

# Hidrološka analiza hidroenergetskog sustava u slivu rijeke Cetine

---

**Pupačić, Antonio**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:352592>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-09**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Antonio Pupačić

**HIDROLOŠKA ANALIZA  
HIDROENERGETSKOG SUSTAVA U SLIVU  
RIJEKE CETINE**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:  
prof. dr. sc. Eva Ocvirk

Zagreb, 2023.

**PODACI ZA DIGITALNI REPOZITORIJ**

Naslov:	Hidrološka analiza hidroenergetskog sustava u slivu rijeke Cetine
Title:	Hydrological analysis of the Cetina river catchment hydropower system
Fakultet:	Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod:	Zavod za hidrotehniku
Vrsta rada:	Diplomski rad
Kolegij:	Korištenje vodnih snaga
Autor:	Antonio Pupačić
Mentor(i):	prof. dr. sc. Eva Ocvirk
Komentor:	
Godina objave:	2023.
Datum obrane:	29. rujna 2023.
Broj stranica:	72
Sažetak:	<p>U radu je provedena hidrološka analiza sliva rijeke Cetine te su sagledani utjecaji postojećeg hidroenergetskog sustava na hidrologiju vodotoka. Dan je opis funkcioniranja hidroenergetskog sustava u postojećem stanju izgrađenosti. Hidrološkom analizom podataka o protoku s vodomjernih postaja u slivu podijeljenima na razdoblja prije i poslije izgradnje mjerodavnih elemenata hidroenergetskog sustava procijenjen je utjecaj hidroenergetskog sustava na vodni režim rijeke Cetine.</p>
Summary:	<p>In this paper a hydrological analysis of the Cetina river catchment has been made and the effects of the existing hydropower system on the watercourse hydrology have been observed. Description of the hydropower system operation in its current state of development has been given. Hydrological analysis of the discharge data from the gauging stations, divided in timesets before and after the construction of key elements of the hydropower system, gives an estimate of the influence of the hydropower system on Cetina river water regime.</p>
Ključne riječi:	krš, Cetina, hidroenergetski sustav, protok, krivulja trajanja protoka
Keywords:	karst, Cetina, hydropower system, discharge, flow duration curve

**ZADATAK**UNIVERZITET U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

OBRAZAC 2

**TEMA DIPLOMSKOG RADA**Ime i prezime studenta: **Antonio Pupačić**JMBAG: **0082051705**Diplomski rad iz predmeta: **Korištenje vodnih snaga**

Naslov teme diplomskog rada:	HR	<b>Hidrološka analiza hidroenergetskog sustava u slivu rijeke Cetine</b>
	ENG	<b>Hydrological analysis of the Cetina river catchment hydropower system</b>

Opis teme diplomskog rada:

Zadatak diplomskog rada je hidrološka analiza sliva rijeke Cetine sa stajališta utjecaja na proizvodnju hidroenergetskog sustava sliva.

1. Uvod - opis HE sustava u slivu rijeke Cetine
2. Hidrološke podloge
3. Metodologija
4. Rezultati
5. Diskusija
6. Zaključak

Datum: **17. 4. 2023.**Komentor: \_\_\_\_\_  
(Ime i prezime komentora)Mentor: **prof.dr.sc. Eva Ocvirk**  
(Ime i prezime mentora)  
(Potpis mentora)

## **IZJAVA STUDENTA O IZVORNOSTI**

Ja, Antonio Pupačić, JMBAG 0082051705, rođen 14.09.1995. u Splitu,  
izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

### **HIDROLOŠKA ANALIZA HIDROENERGETSKOG SUSTAVA U SLIVU RIJEKE CETINE**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Građevinskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana 20. rujna 2023.

Antonio Pupačić

*Potpis studenta / studentice*

**SADRŽAJ**

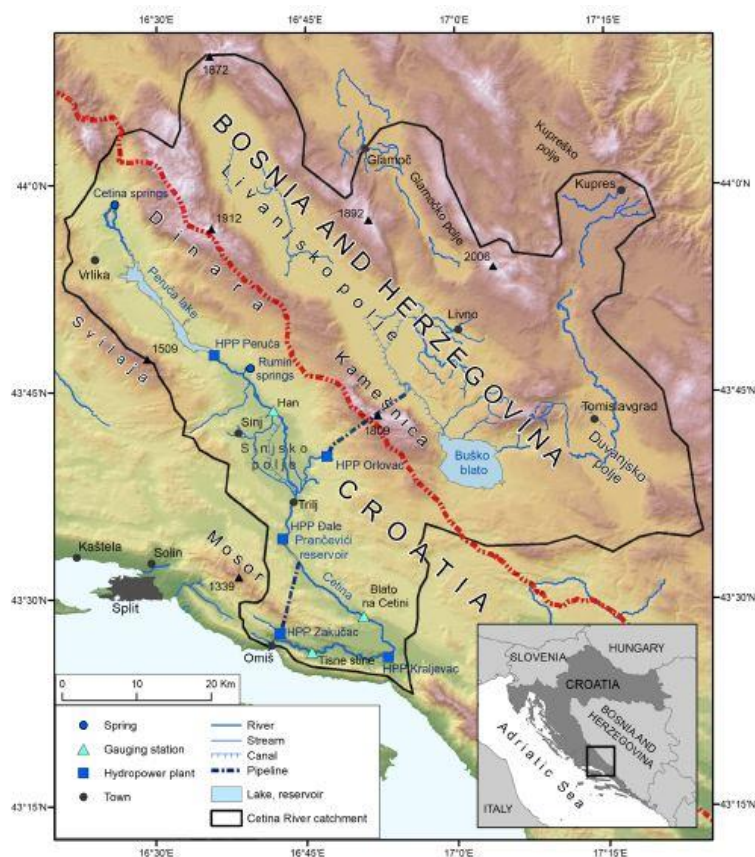
1	UVOD.....	1
2	PODLOGE.....	3
2.1	Podaci korišteni za analizu.....	3
2.1.1	Han.....	4
2.1.2	Vedrine.....	5
2.1.3	Blato na Cetini .....	6
2.1.4	Tisne Stine .....	6
2.1.5	Rumin Veliki.....	7
2.1.6	Rumin Mali .....	8
2.1.7	Ruda .....	9
2.2	Geografske, geološke i hidrogeološke značajke sliva.....	10
2.3	Osnovne značajke hidrologije krša .....	15
2.4	Hidroenergetski sustav rijeke Cetine.....	20
2.4.1	HE Peruća .....	21
2.4.2	HE Orlovac .....	22
2.4.3	HE Đale.....	23
2.4.4	HE Zakućac.....	23
2.4.5	HE Kraljevac.....	25
2.4.6	Podaci o proizvodnji .....	26
2.5	Vodoopskrbni sustav rijeke Cetine .....	28
2.6	Zaštićena područja na prostoru sliva Cetine .....	30
2.7	Smjernice razvoja sustava .....	31
3	METODOLOGIJA .....	34
4	REZULTATI I DISKUSIJA .....	35

4.1	Prethodna istraživanja .....	35
4.2	Rezultati hidroloških analiza .....	36
4.2.1	Postaja Han .....	36
4.2.2	Postaja Rumin Veliki .....	38
4.2.3	Postaja Rumin Mali.....	41
4.2.4	Postaja Ruda.....	44
4.2.5	Postaja Vedrine .....	47
4.2.6	Postaja Blato na Cetini.....	48
4.2.7	Postaja Tisne Stine.....	53
4.3	Diskusija.....	56
5	ZAKLJUČAK.....	57
	Literatura.....	59
	Prilozi.....	61

## 1 UVOD

Predmet rada je hidrološka analiza sliva rijeke Cetine sa stajališta utjecaja na proizvodnju električne energije hidroenergetskog sustava izgrađenog na rijeci Cetini. U radu će se analizirati podaci sa vodomjernih postaja na rijeci Cetini i njenim pritocima i pokušati će se staviti u odnos sa promjenama na slivu rijeke nastalim izgradnjom hidroenergetskog sustava u prošlosti, s pogledom na budućnost i mogućnost razvoja hidroenergetskog sustava.

Rijeka Cetina je rijeka jadranskog sliva koja cijelom duljinom svog toka prolazi teritorijem Republike Hrvatske te svojim vezama sa okolnim područjem drenira znatan dio teritorija Splitsko-dalmatinske županije, dijela Šibensko-kninske županije, te jugozapadnog dijela Bosne i Hercegovine u ušće rijeke koje se nalazi u gradu Omišu. Na slici 1 prikazan je geografski položaj sliva. Rijeka izvire u planinskom dijelu dalmatinske zagore te je u prošlosti njen gravitacijski (visinski) te hidrološki potencijal iskorišten za izgradnju hidroenergetskog sustava koji potencijale rijeke pretvara u električnu energiju ključnu za razvoj regije. Također rijeka Cetina ispunjava i ostale vodne potrebe kraja kojim teče kao što su vodoopskrba, melioracija poljoprivrednog zemljišta, športsko-rekreacijska potreba i druge.



Slika 1. Granice sliva Cetine (prema [1])



Izgradnja hidrotehničkih objekata neizbježno mijenja karakteristike vodotoka, bilo samo na mikrolokaciji objekta, bilo na širem području utjecaja. Utjecaji mogu biti negativni jednako kao i pozitivni, stoga je potrebno detaljno planiranje prilikom izgradnje novih objekata te proučavanje skupova znanja iz prošlosti, posebno u delikatnom području kao što je krš u kojem se nalazi i sliv Cetine. U istraživanju [2] sliva rijeke Cetine ukazuje se da gradnja hidroenergetskih objekata na slivu mijenja karakteristike vodotoka bilo kao uravnoteženje hidrološkog režima na nizvodnim dionicama zbog izgradnje akumulacijskih bazena, bilo kao smanjenje malih protoka na lijevoobalnim pritocima. U radu će se analizirati podaci o protoku s vodomjernih postaja u obliku dnevnih očitavanja protoka zaključno sa datumom 31.12.2021.

Cilj rada je preko dostupnih podloga, podataka o protoku s vodomjernih postaja uzduž sliva, te njihovom obradom, pronaći vezu između vodnog režima rijeke te hidroenergetskih sustava izgrađenih na njoj. Podaci o protoku za svaku vodomjernu postaju će se obraditi na način da se usporede podaci o protocima prije i poslije izgradnje hidrotehničke građevine koja ima najveći utjecaj na profil rijeke na kojem su mjerenja protoka dostupna. Uspješna hidrološka analiza sliva Cetine trebala bi dati sliku o režimu protoka uzduž rijeke. Također, hidrološkom analizom želimo dokazati povezanost između promjena režima protoka na vodomjernim profilima u vremenu s vremenom završetka gradnje hidrotehničkih građevina na slivu.

## 2 PODLOGE

### 2.1 Podaci korišteni za analizu

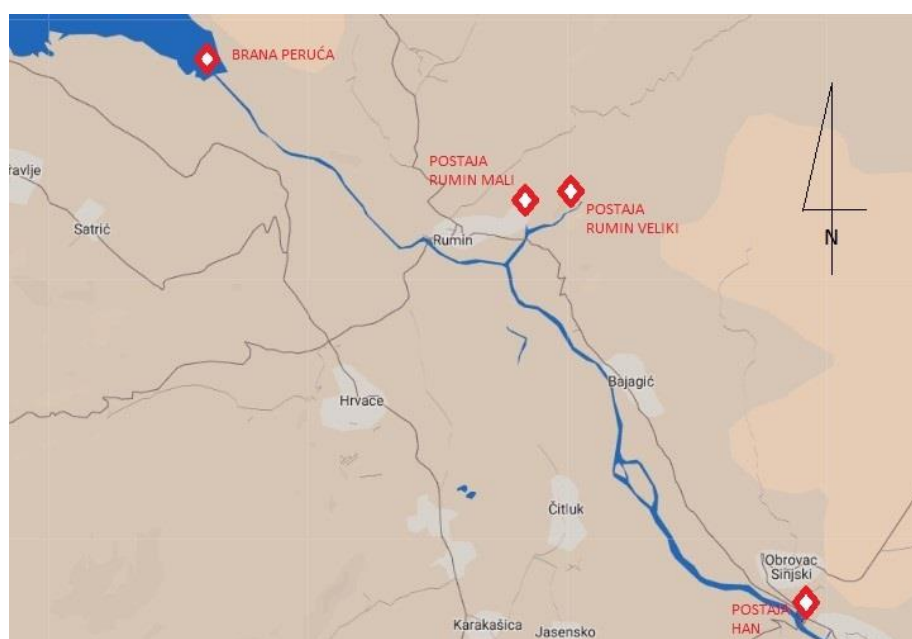
Hidrološka analiza sliva rijeke Cetine obrađena u ovom radu temelji se na podacima o srednjem dnevnom protoku s vodomjernih postaja postavljenih duž toka rijeke Cetine i njenih pritoka. Podaci su javno dostupni na internetu, a institucija zadužena za prikupljanje podataka, njihovu obradu i objavu je Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ). Podaci o postajama, te podaci s postaja dostupni su na mrežnim stranicama zavoda za hidrologiju DHMZ-a. Podaci o vodostaju i protoku su dostupni kao niz dnevnih očitavanja s instrumenata postavljenih na profil vodotoka s definiranim poprečnim presjekom te udaljenošću od ušća. U radu su korišteni podaci o srednjim dnevnim protocima. Također, nizovi podataka pojedinih postaja prekinuti su razdobljima kada, zbog različitih razloga, mjerenja nisu vršena. Ta razdoblja će u nastavku rada biti naglašena, uz ostale podatke o postajama. Vodomjerne postaje s kojih su obrađeni podaci u ovom radu uključuju: Blato na Cetini, Han, Tisne Stine te Vedrine na rijeci Cetini, Ruda 1 i Ribnjak na rijeci Ruda Velika, Rumin na rijeci Rumin Veliki te Rumin na rijeci Rumin Mali, te su prikazane na slici 2. U nastavku je pregled osnovnih podataka o vodomjernim postajama s kojih su prikupljeni korišteni podaci.



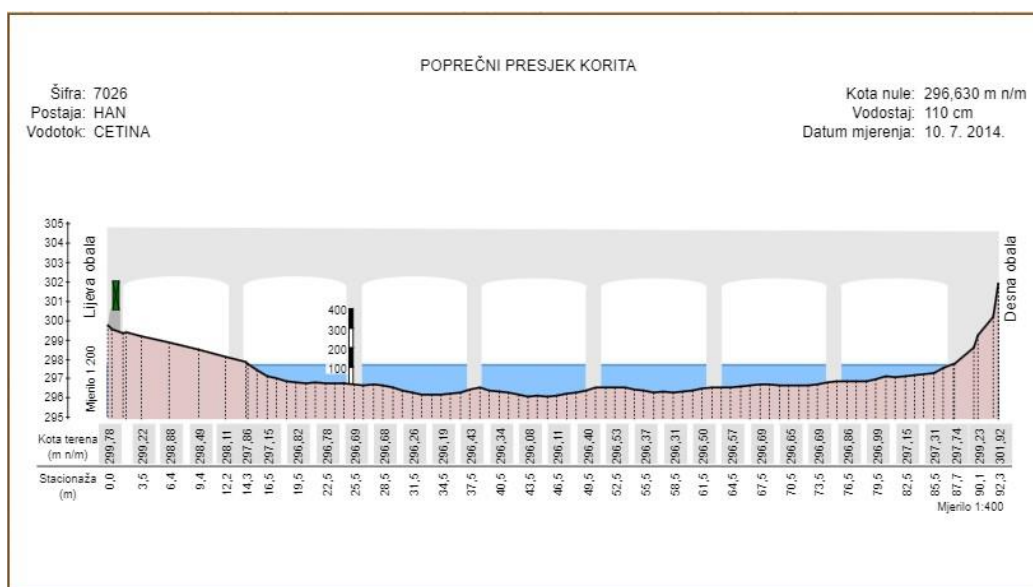
Slika 2. Situacija s prikazom vodomjernih postaja na rijeci Cetini

### 2.1.1 Han

Vodomjerna postaja Han nalazi se na gornjem dijelu toka rijeke Cetine, na mostu u naselju Obrovac Sinjski, što je prikazano na slici 3. Postaja je započela s radom 1. siječnja 1884. godine, dok su podaci o dnevnim protocima dostupni za razdoblje od 1947. do 2018. godine. Udaljenost od ušća je 63,700 kilometara, a kota nule vodokaza nalazi se na 296,63 metara nadmorske visine. Minimalni zabilježeni protok iznosio je 1,90 m<sup>3</sup>/s zabilježen 11. prosinca 1983. godine, dok je maksimalni zabilježeni protok iznosio 328,10 m<sup>3</sup>/s zabilježen 14. travnja 2004. godine. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomjerne postaje Han prikazan je na slici 4.



Slika 3. Situacija s prikazom vodomjernih postaja na gornjem dijelu toka rijeke Cetine



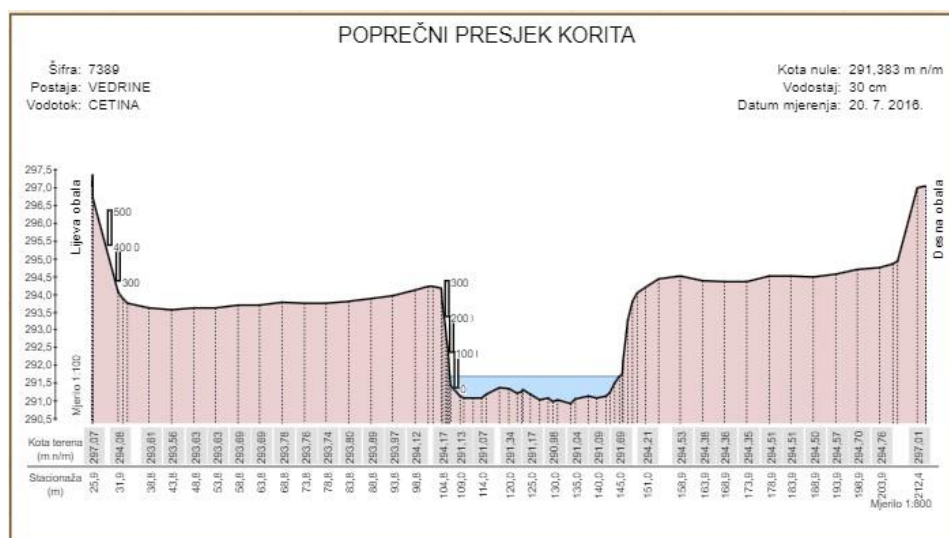
Slika 4. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomjerne postaje Han (prema [3])

### 2.1.2 Vedrine

Vodomjerna postaja Vedrine nalazi se na rijeci Cetini, u završnom dijelu gornjeg ravničarskog dijela toka neposredno pred naseljem Trilj, što je prikazano na slici 5. Postaja je započela s radom 1. siječnja 1997. godine, dok su podaci o dnevnim protocima dostupni za razdoblje od 2013. do 2016. godine. Kota nule vodokaza nalazi se na 291,383 metara nadmorske visine. Minimalni zabilježeni protok iznosio je 3,78 m<sup>3</sup>/s zabilježen 5. rujna 2013. godine, dok je maksimalni zabilježeni protok iznosio 229,60 m<sup>3</sup>/s zabilježen 6. prosinca 2014. godine. Postaja Vedrine nema dugačak niz podataka o protoku, no značajna je zato jer je to najnižvodnija vodomjerna postaja prije akumulacijskih bazena Đale te Pranjčevići. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomjerne postaje Vedrine prikazan je na slici 6.



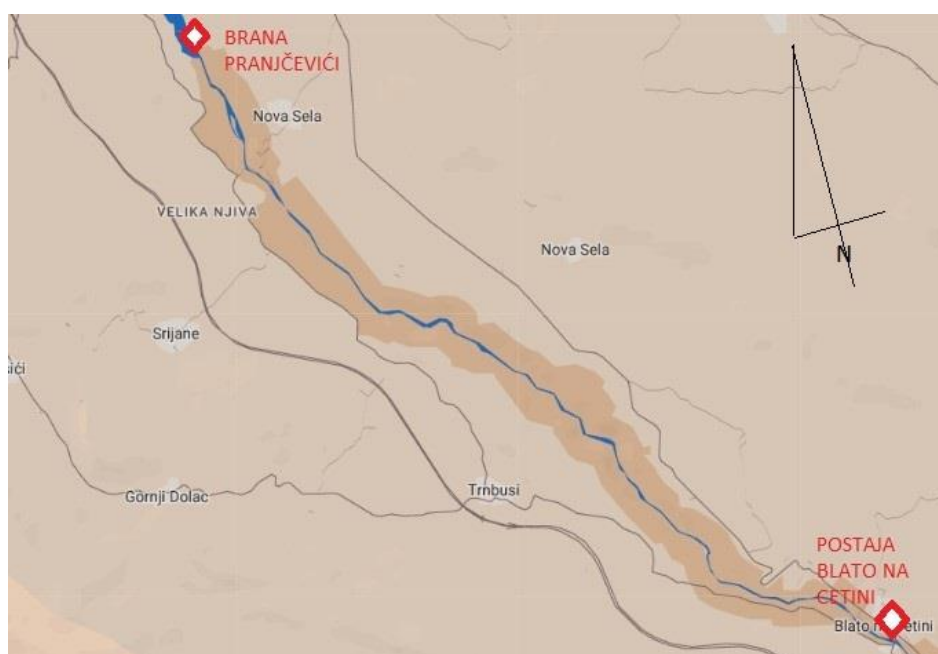
Slika 5. Situacija s prikazom vodomjerne postaje Vedrine i HE Đale



Slika 6. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomjerne postaje Vedrine (prema [3])

### 2.1.3 Blato na Cetini

Vodomojerna postaja Blato na Cetini nalazi se na srednjem dijelu toka rijeke Cetine, na mostu u naselju Blato na Cetini. Postaja je smještena neposredno nizvodno od brane Pranjčevići, što je prikazano na slici 7. Postaja je započela s radom 30. srpnja 1971. godine, dok su podaci o dnevnim protocima dostupni za razdoblje od 1972. do 2021. godine. Udaljenost od ušća je 27,100 kilometara, a kota nule vodokaza nalazi se na 197,46 metara nadmorske visine. Minimalni zabilježeni protok iznosio je  $0,59 \text{ m}^3/\text{s}$  zabilježen 22. svibnja 1994. godine, dok je maksimalni zabilježeni protok iznosio  $428,10 \text{ m}^3/\text{s}$  zabilježen 27. prosinca 1993. godine. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomojerne postaje Blato na Cetini nije dostupan.



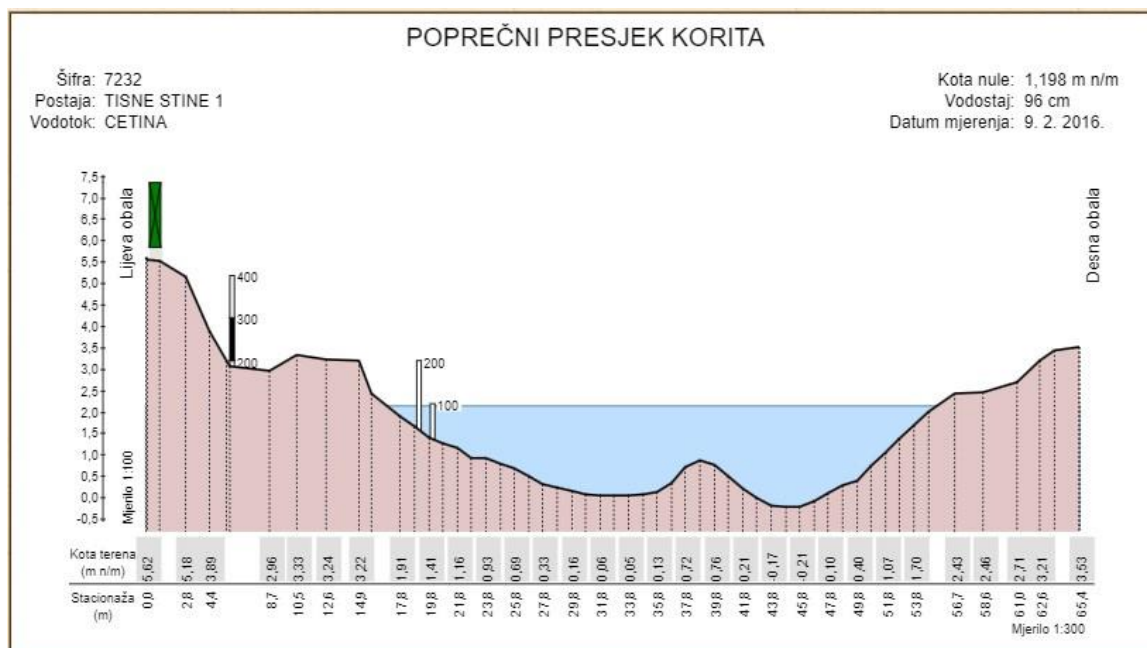
Slika 7. Situacija s prikazom vodomojerne postaje Blato na Cetini i brane Pranjčevići

### 2.1.4 Tisne Stine

Vodomojerna postaja Tisne Stine nalazi se na donjem dijelu toka rijeke Cetine, gdje rijeka poprima obilježja ravničarske rijeke, nizvodno od grupe izvora Studenci, te je situacijski prikaz postaje dan na slici 8. Postaja je započela s radom 22. srpnja 1966. godine, dok su podaci o dnevnim protocima dostupni za razdoblje od 1967. do 2021. godine. Udaljenost od ušća je 6,600 kilometara, a kota nule vodokaza nalazi se na 1,20 metara nadmorske visine. Minimalni zabilježeni protok iznosio je  $0,97 \text{ m}^3/\text{s}$  zabilježen 31. srpnja 1968. godine, dok je maksimalni zabilježeni protok iznosio  $546,20 \text{ m}^3/\text{s}$  zabilježen 27. prosinca 1993. godine. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomojerne postaje Tisne Stine prikazan je na slici 9.



