podpovršinskog i površinskog oticaja se zatim propogiraju kroz sliv do izlaznog profila rečnog korita. Simulacija transportnog procesa vrši se u podsystemima za simulaciju toka, koji se sastoji iz identičnih linearnih rezervara. Dovoljna tačnost se dobija ako se tok dubinske komponente simulira sa dva linearna rezervara, a podpovršinske i površinske komponente sa po četiri identična linearna rezervara. Pri tome vremenske konstante, koje su funkcija karakteristika sliva stoje u približnim odnosima TSOD : TSOSS : TSOS = 25 : 2 : 1. Simulacija toka se, za datu komponentu odvija shodno relaciji :

$$x(k+1) = x(k) + \frac{u(k) + u(k)}{2} * t - \frac{y(k+1) + y(k)}{2} * t \quad (6.7)$$

Pri čemu je za bilo koju komponentu i bilo koju ćeliju (rezervar):

$x(k+1)$ - stanje ćelije u $(k+1)$ periodu diskretizacije
 $x(k)$ - stanje ćelije u k -tom periodu diskretizacije
 $u(k+1)$ - dotok u ćeliji u $(k+1)$ periodu diskretizacije
 $u(k)$ - dotok u ćeliji u k -tom periodu diskretizacije
 $y(k+1)$ - oticaj iz ćelije u $(k+1)$ periodu diskretizacije
 $y(k)$ - oticaj iz ćelije u k -tom periodu

Zapaža se da su sve varijable u jednačini određene kad je poznat dotok u k -tom i $(k+1)$ -om periodu, sem veličine $y(k+1)$. Ovu veličinu određuje zavisnost oticaja od stanja linearnog rezervara :

$$d_x/d_t = T_s * d_y/d_t \quad (6.8)$$

Za jezera, rezervare i rečna korita vremenska konstanta T_s nije konstanta već se mora odrediti iz karakteristika zapremina i ispuštanja. Vremenska konstanta T_s određuje se iz jednačine (6.8) na sledeći način :

$$T_s = \frac{\frac{dx}{dt}}{\frac{dy}{dt}} \quad (6.9)$$

Gdje je :

dx/dh - nagib krive $x = F_1(h)$

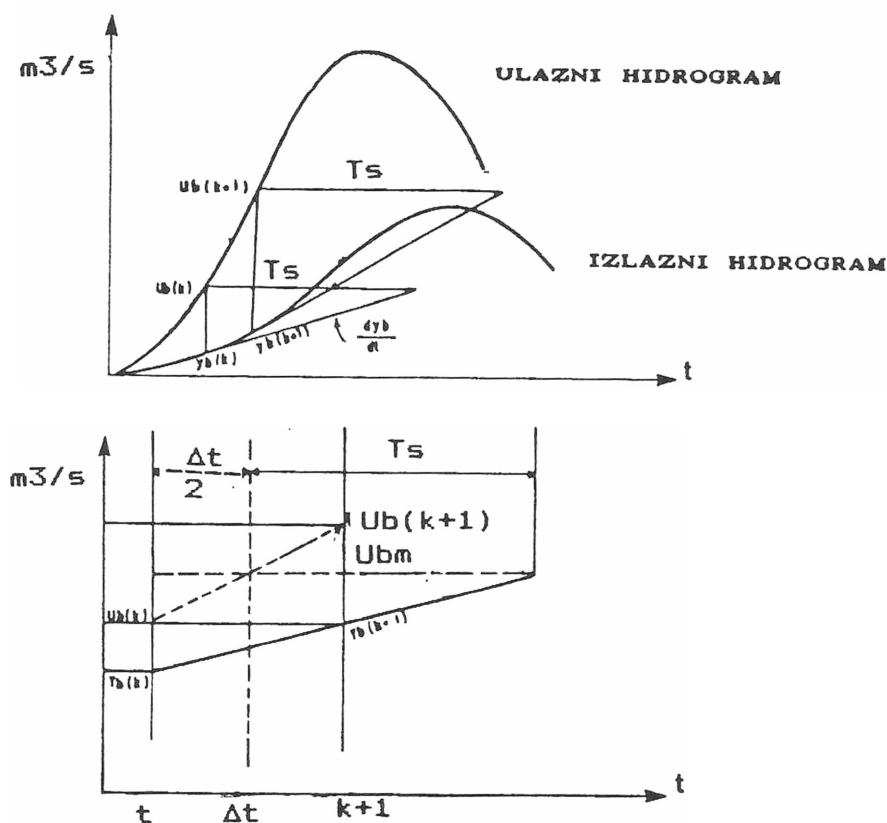
dy/dh - nagib krive $y = F_2(h)$

Gdje je h nivo. Grafički metod za određivanje T_s prikazan je na sl.6.7. Na osnovu grafičkog prikaza slijedi da je odnos :

$$Y_b(k+1) = \frac{U_{bm} - Y_b(k)}{T_s + \Delta t/2} \Delta t + Y_b(k) \quad (6.10)$$

Obično se usvaja da je :

$$\frac{\Delta t}{T_s + \Delta t/2} = \text{const.} \quad (6.11)$$



SL.7. Grafički metod za određivanje T_s

6.9. METODOLOGIJA IDENTIFIKACIJE POMOCU SSARR MODELA

SSARR model sadrži veći broj parametara i nelinearnih karakteristika koje karakterišu fizičke osobine sliva. Identifikacija modela vrši se upoređivanjem odziva modela, koji predstavlja rekonstruisani protok sa izmjenjenim protokom na izlaznom profilu sliva. Padavine nad površinom sliva predstavljaju ulaznu veličinu u fizički sistem i u postavljeni model. Izlaz iz modela je rekonstruisani protok. Razlika između izmjerenog i rekonstruisanog protoka predstavlja kriterijum za ocjenu dobrote izabranih vrijednosti parametara u modelu. Identifikacija modela vrši se

etapno obzirom da model sadrži veći broj parametara i četiri nelinearne karakteristike, čije vrijednosti, odnosno funkcionalne oblike treba odrediti. Proces identifikacije modela sastoji se u analizi međurezultata i krajnjih rezultata sa ciljem ocjene boljih vrijednosti parametara i nelinearnih karakteristika. U opštem slučaju informacija o uticaju pojedinih parametara na oblik rekonstruisanog hidrograma može se dobiti analizom osjetljivosti modela. U analizi osjetljivosti vrši se promjena pojedinih parametara u modelu (bilo diferencijalna bilo konačna),

zadržavajući ostale parametre na konstantnim vrijednostima, i ocjenjuje uticaj na oblik hidrograma kroz funkcije osjetljivosti, u slučaju diferencijalnih promjena, ili kroz promjenu odziva, u slučaju konačnih promjena parametara. Analiza osjetljivosti ima i tu ulogu da omogućava racionalno sagledavanje uticaja parametara na sekundarne kriterijume u rekonstrukciji hidrograma. U modeliranju oticaja sa sliva postoji više karakteristika procesa koje je poželjno reprodukovati. Kod rekonstrukcije hidrograma usvajamo četiri osnovna kriterijuma kao primirna i to :

- ukupno odstupanje između mjenenog i rekonstruisanog hidrograma izraženo zbirom kvadrata odstupanja (RMS)
- ukupna razlika količina proticaja ili (zapremina) stvarnog i rekonstruisanog hidrograma ΣQ
- odstupanje vrha rekonstruisanog hidrograma od vrha mjenenog hidrograma (Q_{max})
- koeficijent korelacije (r) između osmotrenih (O) i računskih (R) proticaja

6.10. REZULTATI PRIMJENE MODELA

Model je primijenjen za dvije karakteristične hidrološke godine 1987/88 kao vodnu i 1988/89 kao sušnu hidrološku godinu. Kao ulazni podaci su padavinae i evapotranspiracija (potencijalna) za oe godine. U modelu nije tretiran uticaj snijega, imajući u vidu da je glavni cilj primjene modela bio u određivanju nepoznate veličine površine sistema, gdje je su visine padavina kao dominantna ulazna komponenta.

Rezultati modela reprezentuju se u vidu dva fajla (file-a), od kojih je u predmetnom slučaju bitan fajl sa sračunatim vrijednostima :

■ Uporedni pregled osmotrenih i sračunatih vrijednosti proticaja u vidu grafičkog prikaza (Sl.6.8 - 6.11). Izdvojeni su prikazi ekstremnih stanja za obe godine radi jasnijeg vizuelnog sagledavanja koordinacije računskih i osmotrenih protoka.

■ Parametri identifikacije modela (tabela.1-4)

6.10.1 OCJENA REZULTATA MODELA

Ocjena rezultata modela, ili stepena dobrote izabranih vrijednosti parametara u modelu, izvršena je kroz identifikaciju modela, odnosno upoređivanjem odziva modela sa osmotrenim protocima na izlaznom profilu sistema rijeke Crnojevića za hidrološku 1987/88 i 1988/89 godinu. Odziv modela se sastoji u rekonstruisanim (računskim) proticajima na izlaznom profilu za padavine kao ulaznu veličinu u fizički sistem pretpostavljene veličine površine (AREA). Razlika između osmotrenih i računskih protoka predstavlja kriterijum za ocjenu dobrote uključenih

PRILOG. 23

PRORACUN ISPARAVANJA SA SLOBODNE UODENE POURSINE

(P E N M A N)

cetinje 1987/88

meteorolski parametri	m e s e c n e v r i j e d n o s t i											
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
n - broj casova sijanja sunca	167	85	106	88	105	114	160	167	204	253	322	220
N-max.casova sijanja sunca	325	285	263	257	280	347	376	430	435	443	415	354
v sr.vjetra u mjesec. m/sek.	0.4	1.9	0.6	0.8	1.3	1.1	1.1	0.7	0.9	0.6	0.9	1.2
T- temperatura vazduh (oC)	10.3	6.9	3.4	3.1	1.8	3	8.4	13.8	16	21.6	20	13.7
e -stvarni napon vod.pare(mb)	11.9	9.1	7.1	7.6	6.3	6.6	9.7	13.2	15.8	18	15.9	13.7
e s napon satur.vod.pare(mb)	13.2	10.1	7.6	8	7.3	8.1	10.3	17	19.4	26	25	17
Ra glob.sunc.zrac.(J/cm2/dan)	2221	1567	1256	1406	1947	2696	3448	3989	4221	4105	3662	2990
n/N	0.513	0.298	0.403	0.342	0.375	0.329	0.426	0.388	0.469	0.571	0.776	0.62
Ta-apsolutna temp. (oC)	283.3	279.9	276.4	276.1	274.8	276	281.4	286.8	289	294.6	293	286.
H-bilans toplote (J/cm2/dan)	2.032	0.612	0.146	0.403	1.144	2.104	3.665	4.413	5.404	5.885	6.007	3.85
Δ (mm/oC)-dimenzionalni fakt.	0.85	0.70	0.58	0.59	0.57	0.60	0.70	1.05	1.20	1.55	1.50	1.05
Ea-energija ispara.(mm/dan)	1.26	0.51	0.13	0.24	0.70	1.23	1.98	3.06	3.83	4.65	4.9	2.76
Eo-mjes.ispara. (mm/mjes.)	39	15	4	8	20	38	59	95	115	144	152	83

ΣEo=772 mm/god

cetinje 1988/89

meteorolski parametri	m e s e c n e v r i j e d n o s t i											
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
n - broj casova sijanja sunca	203	150	150	196	151	284	137	205	272	258	283	190
N-max.casova sijanja sunca	325	285	263	257	280	347	376	430	435	443	415	354
v sr.vjetra u mjesec. m/sek.	0.5	0.7	1.2	0.7	2.0	1.2	1.5	1.4	0.9	0.6	0.8	0.5
T- temperatura vazduh (oC)	9.2	0.8	0.6	-1.0	2.2	6.5	9.1	11.9	14.8	18.8	17.9	13.7
e -stvarni napon vod.pare(mb)	10.8	6.0	5.6	4.8	6.0	7.4	9.3	10.9	14.1	17.4	16.5	14.4
e s napon satur.vod.pare(mb)	12.1	6.4	6.5	5.8	7.4	10.2	12.1	14.6	17.7	19.9	22.8	21.6
Ra glob.sunc.zrac.(J/cm2/dan)	2221	1567	1256	1406	1947	2696	3448	3989	4221	4105	3662	2990
n/N	0.624	0.526	0.570	0.763	0.539	0.818	0.364	0.477	0.625	0.582	0.682	0.537
Ta-apsolutna temp. (oC)	282.2	273.8	273.6	272	275.2	279.5	282.1	284.9	287.8	291.8	290.9	286.
H-bilans toplote (J/cm2/dan)	1.976	0.669	0.074	0.347	1.320	3.469	3.341	4.811	6.322	5.980	5.627	3.576
Δ (mm/oC)-dimenzionalni fakt.	0.79	0.46	0.45	0.44	0.51	0.67	0.78	0.91	1.10	1.35	1.30	1.03
Ea-energija ispara.(mm/dan)	1.20	0.33	0.19	0.28	1.08	2.18	2.26	3.31	4.31	4.20	4.26	2.76
Eo-mjes.ispar. (mm/mjes.)	38	12	6	9	26	65	66	106	133	135	136	83

