

# Hidrološka analiza oborina, protoka i mutnoće recesijskih razdoblja krškog izvora Žrnovnica, 2015.-2019.

---

Kozina, Nika

Master's thesis / Diplomski rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:868256>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-25**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Nika Kozina**

**Split, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Nika Kozina**

**Hidrološka analiza oborina, protoka i  
mutnoće recesijskih razdoblja krškog  
izvora Žrnovnica, 2015.-2019.**

**Diplomski rad**

**Split, 2024.**



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,  
ARCHITECTURE AND GEODESY

STUDIJ: SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO  
KANDIDAT: Nika Kozina  
MATIČNI BROJ: 0083222241  
KATEDRA: Katedra za hidrologiju  
KOLEGIJ: Inženjerska hidrologija

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Hidrološka analiza oborina, protoka i mutnoće recesijskih razdoblja krškog izvora Žrnovnica, 2015.-2019.

Opis zadatka: Na temelju podataka o izmjerenim vrijednostima oborina na meteorološkim postajama Bisko, Dugopolje i Muć, te protoka i mutnoće krškog izvora Žrnovnica, potrebno je odrediti recesijska razdoblja za period od 2015. do 2019. godine, te izvršiti analizu podataka za svaku pojedinačnu godinu. Nadalje je potrebno identificirati i klasificirati histerezne petlje metodom Williams-a za prvi porast mutnoće nakon razdoblja recesije za svaku godinu.

U Splitu, 14.3.2024.

Mentor:  
Doc.dr.sc. Ana Kadić

Predsjednik Povjerenstva za završne i  
diplomske ispite studija Građevinarstvo:  
izv. prof. dr. sc. Ivan Balić



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,  
ARCHITECTURE AND GEODESY

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

kojom ja, Nika Kozina, JMBAG: 0083222241, studentica Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, kao autorica ovog diplomskog rada izjavljujem da sam ga izradila samostalno pod mentorstvom doc.dr. sc. Ane Kadić.

U radu sam primijenila metodologiju znanstvenoistraživačkog rada i koristila literaturu koja je navedena na kraju rada. Tuđe spoznaje, zaključke, teorije, formulacije i grafičke prikaze koje sam izravno ili parafrazirajući navela u radu citirala sam i povezala s korištenim bibliografskim jedinicama.

---

(vlastoručni potpis studentice)

## **Hidrološka analiza oborina, protoka i mutnoće recesijskih razdoblja krškog izvora Žrnovnica, 2015.-2019.**

### ***Sažetak:***

U sklopu ovog diplomskog rada određena su recesijska razdoblja u periodu od 2015. do 2019. godine za krški izvor Žrnovnica. Analizirani su podaci oborina na mjernim postajama Bisko, Dugopolje i Muć, te podaci protoka i mutnoće izvora Žrnovnica. Obavljena je usporedna analiza i kroskorelacija, a za svaku godinu je identificirana i klasificirana histerezna petlja.

### ***Ključne riječi:***

krš, Žrnovnica, oborine, protok, mutnoća, recesija, kroskorelacija, histerezne petlje

## **Hydrological analysis of precipitation, discharge and turbidity during recession periods of the karst spring Žrnovnica, 2015.-2019.**

### ***Abstract:***

As part of this thesis, the recession periods in the period from 2015 to 2019 were determined for the karst spring Žrnovnica. The precipitation data at the measuring stations Bisko, Dugopolje and Muć, as well as the discharge and turbidity data of the Žrnovnica spring, were analyzed. Comparative analysis and cross-correlation were performed, and a hysteresis loop was identified and classified for each year.

### ***Keywords:***

karst, Žrnovnica, precipitation, discharge, turbidity, recession, crosscorelation, hysteresis loops

## S a d r Ź a j

<b>1. UVOD .....</b>	<b>3</b>
<b>2. OPĆENITO O KRŠU .....</b>	<b>4</b>
<b>3. ZNAČAJKE SLIVNOG PODRUČJA RIJEKE ŽRNOVNICE .....</b>	<b>6</b>
3.1. O širem krškom području – krško područje Dinarida .....	6
3.2. Značajke rijeke Žrnovnice .....	9
<b>4. OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA PODATAKA OBORINE, PROTOKA I MUTNOĆE .....</b>	<b>10</b>
4.1. Oborine .....	10
4.1.1. Oborine na mjernoj postaji Bisko (2017.-2019.) .....	11
4.1.2. Oborine na mjernoj postaji Dugopolje (2017.-2019.) .....	14
4.1.3. Oborine na mjernoj postaji Muć (2017.-2019.) .....	17
4.2. Protok .....	20
4.2.1. Protok rijeke Žrnovnice (2015.-2019.) .....	22
4.3. Mutnoća .....	26
4.3.1. Mutnoća rijeke Žrnovnice (2015.-2019.) .....	28
4.4. Istovremeni prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice (2015.-2019.) .....	32
<b>5. RECESIJSKO RAZDOBLJE .....</b>	<b>35</b>
5.2. Istovremeni prikaz protoka, recesije i mutnoće rijeke Žrnovnice (2015.- 2019.) .....	41
<b>6. KRIVULJE TRAJANJA I UČESTALOSTI PROTOKA I MUTNOĆE .....</b>	<b>44</b>
<b>7. KROSKORELACIJSKA ANALIZA VREMENSKIH SERIJA .....</b>	<b>75</b>
7.1. Kroskorelacija protoka i mutnoće (2017.-2019.) .....	76
7.2. Kroskorelacija oborina i mutnoće za mjernu postaju Bisko (2017.-2019.) .....	79
7.3. Kroskorelacija oborina i mutnoće za mjernu postaju Dugopolje (2017.- 2019.) .....	82
7.4. Kroskorelacija oborina i mutnoće za mjernu postaju Muć (2017.-2019.) .....	85
7.5. Kroskorelacija oborina i protoka za mjernu postaju Bisko (2017.-2019.) .....	88

---

7.6. Kroskorelacija oborina i protoka za mjernu postaju Dugopolje (2017.-2019.).....	91
7.7. Kroskorelacija oborina i protoka za mjernu postaju Muć (2017.-2019.).....	94
<b>8. HISTEREZNE PETLJE.....</b>	<b>97</b>
8.1. Analiza prvog vrha mutnoće nakon recesije 2015. godine .....	100
8.2. Analiza prvog vrha mutnoće nakon recesije 2016. godine .....	103
8.3. Analiza prvog vrha mutnoće nakon recesije 2017. godine .....	106
8.4. Analiza prvog vrha mutnoće nakon recesije 2018. godine .....	109
8.5. Analiza prvog vrha mutnoće nakon recesije 2019. godine .....	112
<b>9. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>115</b>
<b>Popis slika .....</b>	<b>116</b>
<b>Popis tablica.....</b>	<b>120</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>122</b>



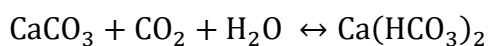
## 1. UVOD

Osnovni cilj ovog diplomskog rada je utvrditi povezanost između oborina, protoka i promjene mutnoće vode na krškom izvoru Žrnovnica za vrijeme recesijskih razdoblja. Korišteni podaci o dnevnim oborinama prikupljeni su na mjernim postajama Bisko, Dugopolje i Muć te dobiveni od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) za razdoblje od 1.1.2017. do 31.12.2019., nakon čega su svedeni na satne vrijednosti. Podaci o satnom protoku izvora Žrnovnica također su pribavljeni od DHMZ-a, a pokrivaju razdoblje od 1.1.2015. do 14.11.2019. u 14:00 sati. Od strane Hrvatskih voda dostavljeni su podaci o satnoj mutnoći izvora Žrnovnica za period od 1.1.2015. do kraja 2019. godine. Obavljena je osnovna statistička analiza prikupljenih podataka, nakon čega je određen recesijski period za svaku godinu. U daljnjoj obradi prikazana je krivulja trajanja i učestalosti protoka i mutnoće za svaku godinu, kao i za recesijsko razdoblje svake godine. Za bolji uvid u međuodnos oborina, protoka i mutnoće, izvršena je kroskorelacijska analiza za svaki par ovih varijabli, za svaku godinu i njeno recesijsko razdoblje. U posljednjem dijelu rada su, korištenjem *Williams-ove metode*, identificirane i klasificirane histerezne petlje za prvi porast mutnoće nakon razdoblja recesije za svaku godinu.

## 2. OPĆENITO O KRŠU

Krš ili kraš je geomorfološka formacija nastala agresivnim djelovanjem vode na stijensko tlo podložno otapanju. Pojam potječe od staroslavenske riječi "krъšъ", a označava stijenu, kamen ili kamenito područje (tal. carso, njem. karst). Proces formiranja krškog reljefa je vrlo dugotrajan i kompleksan, a naziva se okršavanje. Postoje tri ključna preduvjeta koja moraju biti zadovoljena kako bi došlo do okršavanja.

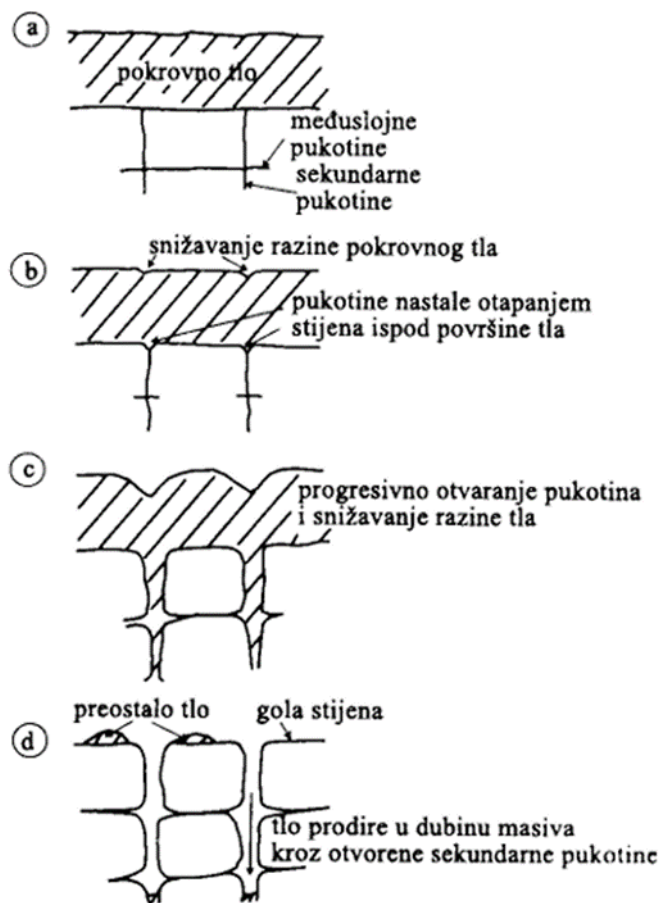
Prvo, za nastanak krša je potrebna prisutnost topljivih stijena. To su stijene koje se kemijski otapaju u kontaktu s ugljikovim dioksidom iz atmosfere, a najčešće su u pitanju vapnenac (kalcijev karbonat,  $\text{CaCO}_3$ ) i dolomit (kalcij-magnezijev karbonat,  $\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$ ). Proces započinje kada kišnica, koja apsorbira ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) iz atmosfere, formira otopinu ugljične kiseline ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Takva voda u kontaktu s vapnencom ili dolomitom izaziva kemijsku reakciju gdje se iz kalcijevog karbonata i ugljikovog dioksida uz prisutnost vode stvara kalcijev bikarbonat. Kroz vrijeme, ovakve reakcije dovode do stvaranja šupljina, jama i podzemnih špilja karakterističnih za krške terene. Opisana kemijska reakcija se može prikazati kemijskom jednadžbom:



Dvosmjerna strelica označava mogućnost pojave i obrnute reakcije u kojoj se kalcijev karbonat izlučuje iz otopine, što dovodi do formiranja sedre i sigovina.

Iz opisanog procesa slijedi i drugi preduvjet, a to je klima s velikim količinama padalina. Obilne padaline osiguravaju kontinuirani dotok vode koja je neophodna za proces kemijskog otapanja stijena. Više padalina znači više vode koja može prodrijeti u pukotine stijena i nositi sa sobom otopljeni  $\text{CO}_2$ . Zato su najizraženiji krški krajolici obično smješteni u područjima s visokim godišnjim padalinama, kao što su dijelovi Mediterana, jugoistočne Azije i središnje Europe.

Treći preduvjet je prisutnost pukotina u stijenama. Pukotine i rasjedi omogućuju lakši pristup vode do unutrašnjosti stijena, a samim time se povećava površina izložena kemijskom otapanju. Formiranje pukotina najčešće je posljedica tektonskih aktivnosti, temperaturnih oscilacija ili mehaničkih naprezanja unutar stijena. Vremenom se pukotine šire i produbljuju, i na taj način se stvaraju složeni podzemni sustavi karakteristični za krški reljef. Proces razvoja pukotina u pukotinske sustave prikazan je slikom 1. Pukotine mogu biti različitih veličina, položaja, smjera pružanja, i sl. Sva ta svojstva utječu na količinu vode i dubinu njenog prodiranja u slojeve stijene, te njenu brzinu i smjer stujanja, a samim time određuju brzinu okršavanja.



Slika 1. Razvoj pukotinskog sustava u krškom masivu tijekom vremena [1]

Poroznost stijenske mase u kršu se može podijeliti u tri kategorije. Primarna poroznost označava međuzrnate šupljine koje ne pridonose puno cirkulaciji podzemne vode, ali imaju sposobnost skladištenja iste. Slabo su osjetljive na prihranjivanje intenzivnim oborinama. Sekundarna poroznost se odnosi na šupljine koje spajaju šupljine primarne i tercijarne poroznosti, te sudjeluju u lokalnoj drenaži podzemnih voda, a osjetljive su na intenzivne oborine pale na sliv. Javljaju se u prslinama, pukotinama, rasjedima itd. Tercijarna poroznost reprezentira šupljine promjera većeg od 2mm, koje omogućuju slobodan i brz protok vode krškim vodonosnikom.

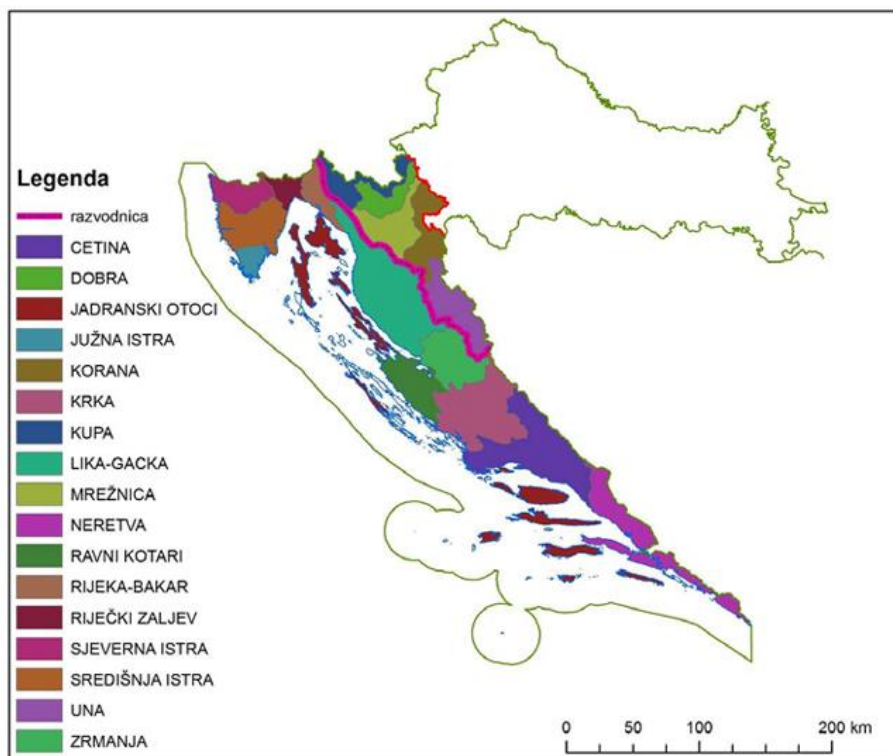
Reljefne promjene koje nastaju opisanim procesom čine površinske i podzemne krške oblike. Neki od osnovnih površinskih krških oblika su škrape, ponikve, kamenice, doline, uvale i polja, dok su podzemni špilje, jame, kaverne i ponori.

### 3. ZNAČAJKE SLIVNOG PODRUČJA RIJEKE ŽRNOVNICE

#### 3.1. O širem krškom području – krško područje Dinarida

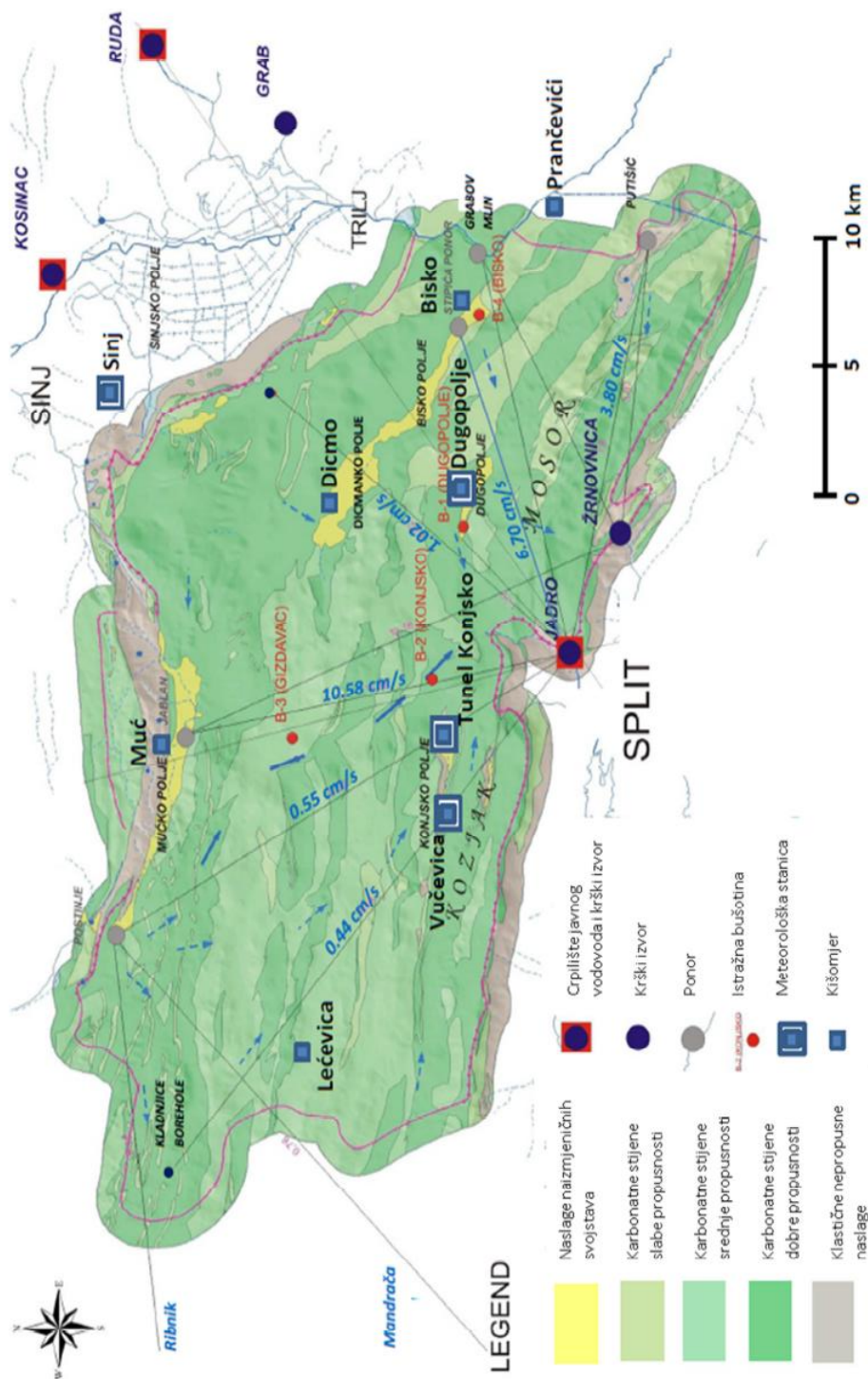
Osnovne značajke krških područja Dinarida su izrazito velike količine padalina (do 4000 mm godišnje), koje sačinjavaju veliki udio podzemnih voda. Krško podzemlje je karakterizirano niskom retencijskom sposobnosti, što za vrijeme velikih kiša dovodi do toga da padaline veoma brzo otječu prema recipijentu i stvaraju velike poplavne valove. Upravo zbog male sposobnosti zadržavanja vode, tokom sušnih razdoblja je veliki dio krškog podzemlja suh. Iz toga slijedi da je količina istjecanja krških izvora za vrijeme kišnih razdoblja nekoliko stotina puta veća nego za vrijeme sušnih.

Krško područje Republike Hrvatske je prirodnom granicom – Dinarskim gorjem, podijeljeno na dvije cjeline, odnosno dva makrosлива; Crnomorski i Jadranski. Svaki od ovih velikih slivova je podijeljen na manje cjeline po podzemnim vodama. Tako je u Crnomorskom slivu prepoznato 5, a u Jadranskom 12 cjelina podzemnih voda, a njihov geografski smještaj i nazivi su vidljivi na priloženoj slici 2.



Slika 2. Cjeline podzemne vode u krškom dijelu Republike Hrvatske [2]

Izvor rijeke Žrnovnice i izvor Jadra svršteni su u zajedničko slivno područje (slika 4.) površine između 250 i 500 km<sup>2</sup> prema dosadašnjim istraživanjima. Priljevno područje izvora rijeka Jadra i Žrnovnice pripada slivu rijeke Cetine, odnosno cjelini koja se proteže od Vrlike gdje rijeka Cetina izvire, do njenog ušća u Omišu. Sliv zahvaća i područje od Grebaštica duž obale do Drašnice, kao i dio prostora Bosne i Hercegovine. Granica sliva je na slici 3 označena zelenom bojom.



Slika 3. Hidrološka karta sliva rijeka Jadro i Žrnovnica [3]



Slika 4. Skica područja sliva rijeke Cetine sa pripadajućom granicom [4]

### 3.2. Značajke rijeke Žrnovnice

Žrnovnica je krški izvor koji izvire na nekoliko manjih izvora u podnožju Mosora na nadmorskoj visini od 77 do 90 m n.v. Na površini od oko 400 m<sup>2</sup> detektirano je ukupno devet izvora, od kojih je šest povremenih a tri su stalna. Maksimalni protok izvora rijeke Žrnovnice, koji je izmjeren 18. prosinca 2004., iznosi 19,1 m<sup>3</sup>/s, dok je minimalni iznos od 250 l/s zabilježen 9. rujna 1993. Žrnovnica teče dužinom od 4,5 km kroz istoimeno mjesto, te se ulijeva u Jadransko more u Stobrečkoj uvali. Smještena je na sudaru karbonatnih stijena Dalmatinske Zagore i priobalnog fliškog područja. To je rijeka vrlo varijabilnog protoka koji se mijenja relativno brzo u ovisnosti o količini padalina na sliv. Povezana je sa nekoliko bujičnih pritoka, ali je njihov doprinos gotovo zanemariv s obzirom na to da su većinu vremena suhi. Maksimalni protok u koritu Žrnovnice kod postaje Laboratorij postignut je 18. prosinca 2004. i iznosi 58,4 m<sup>3</sup>/s, dok je minimalni protok od oko 200 l/s izmjeren je na datum 1. rujna 1993. Vrijednost srednjeg godišnjeg protoka je 1,8 m<sup>3</sup>/s. Nekada je rijeka Žrnovnica bila glavni izvor vode za opskrbu naselja, no danas tu ulogu preuzima rijeka Jadro koja je ključni izvor pitke vode za cijelo slivno područje. Zbog ograničenog kapaciteta i promjenjive kvalitete vode u Žrnovnici, ona se danas koristi uglavnom za rekreaciju i lokalne potrebe.



Slika 5. Rijeka Žrnovnica [5]

## 4. OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA PODATAKA OBORINE, PROTOKA I MUTNOĆE

Statistička analiza je proces obrade i interpretacije prikupljenih podataka, a temelji se na teoriji vjerojatnosti i statistike. Služi za lakše razumijevanje obrazaca i odnosa u podacima, što dovodi do boljih donošenja odluka i predviđanja budućih događaja. Istraživanja u hidrologiji su popraćena dugačkim nizovima mjerenih hidroloških i meteoroloških podataka koji bez prikladne obrade nemaju nikakav značaj, stoga je statistička analiza neizostavan korak. Veličine koje se najčešće obrađuju u hidrologiji su vodostaji, dubina vode, razina podzemne vode, padaline, protok, i ostale veličine čija se mjerenja izražavaju brojem.

U ovom dijelu diplomskog rada dani su grafički prikazi i osnovne statističke vrijednosti su tablično prikazane.

### 4.1. Oborine

Oborina je oblik vode koji iz atmosfere pada na zemljinu površinu, a produkt je kondenzacije vodene pare. Mogu biti horizontalne i vertikalne. Primjeri horizontalnih oborina su inje, rosa, mraz i magla, i one nisu od velikog značaja za količinu vode u vodotocima. S druge strane, vertikalne oborine poput kiše, snijega i grada, uvelike utječu na otjecanje. Najveći doprinos ima kiša čije su kapi promjera većeg od 0,5 mm, a dijeli se u tri skupine prema intenzitetu:

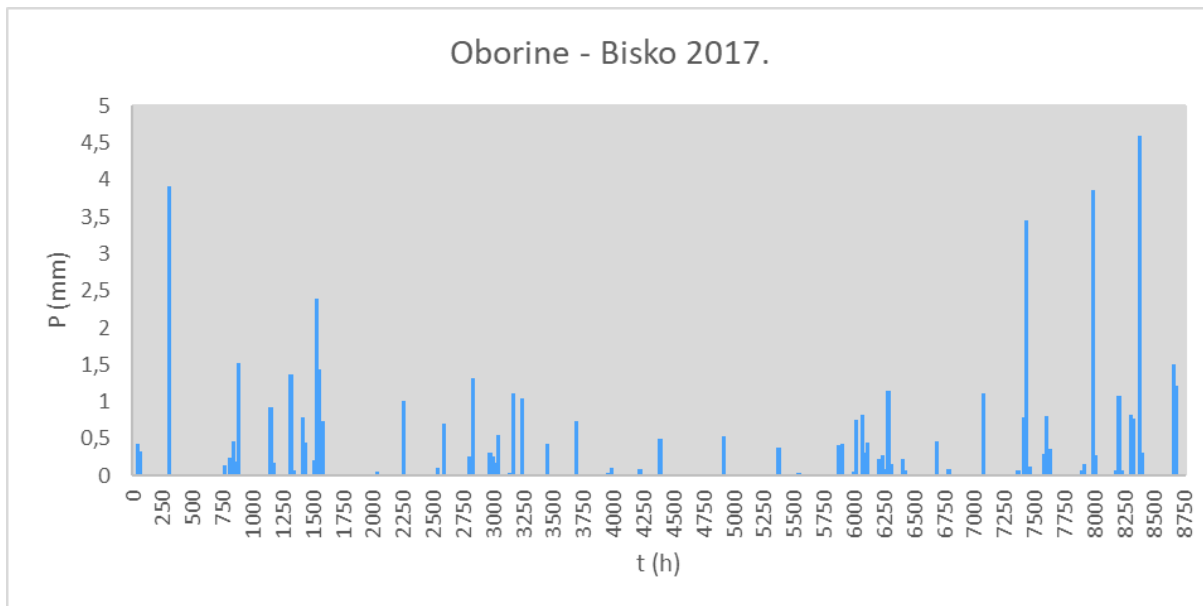
- slaba kiša – intenzitet manji od 2,5 mm/sat
- umjerenjena kiša – intenzitet između 2,5 i 8 mm/sat
- jaka kiša – intenzitet preko 8 mm/sat

Mjerenje količine oborina se obavlja instrumentima kao što su kišomjer, ombrograf i totalizator, a izmjerena količina se izražava u milimetrima (mm), što ustvari označava koliko je litara palo po metru kvadratnom ( $l/m^2$ ).

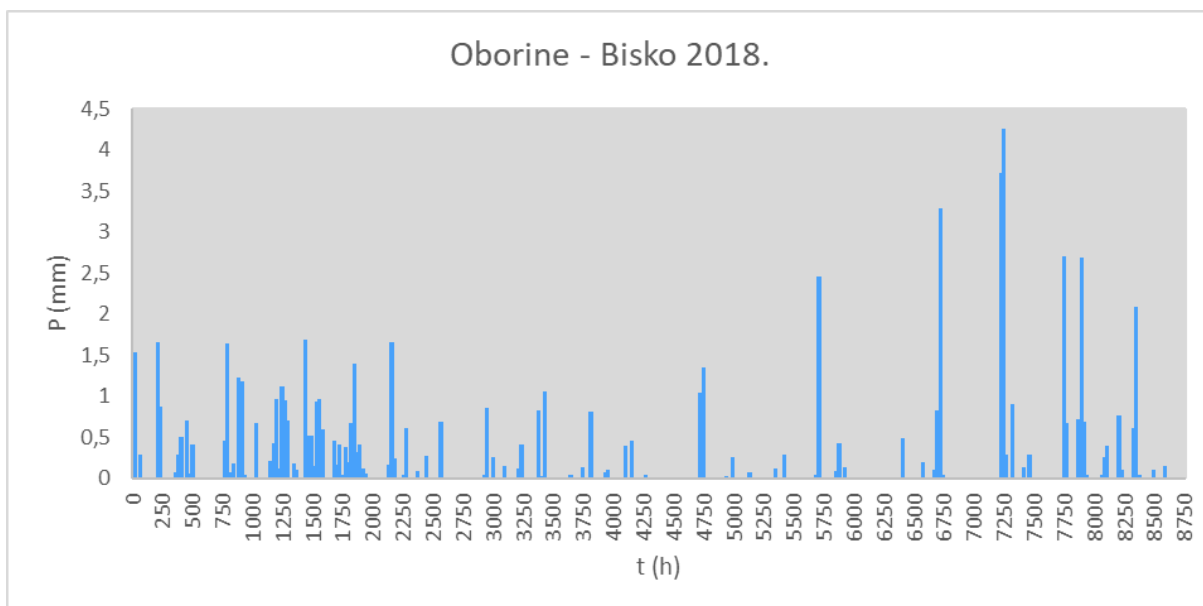
Analizirani su podaci iz DHMZ-a o količini oborina u Bisku, Dugopolju i Muću za 2017., 2018. i 2019. godinu. Za tablični prikaz analize korišteni su dnevni podaci (tablica 1.-tablica 9.), dok su se za grafički prikaz (slika 6.-slika 14.) koristili podaci konvertirani u satne.



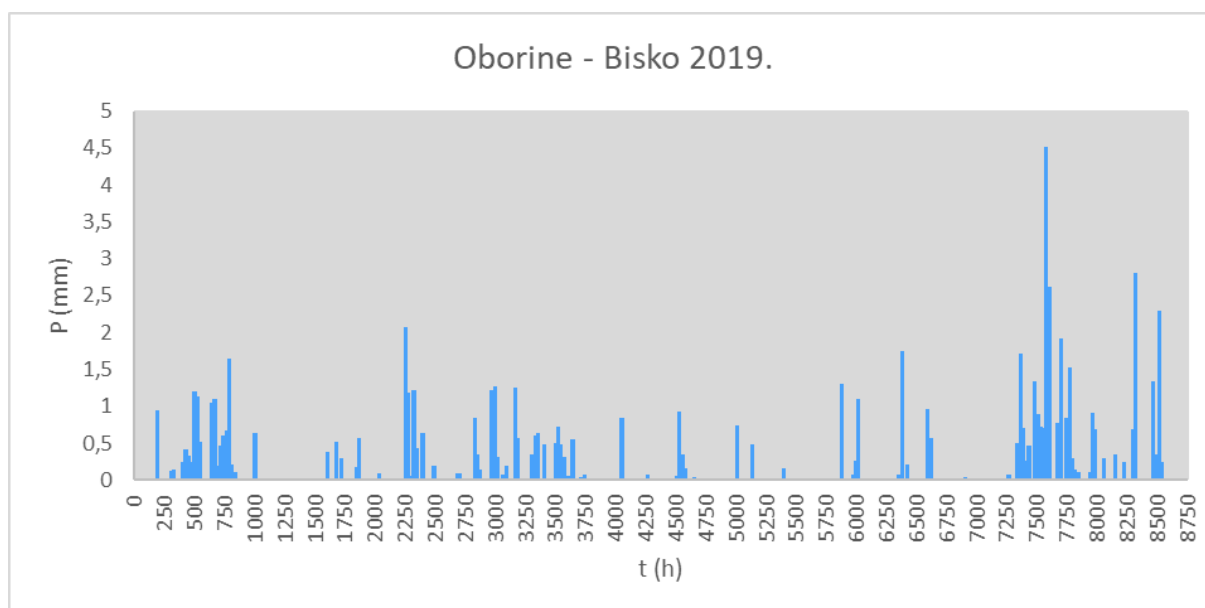
4.1.1. Oborine na mjernoj postaji Bisko (2017.-2019.)



Slika 6. Satne oborine 2017. godine za Bisko



Slika 7. Satne oborine 2018. godine za Bisko



Slika 8. Satne oborine 2019. godine za Bisko

Tablica 1. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2017. godine za Bisko

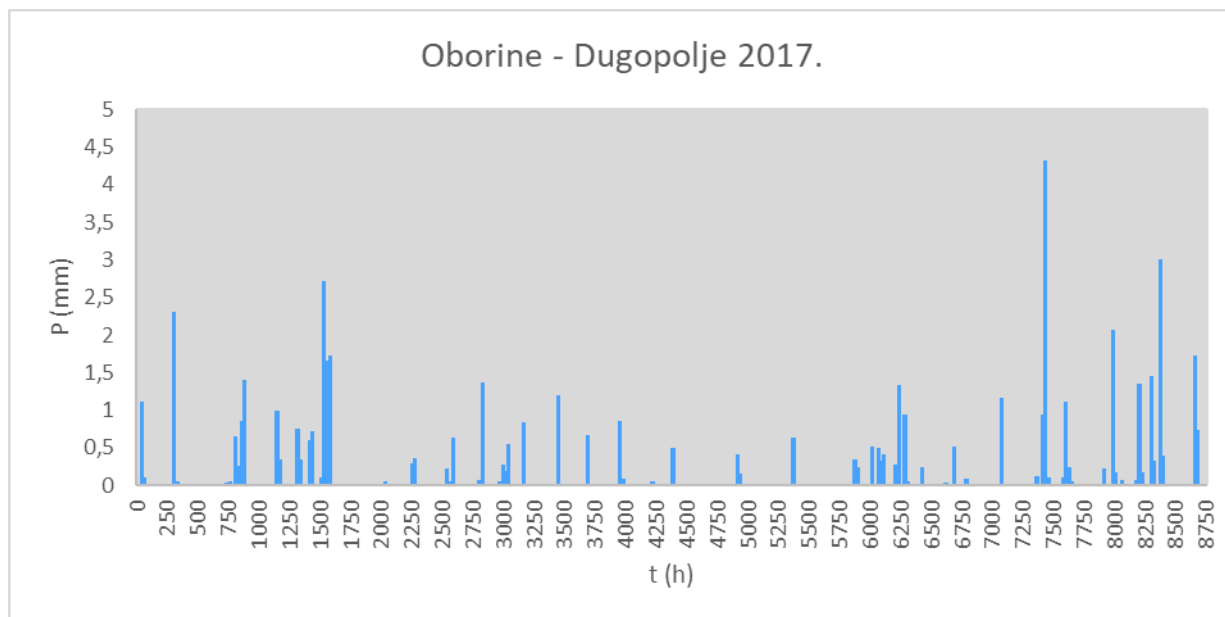
METEOROLOŠKA STANICA BSKO 2017.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
SUM	112,50	36,50	177,20	49,80	94,10	23,20	24,60	9,80	130,20	132,30	175,40	228,60	1194,20
MAX	93,90	122,80	57,30	24,20	26,60	17,70	12,60	9,00	27,60	92,50	82,70	110,30	122,80
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STDEV	16,91	9,77	13,27	5,35	6,94	3,25	3,07	1,62	6,99	17,15	16,11	21,07	11,97
PROSJEK	3,63	4,39	5,72	1,66	3,04	0,77	0,79	0,32	4,34	4,27	5,85	7,37	3,51

Tablica 2. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2018. godine za Bisko

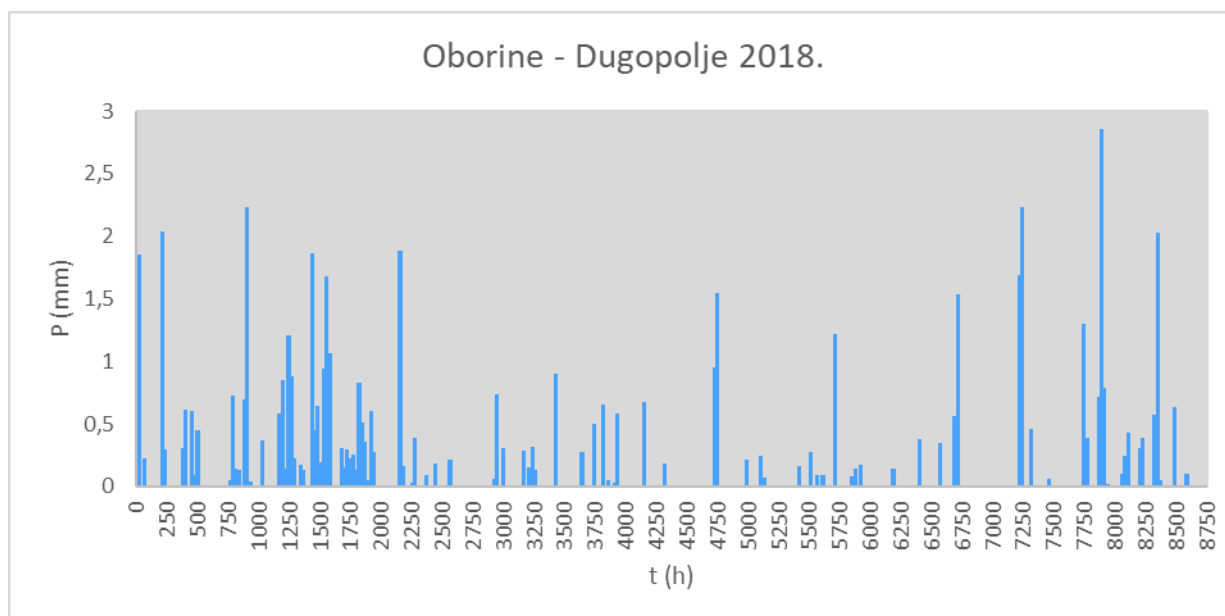
METEOROLOŠKA STANICA BSKO 2018.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
SUM	153,70	245,30	240,00	86,40	89,80	50,00	64,20	72,00	218,30	107,30	212,60	109,80	1649,40
MAX	39,60	39,30	40,40	39,80	25,30	19,40	32,40	59,10	102,00	78,90	64,80	50,10	102,00
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STDEV	10,39	11,67	10,38	8,10	6,71	4,25	7,26	10,62	24,23	14,47	16,85	9,73	12,33
PROSJEK	4,96	8,76	7,74	2,88	2,90	1,67	2,07	2,32	7,28	3,46	7,09	3,54	4,56

Tablica 3. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2019. godine za Bisko

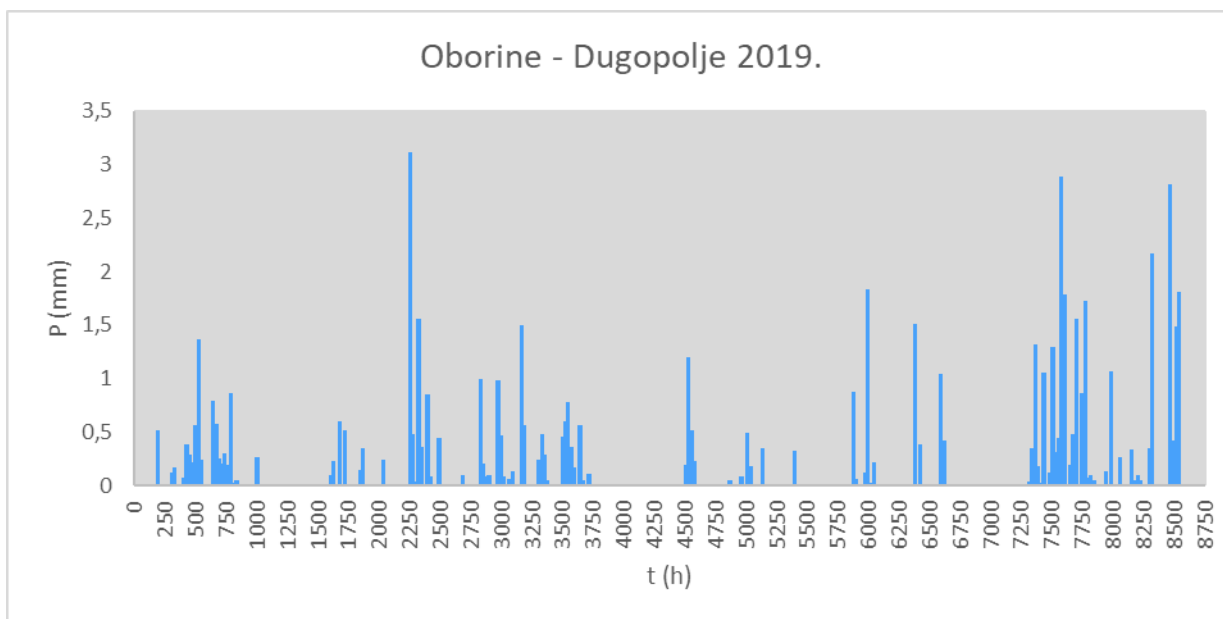
METEOROLOŠKA STANICA BSKO 2019.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
SUM	195,30	93,20	78,80	162,40	200,10	57,00	36,50	15,40	114,70	75,80	485,50	206,70	1721,40
MAX	29,00	39,40	20,40	49,60	30,30	20,40	22,10	11,60	42,10	23,00	108,20	67,40	108,20
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STDEV	9,59	8,57	5,11	11,47	9,57	5,28	4,20	2,17	10,30	6,52	23,84	16,10	11,48
PROSJEK	6,30	3,33	2,54	5,41	6,45	1,90	1,18	0,50	3,82	2,45	16,18	6,67	4,73

**4.1.2. Oborine na mjernoj postaji Dugopolje (2017.-2019.)**

*Slika 9. Satne oborine 2017. godine za Dugopolje*



*Slika 10. Satne oborine 2018. godine za Dugopolje*



Slika 11. Satne oborine 2019. godine za Dugopolje

Tablica 4. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2017. godine za Dugopolje

METEOROLOŠKA STANICA DUGOPOLJE 2017.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac	godišnje
SUM	85,50	135,80	181,00	72,30	74,50	40,00	26,00	15,20	123,70	43,10	224,30	227,40	1248,80
MAX	55,20	33,50	65,10	32,70	28,80	20,70	12,10	15,20	31,80	27,80	103,90	72,10	103,90
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STDEV	10,85	9,01	15,24	6,65	6,57	4,70	2,83	2,73	7,52	5,40	21,09	16,34	10,72
PROSJEK	2,76	4,85	5,84	2,41	2,40	1,33	0,84	0,49	4,12	1,39	7,48	7,34	3,44

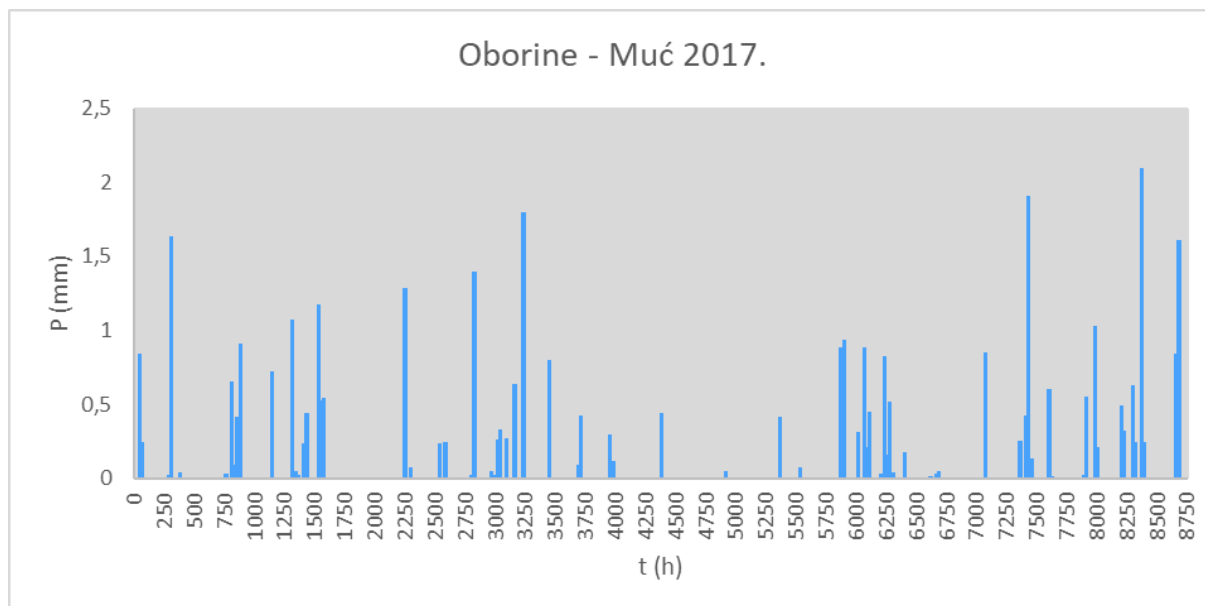
Tablica 5. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2018. godine za Dugopolje

METEOROLOŠKA STANICA DUGOPOLJE 2018.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac	godišnje
SUM	155,30	205,40	259,70	70,70	69,10	70,90	64,90	51,60	22,20	152,50	157,90	116,50	1396,70
MAX	48,80	53,50	44,80	45,10	21,50	16,10	37,10	29,30	9,10	53,50	68,50	48,70	68,50
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STDEV	11,92	12,15	11,62	8,35	5,17	5,08	7,71	5,41	1,96	13,36	14,01	9,40	9,69
PROSJEK	5,01	7,34	8,38	2,36	2,23	2,36	2,09	1,66	0,74	4,92	5,26	3,76	3,84

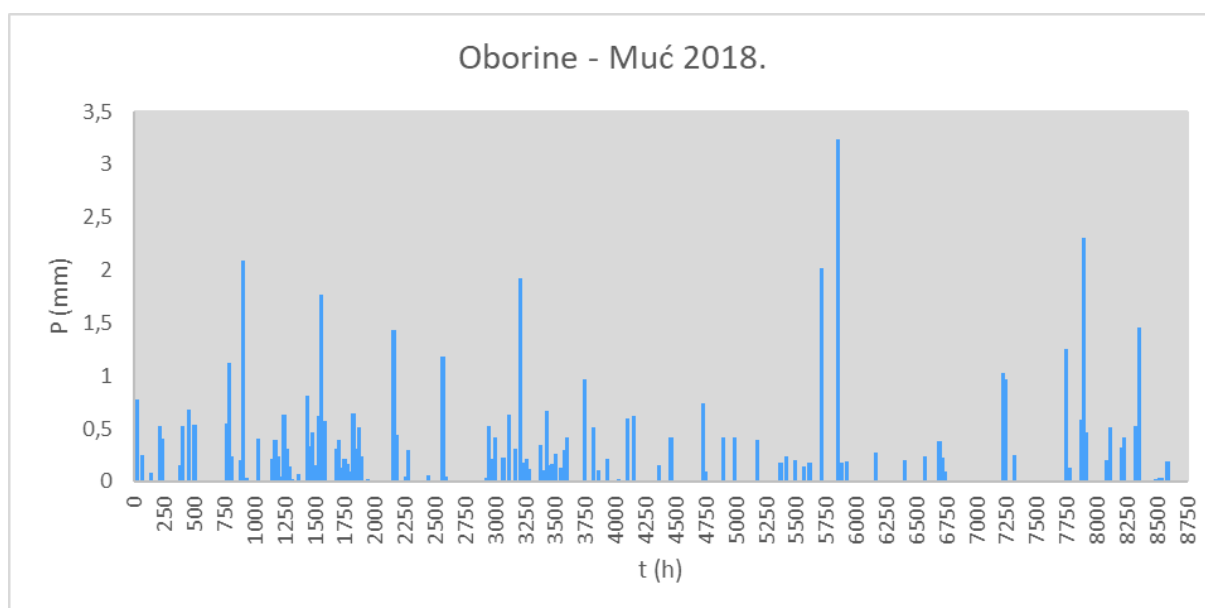
Tablica 6. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2019. godine za Dugopolje

METEOROLOŠKA STANICA DUGOPOLJE 2019.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac	godišnje
SUM	139,40	41,20	52,60	198,70	178,80	17,40	70,70	16,40	121,30	35,10	386,50	236,10	1494,20
MAX	32,80	20,80	14,30	74,80	35,90	13,50	28,80	8,30	44,10	25,00	69,30	67,40	74,80
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STDEV	7,38	4,27	3,74	15,57	8,47	2,50	5,88	2,01	10,70	4,79	17,55	17,22	10,40
PROSJEK	4,50	1,47	1,70	6,62	5,77	0,58	2,28	0,53	4,04	1,13	12,88	7,62	4,09

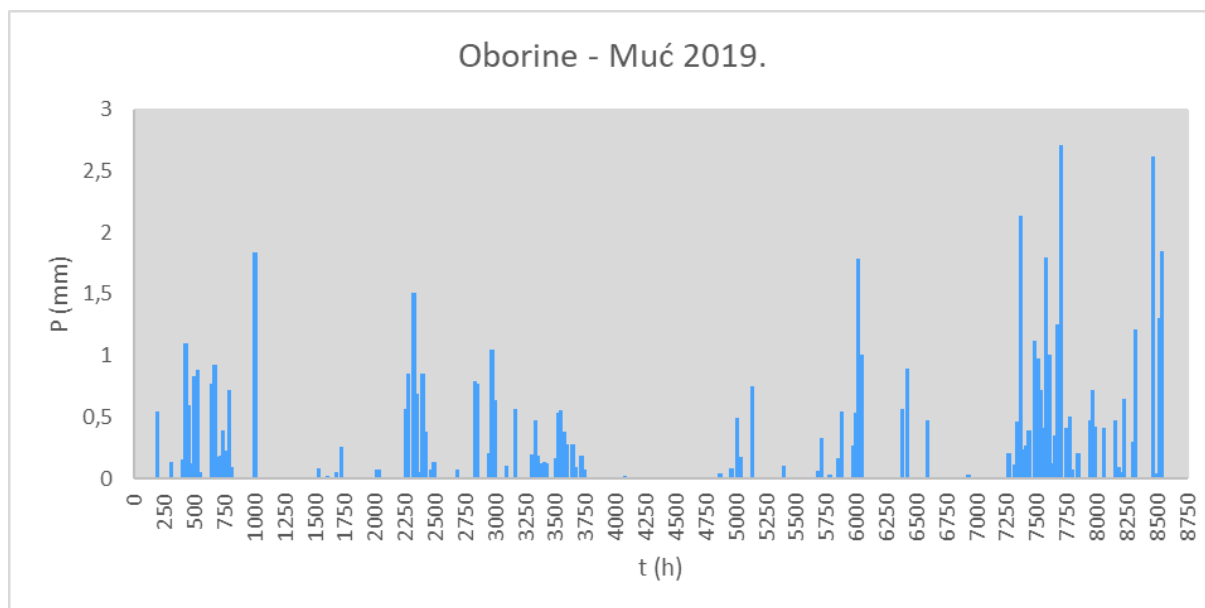
### 4.1.3. Oborine na mjernoj postaji Muć (2017.-2019.)