Slika 8. Situacija s prikazom vodomjerne postaje Tisne Stine i susjednih hidroenergetskih postrojenja

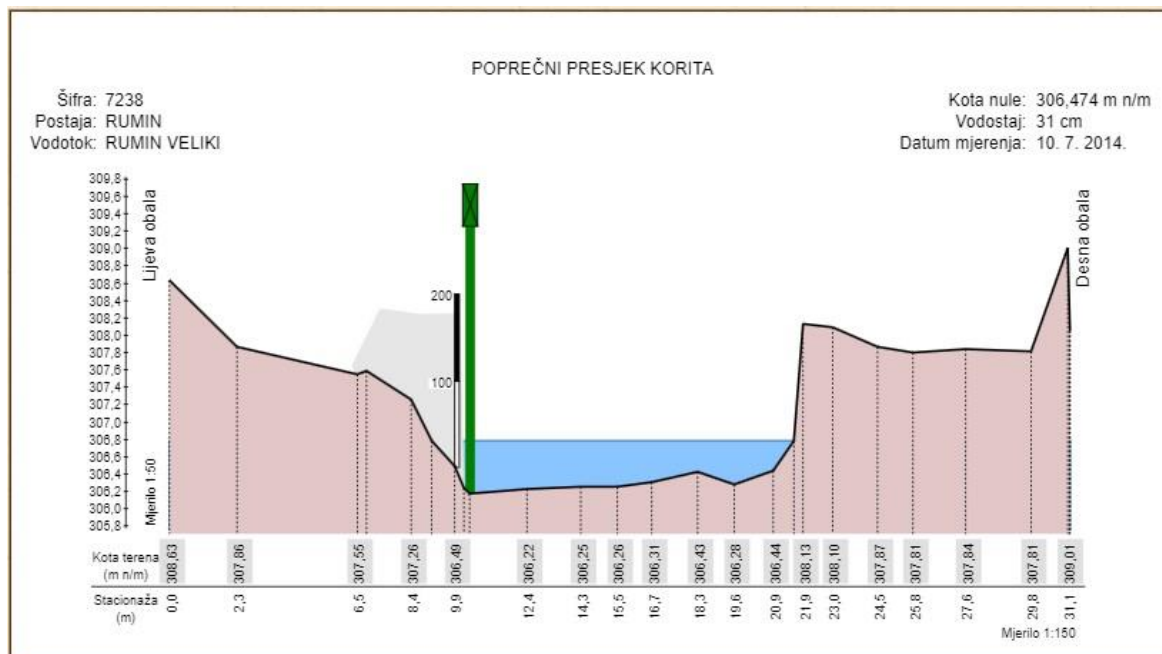


Slika 9. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomjerne postaje Tisne Stine (prema [3])

### 2.1.5 Rumin Veliki

Vodomjerna postaja Rumin nalazi se rječici Rumin Veliki koja se ulijeva u rijeku Cetinu kod naselja Rumin, što je prikazano na slici 3. Postaja je započela s radom 1. prosinca 1947. godine, dok su podaci o dnevnim protocima dostupni za razdoblje od 1948. do 2022. godine. Udaljenost od ušća je 1,200 kilometara, udaljenost od izvora 0,200 kilometara, a kota nule

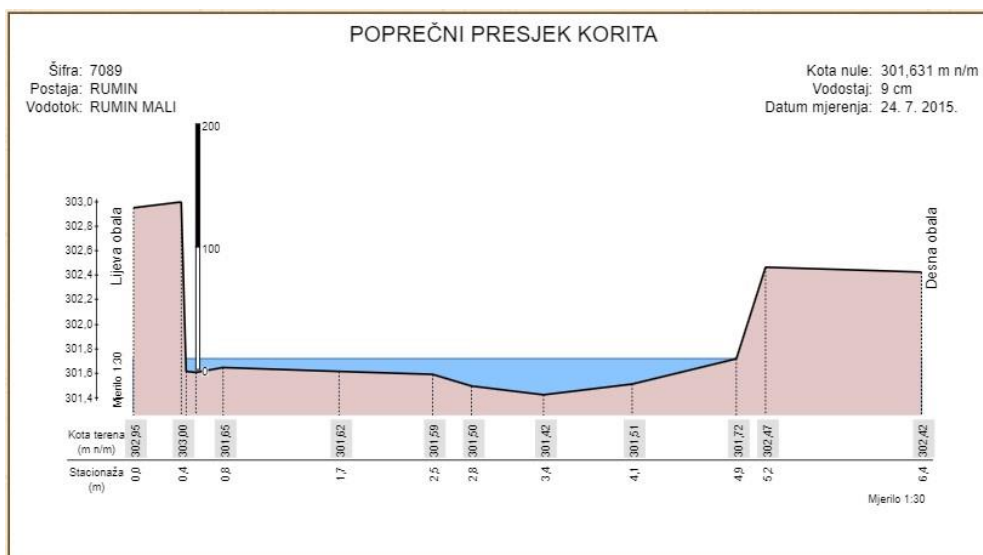
vodokaza nalazi se na 306,474 metara nadmorske visine. Minimalni zabilježeni protok iznosio je 0,026 m<sup>3</sup>/s zabilježen 20. srpnja 1973. godine, dok je maksimalni zabilježeni protok iznosio 106,20 m<sup>3</sup>/s zabilježen 9. travnja 1974. godine. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomjerne postaje Rumin Veliki prikazan je na slici 10.



Slika 10. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomjerne postaje Rumin Veliki (prema [3])

### 2.1.6 Rumin Mali

Vodomjerna postaja Rumin nalazi se na rječici Rumin Mali koja se ulijeva u rječicu Rumin Veliki, kao što je prikazano na slici 3. Postaja je započela s radom 1. listopada 1948. godine, dok su podaci o dnevnim protocima dostupni za razdoblje od 1950. do 2022. godine. Udaljenost od ušća je 0,400 kilometara, a kota nule vodokaza nalazi se na 301,631 metara nadmorske visine. Minimalni zabilježeni protok iznosio je 0,00 m<sup>3</sup>/s zabilježen više puta tijekom promatranog razdoblja, dok je maksimalni zabilježeni protok iznosio 19,21 m<sup>3</sup>/s zabilježen 9. svibnja 1978. godine. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomjerne postaje Rumin Mali prikazan je na slici 11.

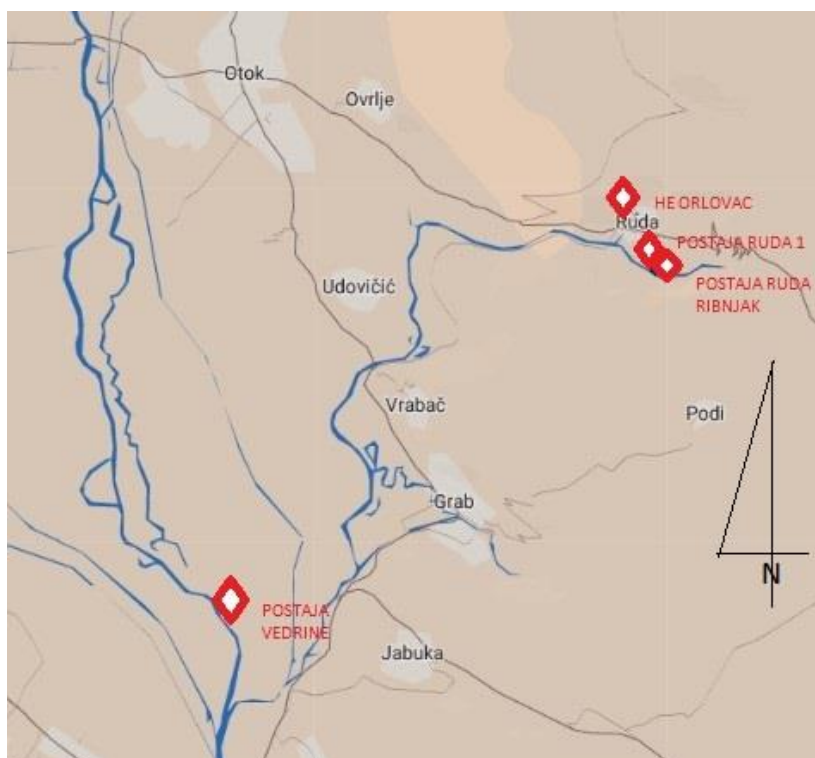


Slika 11. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomjerne postaje Rumin Mali (prema [3])

### 2.1.7 Ruda

Vodomjerna postaja Ruda 1 nalazi se na rijeci Ruda Velika koja se ulijeva u rijeku Cetinu kod naselja Trilj, što je prikazano na slici 12. Postaja je započela s radom 14. studenoga 1973. godine, dok su podaci o dnevnim protocima dostupni za razdoblje od 1974. do 2021. godine. Udaljenost od ušća je 9,000 kilometara, a kota nule vodokaza nalazi se na 298,957 metara nadmorske visine. Na rijeci Rudi se od 1. travnja 1992. godine osim na koritu rijeke vrše mjerenja protoka i na kanalu Ribnjak pa je za potrebe analize podatke potrebno zbrojiti [4]. Kota nule vodokaza postaje Ribnjak nalazi se na 303,470 metara nadmorske visine. Minimalni zabilježeni protok iznosio je  $1,538 \text{ m}^3/\text{s}$  zabilježen 26. kolovoza 1989. godine, dok je maksimalni zabilježeni protok iznosio  $49,77 \text{ m}^3/\text{s}$  zabilježen 27. prosinca 1993. godine. Karakteristični profil vodotoka na lokaciji vodomjerne postaje Ruda nije dostupan.

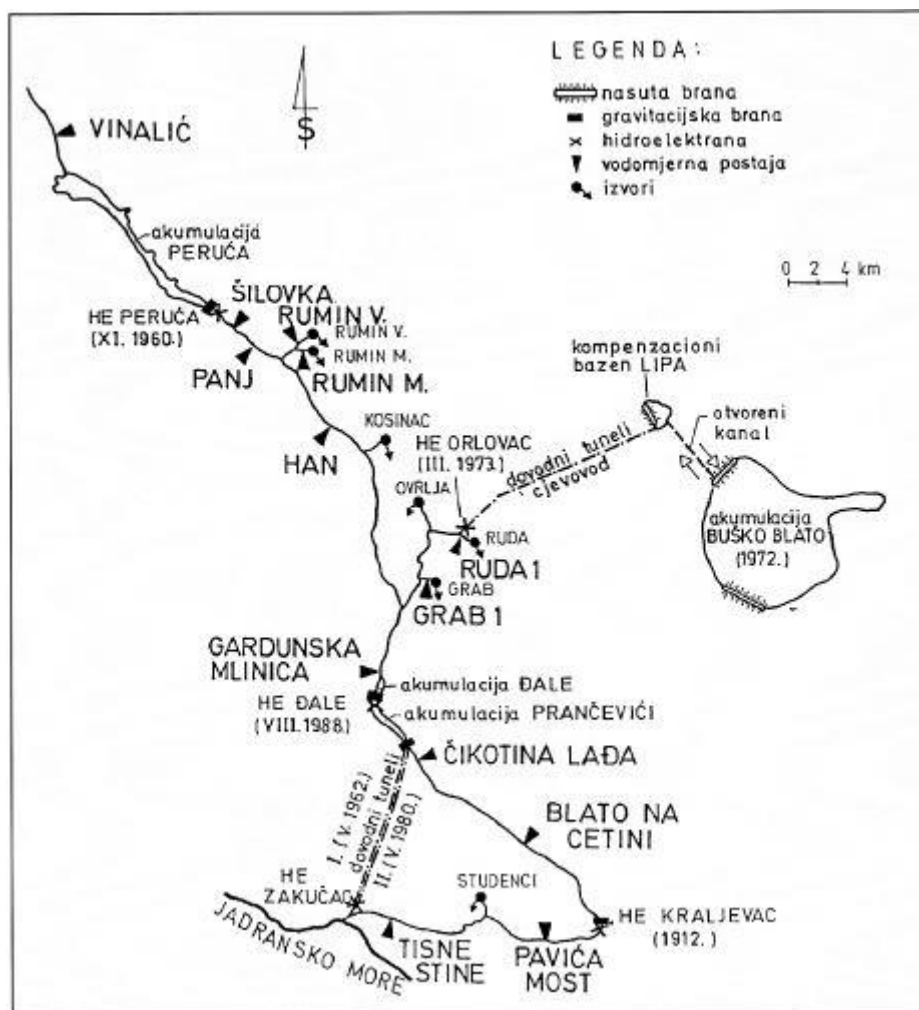




Slika 12. Situacija s prikazom vodomjernih postaja Ruda 1, Ruda Ribnjak i Vedrine te HE Orlovac

## 2.2 Geografske, geološke i hidrogeološke značajke sliva

Rijeka Cetina izdašna je krška rijeka koja cijelim svojim tokom prolazi kroz Republiku Hrvatsku, izvire u podnožju planine Dinara te se ulijeva u Jadransko more u gradu Omišu. Prema istraživanju [1] digitalizacijom korita prema ortofotu iz 2017. ukupna duljina toka rijeke je izračunata na 105 kilometara, te je to duljina koja se najčešće navodi iako postoje i publikacije koje navode manju duljinu toka. U istraživanju [5] se opisuje pozicija sliva između  $43^{\circ}20'$  -  $44^{\circ}15'$  sjeverne geografske širine i  $16^{\circ}15'$  -  $17^{\circ}30'$  istočne geografske dužine. Također navodi da brojna istraživanja površine sliva donose procjene u rasponu od  $3700 \text{ km}^2$  do  $4300 \text{ km}^2$ . Rijeka izvire u planinskom području Dinare i Svilaje, gornjim dijelom toka naizmjenično prolazi prostranim poljima u kršu te kanjonskim dionicama. Dionicom između Trilja i Zadvarja tok prolazi kanjonom koji završava vodopadom Gubavica, te započinje ravničarski dio toka do ušća koji isprepleću dionice kanjonskog tipa. Na slici 13 prikazan je sliv rijeke Cetine, nazačene su i lokacije izvora, vodomjernih postaja te većih hidroenergetskih postrojenja u slivu.



Slika 23. Sliv rijeke Cetine (prema [6])

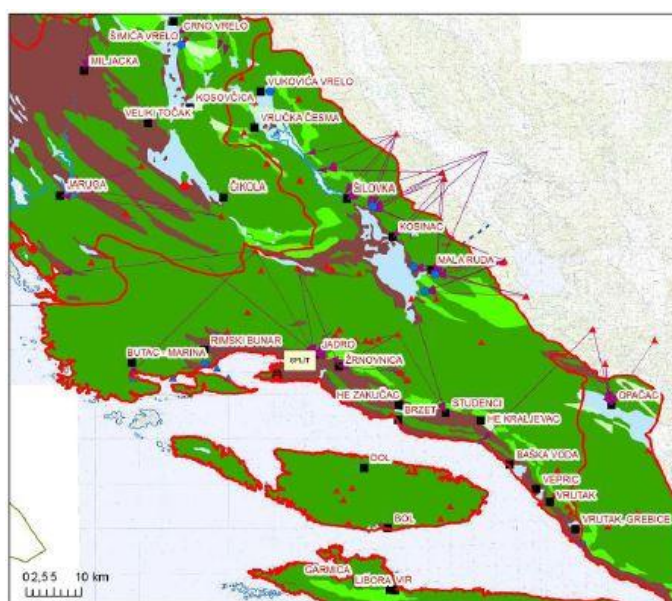
U istraživanju [1] se opisuje klima na području sliva Cetine na način da mediteranska klima ima utjecaj samo na uski obalni pojas, dok većina toka ima kontinentalnu klimu s vrućim i suhim ljetima te blagim i vlažnim hladnijim dijelom godine. U istraživanju [2] se naglašava da na klimatska obilježja bitno utječu nadmorska visina tj. orografija sliva te udaljenost od mora i da je Thiessenovom metodom utvrđena prosječna količina padalina na slivu od 1380 mm.

Istraživanje [7] navodi da se sliv rijeke može podijeliti na planinski dio i na polja u kršu. Geološki gledano, u istraživanju [8] opisuje se da je planinsko područje sliva pretežito izgrađeno od krednih karbonatnih stijena unutar kojih prevladavaju vapnenci nad dolomitima. Vrlo je važna pojava donjotrijaskih i negenskih glinovito-laporovitih naslaga u podlozi krških polja. Te naslage su uvjetovale pojavu niza izvora na lijevoj obali Cetine. Prema istraživanju [9] opisuje se geološka starost stijena u području sliva:

Najstarije registrirane stijene su eruptivi, gips i anhidrit kod grada Sinja permotrijaske starosti. Nalaze se u zoni vulkansko-dijapirskih prodora. Sjeverno od

navedenog rasjeda područje je izgrađeno od karbonatnih naslaga mezozoika starosti od trijasa do gornje krede, a južno od zone rasjeda započinje borano područje ljuskavih tektonskih formi s karbonatnim stijenama kredne starosti u jezgri antiklinalnih formi i pojavama fliša i prominskih naslaga u sinklinalnim dijelovima struktura.

Na slici 14 vidimo shematsku hidrogeološku kartu Splitsko-dalmatinske županije. Tamno zelenom bojom prikazane su dobro vodopropusne karbonatne stijene, zelenom osrednje vodopropusne karbonatne stijene, svijetlo zelenom slabo vodopropusne karbonatne stijene, smeđom u cjeline nepropusne naslage, a svijetlo plavom bojom međuzrnski vodonosnici slabe vodopropusnosti kvartarne starosti.



Slika 14. Shematska hidrogeološka karta (prema [9])

Samo izvorište Cetine sastoji se od nekoliko jakih izvora (Milaševo, Vukovića vrelo, Preočko vrelo, Kotluša, Nele). Također, nizvodno se nalaze izdašna krška vrela Dabar, Dragovića vrelo, Radonjino vrelo koja su dijelom potopljena izgradnjom kumulacije Peruća, prema studiji [10]. Prema istraživanju [9] početni izvor rijeke Vukovića vrelo, prikazan na slici 15, i cijeli niz krških izvora na području Paškog polja daju najveću količinu vode rijeke Cetine koja je vezana uz dotoke iz planinskog područja Dinare. Planina Dinara ima generalno sinklinalnu formu i ne predstavlja barijeru kretanju podzemne vode, što omogućuje podzemne dotoke iz udaljenih područja Livanjskog i Duvanjskog polja.



Slika 15. Vukovića vrelo (04. lipnja 2023.)

U studiji [10] se navodi da se istjecanje odvija na mjestima gdje poprečni do dijagonalni rasjedi presijecaju regionlni rasjed Vrlika-Sinj-Trilj uzduž kojeg su nepropusne permtrijaske i neogenske naslage došle u kontakt s karbonatnim stijenama Dinare i Kamešnice. Na lijevoj obali gornjeg toka Cetine, a osobito u Sinjskom polju javljaju se mnogobrojni jaki krški izvori (Šilovka, Rumin Veliki i Mali, Kosinac, Ruda Velika i Mala, Grab). Desna obala Cetine s planinom Svilajom zatvara manji dio sliva s najistaknutijim izvorom Vrlikom. Polja u porječju Cetine imaju vrlo važnu ulogu pri kretanju površinskih i podzemnih voda, najveća od kojih su Cetinsko, Koljansko, Ribarničko, Hrvatačko i Sinjsko polje. Krška polja su ispunjena kvartarnim naslagama i u njihovoj podlozi neogenskim glinovito-praštinastim naslagama, prema istraživanju [8].



Slika 16. Vodopad Gubavica u zimskom periodu (10. siječnja 2023.)

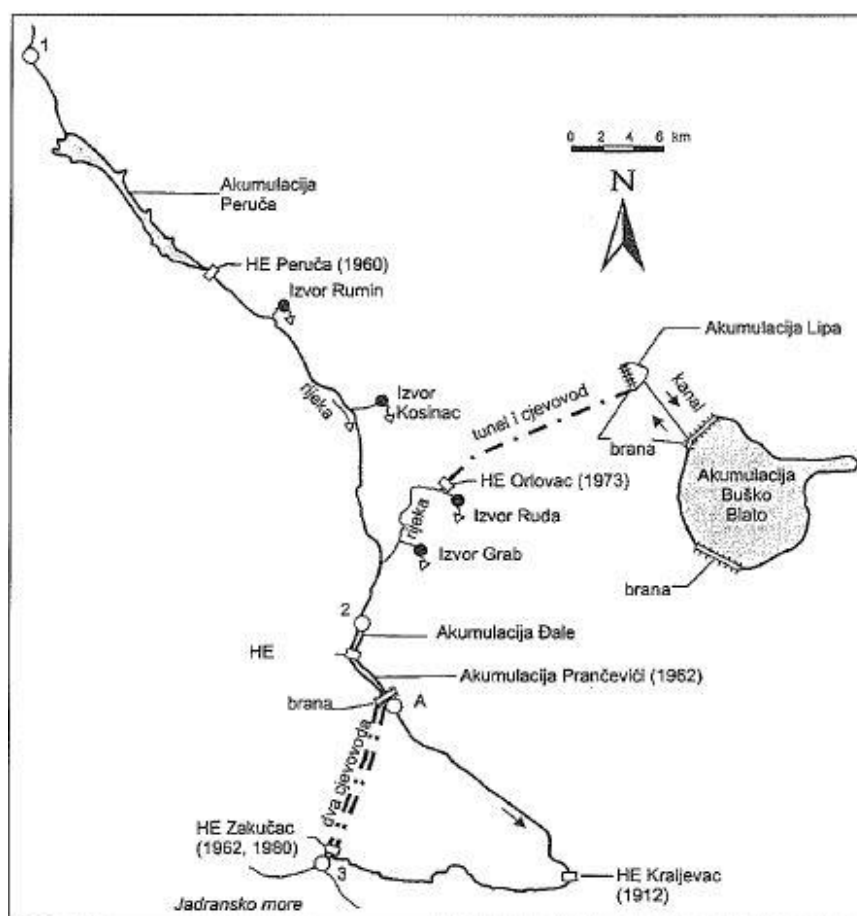
Srednji dio toka predstavlja dio toka od Trilja do Zadvarja gdje rijeka teče kanjonom do vodopada Gubavica prikazanog na slici 16. Cetina ovdje uglavnom ima takozvani "viseći tok" osobito u sušnom period kada vode rijeke hrane podzemlje i nizvodne izvore (Jurjević, Gojsalić, Studenci), prema publikaciji [4]. U istraživanju [8] navodi se da je trasiranjem podzemnih voda kod Postinja i Grabova mlina, u koji ponire dio voda rijeke Cetine, dokazana veza s izvorom Jadra i Žrnovnice. Također, nakon izgradnje akumulacije Prančevići izvor Žrnovnice više ne presušuje. Prema istraživanju [9] rijeka Cetina do Biska ima usječen kanjon okomito na prostiranje strukturnih formi, a zatim nizvodno do Babajića korito rijeke skreće prema istoku i teče paralelno prostiranju struktura, gdje ponovno skreće prema jugozapadu i presijeca karbonatni plato do Zadvarja, gdje definitivno prelazi u područje izgrađeno od vodonepropusnih fliških stijena i korito skreće prema zapadu u donji dio toka. Na slici 17 je pogled na dolinu rijeke Cetine s lokacije iznad HE Kraljevac, te se mogu vidjeti i njena vodna komora te rasklopno postrojenje, kao i masiv u koji je usječen kanjon Cetine uzvodno.



Slika 17. Pogled s vidikovca iznad HE Kraljevac (05. rujna 2023.)

U istraživanju [4] se opisuje sliv donjeg toka Cetine kao usko područje u zaleđu Omiške Dinare građeno od klastičnih, slabo propusnih naslaga eocenskog fliša. U duljini od 5,5 km uzvodno od ušća rijeka Cetina je ravničarska rijeka, te neposredno pred ušćem dobiva pritek voda sa HE Zakućac.

Sa hidrološkog stajališta sliv Cetine moguće je podijeliti na dio uzvodno od brane Prančevići koji je uvelike izminjenjen u odnosu na izvorno stanje izgradnjom akumulacija i hidroelektrana prikazanih na slici 18, te na dio toka nizvodno od brane Prančevići koji ovisi o režimu rada HE Zakućac i ispuštanju voda biološkog minimuma sa brane Prančevići.



Slika 18. Akumulacije i hidroelektrane na slivu Cetine (prema [4])

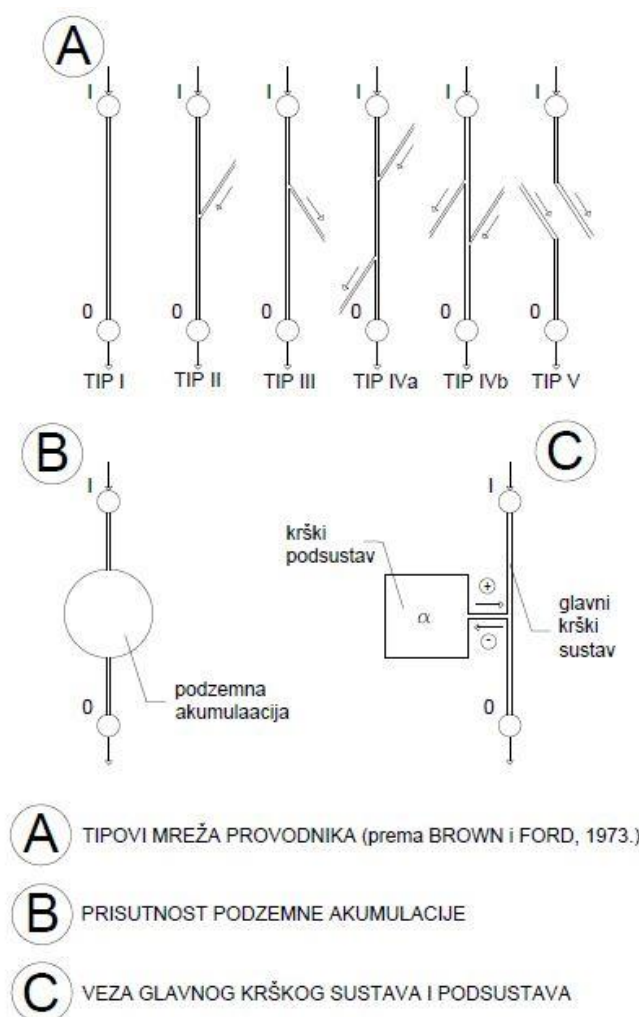
### 2.3 Osnovne značajke hidrologije krša

Kada govorimo o tokovima u krškom terenu prvo trebamo znati da je krško područje karakterizirano postojanjem topivih stijena pri te ispod površine terena. U Hrvatskoj su to dobro topivi vapnenci te slabije topivi dolomiti, također to mogu biti gips, halit te sol. Topivost stijena je u ovisnosti sa stupnjem razvijenosti pukotina, kemijskim te temperaturnim svojstvima vode. Proces je progresivan, dakle veći broj razvijenih pukotina vuče i brži

stupanj okrštavanja. Prema White, 1988; Ford i Williams, 1989; Bonacci 2001; kako navodi Bonacci [11]:

Krš je karakteriziran sustavom širokog spektra površinskih depresija, dobro razvijenim podzemnim drenažnim sustavom i snažnom interakcijom površinskih i podzemnih tokova. Karstifikacija je primarna geološka karakteristika važna za cirkulaciju i skladištenje vode. Generalno je proces najsnažniji pri površini te opada s dubinom krškog masiva. Karstifikacija je kontinuiran proces uzrokovan prirodnim i/ili antropogenim utjecajima, tako da su najprecizniji modeli i/ili metode samo privremeno važeći.

Na slici 19a vidimo šest mogućih tipova odnosa između dotoka i istjecanja u krškom mediju, na slici 19b se prikazuje postojanje podvodne akumulacije, dok se na slika 19c prikazuje veza glavnog sustava provodnika i njegovog podsustava.