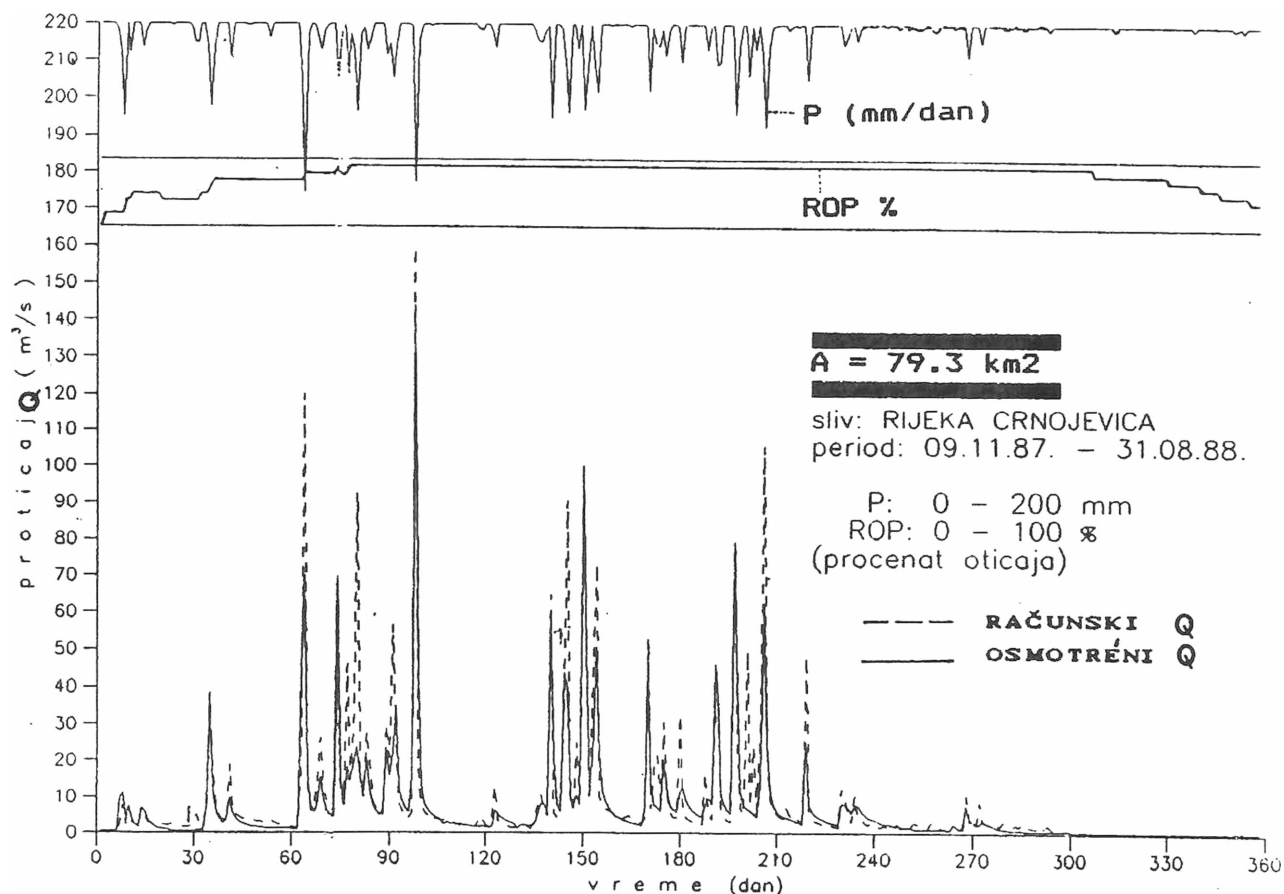
ΣEo=815 mm/god

parametara u modelu. Proces identifikacije modela može se vršiti u analizi međurezultata i krajnjih rezultata radi boljeg izbora vrijednosti parametara i nelinearnih karakteristika modela. U opštem slučaju saznanje o stepenu uticaja pojedinih parametara sagledava se kroz analizu osjetljivosti modela. Imajući u vidu da je osnovna svrha primjene modela SSARR na primjeru Rijeke Crnojevića bila u definisanju mjerodavne veličine površine sistema to je kroz analizu osjetljivosti modela sagledavan uticaj promjenljivosti veličine površine na oblik rekonstruisanog hidrograma zadržavajući ostale parametre na konstantnim vrijednostima. U modelu su tretirane tri različite veličine površine sistema u granicama od 70,0 km² - 120 km², odnosno površine koje su tretirane metodom hidrološkog bilansa (79.3km², 92.0km² i 118.0 km²)

tabela.1

HIDROLOSKA 1987/88

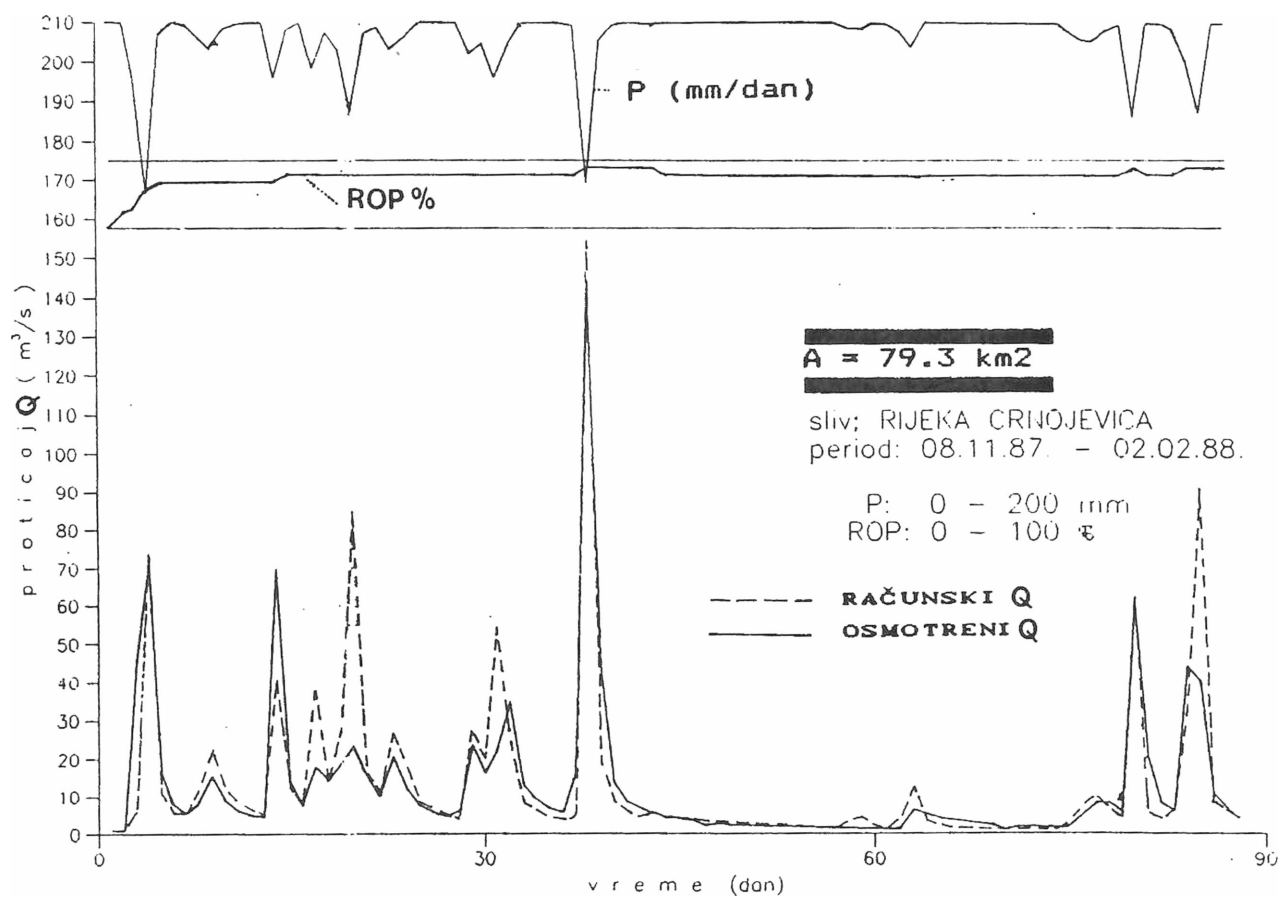
PARAMETARI IDENTIFIKACIJE MODELA	RACUNSKA	OSMOTRENE	ODSTUPANJA	
	VRIJEDNOSTI (R)	VRIJEDNOSTI (O)	(R-O)	R/O
Q _{max} - max. proticaj m ³ /s	159.6	144.0	15.6	1.10
Σ Q - ukupna količina protoka	2952.10	2556.40	395.7	0.14
T _{max} - vrijeme početka max. talasa	98	98	0	
RMS - srednje kvadratno odstupanje		0.002706		
r - koeficijent korelacije		0.891717		



SL.6.8. Uporedni prikaz računskih (R) i osmotrenih (O) proticaja na izlaznom profilu sistema

tabela.2 PERIOD MAX.PROTOKA 08.XI.87.-02.II.88.

PARAMETARI IDENTIFIKACIJE MODELA	RACUNSKA	OSMOTRENE	ODSTUPANJA	
	VRIJEDNOSTI (R)	VRIJEDNOSTI (O)	(R-O)	R/O
Q _{max} - max. proticaj m ³ /s	154.60	144.0	10.6	1.07
Σ Q - ukupna kolicina protoka	1187.7	1114.4	73.3	0.06
T _{max} - vrijeme pocetka max.talasa	38	38	0	
RMS - srednje kvadratno odstupanje		0.009849		
r - koeficijent korelacije		0.866091		

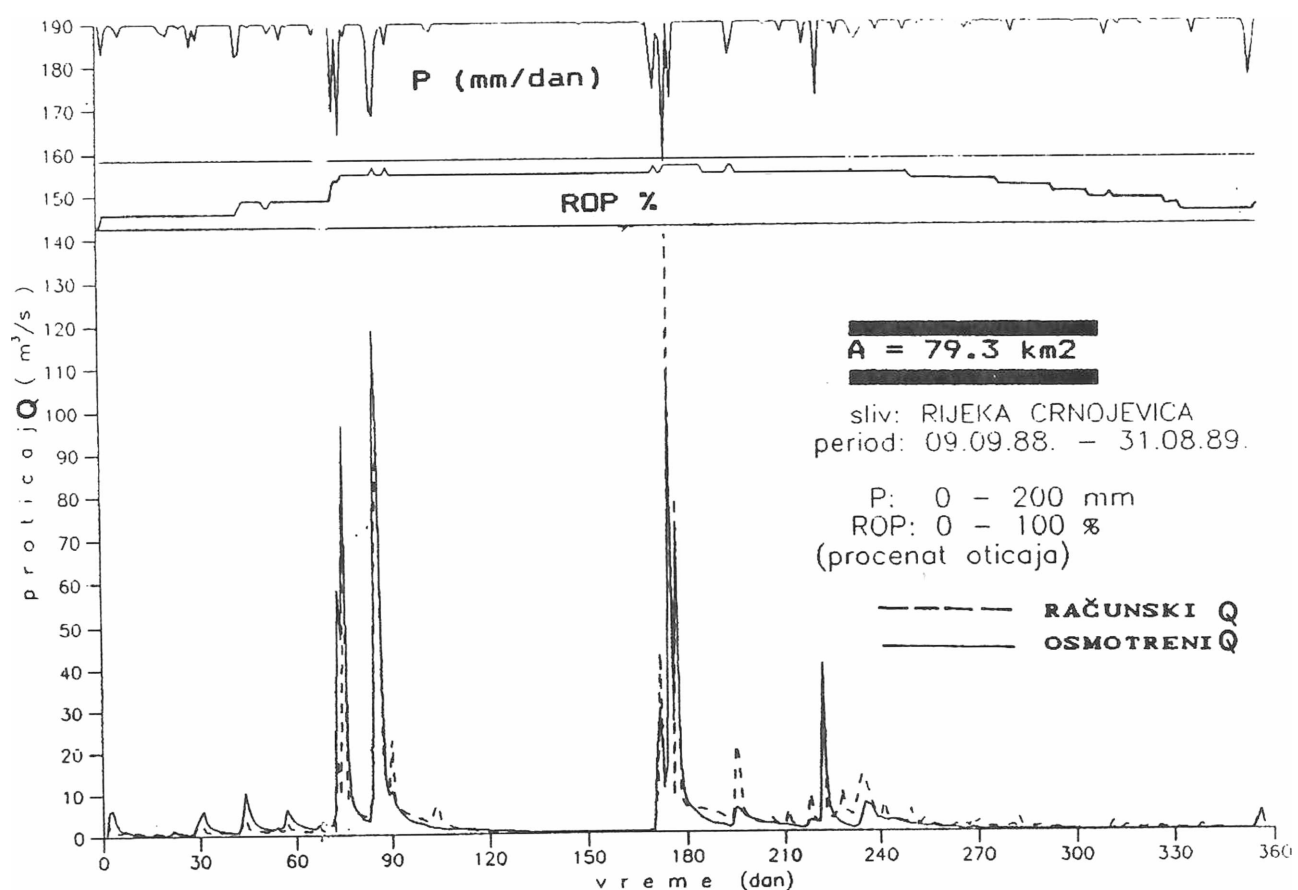


SL.6.9. Uporedni prikaz računskih (R) i osmotrenih (O) proticaja na izlaznom profilu sistema