Slika 12. Satne oborine 2017. godine za Muć



Slika 13. Satne oborine 2018. godine za Muć



Slika 14. Satne oborine 2019. godine za Muć



Tablica 7. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2017. godine za Muć

METEOROLOŠKA STANICA MUĆ 2017.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
SUM	67,00	95,10	70,20	78,40	99,80	22,20	11,70	11,80	130,30	22,60	118,70	160,40	888,20
MAX	39,30	25,70	28,20	33,60	43,20	10,10	10,60	10,00	22,50	20,30	45,80	50,30	50,30
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STDEV	7,84	7,37	6,09	8,20	8,74	2,26	1,91	1,81	7,46	3,64	9,79	11,72	7,19
PROSJEK	2,16	3,40	2,26	2,61	3,22	0,74	0,38	0,38	4,34	0,73	3,96	5,17	2,45

Tablica 8. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2018. godine za Muć

METEOROLOŠKA STANICA MUĆ 2018.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
SUM	94,20	160,80	186,00	84,20	175,60	72,80	53,60	80,10	97,90	70,20	120,00	89,00	1284,40
MAX	18,50	50,20	42,50	34,40	46,20	23,20	17,80	48,30	77,70	24,60	55,30	34,90	77,70
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STDEV	5,64	10,69	8,87	8,13	8,85	5,78	4,25	8,79	14,17	6,15	11,54	7,02	8,69
PROSJEK	3,04	5,74	6,00	2,81	5,66	2,43	1,73	2,58	3,26	2,26	4,00	2,87	3,53

Tablica 9. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2019. godine za Muć

METEOROLOŠKA STANICA MUĆ 2019.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
SUM	155,90	78,70	13,60	162,00	137,80	15,90	0,00	30,70	138,70	17,20	406,30	216,10	1372,90
MAX	26,30	44,20	6,20	36,20	25,20	6,70	0,00	18,00	42,80	11,50	65,10	62,80	65,10
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
STDEV	8,27	8,94	1,23	9,35	6,22	1,51	0,00	3,50	9,85	2,22	16,16	15,01	9,24
PROSJEK	5,03	2,81	0,44	5,40	4,45	0,53	0,00	0,99	4,62	0,55	13,54	6,97	3,78

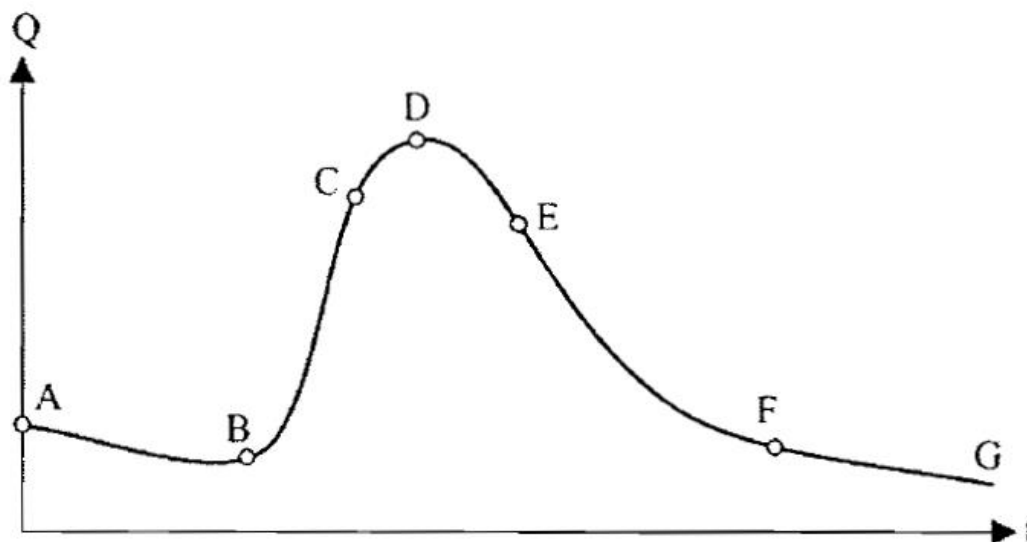
## 4.2. Protok

Protok je fizikalna mjera za količinu određenog fluida koja u jedinici vremena protječe kroz zadani presjek. Ovisno o području primjene, količina fluida se može izraziti pomoću volumena ili mase, iz čega proizlaze dvije vrste protoka: volumni i maseni. U hidrologiji je volumni protok vode jedan od ključnih elemenata vodnog toka, a mjeri se u kubnom metru po sekundi ( $m^3/s$ ), ili u litrama po sekundi ( $l/s$ ) ako je u pitanju manja količina vode. Protok se računa na osnovu formule:

$$Q = v \cdot A$$

gdje je  $v$  brzina vode, a  $A$  površina proticajnog presjeka.

Ukupno otjecanje kroz neki presjek se opisuje vremenskom funkcijom  $Q = f(t)$ , čiji se grafički prikaz naziva hidrogramom otjecanja. Oblik hidrograma na nekoj lokaciji ovisi o više kompleksnih i međusobno povezanih faktora, zbog čega se njegov oblik nikad ne može točno predvidjeti. Na primjer, ako za ulazne podatke na nekom slivu uzmemo dvije slične kiše u različitim vremenima, izlazni podatci nikad neće biti dva potpuno jednaka hidrograma. Neki od osnovnih faktora koji utječu na oblik hidrograma su fizičke i geološke karakteristike sliva i klimatski faktori. Formu hidrograma čine tri glavna dijela, a to su uspon, kruna i recesija.

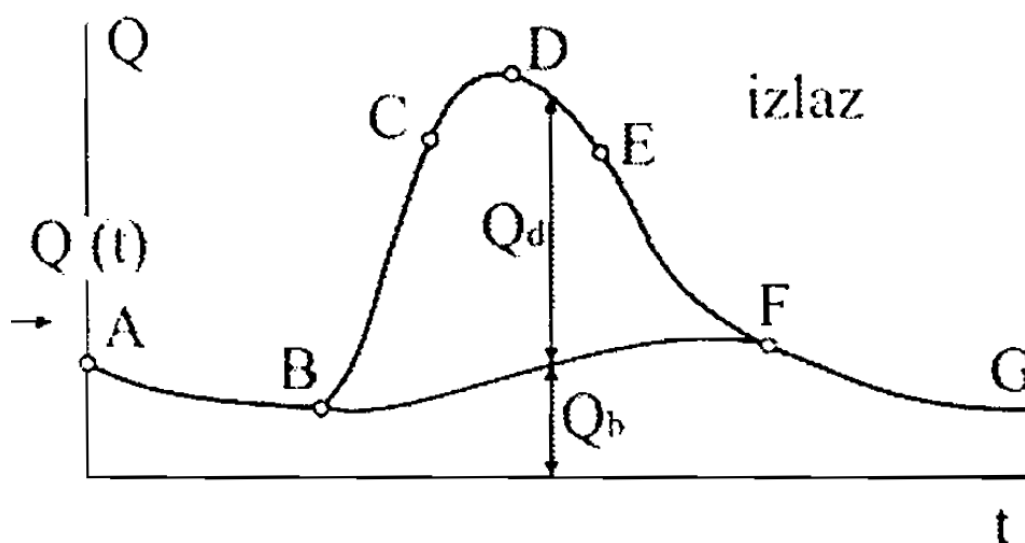


Slika 15. Shematski prikaz hidrograma otjecanja [6]

Na slici 15. je prikazan osnovni oblik hidrograma gdje je uočljivo različito ponašanje protoka u vremenu.

Na samom početku (od točke A do točke B) protok je u padu, jer ta dionica predstavlja period prije početka oborine. Kako kiša krene padati a protok rasti, tako se nakon točke B pa do točke C formira krivulja porasta. Ona predstavlja uzlazni dio hidrograma. Vršni hidrogram započinje točkom infleksije na grani rasta, odnosno točkom C, a završava točkom infleksije na opadajućoj grani, označenom slovom E. Unutar tog segmenta se nalazi točka D koja predstavlja vrh hidrograma, to jest maksimalnu trenutnu vrijednost protoka. Na preostalom dijelu hidrograma (E-F) slijedi krivulja recesije. Predstavlja period gdje po zavretku kiše akumulirana voda otječe, a jedini dotok vode postaju podzemne vode.

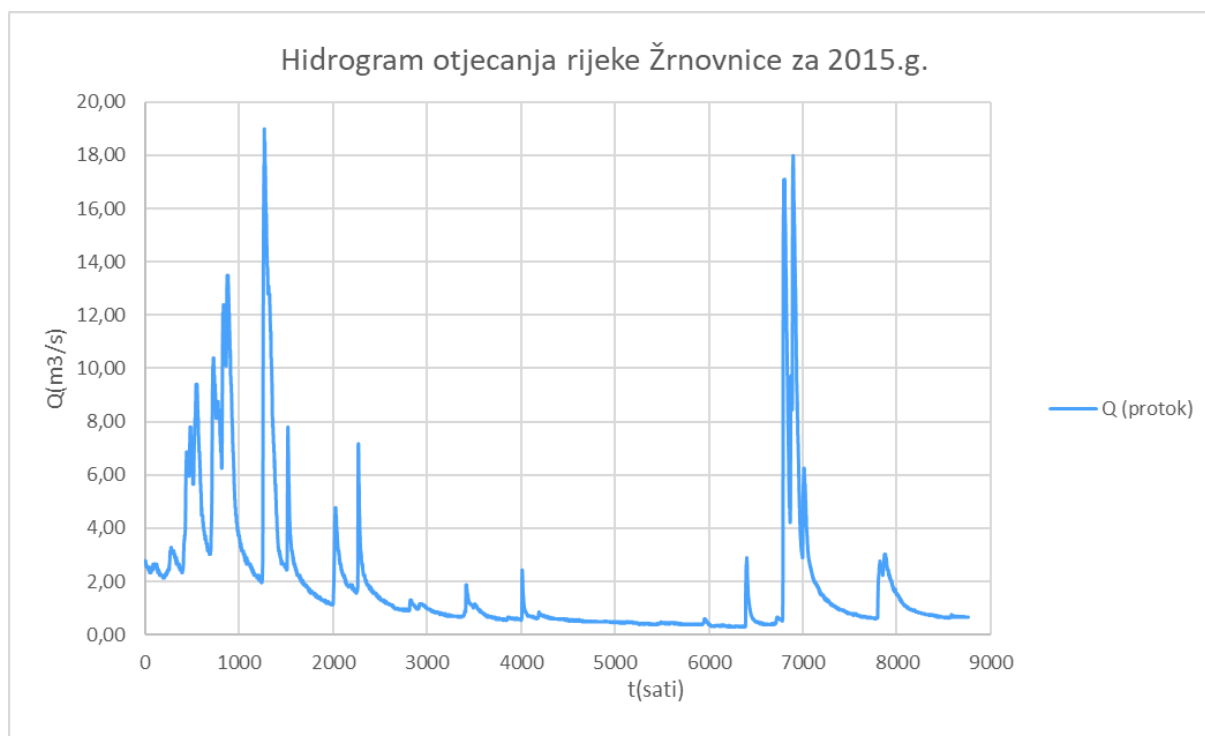
Otjecanje u hidrogramu se, prema slici 16., dijeli na dvije komponente: direktno i bazno otjecanje. Direktno otjecanje je izazvano padalinama koje padaju direktno na površinu vodotoka i terena, kao i brzim potpovršinskim otjecanjem. Sporo potpovršinsko otjecanje zajedno sa otjecanjem podzemnih voda sačinjava bazno otjecanje.



Slika 16. Hidrogram sa direktnim ( $Q_d$ ) i baznim ( $Q_b$ ) otjecanjem [6]

#### 4.2.1. Protok rijeke Žrnovnice (2015.-2019.)

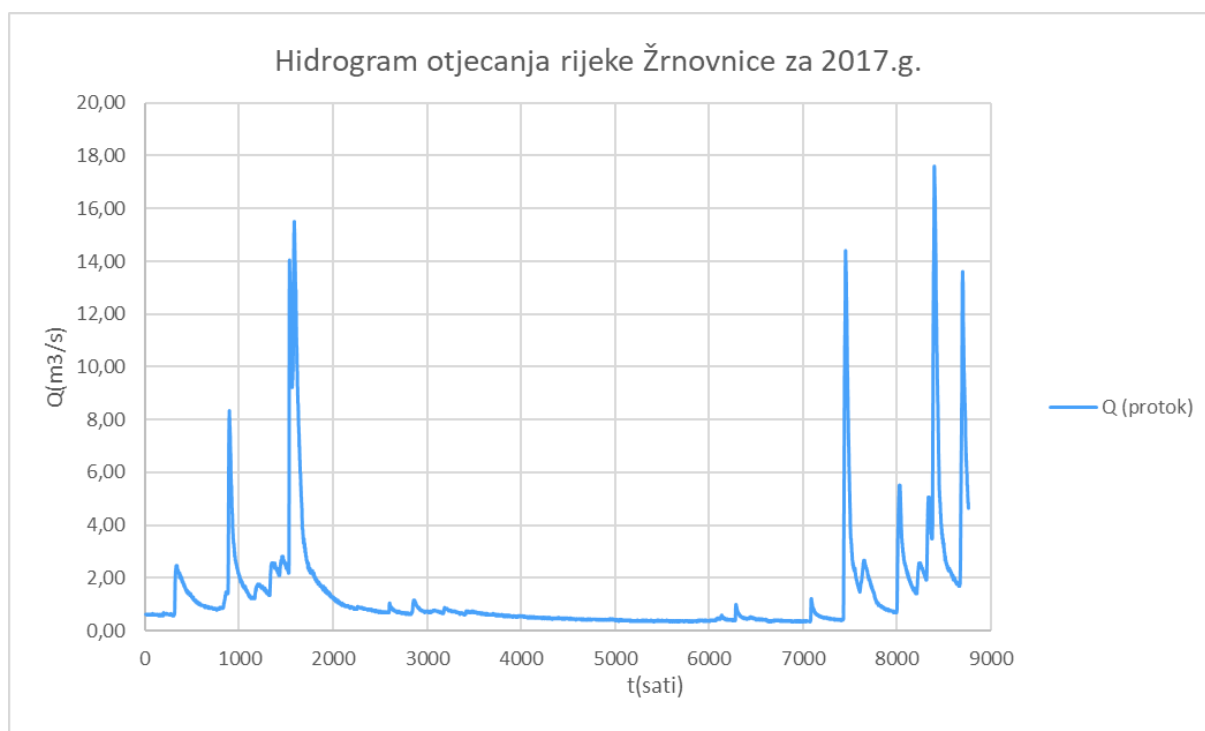
Izvršena je osnovna statistička analiza podataka o satnom protoku izvora rijeke Žrnovnice (slike 17.-21., tablice 10.-14.). Podaci su mjereni od strane DHMZ-a, a dostupni su za razdoblje od 1.1.2015. do 14.11.2019. u 14:00 sati.



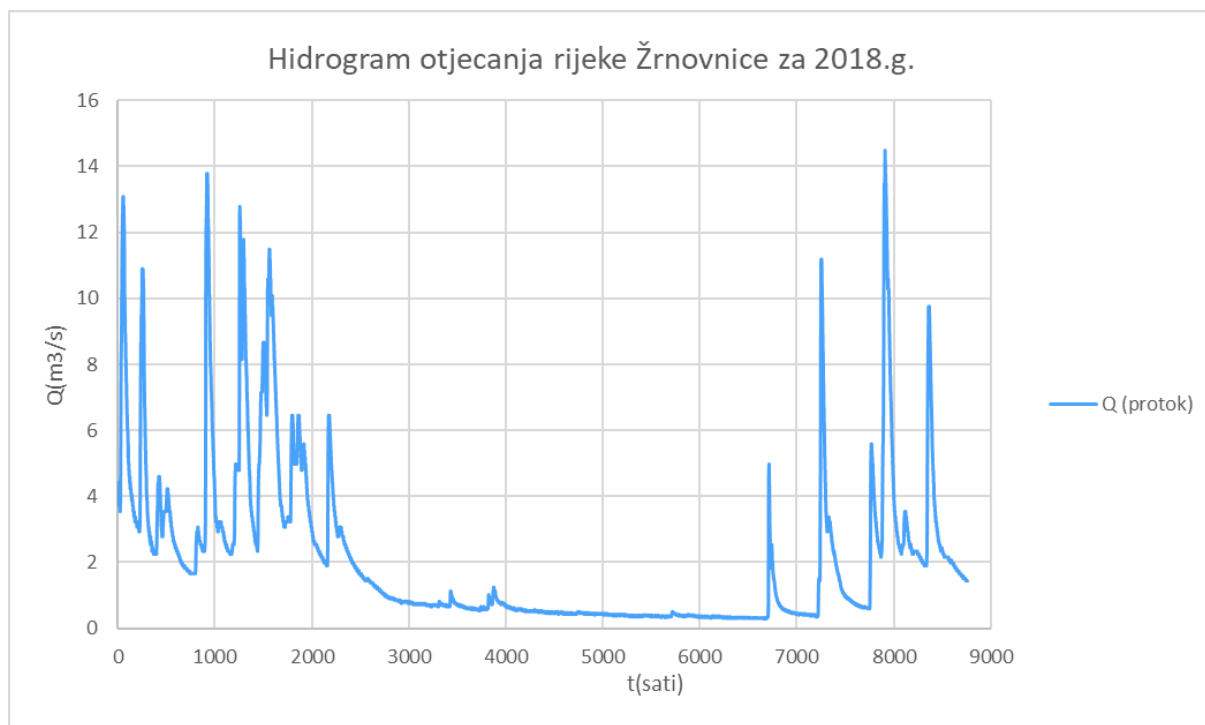
Slika 17. Hidrogram otjecanja rijeke Žrnovnice za 2015. godinu



Slika 18. Hidrogram otjecanja rijeke Žrnovnice za 2016. godinu



Slika 19. Hidrogram otjecanja rijeke Žrnovnice za 2017. godinu



Slika 20. Hidrogram otjecanja rijeke Žrnovnice za 2018. godinu



Slika 21. Hidrogram otjecanja rijeke Žrnovnice za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)

Tablica 10. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti protoka rijeke Žrnovnice za 2015. godinu

IZVOR ŽRNOVNICA - PROTOK 2015.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
MAX	10,40	19,00	7,81	7,18	1,88	2,44	0,64	0,49	2,90	18,00	3,03	1,43	19,00
MIN	2,14	1,96	1,13	0,90	0,67	0,55	0,44	0,39	0,30	0,39	0,61	0,64	0,30
STDEV	2,20	4,38	1,07	0,85	0,21	0,21	0,04	0,03	0,40	4,61	0,70	0,18	2,71
PROSJEK	4,04	6,83	2,28	1,57	0,92	0,69	0,52	0,43	0,49	3,84	1,23	0,81	1,97

Tablica 11. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti protoka rijeke Žrnovnice za 2016. godinu

IZVOR ŽRNOVNICA - PROTOK 2016.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
MAX	10,50	11,10	6,21	1,32	7,22	2,80	0,67	0,55	0,83	1,39	10,50	2,35	11,10
MIN	0,67	0,83	1,26	0,67	0,67	0,61	0,46	0,36	0,34	0,34	0,44	0,58	0,34
STDEV	1,65	2,63	1,32	0,16	1,13	0,50	0,04	0,04	0,08	0,23	1,87	0,46	1,50
PROSJEK	2,06	3,48	2,67	0,85	1,61	1,09	0,58	0,43	0,39	0,62	2,31	1,06	1,43

Tablica 12. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti protoka rijeke Žrnovnice za 2017. godinu

IZVOR ŽRNOVNICA - PROTOK 2017.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
MAX	2,45	8,33	15,50	1,14	0,94	0,64	0,49	0,39	0,98	1,20	14,40	17,60	17,60
MIN	0,55	0,76	0,90	0,61	0,58	0,41	0,34	0,32	0,32	0,32	0,36	1,39	0,32
STDEV	0,51	1,32	3,50	0,11	0,06	0,05	0,03	0,02	0,10	0,14	2,63	3,43	2,06
PROSJEK	1,01	1,97	3,34	0,77	0,70	0,52	0,42	0,35	0,43	0,42	2,07	4,11	1,34

Tablica 13. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti protoka rijeke Žrnovnice za 2018. godinu

IZVOR ŽRNOVNICA - PROTOK 2018.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
MAX	13,10	13,80	11,50	6,47	1,14	1,26	0,55	0,52	0,44	11,20	14,50	9,77	14,50
MIN	1,67	1,67	1,91	0,87	0,61	0,49	0,41	0,34	0,32	0,30	0,61	1,45	0,30
STDEV	2,61	3,18	2,44	1,23	0,08	0,15	0,03	0,03	0,03	2,05	3,16	1,60	2,48
PROSJEK	4,13	4,67	4,90	2,03	0,75	0,66	0,47	0,40	0,35	1,20	3,01	2,76	2,11

Tablica 14. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti protoka rijeke Žrnovnice za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)

IZVOR ŽRNOVNICA - PROTOK 2019.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
MAX	9,95	8,06	1,42	13,80	9,62	3,16	0,73	0,55	0,55	0,58	15,50	*ND	15,50
MIN	0,83	0,94	0,73	0,83	1,24	0,64	0,52	0,44	0,39	0,34	0,36	*ND	0,34
STDEV	1,90	1,71	0,17	2,80	1,72	0,69	0,05	0,03	0,02	0,04	3,90	*ND	1,33
PROSJEK	2,18	2,36	0,98	3,09	3,02	1,40	0,60	0,48	0,46	0,40	2,53	*ND	1,59

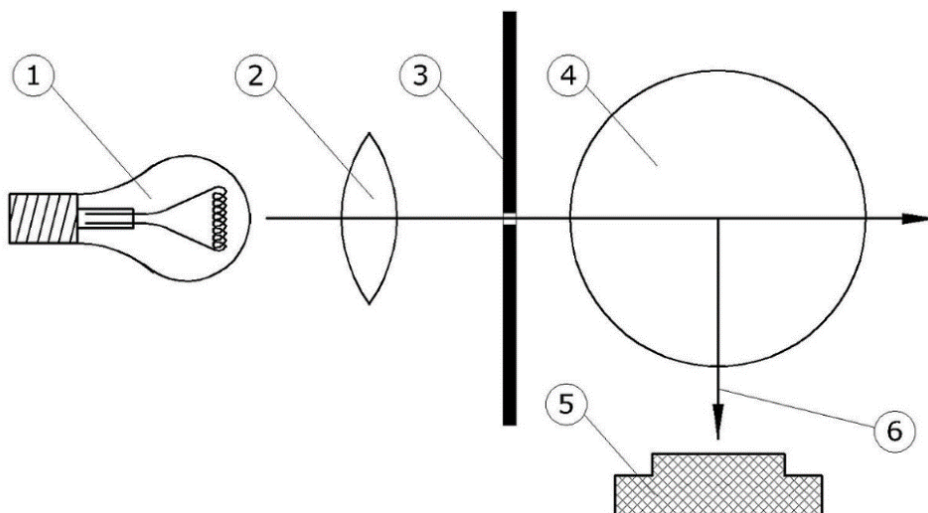
\*podaci o protoku nisu dostupni za označeni dio godine

### 4.3. Mutnoća

Mutnoća je osnovni indikator kvalitete vode, a predstavlja mjeru zamućenosti kapljevine. Uzrok nastanka mutnoće je prisustvo suspendiranih i otopljenih tvari koje smanjuju prozirnost tekućine. Naziv vuče korijene iz latinske riječi "turbidus", što znači nemiran, uzburkan. Mutnoća najčešće nastaje nakon kratkotrajnih kiša visokog intenziteta, koje pokreću proces erozije površinskog materijala, i otjecanje istog u podzemne tokove. Uglavnom se radi o česticama gline, pijeska, raznih mikroorganizama, organskih i anorganskih tvari i slično. Determinante koje utječu na razinu mutnoće su veličina protoka, jačina padalina, geološka i hidrogeološka svojstva sliva, biljni pokrov, karakteristike tla (struktura, tekstura...) i mnoge druge. Ljudska ruka može pridonijeti mutnoći kroz poljoprivredu, urbanizaciju, industriju, šumarstvo, rudarstvo i neadekvatno upravljanje vodnim resursima. Šumski požar također može utjecati na mutnoću na način da sva izgorena vegetacija usljed prvih padalina erodira i postaje suspendirani nanos u vodi.

Osnovni problem mutnoće je taj što se povećanjem mutnoće smanjuje sposobnost prodiranja sunčevih zraka kroz vodu, pa se shodno tome usporava proces fotosinteze i reducira količina kisika. Rezultat toga je razgradnja organskih tvari u anaerobnim uvjetima, što dovodi do stvaranja plinova i neugodnih mirisa.

Uređaj za mjerenje mutnoće naziva se nefelometar, a metoda mjerenja nefelometrija. Nefelometar mjeri jačinu elastično raspršene zrake na suspenziji pod kutom od  $90^\circ$  u odnosu na izvorne zrake svjetlosti. Intenzitet raspršenja zrake svjetla je veći što je mutnoća veća. Dijelovi nefelometra prema slici 22. su: izvor svjetlosti (1), optička leća (2), otvor u objektivu (3), okrugla kiveta (4), fotomultiplikator (5) i raspršene zrake svjetlosti (6).



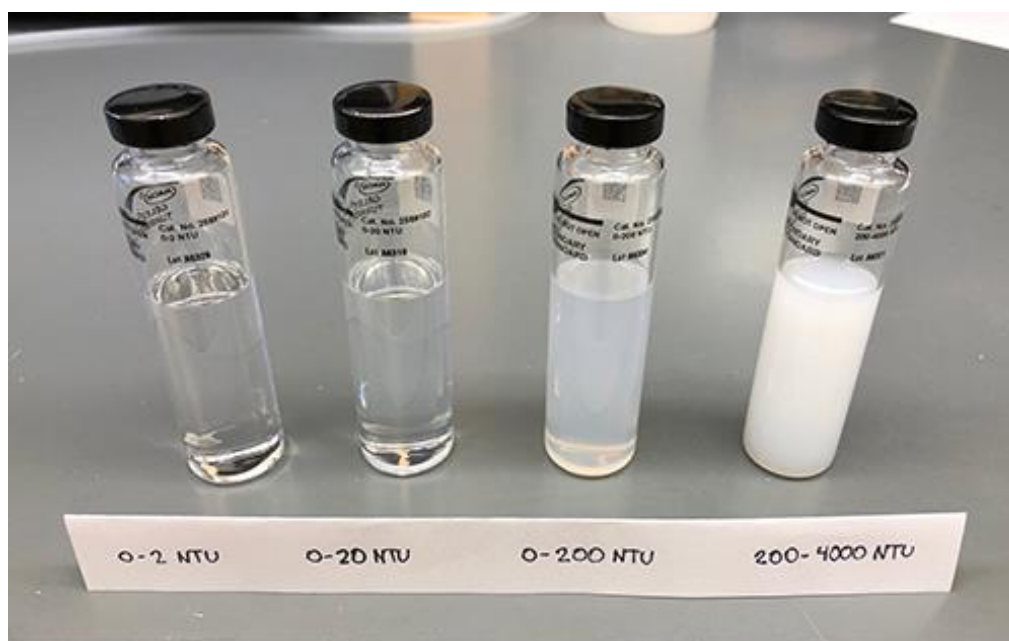
Slika 22. Nefelometar [7]



Mutnoća se najčešće izražava nefelometarskom jedinicom mutnoće, odnosno NTU (eng. Nephelometric Turbidity Unit). Stupanj zamućenja vode u odnosu na vrijednost NTU može se vidjeti na slici 23. Indeks mutnoće se prema kanadskim propisima klasificira prema sljedećim kriterijima:

- DOBAR („good“) – za  $NTU < 1$
- POGODAN („fair“) – za  $1 < NTU < 5$
- LOŠ („poor“) – za  $NTU > 5$

U Hrvatskoj je granična vrijednost za pogodni indeks mutnoće 4 NTU, što je maksimalno dozvoljeno zamućenje za koje se voda smatra pitkom.



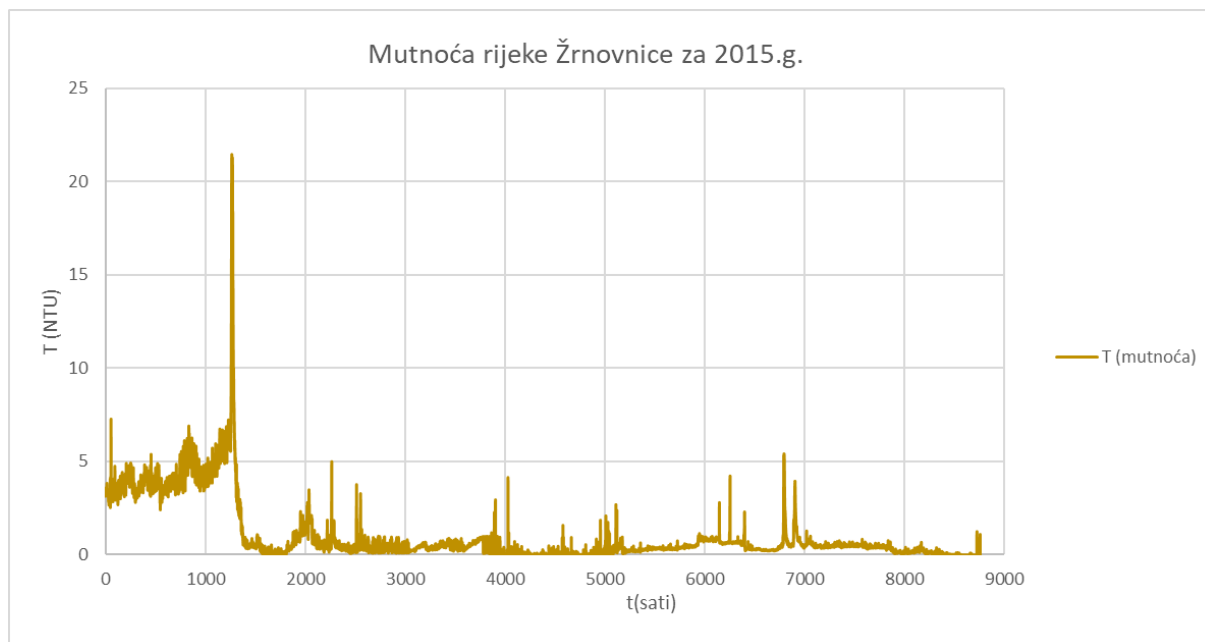
Slika 23. Uzorci vode sa različitim vrijednostima NTU (Montana State University)[8]

Grafički prikaz mutnoće u vremenu naziva turbidograf.

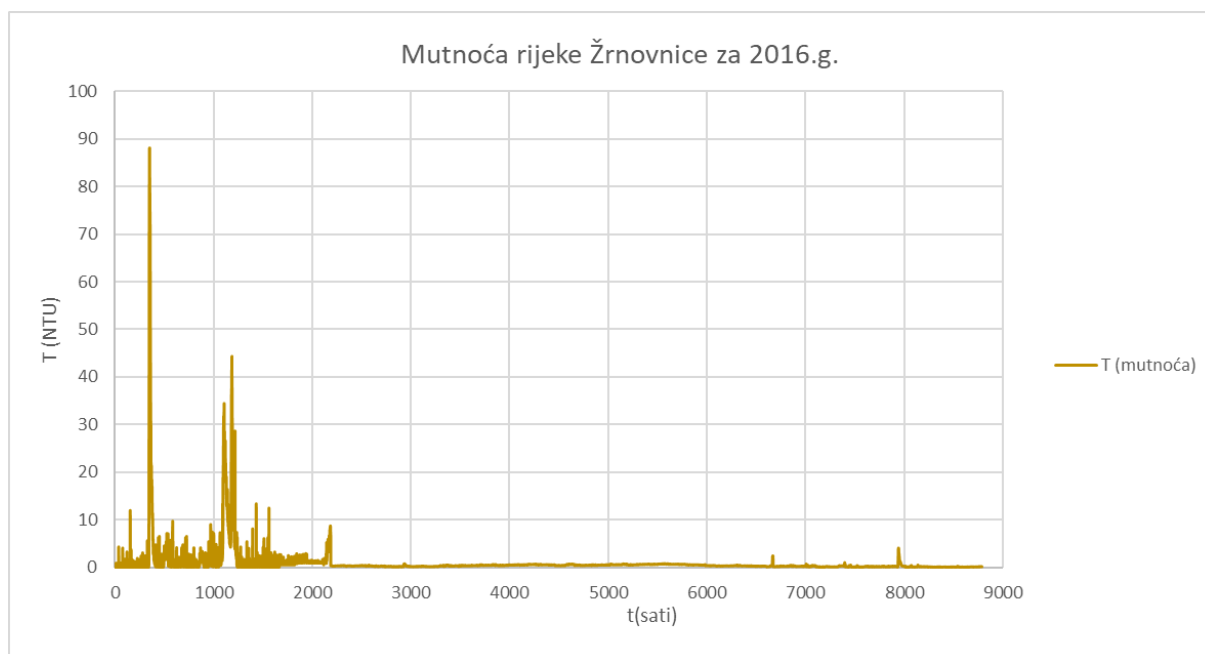
Mutnoća vode se često koristi kao mjera bistrine vode. Bistrina ili prozirnost je parametar koji na osnovu dubine na koju svjetlo prodire opisuje koliko je voda bistra. Dubina prodiranja svjetlosti je veća što je bistrina veća, a ovisi i o režimu strujanja tekućine. Svjetlost će doseći veću dubinu u mirnoj nego u turbulentnoj vodi. Bistrina se mjeri u metrima, centimetrima ili milimetrima. Izmjerena vrijednost koja je manja od 1 m sugerira na visoku količinu suspendiranih čestica. Izrazito čiste vode mogu doseći vrijednost 30-40 m.

Dobiveni su podaci od Hrvatskih voda o satnoj mutnoći izvora rijeke Žrnovnice, a rezultati analize za godine 2015.-2019. su priloženi u nastavku na slikama 24.-28., i u tablicama 15.-19.

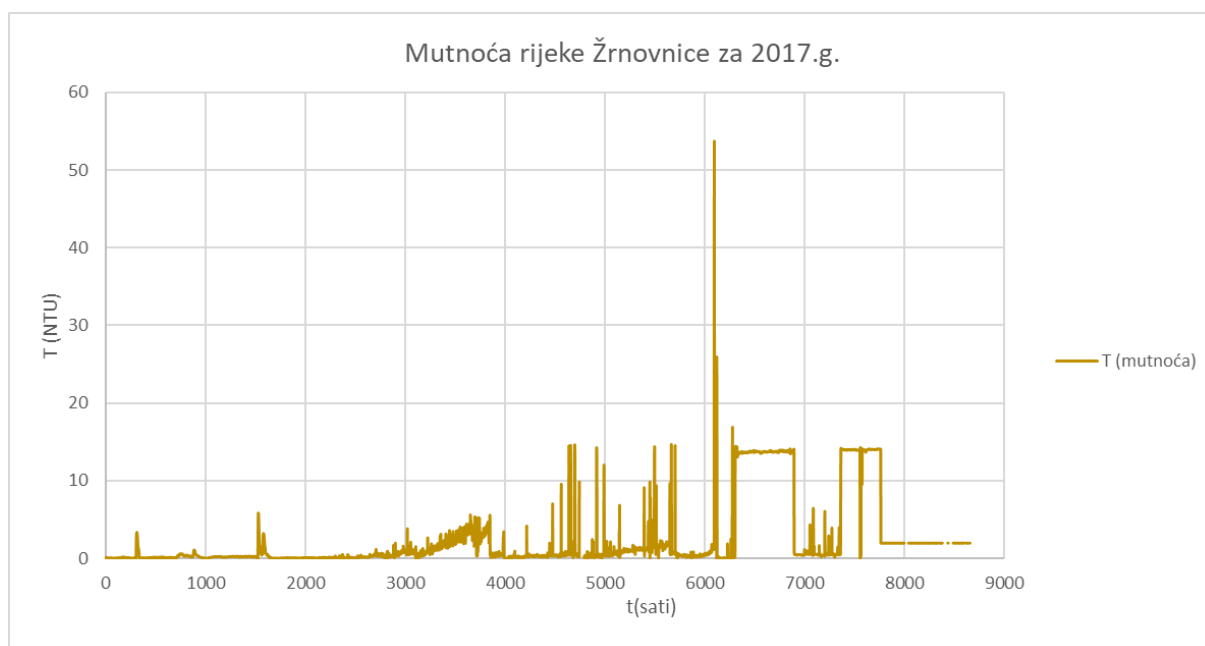
### 4.3.1. Mutnoća rijeke Žrnovnice (2015.-2019.)