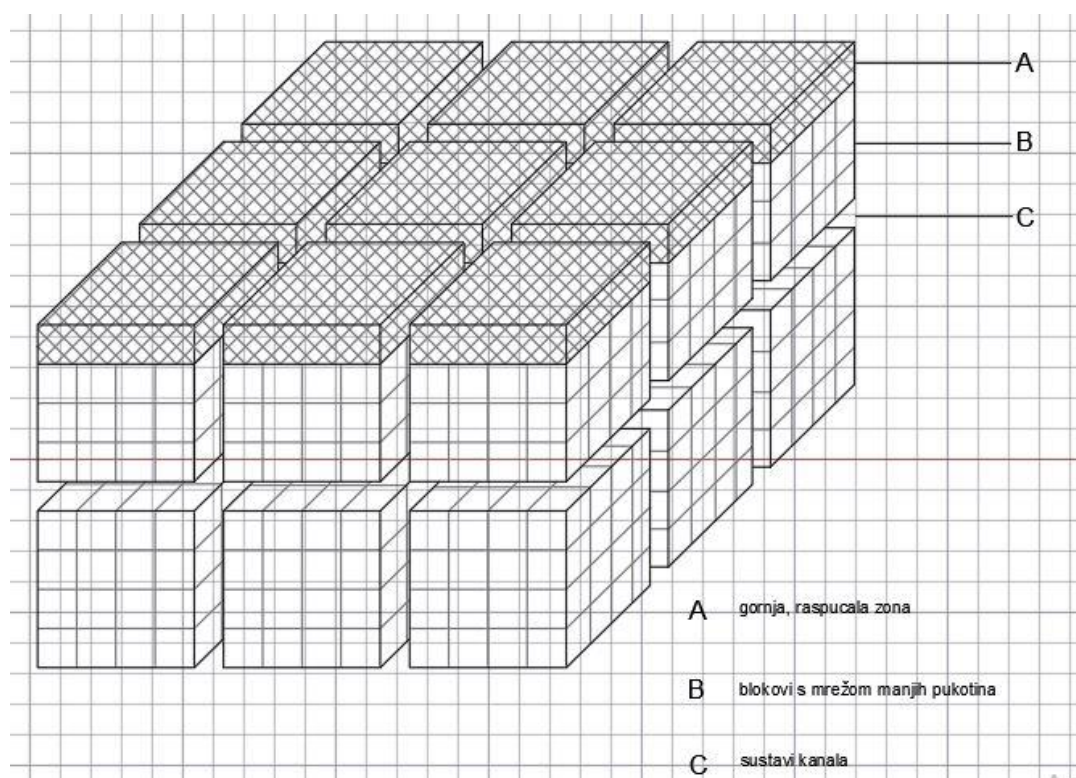
Slika 19. Tipovi veza krških provodnika (Bonacci [12], prema Brown i Ford)

Pri opisivanju krškog vodonosnika polazna točka je opisivanje sistema provodnika i akumulacijskih prostora. Provodnici su dijelovi sustava koji omogućavaju pretvaranje razlika

razina vode u protok, čine ih pukotine i drugi krški oblici nastali procesom karstifikacije. Akumulacije u kršu su najčešće spilje i kaverne te povezane pukotine. Zbog progresivnih procesa karstifikacije možemo zaključiti da su krški vodonosnici heterogeni i anizotropni. U skripti [13] navodi se da su hidrološke specifičnosti krša brza infiltracija palih oborina, mala akumulacijska sposobnost u zoni sitne pukotinske poroznosti, te velika provodnost i stvaranje povremenih površinskih i podzemnih akumulacija u zonama krupnih pukotina, zbog tih svojstava režim otjecanja je neravnomjeran. Istraživanje [12] definira primarnu, teksturalnu ili intergranularnu poroznost kao otvore u karbonatnim stijinama iz doba njihovog nastanka, sedimentacije i petrifikacije, dok je sekundarna poroznost vezana uz otvore i pukotine nastale u postpetrifikacijskom periodu. Na slici 20 prikazana je shematizacija prostornog rasporeda pukotina i kanala u karbonatnom stijenskom mediju. Za zonu A na slici karakteristično je postojanje sustava malih pukotina pod stalnim utjecajem vlage i procesa otapanja, dok zone B i C prikazuju razvijenije tipove provodnika koje dopuštaju bržu cirkulaciju vode. U skripti [13] opisuje se poroznost kao postotak šupljina u volumenu stijenske mase:

$$n = \frac{V_p}{V_{uk}} \times 100 \quad (1)$$

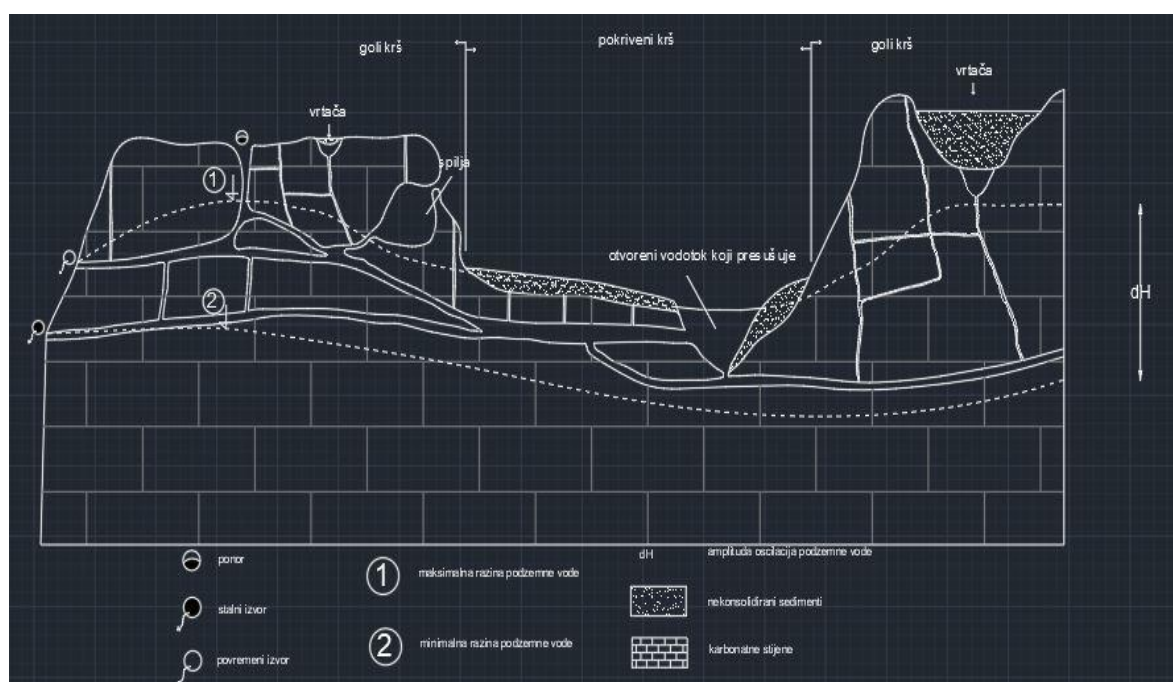
gdje su:  $n$  – poroznost [%],  $V_p$  – volumen pora [ $m^3$ ],  $V_{uk}$  – ukupni volumen stijene [ $m^3$ ].



Slika 20. Shematizacija karbonatnog masiva (Bonacci [12], prema Drogue)

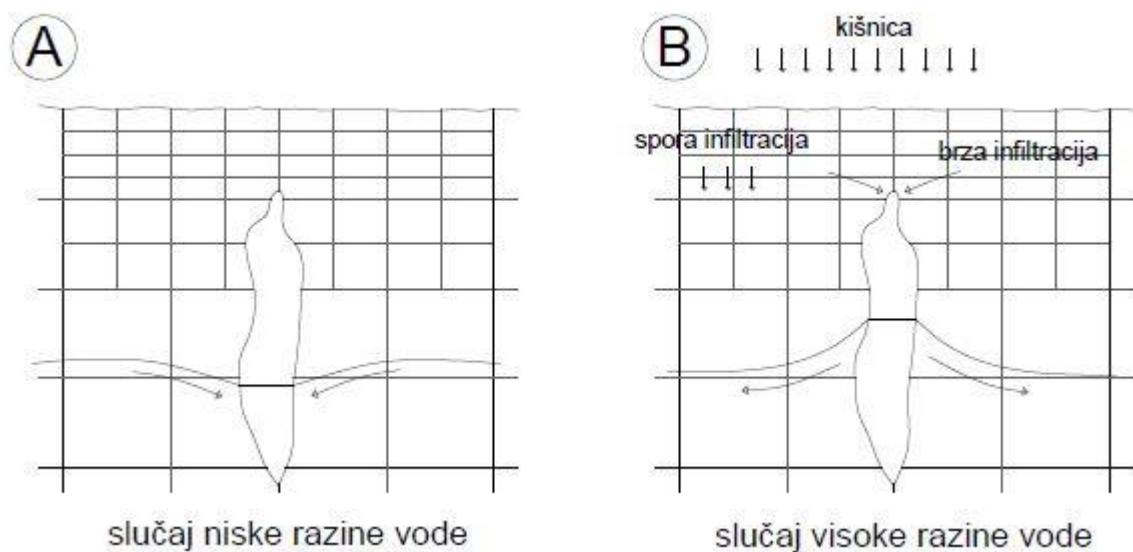


Skripta [13] donosi podjelu vodnih objekata u kršu na ponore, estavele i izvore. Ponori su pukotine u kršu kroz koje voda ulazi u podzemlje (stijensku masu – vodonosnik). Sa morfološkog stajališta mogu biti velike pećine, spilje, jame, niz malih pukotina ili aluvijalni ponori. Izvori su prirodno istjecanje odzemne vode na površinu kroz pukotine u stijenskoj masi krša. Estavele su objekti kroz koje se vrši i doticaj i otjecanje u ovisnosti o razini podzemne vode. U istraživanju [12] navodi se da je brzina cirkulacije vode u kršu u ovisnosti s hidrološkim uvjetima na slivnom području, te da voda cirkulira brže kada je vodonosnik pun u odnosu na sušni period. Na slici 21 vidimo presjek krškog terena sa tipiziranim pojavama krških oblika vrtača, spilja, provodnika, sa izvorima stalnog i povremenog karaktera na terenu pokrivenom škrapama. Škrape, vrtače i spilje služe kao ponori za vodu koja padne na površinu terena, sistem povezanih provodnika stalno ili privremeno zadržava vodu te razina podzemne vode reflektira brzinu proticanja što rezultira izlazom na stalnom izvoru ili u uvjetima visoke razine podzemne vode povremenom izvoru.



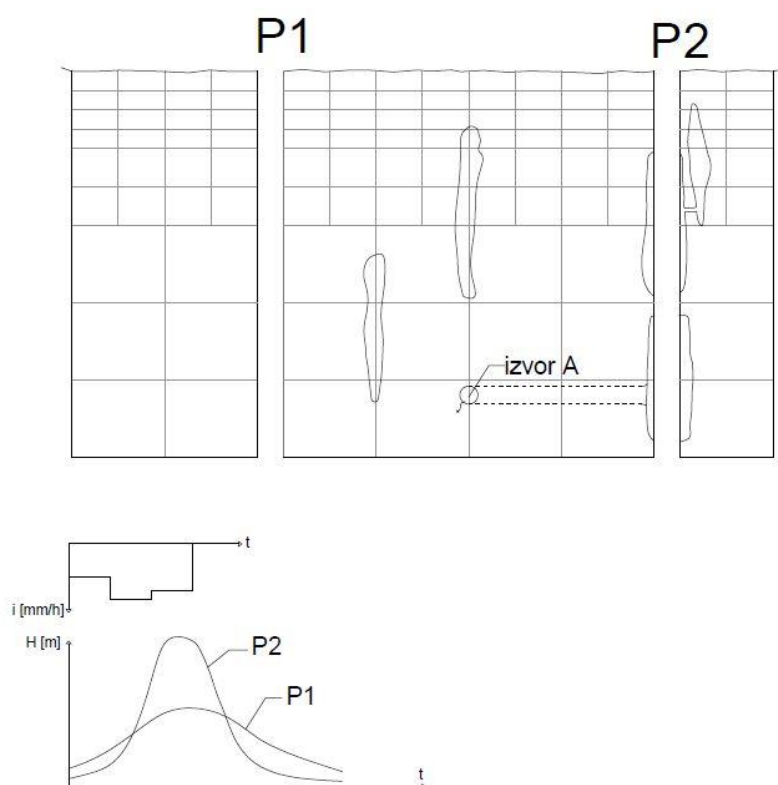
Slika 21. Presjek tipiziranog krškog terena (prema [12])

Prilikom kišnih događaja, razina podzemne vode raste brže u većim provodnicima koji su bolje povezani s okolnim masivom, te oni otpuštaju vodu u okolni masiv. U uvjetima niske razine podzemne vode manje pukotine sporije gube vodu zbog njenih kapilarnih svojstava, te samog volumena manjih pukotina koji je u sumi veći od volumena većih provodnika koji onda dreniraju manje pukotine što se na slici 22 shematizira.



Slika 22. Cirkulacija vode u krškom masivu (Bonacci [12], prema Drogue)

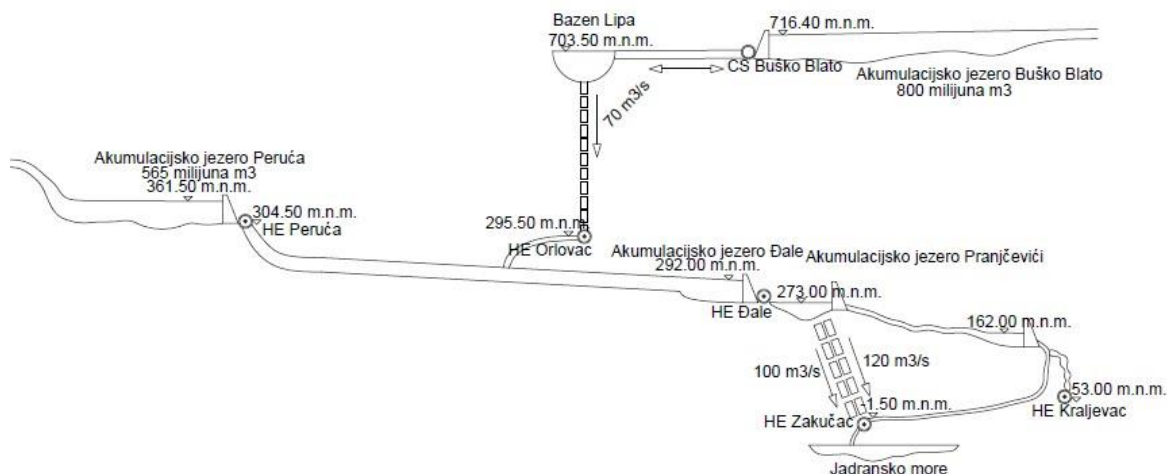
Situacija sa slike 22 još je pobliže ilustrirana na slici 23 koja pokazuje hidrogram otjecnja s dva blisko postavljena piezometra u krškom masivu. Piezometar 1 postavljen je u zonu manjih pukotina, dok je piezometar 2 postavljen u zonu bolje razvijenih pukotina te se voda s oba piezometra pojavljuje na izvoru A. Vidimo da za slučaj iste oborine, sustav većih pukotina brže transformira vodeni val, te ukazuje na potrebu detaljnog poznavanja odnosa unutar karbonatnog medija prilikom projektiranja hidrotehničkih građevina.



Slika 23. Hidrogrami na bliskim piezometrima (Bonacci [12], prema Drogue)

## 2.4 Hidroenergetski sustav rijeke Cetine

Rijeka Cetina, zbog povoljnih uvjeta unutar sliva koji je prihranjuje, posjeduje izniman hidroenergetski potencijal. Prema publikaciji [14] taj potencijal je iskorišten 74%. Na slici 24 prikazan je uzdužni profil hidroenergetskog sustava rijeke Cetine.



Slika 24. Uzdužni profil hidroenergetskog sustava rijeke Cetine (prema [14])

Hidroenergetski sustav rijeke Cetine čine pet hidroelektrana i jedna mala hidroelektrana. Prva hidroelektrana izgrađena na slivu Cetine je HE Kraljevac, dovršena 1912. godine. HE Kraljevac izgrađena je na mjestu vodopada Gubavica, najveće prirodne energetske stepenice u slivu rijeke na kraju kanjonskog dijela toka rijeke. Kapacitet elektrane povećan je izgradnjom druge faze 1928. godine. Sustavno iskorištavanje potencijala rijeke Cetine za proizvodnju električne energije započelo je izgradnjom brane Peruća sa pribranskom HE Peruća na početku Hrvatačkog polja. Prema publikaciji [14] akumulacijsko jezero Peruća sa 565 milijuna  $m^3$  korisnog volumena koji čini 37% srednjeg godišnjeg volumena dotoka značajno utječe na izravnjanje protoka Cetine na nizvodnim energetskim stepenicama od Sinjskog polja do Jadranskog mora. Godine 1972. dovršeno je akumulacijsko jezero Buško Blato, korisnog volumena 782 milijuna  $m^3$ , koja je izgrađeno u svrhu zadržavanja voda sliva Cetine sjeverno od masiva Dinare i Kamešnice. Vode iz akumulacijskog jezera, u sprezi sa vodama akumulacijskog jezera Mandak se kanalima dovode u akumulacijsko jezero Lipa. Jezero Lipa predstavlja kompenzacijski bazen za derivacijsku hidroelektranu Orlovac na čije se turbine voda dovodi tunelom kroz masiv Kamešnice. HE Orlovac izgrađena je 1973. godine na lijevom pritoku Cetine, rijeci Rudi. Nizvodno od grada Trilja rijeka Cetina prolazi kanjonom u kojem je izgrađena brana koje pregrađuje kanjon i čini uspor vode čiji potencijal se iskorištava na pribranskoj hidroelektrani Dale, dovršenoj 1989. godine. Nizvodno od HE

Dale nalazi se brana Pranjčevići koja pregrađuje rijeku i gradi akumulacijsko jezero Pranjčevići dovršeno 1960. godine u svrhu odvratanja vode na turbine HE Zakućac. U prvoj fazi izgradnje 1961. godine dovršena je strojarnica u kaverni u zaleđu grada Omiša na koju se dovodi voda tunelom kroz planinski masiv Mosor iz akumulacije Pranjčevići koja predstavlja kompenzacijski bazen za HE Zakućac. U drugoj fazi 1980. godine izgrađen je i drugi tunel te je HE Zakućac postala najveća hidroelektrana na području Hrvatske s 576 MW instalirane snage. U sklopu brane Pranjčevići izgrađena je i mala hidroelektrana koja iskorištava vode biološkog minimuma koje se ispuštaju s brane. Nizvodno od brane Pranjčevići je usporna građevina koja vode Cetine kanalom dovodi na turbine HE Kraljevac, no izgradnjom sustava HE Kraljevac gubi na značaju koji je uživala prije izgradnje brane Pranjčevići. U tablici 1 je prikazana pregledna tablica pogona u hidroenergetskom sustavu rijeke Cetine s podacima u trenutku puštanja u pogon.

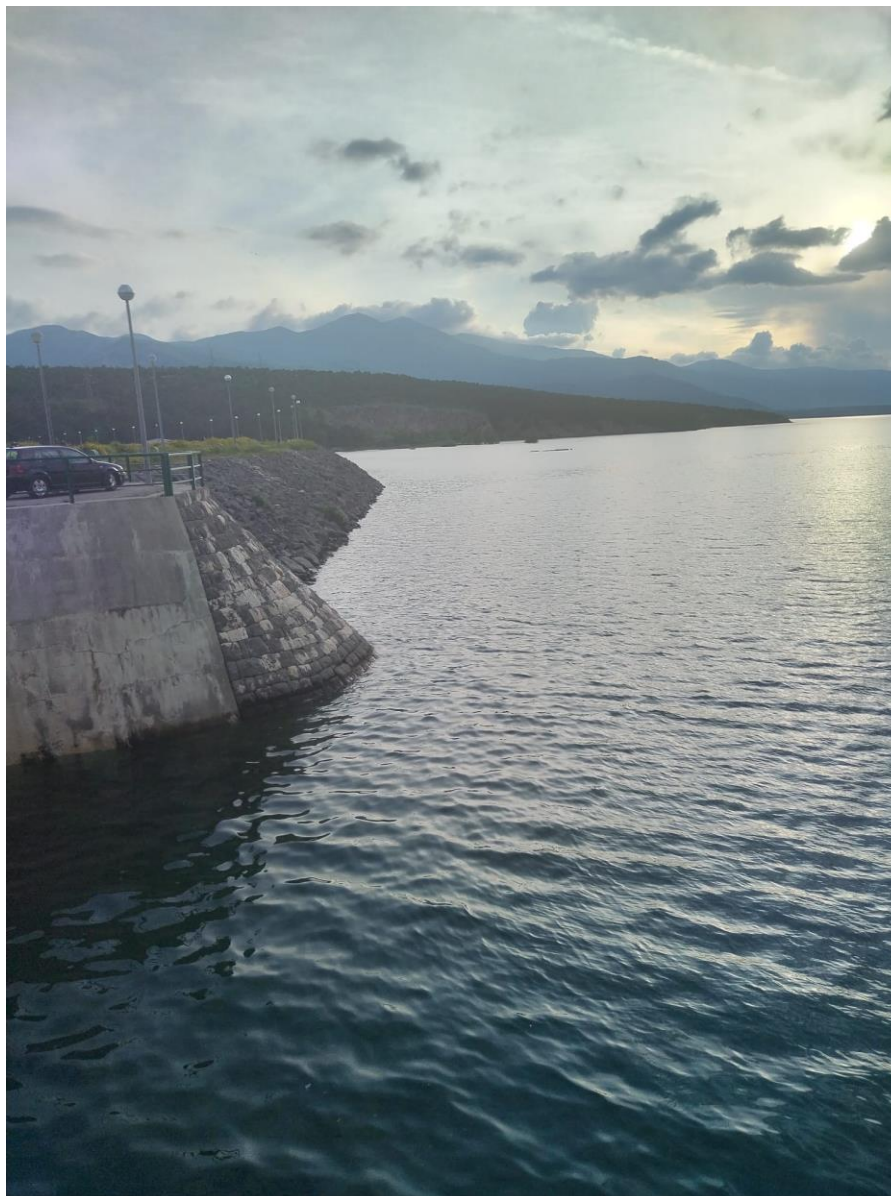
Tablica 1. Podaci o hidroelektranama u slivu rijeke Cetine (prema [14])

HE	Godina početka rada [god]	Tip turbine	Instalirana snaga [MW]	Instalirani protok [m <sup>3</sup> /s]	Prosječna godišnja proizvodnja [GWh]
Peruća	1960.	Francis	41,6	120	120
Orlovac	1974.	Francis	237	70	440
Đale	1989.	Kaplan	40,8	220	157
Zakućac	1961./1980.	Francis	221/486	100/220	1640
Kraljevac	1912./1932.	Francis	25,6/67,2	50/80	40

#### 2.4.1 HE Peruća

HE Peruća, sa pripadajućim akumulacijskim jezerom Peruća najuzvodnije je hidroenergetsko postrojenje na rijeci Cetini. Pribranska elektrana iskorištava potencijal vode koncentriran na nasutoj kamenoj brani Peruća koja formira akumulacijsko jezero. Jezero, osim za rad elektrane, služi i za preraspodjelu vode tijekom godine kao i za razne druge namjene (športske, turističke). Brana je nasuta sa glinenom jezgrom te injekcijskom zavjesom. Prema publikaciji [14] jezero ima korisni volumen od 565 mil m<sup>3</sup> kod najvišeg radnog vodostaja na koti 361,50 m.n.m., a najveća poplavna razina je 362,00 m.n.m. Za evakuaciju vode služe preljevna građevina propusne moći 428 m<sup>3</sup>/s s brzotokom te temeljni ispust propusne moći 220 m<sup>3</sup>/s. Strojarnica se nalazi na nizvodnoj strani pored nožice brane, te se voda s turbina vodi u korito Cetine. Hidroelektrana je puštena u pogon 1960. godine. Dana 23.siječnja 1993. godine, za vrijeme Domovinskog rata, okupacijske snage Jugoslavenske armije i srpskih

paravojnih postrojbi detonirale su eksploziv postavljen u tijelo brane. Hrvatske snage su isti dan oslobodile branu te brzim djelovanjem otvorile temeljni ispust te tako spriječile progresivno ispiranje tijela brane te moguću ljudsku katastrofu nizvodno. Brana je obnovljena, te je najviša kota povišena za dodatnih 1,5 m. Pogled na akumulacijsko jezero s krune brane dan je na slici 25.



Slika 25. Pogled s krune brane Peruća (04. lipnja 2023.)

#### **2.4.2 HE Orlovac**

Posebno zanimljivu konfiguraciju ima HE Orlovac, visokotlačno derivacijsko postrojenje u sklopu hidroenergetskog sustava rijeke Cetine. Zanimljivo je po tome što se zahvat vode iz akumulacije Buško blato kao i dio dovodnog tunela nalaze na teritoriju Bosne i Hercegovine,

a preostali dio tunela, tlačni cjevovod, vodna komora te strojarnica s opremom u Republici Hrvatskoj. Sustav je osmišljen tako da se vode krških polja Hercegovine, koje se preko ponora i podzemlja dreniraju k rijeci Cetini, akumuliraju te se dovedu na strojarnicu kroz masiv Kamešnice. Ostvareni pad iskorištava se na HE Orlovac na rijeci Rudi, koja utječe u Cetinu. Prema publikaciji [14] akumulacija Buško blato ostvarena je izgradnjom brana Kazaginac i Podgradina, a otješnjena je nizom injekcijskih zavjesa. Postoji još i akumulacija Mandak iz koje se vode prebacuju kanalom u Buško blato. Mrežom kanala voda se dovodi do kompenzacijskog bazena Lipa iz kojeg ide prema strojarnici. Akumulacija vrši potpuno godišnje izravnaje protoka te je ključan čimbenik u radu cijelog hidroenergetskog sustava rijeke Cetine. Prema publikaciji [15] počele su pripremne aktivnosti za rekonstrukciju HE Orlovac vrijednu 510 milijuna kuna, a koje uključuju izradu projektne dokumentacije te ishodenje potrebnih dozvola. Rekonstrukcija se planira obaviti u razdoblju od 2024. do 2027. godine. U 2021. također su obavljani radovi na planiranim remontima i održavanju građevina i opreme hidroenergetskih postrojenja. Završen je projekt poboljšanja nepropusnosti akumulacije Buško jezero, kojim će se osigurati dodatni proizvodni kapaciteti HE Orlovac. U istoj elektrani dovršava se remont agregata.

### **2.4.3 HE Đale**

Nizvodno od grada Trilja, u početnom dijelu kanjanskog toka rijeke Cetine betonska gravitacijska brana dužine 110 m, kote najvećeg uspora 292,0 m.n.m. zatvara kanjon i predstavlja uspor koji koristi pribransko postrojenje HE Đale. Donja voda HE Đale odgovara nivou jezera Pranjčevići, drugim riječima, neposredno nizvodno od brane započinje akumulacija Pranjčevići koja služi kao kompenzacijski bazen za HE Zakučac. Zbog takvog odnosa ukupan instalirani protok na HE Đale odgovara instaliranom protoku HE Zakučac. Prema publikaciji [14] ukupan kapacitet evakucijskog objekta, preljeva i temeljnih ispusta iznosi 1000 m<sup>3</sup>/s. Godina početka izgradnje hidroelektrane je 1984., a godina puštanja u pogon je 1989.