tabela.3

HIDROLOSKA 1988/89

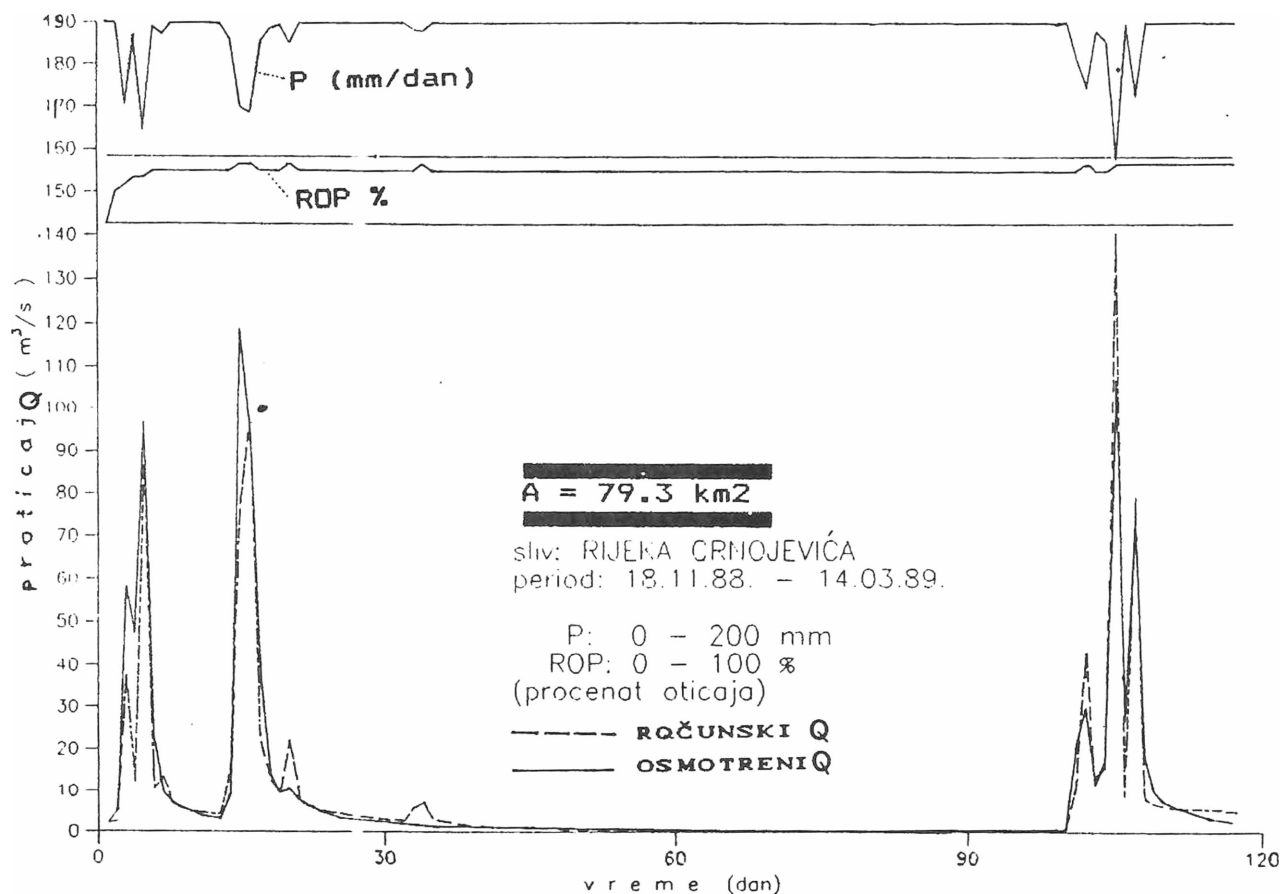
PARAMETARI IDENTIFIKACIJE MODELA	RACUNSKA	OSMOTRENE	ODSTUPANJA	
	VRIJEDNOSTI (R)	VRIJEDNOSTI (O)	(R-O)	R/O
Q_{max} - max. proticaj m ³ /s	140.90	119.0	21.90	1.18
ΣQ - ukupna kolicina protoka	1387.60	1412.7	35.1	0.02
T_{max} - vrijeme pocetka max.talasa	175	85	90	
RMS - srednje kvadratno odstupanje		0.003629		
r - koeficijent korelacije		0.916273		



SL.6.10. Uporedni prikaz računskih (R) i osmotrenih proticaja na izlaznom profilu sistema.

tabela.4 PERIOD MAX.PROTOKA 18.XI.88.-14.03.89

PARAMETARI IDENTIFIKACIJE MODELA	RACUNSKE	OSMOTRENE	ODSTUPANJA	
	URIJEDNOSTI (R)	URIJEDNOSTI (O)	(R-O)	R/O
Q_{max} - max. proticaj m ³ /s	141.20	119.0	22.20	1.19
ΣQ - ukupna kolicina protoka	914.90	1001.20	89.70	0.09
T_{max} - vrijeme pocetka max.talasa	105	15	90	
RMS - srednje kvadratno odstupanje		0.007525		
r - koeficijent korelacije		0.941229		



SL.6.11. Uporedni prikaz računskih (R) i osmotrenih priticaja (Q) na izlaznom profilu sistema.

Polazeći od primarnih kriterijuma za identifikaciju modela SSARR, proizilazi da površina sliva $A = 79.3 \text{ km}^2$ najbolje podržava odziv modela po svim ovim kriterijumima. Što znači, da je kroz simulaciju oticanja definisana i mjerodavna veličina površine sistema rijeke Crnojevića i istovremeno potvrđeni rezultati hidrološkog bilansa o o veličini mjerodavne površine sistem. U cilju uporiđivanja rezultata modela za veličine površina $A_2 = 92.0 \text{ km}^2$ i $A_3 = 118 \text{ km}^2$

izvršena je identifikacija modela preko ukupne razlike količina proticaja (ΣQ) računskog (R) i osmotrenog (O) hidrograma na izlaznom profilu sistema (tabela.5)

tabela.5

A (km ²)	ΣQ —parametar identifikacije			
	(R)	(O)	(R-O)	(R/O) %
79.3	2952.10	2556.40	395.70	13.4
92.0	1930.20	2556.40	626.20	24.5
118	1636.40	2556.40	920.00	36.0

R— računске vrijednosti hidrograma

O— osmotrene vrijednosti hidrograma

Na osnovu vrijednosti iz tabele.5 pokazuje se, da odstupanja između računskih i osmotrenih hidrograma su izražena (24,3 % i 36 %) za površine A2 i A3. Što znači, da odziv modela iznad površine A1 (79,3 km²) pokazuje bitna neslaganja u simulaciji oticanja, iz čega se zaključuje da je veličina površine od 79.3 km² mjerodavna površina sistema rijeke Crnojevića.

7. ZAKLJUČAK

Polazeći od osnovnog zadatka i definicije problema, u radu je sproveden postupak hidrološke analize kretanja kraških voda u sistemu rijeke Crnojevića.

■ Hidrološki aspekti analize oslonjeni su na rezultate istražnih hidroloških radova u trajanju od 3 godine (1 oktobar 1987 - 1 oktobar 1990 godine) i na raspoloživim informacijama interdisciplinarnog izučavanja na ovom i širem području sistema. Skoro sve hidrološke istrage u ovom periodu (*osim mjerenja isparavanja*) povezane su sa rezultatima mjerenja proticaja na novoj hidrološkoj stanici Rijeka Crnojevića na izlaznom profilu sistema.

■ Na osnovu analize konture izlaznog hidrograma sagledavan je odziv sistema ili brzina reakcije na padavinske impulse časovnog inteziteta. Stepenasta forma uzlazne grane hidrograma je dokaz izražene koordinacije između oticanja i padavina. S druge strane, kroz stepenastu konturu manifestuje se dinamička nestabilnost hidrološkog procesa, što indicira na spoznaju da u sistemu ne postoje značajniji akumulacioni prostori, čiji bi se uticaji odrazili kroz sporiju reakciju sistema i mirniju dinamiku hidrološkog procesa. Rezultati analize pokazuju da na vrijeme početne reakcije sistema (t_c) bitno ne utiče predhodno hidrološko stanje u sistemu. Naime, bilo da je sistem u zasićenju ili na kraju iscrpljenosti, početno vrijeme reakcije u oba slučaja iznosi oko 2 časa i zavisi od inteziteta padavinskog impulsa iznad 10 mm/čas. Kroz ovu pojavu manifestuje se dominantnost uticaja provodnih zona na hidrološki proces i kretanje kraških voda u sistemu. Kvantifikacija vremena početka reakcije sistema (t_c) primjenom kroskorelacije između padavina i derivacija proticaja ferifikovala je vrijednost koja je dobijena hidrološkom analizom. Uvođenjem derivacija protoka ima svoje fizikalno značenje kroz samu brzinu reakcije proticaja, odnosno "brzinu promjene proticaja" u nekom vremenskom intervalu. Rezultati analize idu u prilog hipotezi o postojanju glavne provodne zone kretanja kraških voda i da je pretežni dio sistema lociran neposredno uz provodnu zonu. Provodna zona ide u pravcu Cetinjsko polje - Lipska pećina - Dobrsko selo - Obodska pećina (izvor). Brzi odziv sistema na padavinske impulse registrovane u samom Cetinju je takođe parametar identifikacije dominantnog uticaja padavina na slivno područje Cetinjskog polja na hidrološko stanje ukupnog sistema i režim kretanja kraških voda ka izlaznom profilu.

■ Analiza reakcije sistema kroz promjenu nivoa podzemnih voda u Cetinjskom polju u neposrednoj blizini linije pružanja cetinjskog rasjeda usporenije slijedi produkcione impulse padavina. Pokazuje se zakašnjenje početka podizanja nivoa u odnosu na početak padavina i početnu reakciju ukupnog sistema. Početak intezivne

reakcije nivoa podzemnih voda je nakon 13 časova od pojave padavinskog impulsa većeg od 10 mm a sa vremenskim pomakom od 6 časova prije pojave vrha izlaznog hidrograma. Maksimum nivograma je trenutnog zadržavanja sa brzim padom na početno stanje. Izduženi oblik nivograma podzemnih voda je pretežno u slučajevima kada je sistem Cetinjskog polja pod predhodnim uticajem padavina koje su većim dijelom ispunile pukotinski volumen područja, dok slučaju stanja iscrpljenosti sistema nivo podzemnih voda ne reaguje. Karakter reakcije nivoa podzemnih voda u blizini rasjeda u svakom slučaju je pod uticajem efekata hidrauličkog rada rasjeda kao prelivnog evakuacionog organa i njegove interakcije sa lokalnom geometrijom u području rasjeda i dijela područja Cetinjskog polja. Izvjesno je da rasjed izaziva prirodnu depresiju u zoni istražnih bunara (Donji kraj) na zapadnom krilu rasjeda, a slabija osjetljivost reakcije podzemnih voda na padavinske impulse je efekat izražene "fiktivne širine prelivne ivice" rasjeda. Kroz uspostavljanje veze između oticanja na izlazu iz sistema i promjene nivoa u zoni rasjeda manifestuje se uticaj rasjeda kroz pojavu "dvostruke grane" dijagrama. Vremenski pomak između izlaznog hidrograma i nivograma podzemnih voda odražava se u pojavi karakteristične "petlje" u tački koja slijedi odmah nakon naglog pada nivograma. Odnosno, pojava maksimalnog proticaja pri najvećem pražnjenju indicira na posledicu uticaja rasjeda kao lokalnog fenomena na kretanje kraških voda. S druge strane, eksperimentalnim crpljenjem na granicama depresionog uticaja rasjeda ne odražava se na spustanje nivoa u području blisko lokaciji crpljenja, što se tumači o izraženom lokalnom uticaju geometrije sredine i slučajne komponente prostorne raspodjele pukotinskog sistema, prslina i provodnih kanala u kraškom sistemu Cetinjskog polja. Rezultati crpljenja idu u prilog predhodnih analiza ka gledištu da lokalitet istražnih bunara (Donji kraj) nije prioritetan smjer kretanja podzemnih voda iz Cetinjskog polja ka Cetinjskom rasjedu.

■ Rezultati analize "rada" glavnog ponora pri intenzivnoj kišnoj epizodi pokazuju da ponor reaguje i na padavinske impulse manje od 10mm/čas sa naglim verikalnim podizanjem i spustanjem po prestanku padavina na početno stanje. Karakter ovog procesa pokazuje da ne postoji koordinacija rada ponora u praćenju silazne grane hidrograma na izlaznom profilu sistema. Naime, trenutna reakcija ponora na padavinske impulse sa mogućim izlivanjem voda na površinu terena, indicira na postojanje geometrijskih smetnji "kontrakcije" kod podzemne veze ponora sa glavnom provodnom zonom, vjerovatno u neposrednoj blizini samog ponora. S druge strane, vertikalni pad silazne grane nivograma ponora pokazuje da je kretanje voda poslije kontrakcije bez smetnji, jer se po prestanku padavina ne osjećaju nikakve refleksije hidrološkog procesa sistema na rad ponora. Što znači, da je rad ponora pod uticajem lokalnih karakteristika svoje provodne zone i njene prohodnosti ka rasjednoj zoni preko koje ponor komunicira sa glavnom provodnom zonom sistema. Porijeklo geometrijskih smetnji, vjerovatno je genetske prirode sa pogoršanjem propusnosti zbog velikih količina kanizacionog sadržaja iz gradske kanalizacije Cetinja. Rezultati eksperimentalnog određivanja brzine kretanja podzemnih voda pokazuju da je provodljivost podzemnih veza ponora smanjena za 64 -76 % u odnosu na 1934 godinu. Naime, prema prvom eksperimentalnom mjerenju (S.MILOJEVIĆ), vrijeme putovanja trasera od glavnog ponora do izlaza je 41 čas ili 0.074 m/s, a prema mjerenjima iz 1987 i 1988

godine, vrijeme putovanja je 67, odnosno 72 časa ili 0.042 m/s, odnosno 0.045 m/s. Realno je pretpostaviti da je pored uticaja kanalskog i drugog otpada na smanjenje funkcionalnosti rada ponorske ponorske provodne zone, moguć i utcaj zemljotresa jakog inteziteta aprila 1979. preko poremećaja geometrije sredine, a time i moguć i uzročnik kontrakcije na podzemnoj vezi ponora sa glavnom provodnom zonom. Upoređujući rezultate mjerenja brzine putovanja trsera iz zone istražnih bunara (B.MIJATOVIĆ, 1974) sa brzinom kretanja trasera iz ponorske zone (glavni ponor) pokazuje se da je ono za 5,6 puta sporije od pravca kretanja glavni ponor – izlazni profil. Na ovaj način verifikuju se rezultati hidrološke analize o sporoj reakciji podzemnih voda u Cetinjskom polju na padavinske impulse usled uticaja lokalnih fenomena geometrije sredine na kretanje kraških voda. S druge strane, potvrđuju se rerezultati analize o kretanju kraških voda na pravcu Cetinjsko polje (ponorska zona) – Dobrsko selo – Obodska pećina.