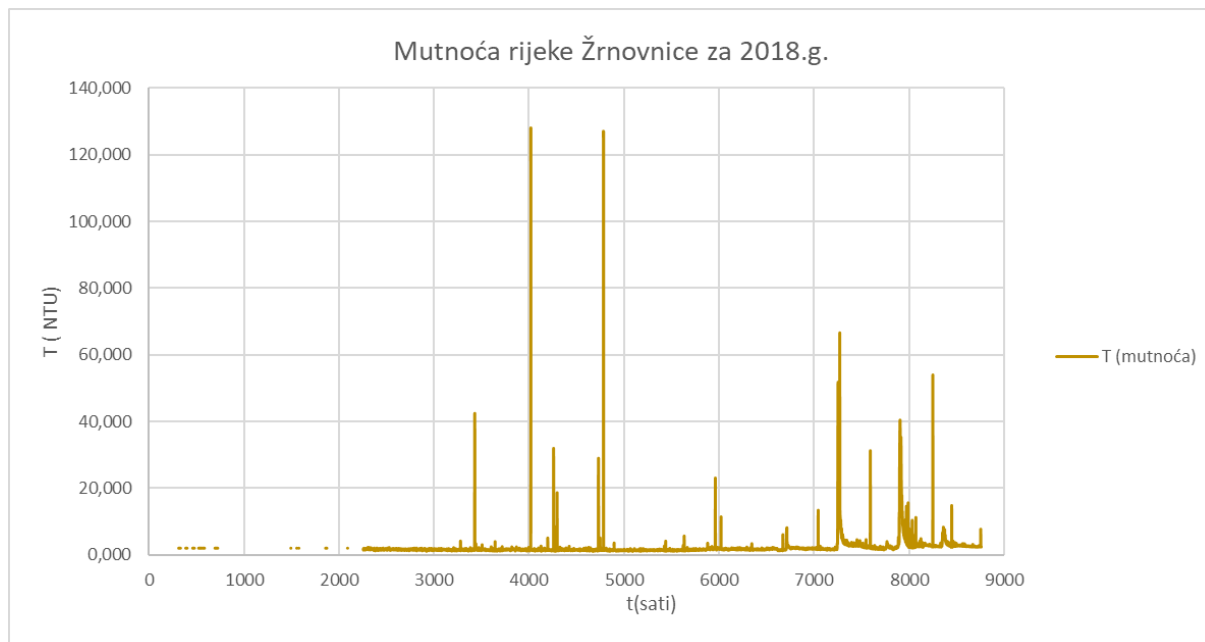
Slika 24. Turbidograf rijeke Žrnovnice za 2015. godinu



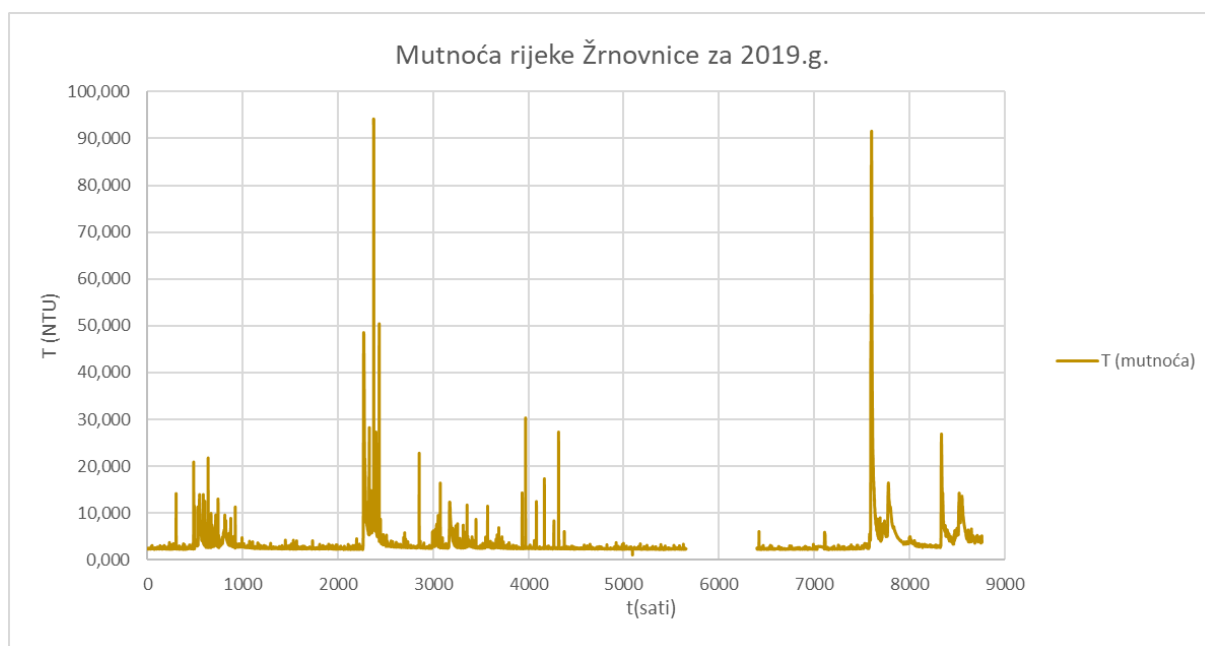
Slika 25. Turbidograf rijeke Žrnovnice za 2016. godinu



Slika 26. Turbidograf rijeke Žrnovnice za 2017. godinu



Slika 27. Turbidograf rijeke Žrnovnice za 2018. godinu



Slika 28. Turbidograf rijeke Žrnovnice za 2019. godinu

Tablica 15. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti mutnoće rijeke Žrnovnice za 2015. godinu

ŽRNOVNICA - MUTNOĆA 2015.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
MAX	7,26	21,48	3,49	5,01	0,94	4,14	2,10	2,64	4,18	5,42	0,84	1,25	21,48
MIN	2,42	0,34	0,00	0,08	0,10	0,00	0,00	0,05	0,22	0,21	0,04	0,00	0,00
STDEV	0,48	2,80	0,56	0,39	0,18	0,39	0,20	0,16	0,30	0,69	0,15	0,11	1,69
PROSJEK	3,75	4,87	0,59	0,47	0,40	0,29	0,09	0,33	0,63	0,62	0,40	0,09	1,04

Tablica 16. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti mutnoće rijeke Žrnovnice za 2016. godinu

ŽRNOVNICA - MUTNOĆA 2016.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
MAX	88,05	44,15	13,30	7,32	0,72	0,66	0,69	0,76	0,54	2,39	4,01	0,43	88,05
MIN	0,00	0,00	0,00	0,04	0,07	0,29	0,29	0,41	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
STDEV	9,99	7,18	1,44	0,27	0,11	0,07	0,07	0,07	0,09	0,20	0,43	0,05	3,74
PROSJEK	2,71	3,83	1,16	0,23	0,23	0,45	0,44	0,57	0,30	0,17	0,20	0,05	0,86

Tablica 17. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti mutnoće rijeke Žrnovnice za 2017. godinu

ŽRNOVNICA - MUTNOĆA 2017.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
MAX	3,38	1,11	5,86	1,17	4,45	5,62	14,58	14,66	53,40	14,12	14,21	2,00	53,40
MIN	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,23	0,18	2,00	0,00
STDEV	0,42	0,16	0,72	0,16	0,98	1,59	2,65	1,53	6,67	6,56	6,10	0,00	4,41
PROSJEK	0,20	0,28	0,32	0,21	1,49	1,32	1,03	1,28	5,41	6,67	8,58	2,00	2,40

Tablica 18. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti mutnoće rijeke Žrnovnice za 2018. godinu

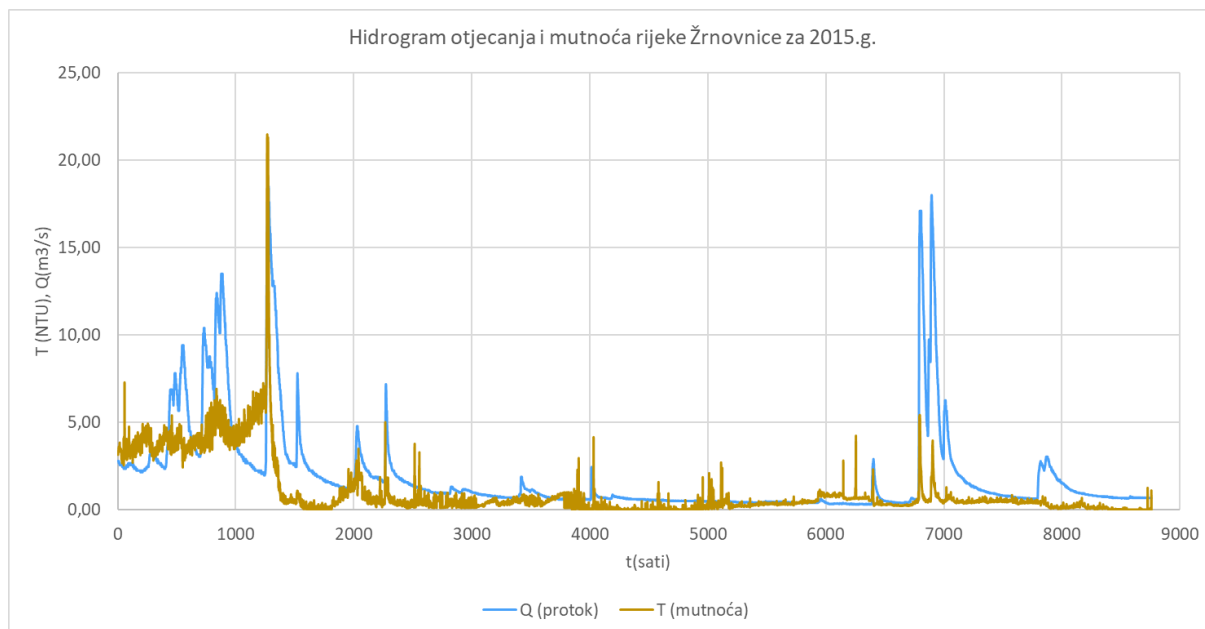
ŽRNOVNICA - MUTNOĆA 2018.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
MAX	2,00	2,00	2,00	2,29	41,97	128,14	127,13	5,66	23,08	66,67	40,47	54,03	128,14
MIN	2,00	2,00	2,00	1,20	1,08	1,04	1,02	1,03	1,29	1,22	1,49	2,06	1,02
STDEV	0,00	0,00	0,00	0,17	1,73	4,91	4,75	0,24	0,89	5,55	5,32	2,14	3,63
PROSJEK	2,00	2,00	2,00	1,64	1,61	1,77	1,68	1,45	1,76	2,97	3,93	2,97	2,15

Tablica 19. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti mutnoće rijeke Žrnovnice za 2019. godinu

ŽRNOVNICA - MUTNOĆA 2019.													
MJESEC	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac	godišnje
MAX	21,81	11,33	4,24	94,26	16,43	30,37	6,09	3,45	6,07	5,92	91,67	26,87	94,26
MIN	2,21	2,32	2,20	2,19	2,45	2,32	2,23	1,06	2,22	2,16	2,25	2,62	1,06
STDEV	2,10	0,97	0,20	6,70	1,51	1,65	0,20	0,15	0,32	0,35	9,62	3,12	2,98
PROSJEK	3,31	3,05	2,48	4,99	3,30	2,73	2,44	2,38	2,39	2,45	6,40	4,93	3,40

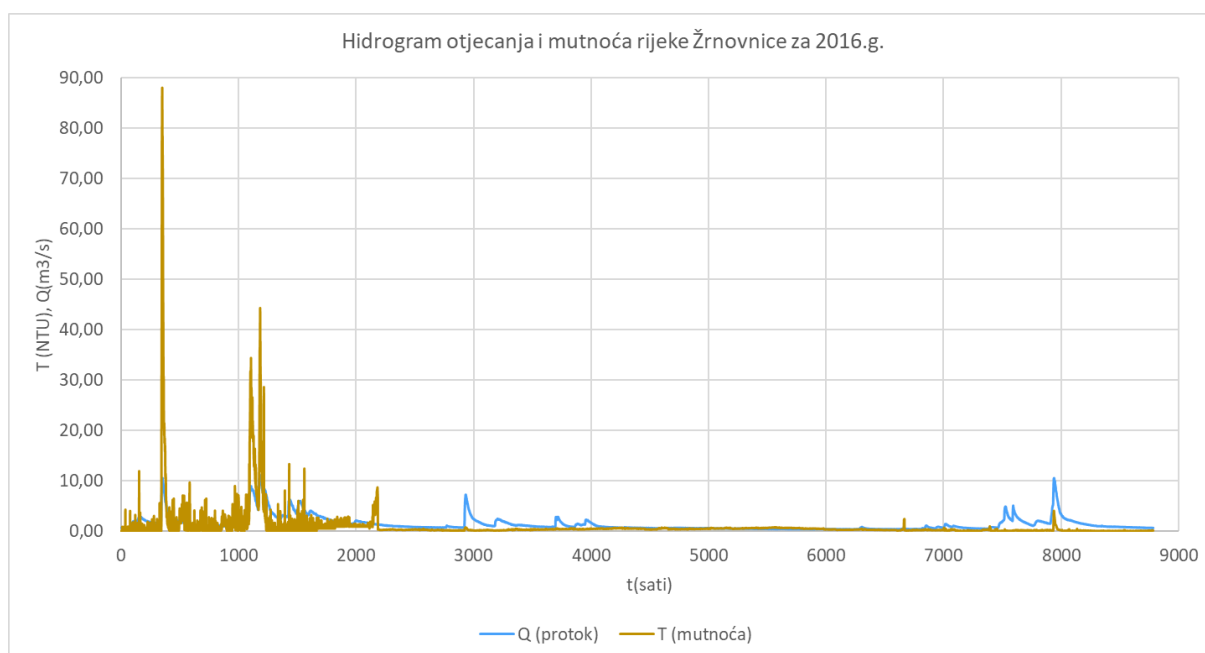
#### 4.4. Istovremeni prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice (2015.-2019.)

- 2015.



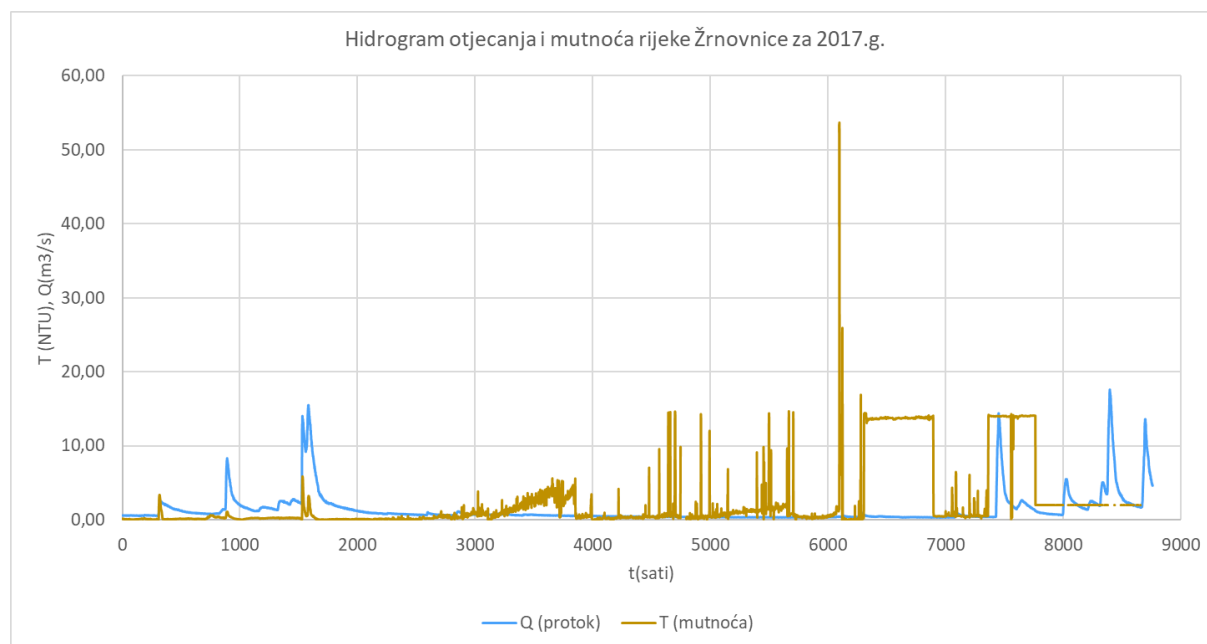
Slika 29. Grafički prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za 2015. godinu

- 2016.



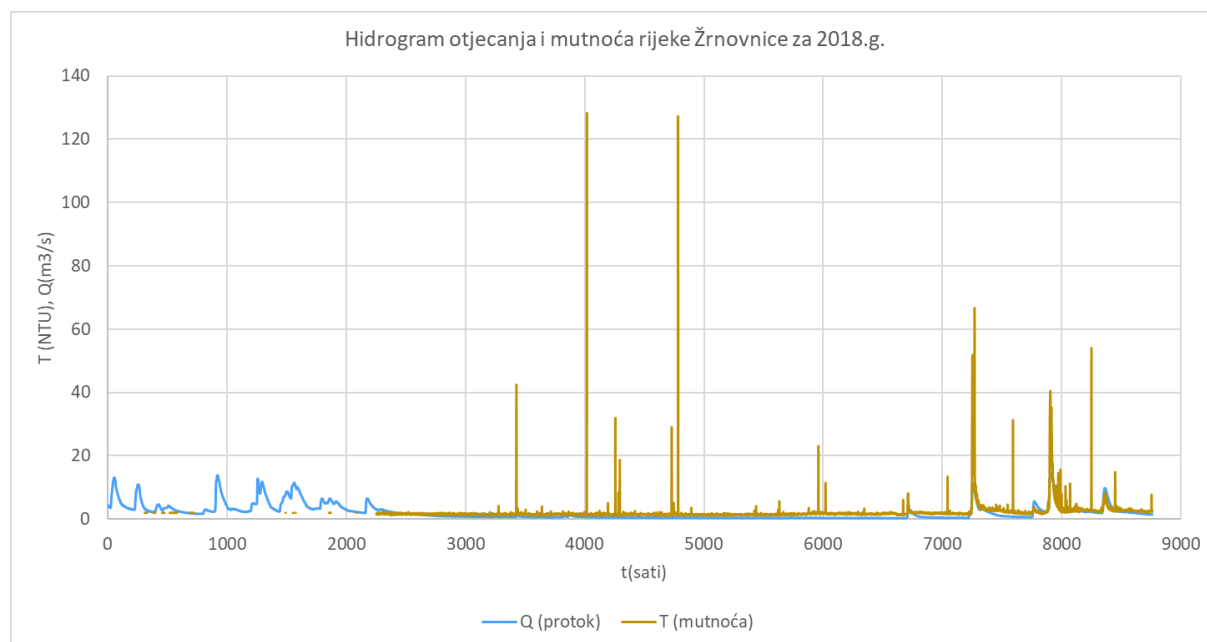
Slika 30. Grafički prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za 2016. godinu

- 2017.



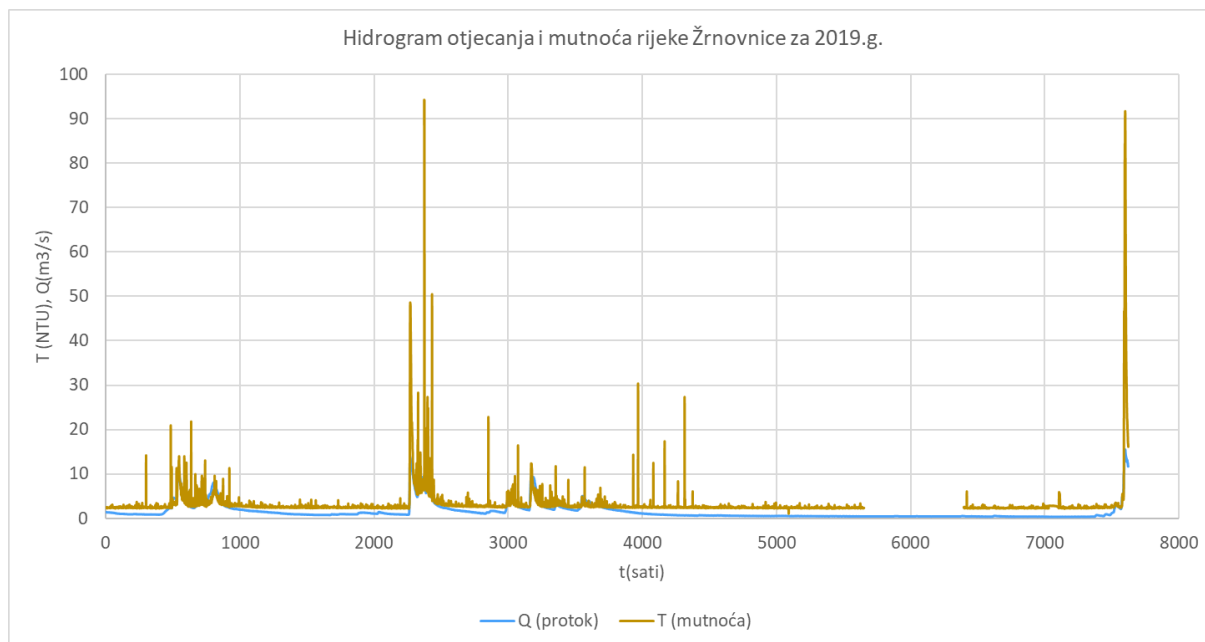
Slika 31. Grafički prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za 2017. godinu

- 2018.



Slika 32. Grafički prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za 2018. godinu

- 2019.



Slika 33. Grafički prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za 2019. godinu



## 5. RECESIJSKO RAZDOBLJE

U potpoglavlju 4.2. nabrojani su i opisani dijelovi hidrograma otjecanja. U ovom poglavlju je fokus na krivulji recesije (dio hidrograma E-F-G na slici 15).

Po završetku oborina i potpunom prestanku površinskog otjecanja dolazi do podzemnog otjecanja, koje će trajati ovisno o karakteristikama sliva. Sposobnost akumuliranja vode u podzemlju je jako bitna značajka sliva jer se za vrijeme sušnih razdoblja rijeke i izvori mogu snabdijevati jedino podzemnim vodama koje su sakupljene i zadržane u prethodnom oborinskom razdoblju.

Pronalaskom poveznice protoka i vremena, omogućava se provođenje prognoze o količini istjecanja u budućim periodima, ali pod uvjetom da u prognoziranom vremenu neće padati značajne oborina.

Dakle, bazni protok rijeke je ovisan o prilivu podzemnih voda u njeno korito. Što više traje period bez oborina, priliv u korito se smanjuje, a hidrogram poprima oblik koji se može aproksimirati eksponencijalnom krivuljom izraza (*Maillet 1905.*):

$$Q(t) = Q_0(t_0) \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$$

$Q(t)$  – protok u trenutku ( $t$ )

$Q_0(t_0)$  – protok u proizvoljnom trenutku  $t_0$  koji prethodi trenutku  $t$

$e$  – baza prirodnog logaritma

$\alpha$  – koeficijent recesije ( pražnjenja vodonosnika) dimenzije [ $T^{-1}$ ]

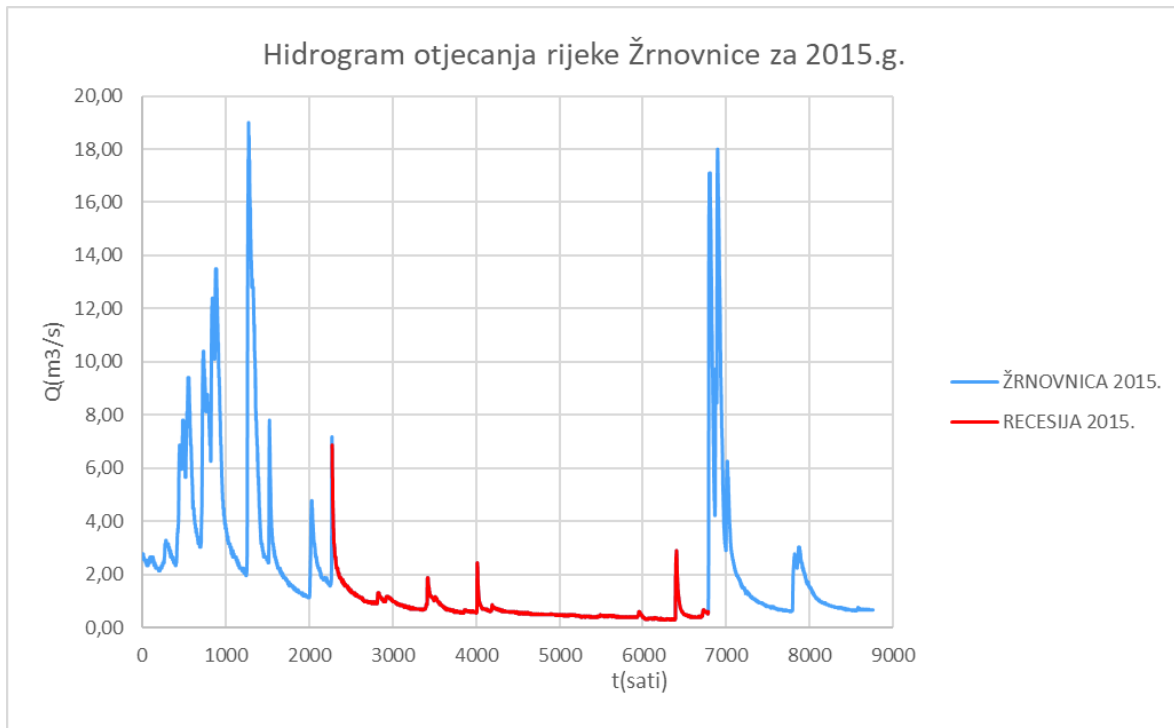
$(t - t_0)$  – vrijeme trajanja recesije

Krivulja recesije se može prikazati u polu-logaritamskom mjerilu, na način da se na apscisi postavi vrijeme a na ordinati logaritmi protoka. Kao rezultat toga dobit će se prikaz krivulje koja predstavlja dio krivulje direktnog otjecanja, i pravca koji predstavlja dio krivulje baznog otjecanja.

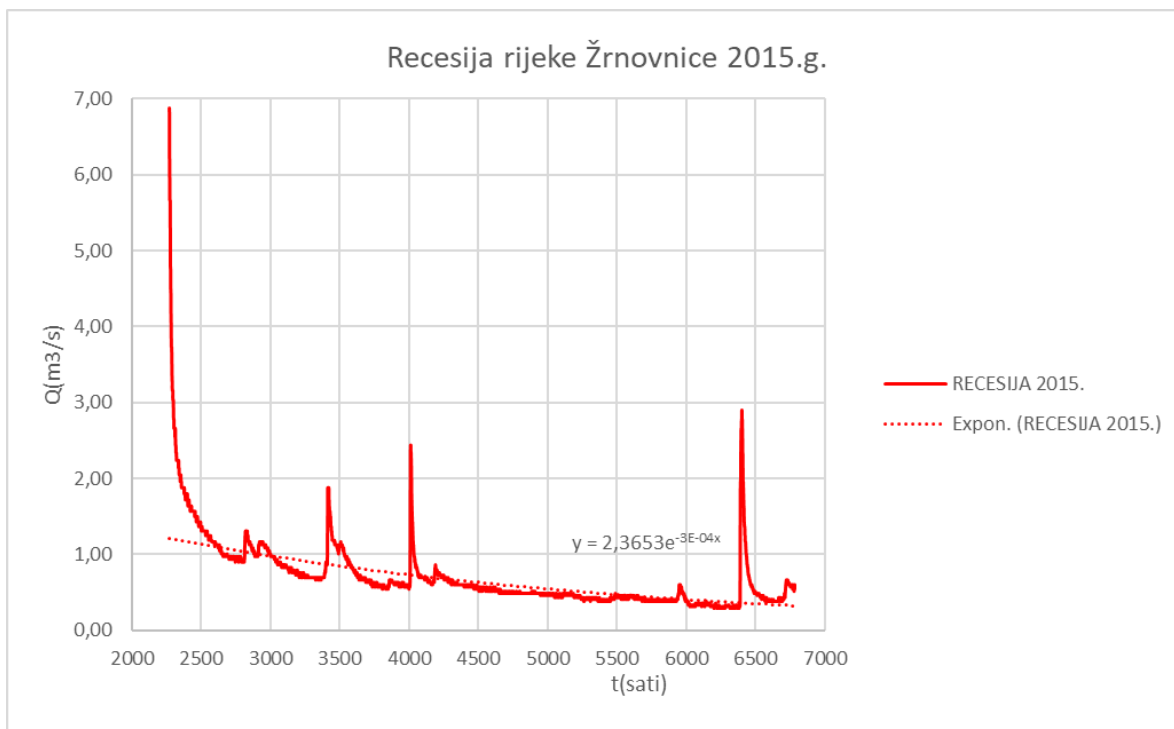
Koeficijent recesije  $\alpha$  opisuje retencijske sposobnosti podzemnih spremnika. Vrijednost koeficijenta  $\alpha > 10^{-2}$ , ukazuje na brzu drenažu vode kroz krške kanale i pukotine, a  $\alpha < 10^{-2}$  na sporo dreniranje kroz manje pore i pukotine.

### 5.1. Određivanje krivulje recesije iz hidrograma otjecanja

- 2015.



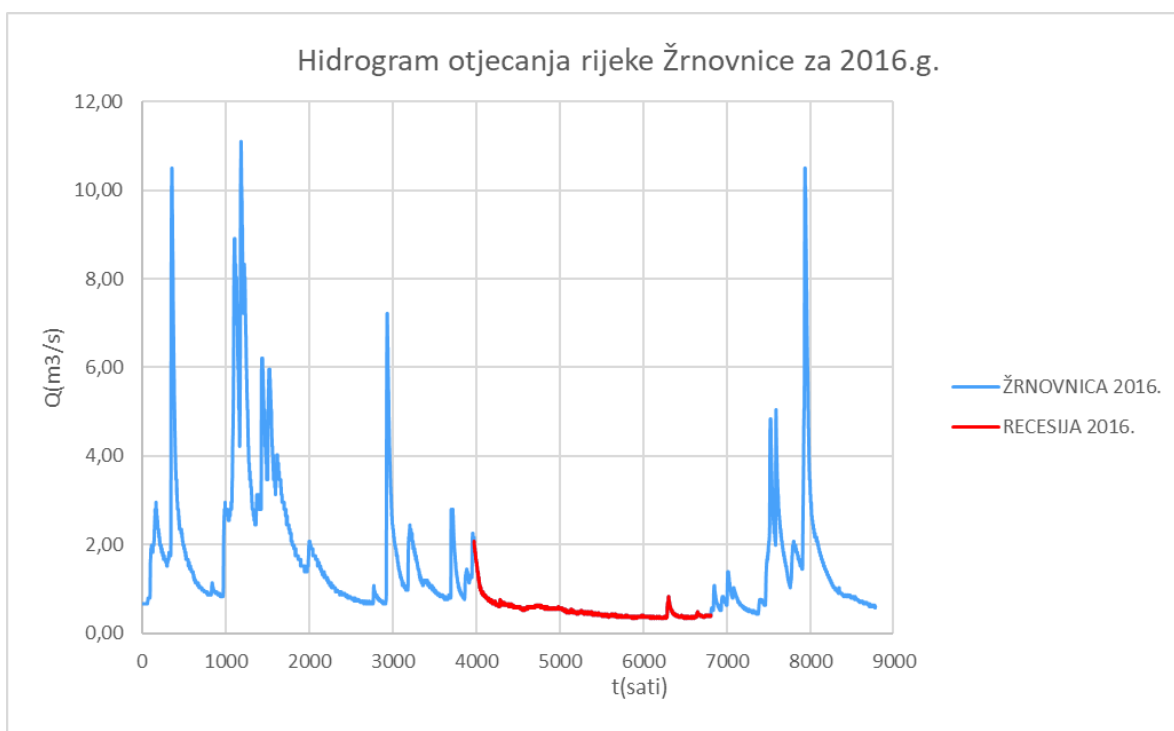
Slika 34. Hidrogram otjecanja i recesija rijeke Žrnovnice za 2015. godinu



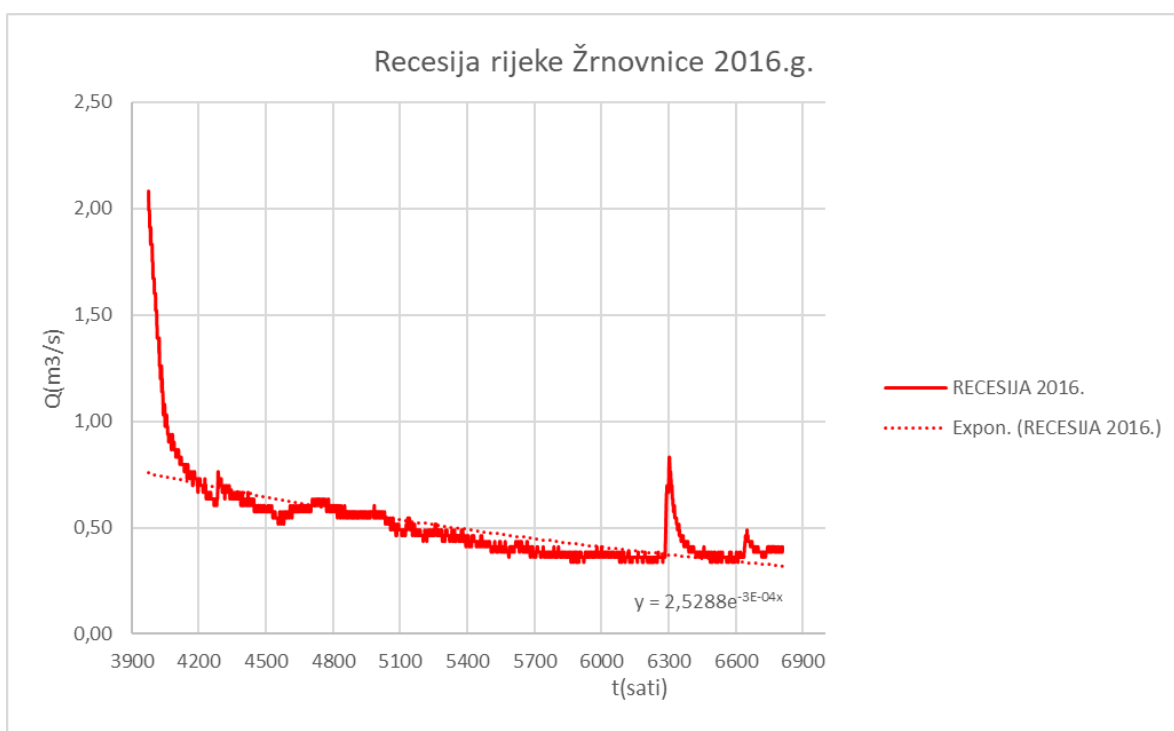
Slika 35. Recesija rijeke Žrnovnice za 2015. godinu

Prema Maillet-u:  $Q(t) = 2,3653 \cdot e^{-3E-04x}$

- 2016.



Slika 36. Hidrogram otjecanja i recesija rijeke Žrnovnice za 2016. godinu



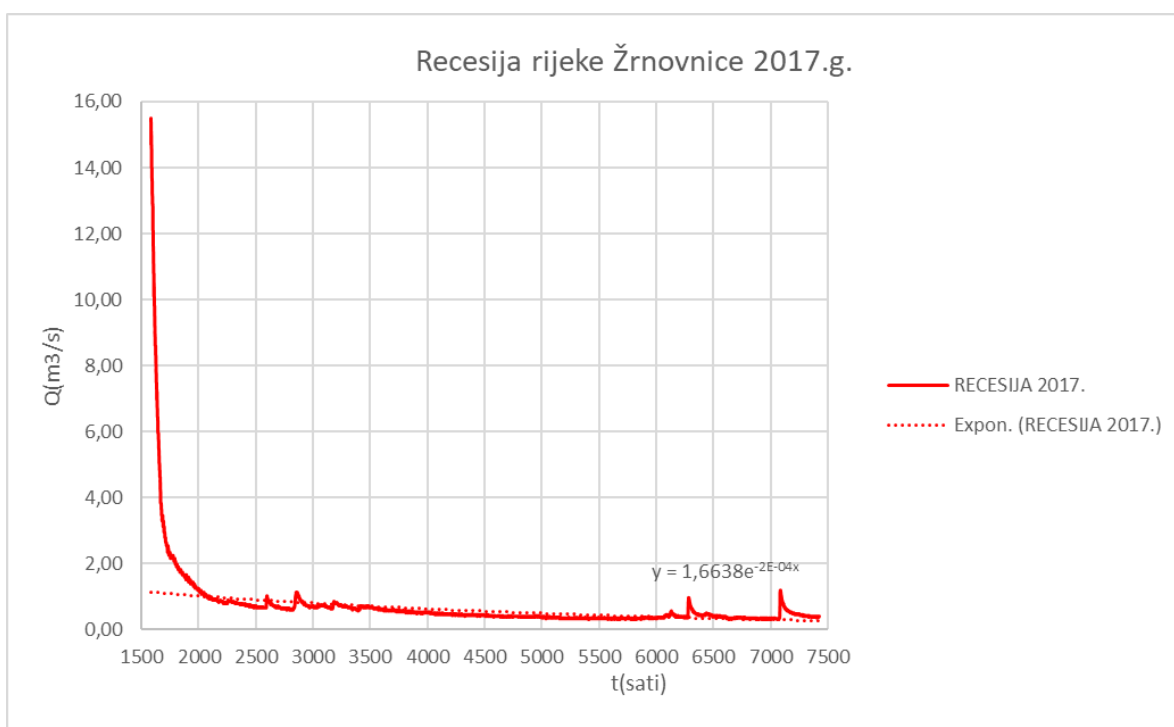
Slika 37. Recesija rijeke Žrnovnice za 2016. godinu

Prema Maillet-u:  $Q(t) = 2,5288 \cdot e^{-3E-04x}$

- 2017.



Slika 38. Hidrogram otjecanja i recesija rijeke Žrnovnice za 2017. godinu



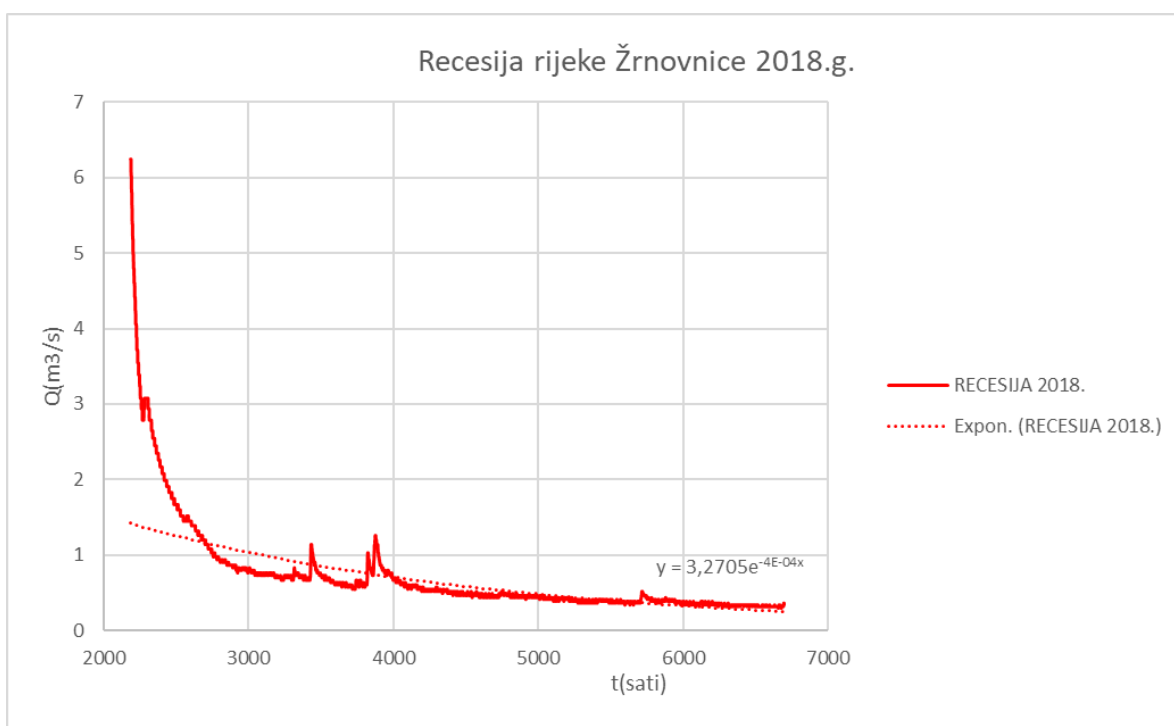
Slika 39. Recesija rijeke Žrnovnice za 2017. godinu

Prema Maillet-u:  $Q(t) = 1,6638 \cdot e^{-2E-04x}$

- 2018.



Slika 40. Hidrogram otjecanja i recesija rijeke Žrnovnice za 2018. godinu



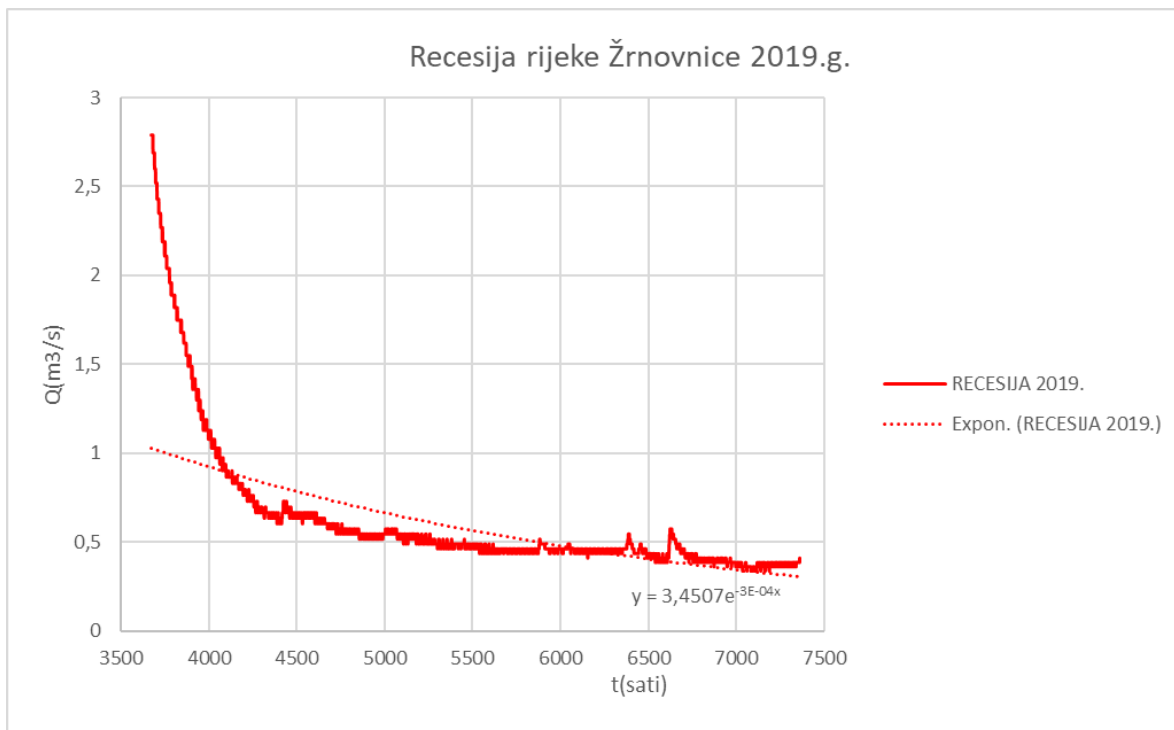
Slika 41. Recesija rijeke Žrnovnice za 2018. godinu

Prema Maillet-u:  $Q(t) = 3,2705 \cdot e^{-4E-04x}$

- 2019. (do 14.11. 14:00)



Slika 42. Hidrogram otjecanja i recesija rijeke Žrnovnice za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)

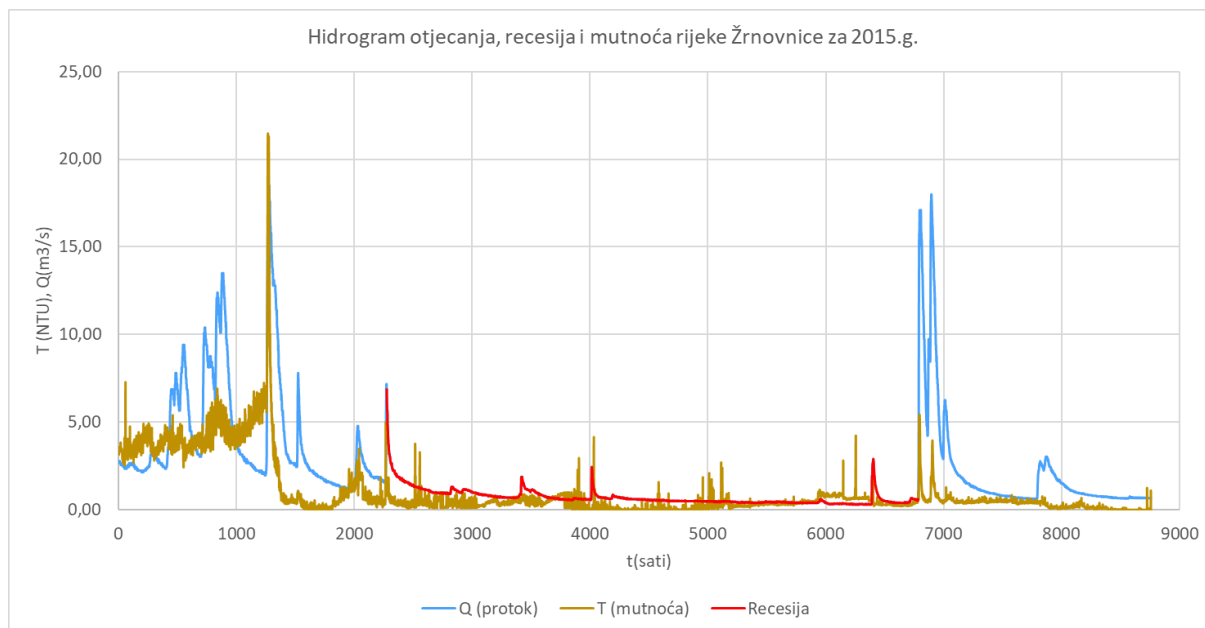


Slika 43. Recesija rijeke Žrnovnice za 2019. godinu

Prema Maillet-u:  $Q(t) = 3,4507 \cdot e^{-3E-04x}$

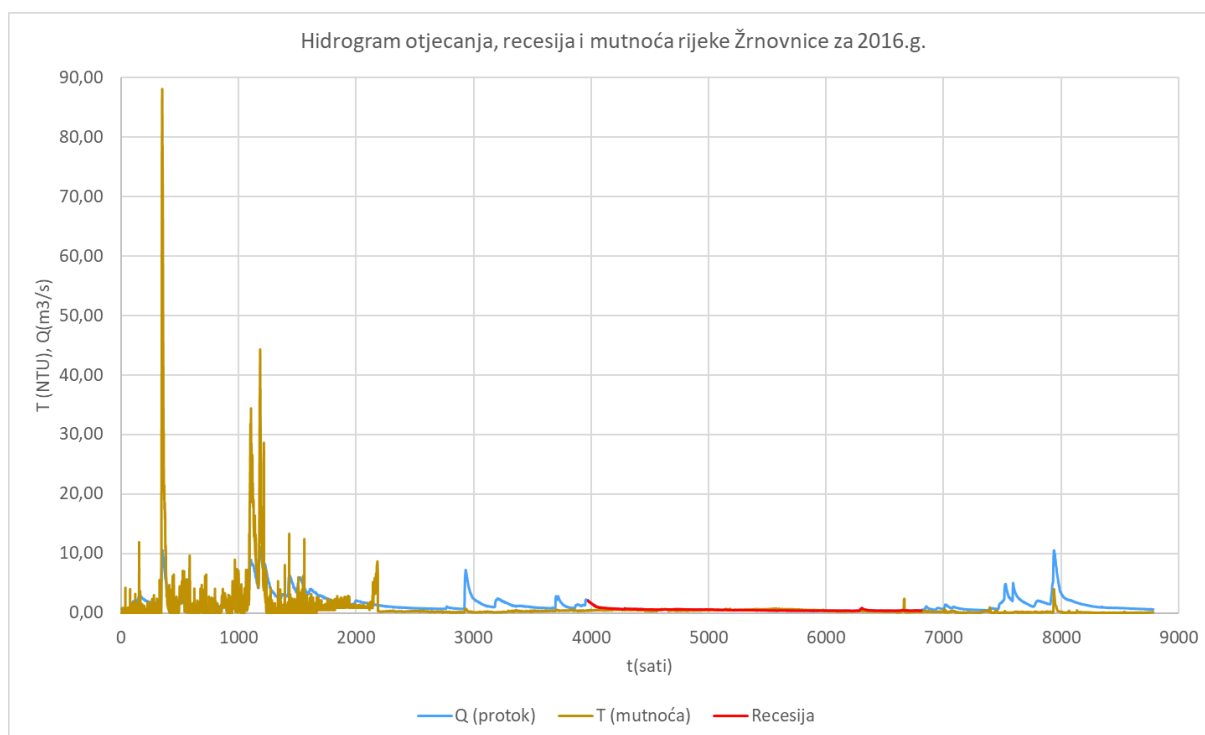
## 5.2. Istovremeni prikaz protoka, recesije i mutnoće rijeke Žrnovnice (2015.-2019.)

- 2015.



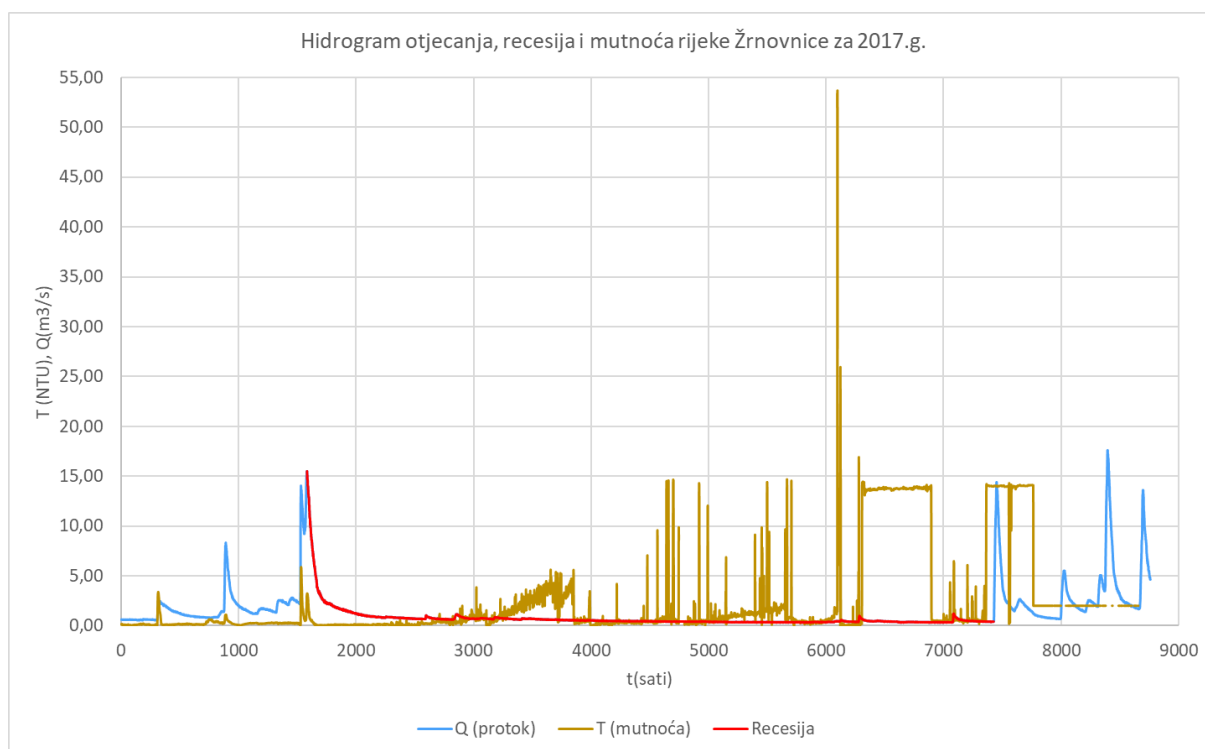
Slika 44. Hidrogram otjecanja, recesija i mutnoća rijeke Žrnovnice za 2015. godinu

- 2016.