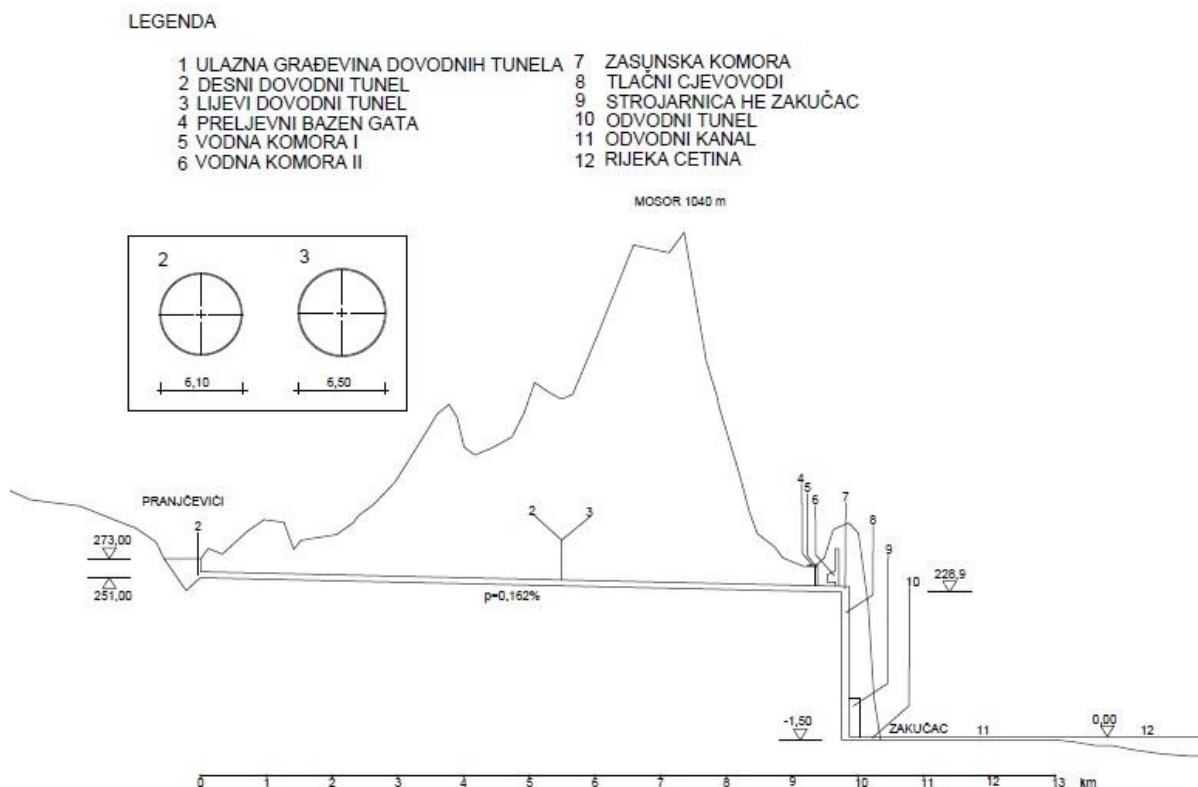
### **2.4.4 HE Zakučac**

Prema publikaciji [14] prva ideja o izgradnji hidroelektane na mjestu današnje HE Zakučac datira iz 1902. godine, a autor je belgijski inženjer Macquet, no rješenje se odbacilo kao preskupo te se krenulo s realizacijom rješenja o izgradnji HE Kraljevac. HE Zakučac danas je

visokotlačno derivacijsko postrojenje s instaliranih 144 MW snage na četiri proizvodne jedinice, ima ukupno 576 MW instalirane snage te je najveće hidroenergetsko postrojenje na rijeci Cetini i ima ključnu ulogu u funkcioniraju strujno-distribucijske mreže južnog dijela Hrvatske. Prema publikaciji [14]:

HE Zakučac je građena u dvije etape. U prvoj etapi izgradnje, koja je puštena u pogon 1961. godine, sagrađeni su brana Pranjčevići, dovodni tunel s vodnom komorom i tlačnim cjevovodima, te strojarnica u koju su ugrađene dvije proizvodne jedinice ukupne snage 216 MW. U drugoj etapi, koja je puštena u pogon 1980. godine, dograđeni su drugi tlačni tunel s vodnom komorom i tlačnim cjevovodima, te dvije proizvodne jedinice ukupne snage 270 MW. Izgradnjom druge etape praktički su prestali preljevi na brani Pranjčevići, a nizvodna hidroelektrana Kraljevac od tog vremena za proizvodnju koristi vode biološkog minimuma koje se puštaju nizvodno.

Bitno je naglasiti nedavnu revitalizaciju hidroelektrane, prema publikaciji [15] u 2021. završeni su svi radovi na rekonstrukciji i revitalizaciji najveće HEP-ove hidroelektrane HE Zakučac, kojom je ukupna instalirana snaga elektrane povećana na 576 MW (4x 144 MW), a komercijalno raspoloživa snaga na 538 MW. Pomoću dva tunela se iz bazena Pranjčevići voda dovodi kroz planinski masiv Mosor na sustav s ekspanzijskim bazenom Gata, dvije vodne komore u nastavku kojih je tlačni cjevovod koji se, nakon zasnske komore, vertikalno spušta na strojarnicu koja je smještena unutar kavernskog sustava u zaleđu grada Omiša. Iza strojarnice voda se kanalom uvodi u tok Cetine netom prije ušća u more. Uzdužni profil sustava HE Zakučac dan je na slici 26.



Slika 26. Uzdužni profil postrojenja HE Zakučac (prema [14])

#### 2.4.5 HE Kraljevac

HE Kraljevac najstarije je hidroenergetsko postrojenje izgrađeno na rijeci Cetini te je u vrijeme završetka izgradnje druge faze bilo ujedno i najveće postrojenje na ovom dijelu jugoistočne Europe. Prema publikaciji [14]:

Godine 1907. počela je izgradnja prve etape hidroelektrane Kraljevac koja je trajala do 1912. godine kad je elektrana puštena u pogon. Ova elektrana s izgrađenom branom na Cetini i derivacijom koristi bruto pad od 110 m uz instalirani protok od 30 m<sup>3</sup>/s, a bila su ugrđena dva agregata, instalirane snage 12,8 MW svaki. Godine 1932. izgrađena je druga faza HE Kraljevac. Tada su ugrađena još dva agregata instalirane snage 20,8 MW svaki, uz instalirani protok od 50 m<sup>3</sup>/s. U prvim godinama rada elektrana je bila isključivo povezana s tvornicom karbida u Dugom Ratu, da bi 1924. godine bila povezana s Omišem, a 1926. godine sa Splitom.

Uzvodna brana pregrađuje kanjon Cetine, te se otvorenim kanalom vode nastavljaju u dovodni tunel koji završava vodnom komorom na koju se nastavljaju četiri tlačna cjevovoda koji dopremaju vodu na četiri turbine. Prema publikaciji [14] kota brane je 164 m.n.m., kota ulaza u tlačne cjevovode 159 m.n.m., a kota ulaza na turbine je 58.5 m.n.m. HE Kraljevac



smještena je na lokaciji slapa Gubavica koji je najviša energetska stepenica na rijeci Cetini. Danas je HE Kraljevac izgubila na značaju koji je prvotno uživala izgradnjom ostalih elektrana na Cetini i koristi vode biološkog minimuma koje se ispuštaj s brane Pranjčevići kao i vodu koja se prelije na brani, te je pogon prilagođen takvim uvjetima rada.

#### 2.4.6 Podaci o proizvodnji

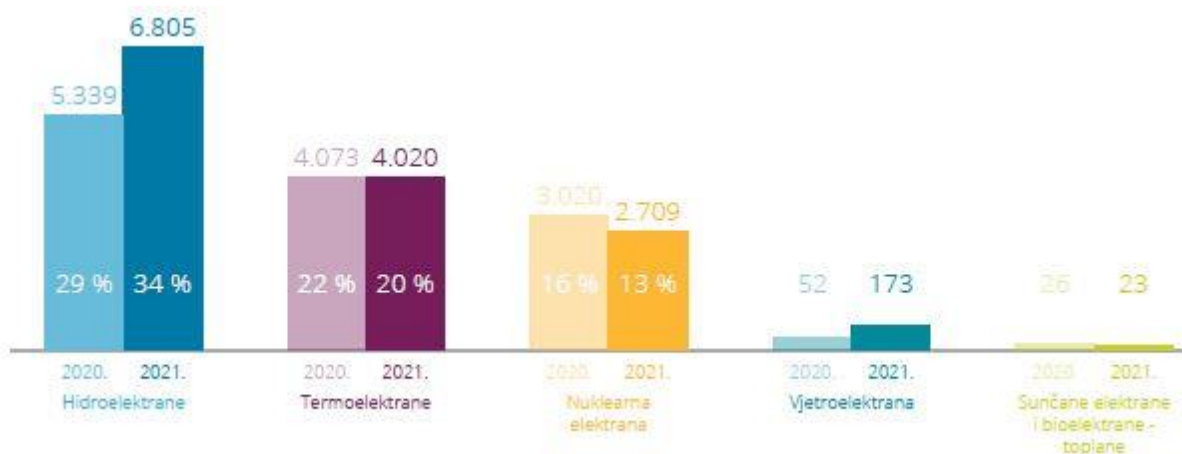
U Republici Hrvatskoj distribucija električne energije do krajnjih korisnika odvija se na načelima slobodnog tržišta u kojem mogu kao proizvođači mogu sudjelovati i krajnji korisnici. Glavnu ulogu u sustavu ima HEP d.d. tvrtka u državnom vlasništvu te strateški neprocjenjiva tvrtka sa stajališta energetike. Prema publikaciji [15] glavna djelatnost HEP Grupe je proizvodnja, prijenos, distribucija, opskrba te trgovanje električnom energijom. Svi hidroenergetski sustavi na rijeci Cetini su u vlasništvu i pod upravom HEP Grupe. Za pregled stanja mreže najbolje je pogledati u publikacije HEP Grupe tako u izvješću za 2021. godinu u publikaciji [15] se navodi da je ukupno ostvarena proizvodnja i nabava električne energije HEP grupe iznosi 20,2 TWh, od čega je 68 posto proizvedeno u elektranama u vlasništvu i djelomičnom vlasništvu grupe (13,7 TWh, 1,2 TWh više u odnosu na 2020. godinu), dok je izvan sustava nabavljeno 32 posto potrebne električne energije (6,5 TWh, 300 GWh više u odnosu na 2020. godinu). 2021. godinu obilježile su povoljne hidrološke prilike te je u hidroelektranama proizvedeno 6,8 TWh, 1,5 TWh (27,5 %) više nego u 2020. godini. Pregled proizvodnje primarne energije prema publikaciji [16] dan je u tablici 2, vidimo da se u Republici Hrvatskoj između 50% i 67% energije dobiva proizvodnjom na hidroelektranama. Iz tablice 2 se može isčitati da proizvodnja električne energije iz vodnih snaga varira iz godine u godinu no doprinos ukupnoj bilanci energije u Republici Hrvatskoj ostaje visok.

Tablica 2. Podaci o proizvodnji primarne energije u RH (prema [13])

	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2021./20.	2016.-21.
	PJ						%	
Ogrjevno drvo i biomasa / Fuel wood and biomass	64,15	64,67	63,06	62,79	64,34	71,20	10,7	2,1
Sirova nafta / Crude oil	31,47	31,79	31,26	30,13	26,98	25,81	-4,3	-3,9
Prirodni plin / Natural gas	57,52	51,76	43,07	36,13	29,89	26,39	-11,7	-14,4
Vodne snage / Hydro power	65,63	53,81	66,98	51,54	51,62	63,93	23,8	-0,5
Toplinska energija / Heat	0,66	0,66	0,63	0,60	0,61	0,67	9,1	0,3
Obnovljivi izvori / Renewables	12,90	16,10	16,21	19,51	22,76	26,53	16,6	15,5
<b>UKUPNO / TOTAL</b>	<b>232,32</b>	<b>218,78</b>	<b>221,21</b>	<b>200,71</b>	<b>196,20</b>	<b>214,52</b>	<b>9,3</b>	<b>-1,6</b>

Proizvodnja električne energije iz hidroelektrana ovisi o više faktora među kojima su najbitniji faktor hidrološki uvjeti u sustavu, zatim potrebe korisnika. Zbog mogućnosti brzog

uključenja u sustav te mogućnosti preraspodjele vode u vremenu hidroelektrane imaju zadaću zadovoljenja vršnih potreba sustva koje ovise o društvenim čimbenicima. Navedeni značaj hidroelektrana u sustavu proizvodnje električne energije u Hrvatskoj vidljiv je i na grafu prikazanom na slici 27:



Slika 27. Proizvedena električna energija po izvorima u GWh (prema [15])

Iz slike je lako uočiti važnost uloge hidroelektrana u sustavu u kojem se doprinos hidroelektrana kreće oko 30% u odnosu na potrebe. Iz tablica 3 možemo vidjeti doprinos akumulacijskih hidroelektrana u proizvodnji električne energije u Hrvatskoj. Hidroelektrane na Cetini su sve akumulacijske te imaju 62% ukupne raspoložive snage sviju akumulacijskih elektrana u Hrvatskoj i te su u 2021. proizvele 55% ukupne proizvedene električne energije na svim akumulacijskim elektranama u Hrvatskoj. Ta dva podatka ukazuju na veliku važnost koju ima rijeka Cetina u funkcioniranju hidroenergetske mreže u Hrvatskoj.

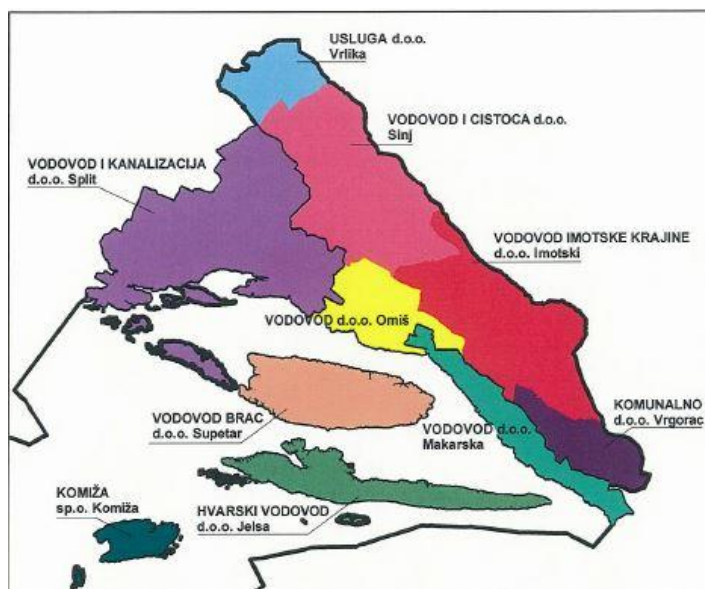
Tablica 3. Podaci o proizvodnji akumulacijskih hidroelektrana (prema [16])

	Raspoloživa snaga / Available net capacity [MW]	Proizvedena električna energija u 2021. (na generatoru) / Gross Electricity produced in 2021 [GWh]
<b>Akumulacijske / Storage plants</b>		
HE Zakučac	538,0	1880,1
HE Orlovac	237,0	470,4
HE Senj	216,0	792,5
HE Dubrovnik	235,0	1202,4
HE Vinodol	90,0	152,3
HE Kraljevac	46,4	59,4
HE Peruća	60,0	137,1
HE Đale	40,8	146,0
HE Sklope	22,5	34,0
<b>Ukupno akumulacijske / Total storage</b>	<b>1485,7</b>	<b>4874,3</b>

## 2.5 Vodoopskrbni sustav rijeke Cetine

Vodoopskrbni sustav koji koristi vodu sa sliva Cetine snabdijeva vodom područja koja leže izvan granica sliva uz područja koja se nalaze unutar granica sliva. Samo ta činjenica podcrtava važnost Cetine kao centralne komponente u funkcioniranju južne Dalmacije, koja je u razdoblju nakon raspada Jugoslavije prošla tranziciju s planskog gospodarstva temeljenog na industriji na ekonomiju slobodnog tržišta s naglaskom na turizam sa Splitom kao glavnim centrom regije. Vodoopskrbni sustav regije većinom je dovršen 60-ih godina prošlog stoljeća, te usprkos značaju, razvoj sustava kasni za stupnjem razvoja regije.

Prema istraživanju [4] sustav je podijeljen na podsustave: Regionalni sustav Omiš-Brač-Hvar-Šolta-Vis, Regionalni sustav Makarskog primorja, Grupni vodovod Sinjske krajine. Pojedini podsustavi osim voda Cetine koriste lokalne podzemne izvore no samo radi potreba izravnavanja vršnog opterećenja, dok glavninu vode prihranjuje rijeka Cetina ili njeni pritoci. Na slici 28 prikazana je podjela Splitsko-dalmatinske županije po područjima na kojima jurisdikciju imaju odvojeni vodovodi. Iako odvojeni, vodovodna poduzeća komuniciraju na dnevnoj bazi, pogotovo u vrijeme najveće potražnje. Vrhunac potražnje se u županiji javlja ljeti kada prevladava utjecaj sezonskih migracija na područje županije, te koincidira sa sušnim periodnom godine.



Slika 28. Podjela županije po vodovodnim poduzećima (prema [4])

Prema publikaciji [4] danas se za potrebe vodoopskrbe od brane HE Peruća nizvodno do HE Kraljevac koriste sljedeći zahvati vode:

- Šilovka, izvorište, zahvat kapaciteta  $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$
- Kosinac, izvorište, zahvat kapaciteta  $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$

- Ruda (tunel), izvorište, zahvat kapaciteta 0,54 m<sup>3</sup>/s
- HE Zakučac, površinska voda, zahvat kapaciteta 0,63 m<sup>3</sup>/s
- HE Kraljevac, površinska voda, zahvat kapaciteta 0,50 m<sup>3</sup>/s

U tablici 4 prikazane su isporučene količine vode po komunalnim poduzećima u jedanaestogodišnjem razdoblju (1997.-2007.). Vidimo različite trendove ovisno o promatranom poduzeću, tako splitsko poduzeće pokazuje najveći apsolutni i relativni pad količina isporučene vode dok poduzeće s otoka Brača pokazuje najveći relativni porast količina isporučene vode.

Tablica 4. Podaci o ispučenim količinama vode po komunalnom poduzeću (prema [4])

Komunalno poduzeće	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
	[000 m <sup>3</sup> ]										
"Vodovod i kanalizacija" Split	35.131	33.043	30.384	30.770	29.694	27.950	28.481	27.085	24.406	23.107	23.292
"Vodovod" Makarska	2.858	2.946	2.737	3.045	3.015	3.094	3.252	3.122	3.061	3.029	3.230
"Vodovod" Omiš	1.513	1.317	1.335	1.970	1.793	1.758	1.902	1.810	1.818	1.811	1.823
"Vodovod Brač" Supetar	1.220	1.301	1.419	1.683	1.646	1.562	1.859	1.730	1.828	1.881	1.966
"Hvarski vodovod" Jelsa	784	813	788	826	859	886	1.133	1.159	1.220	1.178	1.401
"Vodovod i čistoća" Sinj	2.814	2.471	2.507	2.324	1.755	2.085	2.124	1.343	1.992	1.751	1.838
"Vodovod Imotske krajine" Imotski	516	630	695	888	830	756	912	824	785	798	883
"Komunalno" Vrgorac	319	322	313	360	356	406	436	405	379	451	572
JKP "Komiža"	247	232	250	242	246	245	240	328	266	302	302
"Usluga" Vrtika	13	29	33	93	128	118	162	154	146	158	166
<b>Ukupno:</b>	<b>45.416</b>	<b>43.103</b>	<b>40.462</b>	<b>42.201</b>	<b>40.321</b>	<b>38.862</b>	<b>40.501</b>	<b>37.960</b>	<b>35.902</b>	<b>34.466</b>	<b>35.474</b>

Na slici 29 vidimo bilancu voda za komunalno poduzeće grada Splita, iz koje se da isčitati postojanje komunikacije među komunalnim poduzećima, bez koje bi sustav vodoopskrbe naišao na velike probleme i nezadovoljstvo korisnika. Vode iz sliva Cetine tako doprinose optimalnoj raspodjeli vode na području velikog dijela Splitsko-dalmatinske županije.

„Vodovod i kanalizacija“ d.o.o. Split						
Uvedeno u sustav [m <sup>3</sup> ]				Izlaz prema drugim sustavima [m <sup>3</sup> ]		Ukupno uvedeno u sustav [m <sup>3</sup> ]
Vlastiti vodozahvati		Uvedeno iz drugih sustava				
Jadro	74.046.000	Vodovod Omiš	388.000	Preljevanje na CS Ravne Njive <sup>6</sup>	-23.737.000	
Rimski bunar	780.000	Vodovod i čistoća Sinj	1.572.000			
<b>UKUPNO:</b>	<b>74.826.000</b>		<b>1.960.000</b>		<b>-23.737.000</b>	<b>53.049.000</b>

Slika 29. Vodna bilanca za komunalno poduzeće grada Splita (prema [4])

Također, važno je naglasiti da sustav ima puno proctora za napredak, što se najbolje može uočiti iz tablice 5 na kojoj s prikazani gubici po komunalnim poduzećima županije. Rejuvenacija sustava mora biti visoko na listi prioriteta iz jednostavnog razloga što svaka litra vode koja predstavlja gubitak u postojećem sustavu se može iskoristiti za drugu namjenu u poboljšanom sustavu.

Tablica 5. Podaci o bilancama vode po komunalnom poduzeću (prema [4])

Komunalno poduzeće	uvedena voda [m <sup>3</sup> ]	isporučena voda [m <sup>3</sup> ]	gubici [m <sup>3</sup> ]	gubici [%]
"Vodovod i kanalizacija" d.o.o. Split	76.786.000	24.406.122	52.379.878	68%
"Vodovod" d.o.o. Makarska	4.598.000	3.060.642	1.537.358	33%
"Vodovod" d.o.o. Omiš	2.647.000	1.818.029	828.971	31%
"Vodovod Brač" d.o.o. Supetar	2.634.000	1.828.069	805.931	31%
"Hvarski vodovod" d.o.o. Jelsa	2.124.000	1.220.383	903.617	43%
"Vodovod i čistoća" d.o.o. Sinj	3.797.000	1.992.000	1.805.000	48%
"Vodovod Imotske krajine" d.o.o. Imotski	3.838.000	785.444	3.052.556	80%
"Komunalno" d.o.o. Vrgorac	1.400.000	379.295	1.020.705	73%
JKP "Komiža" Komiža	785.000	265.853	519.147	66%
"Usluga" d.o.o. Vrljika	630.000	146.012	483.988	77%
<b>Ukupno:</b>	<b>99.239.000</b>	<b>35.901.849</b>	<b>63.337.151</b>	<b>64%</b>

## 2.6 Zaštićena područja na prostoru sliva Cetine

Na području sliva rijeke Cetine nekoliko je područja koja potpadaju pod kategoriju zaštićenih područja. Prema publikaciji [17] na području županije nalaze se, sukladno Upisniku zaštićenih područja kojeg vodi nadležno državno tijelo za poslove zaštite prirode sljedeća zaštićena područja i područja ekološke mreže u:

- Kanjon rijeke Cetine, značajni krajobraz
- Lokalitet Ruda, značajni krajobraz
- Cetina, područja očuvanja značajna za ptice
- Dinara, područja očuvanja značajna za ptice
- Dinara, područje očuvanja značajno za vrste i stanišne tipove
- Grab, područje očuvanja značajno za vrste i stanišne tipove
- Izvorišni dio Cetine, s Paškim i Vrličkim poljem, područje očuvanja značajno za vrste i stanišne tipove
- Rijeka Cetina, kanjonski dio, područje očuvanja značajno za vrste i stanišne tipove
- Srednji tok Cetine, zajedno s Hrvatačkim i Sinjskim poljem, područje očuvanja značajno za vrste i stanišne tipove
- Ušće Cetine, područje očuvanja značajno za vrste i stanišne tipove

Također, prema istraživanju [9] :

- Vrela Cetine, hidrološki spomenik prirode

Područjem ekološke mreže, bilo ono ili ne ujedno proglašeno i zaštićenim područjem sukladno zakonu, upravlja javna ustanova za upravljanje zaštićenim prirodnim vrijednostima na području županije. Također, prema publikaciji [17] rijeke Cetina i Ruda u postupku su

proglašenja kategorije značajni krajobraz. Neke od mjera sadržane u Prostornom planu SDŽ, prema publikaciji [17] su:

-Prije realizacije vodnih građevina koje se nalaze na slivu rijeke Cetine, provesti istraživanje ciljnih vrsta ihtiofaune u svrhu utvrđivanja načina korištenja staništa na širem području lokacije planiranih vodnih građevina te u skladu s dobivenim podacima definirati adekvatno tehničko rješenje realizacije vodnih građevina.

-Osigurati nesmetanu migraciju ihtiofaune duž rijeke Cetine uz planirane vodne građevine.

-Osigurati ekološki prihvatljiv protok nizvodno od planiranih vodnih građevina na rijeci Cetini koji ostvaruje ekološke zahtjeve potrebne za očuvanje važnih staništa uz rijeku Cetinu nizvodno od pregrade.