■ Za identifikaciju kretanja kraških voda anilizarane su pojave ekstremnog hidrološkog stanja (februar, 1986) na gradskom području Cetinja i u pravcu Rijeke Crnojevića. Ekstremno hidrološko stanje izazvalo je otvaranje novih ponora, pojavu novih izvorišta i plavljenje u pravcu izvora rijeke Crnojevića. Iz čega prizilazi logičnost zaključka, da se najizraženiji efekti reakcije sistema odigravaju na dominantnim podzemnim pravcima kretanja kraških voda. Ili, da prostorni položaj pojava oblika manifestuje efekte rada sistema na površini terena, čime se otkrivaju i najvjerojatniji putevi sa pravcom i smjerom kretanja podzemnih voda. Na ovaj način, koristeći "učinke" ekstremnog hidrološkog stanja, identifikovan je moguć i pravac i smjer kretanja podzemnih voda u području Cetinjskog polja i u pravcu Rijeke Crnojevića.

■ Polazna saznanja o veličini površine sistema rijeke Crnojevića sadržana su u rezultatima izvršene hidrološke analize za različita hidrološka stanja u sistemu i hidroloških parametara identifikacije kretanja kraških voda u zonama koncetriranih kraških fenomena sistema, kao i raspoloživih informacija iz domena geofizičke izučenosti područja. Na osnovu konačnih rezultata rješenja jednačine hidrološkog bilansa za tri pretpostavljene veličine površine, sa najmanjim deficitom oticanja je veličina površine od 79.3 km². Pokrivenost padavina sa oticanjem je u iznosu od 86 % za hidrološku vodnu i 93.1 % za hidrološku sušnu godinu. Deficit oticanja od 15.4 % za hidrološku vodnu je logička posledica izraženog uticaja slučajne komponente prostorne raspodjele geometrije prslienskog sistema i kolektorskih provodnika na transformaciju padavina u oticanje i režim kretanja kraških voda pri ekstremnim hidrološkim stanjima. Jedan vid manifestacija ovih uticaja na deficit oticaja pri maksimalnim vodama odražava se u kretanju dijela voda iz graničnih zona Obzovice ka pravcu Podgorskih vrela. Deficit oticanja preko uticaja rasjednih zona Metrizskog rasjeda u pravcu vrulja u Skadarskom jezeru (Grab, Ploče...) nije eksperimentalno dokazan. Deficit oticanja pri hidrološkoj sušnoj godini od 7 % je potvrda primarne zastupljenosti mjerodavne veličine površine sistema na transformaciji padavina na oticanje preko izlaznog profila. Odnos padavina i oticanja za mjerodavnu površinu sistema kod oba hidrološka stanja pokazuju grupisanje oko jediničnog pravca ($Q=P$), čime se manifestuje brza reakcija sistema

i doprinos snijega. Visoka vrijednost koeficijenta korelacije između mjesečnih visina ekvivalentnih padavina na slivu i mjesečnih padavina Cetinja pokazuje dominantnost uticaja Cetinjskog polja i njegovog slivnog područja na hidrološko stanje ukupnog sistema rijeke Crnojevića.

■ Rezultati hidrološke analize pokazuju da se u kretanju kraških voda sistema rijeke Crnojevića manifestuju sličnosti sa kretanjem površinskih tokova u kraškim područjima. Ova specifičnost potvrđena je u primjeni konceptualnog hidrološkog modela SSARR na simulaciji oticanja preko padavina i evaptranspiracije u cilju određivanja mjerodavne veličine površine sistema. Identifikacija modela pokazuje vrlo dobro slaganje računskih i osmotrenih protoka za površinu od 79.3 km². Visoki koeficijent korelacije od $r = 0.89$ za hidrološku vodnu godinu i $r = 0.94$ za hidrološku sušnu godinu između računskih i osmotrenih protoka verifikuje određenu vrijednost mjerodavne površine metodom hidrološkog bilansa.

■ U radu nije analizirana uloga Cetinjske pećine na hidrološki proces u području Cetinjskog polja, jer je za isto bilo potrebno izvesti kompleksna mjerenja oscilacija podzemnih voda i istražiti povezanost sa primarnom zonom kretanja kraških voda iz Cetinjskog polja. Morfologija pristupnih kanala pećine i položaj u odnosu na mogućnost postavljanja mjernih instrumenata, zahtjeva nabavku specijalnih mjernih sonde sa mogućnošću mjerenja oscilacije nivoa iznad 100 m. Ovo je iziskivalo znatna finansijska sredstva. Ipak, na osnovu pojave ekstremnog hidrološkog stanja iz 1986 godine i njenu bitnu ulogu na izlivanje velikih voda na površini gradskog područja i Donjeg polja, indicira na dio njenog uticaja u kretanju kraških voda iz Cetinjskog polja, te eventualnog postojanja izolovane retenzije podzemnih voda manje zapremine. U daljim istraživanjima ovog prostora, uloga Cetinjske pećine u hidrološkom procesu treba da ima prioritetan značaj kao i hidraulički rad Cetinjskog rasjeda sa aspekta preciznijeg definisanja njegovog hidrauličkog rada. Takođe, potrebno je da se detaljnije istraže načine komuniciranja sa kolektorskim provodnim zonama na zapadnom krilu rasjeda i njegovog komuniciranja sa glavnom provodnom zonom sistema i uticaja na realizaciju ukupnog oticanja na izlaznom profilu.

L I T E R A T U R A

Republički hidrometeorološki zavod Crne Gore (1987-1990) :
HIDROLOŠKI I METEOROLOŠKI PODACI ZA ŠIRE PODRUČJE CETINJA
Arhivska građa, Titograd

Radulovic, M., Vujisic, P., (1989) : PRILOG METODOLOGIJI ISTR-
AŽIVANJA AKUMULACIJA PODZEMNIH VODA I PROVODNIH ZONA U
KARSTNIM TERENIMA, Geološki glasnik, knjiga XIII, Zavod za
geološka istraživanja SR CRNE Gore, Titograd

Građevinski fakultet - Zavod za hidrotehniku, (1986) : MAAKSIMALNO
VJEROVATNE VELIKE VODE, Izdanje br.18., Sarajevo

Mijatovic, B., (1986) : FUNKCIONISANJE HIDROGEOLOŠKOG SISTEMA U CE-
TINJSKOM POLJU, Vodoprivreda, 102-103, Beograd

Bonacci, O., (1986) HIDROLOŠKA ANALIZA U POLJIMA U KRŠU, Vodopriv-
reda, 102-103, Beograd

Boškovic, M., Živaljevic, R., (1986) : HIDROLOŠKI OSVRT NA POPLAVU
CETINJA OD 18 - 20.II.1986, Vodoprivreda, 102-103, Beograd

Građevinski fakultet - Zavod za hidrotehniku, (1988) : UNAPREĐENJE
METODA KORIŠTENJA I ZAŠTITE VODA U OBLASTI MEDITERANSKOG
KRŠA, IV periodični izvještaj.

Avdagic, I., (1987) OTICANJA U KRAŠKIM HIDROLOŠKIM SISTEMIMA,
Doktorska disertacija

Petrovic, J., (1982) CETINJSKE PEĆINE, Prirodnomatematički fakult-
et-Institut za geologiju, Novi Sad

Jevđević, V., (1974) STOHAŠTIČKI PROCESI U HIDROLOGIJI, Sarajevo

Jugoslovensko društvo za hidrologiju, (1985) : METODE MJERENJA I
OBRADE S RAČUNSKIM PRIMJERIMA, Predavanja održana na IV
seminaru JDH, Bled

United states department of agriculture, (1973) : LINEAR THEORY OF
HYDROLOGIC SYSTEMS, Technical Bulletin N^o.1468, Washington, D.C.

Jugoslovensko društvo za hidrologiju, (1974) : SAVETOVANJE O
HIDROLOŠKIM ASPEKTIMA MALIH VODA, Budva, 23-26 septembar
1974, Beograd

Фихтенголд, Г.М., (1970) : КУРС ДИФЕРЕНЦИАЛЬНОГО И ИНТЕГРАЛЬНОГО ИСЧИСЛЕНИЙ, Москва.

Jovanovic, S., (1977) : PRIMENA METODA MATEMATIČKE STATISTIKE U HIDROLOGIJI, Građivinski fakultet univerziteta u Beogradu.

Srebrenovic, D., (1986) : PRIMIJENJENA HIDROLOGIJA, Tehnička knjiga, Zagreb.

Otorepec, S., (1980) : AGROMETEOROLOGIJA , Beograd.

Otorepac, S., (1980) : PRILOG PROUČAVANJU ISPARAVANJA SA GOLOG ZEMLJIŠTA NA NEKIM LOKALITETIMA UMJERENO- KONTINENTALNE KLIME U JUGOSLAVIJI, BEOGRAD.

Radulovic, V., (1989): HIDROGEOLOGIJA SLIVA SKADARSKOG JEZERA, Zavod za geološka istraživanja SR Crne Gore, Titograd

Zavod za geološka i geofizička istraživanja (1971,1973) : KOMPLESNA HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA CETINJSKOG POLJA (Način korišćenja izdanskih voda za vodosnadbjevanje Cetinja) - Idejni projekat, Beograd.

Bracewell, R., (1978) : THE FOURIER TRANSFORM AND ITS APPLICATIONS, McGraw-Hill Book Comp. New York.

Jugoslovensko društvo za hidrologiju, (1975) : STATISTIČKA (STOHAISTIČKA) HIDROLOGIJA , Seminar o obradi hidroških podataka u Izoli - Sveska 2., Beograd.

DADiSPI - Signal analysis software , (1990) : RJEŠAVANJE REAKCIJE SISTEMA METODOM KROSKORELACIJE (KONVOLUCIJA) POMOĆU DADiSPI PROGRAMSKOG PAKETA ZA PC-RAČUNARE

Institut "Mihilo Pupin", (1974, 1988) : SSARR - PC, PROGRAM ZA HIDROLOŠKO PROGNOZIRANJE , Beograd.

Rudarsko - geološki fakultet (1986) : HIDROLOŠKA STUDIJA CETINJSKOG POLJA, BEOGRAD.

Vukotic, V., (1986) : MJERE ZAŠTITE OD POPLAVE U PROSTORNIM I REGULACIONIM PLANOVIMA CETINJA, Savjetovanje o poplavama i i odvodnjavanju Cetinjskog polja, Skupština opštine Cetinje

Republički zavod za urbanizam i projektovanje (1983) : PROSTORNI PLAN OPŠTINE CETINJE I REVIZIJA GENERALNOG URBANISTIČKOG PLANA CETINJE, 1. STUDIJA PRIRODNO GEOGRAFSKIH ODLIKA - AB3 KLIMATSKE ODLIKE, TITOGRAĐ

P R I L O Z I

PRILOG.1

TABELARNI PREGLED MJESECNIH I GODISNJIH TEMPERATURA VAZDUHA

STANICA: I V A N O V A K O R I T A

GOD/M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Tsr
1957	-1.4	1.1	2.7	5.7	8.4	15.4	16.9	16.2	12.6	10.5	5.0	0.1	7.8
1958	0.0	2.9	-0.2	3.7	13.6	13.6	17.0	18.3	12.3	8.6	6.0	4.0	8.3
1959	-1.5	0.4	5.2	10.2	12.9	14.0	16.4	14.7	10.6	6.4	4.6	2.8	8.0
1960	0.0	1.0	2.4	5.6	9.9	13.2	14.2	16.4	10.9	9.7	5.7	2.9	7.7
1961	-1.0	-0.8	3.1	7.9	8.6	13.5	14.9	16.2	13.7	8.5	5.2	0.5	7.5
1962	0.6	-2.5	0.3	5.7	10.1	12.3	16.4	18.8	12.9	8.7	4.6	-1.2	7.2
1963	-3.4	-2.2	-0.4	5.3	9.8	13.6	16.3	16.2	13.5	7.4	6.8	2.2	7.1
1964	-2.2	-1.1	2.1	5.1	9.4	14.5	15.1	14.3	11.5	8.1	5.3	1.7	7.0
1965	-0.5	-6.1	0.8	3.1	9.1	13.5	17.4	14.6					
Tsr	-1.0	-0.8	1.8	5.8	10.2	13.7	16.1	16.2	12.2	8.5	5.4	1.6	7.6

TABELARNI PREGLED MJESECNIH I GODISNJIH TEMPERATURA VAZDUHA

STANICA: R I J E K A C R N O J E V I C A

GOD/M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Tsr
1951	6.7	9.1	10.8	13.4	18.2	23.0	26.2	26.4	22.6	13.4	11.2	6.7	15.6
1952	6.2	6.1	8.6	16.5	18.2	24.2	28.2	28.6	22.0	23.8	9.9	9.2	16.0
1953	4.5	5.9	8.1	14.3	17.8	22.4	25.6	25.0	20.8	16.2	7.4	4.5	14.4
1954	2.2	2.3	11.1	13.1	16.5	23.7	24.2	24.1	22.2	14.0	9.4	6.7	14.1
1955	8.3	8.8	9.6	11.8	19.3	22.8	24.8	23.0	19.7	14.7	9.6	7.8	15.0
1956	6.8	1.3	6.8	13.7	18.4	20.6	24.3	26.3	21.9	13.5	9.3	5.4	14.0
1957	4.2	8.6	10.3	14.2	17.0	23.7	25.8	24.2	19.0	14.3	9.1	5.6	14.7
Tsr	5.6	6.0	9.3	13.9	17.9	22.9	25.6	25.4	21.2	15.7	9.4	6.6	14.8