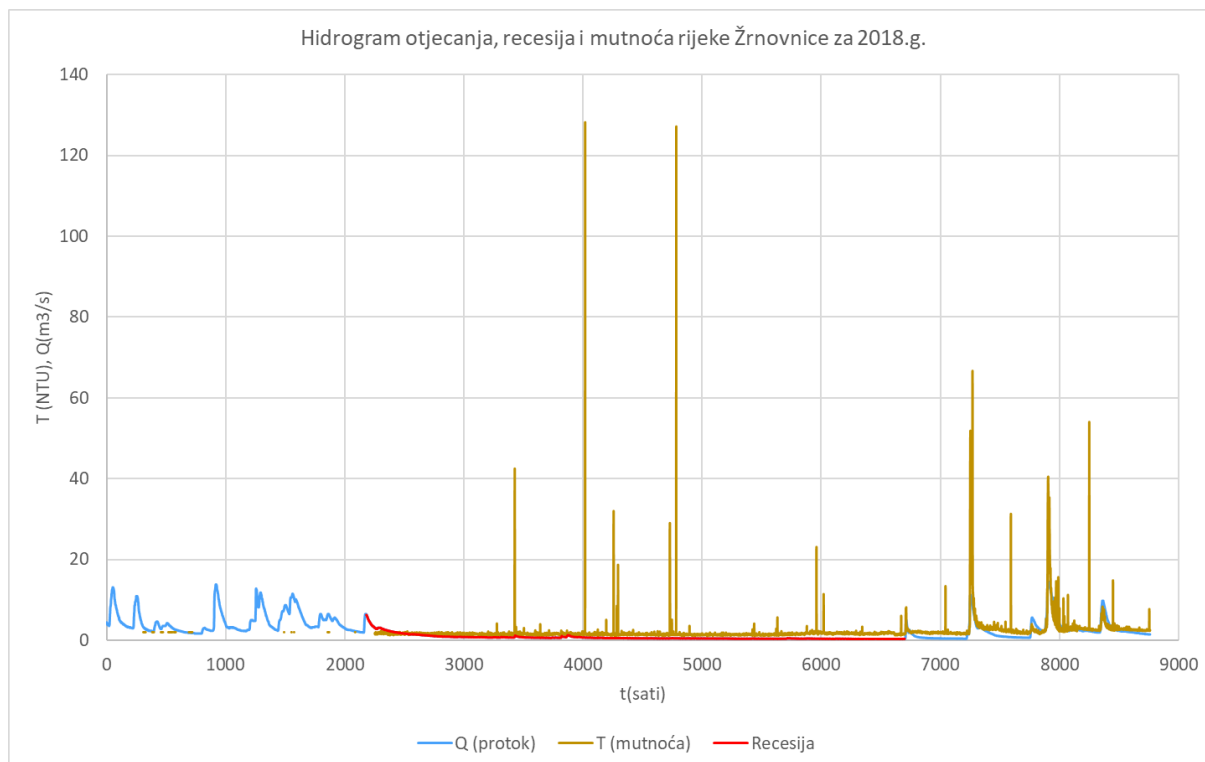
Slika 45. Hidrogram otjecanja, recesija i mutnoća rijeke Žrnovnice za 2016. godinu

## • 2017.



Slika 46. Hidrogram otjecanja, recesija i mutnoća rijeke Žrnovnice za 2017. godinu

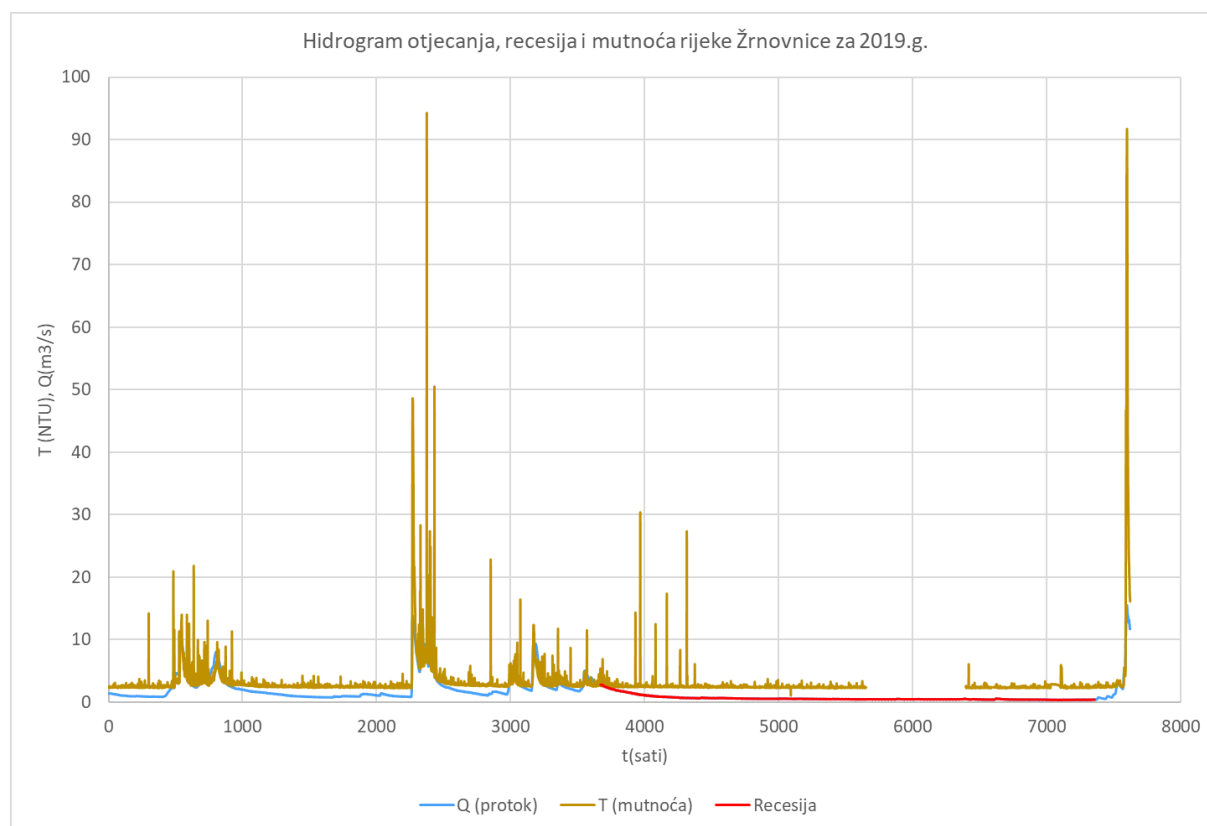
## • 2018.



Slika 47. Hidrogram otjecanja, recesija i mutnoća rijeke Žrnovnice za 2018. godinu



- 2019. (do 14.11. 14:00)



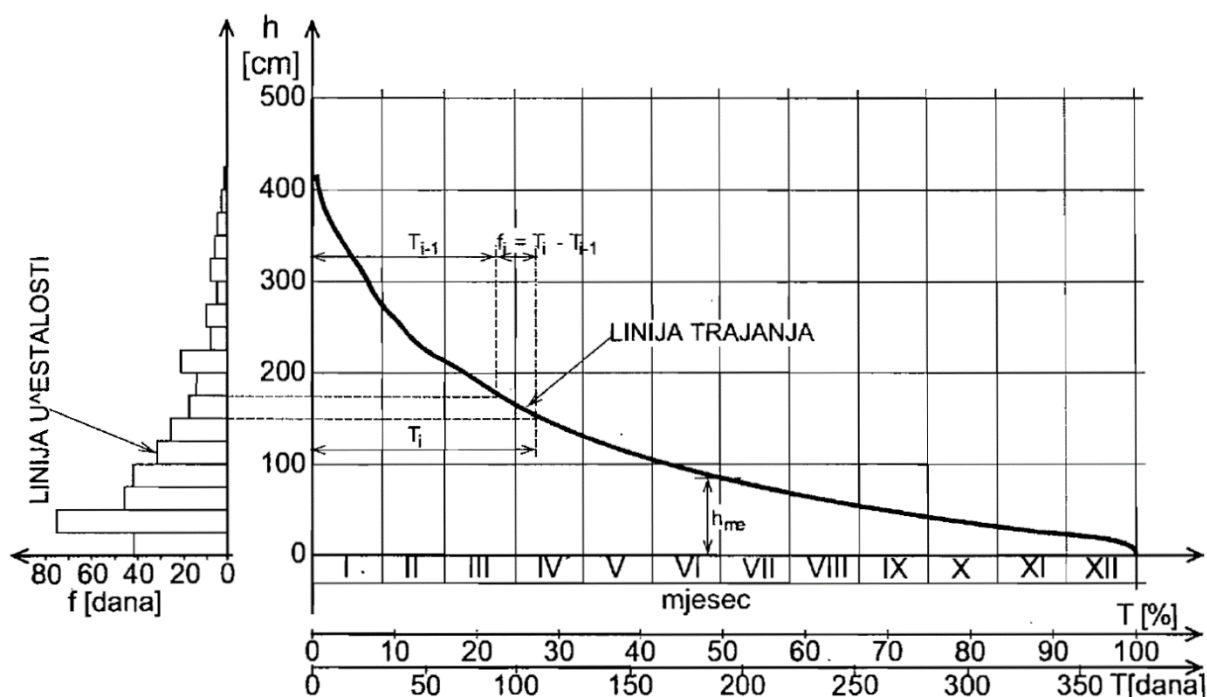
Slika 48. Hidrogram otjecanja, recesija i mutnoća rijeke Žrnovnice za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)

## 6. KRIVULJE TRAJANJA I UČESTALOSTI PROTOKA I MUTNOĆE

Neke od osnovnih statističkih metoda za jasno prikazivanje izmjerenih podataka u hidrologiji su **krivulja trajanja** i **krivulja učestalosti** (slika 49.).

Krivulja trajanja je grafički prikaz kumulativne učestalosti određenog fenomena tijekom vremena. Graf ustvari prikazuje koliko dugo (u danima ili postocima) zadana varijabla postiže određenu vrijednost ili vrijednost veću od nje, neovisno o kronološkom slijedu.

Krivulja učestalosti prikazuje broj ili postotak ostvarivanja određene vrijednosti neke varijable u promatranom vremenskom periodu. Učestalost se osim krivuljom prikazuje i histogramom. Histogram je grafički prikaz raspodjele podataka, gdje se podaci dijele u intervale te se njihova učestalost prikazuje pravokutnicima. Visina svakog pravokutnika odgovara broju, odnosno postotku podataka unutar određenog intervala, dok horizontalna os prikazuje raspon vrijednosti.



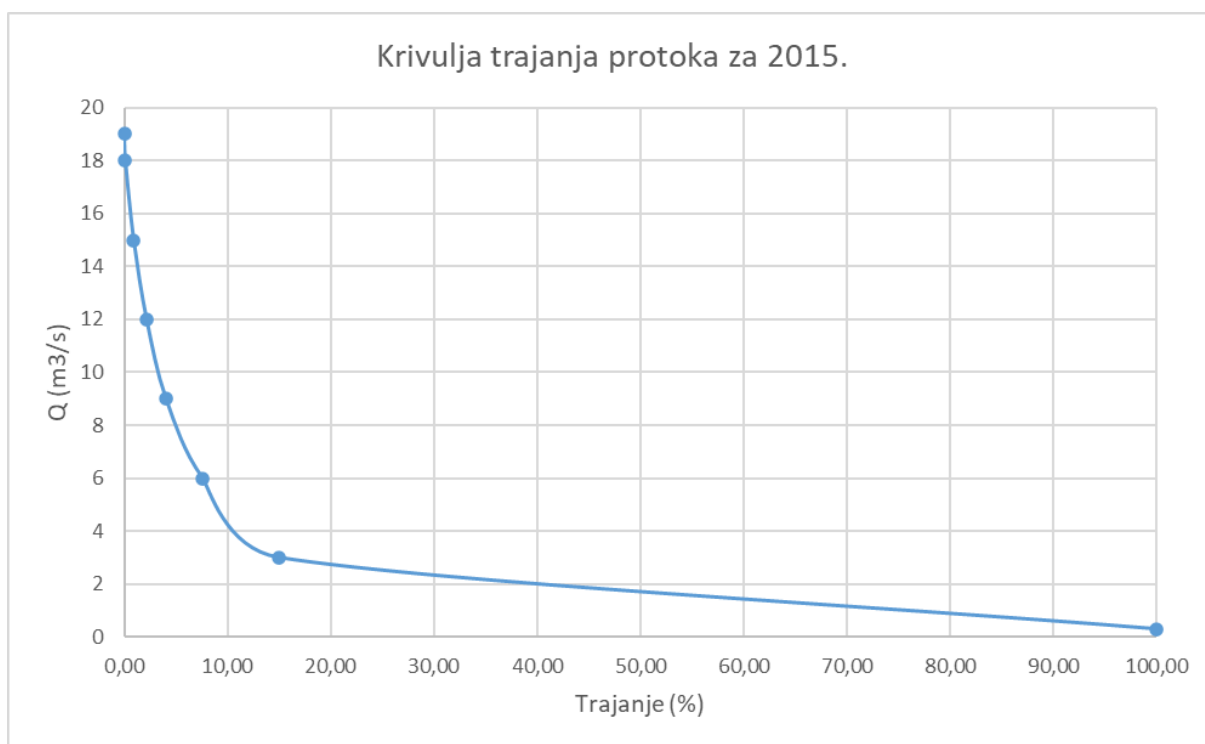
Slika 49. Krivulja trajanja i histogram učestalosti [6]

U nastavku su dani krivulje trajanja i histogrami protoka i mutnoće za svaku godinu (2015.-2019.) posebno i zasebno za recesijska razdoblja.

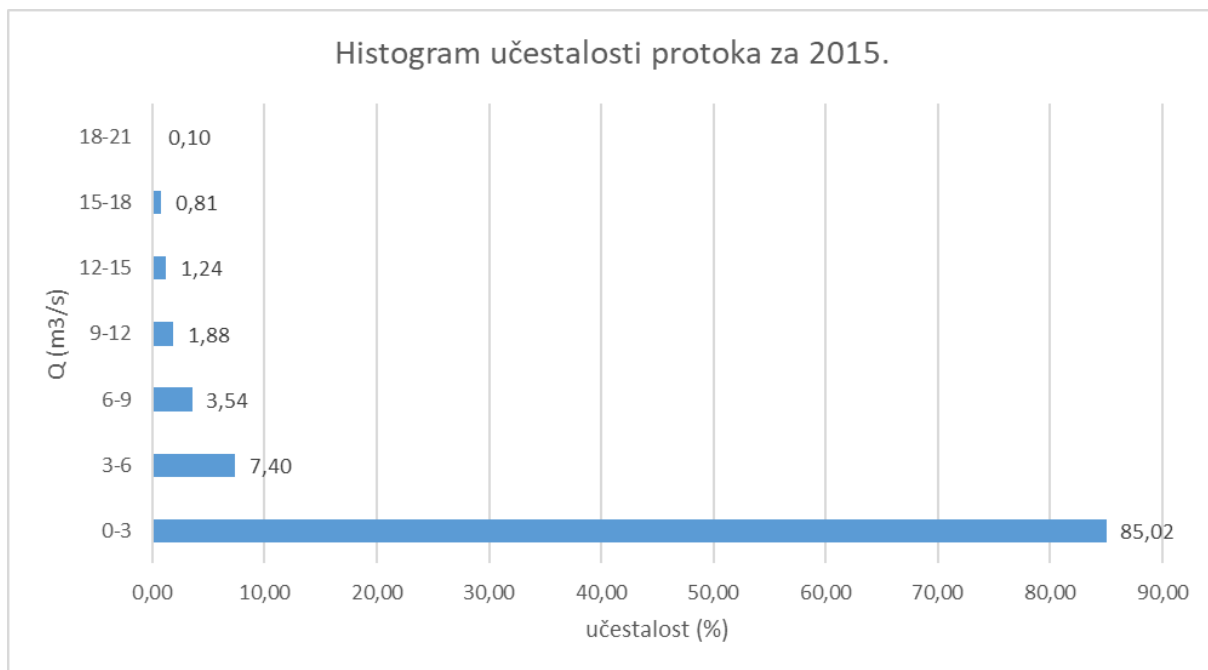
- PROTOK 2015.

Tablica 20. Učestalost i trajanje protoka za 2015. godinu

PROTOK Q (2015)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-3	7447	85,02	8759	100,00
3-6	648	7,40	1312	14,98
6-9	310	3,54	664	7,58
9-12	165	1,88	354	4,04
12-15	109	1,24	189	2,16
15-18	71	0,81	80	0,91
18-21	9	0,10	9	0,10



Slika 50. Krivulja trajanja protoka za 2015. godinu

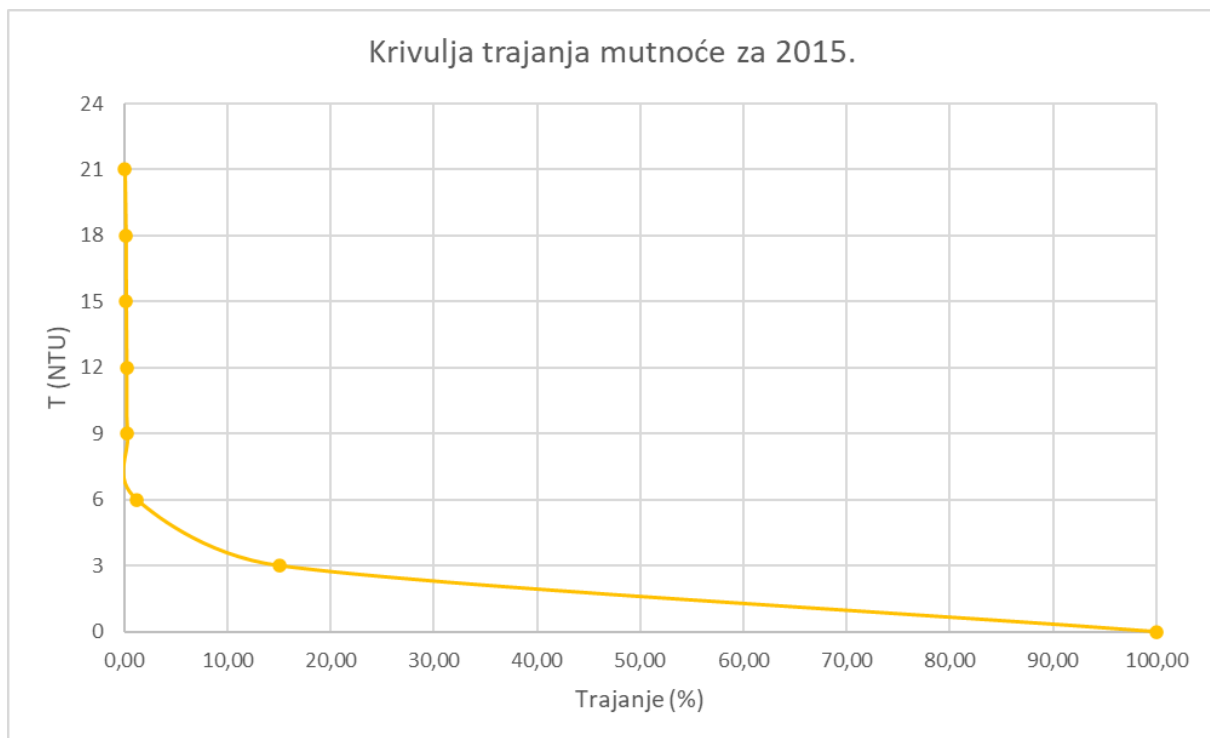


Slika 51. Histogram učestalosti protoka za 2015. godinu

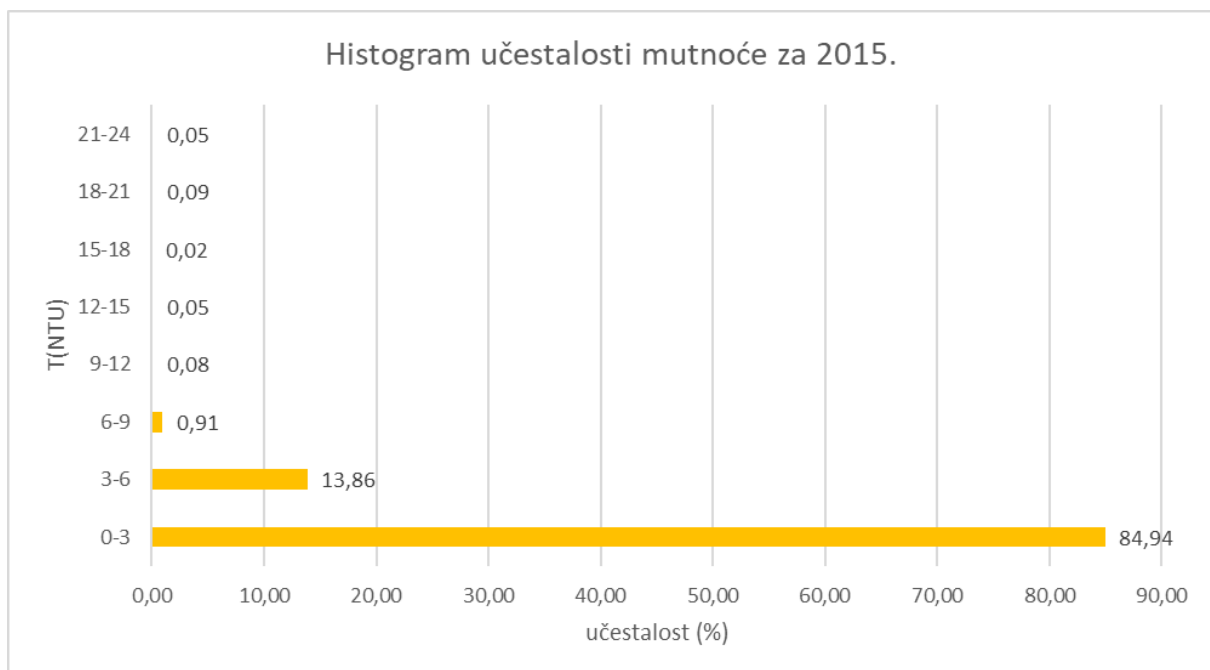
- MUTNOĆA 2015.

Tablica 21. Učestalost i trajanje mutnoće za 2015. godinu

MUTNOĆA T (2015)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
<b>0-3</b>	7439	84,94	8758	100,00
<b>3-6</b>	1214	13,86	1319	15,06
<b>6-9</b>	80	0,91	105	1,20
<b>9-12</b>	7	0,08	25	0,29
<b>12-15</b>	4	0,05	18	0,21
<b>15-18</b>	2	0,02	14	0,16
<b>18-21</b>	8	0,09	12	0,14
<b>21-24</b>	4	0,05	4	0,05



Slika 52. Krivulja trajanja mutnoće za 2015. godinu

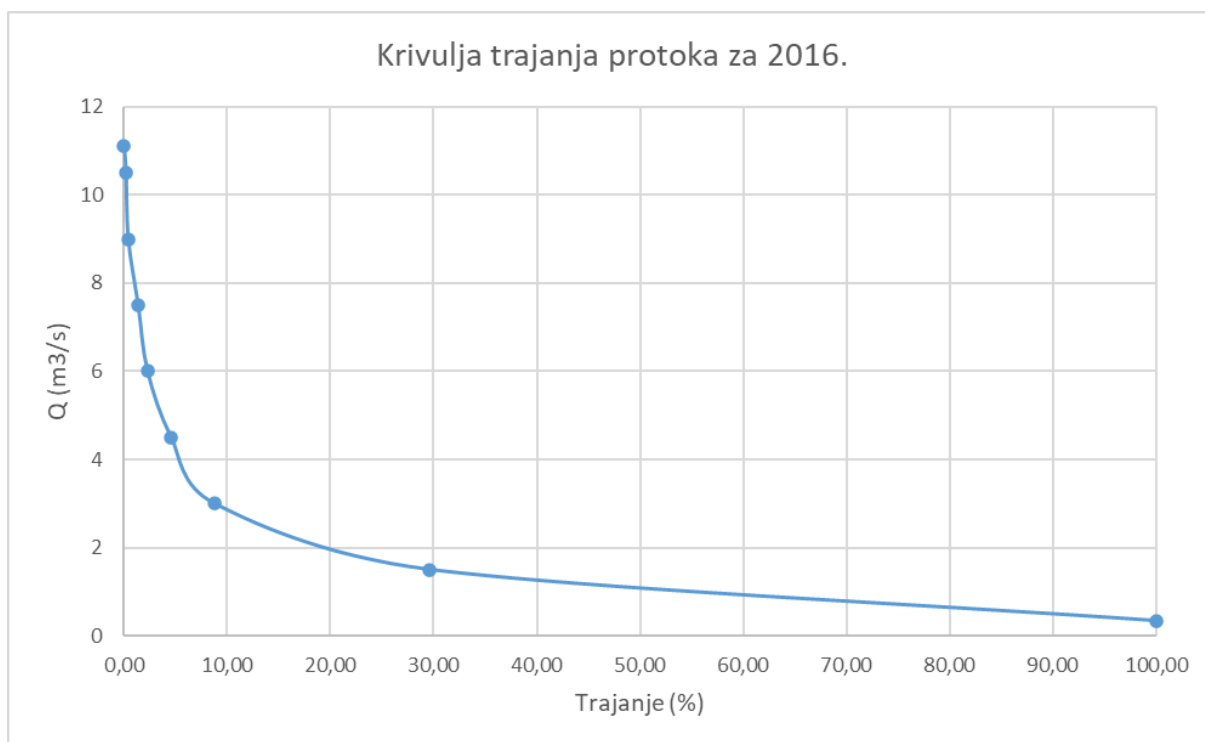


Slika 53. Histogram učestalosti mutnoće za 2015. godinu

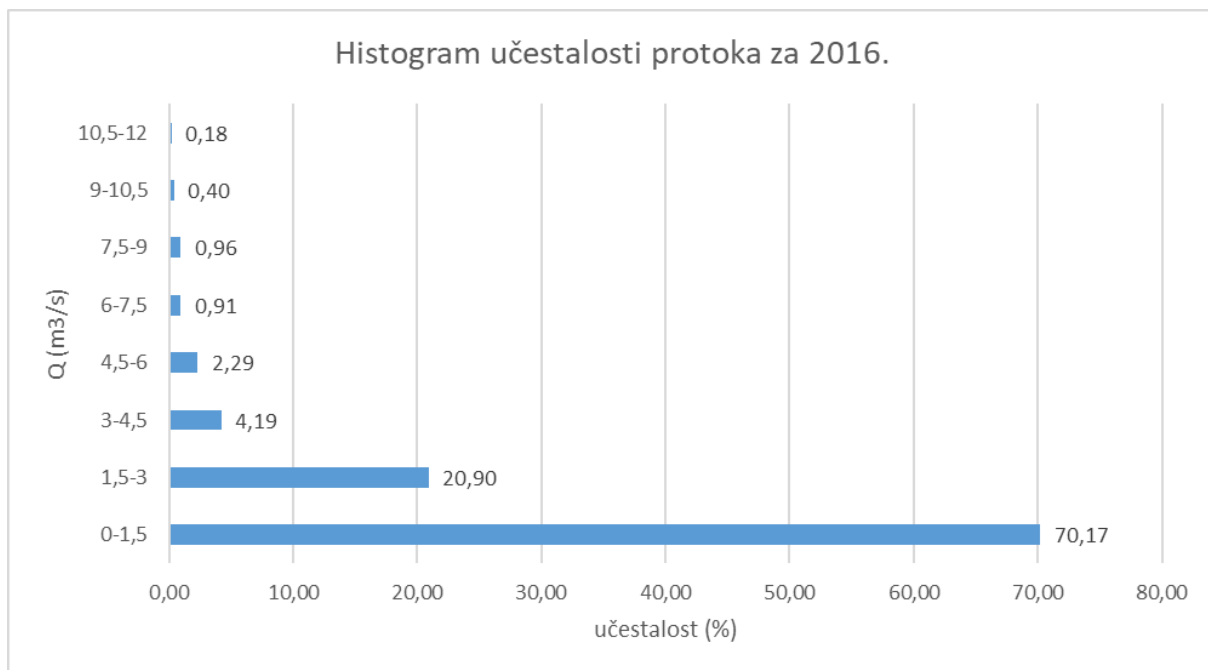
- PROTOK 2016.

Tablica 22. Učestalost i trajanje protoka za 2016. godinu

PROTOK Q (2016)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-1,5	6164	70,17	8784	100,00
1,5-3	1836	20,90	2620	29,64
3-4,5	368	4,19	784	8,74
4,5-6	201	2,29	416	4,55
6-7,5	80	0,91	215	2,27
7,5-9	84	0,96	135	1,35
9-10,5	35	0,40	51	0,40
10,5-12	16	0,18	16	0,18



Slika 54. Krivulja trajanja protoka za 2016. godinu

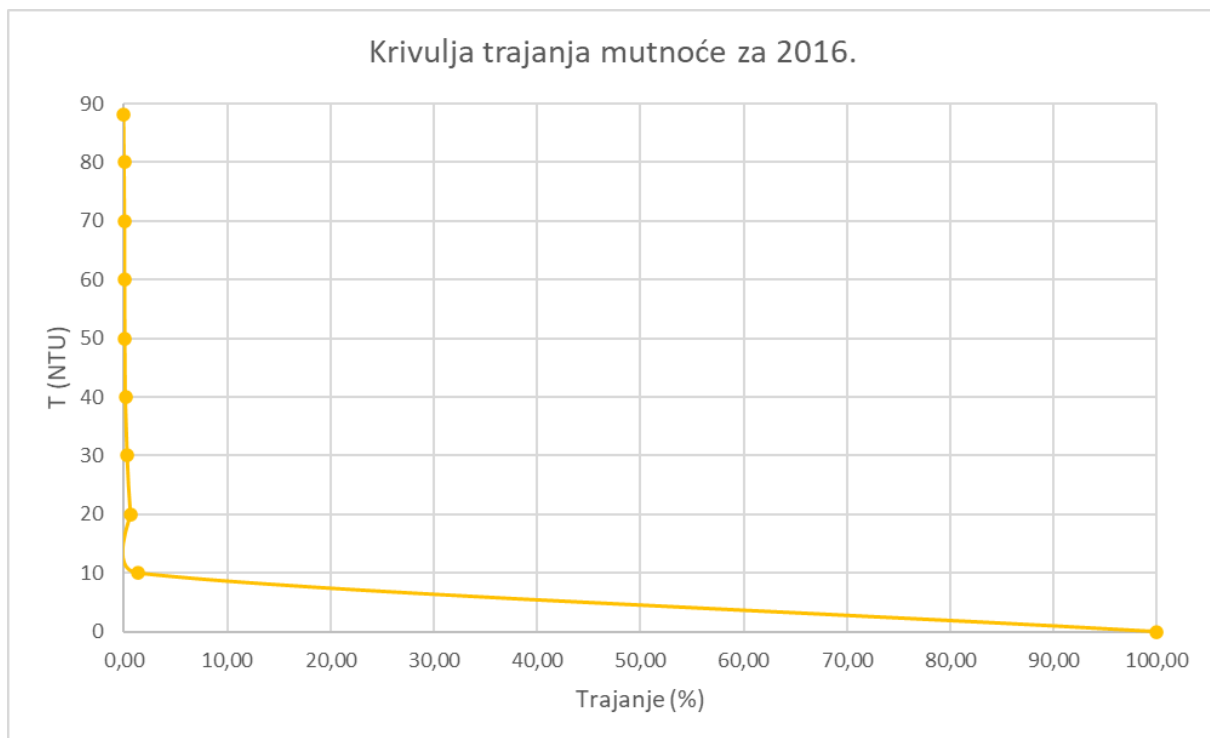


Slika 55. Histogram učestalosti protoka za 2016. godinu

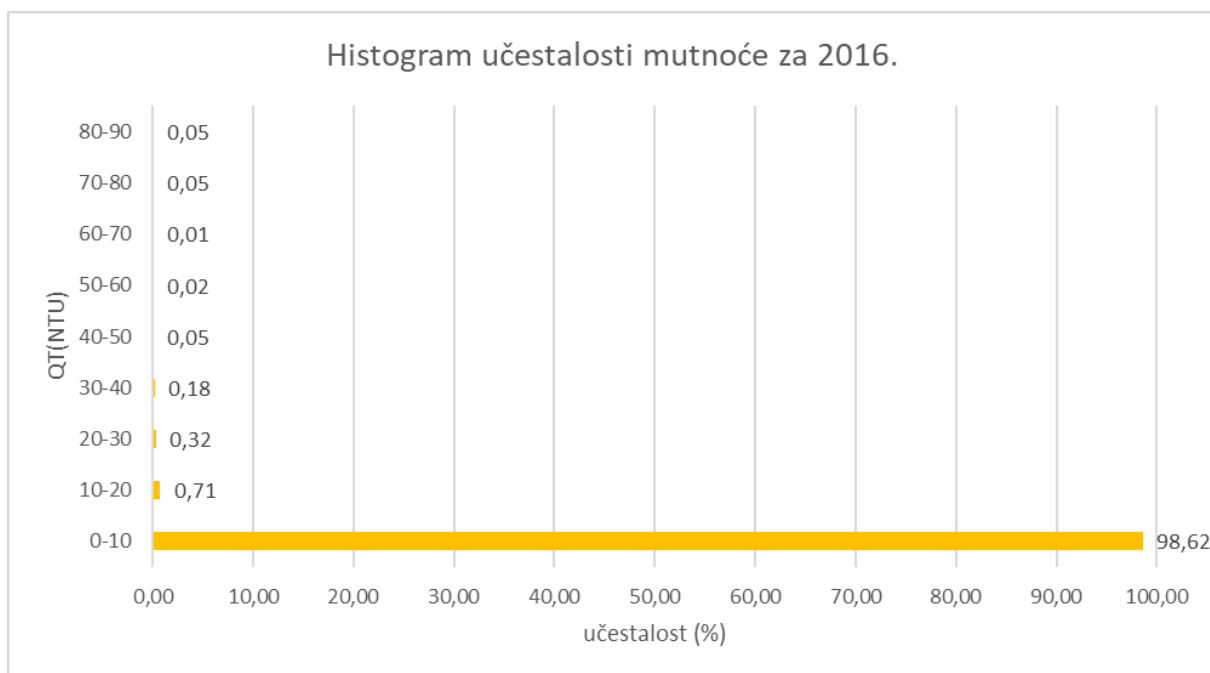
- MUTNOĆA 2016.

Tablica 23. Učestalost i trajanje mutnoće za 2016. godinu

MUTNOĆA T (2016)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
<b>0-10</b>	8638	98,62	8759	100,00
<b>10-20</b>	62	0,71	121	1,38
<b>20-30</b>	28	0,32	59	0,67
<b>30-40</b>	16	0,18	31	0,35
<b>40-50</b>	4	0,05	15	0,17
<b>50-60</b>	2	0,02	11	0,13
<b>60-70</b>	1	0,01	9	0,10
<b>70-80</b>	4	0,05	8	0,09
<b>80-90</b>	4	0,05	4	0,05



Slika 56. Krivulja trajanja mutnoće za 2016. godinu



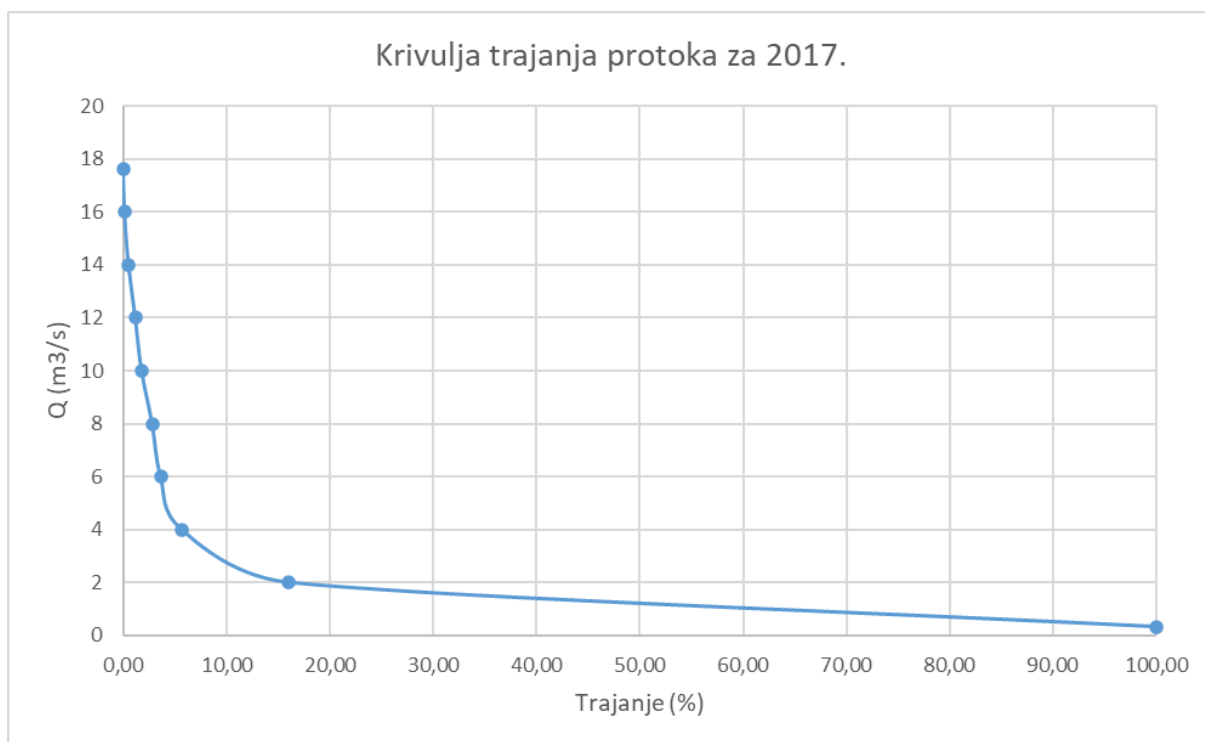
Slika 57. Histogram učestalosti mutnoće za 2016. godinu



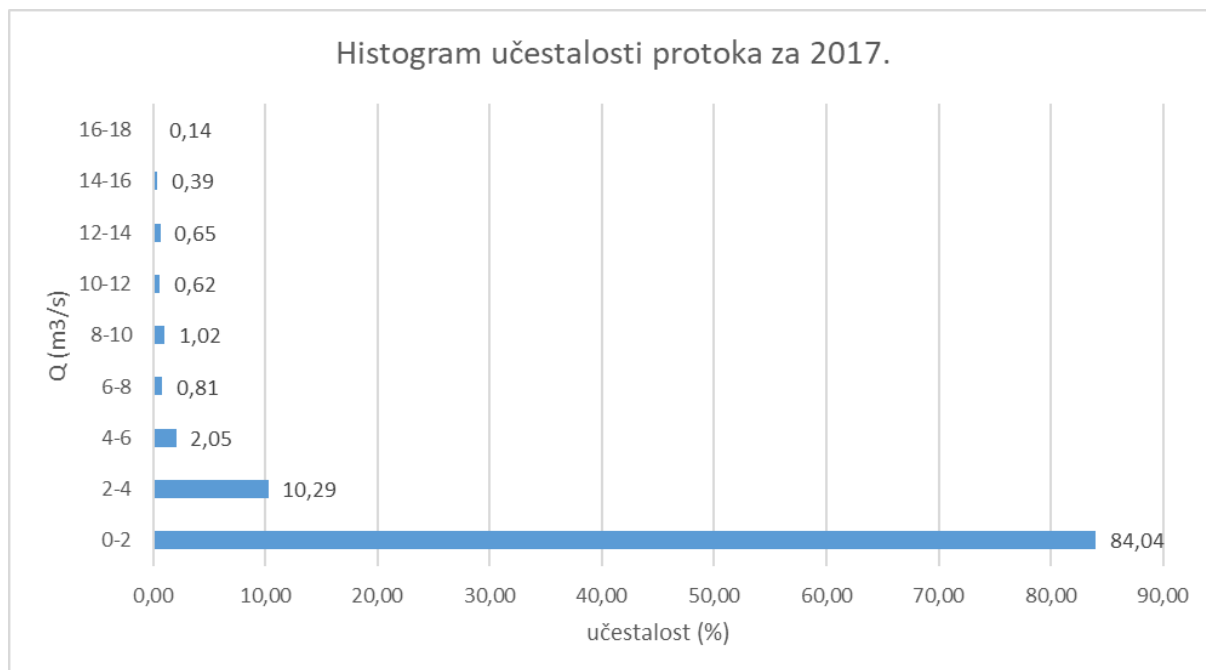
- PROTOK 2017.

Tablica 24. Učestalost i trajanje protoka za 2017. godinu

PROTOK Q (2017)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-2	7362	84,04	8760	100,00
2-4	901	10,29	1398	15,96
4-6	180	2,05	497	5,67
6-8	71	0,81	317	3,62
8-10	89	1,02	246	2,81
10-12	54	0,62	157	1,79
12-14	57	0,65	103	1,18
14-16	34	0,39	46	0,53
16-18	12	0,14	12	0,14



Slika 58. Krivulja trajanja protoka za 2017. godinu

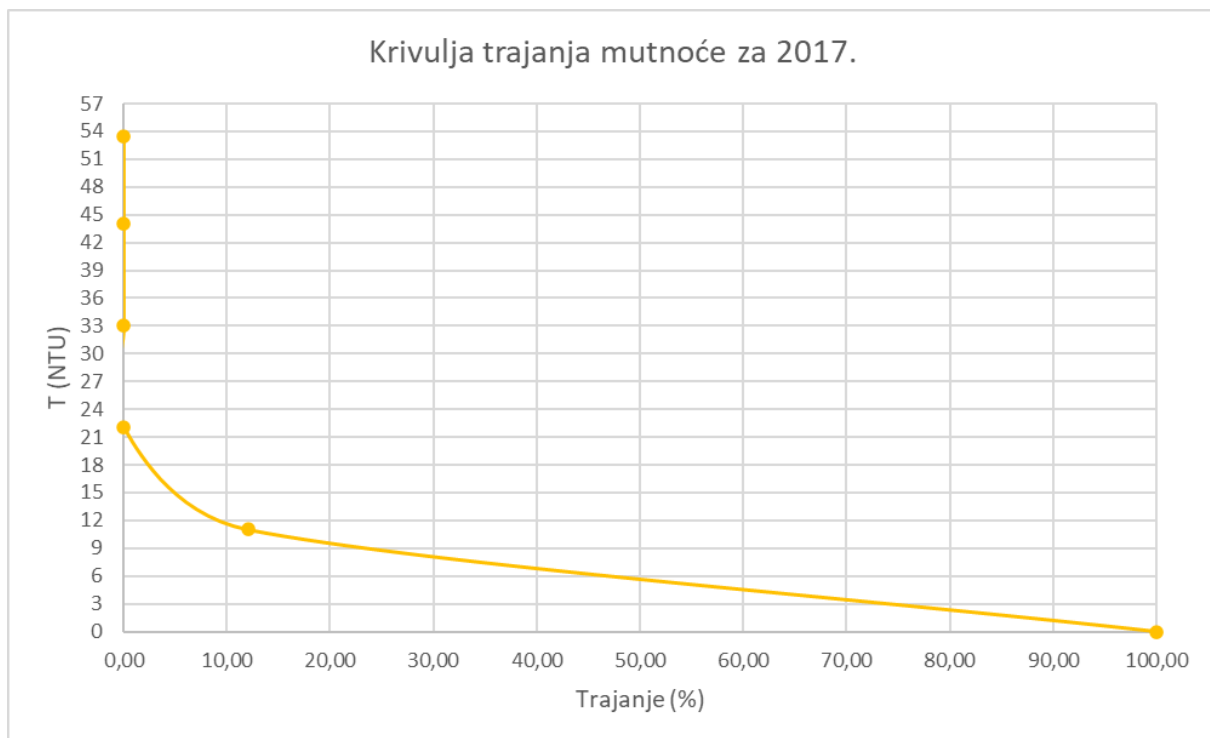


Slika 59. Histogram učestalosti protoka za 2017. godinu

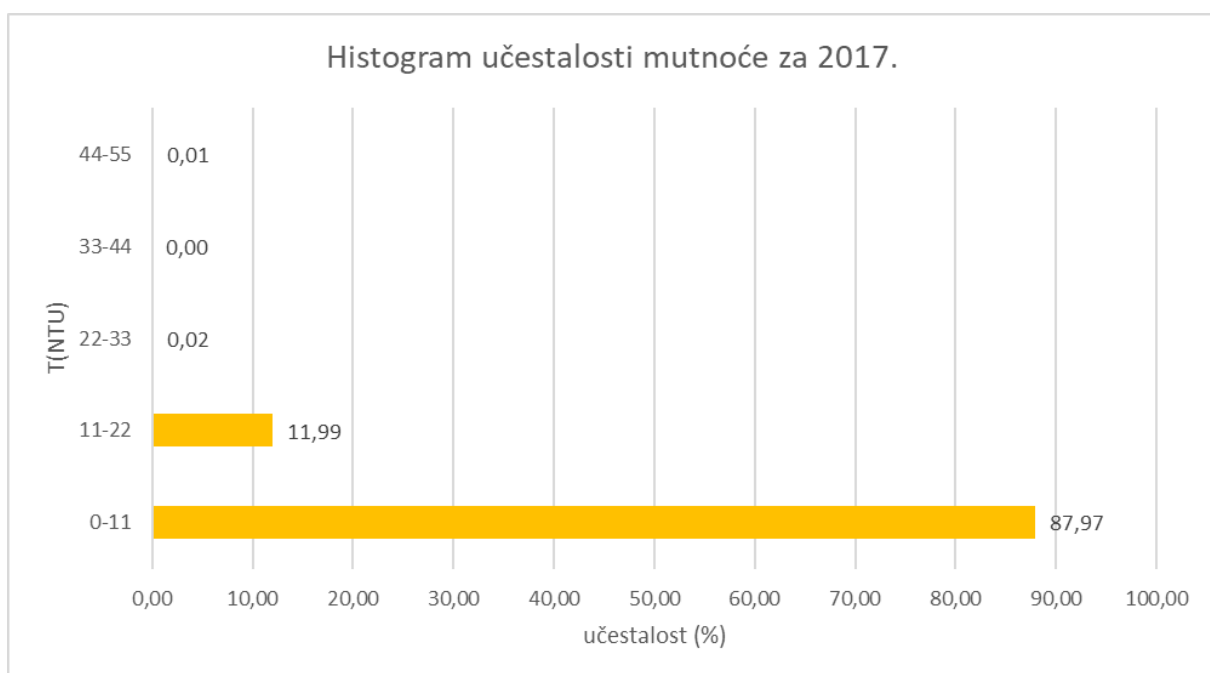
- MUTNOĆA 2017.