## **2.7 Smjernice razvoja sustava**

Na početku razmišljanja o koncipiranju hidroenergetskog sustava na rijeci Cetini nije bilo razvijene svijesti o ekologiji i potencijalnim utjecajima radova na sustave koji su se neometano razvijali na području zahvata. Današnja promišljanja su uvelike oblikovana prijašnjim negativnim iskustvima, kako na slivu Cetine tako i na drugim projektima diljem svijeta. Republika Hrvatska je ulaskom u zajednicu zemalja Europske Unije preuzela obvezu integracije standarda koji vrijede za sve zemlje članice te se poseban naglasak stavlja na smanjenje učinaka klimatskih promjena. Tako, prema publikaciji [18] Sabor Republike Hrvatske daje smjernice razvoja kroz izradu Studije analize utjecaja klimatskih promjena sa analizom ranjivosti i prijedlogom mjera prilagodbe klimatskim promjenama za postojeće velike hidroenergetske sustave na rijekama jadranskog sliva, te analizom smanjenja negativnog utjecaja prilagodbi na klimatske promjene (u smislu proizvodnje energije), na druge korisnike voda i na stanje voda (u uvjetima klimatskih promjena). Isto tako, prema publikaciji [19] Sabor Republike Hrvatske navodi da se procjenjuje da je na srednjim i većim vodotocima u Hrvatskoj moguće izgraditi nova postrojenja koja bi prosječno godišnje proizvodila dodatnih 3,0 TWh električne energije. Razvoj hidroenergetike mora se prilagođavati zahtjevima očuvanja okoliša i prirode, zaštite od poplava, javne vodoopskrbe, navodnjavanja, unutarnje plovidbe i ostalih korištenja voda i zemljišta u okvirima višenamjenskih rješenja. Planovi se donose s pogledom na različite vremenske okvire s pogledom u budućnost, a zajednička nit koja ih veže je potreba za smanjenjem udjela stakleničkih plinova u funkcioniranju ekonomija. Prema publikaciji [20] navodi se da

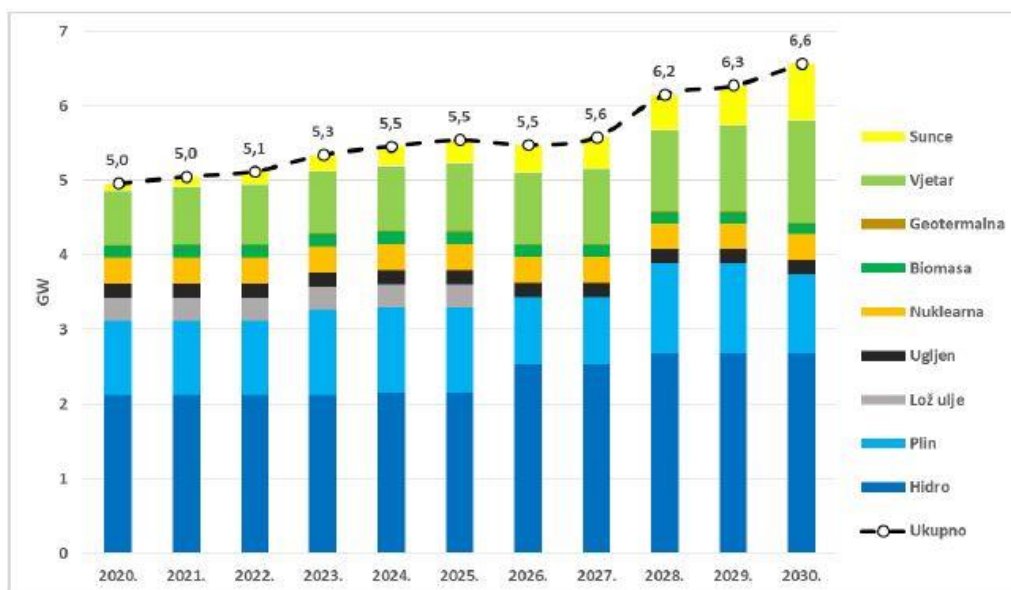
polazište politike Europske Unije za put prema niskougličnom gospodarstvu je Okvir klimatsko-energetske politike EU do 2030. godine, kojim su postavljeni sljedeći ciljevi:

-smanjenje emisija stakleničkih plinova za najmanje 40 % u usporedbi s razinama iz 1990. godine

-najmanje 32 % potrošene energije treba biti iz obnovljivih izvora

-poboljšanje energetske učinkovitosti za najmanje 32,5 %.

Prema publikaciji [21] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike RH do 2030. godine očekuje izgradnju dvije do tri velike hidroelektrane, nekoliko hidroelektrana malih snaga (na vodotocima i u vodoopskrbnim sustavima) te jedna crpne hidroelektrane. Revitalizacijom postojećih postrojenja očekuje se produljenje njihovog životnog vijeka uz neznatno povećanje snage hidroelektrana. Ukupnu planiranu strukturu energetske mreže u predstojećem razdoblju vidimo na grafikonu 1, tako se planira povećanje udjela obnovljivih izvora energije u strukturi energetske mreže, tako i udio energije iz hidroelektrana, dok se primjerice generacija energije iz elektrana na lož ulje planira u potpunosti ukinuti.



Grafikon 1. Očekivana snaga elektrana (prema [21])

Konkretno, planovi za izgradnju novih hidroenergetskih postrojenja na slivu Cetine sadržani su u prostornim planovima Splitsko-dalmatinske županije te su ucrtani na kartografske prikaze. Tako se prema publikaciji [17] navodi da je program korištenja hidroenergije koji se zasniva na vodnom sustavu rijeke Cetine, gotovo u cijelosti iskorišten u smislu proizvodnje električne energije kroz sustav akumulacijskih i protočnih hidroelektrana, a dodatni kapaciteti mogu se realizirati izgradnjom reverzibilnih ili crpno-akumulacijskih hidroelektrana i malih hidroelektrana posebno onih koje su planirane kao povećanje iskorištenja kapaciteta

postojećih hidroelektrana optimalizacijom njihovog rada. Planirane hidroelektrane u slivu Cetine su dane prema [17] i ucrtane su na kartu na slici 30.

- RHE Blaca, 3 x 167 MW
- CHE Mosor (Zakućac), 800 MW
- RHE Vrdovo, 2 x 270/245 MW
- MHE Đale, 6.4 MW
- MHE Peruća, 2.6 MW
- MHE Ovrlja, vodotok Ovrlja, 500 kW



Slika 30. Planirane HE na slivu rijeke Cetine (prema [17])



### 3 METODOLOGIJA

U ovom poglavlju opisat će se metode korištene u radu. Podaci o srednjim dnevnim protocima sa vodomjernih postaja na slivu Cetine dostupni su na internetskim stranicama [3]. Podatke prikupljene prema međunarodnim standardima objavljuje institucija DHMZ. Lokacije vodomjernih postaja s kojih su podaci uzeti označene su na slici 2. Podaci su dani u obliku jednog protoka za svaki dan u kojem su vršena mjerenja, no na nekim postajama podaci nedostaju za određena razdoblja što je i naglašeno u radu. Osnovna statistička obrada podataka u obliku srednjih mjesečnih, te srednjih, minimalnih i maksimalnih godišnjih protoka je dana u priložima. U hidrološkim analizama prikazan je hod minimalnih i srednjih mjesečnih protoka po mjesecima u godini gdje je naglašena razlika sušnog te vlažnog dijela godine. Ti prikazi su podijeljeni na prikaze hodova protoka za razdoblja bitna za analizu sustava, prema bitnim događajima u prošlosti radova na hidroenergetskom sustavu. Isto tako su za podatke o dnevnim protocima s postaja konstruirane krivulje trajanja protoka za pojedine vodomjerne profile. Prema publikaciji [22] krivulja trajanja protoka je krivulja koja pokazuje postotak vremena ili broj dana u godini tijekom kojih je protok jednak danim količinama ili veći od njih bez obzira na kronološki slijed. Za konstrukciju krivulje polazi se od kumulativne učestalosti neke vrijednosti. Ona nam predstavlja zbroj učestalosti svih vrijednosti manjih ili jednakih toj vrijednosti ili obrnuto. Prema publikaciji [22] krivulja trajanja protoka jedna je od najvažnijih hidroloških podloga. Predstavlja osnovu za definiranje krivulje snaga-trajanje na temelju koje se određuje moguća snaga vodotoka, te se mogu izvesti zaključci o iskoristivosti raspoloživih vodnih količina u odabranome profilu. Podaci pritom nisu prikazani u kronološkom slijedu pojavljivanja te se preporuča izrada krivulje trajanja protoka na nizu podataka minimalne duljine 25 godina. U radu su konstruiranje krivulje trajanja protoka za cjelokupne nizove podataka sa svake postaje koje daju sliku o vodotoku na toj dionici, te također krivulje trajanja protoka za podrazdoblja u mjerenjima, odabrana po kriteriju završetka radova u razvoju hidroenergetskog sustava u prošlosti bitnih za očitavanja na vodomjernom profilu. S druge strane, s obzirom na broj podataka korištenih u analizi možemo izvući zaključke o stanju vodotoka koji se mogu koristiti u daljnjim istraživanjima.

## 4 REZULTATI I DISKUSIJA

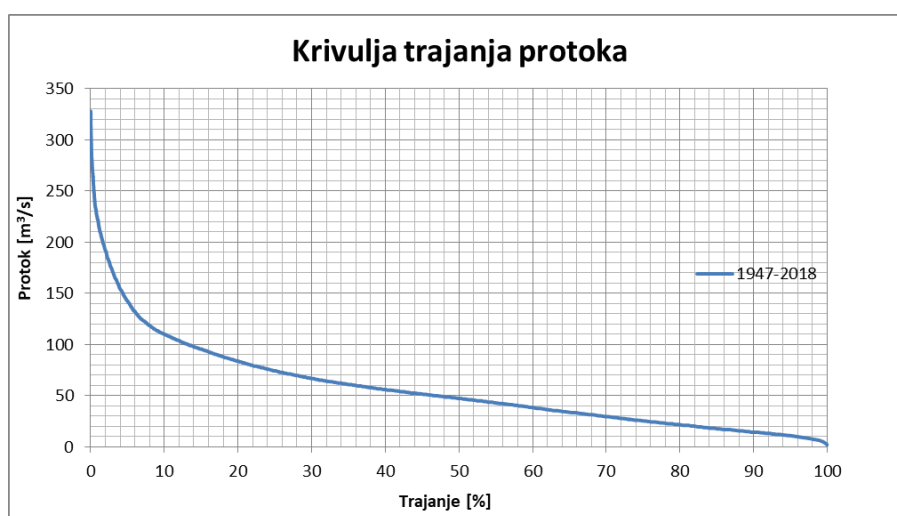
### 4.1 Prethodna istraživanja

Prema istraživanju [1] za proučavanje sliva Cetine korištena je metoda usporedbe povijesnih karata, snimaka iz zraka te ortofota koji su obuhvatili razdoblje od 130 godina. Istraživanje je dokazalo promjene duž toka rijeke, poglavito u razdoblju nakon izgradnje hidroelektrana s akumulacijama koje su se očitovale suženjem korita, smanjenjem površine riječnih dnova zbog manjeg pronosa nanosa te povećanje broja otoka uslijed erozije. Istraživanje [23] donosi rezultate mjerenja s piezometara postavljenih oko i u injekcijskoj zavjesi korištenoj pri konstrukciji brane za HE Đale te pokazuje da sam rad elektrane ne mijenja toliko uvjete tečenja podzemne vode oko brane koliko je to promijenila konstrukcija brane. Istraživanjem [5] dovela se u vezu izgradnja brane Peruća, rezervoara Buško Blato, te HE Zakućac sa padom protoka na nizvodnim vodomjernim stanicama, uspoređujući protoke prije i poslije izgradnje te prije i poslije puštanja u pogon dijelova sustava. Prema istraživanju [11] izgradnja HE Zakućac značajno je smanjila protoke nizvodno od brane Prančevići te dovela u opasnost ekosustave u nizvodnom dijelu toka Cetine, no isto tako pokazuje i pomake nabolje koje su donijele ekološke građanske inicijative svojim neumornim radom. U istraživanju [24] proučava se veza protoka na vodotoku Rumin Veliki sa promjenama na slivu uzvodno prvenstveno izgradnjom akumulacije Buško Blato te autor zaključuje da povezanost postoji iako bi trebalo još detaljnije izučiti samo podzemlje jer je došlo i do smanjenja površine sliva izvora Rumin Veliki. Istraživanje [6] donosi pregled podataka o protoku sviju vodomjernih postaja na slivu Cetine, te zaključuje da je izgradnja hidrotehničkih objekata uravnotežila režim tečenja povećavši male i smanjivši velike vode na svim postajama osim na onima na rječici Rumin Veliki, gdje je situacija skoro pa obrnuta, a poseban naglasak je stavljen na profile nizvodno od brane Prančevići koji bilježe znatna smanjenja protoka izazvana preusmjerenjem vode na HE Zakućac. Svako istraživanje pokazuje utjecaj gradnje hidroenergetskih objekata na režim rijeke Cetine i njenih pritoka te je nužno uzeti u obzir takve utjecaje prilikom planiranja novih zahvata. Za donošenje zaključka također nisu uzete u obzir promjene u režimu padalina, koje mogu donijeti neka nova saznanja možda zanemarena, također moramo imati na umu da proučavamo sliv koji se nalazi većinom u krškom mediju podložnom promjenama pa svaka analiza sliva ima problem gubitka na relevantnosti s godinama koje prođu.

## 4.2 Rezultati hidroloških analiza

### 4.2.1 Postaja Han

Vodomjerna postaja Han najuzvodnija je vodomjerna postaja na rijeci Cetini, te je na grafikonu 2 prikazana krivulja trajanja protoka na temelju svih raspoloživih podataka za razdoblje 1947.-2018. (njih 26298). Uzvodno od postaje Han nalazi se brana Peruća s akumulacijskim jezerom izgrađena 1960. godine. Instalirani protok na HE Peruća je 120 m<sup>3</sup>/s. U tablici 6 prikazani su protoci trajanja 90%, 75%, 50%, 25%.

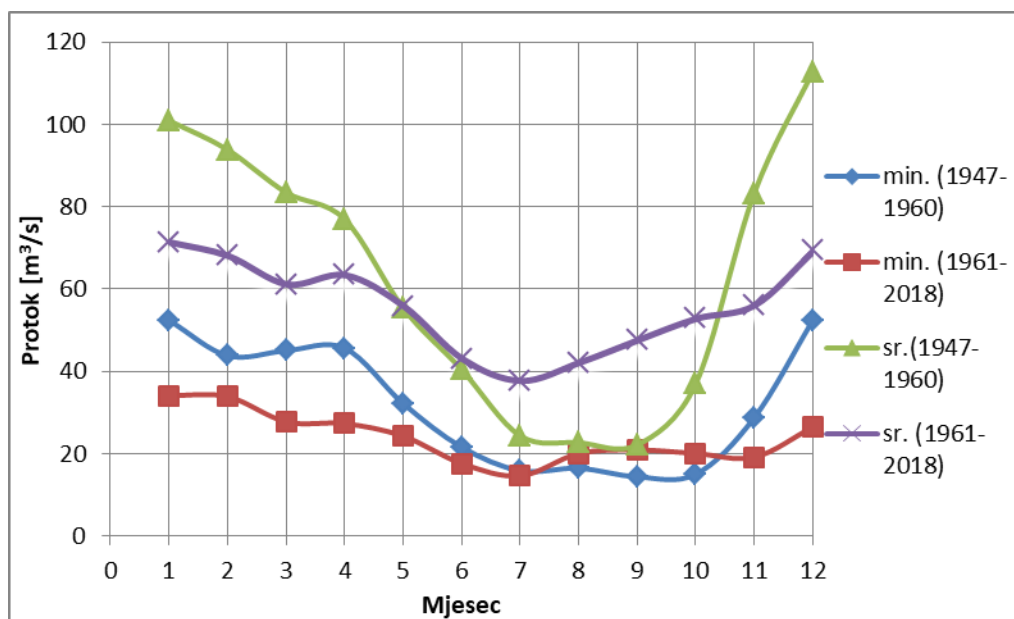


Grafikon 2. Krivulja trajanja protoka za postaju Han

Tablica 6. Protoci karakterističnih trajanja na vodomjernoj postaji Han

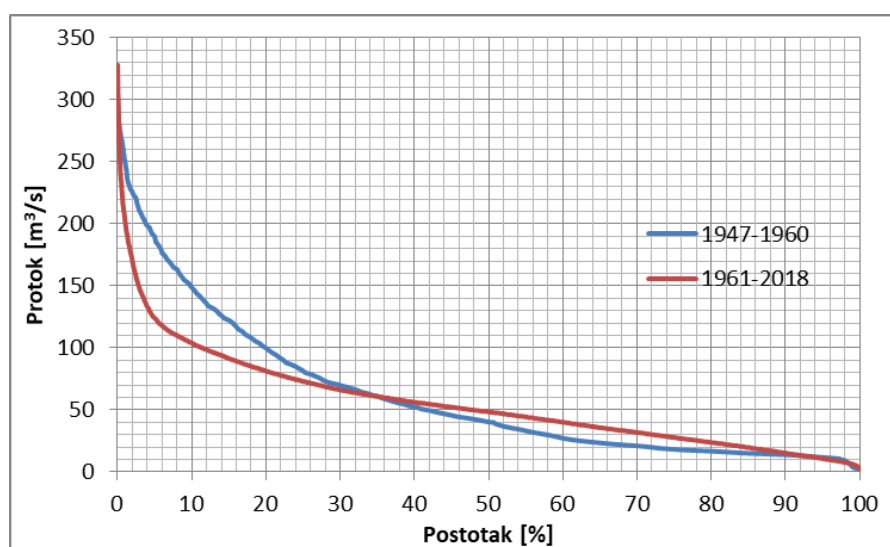
Han	
Protok [m <sup>3</sup> /s]	Trajanje [%]
14.4	90
25.46	75
47.44	50
74.32	25

Na grafikonu 3 je prikazan raspored hoda minimalnih i srednjih mjesečnih protoka po mjesecima u godini za postaju Han u razdobljima prije i poslije izgradnje brane Peruća. Vidimo da su minimalni protoci povećani u sušnim mjesecima u godini u drugom razdoblju te da su srednji mjesečni protoci znatno ujednačeniji u odnosu na razdoblje prije izgradnje brane.



Grafikon 3. Hod protoka po mjesecima za postaju Han

Na grafikonu 4 vidimo krivulje trajanja protoka za postaju Han u dva podrazdoblja. Podrazdoblja su odabrana tako da prvo podrazdoblje obuhvaća godinu do izgradnje brane Peruća, dok je drugo razdoblje od izgradnje brane Peruća do kraja mjerenja. Trajanje protoka manjih od  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  je povećano značajno nakon izgradnje brane dok je isto tako i trajanje velikih protoka smanjeno. S obzirom da rijeka Cetina nizvodno od brane Peruća do vodomjerne postaje Han nema drugih pritoka osim Rumina Malog i Rumina Velikog, čiji su protoci zanemarivi u usporedbi s protokom rijeke Cetine, možemo preko podataka s postaje Han analizirati režim rada hidroelektrane Peruća. Očitanjem s grafikona 4 možemo vidjeti da se kroz strojanicu hidroelektrane Peruća instalirani protok od  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  propušta tek 5% vremena.



Grafikon 4. Krivulja trajanja protoka za postaju Han u dva podrazdoblja

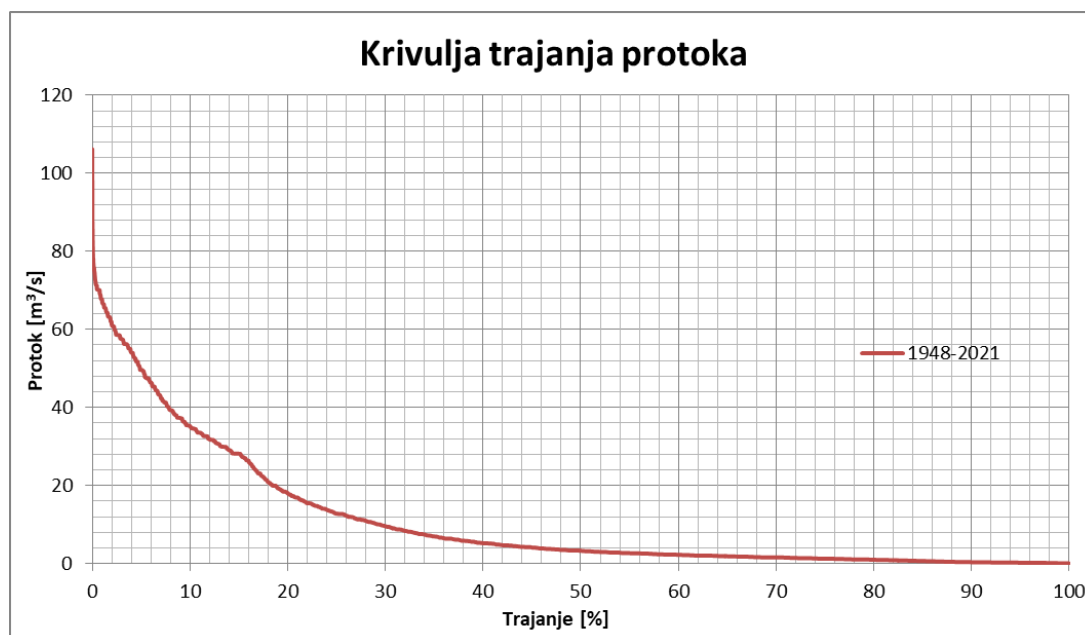
U tablici 7 prikazana je usporedba vrijednosti protoka karakterističnih trajanja 90%, 75%, 50%, 25%. Vidimo da su trajanja velikih protoka smanjena u drugom podrazdoblju, za razliku od trajanja malih protoka, što možemo pripisati izravnanju protoka uslijed izgradnje brane i rada HE Peruća.

Tablica 7. Usporedba protoka karakterističnih trajanja za dva podrazdoblja na vodomjernoj postaji Han

Han			
Razdoblje	Protok [m <sup>3</sup> /s]	Trajanje [%]	Razlika [%]
1947-1960	13,81	90	9,63070239
1960-2018	15,14	90	
1947-1960	18,25	75	51,78082192
1960-2018	27,7	75	
1947-1960	40,67	50	18,58864028
1960-2018	48,23	50	
1947-1960	81,44	25	-10,59675835
1960-2018	72,81	25	

#### 4.2.2 Postaja Rumin Veliki

Vodomjerna postaja Rumin Veliki mjeri protok na lijevom pritoku rijeke Cetine, te je na grafikonu 5 prikazana krivulja trajanja protoka na temelju svih raspoloživih podataka za razdoblje 1948.-2021. (njih 26508). Postaja se nalazi na pritoku Cetine rječici Rumin Veliki, a uzvodno od vodomjerne postaje nalazi se brana Peruća s akumulacijskim jezerom izgrađena 1960. godine, dok je prva nizvodna vodomjerna postaja Han. Važno je naglasiti da nedostaju podaci mjerenja zadnja četiri mjeseca 1985. godine, te raspona od 10 mjeseci od rujna 1991. do lipnja 1992. godine. Vidimo da je rječica Rumin Veliki slabi izvor te je protok od 10 m<sup>3</sup>/s premašen manje od 30% vremena. U tablici 8 prikazani su protoci trajanja 90%, 75%, 50%, 25%. Na rječici Rumin Veliki nisu izgrađena hidroenergetka postrojenja.

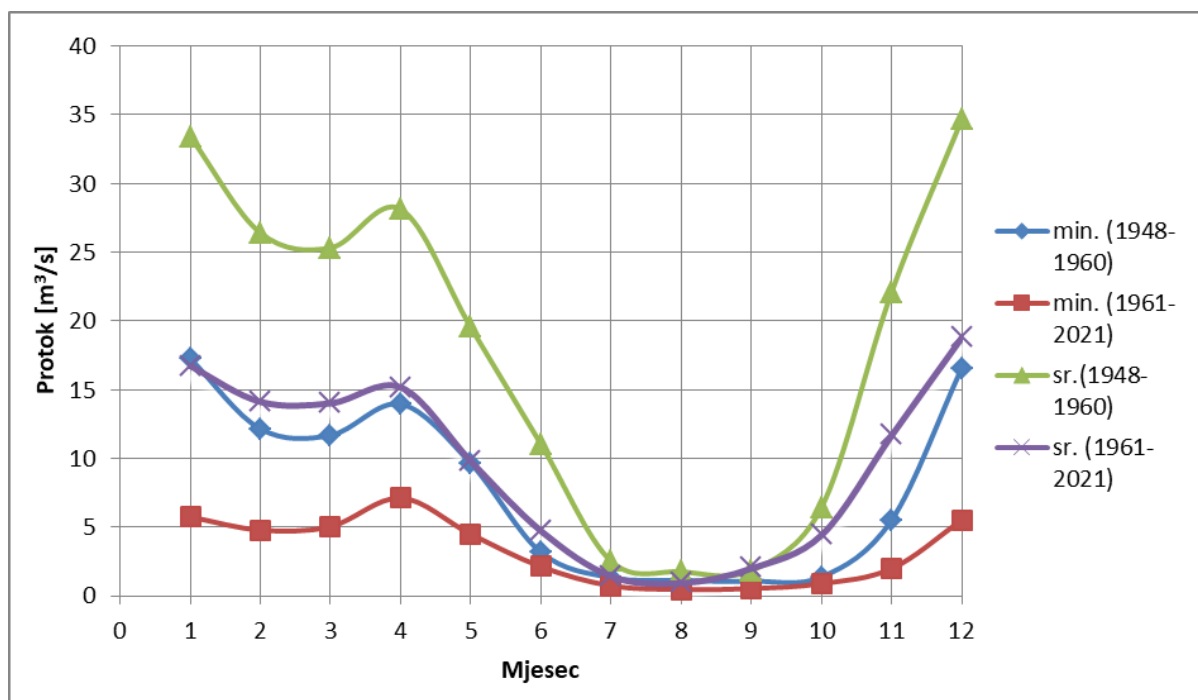


Grafikon 5. Krivulja trajanja protoka za postaju Rumin Veliki

Tablica 8. Protoci karakterističnih trajanja na vodomjernoj postaji Rumin Veliki

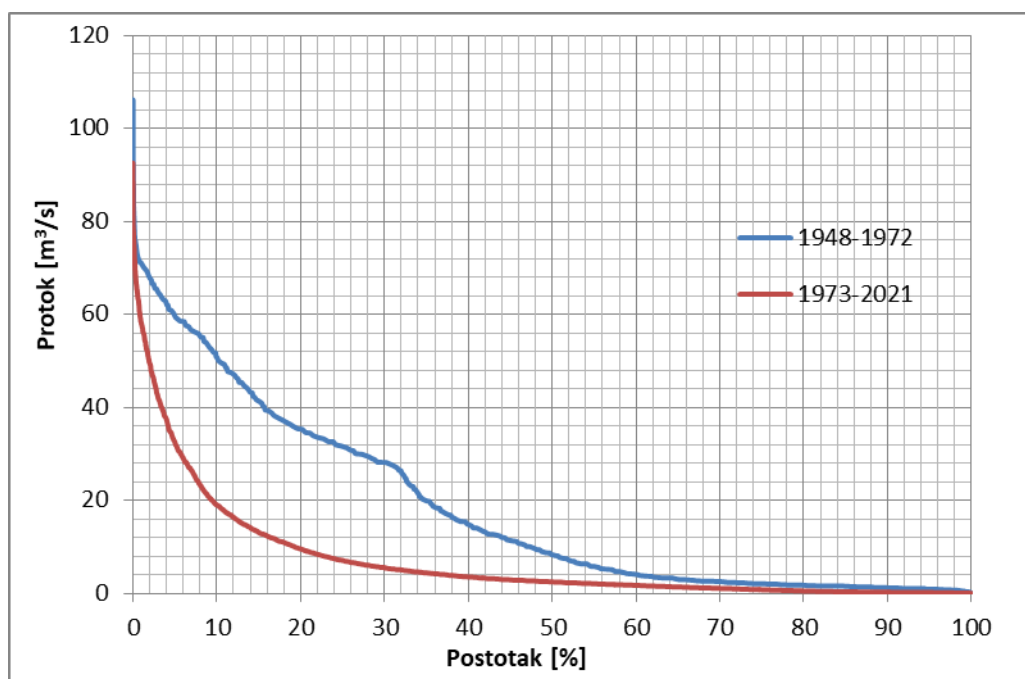
Rumin Veliki	
Protok [m <sup>3</sup> /s]	Trajanje [%]
0.351	90
1.219	75
3.283	50
12.79	25

Na grafikonu 6 je prikazan raspored hoda minimalnih i srednjih mjesečnih protoka po mjesecima u godini za postaju Rumin Veliki u razdobljima prije i poslije izgradnje brane Peruća. Vidimo da su minimalni protoci smanjeni u svim mjesecima u godini u drugom razdoblju te da su srednji mjesečni protoci ujednačeniji u odnosu na razdoblje prije izgradnje brane, no svejedno manji u usporedbi s prvim razdobljem.