PRIOG. 2

TABELARNI PREGLED MJESECNIH I GODISNJIH VISINA PADAVINA

STANICA:RIJEKA CRNOJEVICA

GOD/M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	G. SUMA
1951	247	468	357	184	170	152	0	16	254	234	469	231	2782
1952	412	164	115	30	85	16	15	10	150	428	635	672	2732
1953	123	321	9	213	218	159	36	16	98	46	10	115	1364
1954	384	360	487	238	231	54	13	35	96	244	290	331	2763
1955	305	509	225	14	17	27	46	54	515	606	309	311	2938
1956	354	408	116	186	40	191	14	25	26	226	460	209	2255
1957	284	424	23	101	219	25	33	41	141	354	347	405	2397
1958	386	250	437	380	82	50	32	37	57	238	502	753	3204
1959	395	84	174	186	123	143	39	170	136	87	392	708	2637
1960	268	680	536	210	63	12	102	25	240	507	518	517	3678
1961	358	171	28	270	145	137	26	51	10	221	770	240	2427
1962	165	272	790	342	60	15	151	1	194	212	717	522	3441
1963	684	627	229	55	209	249	69	185	145	101	261	435	3249
1964	.	189	300	193	63	68	55	31	57	303	237	477	1973
1965	240	190	130	294	39	30	6	36	104	.	351	349	1769
1966	347	276	101	33	121	44	45	22	131	596	342	249	2307
1967	211	73	121	256	38	53	32	17	201	18	238	312	1570
1968	276	185	237	10	74	158	22	227	177	66	424	368	2224
1969	258	607	245	195	107	122	13	135	145	.	384	400	2611
1970	592	255	252	325	42	9	28	134	3	149	322	432	2543
1971	391	130	185	182	29	47	7	12	206	91	414	148	1842
1972	296	208	62	136	61	19	73	171	264	163	245	68	1766
1973	273	213	71	126	23	22	59	15	106	123	211	240	1482
1974	68	159	158	218	214	48	15	47	550	573	232	110	2392
1975	53	46	240	116	37	24	32	102	111	253	255	169	1438
1976	203	158	220	268	150	127	78	140	188	273	517	640	2962
1977	347	307	227	161	78	24	90	76	159	145	392	340	2346
1978	339	482	338	312	315	64	4	9	316	174	124	337	2814
1979	507	284	240	402	4	102	75	131	96	444	496	338	3119
1980	222	127	316	142	282	137	38	29	17	375	741	319	2745
1981	246	196	288	153	96	28	20	85	232	360	71	676	2451
1982	63	84	365	59	4	78	22	152	30	317	239	384	1797
1983	70	263	98	90	115	94	29	67	80	102	217	380	1605
1984	522	250	179	98	176	10	0	74	436	159	404	217	2525
1985	280	187	268	75	93	77	0	54	6	37	833	362	2272
1986	506	636	247	106	33	140	50	18	22	251	73	220	2302
1987	603	193	303	92	230	135	18	39	45	239	540	314	2751
1988	174	454	270	283	72	105	.	12	364	122	246	281	2383
PSR	302	275	236	183	104	78	39	72	151	221	379	361	2401

PRILOG. 3

TABELARNI PREGLED MJESECNIH I GODISNJIH TEMPERATURA VAZDUHA

STANICA: CETINJE

PERIOD: 1956-1989

GOD/M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Tsr
1956	2.6	-2.6	1.1	8.0	13.8	16.2	21.3	22.6	18.2	9.8	6.2	1.6	9.9
1957	-0.6	3.3	4.7	10.0	12.4	19.2	21.5	20.0	15.1	11.9	6.0	2.2	10.5
1958	1.6	3.9	2.3	6.8	16.0	17.2	20.7	21.4	15.0	9.6	7.1	5.5	10.6
1959	-1.5	0.6	7.7	9.2	13.8	16.4	20.2	18.7	13.3	7.8	5.7	5.4	9.8
1960	1.1	2.4	5.2	9.2	13.2	17.8	18.4	19.2	14.8	11.9	7.2	4.4	10.4
1961	1.4	1.4	6.3	11.3	12.6	17.3	19.1	20.3	16.3	10.8	7.4	3.0	10.6
1962	3.6	0.2	3.5	9.5	14.4	17.4	20.0	22.5	16.7	10.8	5.8	0.6	10.4
1963	-0.7	0.9	2.7	10.0	14.2	17.7	20.8	20.4	16.2	10.2	10.4	4.0	10.6
1964	2.3	3.0	4.5	9.3	13.8	19.1	19.3	18.0	14.6	11.2	7.3	3.7	10.5
1965	1.5	-3.5	4.3	7.8	13.4	17.6	20.8	18.6	15.1	8.5	7.2	4.0	9.6
1966	-1.5	4.0	4.2	10.9	13.4	18.0	19.2	20.3	16.0	13.2	6.2	2.5	10.5
1967	-1.5	-1.3	6.0	8.8	13.4	16.5	20.4	20.5	15.6	11.7	6.7	2.7	10.0
1968	-1.8	2.5	4.0	10.4	15.6	16.7	21.0	16.2	14.2	10.3	7.2	1.2	9.7
1969	-0.4	1.1	4.0	6.9	15.5	16.3	19.6	19.8	16.2	9.3	5.7	1.4	9.6
1970	3.6	0.1	4.5	9.4	12.4	18.5	20.2	19.7	13.9	7.9	4.8	1.1	9.7
1971	2.4	1.5	1.5	8.9	15.2	18.0	20.7	21.4	13.9	7.6	4.9	1.9	9.8
1972	0.8	3.8	6.6	10.4	14.2	19.6	20.5	18.2	12.9	6.8	4.9	0.6	9.9
1973	1.4	1.2	3.3	7.0	15.8	18.0	20.9	19.6	16.5	10.7	5.1	1.7	10.1
1974	2.1	4.1	6.2	7.9	11.9	15.8	19.1	20.5	15.2	8.2	4.2	1.4	9.7
1975	0.1	0.2	5.3	9.1	14.3	16.6	18.9	17.6	15.7	9.0	4.6	1.8	9.4
1976	0.0	0.6	2.9	8.4	13.9	16.8	17.9	14.9	12.1	9.7	5.9	2.3	8.7
1977	1.5	4.9	6.8	8.6	13.1	16.1	19.2	17.5	13.6	8.2	6.6	0.7	9.7
1978	0.0	2.3	5.3	8.1	11.5	16.6	18.4	17.6	12.2	8.8	2.4	3.8	8.9
1979	-0.1	3.3	5.9	7.2	14.5	18.3	18.2	17.1	13.8	10.2	6.7	3.7	9.9
1980	-2.0	0.9	3.8	6.1	11.0	16.1	18.4	18.9	14.4	10.6	6.9	0.6	8.0
1981	-3.3	-0.4	5.1	6.6	10.5	15.1	14.5	15.3	12.9	9.9	1.4	1.7	7.9
1982	1.1	-0.4	3.2	8.4	14.2	18.4	19.6	19.0	16.8	10.5	4.5	4.1	10.0
1983	1.0	-0.1	5.1	9.4	14.0	16.2	19.9	17.6	13.7	8.3	3.8	2.5	9.3
1984	2.3	1.6	3.7	8.4	12.3	16.1	19.1	17.2	13.7	11.8	5.6	1.3	9.4
1985	-0.3	-0.9	4.7	9.2	15.1	16.5	20.2	19.8	15.2	9.5	6.7	3.9	10.0
1986	0.9	1.5	6.2	9.9	16.3	18.1	19.4	20.9	15.8	10.2	5.0	-1.0	10.0
1987	1.0	2.9	0.2	8.6	11.4	17.0	21.5	18.6	18.5	10.9	7.2	3.3	10.0
1988	3.7	2.4	3.9	7.5	15.0	17.3	22.5	20.6	15.2	9.8	1.1	1.0	9.9
1989	-0.4	2.8	7.1	9.8	12.6	15.6	19.6	18.7	14.5	8.5	4.2	1.6	9.6
Tsr.	0.64	1.3	4.4	8.7	13.7	17.2	19.7	19.1	14.9	9.8	5.7	2.3	9.8

Tsr.=9.8°C srednja godisnja vrijednost
za period 1956-1989

PRILOG. 4

TABELARNI PREGLED MJESECNIH I GODISNJIH VISINA PADAVINA

STANICA: CETINJE

Godina: 1956-1989

GOD/M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	G.SUM
1956	354	403	146	150	121	168	18	24	33	377	660	221	2675
1957	269	566	53	138	222	16	108	54	201	438	343	458	2866
1958	333	294	535	389	104	105	41	35	120	302	668	1046	3972
1959	446	121	207	194	243	181	75	143	111	103	334	884	3042
1960	340	775	600	287	108	42	79	33	263	535	546	585	4194
1961	428	66	62	200	179	94	76	37	8	288	843	127	2408
1962	250	157	955	518	43	38	86	12	209	217	928	551	3964
1963	839	734	312	141	230	274	124	134	149	146	401	919	4403
1964	12	303	570	321	94	66	82	113	35	607	297	824	3344
1965	360	249	391	522	80	84	9	68	184	.	619	669	3235
1966	630	476	232	140	180	60	77	4	135	758	608	479	3779
1967	454	97	201	397	124	56	127	39	319	32	423	457	2726
1968	544	394	414	37	100	110	35	361	471	117	705	717	4005
1969	417	1028	448	503	198	156	39	187	263	.	268	307	3814
1970	974	154	325	488	144	11	52	166	5	112	303	440	3174
1971	647	330	434	251	98	60	50	120	284	178	542	162	3156
1972	414	369	238	274	148	30	254	552	502	418	506	237	3942
1973	436	488	62	242	40	54	75	49	195	151	240	332	2364
1974	118	481	228	250	374	98	4	51	512	924	347	145	3532
1975	77	80	417	206	117	84	90	112	105	367	361	344	2360
1976	219	209	328	291	160	191	106	161	92	430	625	800	3612
1977	489	572	362	188	113	36	93	105	203	252	590	516	3519
1978	507	567	503	433	458	91	6	32	405	198	181	458	3839
1979	876	468	437	736	35	166	107	188	103	551	701	548	4916
1980	358	177	463	137	348	127	51	44	40	500	949	454	3648
1981	318	366	457	219	142	47	6	90	201	350	79	1066	3341
1982	99	129	540	51	33	145	71	69	63	390	337	607	2534
1983	95	350	130	137	205	144	126	118	142	154	309	478	2388
1984	863	324	307	134	286	23	28	136	327	189	564	204	3385
1985	351	228	333	158	130	88	2	28	18	67	1009	452	2864
1986	744	915	521	188	98	163	46	19	43	207	157	273	3374
1987	829	289	394	144	320	166	59	55	45	326	816	476	3919
1988	474	599	554	371	75	100	6	23	271	178	383	376	3410
1989	0.5	179	427	256	76	60	59	172	205	312	324	128	2198
Psr	429	380	370	267	159	98	67	104	184	300	500	492	3350

Psr. = 3350 mm (1956-1989)

Pmin. = 2198 mm (1989)

Pmax. = 4916 mm (1979)

PRILOG. 5

TABELARNI PREGLED MJESECNIH I GODISNJIH VISINA PADAVINA

STANICA: IVANOVA KORITA

GOD/M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	G. SUM
1956	435	568	309	233	183	269	22	31	50	377	687	315	3479
1957	544	633	71	225	457	54	144	62	160	436	507	698	3991
1958	412	401	853	514	103	129	43	60	161	354	727	1005	4762
1959	603	123	301	269	329	199	39	87	73	100	542	922	3587
1960	485	783	729	304	166	83	99	22	220	526	567	842	4826
1961	527	155	92	349	254	180	53	56	10	337	852	380	3245
1962	267	327	1038	487	55	58	85	11	255	242	719	756	4300
1963	1140	821	436	161	318	484	121	166	198	103	377	808	5133
1964	15	276	754	465	170	176	48	133	57	634	342	1073	4143
1965	559	308	417	619	46	136	16	96	99	1	653	763	3713
1966	995	655	312	178	287	114	97	3	177	919	645	668	5050
1967	661	99	251	929	125	124	191	39	239	18	519	662	3857
1968	810	529	606	.	327	64	17	443	182	107	797	1010	4892
1969	607	1539	681	958	140	329	27	227	136	.	398	460	5502
1970	1617	198	449	1043	117	86	156	270	8	108	460	658	5170
1971	988	443	638	309	141	86	53	148	161	173	634	220	3994
1972	570	482	318	506	177	92	609	717	169	474	603	329	5046
1973	611	666	65	677	90	34	71	49	155	141	344	502	3405
1974	107	612	304	450	337	316	3	76	299	1162	415	209	4290
1975	55	68	586	219	177	110	87	120	78	408	470	502	2880
1976	253	237	453	465	178	250	66	155	66	492	718	1151	4484
1977	735	790	524	218	183	66	148	126	128	261	677	726	4582
1978	756	791	765	696	268	441	8	49	275	192	274	710	5225
1979	1419	687	650	1718	29	123	58	178	69	655	784	758	7128
1980	499	197	675	95	425	283	43	46	50	584	1013	593	4503
1981	439	452	676	235	192	100	7	142	124	384	174	1763	4688
1982	84	126	801	.	163	31	25	57	65	437	444	909	3142
1983	83	410	155	230	318	196	99	112	100	148	424	714	2989
1984	1412	447	428	135	386	113	62	220	163	187	657	277	4487
1985	467	271	463	168	219	111	.	39	33	55	1108	585	3519
1986	1235	1398	809	165	166	135	21	15	67	207	263	425	4906
1987	1309	399	570	125	397	307	40	54	52	356	895	639	5144
1988	708	831	856	506	91	110	1	29	224	169	469	546	4540
1989	.	175	610	317	119	72	60	211	127	337	438	189	2655
Psr.	630	497	519	411	210	160	77	125	130	326	579	669	4333