Tablica 25. Učestalost i trajanje mutnoće za 2016. godinu

MUTNOĆA T (2017)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-11	7301	87,97	8299	100,00
11-22	995	11,99	998	12,03
22-33	2	0,02	3	0,04
33-44	0	0,00	1	0,01
44-55	1	0,01	1	0,01



Slika 60. Krivulja trajanja mutnoće za 2017. godinu

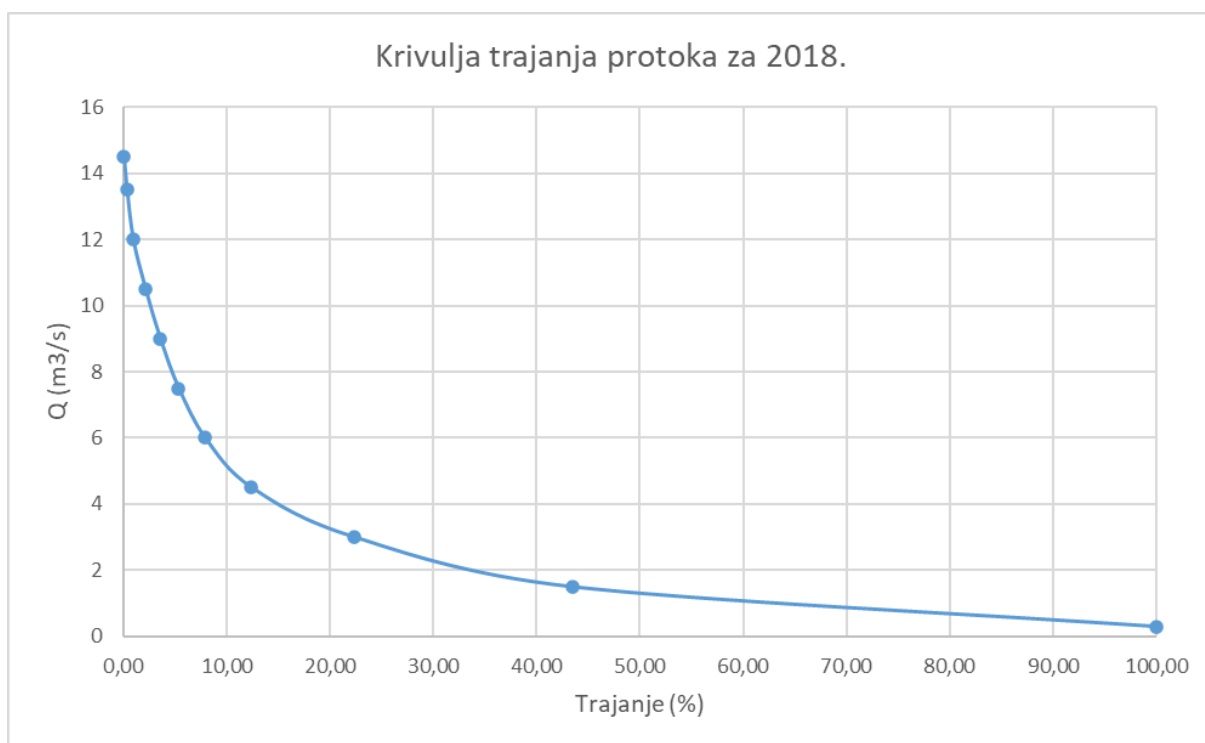


Slika 61. Histogram učestalosti mutnoće za 2017. godinu

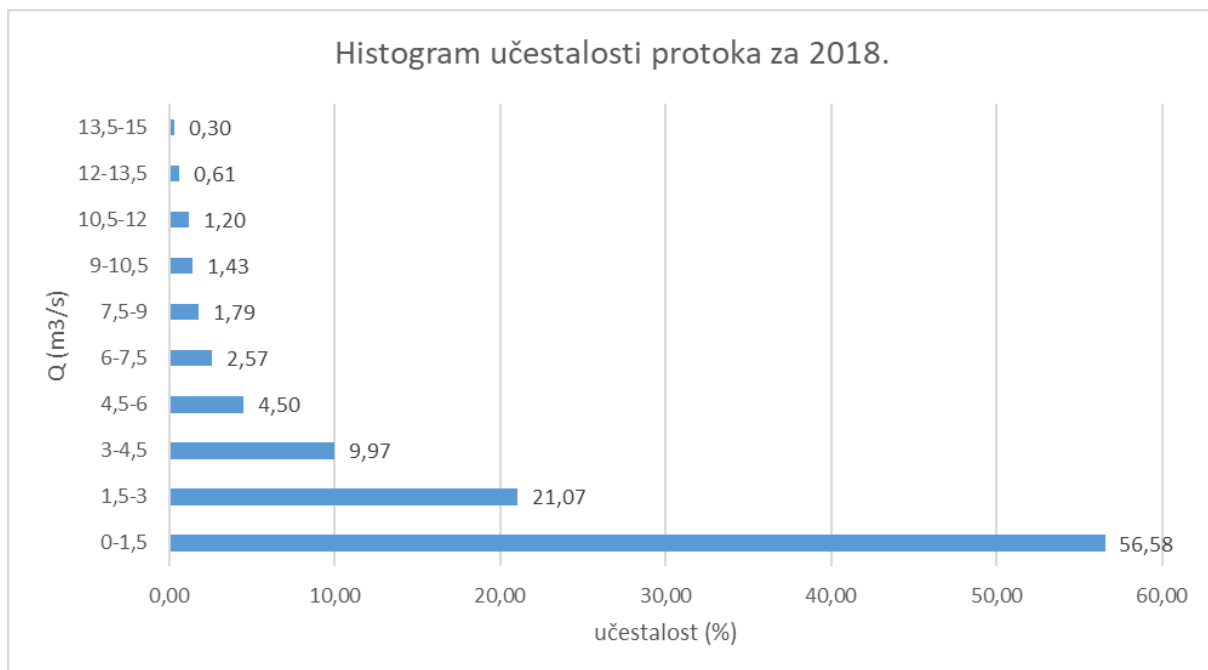
- PROTOK 2018.

Tablica 26. Učestalost i trajanje protoka za 2018. godinu

PROTOK Q (2018)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-1,5	4956	56,58	8760	100,00
1,5-3	1846	21,07	3804	43,42
3-4,5	873	9,97	1958	22,35
4,5-6	394	4,50	1085	12,39
6-7,5	225	2,57	691	7,89
7,5-9	157	1,79	466	5,32
9-10,5	125	1,43	309	3,53
10,5-12	105	1,20	184	2,10
12-13,5	53	0,61	79	0,90
13,5-15	26	0,30	26	0,30



Slika 62. Krivulja trajanja protoka za 2018. godinu

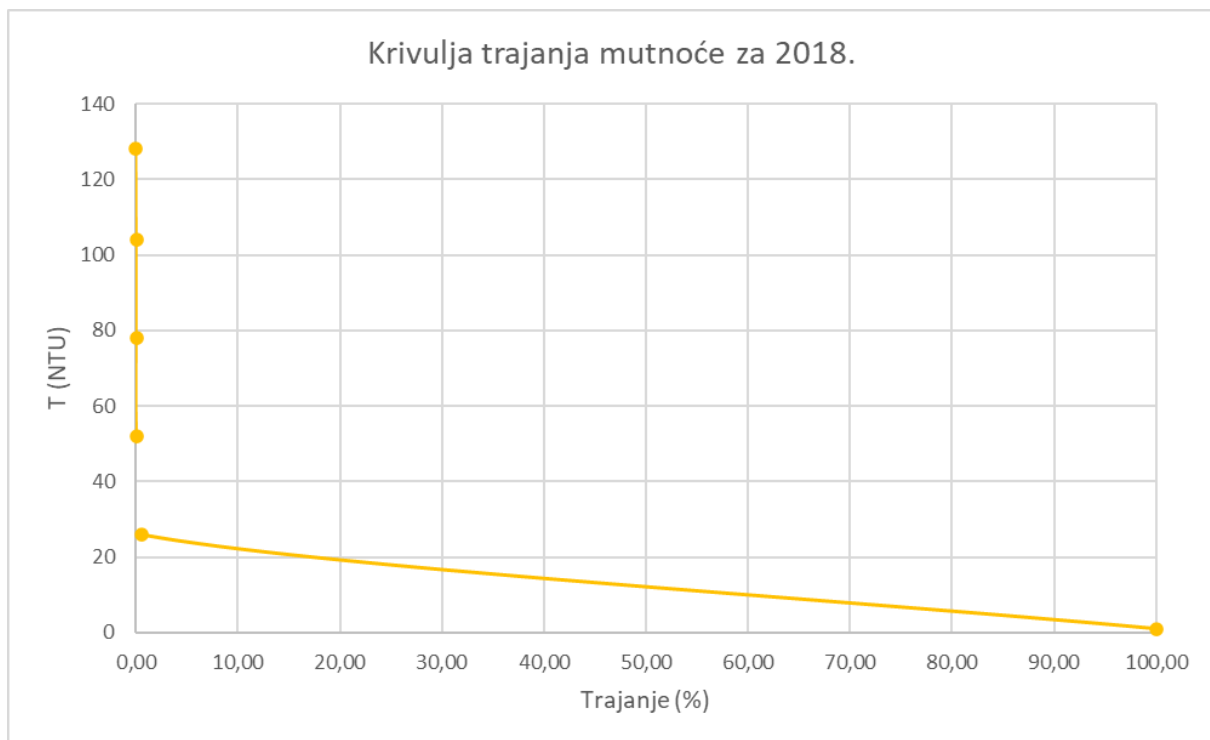


*Slika 63. Histogram učestalosti protoka za 2018. godinu*

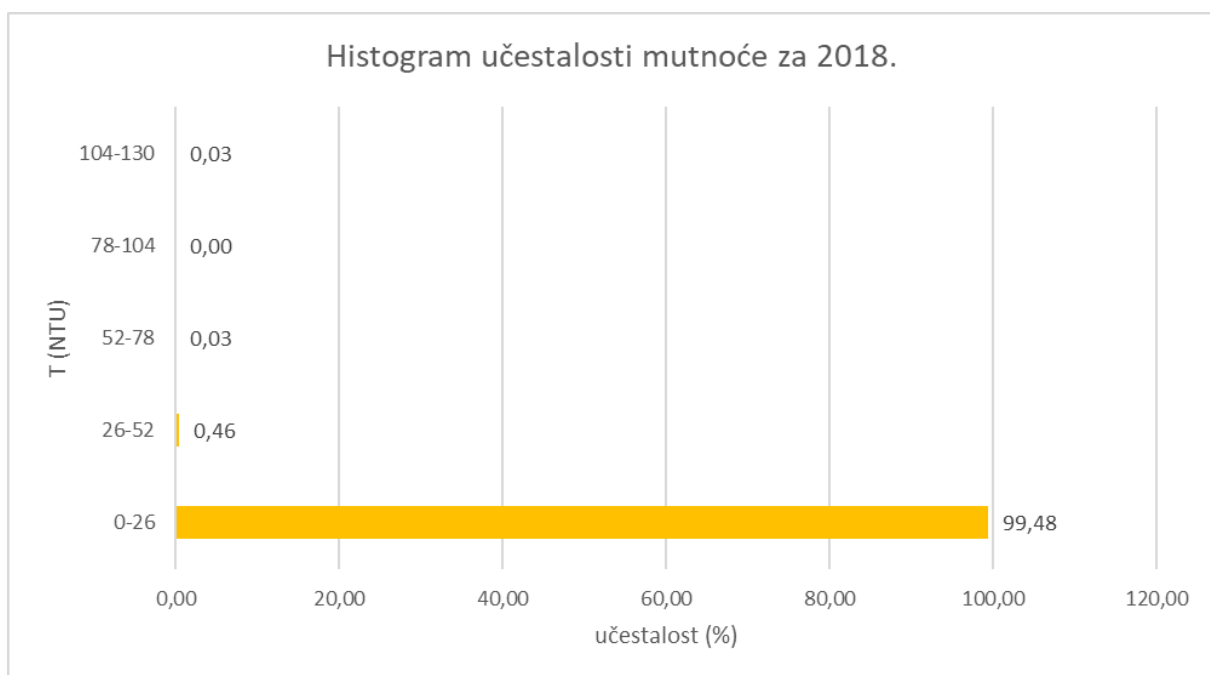
- MUTNOĆA 2018.

*Tablica 27. Učestalost i trajanje mutnoće za 2018. godinu*

<b>MUTNOĆA T (2018)</b>				
<b>RAZRED</b>	<b>UČESTALOST</b>		<b>TRAJANJE</b>	
	<b>DANI</b>	<b>%</b>	<b>DANI</b>	<b>%</b>
<b>0-26</b>	6647	99,48	6682	100,00
<b>26-52</b>	31	0,46	35	0,52
<b>52-78</b>	2	0,03	4	0,06
<b>78-104</b>	0	0,00	2	0,03
<b>104-130</b>	2	0,03	2	0,03



Slika 64. Krivulja trajanja mutnoće za 2018. godinu

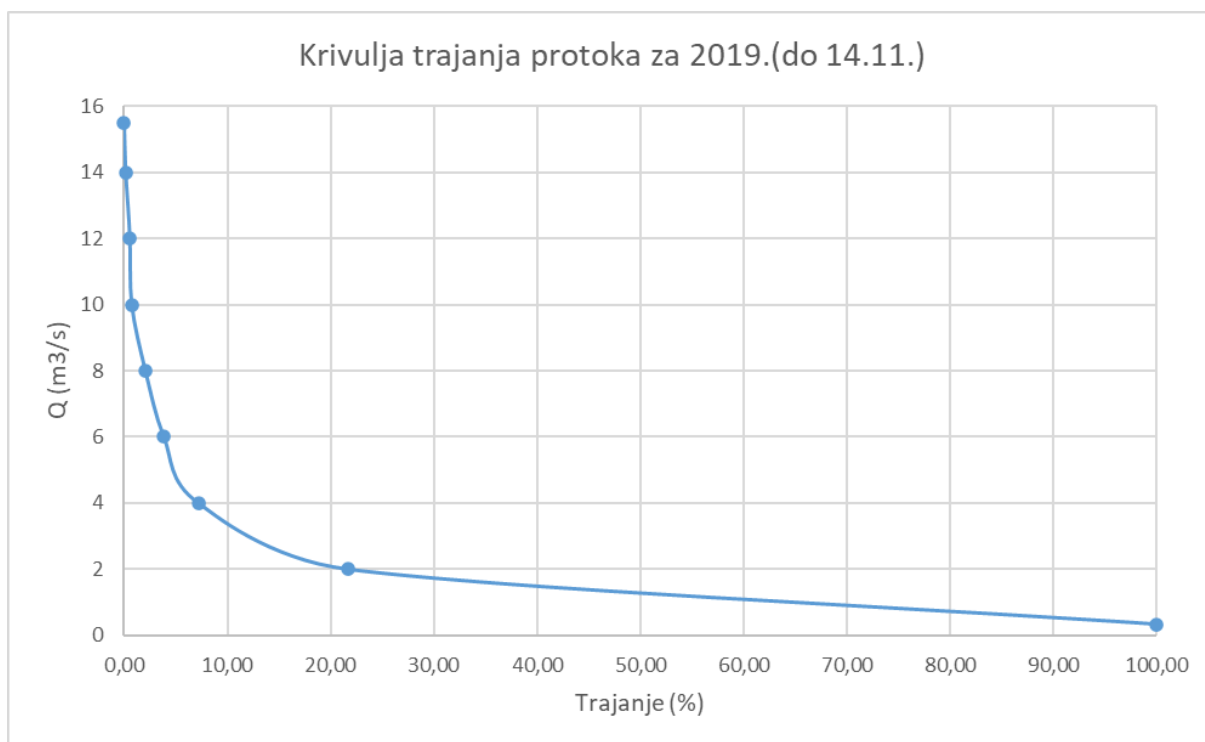


Slika 65. Histogram učestalosti mutnoće za 2018. godinu

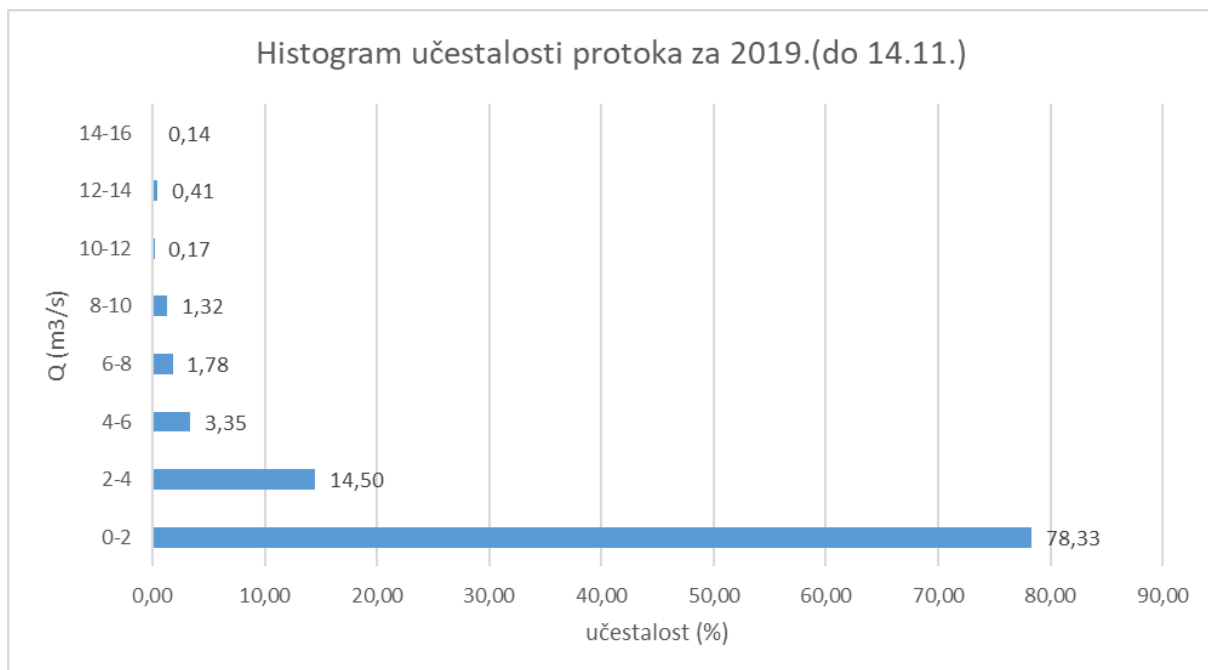
- PROTOK 2019.

Tablica 28. Učestalost i trajanje protoka za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)

PROTOK Q (2019, do 14.11.)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-2	5971	78,33	7623	100,00
2-4	1105	14,50	1652	21,67
4-6	255	3,35	547	7,18
6-8	136	1,78	292	3,83
8-10	101	1,32	156	2,05
10-12	13	0,17	55	0,72
12-14	31	0,41	42	0,55
14-16	11	0,14	11	0,14



Slika 66. Krivulja trajanja protoka za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)



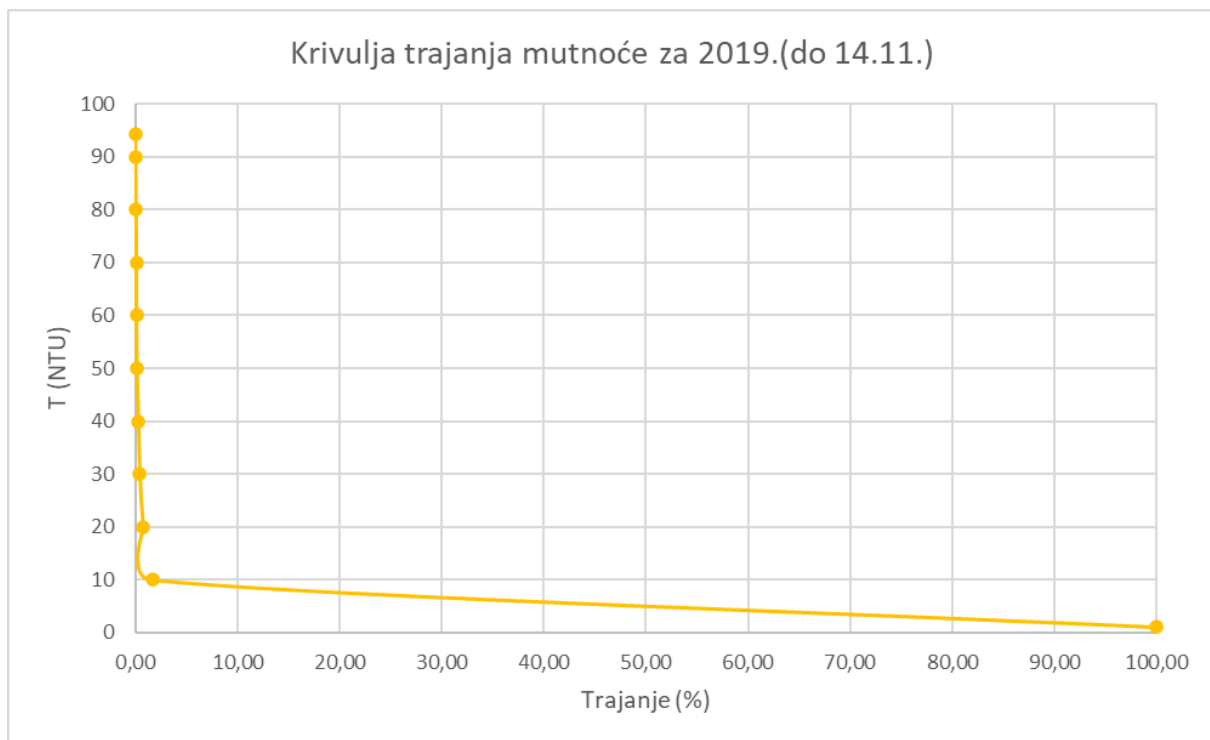
Slika 67. Histogram učestalosti protoka za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)

- MUTNOĆA 2019.

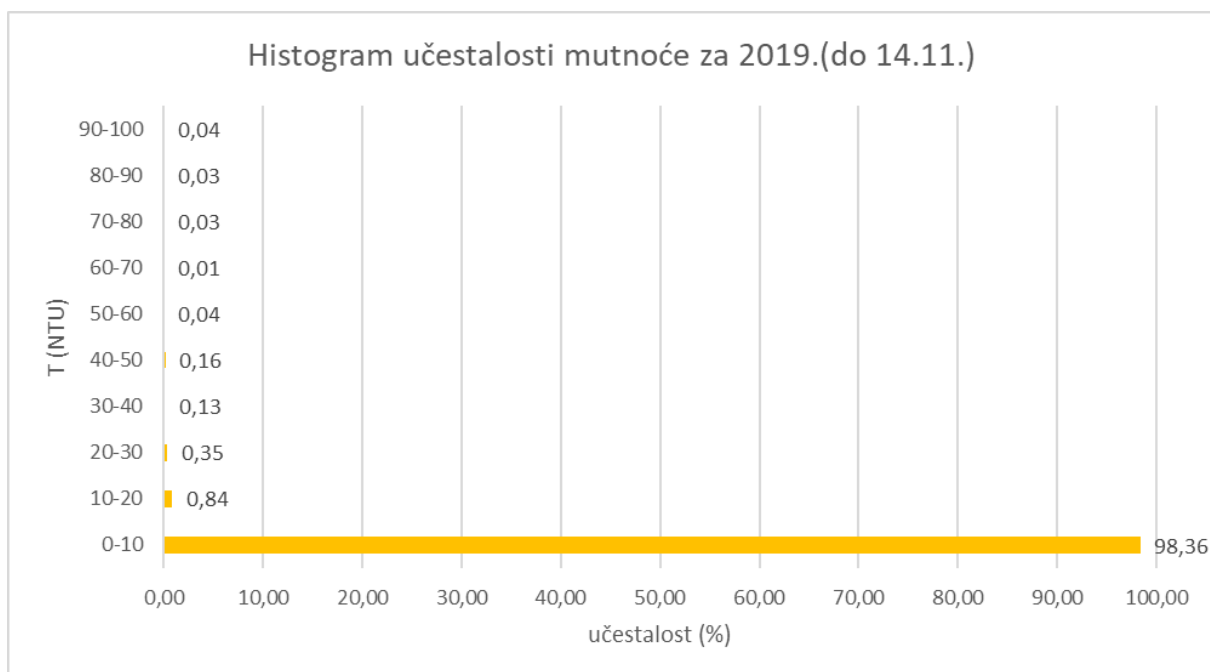
Tablica 29. Učestalost i trajanje mutnoće za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)

MUTNOĆA T (2019, do 14.11.)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-10	6768	98,36	6881	100,00
10-20	58	0,84	113	1,64
20-30	24	0,35	55	0,80
30-40	9	0,13	31	0,45
40-50	11	0,16	22	0,32
50-60	3	0,04	11	0,16
60-70	1	0,01	8	0,12
70-80	2	0,03	7	0,10
80-90	2	0,03	5	0,07
90-100	3	0,04	3	0,04





Slika 68. Krivulja trajanja mutnoće za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)

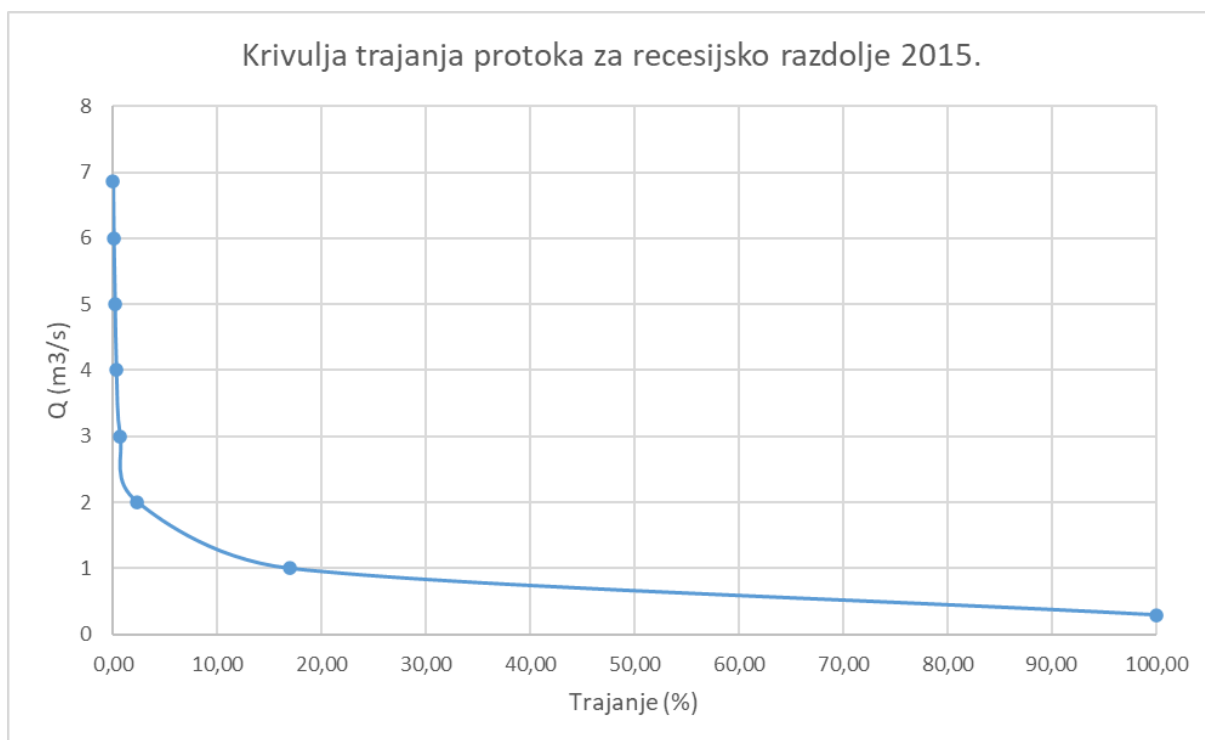


Slika 69. Histogram učestalosti mutnoće za 2016. godinu (do 14.11. 14:00)

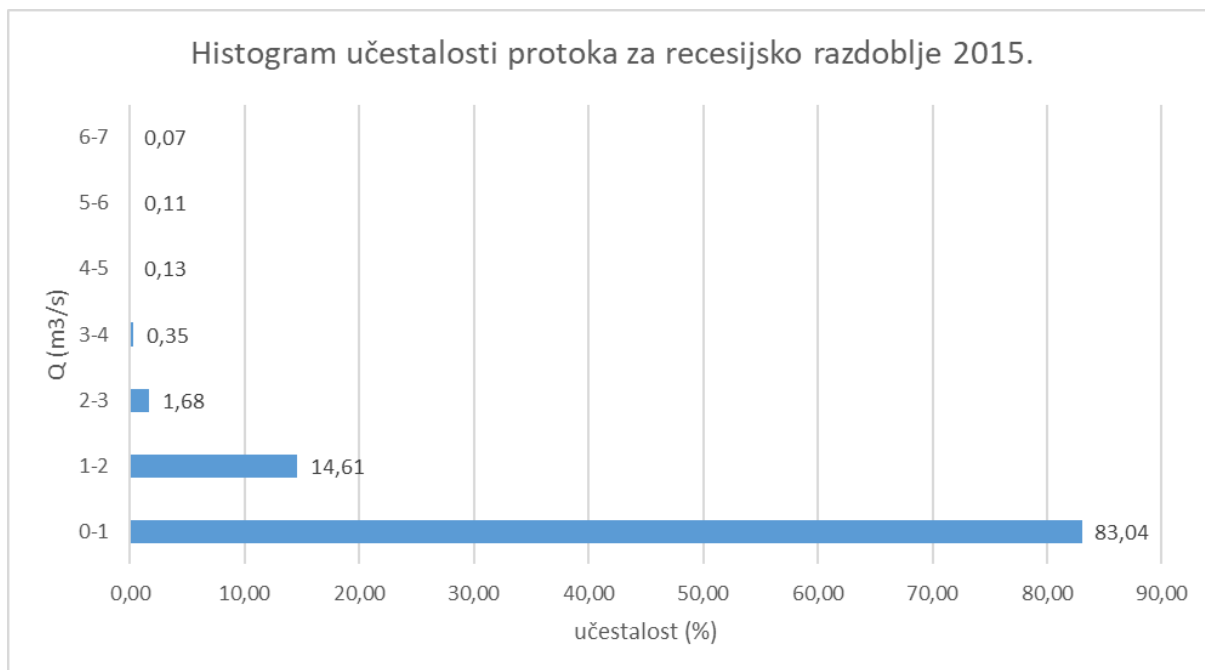
- PROTOK RECESIJSKOG RAZDOBLJA 2015.

Tablica 30. Učestalost i trajanje protoka za recesijsko razdoblje 2015. godine

PROTOK Q (RECESIJA 2015)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-1	3746	83,04	4511	100,00
1-2	659	14,61	765	16,96
2-3	76	1,68	106	2,35
3-4	16	0,35	30	0,67
4-5	6	0,13	14	0,31
5-6	5	0,11	8	0,18
6-7	3	0,07	3	0,07



Slika 70. Krivulja trajanja protoka za recesijsko razdoblje 2015. godine

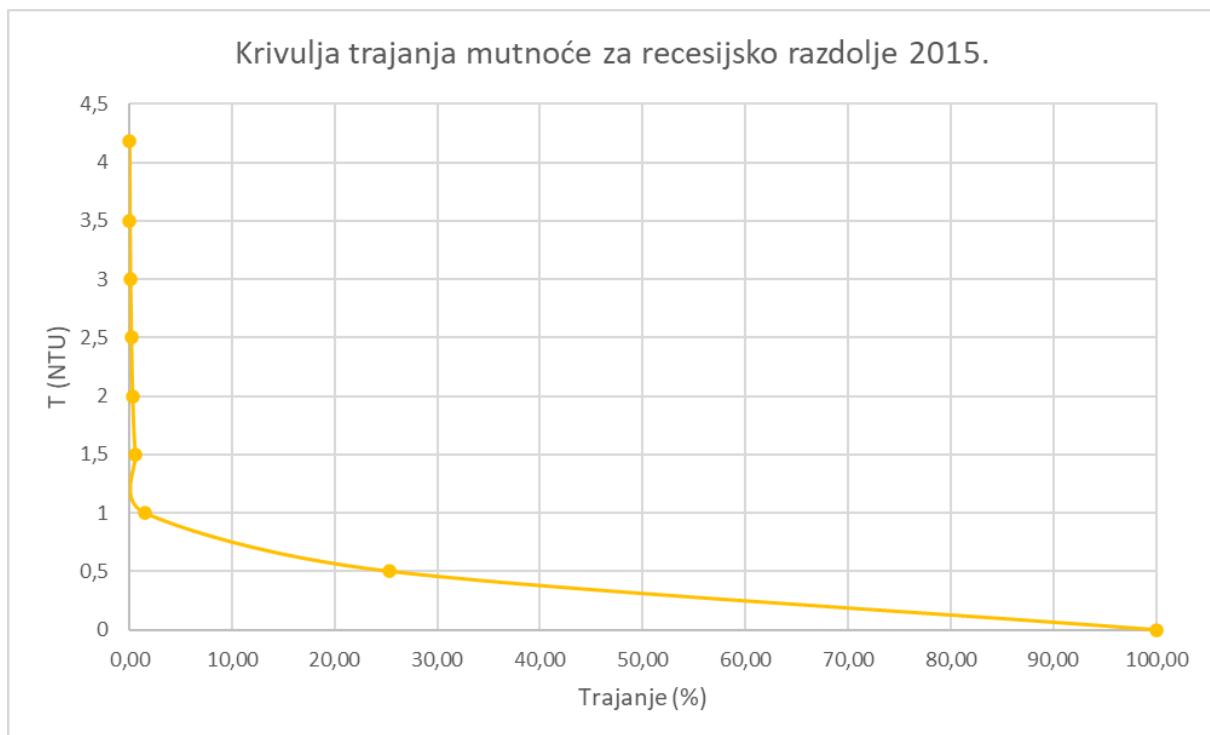


Slika 71. Histogram učestalosti protoka za recesijsko razdoblje 2015. godine

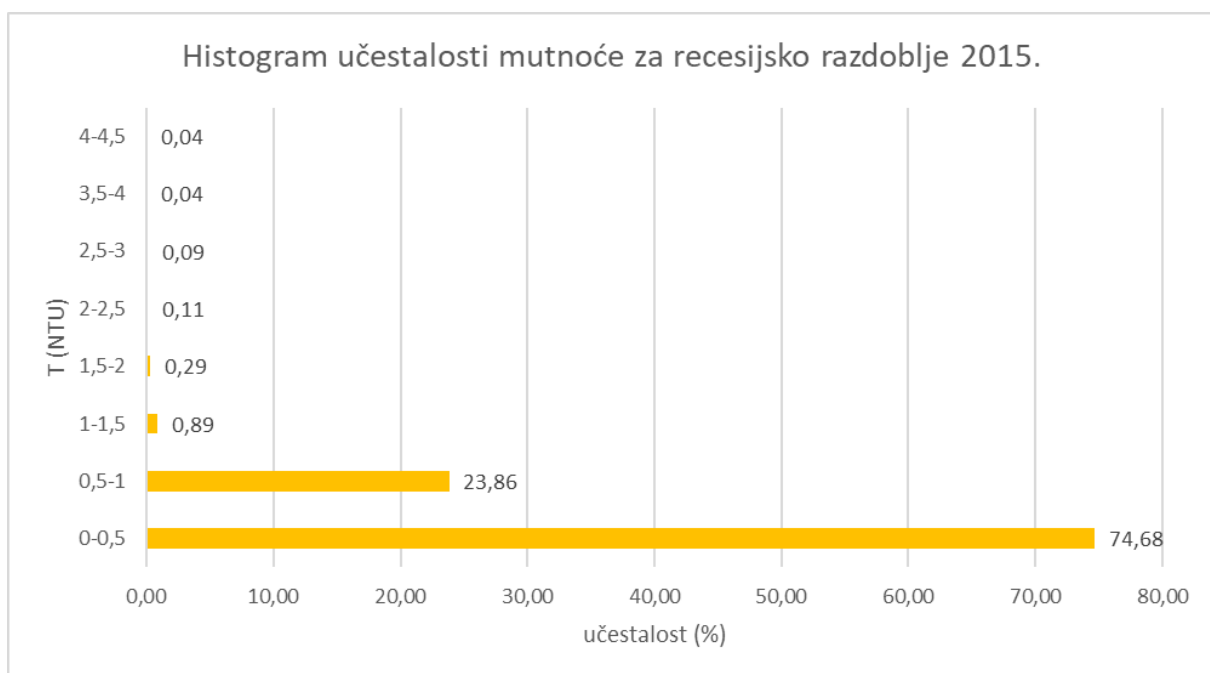
- MUTNOĆA RECESIJSKOG RAZDOBLJA 2015.

Tablica 30. Učestalost i trajanje mutnoće za recesijsko razdoblje 2015. godine

MUTNOĆA T (RECESOKA 2015)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
<b>0-0,5</b>	3368	74,68	4510	100,00
<b>0,5-1</b>	1076	23,86	1142	25,32
<b>1-1,5</b>	40	0,89	66	1,46
<b>1,5-2</b>	13	0,29	26	0,58
<b>2-2,5</b>	5	0,11	13	0,29
<b>2,5-3</b>	4	0,09	8	0,18
<b>3,5-4</b>	2	0,04	4	0,09
<b>4-4,5</b>	2	0,04	2	0,04



Slika 72. Krivulja trajanja mutnoće za recesijsko razdoblje 2015. godine

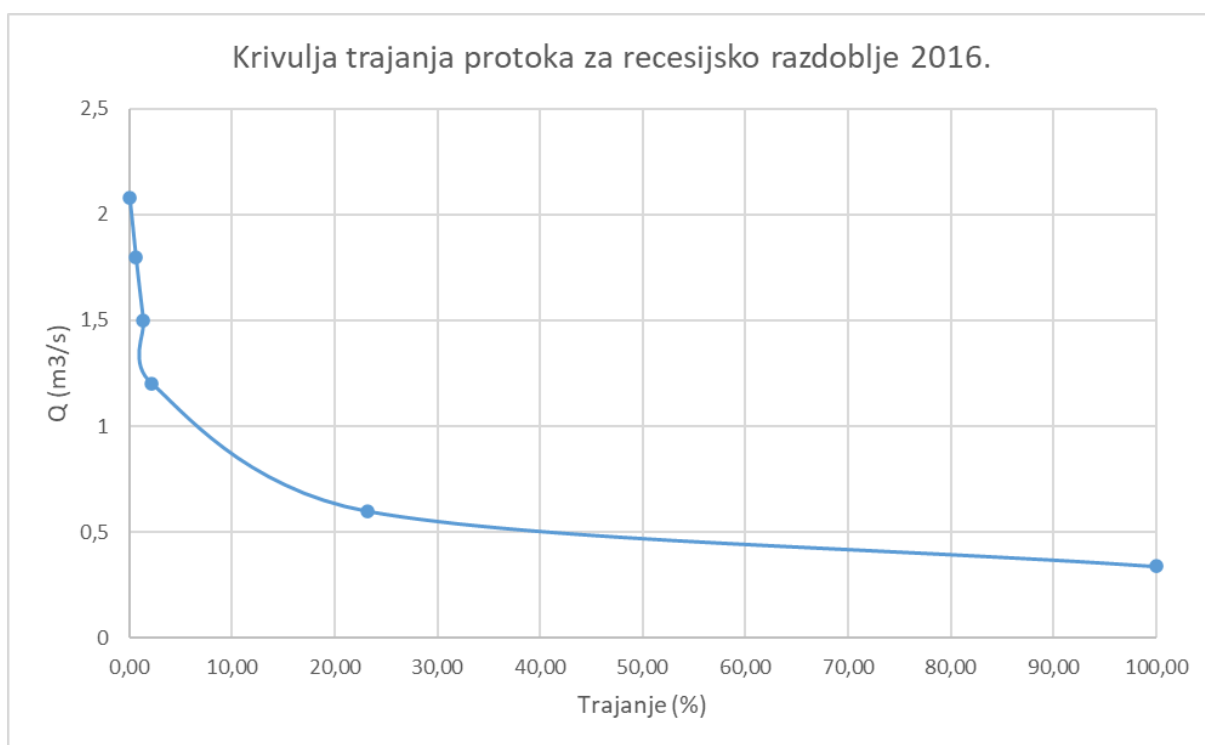


Slika 73. Histogram učestalosti mutnoće za recesijsko razdoblje 2015. godine

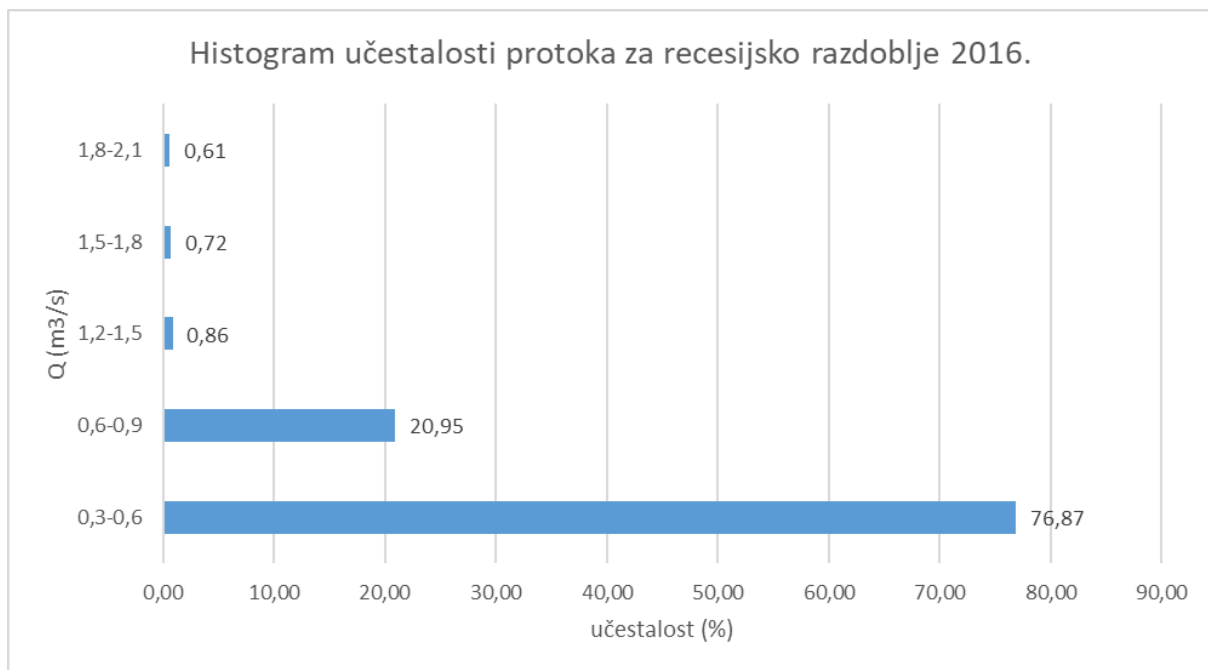
- PROTOK RECESIJSKOG RAZDOBLJA 2016.

Tablica 31. Učestalost i trajanje protoka za recesijsko razdoblje 2016. godine

PROTOK Q (RECESIJA 2016)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0,3-0,6	2143	76,87	2788	100,00
0,6-0,9	584	20,95	645	23,13
1,2-1,5	24	0,86	61	2,19
1,5-1,8	20	0,72	37	1,33
1,8-2,1	17	0,61	17	0,61



Slika 74. Krivulja trajanja protoka za recesijsko razdoblje 2016. godine

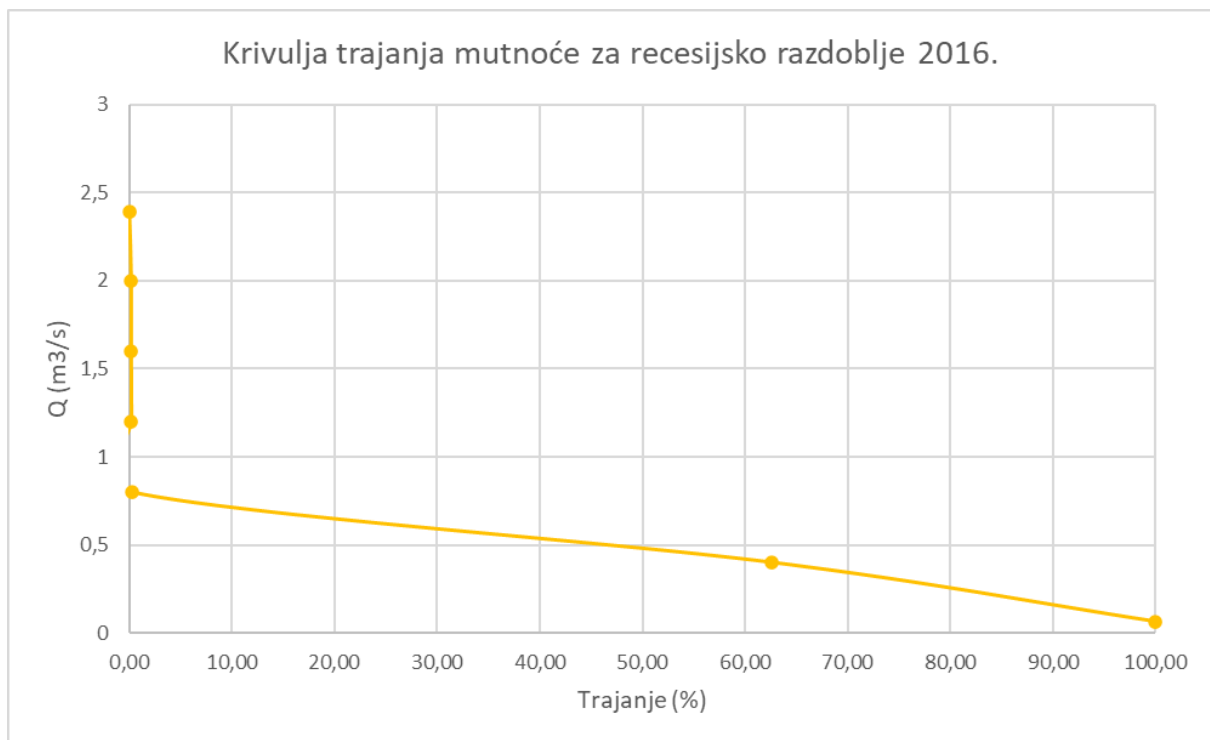


Slika 75. Histogram učestalosti protoka za recesijsko razdoblje 2016. godine

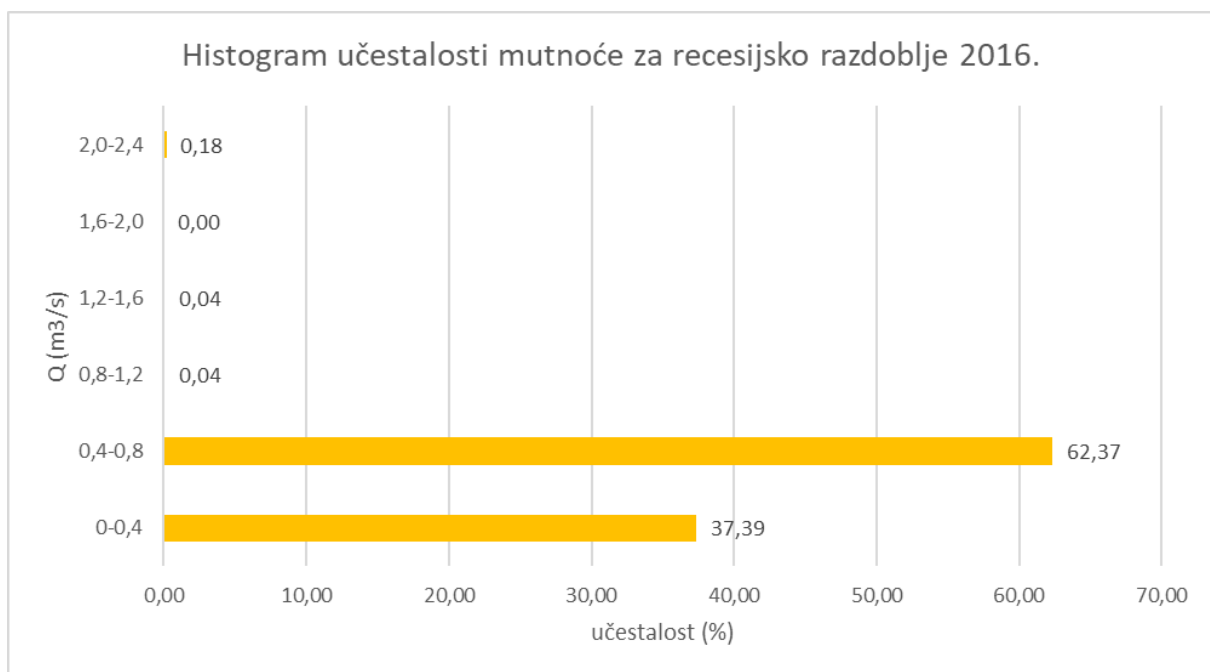
- MUTNOĆA RECESIJSKOG RAZDOBLJA 2016.