Grafikon 6. Hod protoka po mjesecima za postaju Rumin Veliki

Na grafikonu 7 vidimo krivulje trajanja protoka za postaju Rumin Veliki u dva podrazdoblja. Podrazdoblja su odabrana tako da prvo podrazdoblje obuhvaća godine do izgradnje akumulacije Buško Blato 1972. godine, dok je drugo razdoblje od izgradnje akumulacije do kraja mjerenja. Trajanje protoka smanjeno je za svaku odabranu veličinu, a značajnija razlika vidi se počevši od protoka trajanja 60%. Utjecaj akumulacije Buško Blato značajan je na režim istjecanja na izvoru Rumin Veliki zbog prekida prirodnog stanja kretanja podzemnih voda u slivu koji hrani izvor Rumin Veliki.



Grafikon 7. Krivulja trajanja protoka za postaju Rumin Veliki u dva podrazdoblja

U tablici 9 prikazana je usporedba vrijednosti protoka karakterističnih trajanja 90%, 75%, 50%, 25% za dva odabrana podrazdoblja. Vidimo da su trajanja protoka smanjena u drugom podrazdoblju, što možemo pripisati utjecaju akumulacije Buško Blato na kretanje podzemnih voda u zaleđu izvora Rumin Veliki. Razlike su značajne za sve protoke osim za protoke trajanja većeg od 90%.

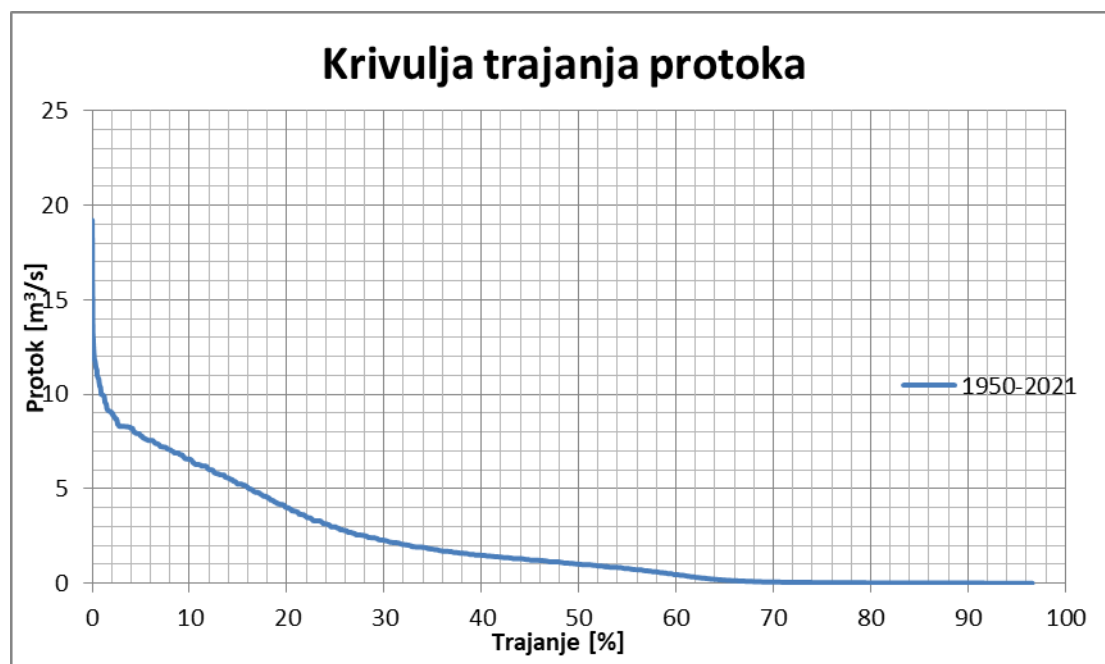
Tablica 9. Usporedba protoka karakterističnih trajanja za dva podrazdoblja na vodomjernoj postaji Rumin Veliki

Rumin Veliki			
Razdoblje	Protok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	Trajanje [%]	Razlika [%]
1948-1972	1,214	90	-79,40691928
1973-2021	0,25	90	
1948-1972	2,05	75	-61,36585366
1973-2021	0,792	75	
1948-1972	8,156	50	-69,85041687
1973-2021	2,459	50	
1948-1972	31,73	25	-77,6489127
1973-2021	7,092	25	

#### 4.2.3 Postaja Rumin Mali

Vodomjerna postaja Rumin Mali mjeri protok na lijevom pritoku rijeke Cetine, te je na grafikonu 8 prikazana krivulja trajanja protoka na temelju svih raspoloživih podataka za razdoblje 1948.-2021. (njih 25779). Postaja se nalazi na pritoku Cetine rječici Rumin Mali, a uzvodno od vodomjerne postaje nalazi se brana Peruća s akumulacijskim jezerom izgrađena 1960. godine, dok je prva nizvodna vodomjerna postaja Han. Važno je naglasiti da nedostaju podaci mjerenja raspona od 10 mjeseci od rujna 1991. do lipnja 1992. godine. Vidimo da je rječica Rumin Mali slabi izvor te je protok od  $0 \text{ m}^3/\text{s}$  premašen 92% vremena, što znači da Rumin Mali presušuje. U tablici 10 prikazani su protoci trajanja 90%, 75%, 50%, 25%. Na rječici Rumin Mali nisu izgrađena hidroenergetska postrojenja.



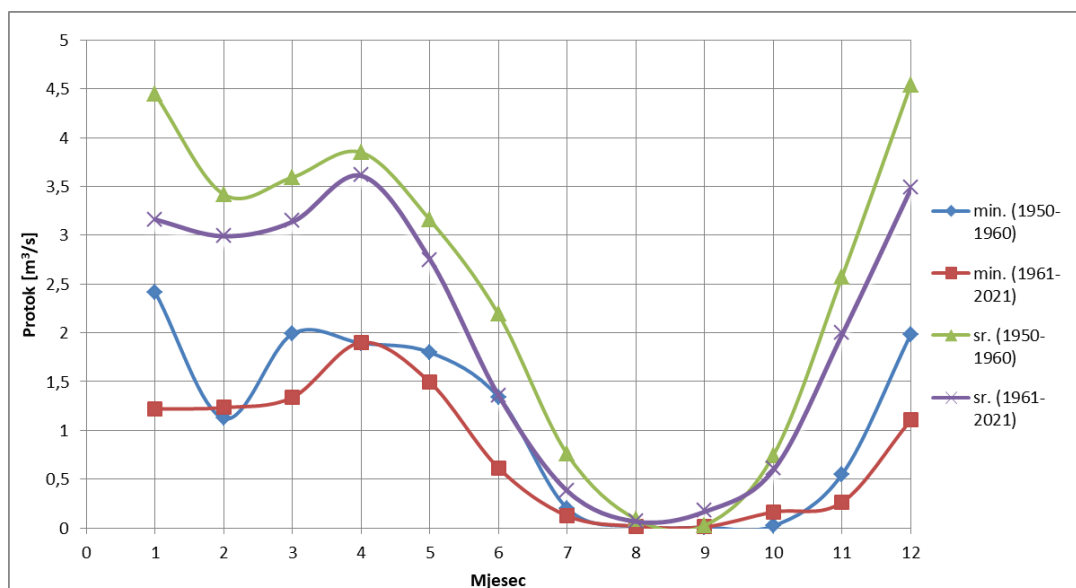


Grafikon 8. Krivulja trajanja protoka za postaju Rumin Mali

Tablica 10. Protoci karakterističnih trajanja na vodomjernoj postaji Rumin Mali

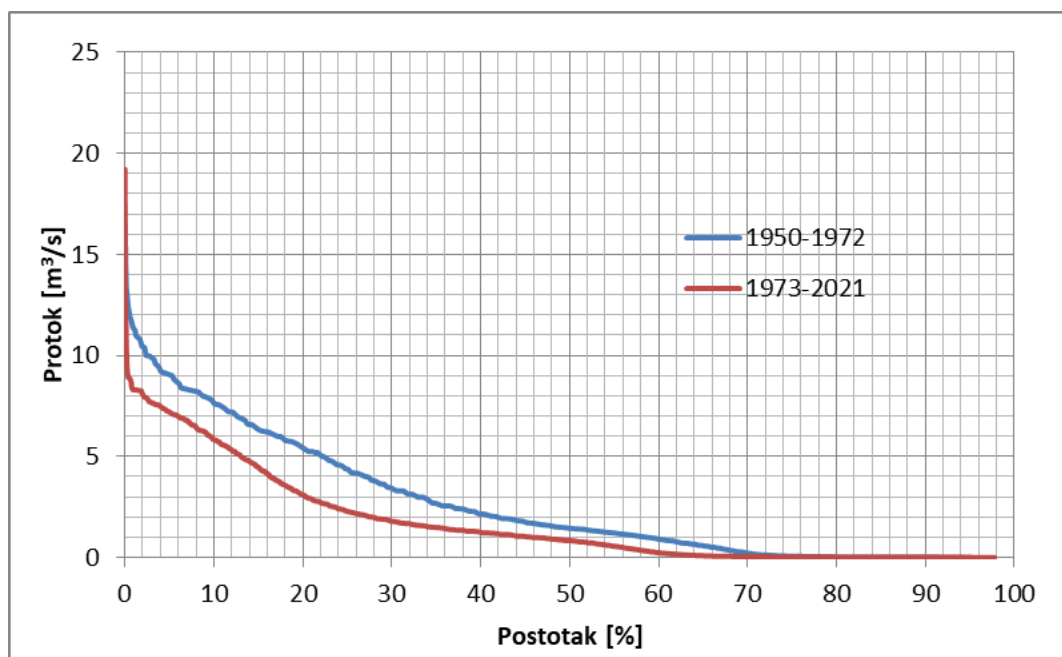
Rumin Mali	
Protok [m <sup>3</sup> /s]	Trajanje [%]
0.002	90
0.031	75
1.014	50
2.979	25

Na grafikonu 9 je prikazan raspored hoda minimalnih i srednjih mjesečnih protoka po mjesecima u godini za postaju Rumin Mali u razdobljima prije i poslije izgradnje brane Peruća. Vidimo da su minimalni protoci smanjeni u skoro svim mjesecima u godini u drugom razdoblju te da su srednji mjesečni protoci relativno slični onima u razdoblju prije izgradnje brane, no svejedno manji u usporedbi s prvim razdobljem. U sušnim razdobljima godine Rumin Mali presušuje u oba podrazdoblja.



Grafikon 9. Hod protoka po mjesecima za postaju Rumin Mali

Na grafikonu 10 vidimo krivulje trajanja protoka za postaju Rumin Mali u dva podrazdoblja. Podrazdoblja su odabrana tako da prvo podrazdoblje obuhvaća godine do izgradnje akumulacije Buško Blato 1972. godine, dok je drugo razdoblje od izgradnje akumulacije do kraja mjerenja. Trajanje protoka smanjeno je za svaku odabranu veličinu, a značajnija razlika vidi se počevši od protoka trajanja 70%. Vidimo da rječica presušuje više vremena u drugom podrazdoblju. Utjecaj akumulacije Buško Blato značajan je na režim istjecanja na izvoru Rumin Mali zbog prekida prirodnog stanja kretanja podzemnih voda u slivu koji hrani izvor Rumin Veliki.



Grafikon 10. Krivulja trajanja protoka za postaju Rumin Mali u dva podrazdoblja

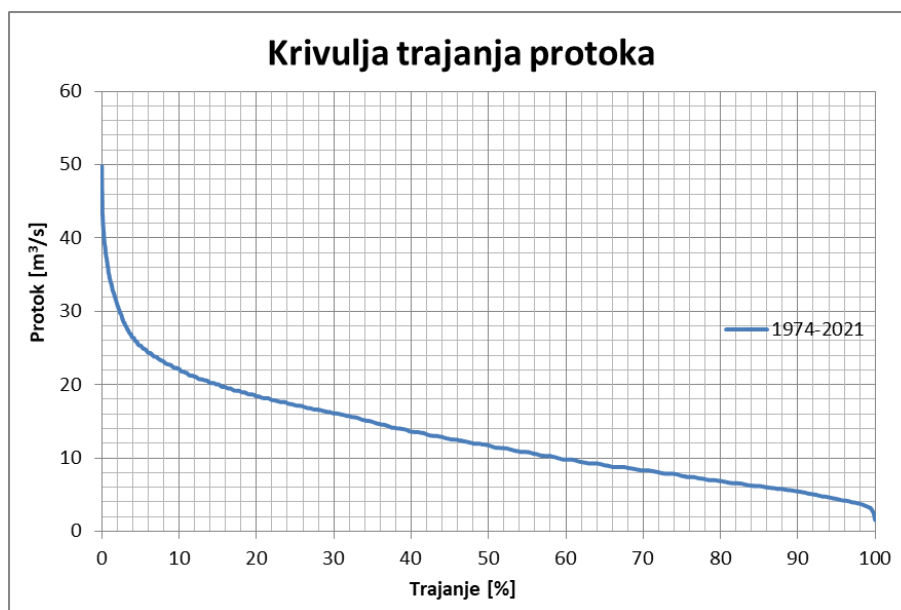
U tablici 11 prikazana je usporedba vrijednosti protoka karakterističnih trajanja 90%, 75%, 50%, 25% za dva odabrana podrazdoblja. Vidimo da su trajanja protoka smanjena u drugom podrazdoblju, što možemo pripisati utjecaju akumulacije Buško Blato na kretanje podzemnih voda u zaleđu izvora Rumin Mali. Razlike su značajne za sve protoke osim za protoke trajanja većeg od 90%.

Tablica 11. Usporedba protoka karakterističnih trajanja za dva podrazdoblja na vodomjernoj postaji Rumin Mali

Rumin Mali			
Razdoblje	Protok [m <sup>3</sup> /s]	Trajanje [%]	Razlika [%]
1950-1972	0	90	0
1973-2021	0,003	90	
1948-1972	0,063	75	-55,55555556
1973-2021	0,028	75	
1948-1972	1,435	50	-41,67247387
1973-2021	0,837	50	
1948-1972	4,362	25	-47,478221
1973-2021	2,291	25	

#### 4.2.4 Postaja Ruda

Vodomjerna postaja Ruda mjeri protok na lijevom pritoku rijeke Cetine, rijeci Ruda Velika, te je na grafikonu 11 prikazana krivulja trajanja protoka na temelju svih raspoloživih podataka razdoblje za 1974.-2021. (njih 17532). Važno je naglasiti da postaja vrši mjerenja počevši nakon izgradnje najznačajnijeg hidroenergetskog sustava na rijeci Rudi HE Orlovac, koje je pušteno u pogon 1973. godine. Krivulja trajanja protoka ima jako pravilan oblik te se može isčitati da su protoci veličine 10 m<sup>3</sup>/s premašeni 60 % vremena, a rijeka ne presušuje. U tablici 12 prikazani su protoci trajanja 90%, 75%, 50%, 25%. Važno je naglasiti da HE Orlovac za rad turbina dobiva vodu iz akumulacije Buško Blato, dok voda s turbina hrani rijeku Rudu. Instilirani protok na HE Orlovac je 70 m<sup>3</sup>/s.

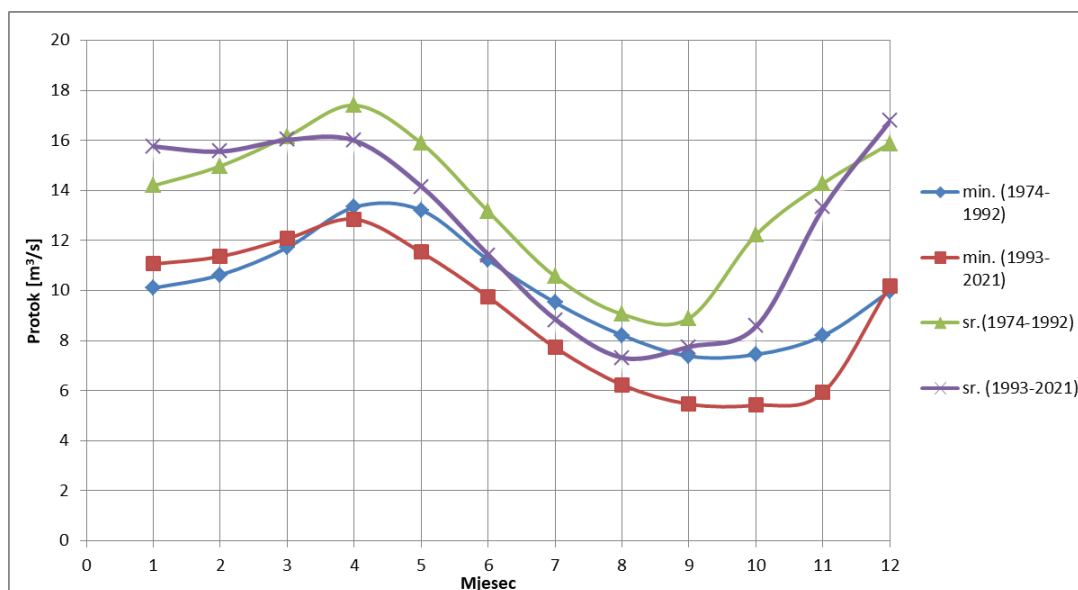


Grafikon 11. Krivulja trajanja protoka za postaju Ruda

Tablica 12. Protoci karakterističnih trajanja na vodomjernoj postaji Ruda

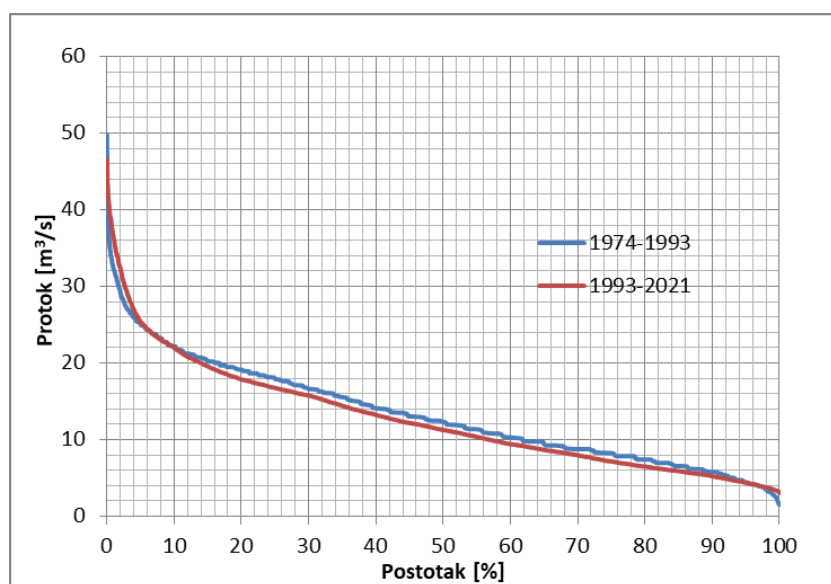
Ruda	
Protok [m <sup>3</sup> /s]	Trajanje [%]
5.433	90
7.547	75
11.727	50
17.209	25

Na grafikonu 12 je prikazan raspored hoda minimalnih i srednjih mjesečnih protoka po mjesecima u godini za postaju Ruda u razdobljima prije i poslije sanacije brane Peruća nakon stradavanja u ratu 1993. godine. Vidimo da su minimalni protoci smanjeni u skoro svim mjesecima u godini u drugom razdoblju te da su srednji mjesečni protoci relativno slični onima u razdoblju prije izgradnje brane, no svejedno manji u usporedbi s prvim razdobljem. Vidimo i da su srednji mjesečni protoci u drugom podrazdoblju manji od minimalnih u prvom podrazdoblju za mjesece lipanj, srpanj i kolovoz.



Grafikon 12. Hod protoka po mjesecima za postaju Ruda

Na grafikonu 13 vidimo krivulje trajanja protoka za postaju Ruda u dva podrazdoblja. Trajanje protoka gotovo je pa identično dva podrazdoblja, no ipak primjećujemo smanjenje trajanja svih protoka osim onih najvećeg i najmanjeg trajanja u drugom podrazdoblju.



Grafikon 13. Krivulja trajanja protoka za postaju Ruda u dva podrazdoblja

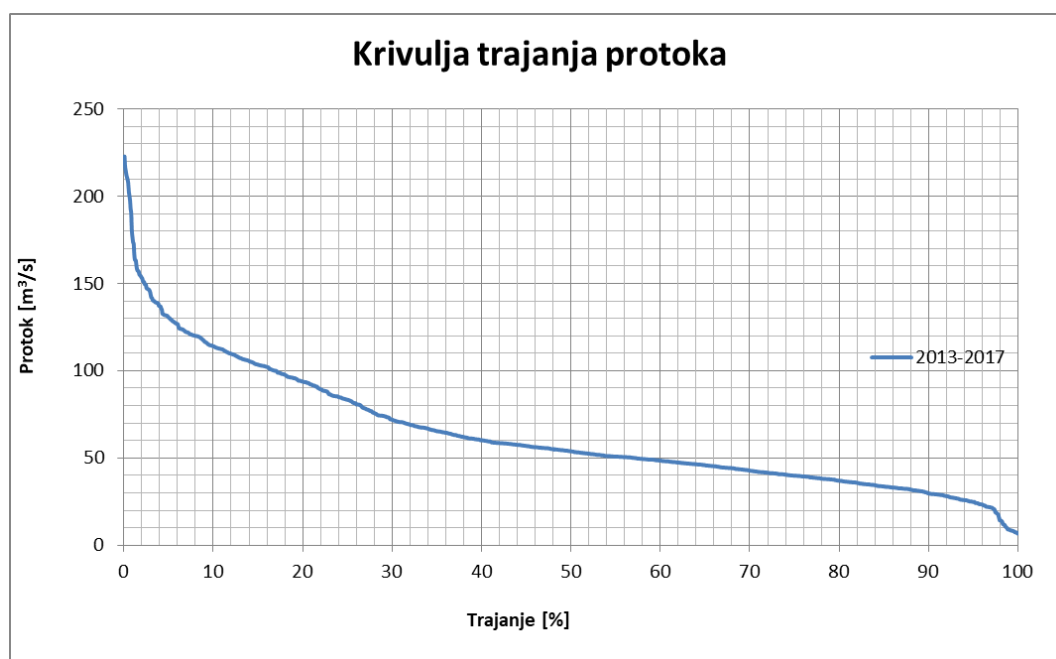
U tablici 13 prikazana je usporedba vrijednosti protoka karakterističnih trajanja 90%, 75%, 50%, 25% za dva odabrana podrazdoblja. Trajanja protoka u drugom podrazdoblju su smanjena u odnosu na prvo podrazdoblje no razlike nisu značajne te se mogu pripisati kolebanju u veličini palih oborina, a ne utjecaju sanacije brane Peruća.

Tablica 13. Usporedba protoka karakterističnih trajanja za dva podrazdoblja na vodomjernoj postaji Ruda

Ruda			
Razdoblje	Protok [m <sup>3</sup> /s]	Trajanje [%]	Razlika [%]
1974-1993	5,8	90	-9,327586207
1993-2021	5,259	90	
1974-1993	8,253	75	-13,12250091
1993-2021	7,17	75	
1974-1993	12,313	50	-8,40575002
1993-2021	11,278	50	
1974-1993	17,92	25	-6,517857143
1993-2021	16,752	25	

#### 4.2.5 Postaja Vedrine

Vodomjerna postaja Vedrine smještena je uzvodno od HE Đale instaliranog protoka 220 m<sup>3</sup>/s, te neposredno nizvodno od utjecanja lijevih pritoka Rude i Graba u rijeku Cetinu. Na grafikonu 14 prikazana je krivulja trajanja protoka na temelju svih raspoloživih podataka za razdoblje 1974.-2021. (njih 1461). Iz tablice 14 je vidljivo da rijeka Cetina na profilu vodomjerne postaje Vedrine ima značajan protok većinu vremena, no ipak nedostatan za korištenje punog instaliranog protoka HE Đale koji iznosi 220 m<sup>3</sup>/s . Dobivene rezultate nećemo uzeti u obzir prilikom donošenja zaključka, zbog malog uzorka podataka koji seže četiri godine mjerenja.



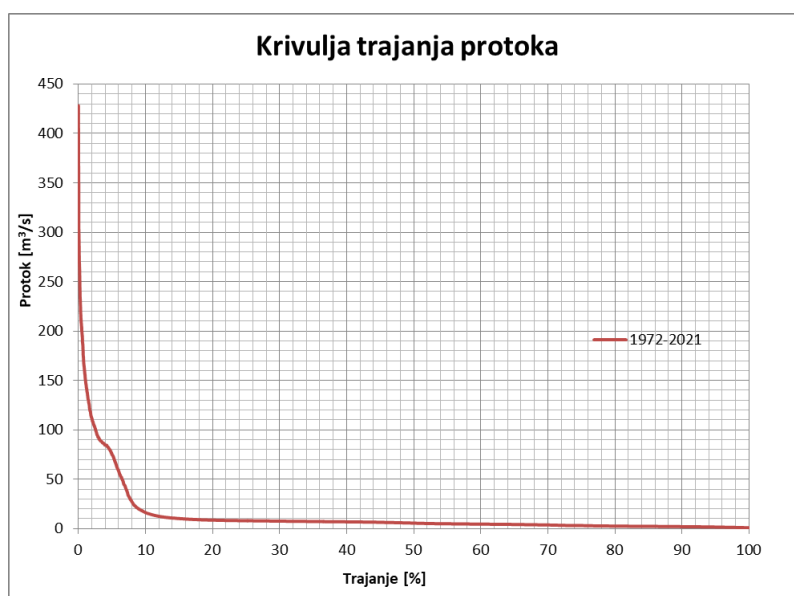
Grafikon 14. Krivulja trajanja protoka za postaju Vedrine

Tablica 14. Protoci karakterističnih trajanja na vodomjernoj postaji Vedrine

Vedrine	
Protok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	Trajanje [%]
29.72	90
39.9	75
53.82	50
83.39	25

#### 4.2.6 Postaja Blato na Cetini

Vodomjerna postaja Blato na Cetini mjeri protok na profilu rijeke neposredno nizvodno od brane Prančevići te se utjecaj rada HE Zakučac najviše osjeti na ovom vodomjernom profilu na rijeci Cetini. Instalirani protok na HE Zakučac je  $220 \text{ m}^3/\text{s}$ . Na grafikonu 15 prikazana krivulja trajanja protoka na temelju svih raspoloživih podataka za razdoblje 1972.-2021. (njih 18263). Važno je naglasiti da postaja vrši mjerenja počevši nakon izgradnje prve faze HE Zakučac. Krivulja trajanja protoka ima nepravilan oblik te se može isčitati da su protoci veličine  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  premašeni samo 15 % vremena, što se direktno može pripisati utjecaju rada HE Zakučac, koja se hrani vodama s akumulacije Prančevići i nakon izgradnje druge faze 1989. godine ima instalirani protok od  $220 \text{ m}^3/\text{s}$ . U tablici 15 prikazani su protoci trajanja 90%, 75%, 50%, 25%.