OSMOTRENI
PODACI

NIZ OD 1964-1989 PRIDUZEN NA OSNOVU PODATAKA CETINJA

PRILOG. 6

CASOVNE VRIJEDNOSTI KARAKTERISTICNIH HIDROGRAMA (Q)

NA IZLAZNOJ PROFILU SLIVA RIJEKE CRNOJEVICA

OD 14.XII.1987 - 18.XII.1987

OD 24.III.1988- 28.III.1988

hs. RIJEKA CRNOJEVICA

	14	15	16	17	18	19
Q _{m3/s}	Q _{m3/s}	Q _{m3/s}	Q _{m3/s}	Q _{m3/s}	Q _{m3/s}	Q _{m3/s}
1	5.41	150	60.0	17.7		
2	5.41	147	54.8	17.3	9.30	
3	5.41	164	51.5	16.4		
4	5.41	174	48.4	15.9		
5	5.41	184	45.5	15.0	9.00	
6	5.41	188	42.9	14.6		
7	5.41	184	39.8	14.2	8.67	
8	5.41	181	38.0	13.8		
9	5.41	175	35.5	13.4		
10	5.41	166	33.7	13.0		
11	5.41	160	31.9	12.7	8.35	
12	5.41	153	30.7	12.3		
13	5.41	149	29.5	11.9		
14	5.41	143	28.4	11.6		
15	5.61	134	27.8	11.3		
16	6.02	121	26.0	11.2	7.69	
17	7.90	114	24.8	11.0		
18	15.5	106	23.7			
19	26.0	98.2	23.1			
20	44.0	92.7	22.0	10.3		
21	86.1	86.1	21.1			
22	101	79.5	20.3			
23	128	74.0	19.2			
24	158	63.6	18.7	9.60		

HIDROLOŠKO STANJE ZA Q=188 m3/s

	24	25	26	27	28
Q _{m3/s}	Q _{m3/s}	Q _{m3/s}	Q _{m3/s}	Q _{m3/s}	Q _{m3/s}
1	1.97	38.0	27.8		
2	1.97	39.2	26.0		
3	1.97	40.4	24.8	9.65	
4	1.97	42.3	22.6		
5	1.97	46.9	22.0	9.00	
6	1.97	67.2	20.0		
7	1.97	81.7	20.8		
8	1.97	83.9	19.8	8.35	
9	1.97	81.7	18.7		
10	1.97	77.0	17.7		
11	1.97	73.0	16.8		
12	1.97	69.0	15.5	7.90	
13	1.97	65.4	15.0		
14	1.97	60.0	14.2		
15	1.97	54.8	13.4		
16	2.18	51.5	13.0		
17	2.92	46.9	12.3	7.69	
18	5.00	42.3	11.9		
19	8.35	39.8	11.6		
20	12.3	37.4	11.3		
21	20.3	34.3	11.0		6.43
22	23.7	31.9	10.6		
23	34.3	30.7	10.3	7.49	
24	36.8	29.5			

HIDROLOŠKO STANJE ZA Q=83,9M3/S

PRILOG. 7

CASOVNE URIJEDNOSTI PADAUINA JAKOG
INTEZITETA SA REAKCIJOM SLIVA NA IZ-
LAZU I OSCILACIJAMA PODZEMNIH UODA
OD 01.XII-03.XII.1988

CAS	01.XII.1988			02.XII.1988			03.XII.1988		
	P(mm)	Q (m3/s)	Npv(cm)	P (mm)	Q (m3/s)	Npv (cm)	P(mm)	Q (m3/s)	Npv (cm)
1	0	3.15	88	17.6	20.3	100	0	168	194
2	0	3.15	88	17.6	23.7	102	0	163	182
3	0	3.15	88	15.8	42.9	110	0	156	178
4	0	3.15	88	13.8	73.0	120	0	143	172
5	0	3.35	88	12.4	101	126	0.8	140	166
6	0	3.57	88	1.9	118	128	0.9	134	154
7	0	3.97	88	6.7	125	130	1.8	125	118
8	3.0	4.59	88	7.0	128	132	0.7	118	108
9	2.0	5.61	88	9.0	128	134	0	110	102
10	0.4	7.28	88	3.0	128	134	0	104	101
11	0	9.32	88	13.5	128	142	0.4	98.2	98
12	0	11.6	88	19.5	128	144	0	93.8	96
13	0	13.4	88	7.0	134	166	1.2	88.3	94
14	0	14.6	88	9.6	138	210	3.3	83.9	94
15	0	15.5	88	18.4	142	236	0.9	78.0	93
16	0	15.9	88	8.0	154	316	1.5	72.0	93
17	5.7	16.4	88	4.8	158	408	2.0	67.2	93
18	0.4	16.4	88	3.0	158	508	1.8	61.2	93
19	1.0	16.4	88	13.2	158	568	1.3	58.3	93
20	0.3	16.4	88	7.0	158	302	2.5	55.7	93
21	4.8	16.4	88	5.3	158	268	1.0	54.8	93
22	2.6	16.4	88	0	161	196	2.4	55.7	93
23	11.6	16.8	90	0	165	112	0.1	58.3	93
24	10.2	17.7	96	0	166	220	1.6	60.0	93

P- PADAUINE MJERENE NA MET.STANICI CETINJE

Q- PROTICAJ MJEREN NA IZLAZU IZ SLIVA (hidro.stanica na R.crnojevica)

Npv- OSCILACIJE NIVOA PODZEMNIH UODA (istrazni bunar B3 u Cetinju-DONJI KRAJ)

PRILOG. 8

PREGLED PADAVINA CASOVNIH INTEZITETA (P) I PROTICAJA NA IZLAZNOJ PROFILU (Q)

MET.STANICA: CETINJE , HIDROLOSKA STANICA : RIJEKA CRNOJEVICA

I KOMBIN	7.X.1989		8.X.1989		9.X.1989		10.X.1989		11.X.1989		12.X.1989		13.X.1989	
	Q _{M3/S}	P _{MM}	Q _{M3/S}	P _{MM}	Q _{M3/S}	P _{MM}	Q _{M3/S}	P _{MM}	Q _{M3/S}	P _{MM}	Q _{M3/S}	P _{MM}	Q _{M3/S}	P _{MM}
1	0.307	0	0.307	0	47.6	0	98.2	0.2	61.8	0.7	18.7	0	6.85	0
2	0.307		0.307	1.8	44.1		93.8	0	57.4	1.7	17.7		6.85	
3	0.307		0.307	6.8	41.7		86.1		52.3	0	16.8		6.85	
4	0.307		0.329	9.4	39.2		78.0		47.6	0.4	16.4		6.65	
5	0.307		0.353	11.8	34.9		71.0		44.1	0.5	15.9		6.65	
6	0.307		0.415	12.4	30.1		64.5	0	41.0	0.9	15.0		6.43	
7	0.307		0.935	11.0	26.6	0	60.0	2.4	38.6	8.1	14.2		6.43	
8	0.307		4.59	10.0	23.7	1.0	54.8	10.2	36.2	3.5	12.7		6.23	
9	0.307		7.69	6.5	20.8	0.2	54.0	13.1	33.7	0.6	11.9		6.23	
10	0.307		13.8	6.3	19.8	0.8	60.0	2.4	32.5	0	11.3		6.02	
11	0.307		19.8	9.6	18.2	3.2	75.0	0.7	31.9		10.3		5.82	
12	0.307		21.2	9.6	17.3	2.2	77.0	0	31.3		9.97		5.82	
13	0.307		29.5	9.6	16.4	18.9	75.0	0.6	30.7	0	9.32		5.61	
14	0.307		38.0	10.0	15.9	5.1	71.0	0	30.1	0.20	9.0		5.61	
15	0.307		45.5	7.1	16.4	13.6	68.0	3.6	29.5	0	8.67		5.41	
16	0.307		52.3	1.5	24.8	12.4	65.4	9.2	28.9	0	8.35		5.20	
17	0.307		52.3	3.8	54.0	5.6	66.3	14.8	27.8	0.1	8.12		5.20	
18	0.307	0	52.3	7.1	81.7	1.0	76.0	0.2	27.2	0.1	7.9		5.00	
19	0.307	1.4	54.0	0.1	89.4	7.8	87.2	0.4	25.4	0.4	7.69		5.00	
20	0.307	0.2	54.8	0	96.0	7.4	87.2	0.6	24.3	0	7.69		4.79	
21	0.307	7.1	54.8		98.2	3.7	82.8	0	23.1		7.49		4.79	
22	0.307	0.6	54.0		103	0.2	77.0	0	22.0		7.28		4.79	
23	0.307	8.1	52.3		104	0	72.0	2.5	20.8		7.28		4.59	
24	0.307	0.6	51.5	0	103	0.6	66.3	1.8	19.8	0	7.06	0	4.59	0

PRILOG. 9

PREGLED PADAVINA CASOVNIH INTEZITETA (P), PROTICAJA NA IZLAZNOJ PROFILU (Q)
I NIVOJA PODZEMNIH VODA (NPV) U ISTRAZNOJ BUNARI B3

Broj mjerenoj	21.IX.1990			22.IX.1990			23.IX.1990			24.IX.1990			24.IX.1990		
	Q m ³ /s	P mm	NPV	Q m ³ /s	P mm	NPV	Q m ³ /s	P mm	NPV	Q m ³ /s	P mm	NPV	Q m ³ /s	P mm	NPV
1	0.195	0	563.8			563.8			563.8			563.8	2.18		563.8
2	0.195	0													
3	0.211	12.0		3.35											
4	0.285	13.0													
5	0.265	3.0		2.92											
6	0.815	55.0													
7	4.18	15.0													
8	6.43	0													
9	8.67	0											2.18		
10	11.3	0													
11	11.8	0													
12	11.6	0					0.500								
13	11.0	0													
14	10.3			1.39						0.380	0.2		1.77		
15	9.00									0.380	0.6				
16	7.90									0.380	7.2				
17	6.65									0.380	3.3				
18	6.23									0.415	1.1				
19	5.82									0.380	0.3				
20	5.41									0.450	0.8				
21	5.00									0.705	0.1				
22	4.50									1.39					
23	4.38									1.77					
24	4.18		563.8			563.8			563.8	1.97		563.8	0.81		563.8

NAPOMENA :

- * kota terena (betonska glava bunara B3) je 658.50 . Mjereno je nivoa NPV vrseno je na 0.40m iznad terena (donja ivica vratanaca limnigrafske cijevi), odnosno sa kote 658.90 mm
- * minimalni-priblizno ustaljeni nivo NPV je usvojen za "0" vodomera sa kotom 562.90 mm ,odnosno na dubini od 96.00 m od površine terena(mjereno od vratanaca na vertikalnoj cijevi limnigrafa do minimalnog nivoa).
- * apsolutne kote promjene NPV racunate su kao u slucaju vodostaja u utvorenim vodotocima ("0"+H)

PRILOG.10

PREGLED PADAVINA CASOVNIH INTEZITETA (P), PROTICAJA NA IZLAZNOM PROFILU (Q)
I NIVOIA PODZEMNIH UODA (NPV) U GLAVNOM PONORU

1	29.X.1990			30.X.1990			31.X.1990			1.X.1990			2.X.1990		
	Q _{M3/S}	P _{MM}	NPV _{CM}	Q _{M3/S}	P _{MM}	NPV _{CM}	Q _{M3/S}	P _{MM}	NPV _{CM}	Q _{M3/S}	P _{MM}	NPV _{CM}	Q _{M3/S}	P _{MM}	NPV
1	23.1	0	0	108	8.7	1208	53.2	0	0	16.8	2.2	0	13.0	0	0
2	21.2	0		113	9.9	1200	49.1			18.2	3.6		11.6		
3	20.0	0		109	8.4	1196	44.1			19.2	0.2		10.6		
4	19.2	0		105	8.0	1192	39.8			19.2	8.4		9.97		
5	18.7	0		100	6.0	1198	35.5			19.8	11.2	836	9.65		
6	17.7	0		99.0	11.6	1192	32.5			19.8	1.8	760	9.32		
7	16.8	1.0		94.9	2.7	1180	30.1			19.8	1.0	100	9.00		
8	15.5	0		92.7	0.6	1156	27.2			19.8	0	0	8.67		0
9	14.2	0.8		90.5	2.9	1100	25.4			19.8					
10	13.0	1.9		90.5	1.8	1092	24.3			23.1					
11	11.6	0		89.4	2.8	980	23.1			24.3					
12	11.0	0		87.2	1.8	500	20.8			25.4					
13	10.6	0		86.1	2.4	260	19.8			26.0					
14	10.3	1.5		85.0	0.1	0	18.7			26.0					
15	9.65	4.0		82.8	1.0		17.7	1.8	0	24.8					
16	9.65	5.6		81.7	0		17.3	7.0	140	23.7					
17	9.0	6.6		81.7			16.4	0		22.6					
18	9.0	13.4		79.5			15.5	0.2		20.8					
19	11.6	8.2	876	77.0			14.6	0		19.8					
20	16.8	17.0	994	74.0			14.2	0		18.7					
21	22.6	43.5	1028	70.0			14.2	0		18.2					
22	30.7	17.2	1228	66.3			15.5	1.0		17.3					
23	51.5	1.4	1238	62.7			15.5	0.8		16.4					
24	81.7	4.4	1226	58.3	0	0	15.9	0.1	0	14.2	0	0		0	0

LEGENDA :

P- casovne padavine na meteoroloskoj stanici Cetinje

Q- casovni proticaji na izlaznom profilu sistema

NPV- casovno stanje nivoa u glavnom ponoru

PRILOG. 11

ELEMENTI POLOZAJA PADAVINSKIH STANICA U PROSTORU SLIVA RIJEKE CRNOJEVICA

tabela.1

O N	NAZIV PADAVINSKE STAN.	VISINA NAD	geografska	geografska
		MOREM(m.n.m)	širina(φ)	dužina(λ)
1	CETINJE	655	42 23 08	18 55 36
2	BJELOSI	900	42 22 26	18 53 54
3	OBZOVICA	850	42 18 54	18 56 30
4	IUANOUA KORITA	1250	42 22 50	18 50 02
5	CEKLICI	810	42 28 02	18 51 30
6	NJEGUSI	850	42 26 01	18 50 00
7	CRNOJEVICA R.	15	42 21 05	19 03 00

PREGLED OSMOTRENIH PADAVINA PO STANICAMA

tabela.2

1956-1989g.