Tablica 32. Učestalost i trajanje mutnoće za recesijsko razdoblje 2016. godine

MUTNOĆA T (RECESIJA 2016)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
<b>0-0,4</b>	1061	37,39	2838	100,00
<b>0,4-0,8</b>	1770	62,37	1777	62,61
<b>0,8-1,2</b>	1	0,04	7	0,25
<b>1,2-1,6</b>	1	0,04	6	0,21
<b>1,6-2,0</b>	0	0,00	5	0,18
<b>2,0-2,4</b>	5	0,18	5	0,18



Slika 76. Krivulja trajanja mutnoće za recesijsko razdoblje 2016. godine

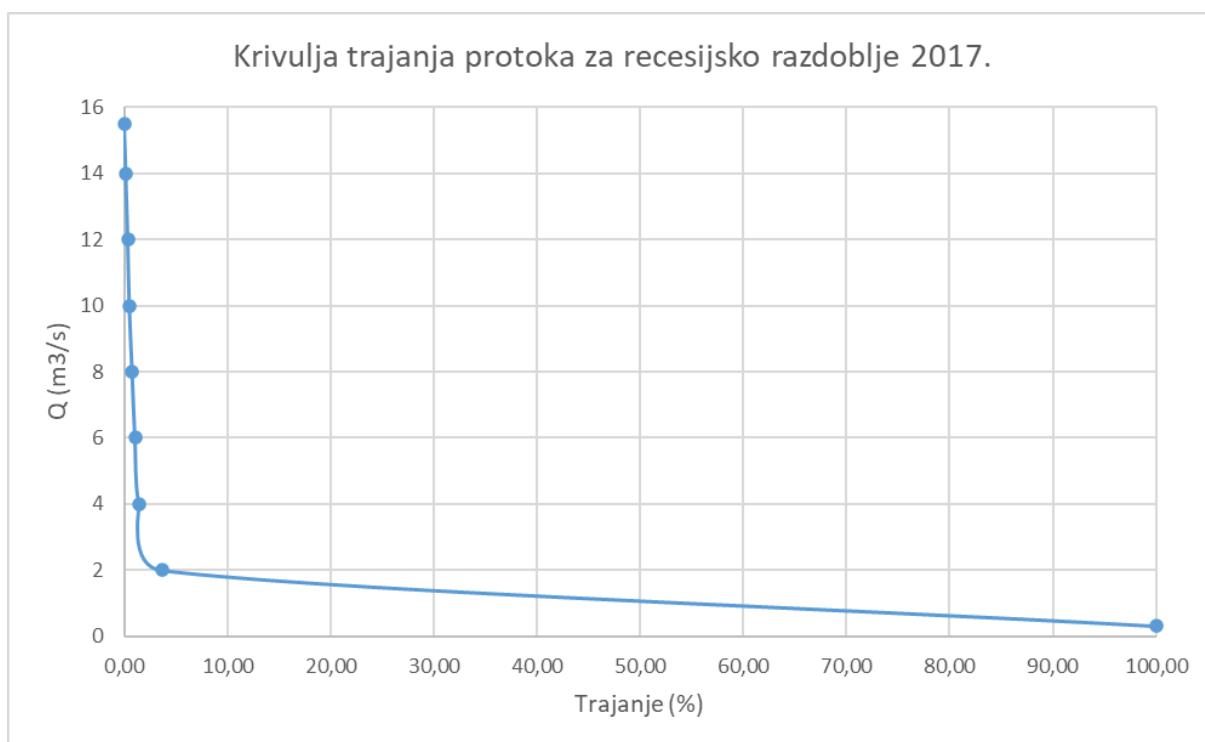


Slika 77. Histogram učestalosti mutnoće za recesijsko razdoblje 2016. godine

- PROTOK RECESIJSKOG RAZDOBLJA 2017.

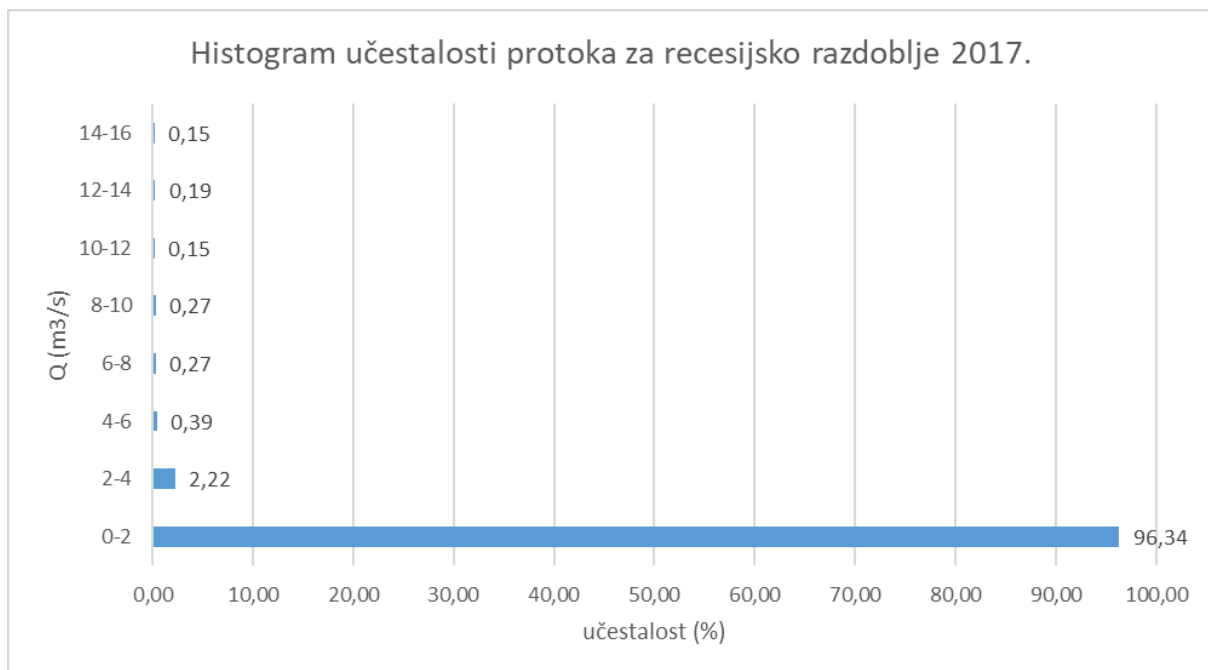
Tablica 33. Učestalost i trajanje protoka za recesijsko razdoblje 2017. godine

PROTOK Q (RECESIJA 2017)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-2	5630	96,34	5844	100,00
2-4	130	2,22	214	3,66
4-6	23	0,39	84	1,44
6-8	16	0,27	61	1,04
8-10	16	0,27	45	0,77
10-12	9	0,15	29	0,50
12-14	11	0,19	20	0,34
14-16	9	0,15	9	0,15



Slika 78. Krivulja trajanja protoka za recesijsko razdoblje 2017. godine



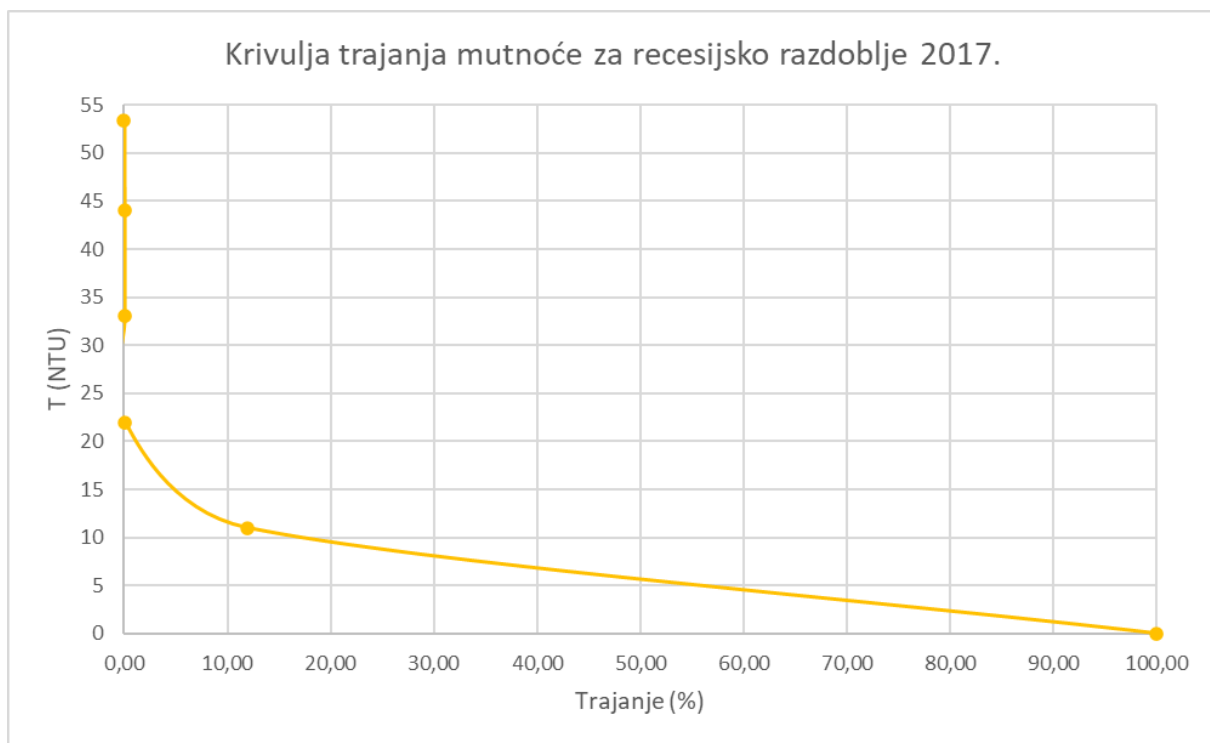


Slika 79. Histogram učestalosti protoka za recesijsko razdoblje 2017. godine

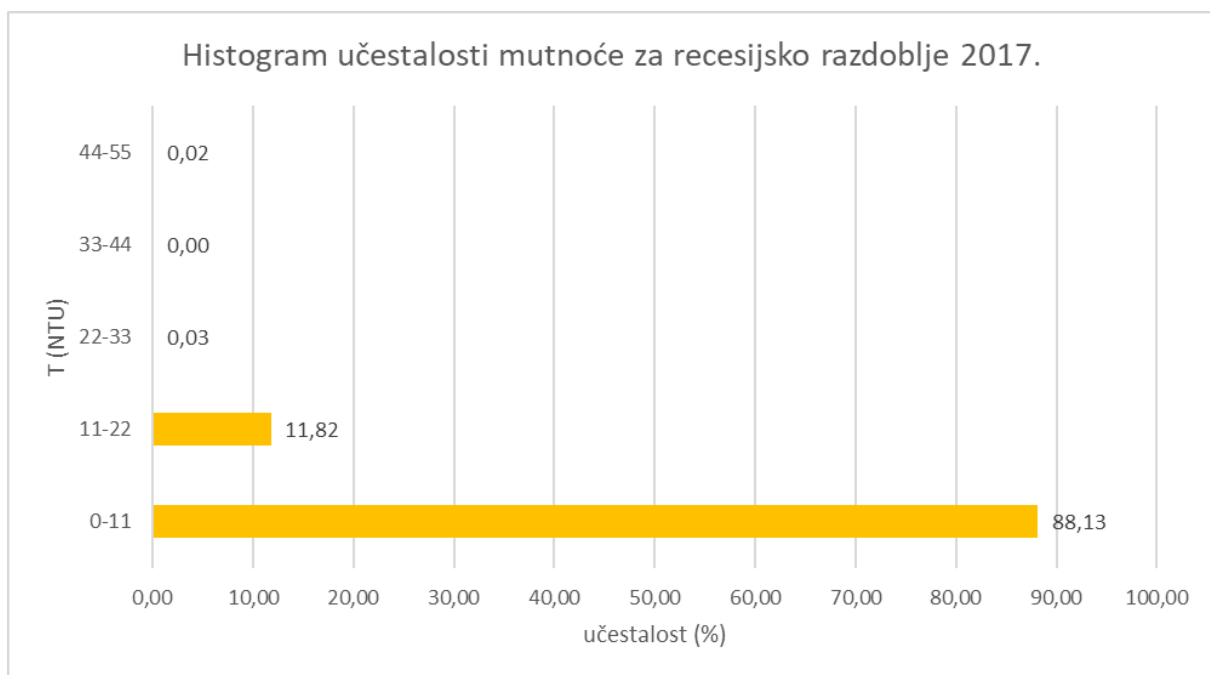
- MUTNOĆA RECESIJSKOG RAZDOBLJA 2017.

Tablica 34. Učestalost i trajanje mutnoće za recesijsko razdoblje 2017. godine

MUTNOĆA T (RECESIJA 2017)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
<b>0-11</b>	5107	88,13	5795	100,00
<b>11-22</b>	685	11,82	688	11,87
<b>22-33</b>	2	0,03	3	0,05
<b>33-44</b>	0	0,00	1	0,02
<b>44-55</b>	1	0,02	1	0,02



Slika 80. Krivulja trajanja mutnoće za recesijsko razdoblje 2017. godine

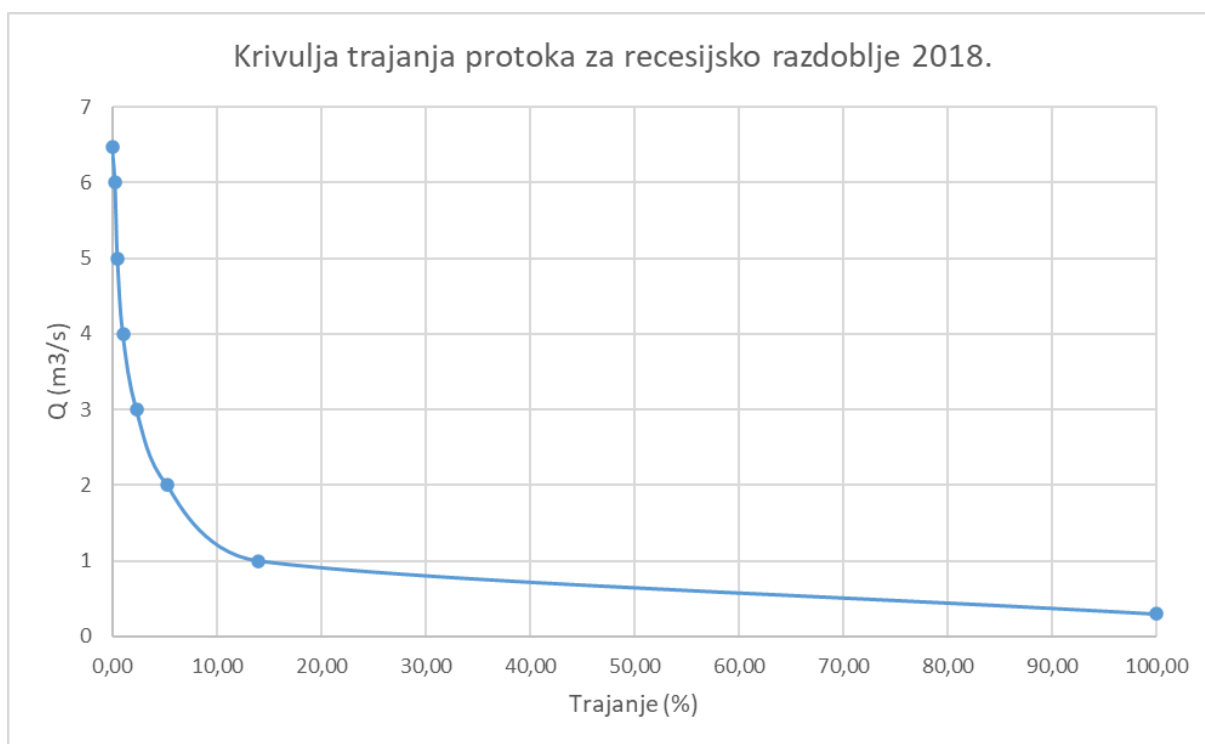


Slika 81. Histogram učestalosti mutnoće za recesijsko razdoblje 2017. godine

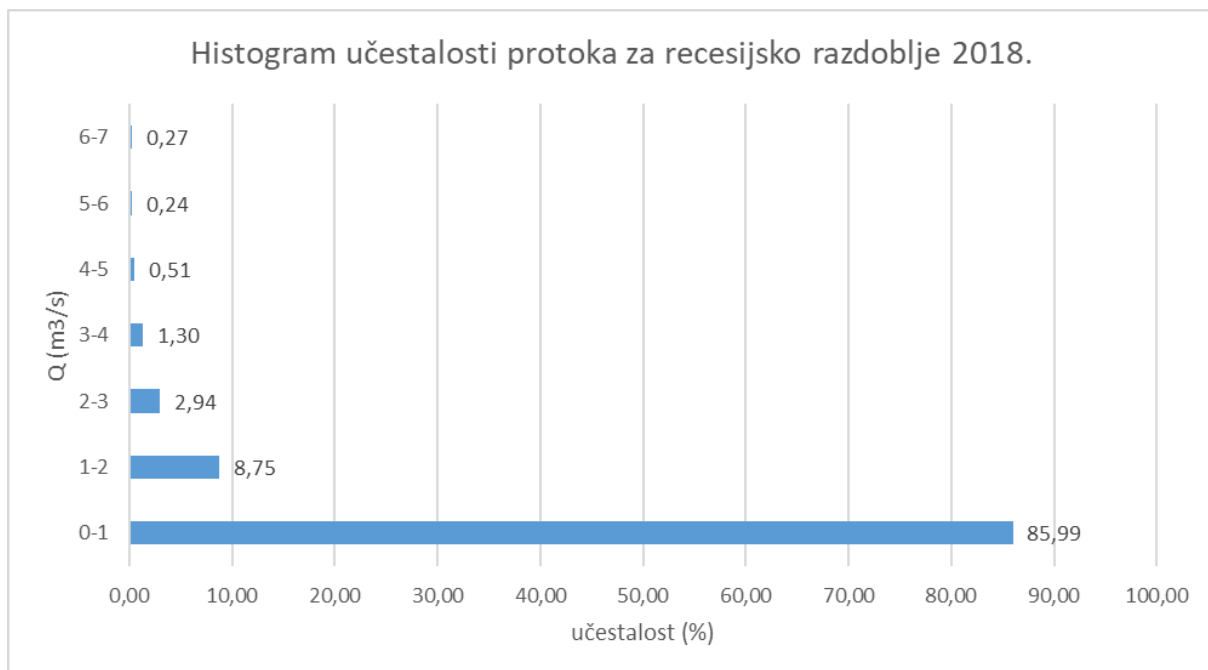
- PROTOK RECESIJSKOG RAZDOBLJA 2018.

Tablica 35. Učestalost i trajanje protoka za recesijsko razdoblje 2018. godine

PROTOK Q (RECESIJA 2018)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-1	3891	85,99	4525	100,00
1-2	396	8,75	634	14,01
2-3	133	2,94	238	5,26
3-4	59	1,30	105	2,32
4-5	23	0,51	46	1,02
5-6	11	0,24	23	0,51
6-7	12	0,27	12	0,27



Slika 82. Krivulja trajanja protoka za recesijsko razdoblje 2018. godine

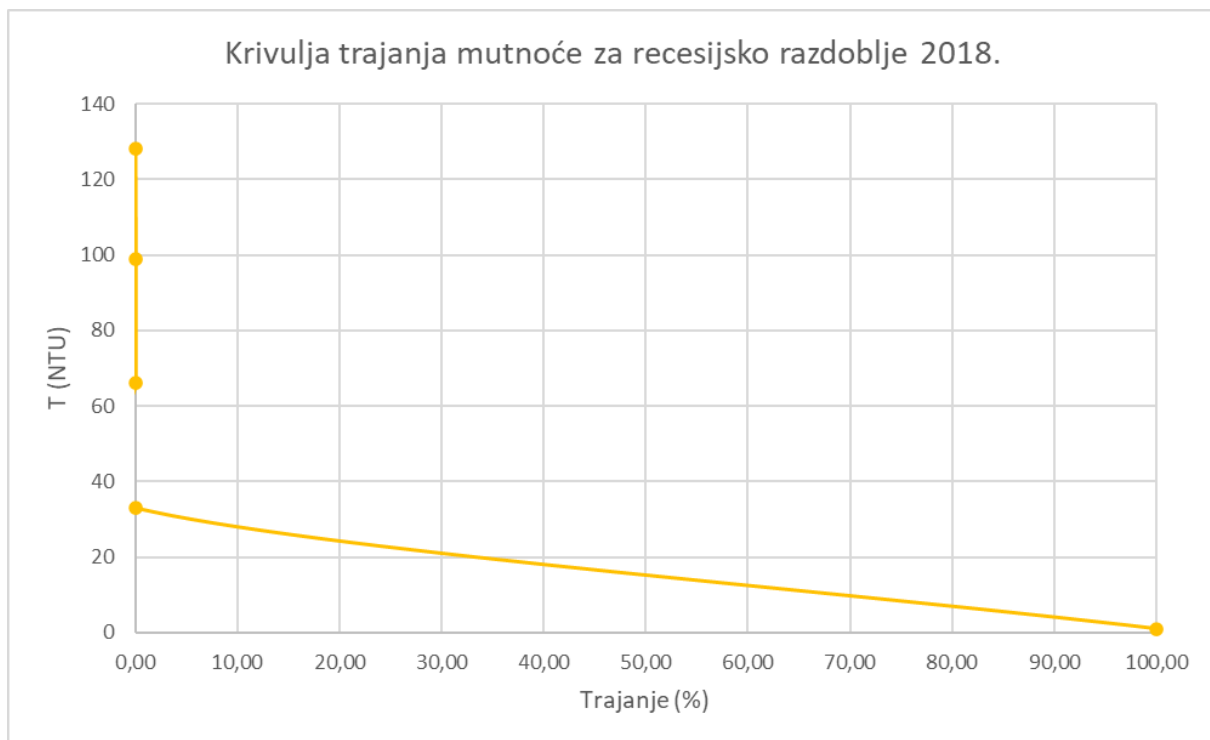


Slika 83. Histogram učestalosti protoka za recesijsko razdoblje 2018. godine

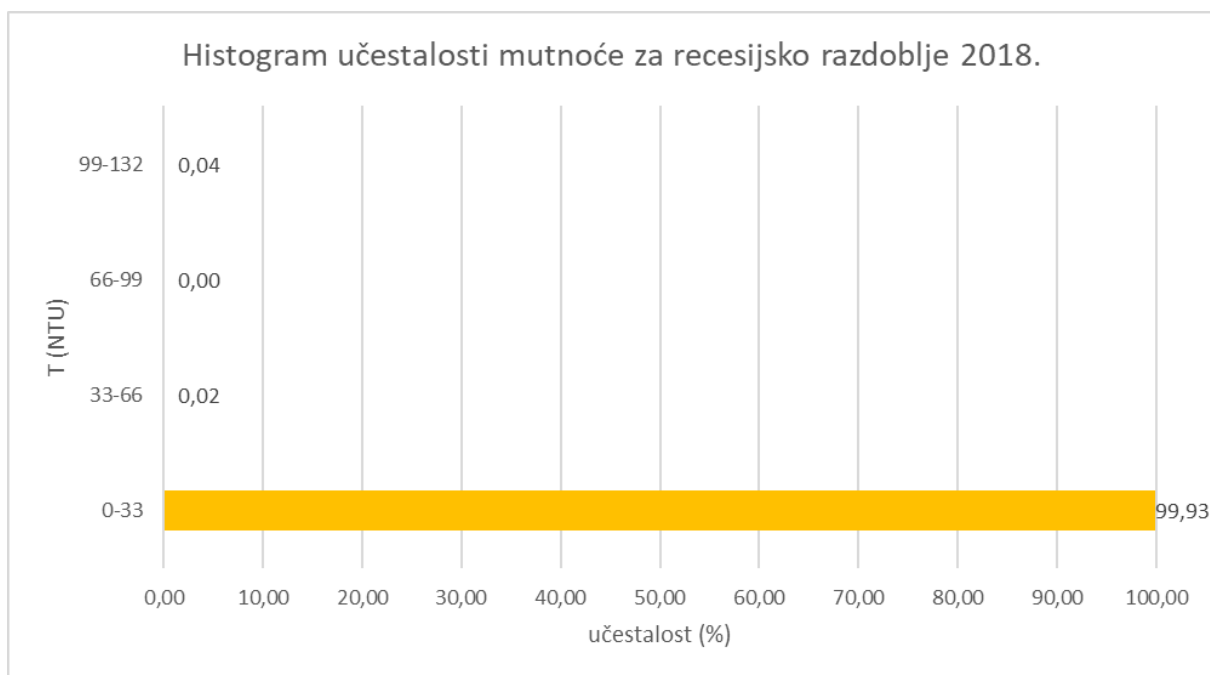
- MUTNOĆA RECESIJSKOG RAZDOBLJA 2018.

Tablica 36. Učestalost i trajanje mutnoće za recesijsko razdoblje 2018. godine

MUTNOĆA T (RECESIJA 2018)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-33	4448	99,93	4451	100,00
33-66	1	0,02	3	0,07
66-99	0	0,00	2	0,04
99-132	2	0,04	2	0,04



Slika 84. Krivulja trajanja mutnoće za recesijsko razdoblje 2018. godine

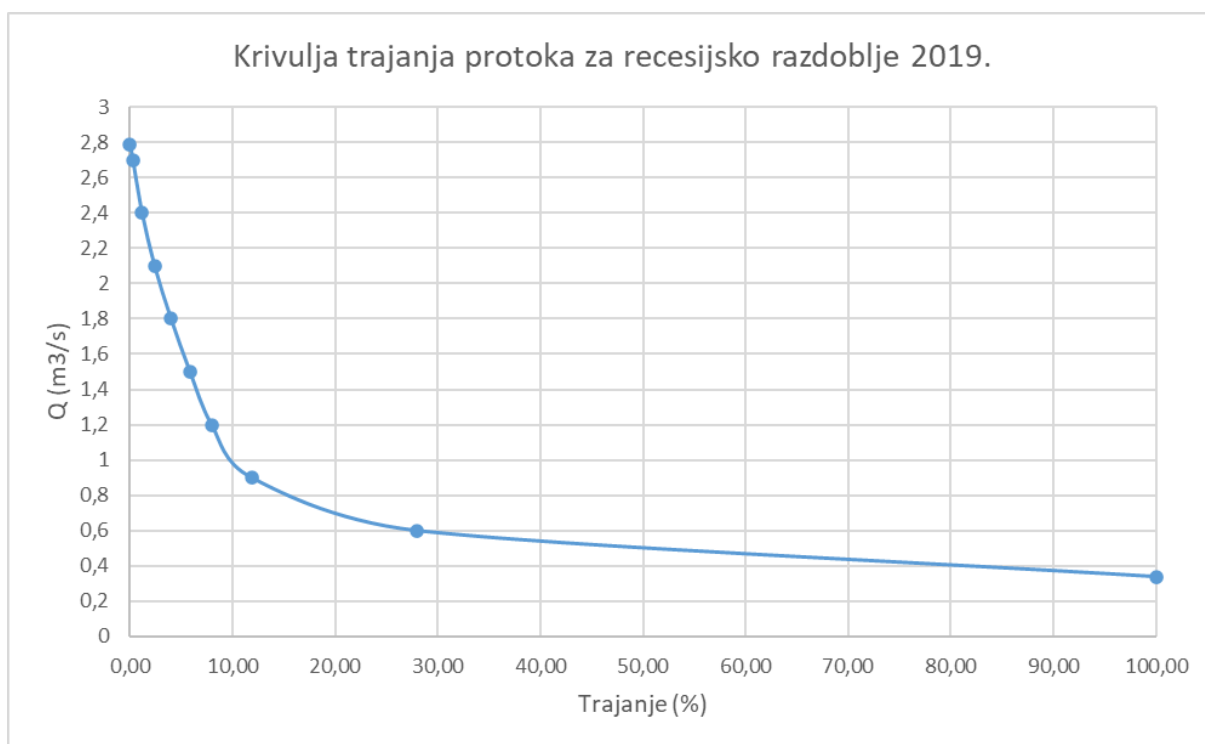


Slika 85. Histogram učestalosti mutnoće za recesijsko razdoblje 2018. godine

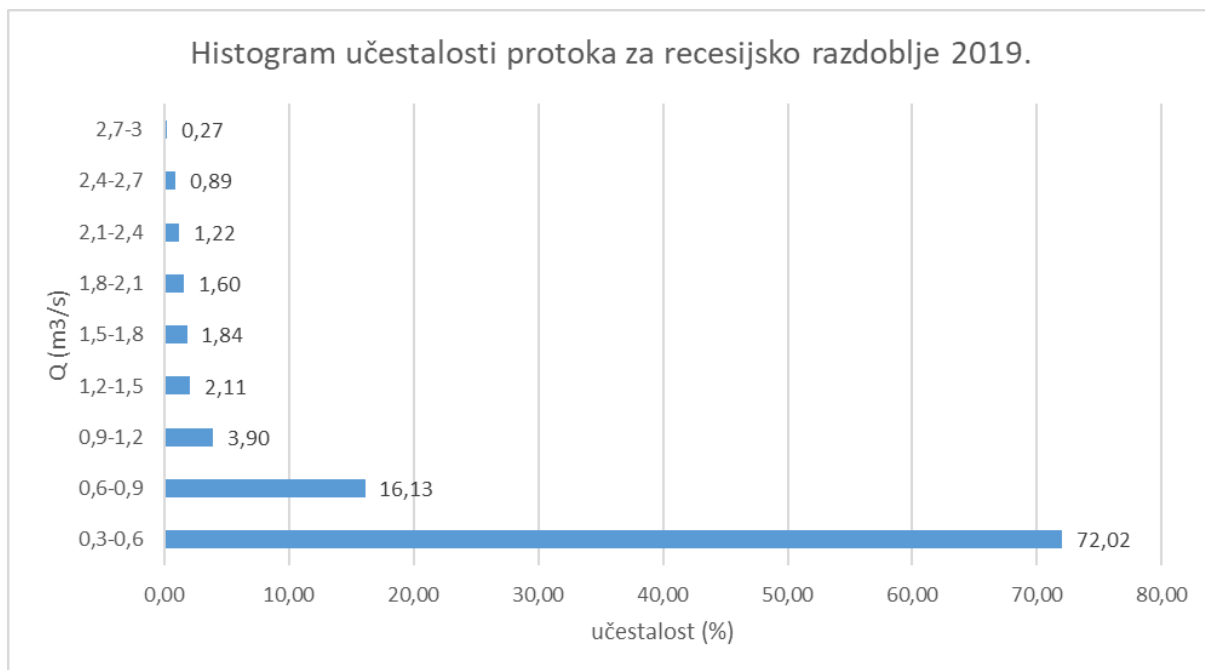
- PROTOK RECESIJSKOG RAZDOBLJA 2019.

Tablica 37. Učestalost i trajanje protoka za recesijsko razdoblje 2019. godine

PROTOK Q (RECESIJA 2019.)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
<b>0,3-0,6</b>	2656	72,02	3688	100,00
<b>0,6-0,9</b>	595	16,13	1032	27,98
<b>0,9-1,2</b>	144	3,90	437	11,85
<b>1,2-1,5</b>	78	2,11	293	7,94
<b>1,5-1,8</b>	68	1,84	215	5,83
<b>1,8-2,1</b>	59	1,60	147	3,99
<b>2,1-2,4</b>	45	1,22	88	2,39
<b>2,4-2,7</b>	33	0,89	43	1,17
<b>2,7-3</b>	10	0,27	10	0,27



Slika 86. Krivulja trajanja protoka za recesijsko razdoblje 2019. godine

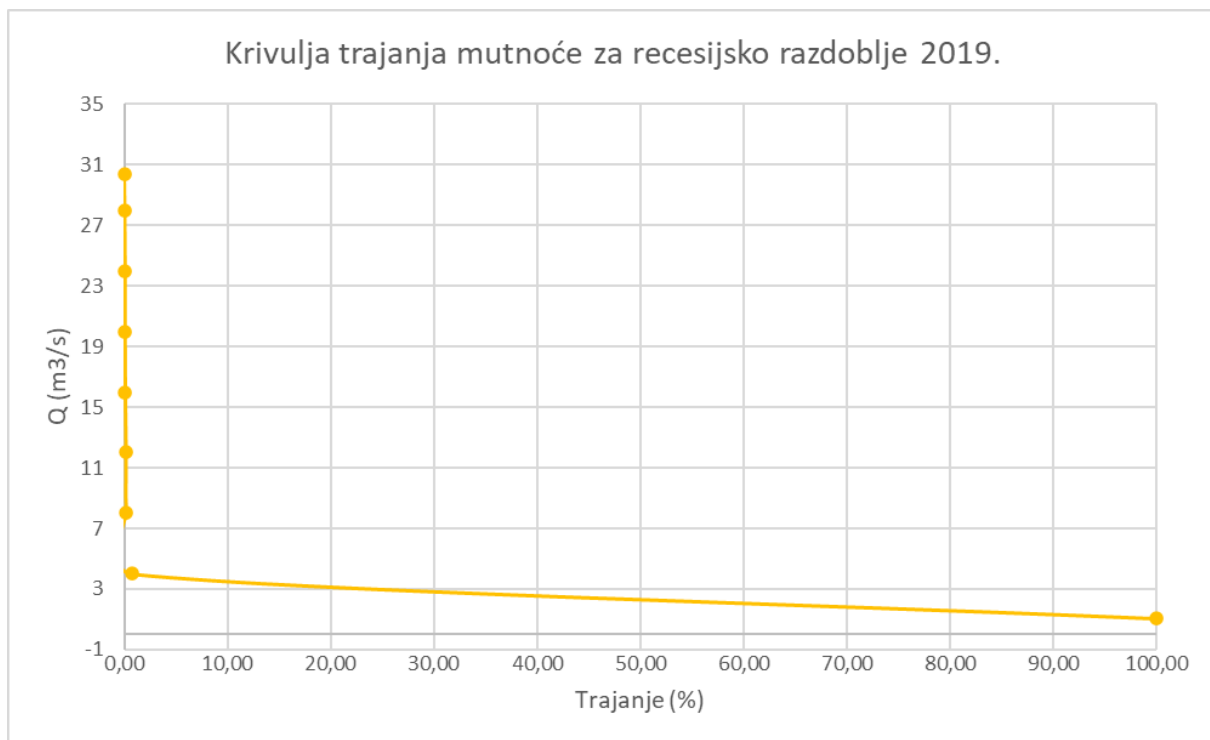


Slika 87. Histogram učestalosti protoka za recesijsko razdoblje 2019. godine

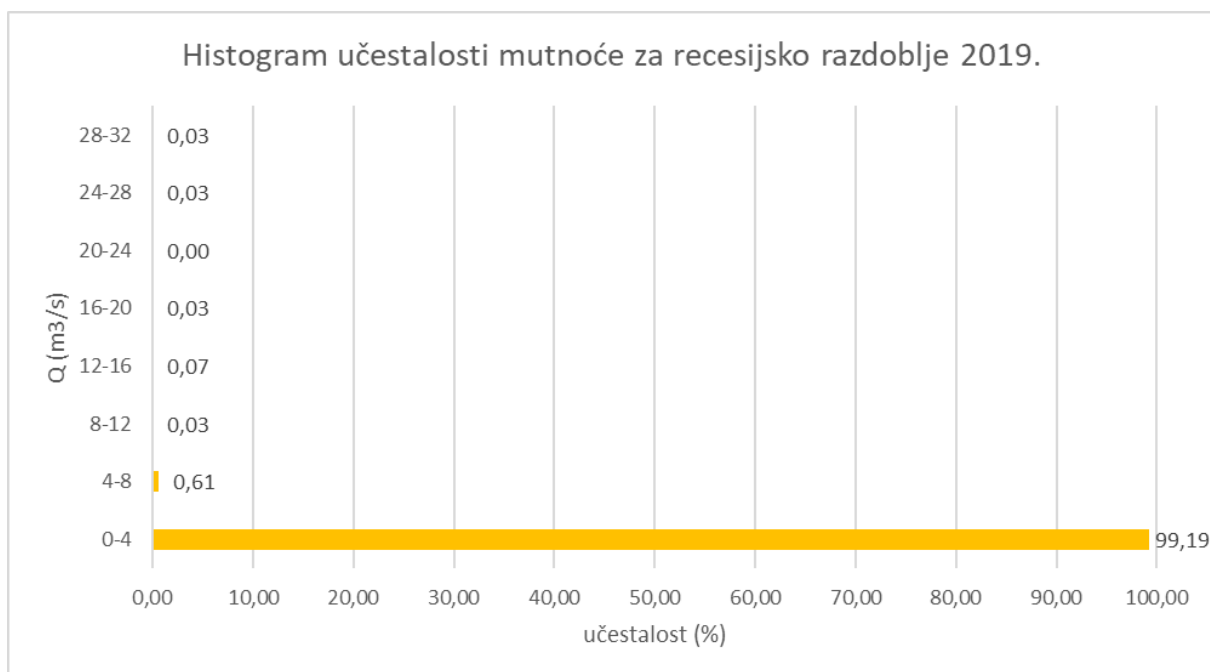
- MUTNOĆA RECESIJSKOG RAZDOBLJA 2019.

Tablica 37. Učestalost i trajanje mutnoće za recesijsko razdoblje 2019. godine

MUTNOĆA T (RECESIJA 2019.)				
RAZRED	UČESTALOST		TRAJANJE	
	DANI	%	DANI	%
0-4	2922	99,19	2946	100,00
4-8	18	0,61	24	0,81
8-12	1	0,03	6	0,20
12-16	2	0,07	5	0,17
16-20	1	0,03	3	0,10
20-24	0	0,00	2	0,07
24-28	1	0,03	2	0,07
28-32	1	0,03	1	0,03



Slika 88. Krivulja trajanja mutnoće za recesijsko razdoblje 2019. godine



Slika 89. Histogram učestalosti mutnoće za recesijsko razdoblje 2019. godine



## 7. KROSKORELACIJSKA ANALIZA VREMENSKIH SERIJA

Izvršena je analiza vremenskih serija satnih podataka o protoku i mutnoći izvora rijeke Žrnovnice, te oborinama izmjerenim na postajama Bisko, Dugopolje i Muć. Korišteni su satni podaci u razdoblju od 2017. do 2019. s tim da su podaci o protoku dostupni samo do 14.11.2019. u 14 sati. Analiza je obavljena kroskorelacijskom metodom za protok i mutnoću, oborine i mutnoću te oborine i protok svake godine kao i za njeno recesijsko razdoblje. Ovakvom analizom dobiva se uvid u međuodnos promatranih varijabli.

Kroskorelacija je alat kojim se određuje mjera korelacije dvaju nizova podataka u određenom vremenu. Ta mjera je izražena koeficijentom kroskorelacije. Kroskorelacijska analiza se vrši na način da se za svaki vremenski korak  $k$  izračuna koeficijent kroskorelacije  $r$ . Ti koeficijenti se zatim nanose na y-osi koordinatnog sustava, dok su na x-osi vremenski koraci, što zajedno čini grafički prikaz zvan kroskorelogram. Iz kroskorelograma je moguće isčitati za koji je vremenski korak postignut najveći koeficijent kroskorelacije i kojeg je iznosa. Vremenski korak s najvećim koeficijentom predstavlja vrijeme kašnjenja (eng. *time lag*) kada je stupanj usklađenosti vremenskih serija maksimalan. Koeficijent kroskorelacije računa se pomoću sljedećeg izraza [12]:

$$r_{xy}(k) = \frac{C_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y}$$

$$C_{xy}(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(y_{i+k} - \bar{y})$$

pri čemu su:

$r_{xy}(k)$  - kroskorelacijska funkcija

$k$  – vremenski korak

$\sigma_x, \sigma_y$  – standardne devijacije vremenskih serija

$C_{xy}(k)$  – kovarijanca

$x_i, y_i$  – vremenski nizovi

$n$  – broj podataka

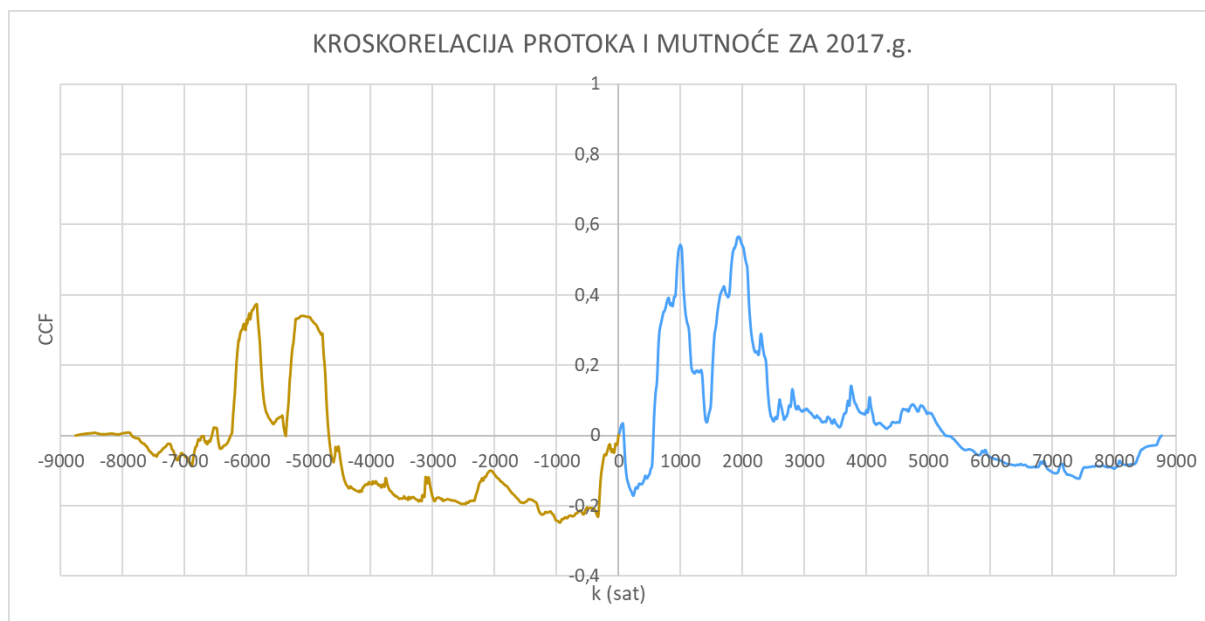
Koeficijent kroskorelacije opisuje vezu između ulazne i izlazne serije. Za slučaj da za  $k > 0$  vrijedi  $r_{xy}(k) > 0$ , znači da izlazna serija ovisi o ulaznoj, a za slučaj da je  $r_{xy}(k) < 0$ , ulazna serija ovisi o izlaznoj. Kroskorelacijska funkcija obično nije simetrična u odnosu na os  $y$  ( $r_{xy}(k) \neq r_{yx}(k)$ ).

Priložene su dobivene kroskorelacije protoka i mutnoće (slike 90.-95.), oborina i mutnoće (slike 96.-113.) te oborina i protoka (slike 114.-131.) tokom godina 2017.-2019. i za njihova

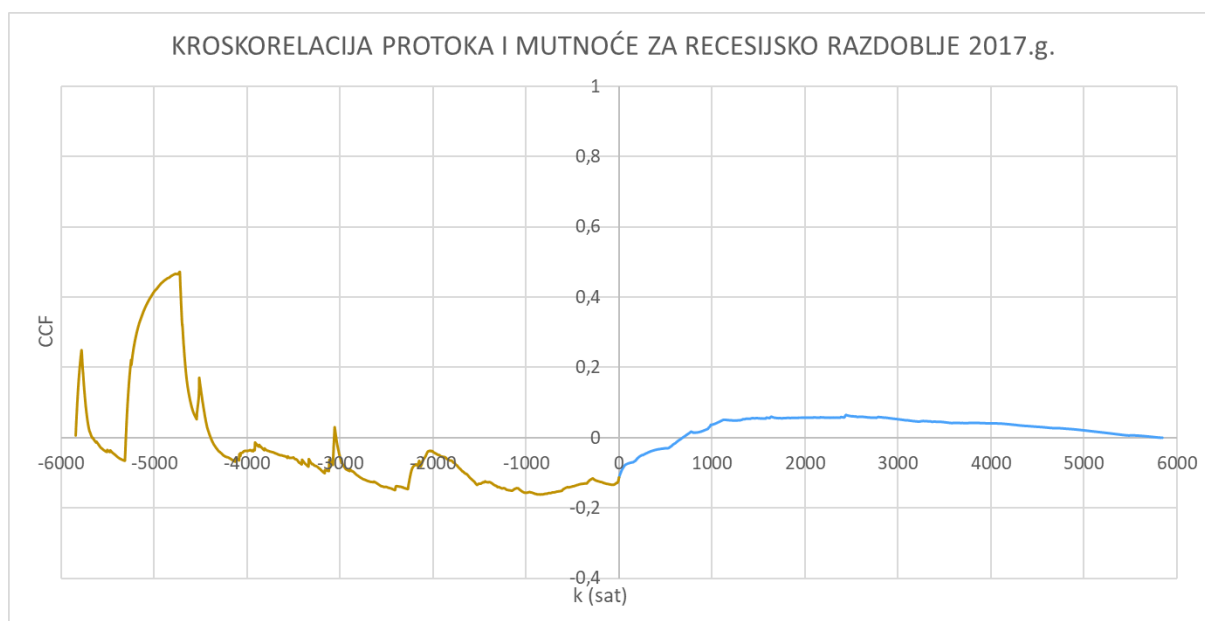
recesijska razdoblja. Korištene su satne vrijednosti protoka, mutnoće i oborina (dnevne oborine su svedene na satne).