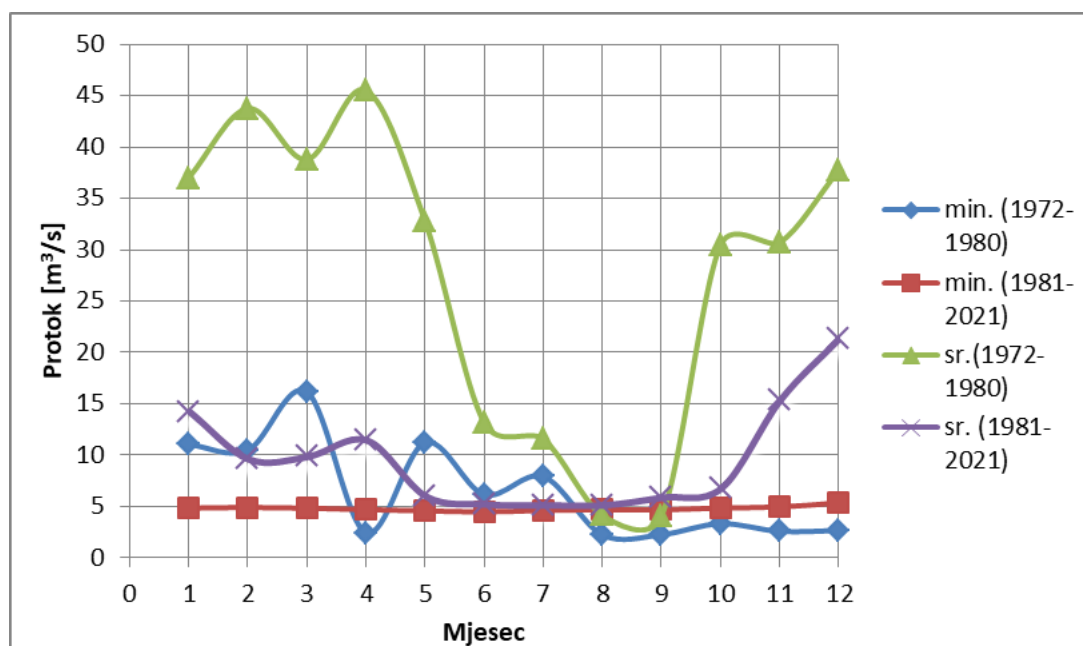


Grafikon 15. Krivulja trajanja protoka za postaju Blato na Cetini

Tablica 15. Protoci karakterističnih trajanja na vodomjernoj postaji Blato na Cetini

Blato na Cetini	
Protok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	Trajanje [%]
1.947	90
3.101	75
5.587	50
8.016	25

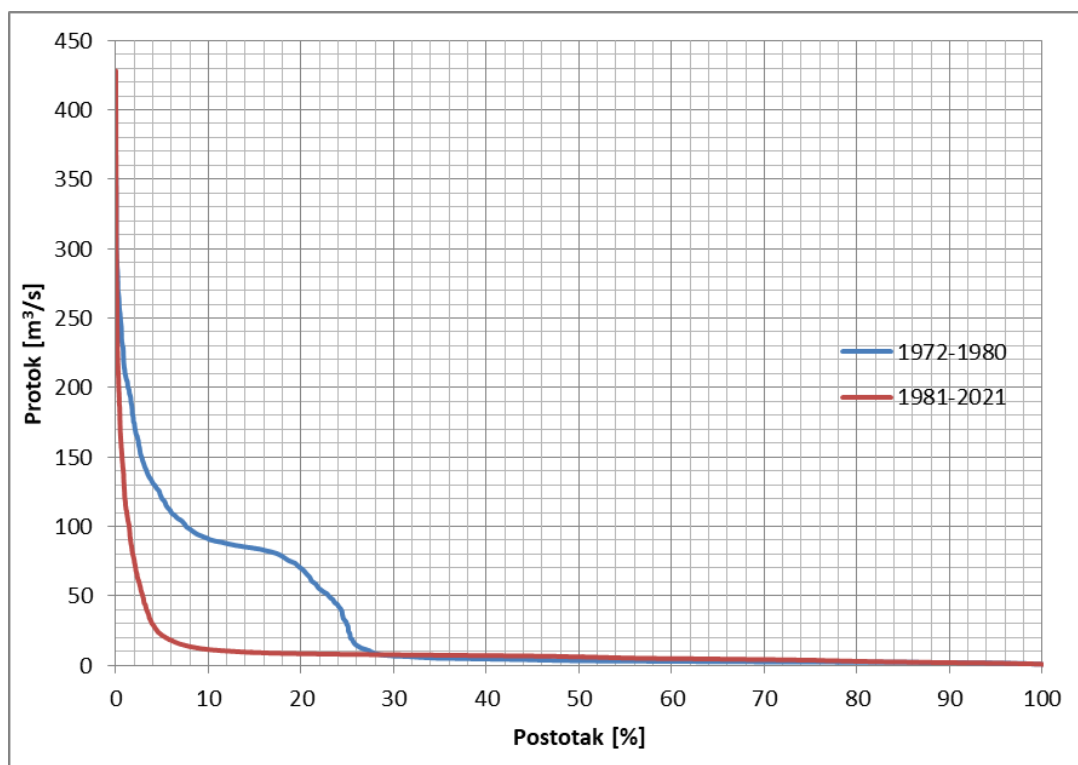
Na grafikonu 16 je prikazan raspored hoda minimalnih i srednjih mjesečnih protoka po mjesecima u godini za postaju Blato na Cetini u razdobljima prije i poslije puštanja u pogon druge faze HE Zakućac 1981 godine. Vidimo da su minimalni i srednji protoci ujednačeni u svim mjesecima u godini u drugom razdoblju te da su srednji mjesečni protoci smanjeni u odnosu na one u razdoblju prije izgradnje druge faze hidroelektrane Zakućac. Vidimo i da su srednji mjesečni protoci u prvom podrazdoblju manji od minimalnih u drugom podrazdoblju za mjesec kolovoz i rujan.



Grafikon 16. Hod protoka po mjesecima za postaju Blato na Cetini

Na grafikonu 17 vidimo krivulje trajanja protoka za postaju Blato na Cetini u dva podrazdoblja prije i poslije puštanja u pogon druge faze HE Zakućac 1981 godine. Trajanje protoka ujednačenije je znatno u drugom podrazdoblju, no ipak primjećujemo smanjenje trajanja većih protoka u drugom podrazdoblju a povećanje trajanja malih protoka, što je u skladu s pretpostavkom o utjecaju rada HE Zakućac i propuštanju protoka biološkog minimuma s brane Pranjčevići.





Grafikon 17. Krivulja trajanja protoka za postaju Blato na Cetini u dva podrazdoblja

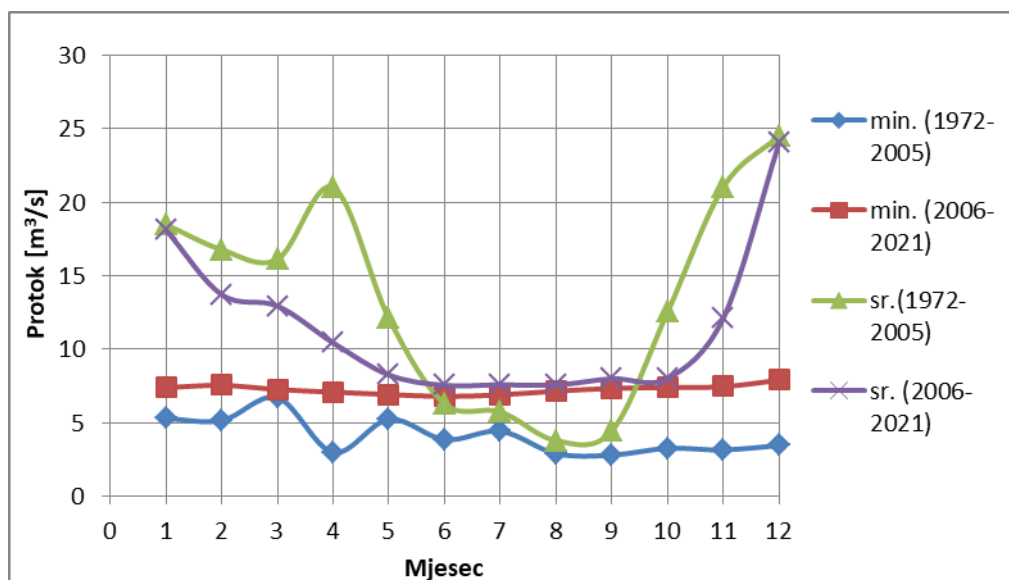
U tablici 16 prikazana je usporedba vrijednosti protoka karakterističnih trajanja 90%, 75%, 50%, 25% za dva odabrana podrazdoblja. Protoci velikih trajanja su povećani u drugom podrazdoblju u odnosu na prvo podrazdoblje sa značajnim razlikama osim za velike protoke malog trajanja koji su smanjeni u drugom podrazdoblju te se mogu pripisati utjecaju rada HE Zakućac te propuštanju voda biološkog minimuma s brane Pranjčevići.

Tablica 16. Usporedba protoka karakterističnih trajanja za dva podrazdoblja na vodomjernoj postaji Blato na Cetini

Blato na Cetini			
Razdoblje	Protok [m <sup>3</sup> /s]	Trajanje [%]	Razlika [%]
1972-1980	2,047	90	0,097703957
1981-2021	2,049	90	
1972-1980	2,37	75	57,89029536
1981-2021	3,742	75	
1972-1980	3,379	50	81,71056526
1981-2021	6,14	50	
1972-1980	28,43	25	-71,95919803
1981-2021	7,972	25	

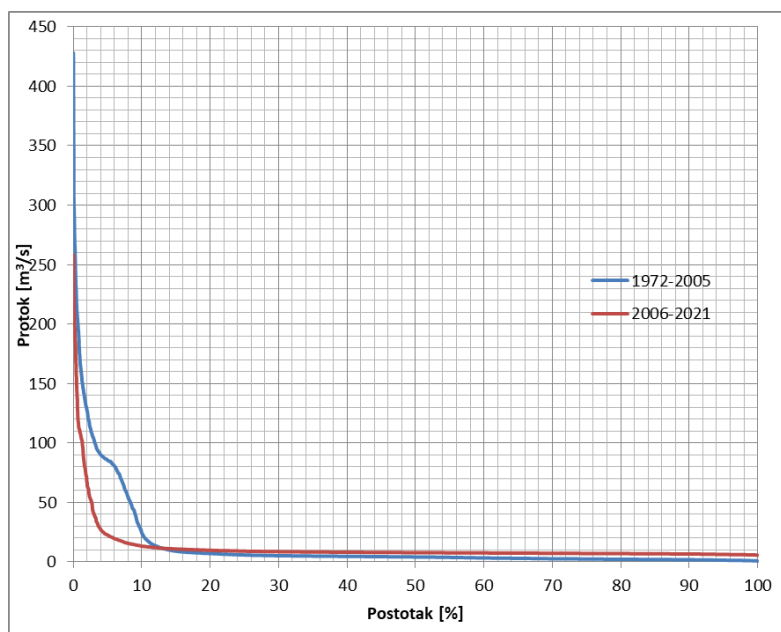
Na grafikonu 18 je prikazan raspored hoda minimalnih i srednjih mjesečnih protoka po mjesecima u godini za postaju Blato na Cetini u razdobljima prije i poslije poštivanja ispuštanja biološkog minimuma s brane Pranjčevići. Godina 2005. je zadnja godina u kojoj je

minimalni protok bio ispod  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vidimo da su minimalni i srednji protoci ujednačeni u skoro svim mjesecima u godini u drugom podrazdoblju te da su srednji mjesečni protoci smanjeni u odnosu na one u razdoblju prije 2006 osim u sušnim ljetnim mjesecima. Vidimo i da su srednji mjesečni protoci u prvom podrazdoblju manji od minimalnih u drugom podrazdoblju za mjeseci lipanj, srpanj, kolovoz i rujan.



Grafikon 18. Hod protoka po mjesecima za postaju Blato na Cetini

Na grafikonu 19 vidimo krivulje trajanja protoka za postaju Blato na Cetini u dva podrazdoblja. Trajanje protoka ujednačenije je znatno u drugom podrazdoblju, no ipak primjećujemo smanjenje trajanja većih protoka u drugom podrazdoblju a povećanje trajanja malih protoka, što je opet u skladu s pretpostavkom o utjecaju rada HE Zakućac i propuštanju protoka biološkog minimuma s brane Pranjčevići. Protoci velikog trajanja znatno su veći u drugom podrazdoblju, što ukazuje na poštivanje pravila o ispuštanju protoka biološkog minimuma koji iznosi  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  s brane Pranjčevići.



Grafikon 19. Krivulja trajanja protoka za postaju Blato na Cetini u dva podrazdoblja

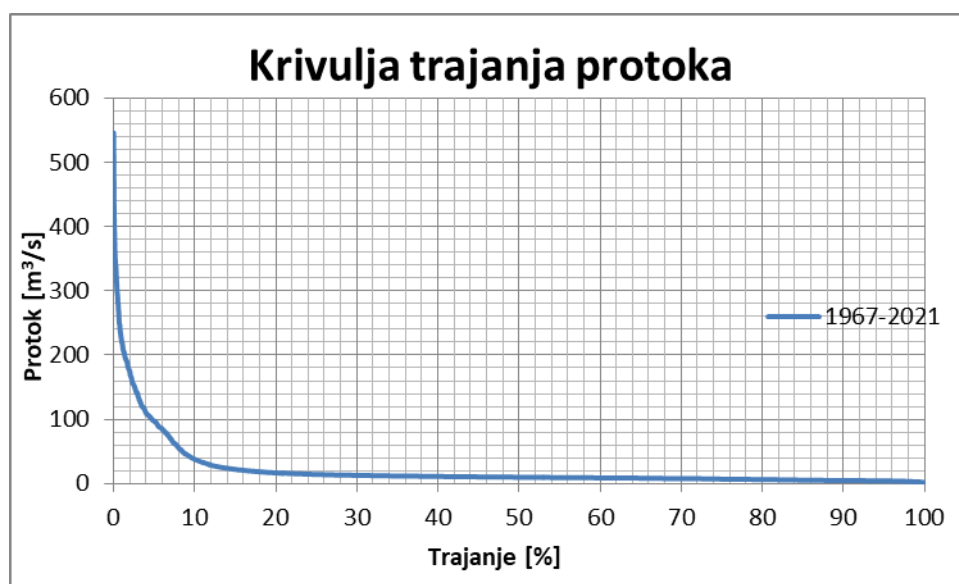
U tablici 17 prikazana je usporedba vrijednosti protoka karakterističnih trajanja 90%, 75%, 50%, 25% za dva odabrana podrazdoblja prije i poslije 2005. godine kada se ujednačeno počelo poštovati pravilo o ispuštanju voda biološkog minimuma s brane Pranjčevići. Protoci trajanja većih od 13% u drugom podrazdoblju su povećani u odnosu na prvo podrazdoblje sa značajnim razlikama za sva trajanja te se mogu pripisati utjecaju propuštanja voda biološkog minimuma s brane Pranjčevići. Vode biološkog minimuma koje se ispuštaju s brane Pranjčevići za rad koristi MHE Pranjčevići, puštena u pogon 2017. godine te HE Kraljevac koja je promijenila režim rada tako da koristi samo vode biološkog minimuma koje se propuštaju s brane Pranjčevići te vode koje se preliju s brane, te su protoci veći od  $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$  u razdoblju nakon 2005. raspoloživi više od 90% posto vremena.

Tablica 17. Usporedba protoka karakterističnih trajanja za dva podrazdoblja na vodomjernoj postaji Blato na Cetini

Blato na Cetini			
Razdoblje	Protok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	Trajanje [%]	Razlika [%]
1972-2005	1,771	90	273,6871824
2005-2021	6,618	90	
1972-2005	2,374	75	198,104465
2005-2021	7,077	75	
1972-2005	4,11	50	89,17274939
2005-2021	7,775	50	
1972-2005	5,086	25	76,91702713
2005-2021	8,998	25	

#### 4.2.7 Postaja Tisne Stine

Vodomjerna postaja Tisne Stine najnižvodnija je vodomjerna postaja na rijeci Cetini, mjeri protok na profilu rijeke neposredno nizvodno od grupe izvora Studenci i HE Kraljevac. HE Kraljevac radi u sprezi sa režimom propuštanja voda biološkog minimuma s brane Pranjčevići te je utjecaj na očitavanja vodomjerne postaje Tisne Stine zanemariv u usporedbi s režimom rada HE Zakućac, koja ima instalirani protok od 220 m<sup>3</sup>/s. Na grafikonu 20 prikazana je krivulja trajanja protoka na temelju svih raspoloživih podataka za razdoblje 1967.-2021. (njih 20028). Krivulja trajanja protoka ima nepravilan oblik te se može isčitati da su protoci veličine 10 m<sup>3</sup>/s premašeni samo 16 % vremena, što se direktno može pripisati utjecaju rada HE Zakućac. U tablici 18 prikazani su protoci trajanja 90%, 75%, 50%, 25%.

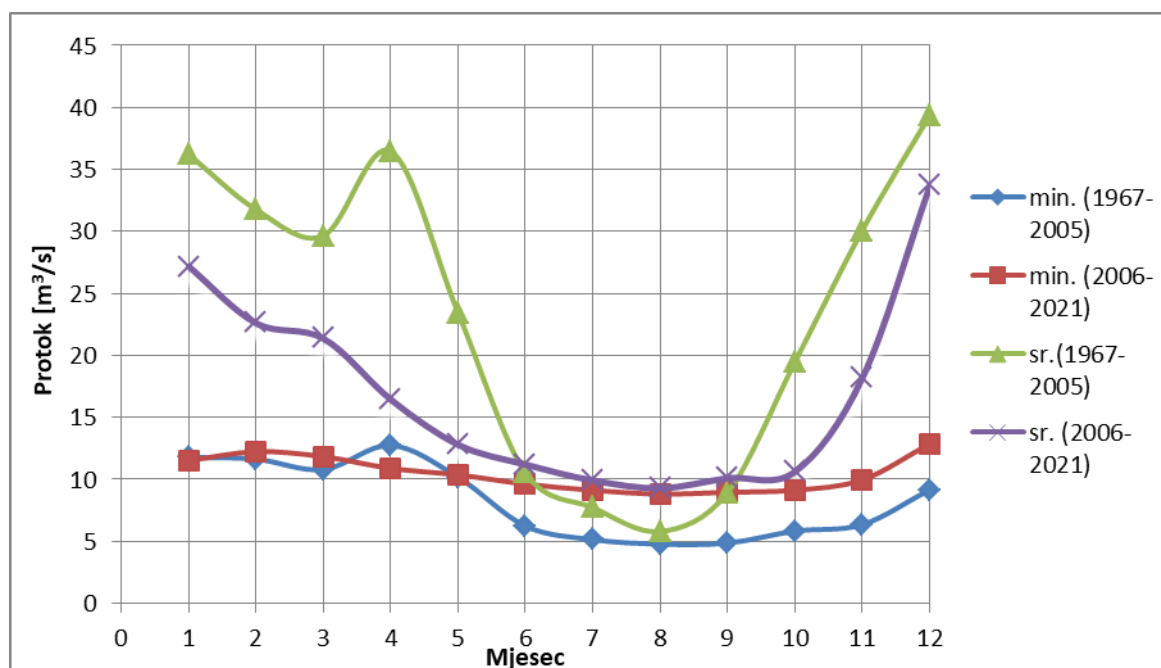


Grafikon 20. Krivulja trajanja protoka za postaju Tisne Stine

Tablica 18. Protoci karakterističnih trajanja na vodomjernoj postaji Tisne Stine

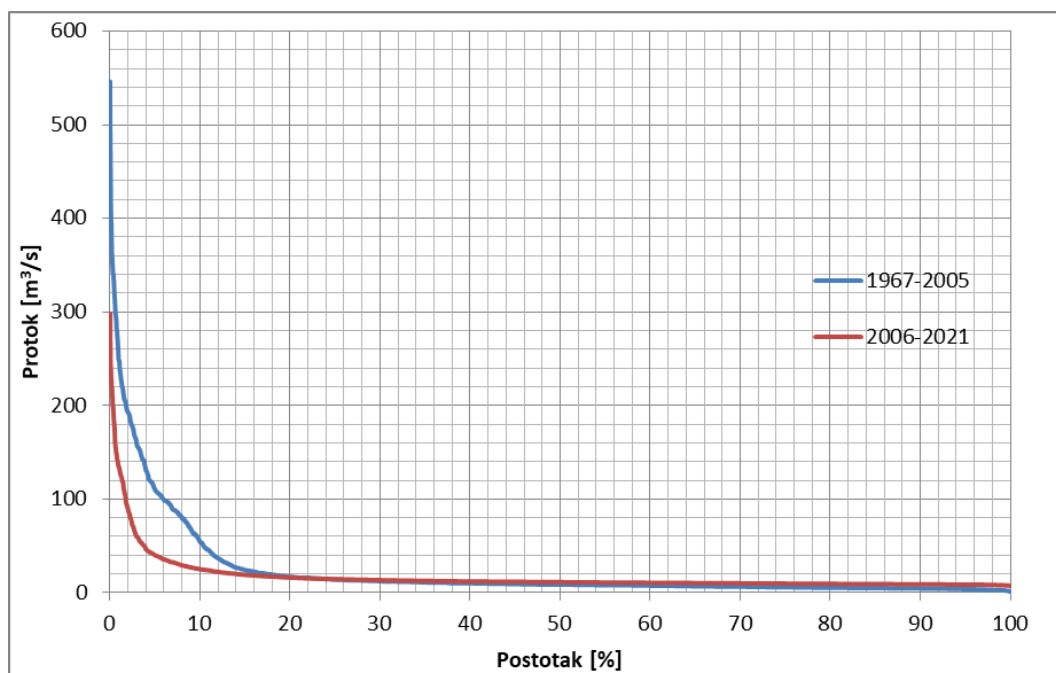
Tisne Stine	
Protok [m <sup>3</sup> /s]	Trajanje [%]
4.79	90
6.896	75
9.798	50
14.19	25

Na grafikonu 21 je prikazan raspored hoda minimalnih i srednjih mjesečnih protoka po mjesecima u godini za postaju Tisne Stine u razdobljima prije i poslije poštivanja ispuštanja biološkog minimuma s brane Pranjčevići. Godina 2005. je zadnja godina u kojoj je minimalni protok bio ispod  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vidimo da su minimalni i srednji protoci ujednačeni u skoro svim mjesecima u godini u drugom razdoblju te da su srednji mjesečni protoci smanjeni u odnosu na one u razdoblju prije 2006 osim u sušnim ljetnim mjesecima. Vidimo i da su srednji mjesečni protoci u prvom podrazdoblju manji od minimalnih u drugom podrazdoblju za mjesec srpanj i kolovoz.



Grafikon 21. Hod protoka po mjesecima za postaju Tisne Stine

Na grafikonu 22 vidimo krivulje trajanja protoka za postaju Tisne Stine u dva podrazdoblja prije i poslije poštivanja ispuštanja protoka biološkog minimuma s brane Pranjčevići. Trajanje protoka ujednačenije je znatno u drugom podrazdoblju, no ipak primjećujemo smanjenje trajanja većih protoka u drugom podrazdoblju a povećanje trajanja malih protoka, što je opet u skladu s pretpostavkom o utjecaju rada HE Zakućac i propuštanju biološkog minimuma s brane Pranjčevići, tako su protoci velikog trajanja znatno veći u drugom podrazdoblju. Rijeka u nizvodnom toku ima sličan režim kao i na profilu Blato na Cetini što bi značilo da utjecaj izvora Studenci blijedi u odnosu na režim rada HE Zakućac.



Grafikon 21. Krivulja trajanja protoka za postaju Tisne Stine u dva podrazdoblja

U tablici 19 prikazana je usporedba vrijednosti protoka karakterističnih trajanja 90%, 75%, 50%, 25% za dva odabrana podrazdoblja prije i poslije 2005 godine kada se ujednačeno počelo poštovati pravilo o ispuštanju voda biološkog minimuma s brane Pranjčevići. Protoci svih veličina trajanja su povećani u drugom podrazdoblju, naročito protoci velikog trajanja. Razlike za sve protoke te se mogu pripisati utjecaju propuštanja voda biološkog minimuma s brane Pranjčevići. Isto tako, kada usporedimo protoke na nizvodnoj vodomjernos postaji Tisne Stine s uzvodnom Blato na Cetini vidimo da su protoci na nizvodnijoj postaji veći za svako odabrano karakteristično trajanje protoka. Na HE Kraljevac, koja je locirana između tih dviju vodomjernih postaja, se vrši zahvat vode za vodovod Makarskog primorja te nizvodno od HE Kraljevac se u Cetinu ulijevaju vode s izvora Studenci pa možemo zaključiti da je izdašnost te grupe izvora veća od zahvata vode na HE Kraljevac.