O N	NAZIV PADAVINSKE STAN.	PROSJEČNE SUME PADAVINA PO MJESECIMA (P mm)												PROSJEČNA GOD. SUMA P mm
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	CETINJE	429	380	370	267	159	98	67	104	184	300	500	492	3350
2	BJELOSI	486	440	397	301	177	117	77	120	229	332	543	525	3744
3	OBZOVICA	364	319	294	241	159	91	60	95	168	251	404	395	2857
4	IUANOUA KORITA	630	497	519	411	210	160	77	125	130	326	579	669	4333
5	CEKLICI	323	306	265	236	141	90	57	85	150	265	395	427	2740
6	NJEGUSI	308	306	270	219	133	88	52	78	140	394	388	405	2781
7	CRNOJEVICA R.	302	275	236	183	104	78	39	72	151	221	379	361	2401

tabela.3

1987/1988g.

O N	NAZIV PADAVINSKE STAN.	PROSJEČNE SUME PADAVINA PO MJESECIMA (P mm)												PROSJEČNA GOD. SUMA P mm
		X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1	CETINJE	326	816	476	474	599	554	371	75	100	6	23	271	4091
2	BJELOSI	338	817	527	519	639	618	436	96	114	7	23	248	4382
3	OBZOVICA	321	428	337	394	564	466	360	78	112	5	25	279	3368
4	IUANOUA KORITA	356	895	639	708	831	856	506	91	110	1	29	224	5246
5	CEKLICI	214	324	291	291	310	464	246	86	81	9	17	202	2532
6	NJEGUSI	220	351	216	208	336	372	291	70	67	4	17	186	2328
7	CRNOJEVICA R.	239	540	314	174	454	270	283	72	105	0	12	264	2727

tabela.4

1988/1989g.

O N	NAZIV PADAVINSKE STAN.	PROSJEČNE SUME PADAVINA PO MJESECIMA (P mm)												PROSJEČNA GOD. SUMA P mm
		X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1	CETINJE	178	383	376	0.5	179	427	256	76	60	59	173	205	2373
2	BJELOSI	214	404	391	17	251	421	287	91	68	64	192	258	2658
3	OBZOVICA	256	391	367	2.2	175	279	205	71	51	52	188	195	2232
4	IUANOUA KORITA	169	469	546	0	257	610	317	119	72	72	211	187	3029
5	CEKLICI	154	183	250	0	173	461	180	50	47	100	163	157	1918
6	NJEGUSI	154	182	252	0	118	241	158	46	49	74	142	131	1547
7	CRNOJEVICA R.	122	246	281	0	176	273	194	53	54	74	115	88	1676

PRILOG.12

GODISNJI PREGLED UISINA DNEUNIH PADAUINA

Stanica: CETINJE

Godina: 1987/88

me 5 dan	P (MM)											
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1.	3.5	.	21.4	.	.	46.0	149	3.2	0.5	.	.	.
2.	.	.	.	.	.	10.0	34.0	0.5	46.6	.	.	.
3.	.	.	.	.	36.0	.	2.0	.	.	.	.	.
4.	.	.	.	7.0	.	.	1.2	3.0	.	.	.	.
5.	.	.	.	9.0	126	2.0	.	0.3	.	.	.	.
6.	.	.	46.0	.	63.0	55.5	.	.	26.2	.	.	.
7.	5.0	.	28.0	.	.	1.2	.	.	0.1	.	.	2.0
8.	27.0	.	80.0	10.0	60.7	.	7.0	2.5	.	.	.	.
9.	27.0	.	32.0	35.0	100	0.2	2.0	.	.	.	.	.
10.	.	83.5	0.2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
11.	.	247.5	.	.	.	.	2.6	.	.	.	5.9	.
12.	34.0	14.5	.	.	.	.	.	6.0	.	.	.	.
13.	121	.	.	.	0.6	.	0.5	.	5.0	.	.	.
14.	35.0	3.0	3.8	.	.	36.0	82.0	.	.	.	.	7.6
15.	0.3	20.0	232	.	.	4.0	1.2	0.2	1.6	.	.	38.8
16.	.	38.0	25.5	.	.	.	.	4.0	.	.	.	135.4
17.	.	10.0	4.2	.	.	59.0	.	7.8	2.7	5.5	.	.
18.	.	2.0	.	.	.	56.0	.	4.2	.	.	.	42.2
19.	50.0	.	.	.	2.4	.	.	3.9	5.0	.	.	0.3
20.	.	.	3.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.
21.	.	80.0	.	10.6	.	.	.	.	1.0	.	.	.
22.	.	10.6	.	25.0	.	.	.	7.5	0.7	.	.	35.0
23.	.	0.0	.	26.0	.	132	.	9.0	0.0	.	5.4	9.4
24.	0.6	67.0	.	10.0	3.5	32.0	.	1.4	.	.	3.5	.
25.	1.2	14.0	.	3.4	99.0	0.2	30.0	.	0.6	.	.	.
26.	.	40.0	.	137	3.6	.	17.0	.	0.3	.	8.4	.
27.	.	128	.	.	28.0	75.0	2.5	0.0	7.4	.	.	.
28.	.	15.0	.	.	32.0	2.5	.	.	.	.	.	.
29.	.	5.5	.	6.5	5.8	36.0	23.0	.	.	.	.	.
30.	1.5	37.6	.	54.5	.	.	4.0	0.6	.	.	.	.
31.	20.0	.	.	130	.	42.0	.	.	.	.	.	.
suma	326.1	816.4	506.3	474	599.3	554	371	74.6	100.2	5.5	23.2	270.7

P=4091 MM

P—UKUPNE GODISNJE PADAUINE ZA PERIOD OD
1.10.1987—30.09.1988g.

PRILOG.13

GODISNJI PREGLED VISINA DNEUNIH PADAVINA

Stanica: CETINJE

Godina: 1988/89

me s dan	P (mm)											
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1.	.	5.2	24.0	.	.	28.9	.	18.8	6.0	.	.	1.3
2.	.	.	126	.	.	205	5.4	10.8	0.9	.	5.3	.
3.	.	.	136	.	.	0.6	0.6	5.6	14.2	.	.	72.2
4.	5.0	24.0	26.5	.	.	112	.	.	2.2	.	.	9.2
5.	.	0.7	8.0	.	2.0	1.4	.	.	7.6	.	.	3.2
6.	.	2.2	3.2	.	0.5	.	0.6	.	.	1.8	.	.
7.	32.7	.	30.8	.	.	.	15.8	13.0	0.9	.	.	.
8.	6.0	.	.	0.5	.	.	.	.	.	.	.	.
9.	24.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.4	45.0
11.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	9.3
12.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.6	.	22.3	.
13.	.	.	.	.	.	.	0.8	.	0.2	0.2	.	.
14.	.	16.4	.	.	0.8	.	34.8	.	0.3	0.2	.	4.7
15.	.	0.5	.	.	.	.	3.0	15.0	5.0	5.1	.	16.7
16.	.	.	.	.	.	.	0.7	.	.	23.9	0.8	1.7
17.	.	.	.	.	.	0.3	1.2	.	18.0	3.0	.	.
18.	.	.	.	.	.	0.1	110	.	0.2	0.2	.	.
19.	.	1.5	.	.	.	.	0.2	6.5	.	1.0	.	.
20.	.	124.5	9.6	.	.	0.4	.	.	0.2	7.6	.	.
21.	47.5	20.1	11.7	.	.	.	0.2	.	.	.	.	.
22.	44.5	163.2	.	.	.	49.0	3.8	0.6	.	.	.	.
23.	0.5	6.4	.	.	0.1	29.5	2.6	.	.	.	.	.
24.	.	17.8	.	.	5.0	.	20.6	.	3.9	.	.	.
25.	4.0	.	.	.	0.4	.	.	.	.	.	.	.
26.	.	.	.	.	55.8	.	.	.	.	.	1.9	.
27.	.	0.2	.	.	100	.	.	.	.	5.8	.	3.2
28.	.	.	.	.	14.6	.	8.0	.	.	3.7	12.0	10.5
29.	.	.	.	.	.	.	20.3	6.2	.	6.3	83.5	12.5
30.	.	0.6	.	.	.	.	27.2	.	.	0.2	44.2	15.6
31.	14.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.3	.
suma	178.2	383.3	376.3	0.5	179.2	426.7	255.8	76.5	60.2	59.0	172.7	205.1

P=2373mm

P-ukupne godisnje padavine za period:
1.10.1988-30.09.1989g.

PRILOG.14

URIJEDNOSTI EKIVALENTNIH VISINA PADAVINA (Ps) ZA PREDPOSTAVLJENE POVRŠINE SISTEMA (A)

1987/1988

METODA/MJ.	MJESECNE URIJEDNOSTI Ps (mm)												God. Ps (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Hipsomet.	299	582	420	433	576	517	350	81	105	6	22	242	3623
Thiessen	329	693	437	442	588	528	376	81	105	6	22	266	3873
β -Hip/Thi.	0.91	0.84	0.90	0.98	0.98	0.93	0.93	1.0	1.0	1.0	1.0	0.91	0.93

1988/1989

A = 92.0 km2

METODA/MJ.	MJESECNE URIJEDNOSTI Ps (mm)												God. Ps (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Thiessen	192	327	369	4	194	382	247	77	59	60	174	204	2293
Hipsomet.	182	307	350	4	188	382	230	74	57	60	174	204	2212
β -Hip/Thi.	0.93	0.94	0.95	1.0	0.97	1.0	0.93	0.96	0.97	1.00	1.00	1.00	0.95

1987/1988

METODA/MJ.	MJESECNE URIJEDNOSTI Ps (mm)												God. Ps (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Thiessen	320	717	448	446	590	530	377	80	105	6	22	266	3907
Hipsomet.	291	602	476	437	578	519	351	80	105	6	22	242	3709
β -Hip/Thi.	0.91	0.84	1.00	0.98	0.98	0.98	0.93	1.0	1.0	0.96	1.0	0.91	0.93

1988/1989

A = 79.3 km2

tabela.7

METODA/MJ.	MJESECNE URIJEDNOSTI Ps (mm)												God. Ps (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Thiessen	199	329	371	4	195	385	248	76	59	59	175	207	2307
Hipsomet.	185	349	392	4	189	385	231	73	57	67	171	194	2297
β -Hip/Thi.	0.93	0.94	0.95	1.0	0.97	1.0	0.93	0.96	0.97	1.14	0.98	0.94	0.91

1987/1988

tabela.6

METODA/MJ.	MJESECNE URIJEDNOSTI Ps (mm)												God. Ps (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Hipsomet.	291	601	406	406	538	528	358	82	98	23	21	239	3591
Thiessen	318	714	450	449	594	540	382	80	106	23	22	260	3914
β -Hip/Thi.	0.91	0.84	0.90	0.90	0.91	0.98	0.94	1.0	1.0	1.0	0.95	0.92	0.92

1988/1989

A = 118 km2

tabela.7

METODA/MJ.	MJESECNE URIJEDNOSTI Ps (mm)												God. Ps (mm)
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Hipsomet.	184	312	356	3	192	394	231	74	58	71	171	177	2223
Thiessen	196	331	375	4	197	390	248	77	60	62	175	199	2314
β -Hip/Thi.	0.94	0.94	0.95	0.75	0.97	1.00	0.93	0.96	0.97	1.14	0.98	0.89	0.96