### 7.1. Kroskorelacija protoka i mutnoće (2017.-2019.)

- 2017.

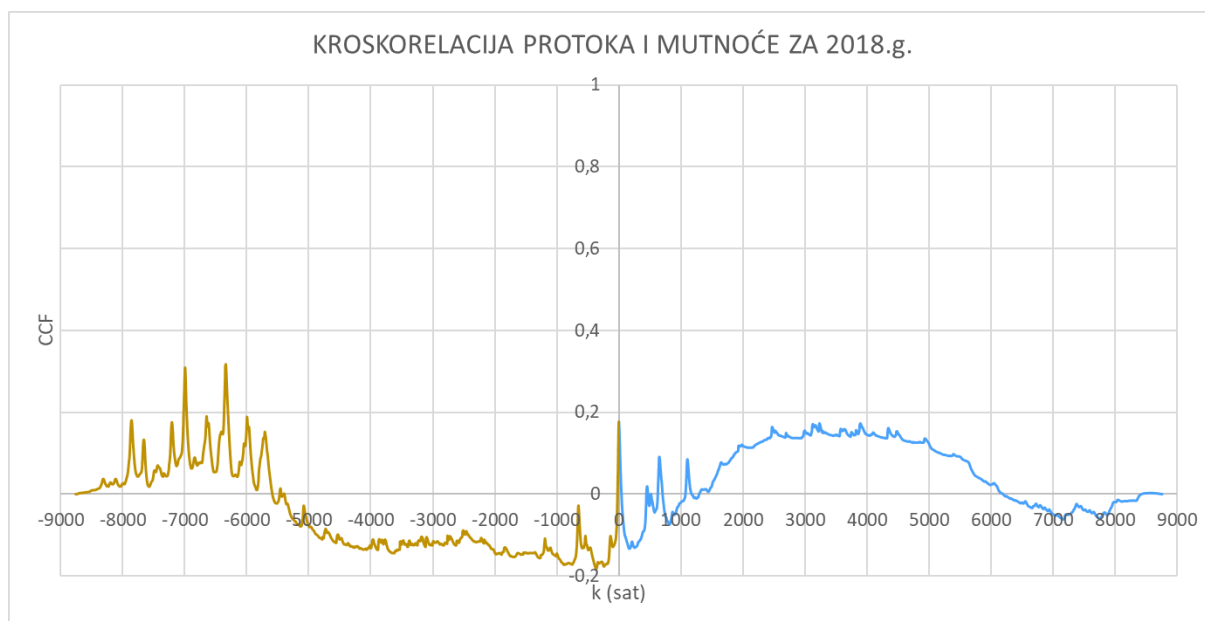


Slika 90. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice 2017.

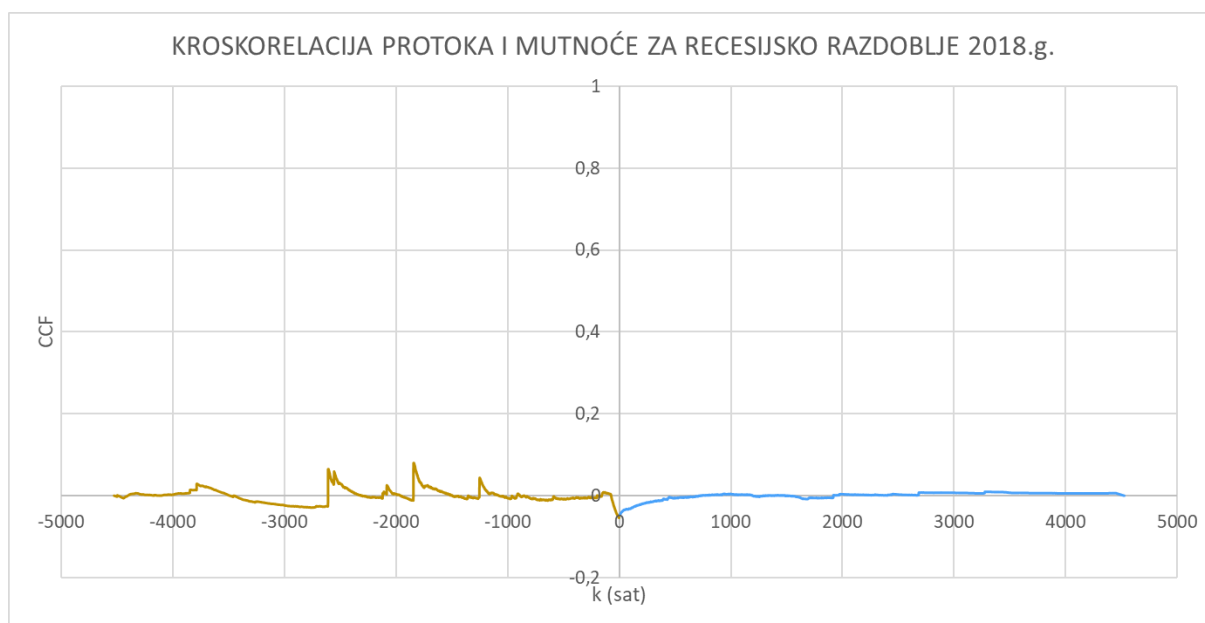


Slika 91. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za recesijsko razdoblje 2017.

- 2018.

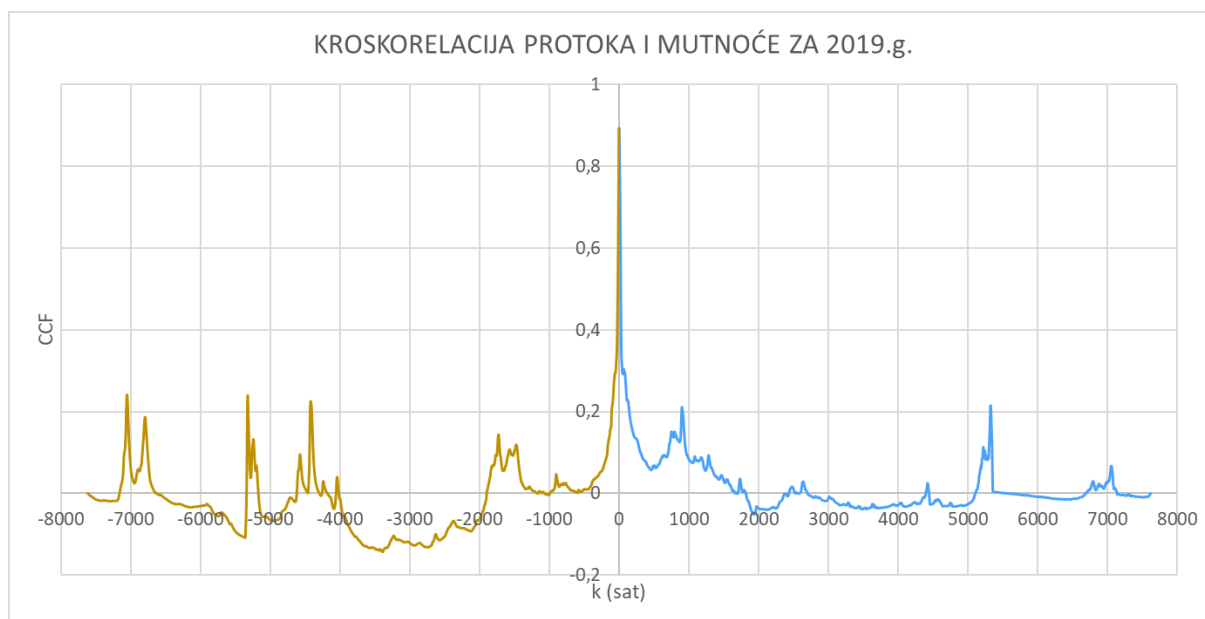


Slika 92. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice 2018.

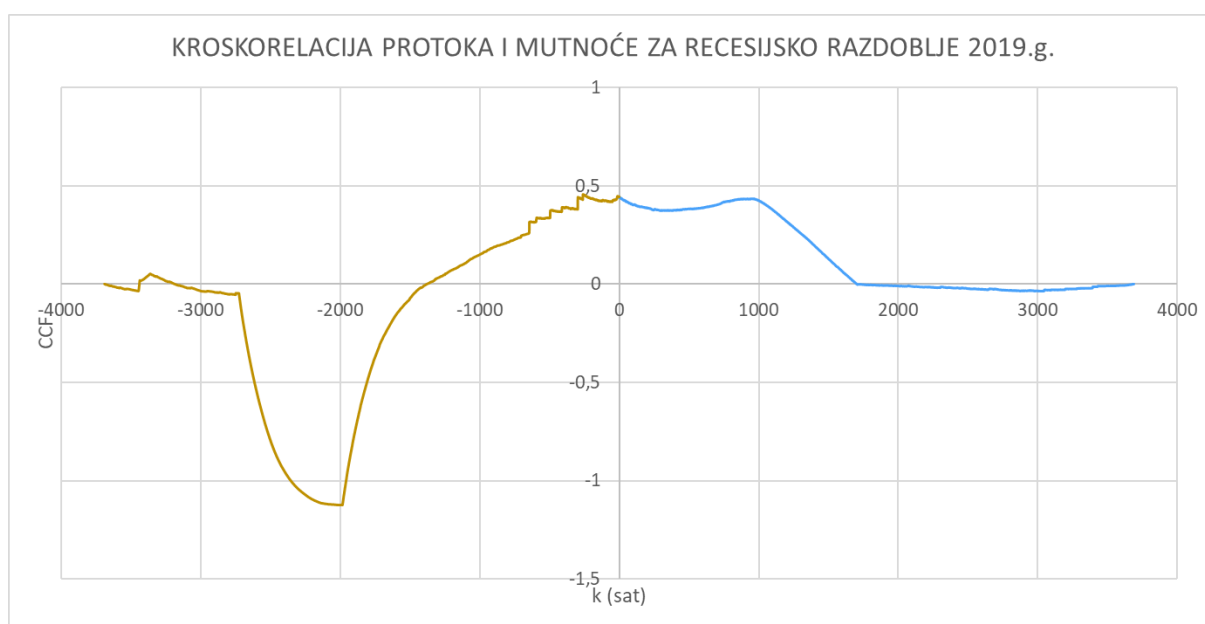


Slika 93. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za recesijsko razdoblje 2018.

- 2019.



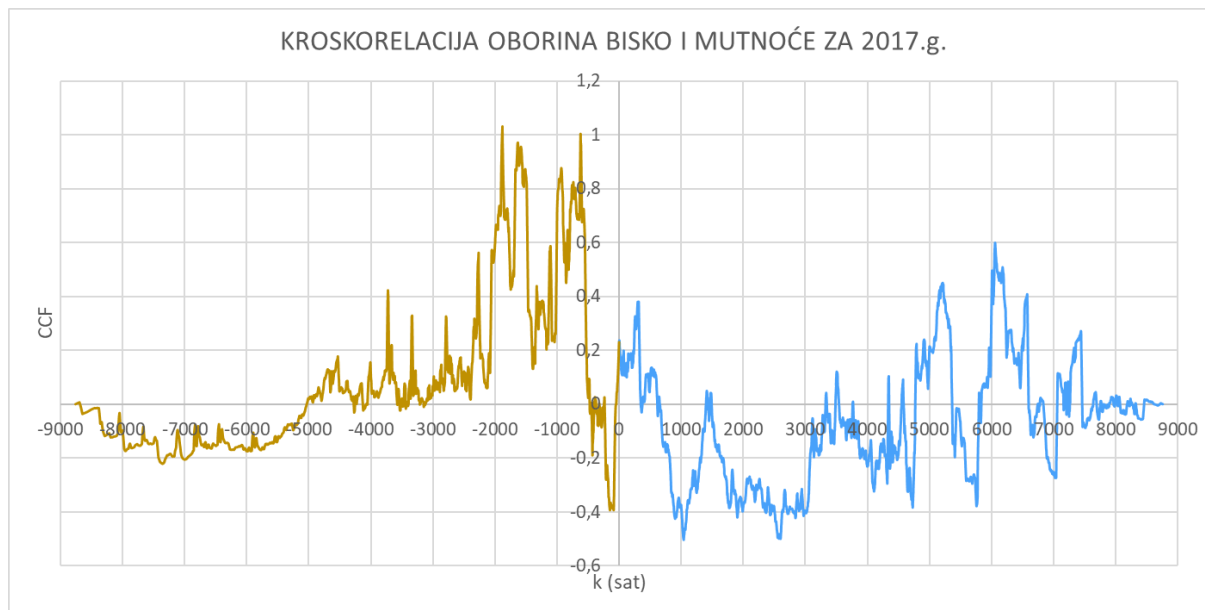
Slika 94. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice 2019. (do 14.11. 14:00)



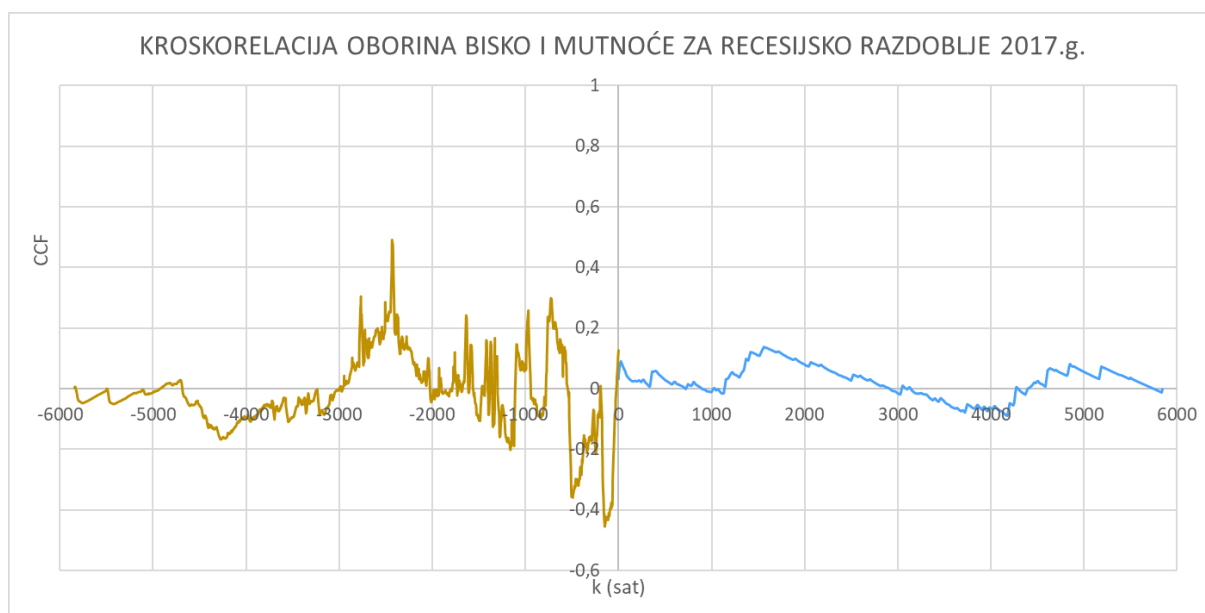
Slika 95. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za recesijsko razdoblje 2019.

## 7.2. Kroskorelacija oborina i mutnoće za mjernu postaju Bisko (2017.-2019.)

- 2017.

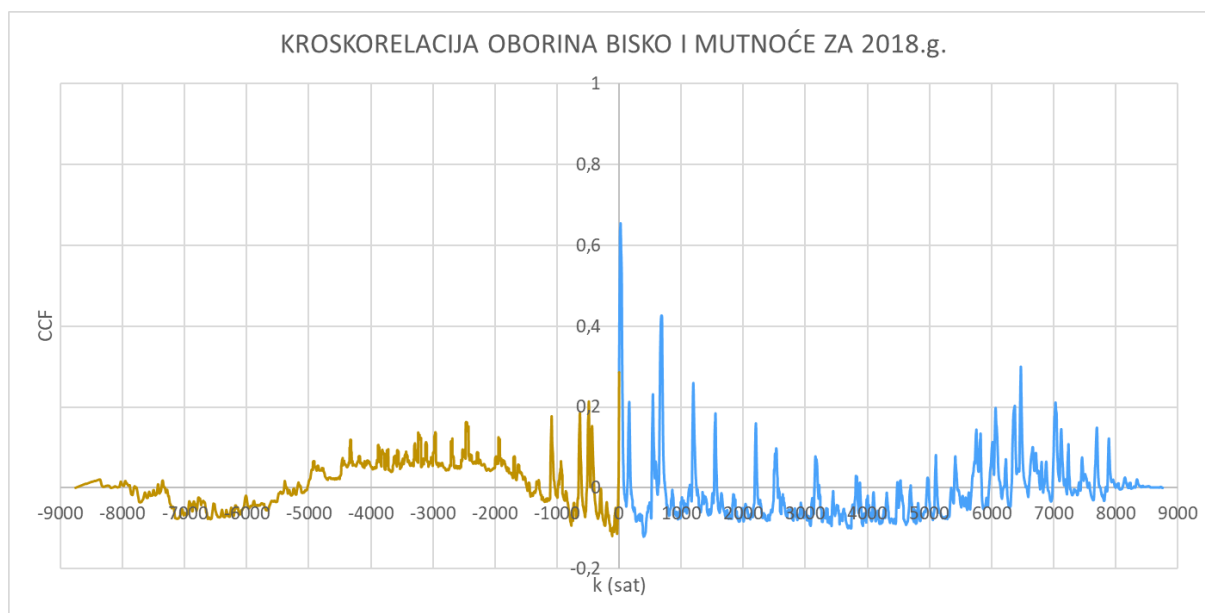


Slika 96. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće 2017.

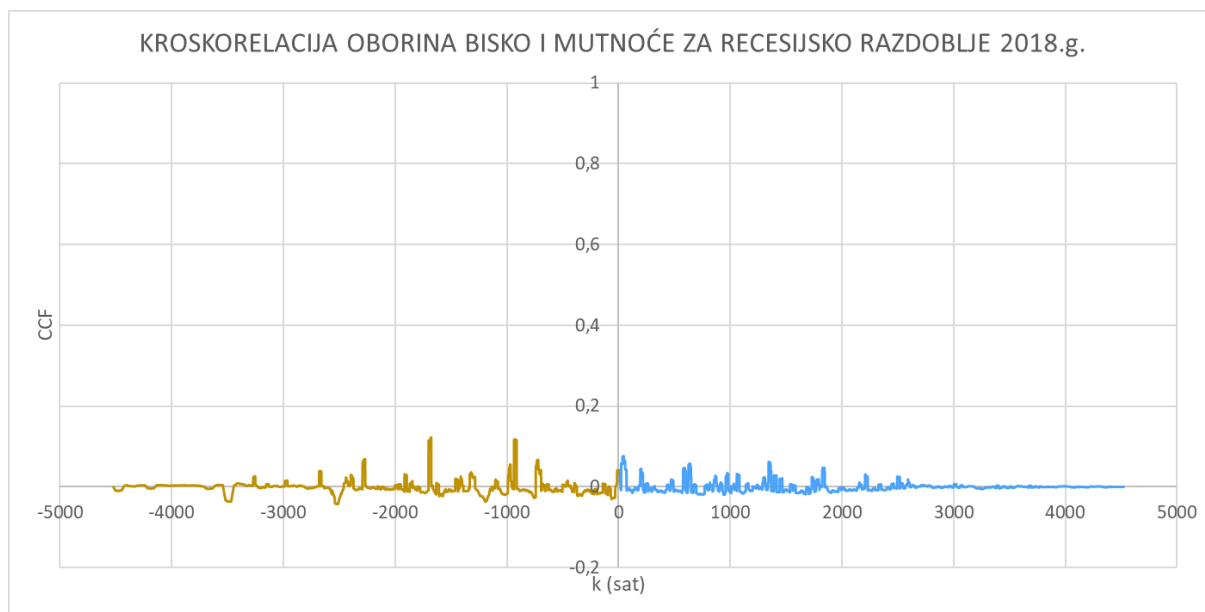


Slika 97. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće za recesijsko razdoblje 2017.

- 2018.

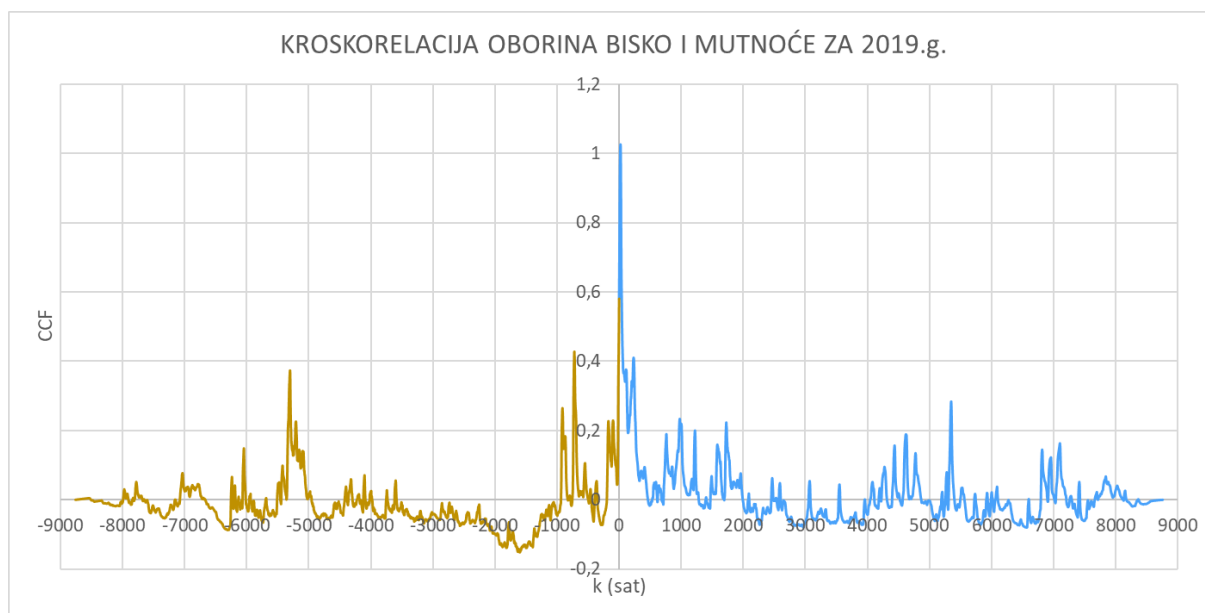


Slika 98. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće 2018.

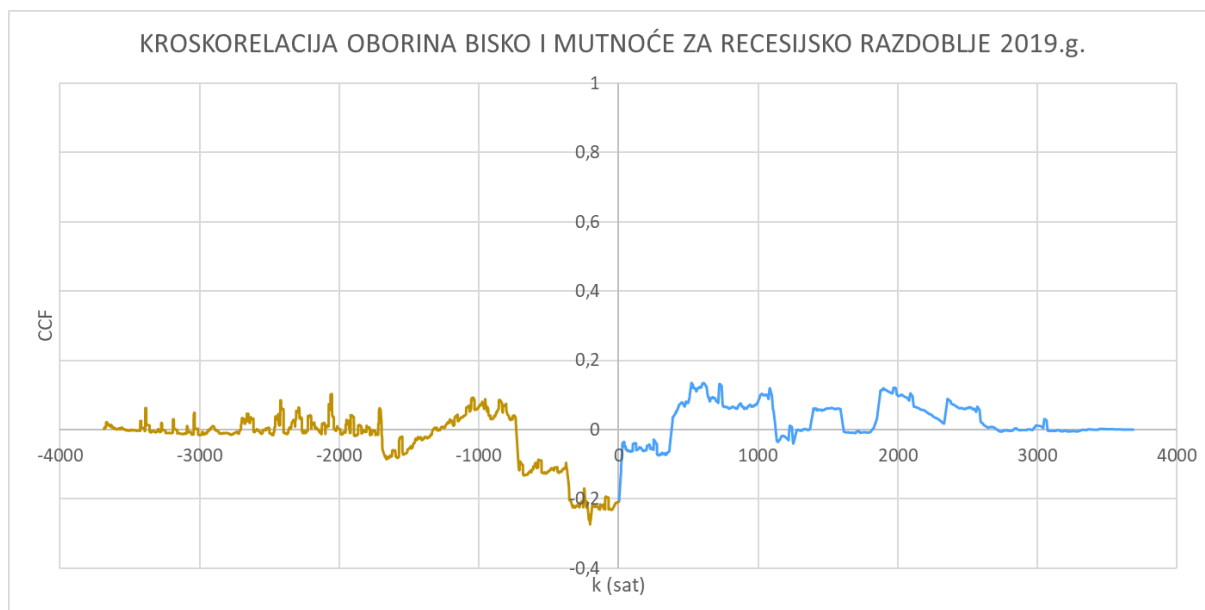


Slika 99. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće za recesijsko razdoblje 2018.

- 2019.



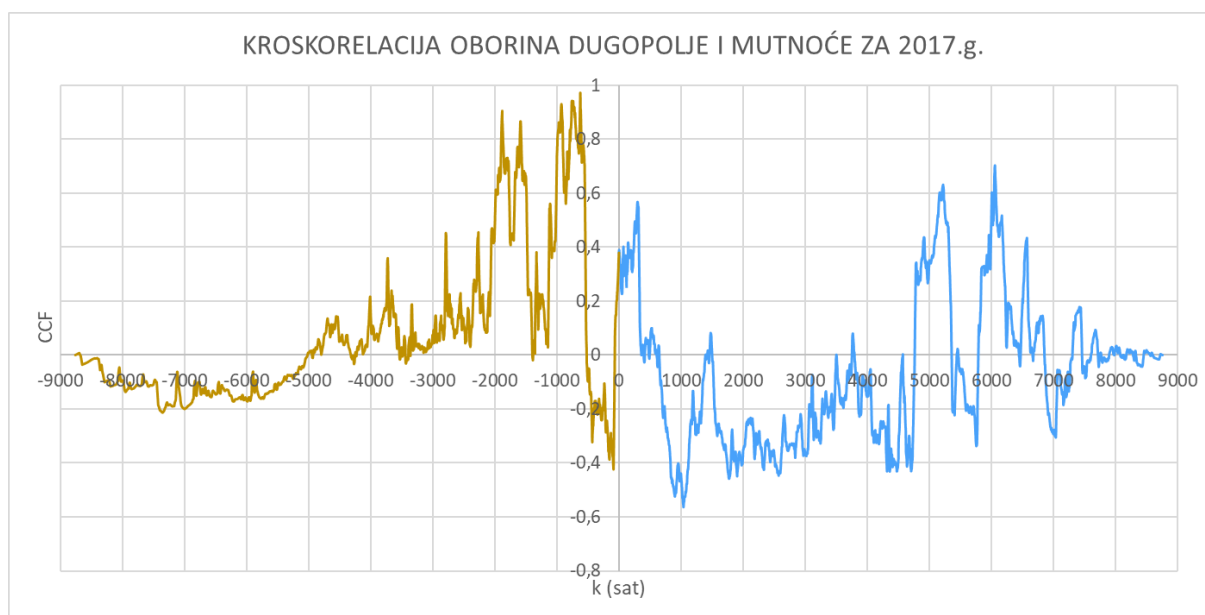
Slika 100. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće 2019.



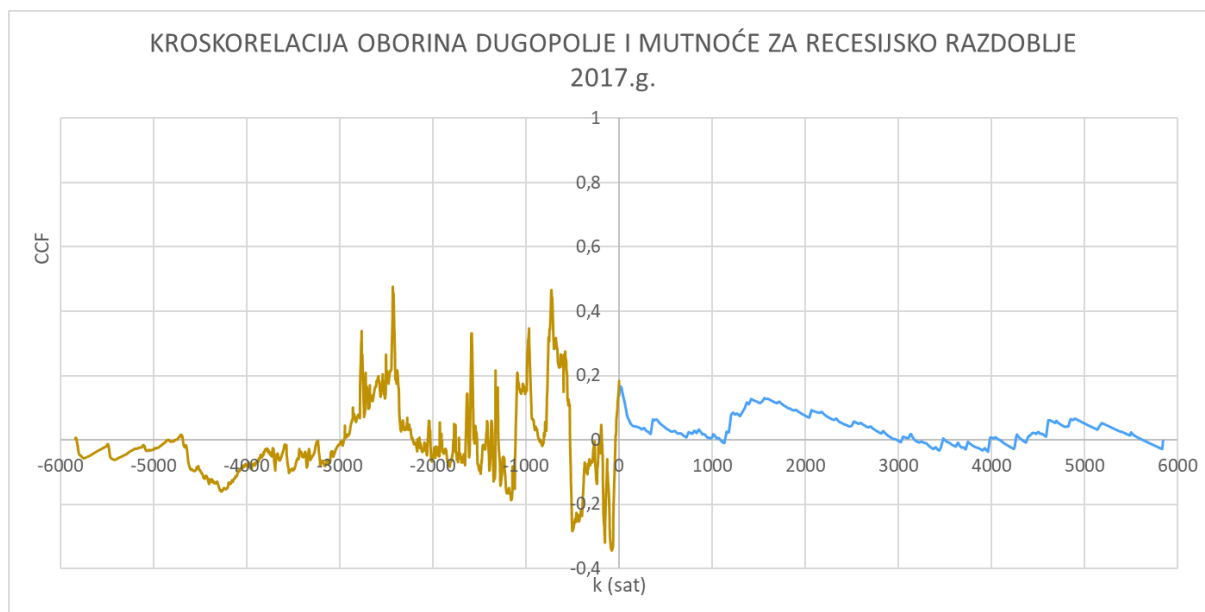
Slika 101. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće za recesijsko razdoblje 2019.

### 7.3. Kroskorelacija oborina i mutnoće za mjernu postaju Dugopolje (2017.-2019.)

- 2017.



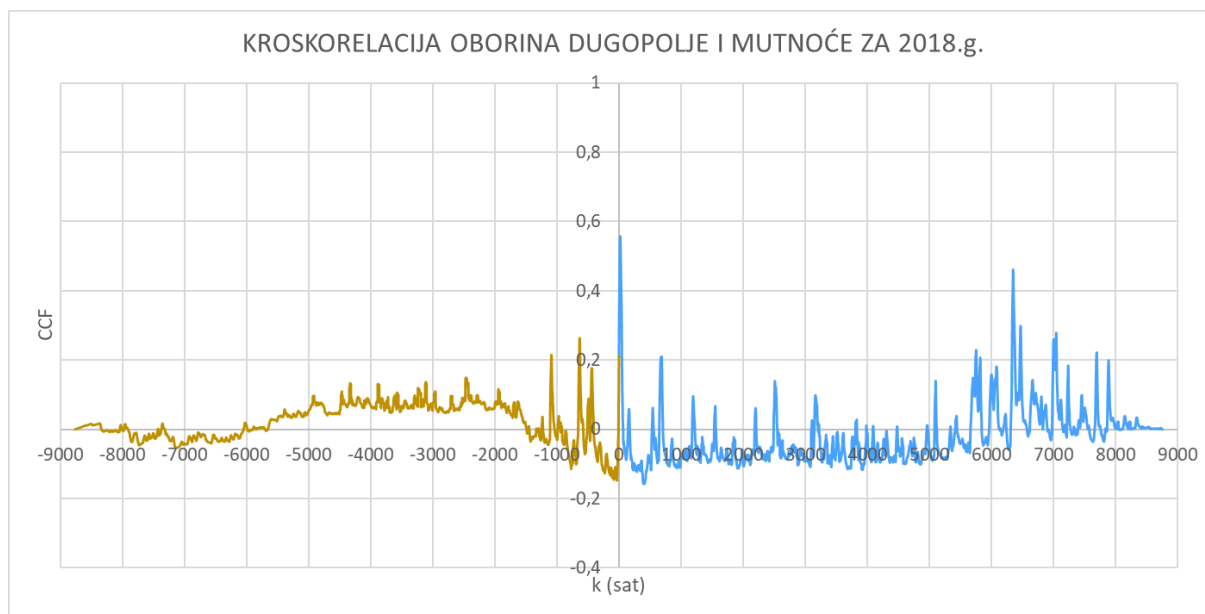
Slika 102. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće 2017.



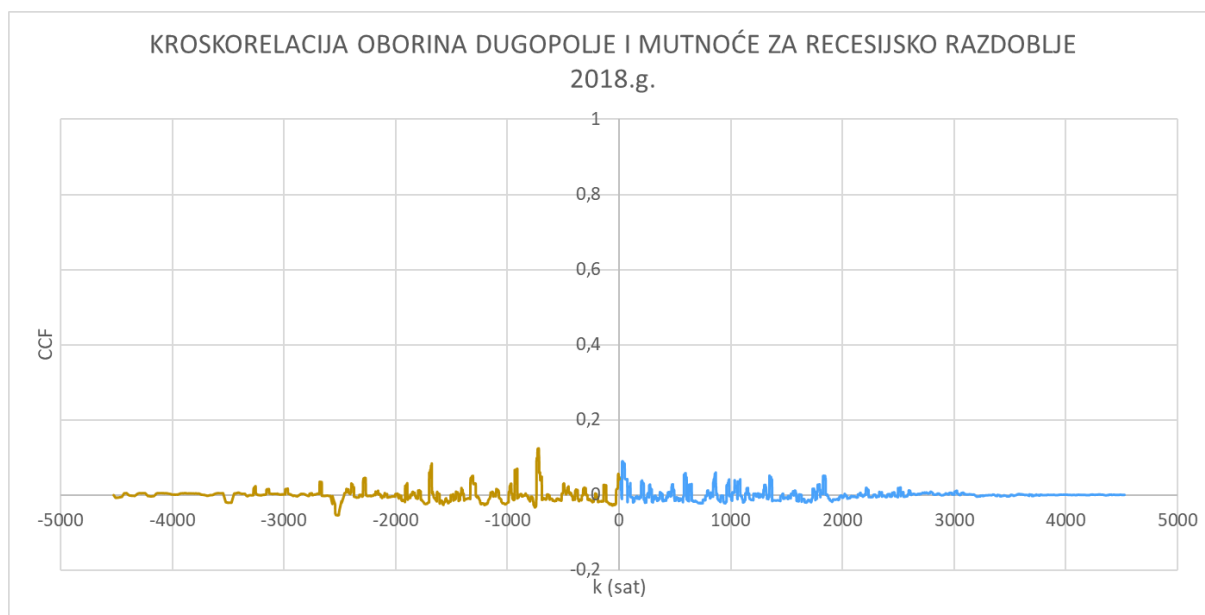
Slika 103. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće za recesijsko razdoblje 2017.



- 2018.

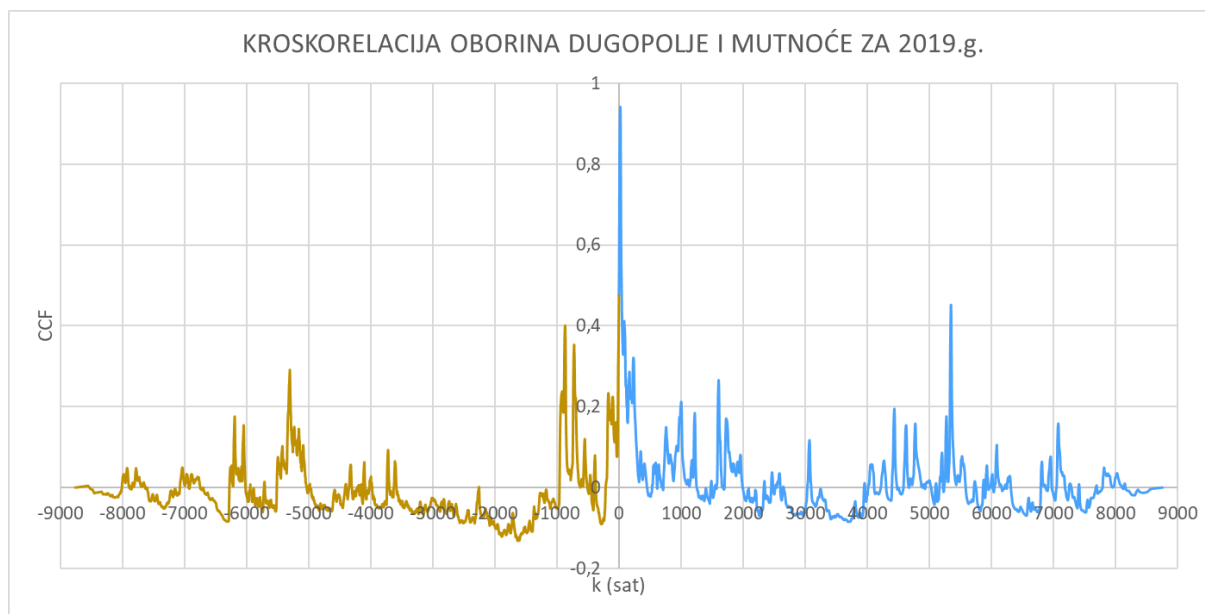


Slika 104. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće 2018.

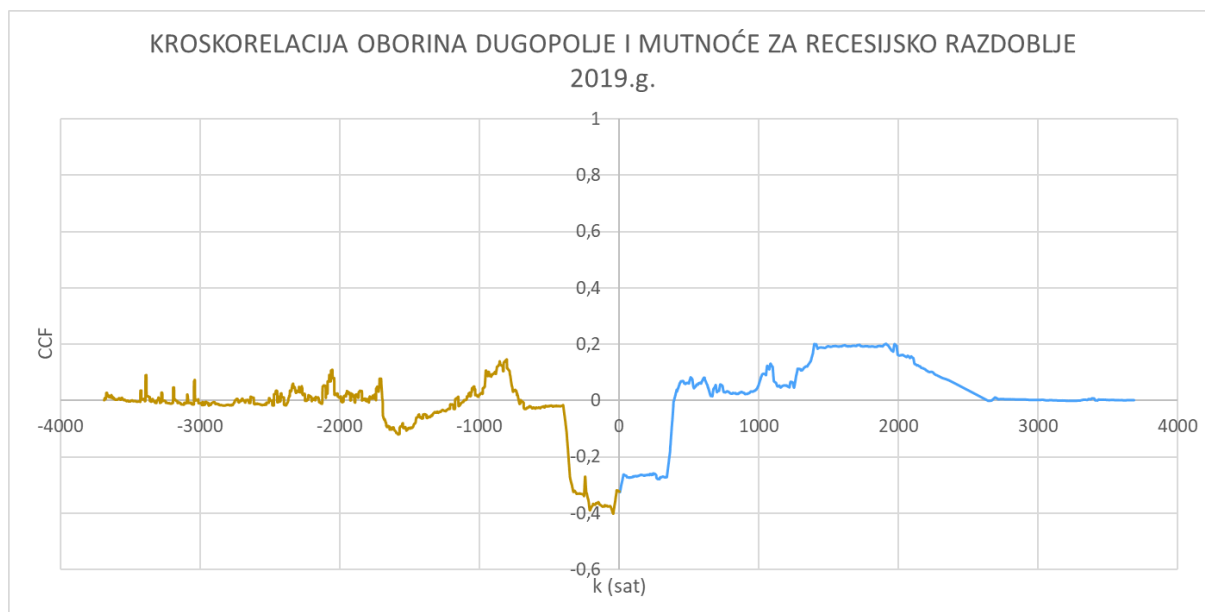


Slika 105. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće za recesijsko razdoblje 2018.

- 2019.



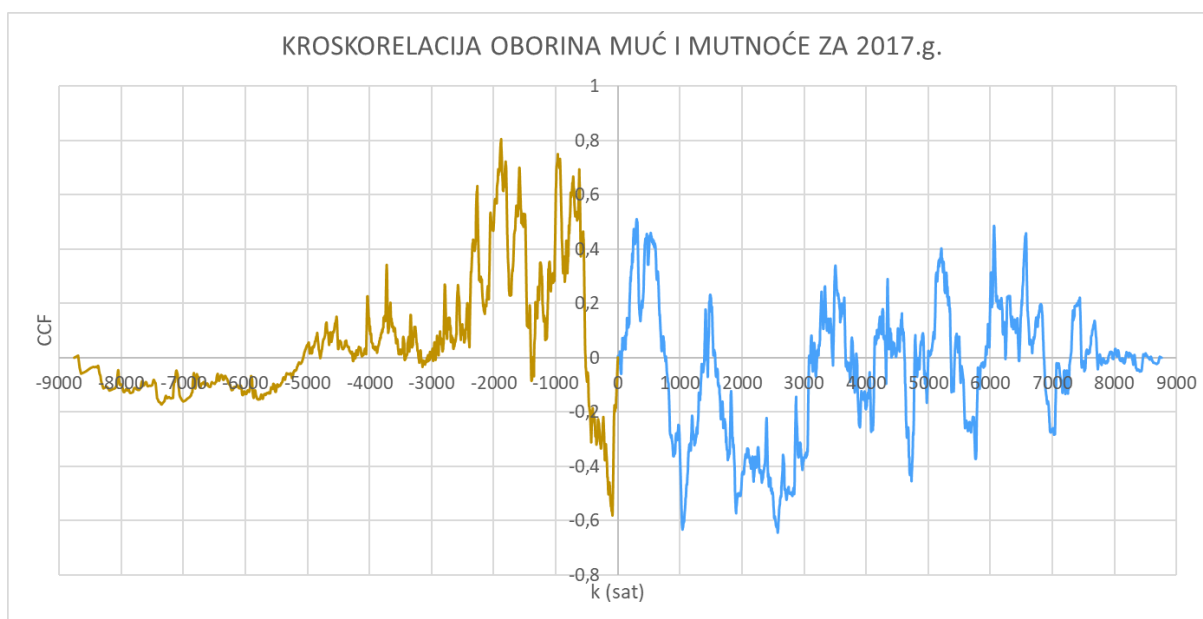
Slika 106. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće za 2019.



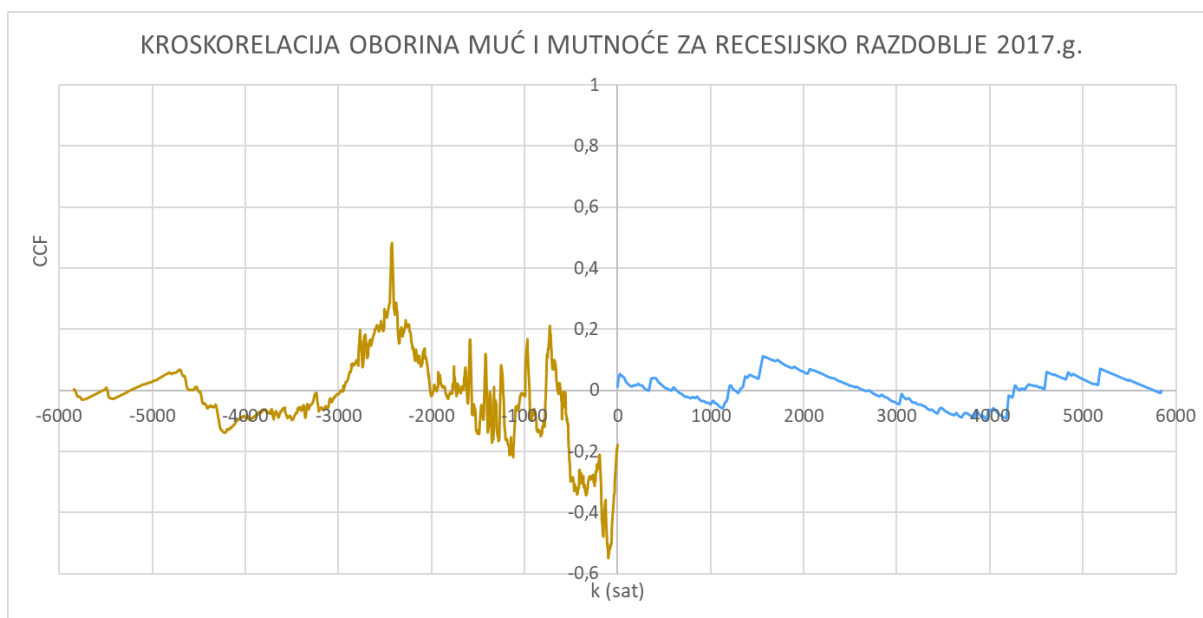
Slika 107. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće za recesijsko razdoblje 2019.

#### 7.4. Kroskorelacija oborina i mutnoće za mjernu postaju Muć (2017.-2019.)

- 2017.

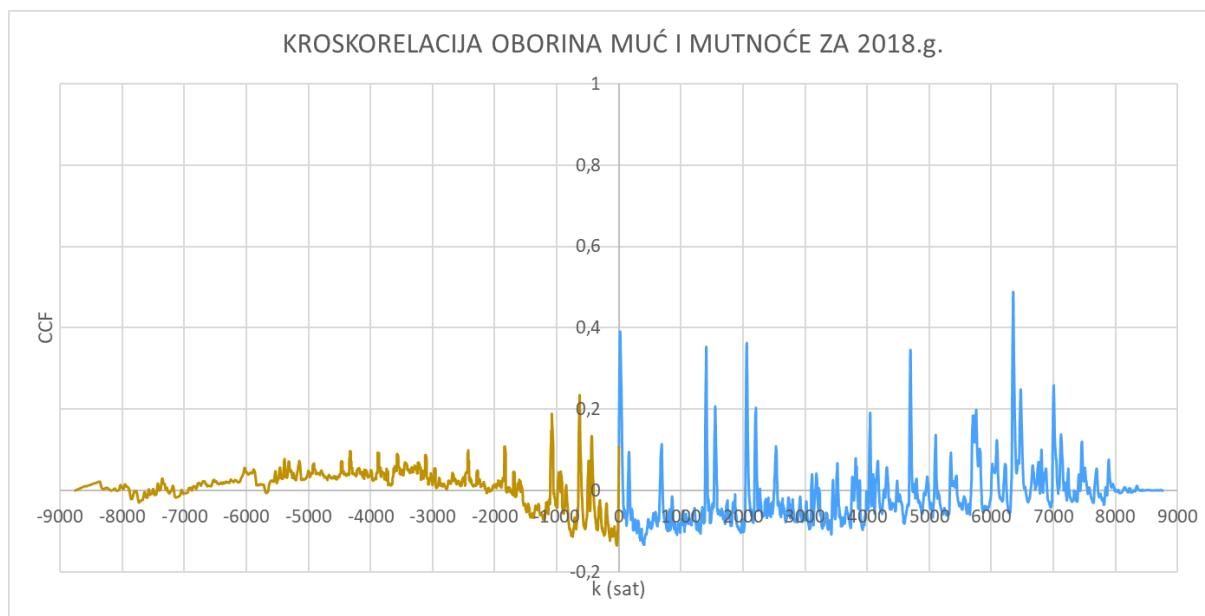


Slika 108. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za 2017.