Tablica 19. Usporedba protoka karakterističnih trajanja za dva podrazdoblja na vodomjernoj postaji Tisne Stine

Tisne Stine			
Razdoblje	Protok [m <sup>3</sup> /s]	Trajanje [%]	Razlika [%]
1967-2005	4,358	90	103,7402478
2005-2021	8,879	90	
1967-2005	5,787	75	67,34059098
2005-2021	9,684	75	
1967-2005	8,592	50	30,70297952
2005-2021	11,23	50	
1967-2005	14,12	25	2,620396601
2005-2021	14,49	25	

### 4.3 Diskusija

Provedenim hidrološkim analizama podataka s vodomjernih postaja na slivu rijeke Cetine procijenjena je povezanost protoka izmjerenih na vodomjernim postajama s radom objekata hidroenergetskog sustava na rijeci Cetini. Važno je znati da je Cetina rijeka u krškom kraju te svi radovi na slivu rijeke mogu rezultirati promjenama u režimu tečenja podzemnih voda koji se ne moraju detektirati odmah i u blizini zahvata već može proći određeno vrijeme do detekcije lokacije i intenziteta promjene. Na rijeci Cetini izgrađeno je pet velikih hidroenergetskih postrojenja, sa pripadajućim usporom i akumulacijskim volumenom. U radu se utjecaj izgradnje hidrotehničkih objekata prati na nizvodnim vodomjernim postajama kroz očitavanja protoka. Na najuzvodnijoj vodomjernoj postaji na rijeci Cetini Han se vidi utjecaj rada HE Peruća kada se serije podataka podijele na podrazdoblja prije i poslije izgradnje brane Peruća. U drugom podrazdoblju došlo je do izravnjanja protoka kroz godinu te su povećani minimalni i srednji protoci, dok za velike protoke tranjanja manjeg od 35% bilježimo pad vrijednosti trajanja. Protoci trajanja većeg od 75% tako su uvećani za 51%, dok su protoci tranjanja većeg od 50% uvećani za 18,5%. Uzvodnije od vodomjerne postaje Han smještene su vodomjerne postaje Rumin Mali i Rumin Veliki na istoimenim rječicama. Za obe postaje uočen je utjecaj akumulacije Buško Blato na režim otjecanja. Kada su se serije podataka podijelile na one prije i poslije izgradnje akumulacije Buško Blato, tada je došlo do značajnog smanjenja protoka svih trajanja čak i preko 50% za protoke trajanja većeg od 75% na postaji Rumin Mali u odnosu na razdoblje prije izgradnje akumulacije Buško Blato. Za vodomjernu postaju Rumin Veliki protoci svih trajanja su umanjeni za više od 50%. Na idućoj nizvodnoj vodomjernoj postaji Ruda na rijeci Ruda Velika ne opažamo značajne razlike u režimu tečenja kroz cijelo promatrano razdoblje, no kada analiziramo dva odvojena skupa protoka prije i poslije sanacije brane Peruća zaključili smo da su se protoci smanjili u kasnijem razdoblju za sva trajanja osim onih najvećih i najmanjih za koje su porasli. Razlike u veličinama protoka za vodomjernu postaju Ruda u dva podrazdoblja se kreću oko 10%. Kod dviju najnižvodnijih vodomjernih postaja Blato na Cetini i Tisne Stine važno je naglasiti da režim tečenja ovisi ponajviše o režimu rada HE Zakućac i propuštanju vode s brane Pranjčevići gdje se zahvaća voda koja se tunelima odvodi na HE Zakućac. Podaci o protocima za prirodno stanje vodotoka, iz razdoblja prije izgradnje HE Zakućac nisu dostupni. Najzanimljiviji utjecaj na režim otjecanja zabilježen na ove dvije postaje predstavlja ispuštanje protoka biološkog minimuma s brane Pranjčevići, protoci koji se poštuju u radu brane Pranjčevići tek od 2006. godine iako još uvijek ne dogovorenih  $8 \text{ m}^3/\text{s}$

već  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tako se od 2006. godine na dvije najnižvodnije vodomjerne postaje bilježi porast protoka svih trajanja osim onih najvećih, čak su i udvostručeni mali protoci na postaji Blato na Cetini. Na vodomjernoj postaji Tisne Stine su udvostručeni protoci trajanja većeg od 90%, dok su razlike u protocima manjih trajanja manje, no ipak značajne. Utjecaj gradnje hidroenergetskih objekata na slivu je nedvojben kada se usporede podaci o protocima s nizvodnih postaja najbližih hidroenergetskom objektu iz perioda prije i nakon izvedbe radova na hidroenergetskom objektu. Za postaje Ruda, Vedrine, Blato na Cetini i Tisne Stine nisu raspoloživi podaci o protoku iz doba kada je rijeka Cetina tekla prirodnim režimom tečenja prije izgradnje značajnih hidrotehničkih građevina, što predstavlja značajnu manu u analizama. Navedeni nedostatak se pokušao nadomjestiti tako što su za značajne događaje u dijelu sliva za koji protok mjere navedene postaje uzeti radovi na proširenju kapaciteta hidroenergetskog sustava ili početak poštivanja pravila o propuštanju voda biološkog minimuma. Provedene analize minimalnih, srednjih protoka i krivulje trajanja protoka spadaju pod najjednostavnije statističke i hidrološke metode no ipak pružaju uvid u režim tečenja jedne velike krške rijeke. Primjerice nedostatak prikazivanja podataka pomoću krivulje trajanja protoka je taj da što se za pouzdanu analizu preporuča analiziranje skupa podataka najmanje dvadesetogodišnjeg razdoblja što nije uvijek moguće, te također zanemaruje se redoslijed pojavljivanja protoka.

## **5 ZAKLJUČAK**

U radu su izvršene osnovne hidrološke analize podataka o protoku s vodomjernih postaja sliva rijeke Cetine. Prikazane su krivulje trajanja protoka na profilima vodomjernih postaja rijeke Cetine i njenih pritoka, koji je nalaze na lijevoj obali te su pod utjecajem neizravnog dijela sliva koji se proteže i na teritorij Bosne i Hercegovine. Nadalje, za svaku vodomjernu postaju se odabrao ključan događaj kada je ljudskim radovima izmijenjen profil vodotoka te se usporedbom podataka o protoku iz vremena prije i poslije tog događaja pokušala dokazati veza s režimom tečenja na tom dijelu toka. Tako je za postaje na gornjem dijelu toka najznačajniji događaj izgradnja brane Peruća 1960. godine, i akumulacije Buško Blato 1972. godine koje vrše preraspodijelu voda svojim akumulacijskim potencijalom, a na postajama donjeg dijela sliva je to gradnja prve faze HE Zakućac 1961. godine, te gradnja druge faze 1980. godine. Također, podaci koji su posebno naglašeni su minimalni i srednji mjesečni protoci i njihov hod po mjesecim u godini. Tako su iscrtane krivulje trajanja protoka i hod



minimlanih i srednjih mjesečnih protoka po mjesecima radi usporedbe stanja vodotoka prije i poslije hidrotehničkih zahvata na vodotoku. Možemo vidjeti da su pritoci Cetine Rumin Veliki i Rumin Mali bilježili manje protoke u razdoblju nakon izgradnje akumulacije Buško Blato u zaleđu Dinare, te se prirodni režim podzemnog dotjecanja u lijeve pritoke Cetine nepovratno izgubio. Zabilježena su smanjenja protoka za više od 50%. Na vodomjernoj postaji Ruda, na lijevom pritoku Ruda Velika, je također zamijećeno opadanje protoka u razdoblju zadnjih 30 godina za najviše 10%. No mjerenja s postaje Ruda ne sežu u vrijeme prije izgradnje HE Orlovac, pa je teško usporediti stanje danas s onim prirodnim. Svejedno, rijeka Ruda ima prvilan režim otjecanja te nije ugrožena. S druge strane, mjerenja na profilima na rijeci Cetini pokazuju ujednačavanje protoka tijekom godine na svim profilima, posebno u dva najnižvodnija profila Blato na Cetini i Tisne Stine nakon 2006. godine kada se stavilo naglasak na poštivanje pravila o ispuštaju biološkog minimuma s brane Prančevići. Protoci najvećeg trajanja u tom periodu povećani su za više od 100% vrijednosti za obe postaje. Time je postignut veći stupanj zaštite ekosustava na rijeci, što će se nadamo se nastaviti i u budućnosti. Na najuzvodnijoj vodomjernoj postaji na rijeci Cetini Han usporedili smo podatke iz vremena prije i poslije izgradnje brane Peruća te se vidi utjecaj brane na ujednačavanje režima otjecanja u kanijem periodu, povećavanjem malih protoka velikog trajanja, te smanjivanjem veličina velikih protoka malog trajanja. Na profilu Han Cetina ima izdašan režim tečenja koji se može iskoristiti u budućnosti na planiranoj reverzibilnoj hidroelektrani Blaca. Vidimo da je utjecaj ljudske aktivnosti na režim tečenja rijeke Cetine nedvojbena, bilo pozitivan u vidu ujednačavanja režima tečenja, bilo negativan u vidu smanjenja protoka velikog trajanja. Prilikom planiranja novih hidroenergetskih objekata na rijeci Cetini važno je obratiti pozornost na što je moguće veće očuvanje režima protoka rijeke te je moj zaključak da se treba razmišljati o gradnji malih hidroelektranama te o gradnji crpnih ili reverzibilnih postrojenja neposredno nizvodno od postojećih velikih elektrana kako bi se iskoristila voda na efikasan način.

## LITERATURA

- [1] Faivre, S., Pavlek K., Geomorphological changes of the Cetina River channels since the end of the nineteenth century, natural vs anthropogenic impacts (the Dinarides, Croatia), *Environmental Earth Sciences*, (2020) 79:482 <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09213-x>
- [2] Bonacci O., Roje-Bonacci S., The influence of hydroelectrical development on the flow regime of the Karstic river Cetina, *Hydrological Processes* (2003), 17, 1-15 DOI: 10.1002/hyp.1190
- [3] Podaci postaje, [www.hidro.dhz.hr](http://www.hidro.dhz.hr), 25.09.2023.
- [4] Institut građevinarstva Hrvatske, *Vodoposkrbni plan Splitsko-dalmatinske županije*, Split, Hrvatske Vode, 2008.
- [5] Andrić I., Bonacci O., Oskoruš D., Roje-Bonacci S., Vrsalović A., Impact of large human constructions on a karst river hydrology: case of the Cetina river (Dinaric karst), *Acta hydrotechnica* (2020.), 33/59 UDK/UDC: 502/504+627.8(282.2)(497.5)
- [6] Bonacci O., Roje-Bonacci S., Hydrological changes along the Cetina river course, *Hrvatske vode*, 9 (2001) 37 UDK 556.32 (497.5 Cetina)
- [7] Duplančić Leder T., Application of satellite imagery and water indices to the hydrography of Cetina river basin, *Transactions on Maritime Science*, (2020), DOI: 10.7225/toms.v09.n02.020
- [8] Hrvatski geološki institut, *Određivanje cjelina podzemnih voda na Jadranskom slivu prema kriterijima okvirne direktive o vodama EU*, Zagreb, Hrvatske Vode, 2006.
- [9] Geotehnički fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, *Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u republici hrvatskoj*, Zagreb, Hrvatske Vode, 2006. EV:23/08
- [10] Akvaproyekt, *Studija zaštite voda i mora Splitsko-dalmatinske županije*, 297/08 Split, Hrvatske Vode, 2009.
- [11] Bonacci O., Hazards caused by natural and anthropogenic changes of catchment area in karst, *Natural Hazards and Earth System Sciences* (2004), 4: 655–661 DOI: 10.1002/hyp.8359
- [12] Bonacci O., *Karst Hydrology*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1987.
- [13] Gjetvaj G., (2006.), Predavanja iz predmeta hidraulika
- [14] Elektroprojekt, *Hidroelektrane u Hrvatskoj*, Zagreb, Hrvatska elektroprivreda, 2000.
- [15] HEP Grupa, *Izješće o poslovanju i održivosti*, Zagreb, HEP Grupa, 2022.
- [16] Energetski institut Hrvoje Požar, *Energija u hrvatskoj*, Zagreb, Republika Hrvatska, 2022.
- [17] Odbor za statut i poslovnik Županijske skupštine Splitsko-dalmatinske županije, *PPSDŽ*, (Službeni glasnik SDŽ, broj 1/03, 8/04, 5/05, 5/06, 13/07, 9/13, 145/15 i 154/21), Split, 2021.
- [18] Sabor RH, *Prijedlog strategije energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050.*, Zagreb, 2019. URBROJ: 65-19-02
- [19] Hrvatske Vode, *Strategija upravljanja vodama*, Zagreb, Hrvatske Vode, 2009.
- [20] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, *Strategija niskougličinog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050.*, Zagreb, 2021.

- [21] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, *Integrirani nacionalni klimatski i energetska plan za Republiku Hrvatsku*, Zagreb, 2019.
- [22] Žugaj R., Krivulje trajanja protoka, *GRAĐEVINAR* 63 (2011) 12, 1061-1068
- [23] Bonacci O., Roje-Bonacci S., Impact of a grout curtain on groundwater regime in karst: the example of the Đale reservoir (Croatia), *Hydrol. Process.* 26, 2765–2772 (2012), DOI: 10.1002/hyp.8359
- [24] Bonacci O., Hidrološka analiza krškog izvora Rumin Veliki - Hydrological analysis of the karst spring Rumin Veliki, *Hrvatske Vode*, 23(2015) 93 201-210

## PRILOZI

Prilog 1: Osnovna statistička obrada podataka s postaje Blato na Cetini

Godina	Q <sub>sr.mj</sub> [m <sup>3</sup> /s]												Q <sub>min.god.</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>sr.god.</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>max.god.</sub> [m <sup>3</sup> /s]
	Mjesec														
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
2021	12,79	10,56	7,28	7,45	7,20	6,87	6,77	6,90	6,85	6,97	10,20	23,50	6,30	9,44	78,99
2020	6,94	6,29	7,62	7,24	7,50	7,06	6,89	6,96	6,85	7,00	7,07	22,64	6,03	8,34	112,10
2019	7,92	11,32	6,71	8,33	8,25	7,53	6,52	6,64	6,42	6,88	10,74	17,05	6,10	8,69	89,68
2018	9,89	13,33	41,02	7,16	7,20	6,99	6,62	6,70	7,06	6,87	11,31	8,23	6,11	11,03	138,90
2017	6,77	6,59	10,97	6,00	6,19	5,99	6,03	6,11	6,06	6,04	6,25	10,30	5,58	6,94	55,21
2016	7,44	10,26	9,62	7,48	7,12	7,66	9,96	7,74	7,40	7,19	8,36	8,37	6,55	8,22	17,34
2015	9,23	15,39	7,52	7,38	6,84	6,81	6,97	7,26	8,81	10,74	7,25	6,98	5,89	8,43	49,15
2014	14,15	21,57	9,55	7,55	7,49	6,97	8,12	7,95	11,03	7,42	16,22	48,81	6,46	13,90	201,60
2013	24,18	12,80	16,73	41,03	8,03	8,14	7,39	7,43	7,82	7,90	23,62	9,56	6,99	14,55	197,20
2012	7,79	8,23	7,81	8,03	7,44	6,76	7,01	7,31	7,51	7,76	8,91	18,69	6,39	8,60	50,14
2011	9,03	7,57	10,55	7,77	7,78	7,90	7,77	7,71	7,95	8,15	8,38	9,19	6,89	8,31	35,21
2010	64,14	19,80	23,30	15,04	12,85	7,99	7,58	7,85	8,38	8,61	36,41	109,96	7,05	26,83	258,20
2009	40,65	46,68	9,48	6,44	7,79	8,91	7,53	7,75	7,96	8,05	8,79	21,03	5,98	15,09	196,00
2008	11,07	9,04	16,43	13,97	9,43	9,26	9,99	10,23	10,59	11,05	12,69	52,26	7,29	14,67	187,80
2007	8,32	12,63	13,83	8,50	10,72	7,90	8,44	8,67	9,16	9,05	9,41	9,69	6,59	9,69	29,98
2006	49,38	7,26	8,50	7,43	10,02	7,87	7,56	7,77	7,94	8,40	8,31	8,20	6,28	11,55	212,10
2005	11,13	7,87	12,13	7,90	7,58	7,80	8,66	8,51	8,17	8,08	12,48	48,47	5,25	12,40	222,20
2004	6,61	11,86	51,92	94,46	17,66	3,76	6,76	6,62	6,85	7,51	11,45	40,52	3,48	22,17	298,50
2003	11,21	6,58	4,81	5,04	5,16	5,27	4,75	4,38	4,99	5,48	14,11	6,54	4,00	6,53	119,10
2002	4,87	5,41	4,54	4,77	4,71	4,77	4,90	5,85	9,11	7,06	5,62	6,44	3,27	5,67	63,07
2001	13,44	9,08	13,03	6,41	4,46	4,84	4,88	4,85	5,06	4,49	15,34	5,40	3,71	7,61	108,30
2000	4,96	4,60	4,65	5,75	4,21	3,23	4,24	4,28	4,29	4,35	22,16	23,67	2,95	7,53	162,50
1999	4,96	8,95	5,83	4,60	3,45	3,73	3,54	3,05	3,09	4,07	5,44	17,85	2,25	5,71	138,50
1998	4,47	2,12	4,03	4,06	4,18	3,94	3,96	4,37	4,45	4,33	5,27	6,27	1,08	4,29	28,41
1997	33,50	3,54	5,22	5,86	5,31	4,80	4,62	5,00	4,09	2,98	14,64	11,10	1,17	8,39	186,40
1996	44,23	6,91	3,59	20,24	3,56	4,44	4,40	4,15	21,23	4,31	28,20	7,50	2,26	12,73	171,50
1995	2,33	2,27	7,80	2,97	8,57	8,19	2,28	2,15	6,27	2,30	4,58	29,71	1,85	6,62	96,57
1994	82,52	17,48	1,94	53,41	3,16	1,48	1,76	1,83	1,70	2,37	3,12	2,70	0,59	14,46	238,40
1993	1,72	1,92	1,78	1,96	1,94	2,01	1,97	1,95	1,68	20,91	54,71	122,99	1,41	17,96	428,10
1992	4,71	4,95	12,30	25,20	2,26	3,69	1,97	1,94	1,80	9,93	44,02	24,30	1,49	11,42	241,30
1991	3,59	3,60	4,67	8,89	10,24	6,41	4,29	4,86	4,46	2,88	137,61	34,81	1,85	18,86	400,10
1990	4,00	3,92	4,50	7,01	4,54	4,03	4,09	4,35	4,42	5,59	4,93	12,56	3,69	5,33	87,58
1989	4,04	4,85	9,75	5,56	5,18	4,82	4,93	2,99	3,72	4,03	3,95	4,34	2,26	4,85	28,97
1988	1,85	5,10	5,79	3,11	2,38	1,94	2,21	2,85	2,29	2,01	3,13	5,97	1,04	3,22	23,80
1987	11,38	18,65	4,63	3,16	1,97	1,86	1,68	0,98	1,03	1,21	2,19	2,18	0,85	4,24	112,50
1986	10,06	9,39	8,23	12,16	1,69	0,98	1,09	1,37	1,31	1,38	2,65	2,12	0,79	4,37	86,58
1985	2,47	2,37	9,71	2,81	1,98	1,65	1,38	1,27	1,32	1,47	2,36	2,61	1,10	2,62	22,83
1984	4,89	9,71	5,34	3,87	3,20	3,33	2,56	2,63	3,71	36,58	31,40	4,36	2,15	9,30	111,50
1983	3,95	17,50	2,61	2,49	1,80	1,99	2,71	2,54	2,48	2,45	2,60	2,77	1,49	3,82	105,60
1982	11,21	2,86	3,90	3,48	1,26	1,59	2,27	2,36	2,23	2,27	3,16	34,67	1,10	5,94	264,30
1981	6,90	4,66	6,37	9,17	4,93	4,39	5,00	5,75	5,26	4,14	3,74	34,00	3,24	7,86	119,50
1980	78,16	62,66	37,41	58,19	41,65	15,76	3,03	3,97	4,75	5,19	24,18	8,24	0,68	28,60	174,40
1979	25,44	49,03	30,18	58,13	12,39	1,41	2,14	2,55	6,15	2,67	42,54	35,22	1,33	22,32	184,40
1978	40,74	65,27	95,38	64,84	169,47	83,44	80,48	14,45	4,27	4,02	5,37	5,20	1,41	52,74	286,30
1977	96,56	107,31	114,07	117,44	2,14	2,60	3,23	3,46	3,17	3,12	3,60	18,69	0,91	39,62	208,40
1976	2,95	11,08	7,62	6,56	5,24	2,35	2,95	2,42	6,85	53,65	89,72	159,06	1,41	29,20	292,30
1975	2,77	2,02	3,16	11,44	2,64	2,68	2,74	3,01	3,19	24,92	36,92	48,08	0,97	11,96	208,40
1974	19,44	10,87	10,88	2,39	3,54	4,03	2,47	2,52	2,78	176,05	56,46	13,94	1,95	25,45	351,20
1973	4,79	14,21	2,45	5,52	2,63	2,39	2,39	2,56	1,78	1,92	2,12	31,29	0,85	6,17	198,40
1972	62,35	71,49	47,90	85,39	55,37	3,69	4,56	2,28	3,31	2,52	15,42	19,82	0,97	31,17	308,20











Prilog 6: Osnovna statistička obrada podataka s postaje Ruda

Godina	Q <sub>sr.mj.</sub> [m <sup>3</sup> /s]												Q <sub>min.god.</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>sr.god.</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>max.god.</sub> [m <sup>3</sup> /s]
	Mjesec														
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
2021	24,27	23,52	15,48	13,83	10,96	5,14	4,04	3,77	3,51	4,65	16,94	25,70	3,07	12,65	40,78
2020	14,99	9,31	11,45	6,09	6,92	5,75	4,36	4,17	5,33	10,14	6,62	23,20	3,84	9,03	46,32
2019	6,76	14,13	9,31	11,50	16,26	13,69	8,16	6,01	5,39	3,77	22,92	23,09	3,30	11,75	46,18
2018	16,71	19,77	24,51	20,72	16,77	14,12	11,42	9,09	6,11	6,54	12,56	9,65	3,49	14,00	37,83
2017	6,51	13,48	17,59	9,52	10,10	8,05	6,53	5,07	5,61	4,32	7,74	15,84	3,60	9,20	34,34
2016	9,78	17,41	19,60	13,19	14,70	12,80	9,85	8,50	7,82	7,85	15,72	7,94	5,15	12,10	31,46
2015	20,14	23,13	19,14	15,94	14,47	10,66	8,68	7,41	6,29	16,82	9,30	6,79	5,44	13,23	46,47
2014	15,40	21,91	14,96	14,97	14,62	12,26	12,63	11,23	19,52	11,72	19,74	22,52	7,84	15,96	39,96
2013	21,38	22,55	25,76	25,17	20,80	18,97	14,13	10,83	9,31	9,49	14,77	10,85	6,28	17,00	41,72
2012	5,04	4,39	7,98	14,54	10,84	7,98	6,02	4,78	5,65	10,32	11,66	21,22	3,17	9,20	34,99
2011	20,13	17,35	17,95	12,53	12,99	11,66	9,61	7,39	5,36	4,69	6,07	11,87	3,69	11,47	38,00
2010	27,85	25,12	24,59	24,53	22,44	19,56	14,91	11,12	8,78	8,78	24,85	29,34	6,75	20,16	46,57
2009	23,81	22,18	20,21	19,65	17,13	14,71	11,69	8,49	5,77	5,95	9,63	15,20	4,75	14,53	40,67
2008	11,93	7,14	15,00	19,80	13,36	11,96	8,47	6,71	5,43	5,14	13,30	28,02	4,32	12,19	43,28
2007	7,36	13,48	15,10	12,08	13,16	8,78	6,77	5,72	4,88	5,65	9,23	8,82	4,39	9,25	39,15
2006	21,77	17,14	19,15	18,49	16,64	12,73	9,76	9,21	10,33	6,33	5,98	6,55	4,39	12,84	40,92
2005	12,98	9,44	15,13	18,72	14,47	11,19	8,32	6,57	7,53	7,93	10,97	23,23	5,00	12,21	40,57
2004	13,74	15,56	22,11	23,02	19,70	16,34	13,62	11,08	8,22	8,69	11,53	22,46	5,69	15,51	39,46
2003	19,47	14,43	10,77	11,95	9,00	7,23	5,59	4,49	4,10	11,63	13,64	10,86	3,52	10,26	34,42
2002	8,08	14,71	9,98	11,35	10,15	7,91	5,75	8,27	12,02	13,81	13,44	14,49	4,55	10,83	37,52
2001	20,02	16,72	20,13	19,15	14,32	10,98	7,38	5,72	8,25	5,92	12,26	7,25	4,42	12,34	32,41
2000	14,20	12,82	14,04	16,81	9,88	6,38	4,64	3,80	3,44	8,24	20,26	17,66	3,31	11,01	37,32
1999	13,80	13,97	17,19	19,03	17,20	13,45	10,83	8,35	6,40	6,44	12,94	20,73	5,12	13,36	41,74
1998	15,58	11,01	8,76	11,95	12,49	9,41	6,80	4,95	11,33	11,89	10,64	14,27	3,95	10,76	37,25
1997	19,35	14,48	13,53	13,18	14,43	9,94	7,17	6,43	5,65	4,96	16,81	17,35	3,92	11,94	40,97
1996	25,83	20,38	18,27	21,44	19,20	15,20	12,42	9,74	11,66	12,22	17,31	19,08	7,15	16,90	43,03
1995	10,35	10,90	14,14	13,74	14,90	14,58	10,53	9,88	15,68	9,73	10,66	22,54	5,93	13,14	36,78
1994	21,04	19,01	16,47	20,13	16,13	14,04	11,72	9,64	11,51	8,84	10,72	6,75	6,09	13,83	30,92
1993	8,30	6,09	6,72	10,95	6,09	5,18	4,10	3,20	3,70	16,34	18,35	24,38	2,52	9,45	49,77
1992	12,38	9,58	10,50	14,07	9,58	8,16	5,26	3,87	3,20	12,81	14,64	15,94	3,07	10,00	37,58
1991	9,13	9,10	9,46	13,44	16,88	11,40	6,85	5,85	4,66	7,49	23,55	16,55	3,94	11,20	42,51
1990	4,04	5,06	6,95	15,88	7,91	6,85	5,53	4,70	4,23	7,92	12,40	13,54	3,21	7,92	35,10
1989	6,39	7,88	16,33	13,31	9,04	9,08	4,25	2,67	3,44	8,50	7,14	5,84	1,54	7,82	30,67
1988	14,85	20,27	21,50	22,92	20,79	17,95	14,00	11,51	11,83	9,71	10,05	12,56	7,41	15,66	32,93
1987	18,91	23,16	19,73	22,04	20,25	17,41	16,23	14,36	12,13	10,14	11,57	15,55	7,41	16,79	38,30
1986	19,39	20,20	22,75	23,83	20,32	20,06	19,16	16,49	14,03	12,25	13,49	11,51	9,27	17,79	37,23
1985	10,85	10,61	19,36	19,10	17,67	14,55	13,09	10,65	8,93	7,96	14,98	14,58	6,99	13,53	34,54
1984	13,27	13,55	12,67	15,69	19,70	16,65	12,02	10,39	12,94	16,07	17,55	12,33	5,80	14,40	34,09
1983	15,88	19,37	17,82	18,39	15,48	12,77	10,13	8,60	8,76	7,75	6,85	10,18	4,74	12,67	33,57
1982	17,01	10,76	12,18	16,42	10,49	9,10	7,37	6,48	6,10	14,68	12,45	24,14	5,43	12,26	42,31
1981	12,42	13,67	18,83	16,09	16,38	12,39	9,78	8,18	7,91	13,83	8,96	22,75	6,99	13,43	33,06
1980	20,54	18,72	19,13	17,16	20,89	14,82	8,35	6,81	6,00	12,51	21,17	18,30	5,43	15,37	37,69
1979	21,32	22,82	21,44	21,34	18,82	16,54	16,20	13,74	13,29	13,54	22,06	20,24	11,95	18,45	37,69
1978	20,16	20,89	20,87	21,25	26,39	20,88	16,63	13,39	13,67	13,61	7,79	17,01	6,58	17,71	34,60
1977	22,43	23,15	20,22	19,74	15,79	13,07	11,39	12,75	11,05	10,83	12,54	17,26	7,85	15,85	30,19
1976	6,80	11,65	11,11	15,32	13,41	9,63	8,39	8,96	11,83	15,75	22,85	25,42	5,80	13,43	34,90
1975	9,40	7,62	12,09	14,13	9,56	9,29	7,61	6,63	7,80	12,97	13,84	14,01	5,80	10,41	34,90
1974	14,70	14,27	15,81	18,57	16,55	13,79	11,15	9,82	10,15	12,98	14,45	16,31	6,62	14,05	34,62