PRIOLOG.15

GODISNJI PREGLED DNEVNIH PROTOKA NA IZLAZNOJ PROFILU SLIVA (Q m³/s)

hidrološka stanica : r - Crnojevica

Godina: 1987/88

me 5 dan	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1.	0.546	1.22	11.9	1.77	10.6	20.3	62.7	6.23	2.58	0.615	0.498	0.383
2.	0.546	1.22	7.49	1.57	6.89	12.4	24.9	5.20	7.50	0.615	0.498	0.383
3.	0.546	1.22	5.82	1.57	10.6	7.71	12.4	4.38	3.98	0.615	0.498	0.383
4.	0.546	1.07	4.79	1.57	8.35	6.44	7.93	3.98	2.98	0.546	0.498	0.383
5.	0.546	1.07	6.23	1.57	10.6	6.03	6.23	3.58	2.38	0.546	0.498	0.383
6.	0.546	1.07	23.7	1.57	49.3	11.6	5.20	3.18	2.38	0.546	0.498	0.383
7.	0.546	0.940	15.9	1.40	12.4	12.4	4.59	2.78	3.58	0.546	0.498	0.383
8.	0.546	0.940	22.0	1.57	21.4	9.00	4.18	2.58	2.78	0.546	0.451	0.383
9.	0.705	0.940	34.9	6.44	50.8	7.50	3.78	2.38	2.38	0.546	0.451	0.383
10.	0.615	44.1	12.7	5.20	22.0	6.23	3.58	2.18	1.97	0.498	0.451	0.383
11.	0.615	70.0	9.00	4.18	11.6	5.41	3.18	1.97	1.57	0.498	0.451	0.383
12.	7.28	16.4	6.85	3.58	8.68	4.80	2.78	1.97	1.40	0.498	0.451	0.383
13.	38.6	7.69	5.61	3.18	7.08	4.59	2.58	1.77	1.07	0.498	0.417	0.383
14.	11.3	5.61	15.5	2.78	5.41	8.14	25.4	1.57	1.07	0.498	0.417	0.498
15.	5.61	8.35	144	2.38	4.59	9.65	8.35	1.57	0.940	0.498	0.417	9.65
16.	3.76	15.5	42.9	1.18	4.18	8.35	6.03	1.57	0.940	0.498	0.383	11.3
17.	2.72	9.00	13.4	1.97	3.58	46.3	5.00	1.23	0.815	0.498	0.383	3.78
18.	3.76	6.23	8.35	1.97	3.38	34.3	4.18	1.23	0.815	0.498	0.383	7.50
19.	9.97	5.00	6.65	1.77	2.98	11.0	3.78	1.23	0.815	0.498	0.383	3.98
20.	5.20	4.59	5.41	1.77	2.78	7.93	3.38	1.23	0.705	0.498	0.383	2.18
21.	3.76	70.0	4.59	2.18	2.38	6.44	2.98	1.07	0.705	0.498	0.383	1.57
22.	2.93	14.2	3.97	5.20	2.18	5.41	2.78	1.07	0.705	0.498	0.383	6.87
23.	2.52	7.69	3.56	8.14	1.97	78.4	2.38	1.07	0.615	0.498	0.383	5.82
24.	2.19	18.2	2.15	8.14	7.29	39.8	2.38	1.07	0.615	0.498	0.383	3.38
25.	1.77	14.2	2.93	5.82	48.5	11.6	8.35	1.07	0.615	0.498	0.383	2.38
26.	1.57	18.7	2.51	59.2	14.3	7.71	7.93	1.07	0.615	0.498	0.383	1.77
27.	1.57	23.7	2.39	20.3	7.93	6.65	6.87	0.940	0.615	0.498	0.383	1.23
28.	1.39	15.5	2.19	7.93	6.87	6.23	5.61	0.940	0.615	0.498	0.383	1.07
29.	1.39	9.97	1.98	6.03	6.23	5.41	7.93	2.58	0.615	0.498	0.383	0.940
30.	1.20	20.8	1.98	44.1		4.59	7.71	1.77	0.615	0.498	0.383	0.815
31.	1.20		1.98	39.8		12.8		1.23		0.498	0.383	
SUMA	116	415	434	266	444	425	255	65.7	50.1	16.1	13.1	11.5
NQ	0.546	0.940	1.98	1.97	1.97	4.59	2.38	0.940	0.615	0.498	0.383	0.383
SQ	3.74	13.8	14.0	8.28	15.3	13.7	8.50	2.12	1.67	0.519	0.423	2.32
UQ	82.8	156	188	108	152	143	129	6.87	10.3	0.615	0.498	24.3

NQ = 0.383 m³/sek

(VIII-IX 1988)

SQ = 7.03 m³/sek.

UQ = 188 m³/sek.

(15.12.1987)

PRIOLOG.16

GODISNJI PREGLED DNEVNIH PROTICAJA NA IZLAZNOJ PROFILU SLIVA (Q m³/s)

hidrološka stanica : r. Crnojevića

Godina : 1988/89

me s dan	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1.	0.705	1.97	9.33	1.07	0.498	16.0	1.97	7.08	0.498	0.358	0.286	0.546
2.	0.705	1.77	119	0.935	0.498	107	1.97	6.44	0.546	0.358	0.286	0.417
3.	0.615	2.38	94.7	0.935	0.498	26.6	1.77	6.03	0.705	0.358	0.286	7.93
4.	0.546	6.44	36.8	0.935	0.498	72.2	1.57	4.38	0.615	0.358	0.286	5.41
5.	0.546	4.80	13.6	0.935	0.498	18.4	1.57	3.18	0.546	0.332	0.286	2.18
6.	0.935	3.78	9.65	0.815	0.451	9.65	1.57	3.18	0.546	0.332	0.286	1.23
7.	3.18	2.98	10.6	0.815	0.451	7.29	1.40	2.78	0.546	0.332	0.265	0.815
8.	4.38	2.58	7.71	0.815	0.451	6.03	1.23	2.58	0.451	0.332	0.265	0.615
9.	6.03	2.18	6.03	0.815	0.451	5.2	1.07	2.78	0.451	0.332	0.265	0.498
10.	3.58	1.97	5.00	0.705	0.451	4.59	0.935	2.78	0.451	0.307	0.265	6.03
11.	2.38	1.77	4.18	0.705	0.451	3.78	0.815	2.58	0.451	0.307	0.265	6.23
12.	1.77	1.57	3.58	0.705	0.451	3.18	0.815	2.18	0.417	0.307	0.265	3.18
13.	1.57	1.57	3.18	0.705	0.417	2.78	1.07	1.97	0.417	0.307	0.286	1.77
14.	1.23	2.58	2.98	0.615	0.417	2.38	2.78	1.77	0.417	0.307	0.265	1.23
15.	1.07	3.58	2.78	0.615	0.417	1.97	2.58	1.57	0.417	0.307	0.265	1.23
16.	0.935	2.98	2.58	0.615	0.417	1.97	2.18	1.57	0.417	0.383	0.265	0.935
17.	0.935	2.58	2.38	0.615	0.417	1.77	2.18	1.40	0.498	0.332	0.265	0.705
18.	0.815	2.18	1.97	0.546	0.417	1.77	40.4	1.40	0.451	0.307	0.265	0.546
19.	0.705	5.00	1.77	0.546	0.417	1.40	14.3	1.23	0.417	0.307	0.265	0.498
20.	0.705	58.3	1.57	0.546	0.417	1.07	5.82	1.23	0.417	0.307	0.265	0.498
21.	3.98	47.1	1.57	0.546	0.417	1.57	3.98	1.07	0.417	0.307	0.250	0.451
22.	10.6	96.8	1.40	0.546	0.417	5.82	2.98	1.07	0.383	0.307	0.250	0.451
23.	6.65	22.6	1.23	0.546	0.417	5.41	2.18	0.935	0.383	0.307	0.250	0.417
24.	4.18	9.65	1.23	0.546	0.417	4.38	1.77	0.815	0.383	0.286	0.250	0.383
25.	3.18	7.29	1.23	0.546	0.451	3.58	1.40	0.815	0.383	0.286	0.250	0.358
26.	2.38	5.82	1.23	0.546	20.3	3.38	1.07	0.815	0.383	0.286	0.250	0.332
27.	1.97	4.80	1.23	0.546	30.1	2.98	0.815	0.705	0.383	0.286	0.250	0.332
28.	1.77	3.78	1.07	0.498	11.3	2.78	0.935	0.705	0.383	0.286	0.417	0.417
29.	1.57	3.58	1.07	0.498		2.58	1.40	0.705	0.383	0.286	2.18	0.705
30.	1.40	3.18	1.07	0.498		2.38	3.78	0.615	0.383	0.286	4.80	1.23
31.	1.57		1.07	0.498		1.97		0.546		0.286	1.07	
SUMA	72.5	318	353.4	20.8	72.8	331.7	108.3	66.96	13.5	9.76	15.65	30.4
NQ	0.546	1.57	1.07	0.498	0.417	1.07	0.815	0.546	0.383	0.286	0.250	0.705
SQ	2.34	10.6	11.4	0.671	2.60	10.7	3.61	2.16	0.451	0.315	0.505	2.98
UQ	12.4	141	166	1.07	78.4	153	78.4	7.50	0.935	7.93	7.93	27.2

NQ = 0.250 m³/sek

(21.08.1989)

SQ = 4.03 m³/sek

UQ = 166 m³/sek

(02.12.1988)

PRILOG.17

Proračun koeficijenta η_j (AUSDAGIC)

Stanica: CETINJE

Godina: 1987/1989

R.BR	Dan prije početka kisne epizode j-1	temp.zraka θ_0 °C θ_{j-1}	A1= 79.3km ²			A2= 92.0km ²		
			P(mm)	Pe-mm	η_j	P(mm)	Pe-mm	η_j
1	06.10.1987	12.4	266	104	0.39	266	89.7	0.33
2	09.11.1987	7.5	602	441	0.73	602	380	0.63
3	05.12.1987	3.1	379	393	1.03	362	339.	0.93
4	20.01.1988	5.1	370	264	0.71	346	228	0.66
5	04.02.1988	3.2	339	308	0.90	336	266	0.79
6	23.02.1988	2.0	278	223	0.80	275	192	0.70
7	22.03.1988	8.8	478	312	0.65	480	269	0.56
8	12.04.1988	11.5	78.7	46	0.59	80.3	40.0	0.49
9	13.09.1988	16.8	238	68	0.28	236	59.0	0.25
10	25.08.1989	19.0	224	31	0.14	222	26.3	0.12
11	09.09.1989	13.7	72.0	24	0.33	68.0	20.4	0.30
12	03.10.1989	11.7	67.7	26	0.38	63.0	22.5	0.36
13	20.10.1989	14.0	96.5	39	0.40	90.0	34.0	0.37
14	22.02.1989	7.0	522.	341	0.65	507.	294	0.58
15	12.04.1989	11.1	160.	89	0.55	165.	77.0	0.47
16	12.07.1989	23.8	46.5	3	0.065	47.0	2.4	0.051

NAPOMENA :

P— bruto padavine svake kisne epizode mnozene su sa koeficijentom $\beta = P_s / P_{cet}$.

Gdje je:

P_s — ekvivalentna visina padavina u slivu za odgovarajuci mjesec (mjesec pojave kisne epizode za j-1 dan)

P_{cet} — ekvivalentna visina padavina kisne epizode za met.stanicu Cetinje za mjesec pojave kisne epizode

$$P_e = (Q * I) / 1000 * A$$

Gdje je:

Q—odgovarajuci proticaj na izlazu (m³/s), I — trajanje kisne epizode (sec)

A— predpostavljena površina sistema (km²)

PODACI POTREBNI ZA DIGITALIZACIJU DOKTORSKE DISERTACIJE

Ime i prezime autora Ratomir Živaljević

Godina rođenja 1942

E-mail

Organizaciona jedinica Univerziteta Crne Gore

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Naslov doktorske disertacije

Hidrološka analiza kretanja kraških voda na primjeru sliva Rijeke Crnojevića

Prevod naslova na engleski jezik

Datum odbrane maj 1992

Signatura u Univerzitetnoj biblioteci¹

Naslov, sažeci, ključne riječi (priložiti dokument sa podacima potrebnim za unos doktorske disertacije u Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore)

Izjava o korišćenju (priložiti potpisano izjavu)

Napomena

¹ Podatak o signaturi (lokaciji) može ispuniti biblioteka organizacione jedinice/Univerzitetska biblioteka

**PODACI POTREBNI ZA UNOS DOKTORSKE DISERTACIJE U DIGITALNI ARHIV
UNIVERZITETA CRNE GORE**

Prevod naslova disertacije na engleski jezik

Mentor i članovi komisija (za ocjenu i odbranu)

Mentor: Slavoljub Jovanović

Vojislav Vukmirović, Staniša Ivanović, Slavoljub Jovanović

Sažetak *

Sažetak na engleskom (njemačkom ili francuskom) jeziku

Ključne riječi

Ključne riječi na engleskom jeziku

Naučna oblast/uža naučna oblast

Naučna oblast/uža naučna oblast na engleskom jeziku

Ostali podaci

* Ukoliko je predviđeni prostor za polja Sažetak, Sažetak na engleskom jeziku, Ključne riječi i Ključne riječi na engleskom jeziku nedovoljan, priložiti ih u posebnom prilogu.

IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku da u **Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore** unese doktorsku disertaciju pod naslovom

Hidrološka analiza kretanja kraških voda na primjeru sliva Rijeke Crnojevića

koja je moj autorski rad.

Doktorska disertacija, pohranjena u Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore, može se koristiti pod uslovima definisanim licencom Kreativne zajednice (Creative Commons), za koju sam se odlučio/la¹.

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

Autorstvo

Autorstvo – bez prerada

Autorstvo – dijeliti pod istim uslovima

Autorstvo – nekomercijalno

Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada

Autorstvo – nekomercijalno – dijeliti pod istim uslovima

Potpis doktoranda

Huberdelić Crnojević

u Podgorici

13/06/2022

¹ Odabrati (čekirati) jednu od šest ponuđenih licenci (kratak opis licenci dat je na poledini ovog priloga)

Autorstvo

Licenca sa najširim obimom prava korišćenja. Dozvoljavaju se prerade, umnožavanje, distribucija i javno saopštavanje djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio).

Djelo se može koristiti i u komercijalne svrhe.

Autorstvo – bez prerada

Dozvoljava se umnožavanje, distribucija i javno saopštavanje djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio). Djelo se ne može mijenjati, preoblikovati ili koristiti u drugom djelu.

Licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu djela.

Autorstvo – dijeliti pod istim uslovima

Dozvoljava se umnožavanje, distribucija i javno saopštavanje djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio). Ukoliko se djelo mijenja, preoblikuje ili koristi u drugom djelu, prerade se moraju distribuirati pod istom ili sličnom licencom.

Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu djela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.

Autorstvo – nekomercijalno

Dozvoljavaju se prerade, umnožavanje, distribucija i javno saopštavanje djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio).

Komercijalna upotreba djela nije dozvoljena.

Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada

Licenca kojom se u najvećoj mjeri ograničavaju prava korišćenja djela. Dozvoljava se umnožavanje, distribucija i javno saopštavanje djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio). Djelo se ne može mijenjati, preoblikovati ili koristiti u drugom djelu.

Komercijalna upotreba djela nije dozvoljena.

Autorstvo – nekomercijalno – dijeliti pod istim uslovima

Dozvoljava se umnožavanje, distribucija, javno saopštavanje i prerada djela, pod uslovom da se navede ime izvornog autora (onako kako je izvorni autor ili davalac licence odredio). Ukoliko se djelo mijenja, preoblikuje ili koristi u drugom djelu, prerada se mora distribuirati pod istom ili sličnom licencom.

Djelo i prerade se ne mogu koristiti u komercijalne svrhe.