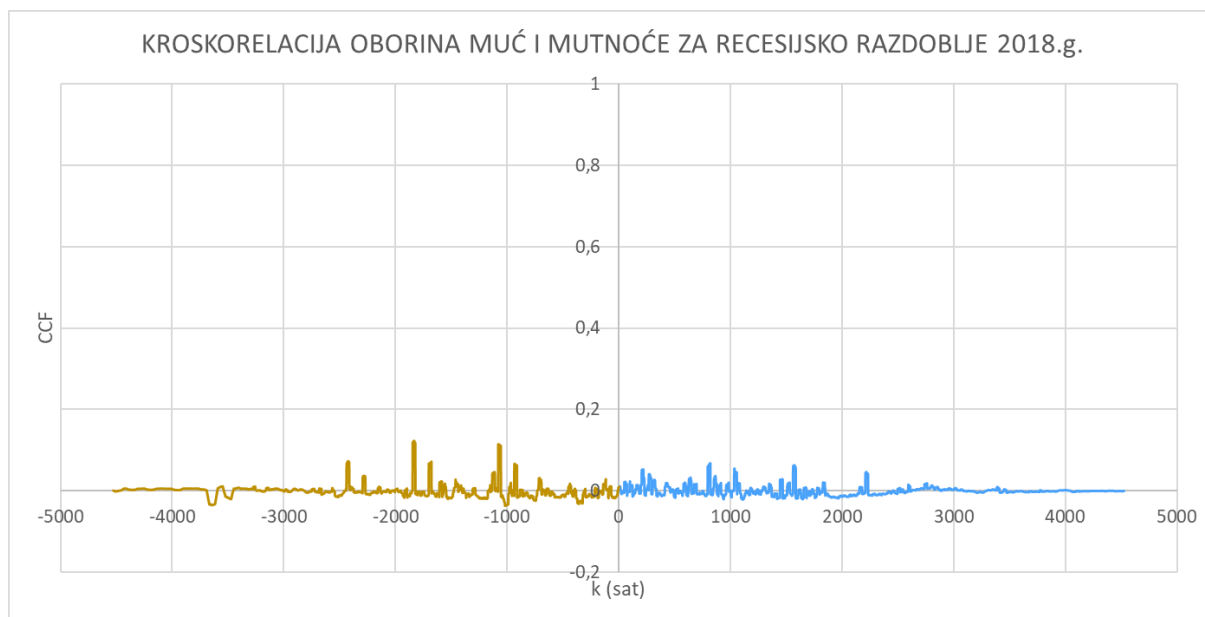


Slika 109. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za recesijsko razdoblje 2017.

- 2018.

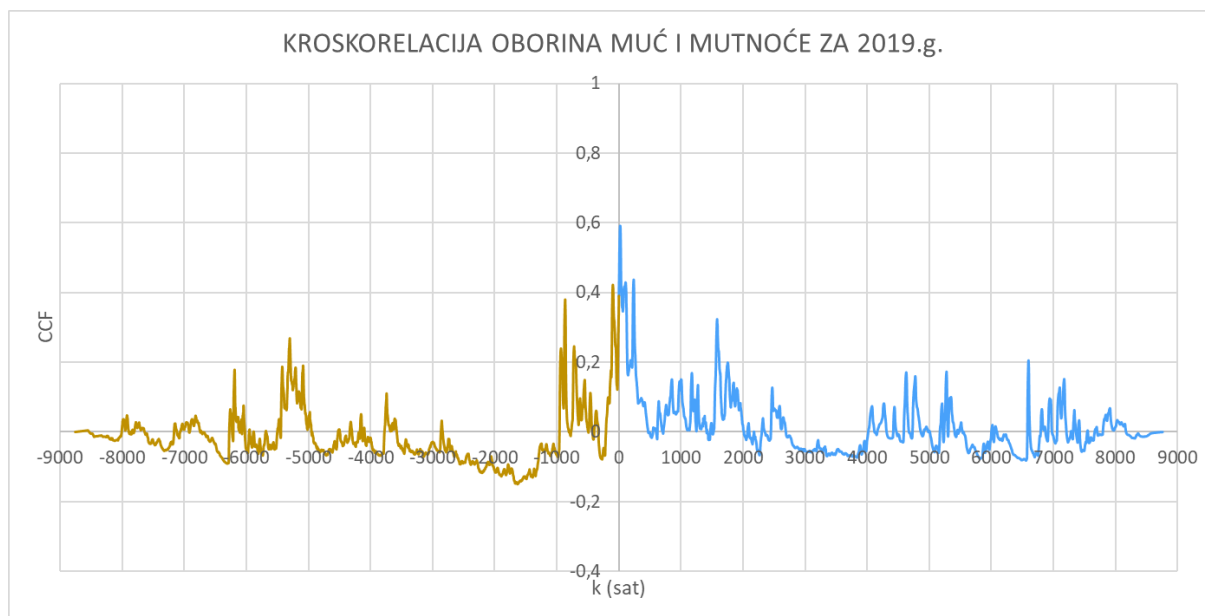


Slika 110. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za 2018.

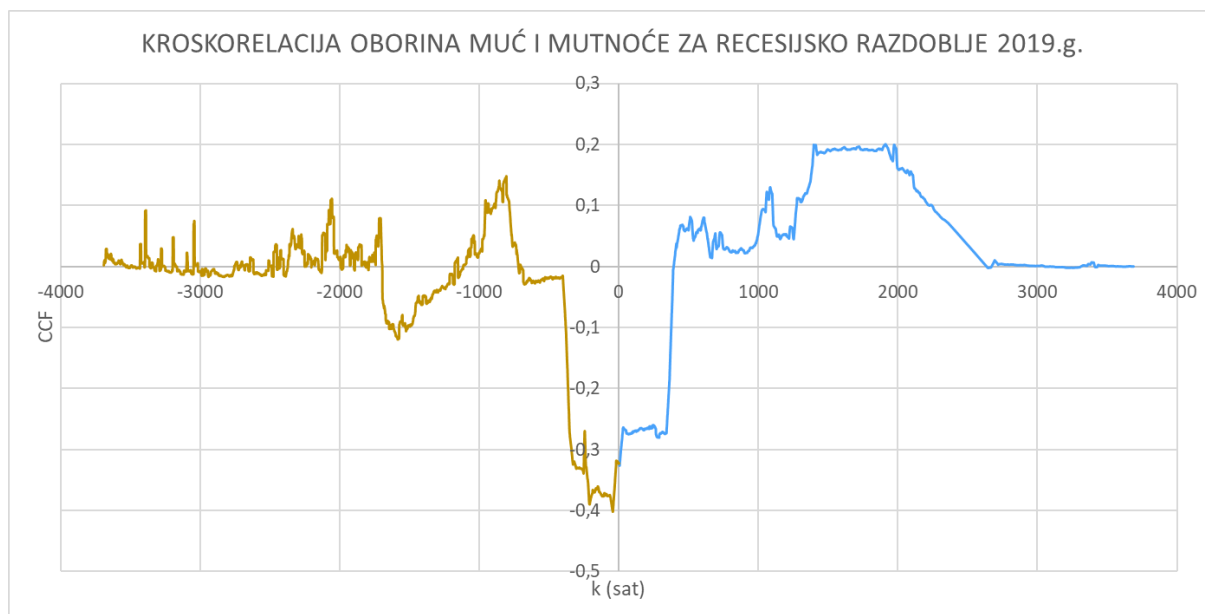


Slika 111. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za recesijsko razdoblje 2018.

- 2019.



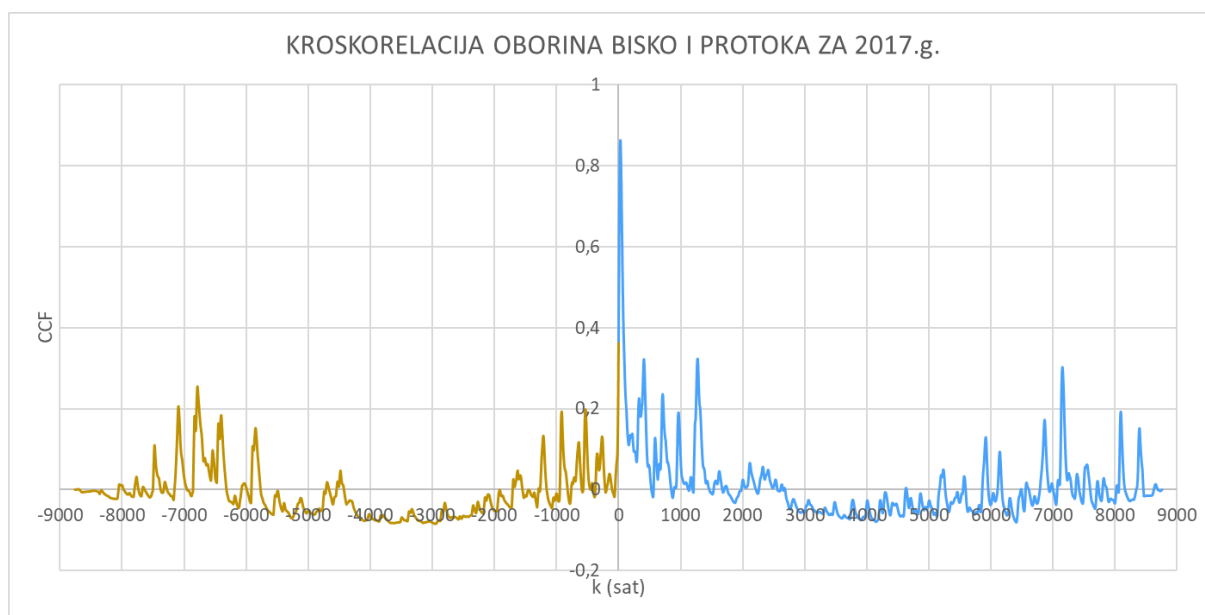
Slika 112. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za 2019.



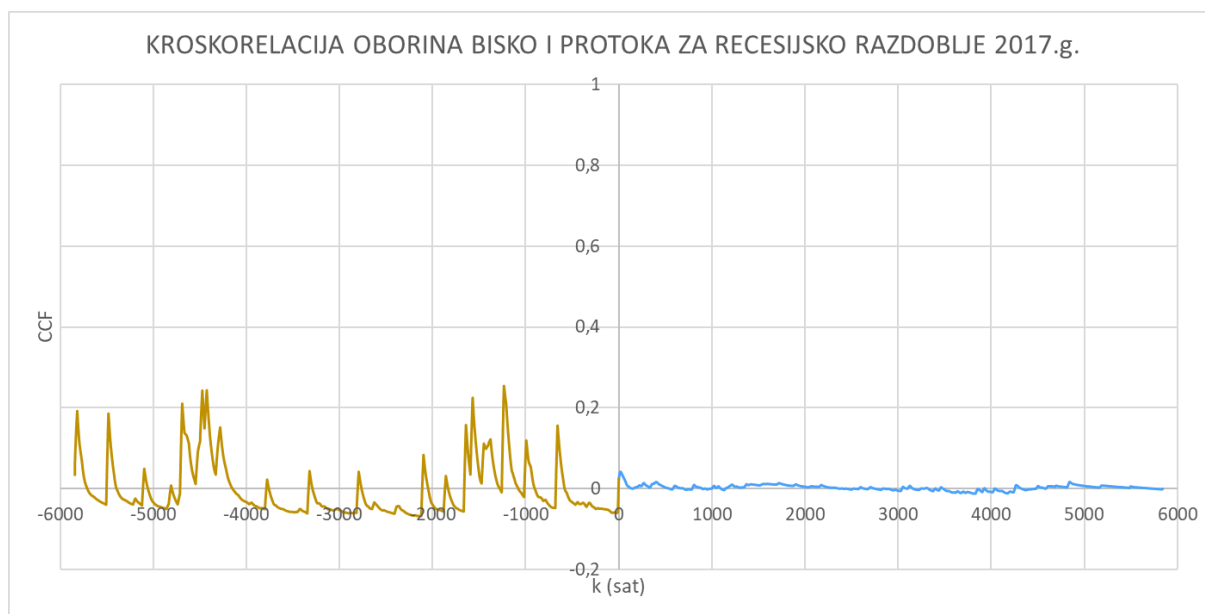
Slika 113. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za recesijsko razdoblje 2019.

## 7.5. Kroskorelacija oborina i protoka za mjernu postaju Bisko (2017.-2019.)

- 2017.

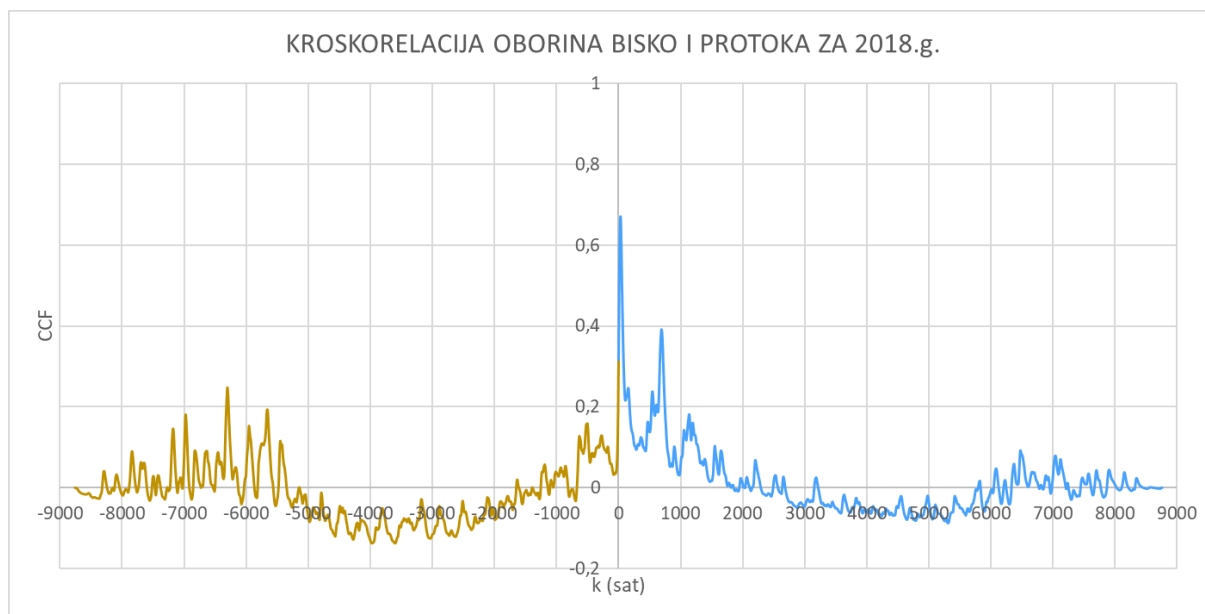


Slika 114. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za 2017.

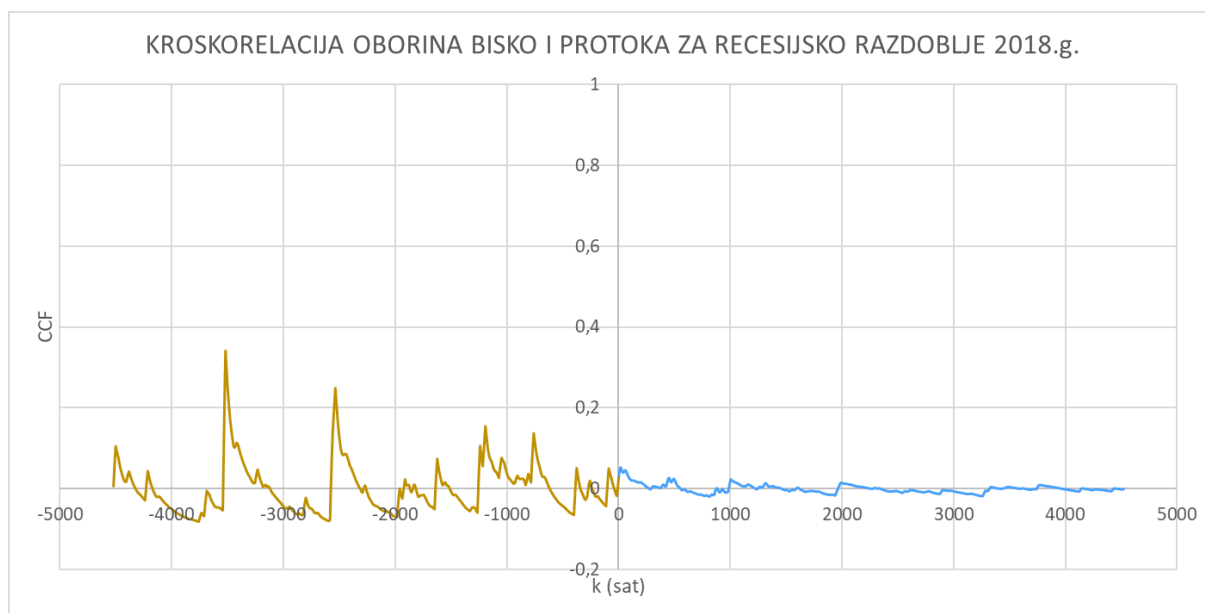


Slika 115. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za recesijsko razdoblje 2017.

- 2018.

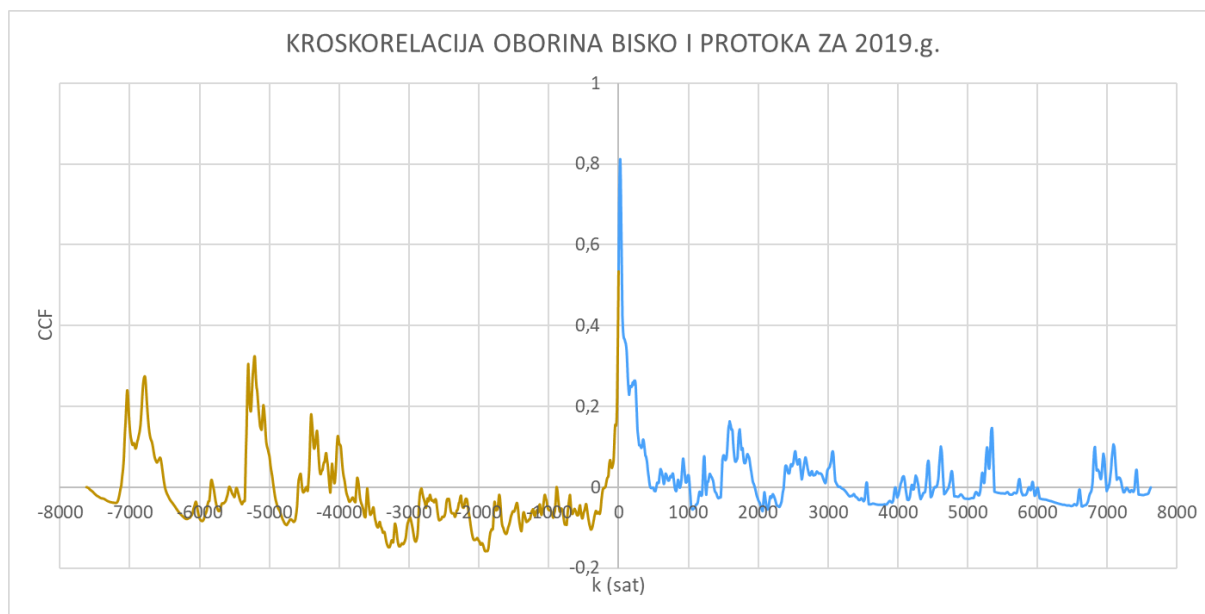


Slika 116. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za 2018.

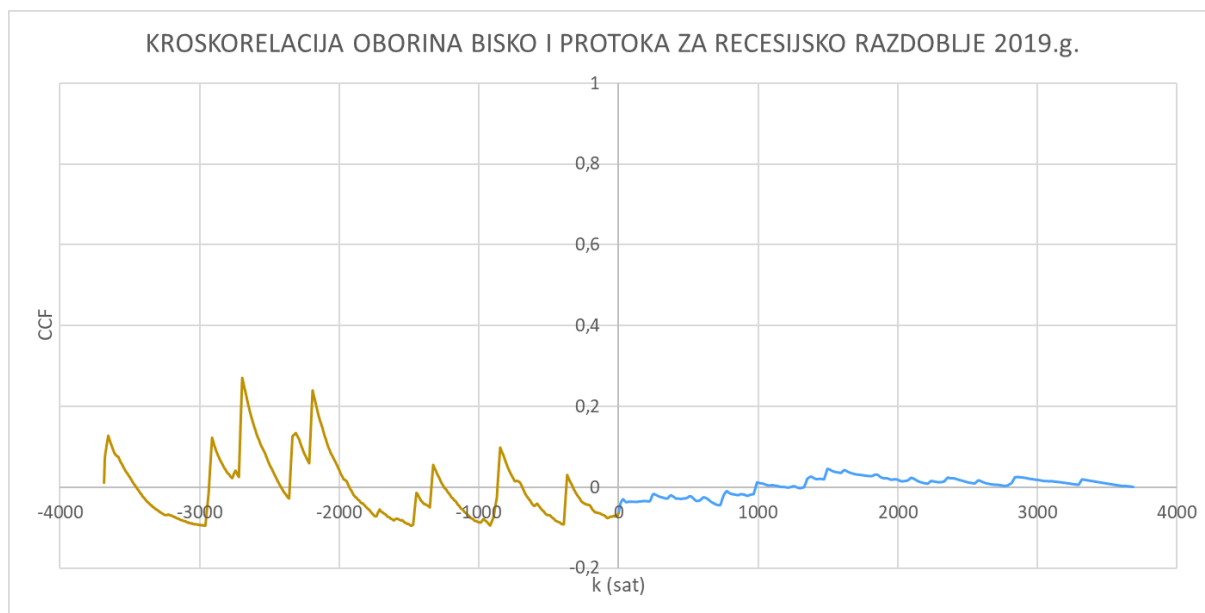


Slika 117. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za recesijsko razdoblje 2018.

- 2019.



Slika 118. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za 2019. (do 14.11. 14:00)

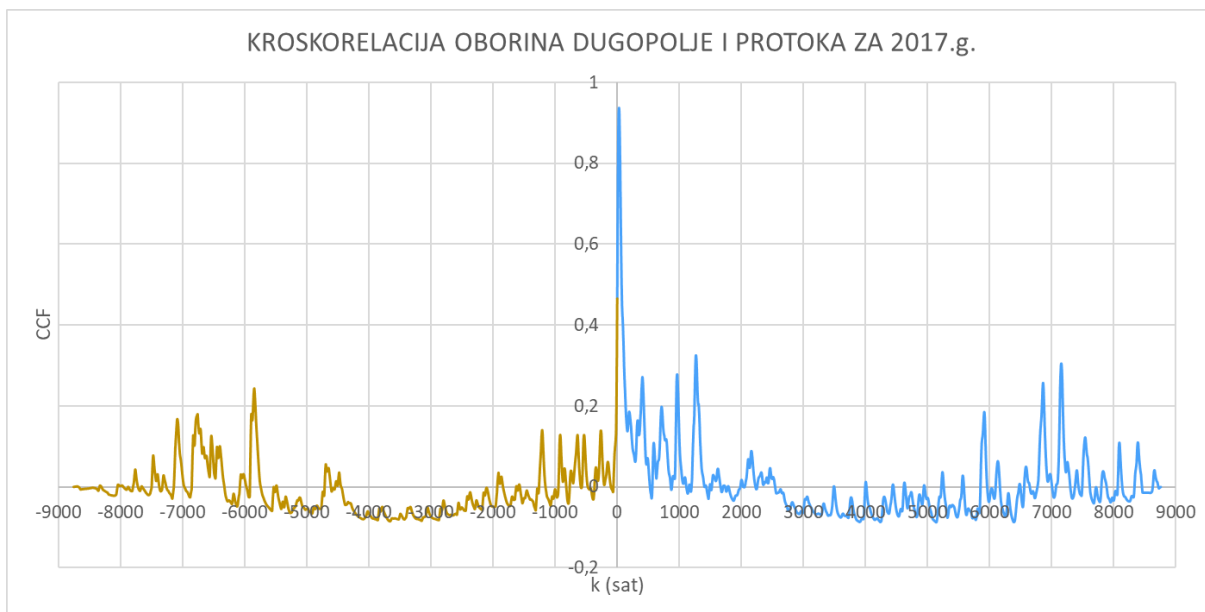


Slika 119. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za recesijsko razdoblje 2019.

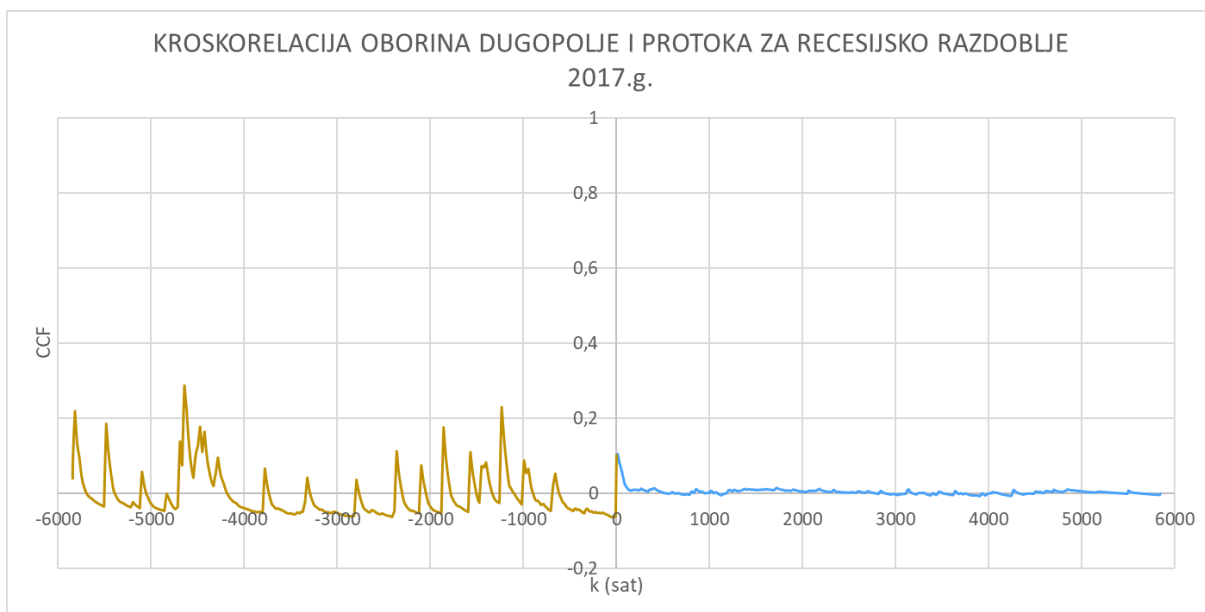


## 7.6. Kroskorelacija oborina i protoka za mjernu postaju Dugopolje (2017.-2019.)

- 2017.

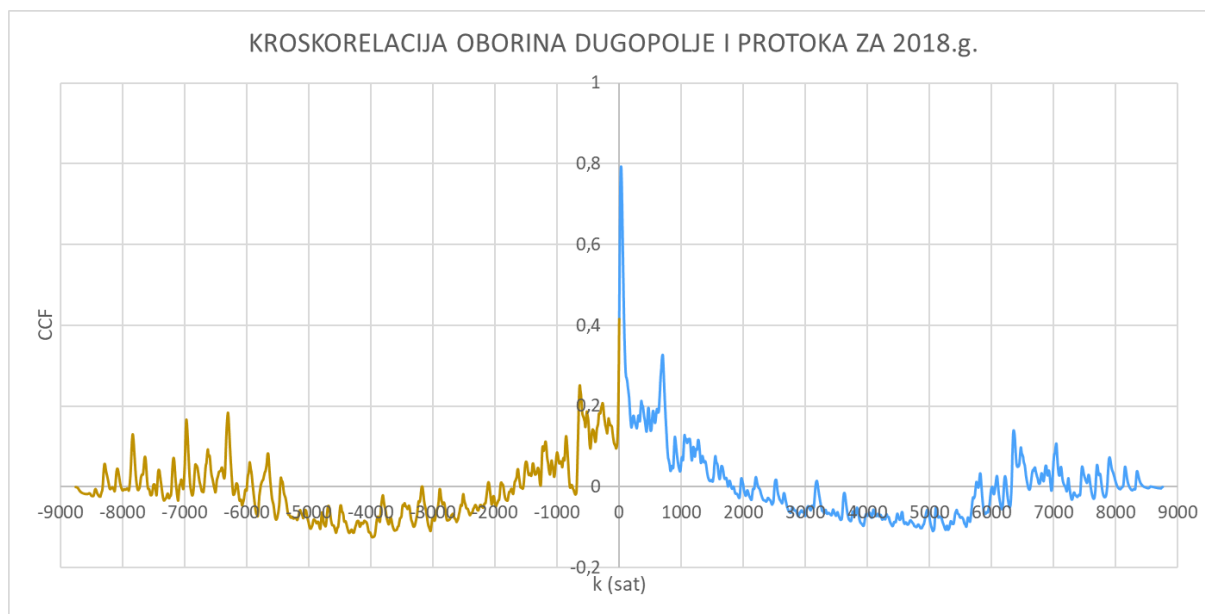


Slika 120. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za 2017.

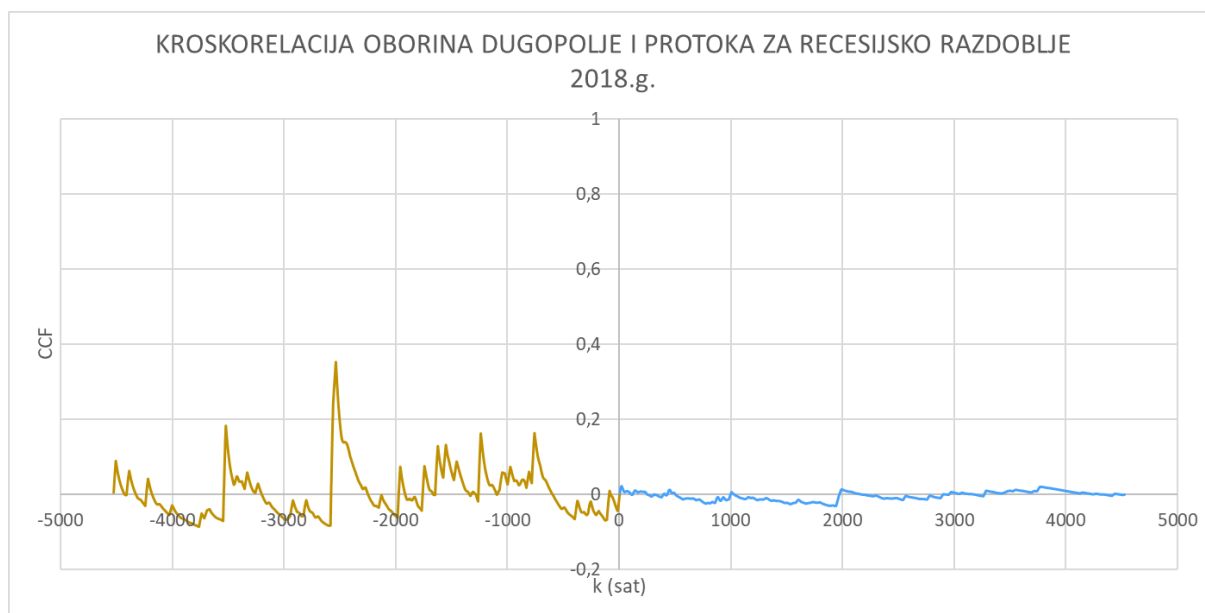


Slika 121. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za recesijsko razdoblje 2017.

- 2018.

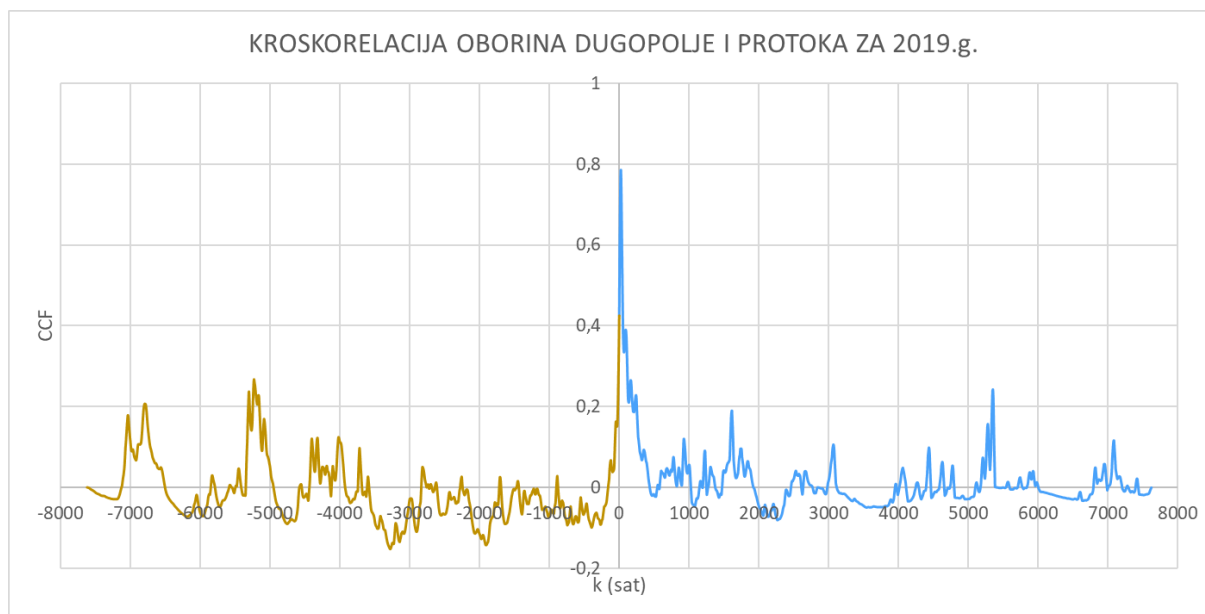


Slika 122. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za 2018.

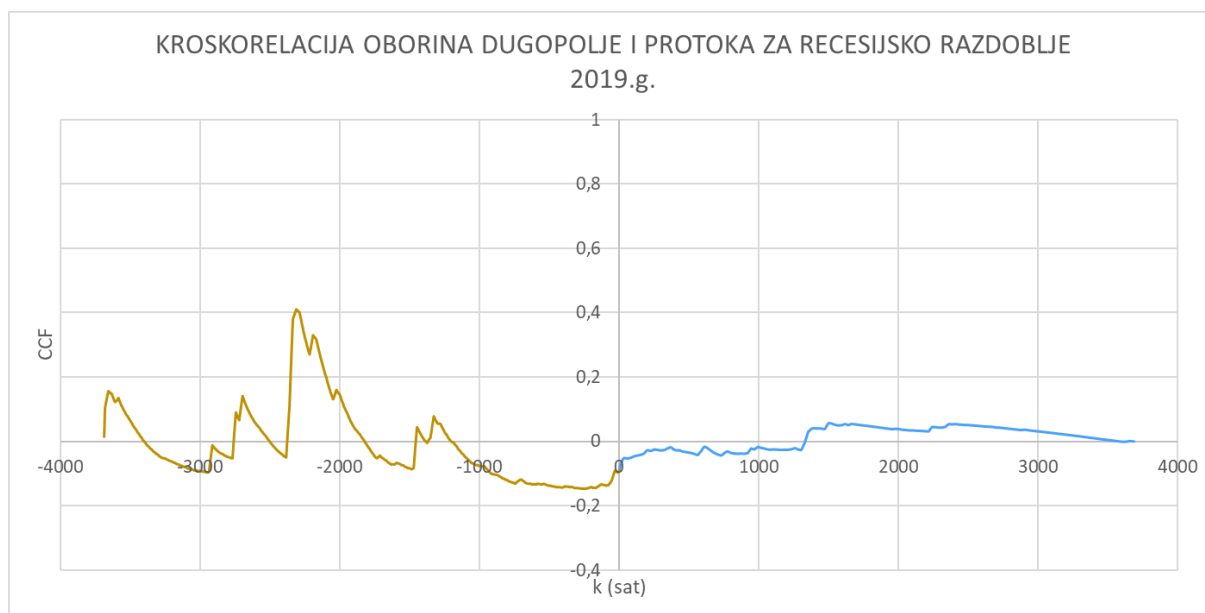


Slika 123. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za recesijsko razdoblje 2018.

- 2019.



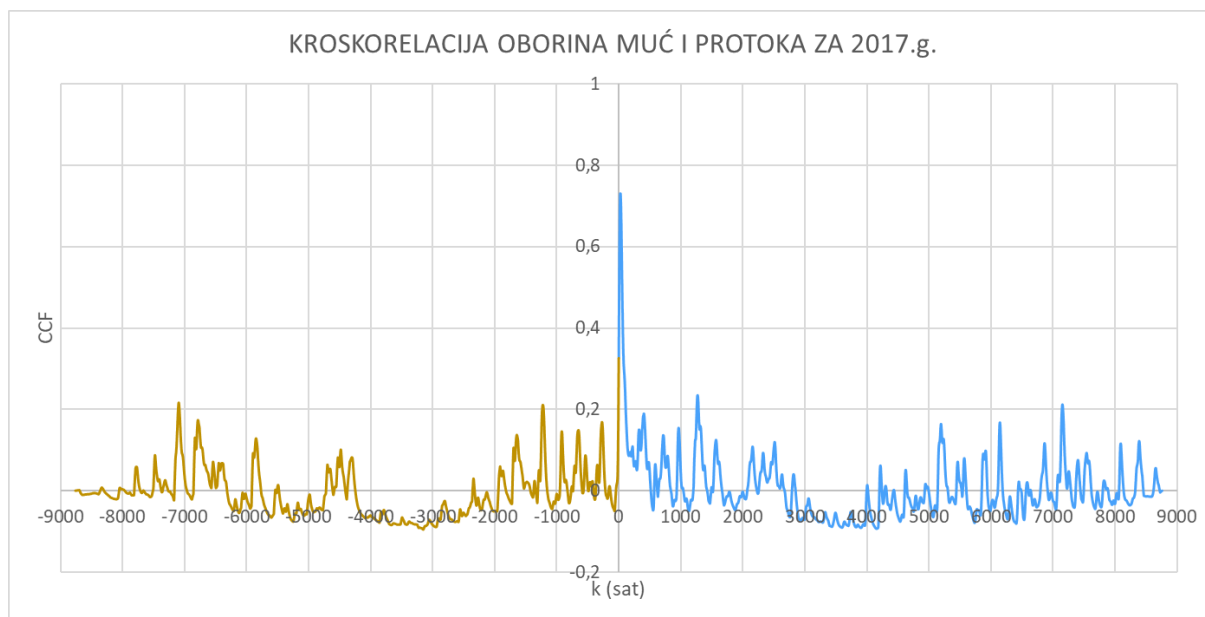
Slika 124. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za 2019. (do 14.11. 14:00)



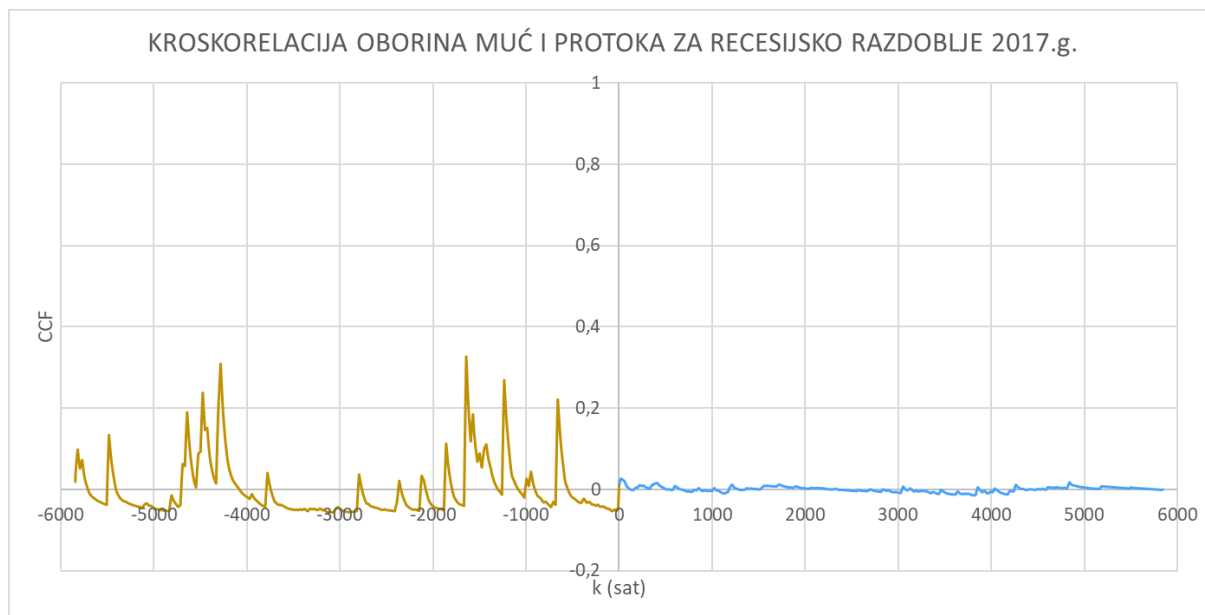
Slika 125. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za recesijsko razdoblje 2019.

## 7.7. Kroskorelacija oborina i protoka za mjernu postaju Muć (2017.-2019.)

- 2017.

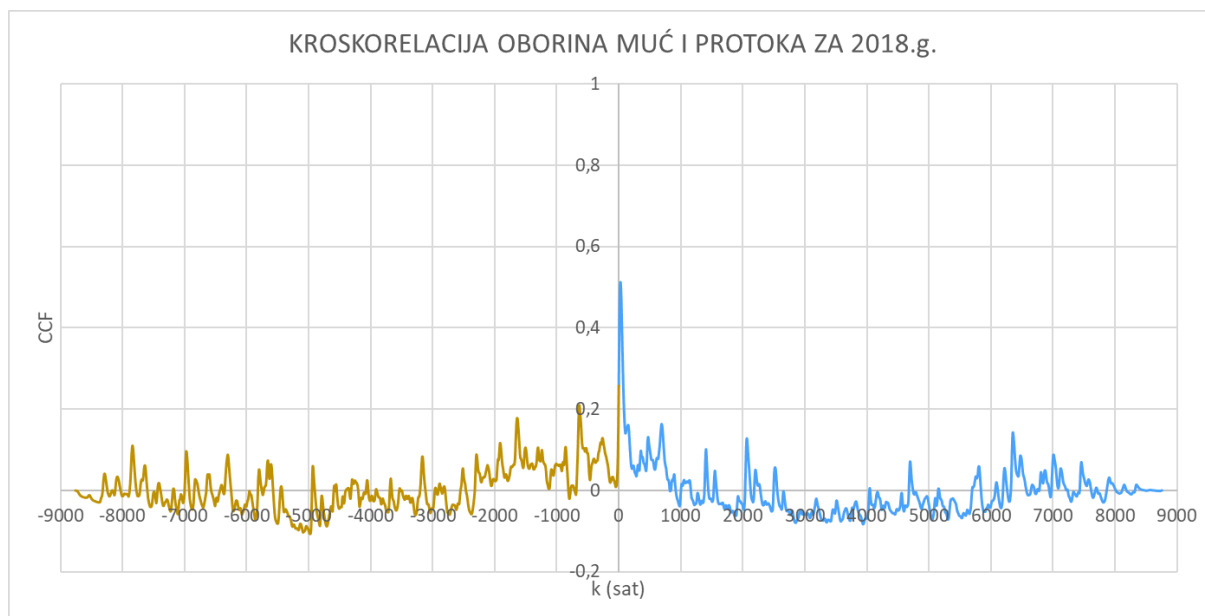


Slika 126. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za 2017.

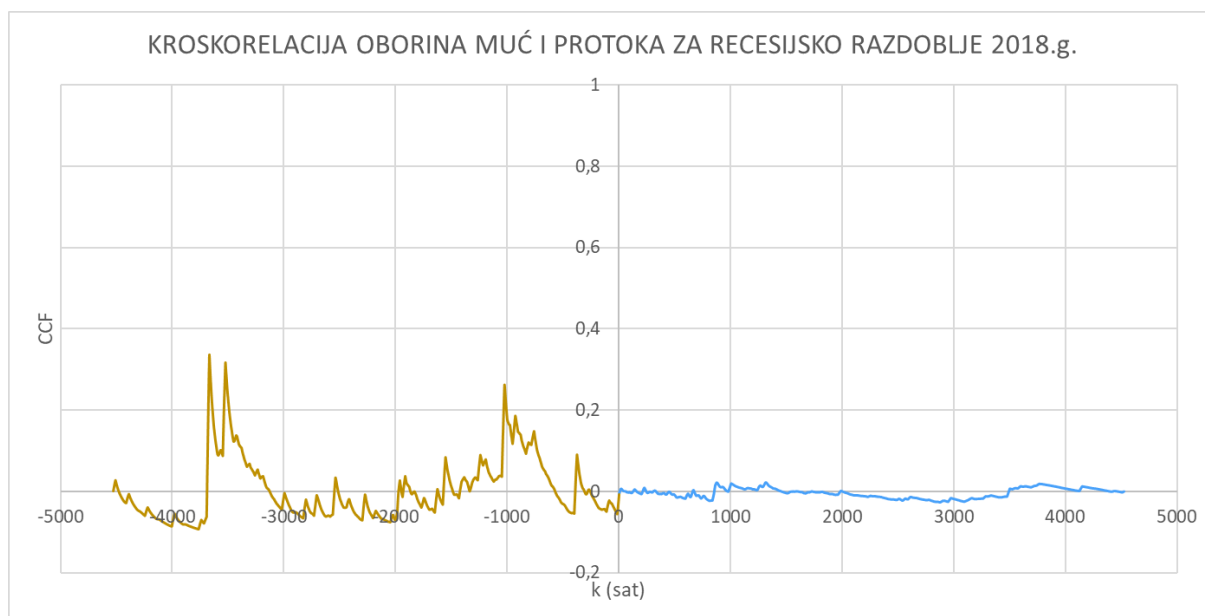


Slika 127. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za recesijsko razdoblje 2017.

- 2018.

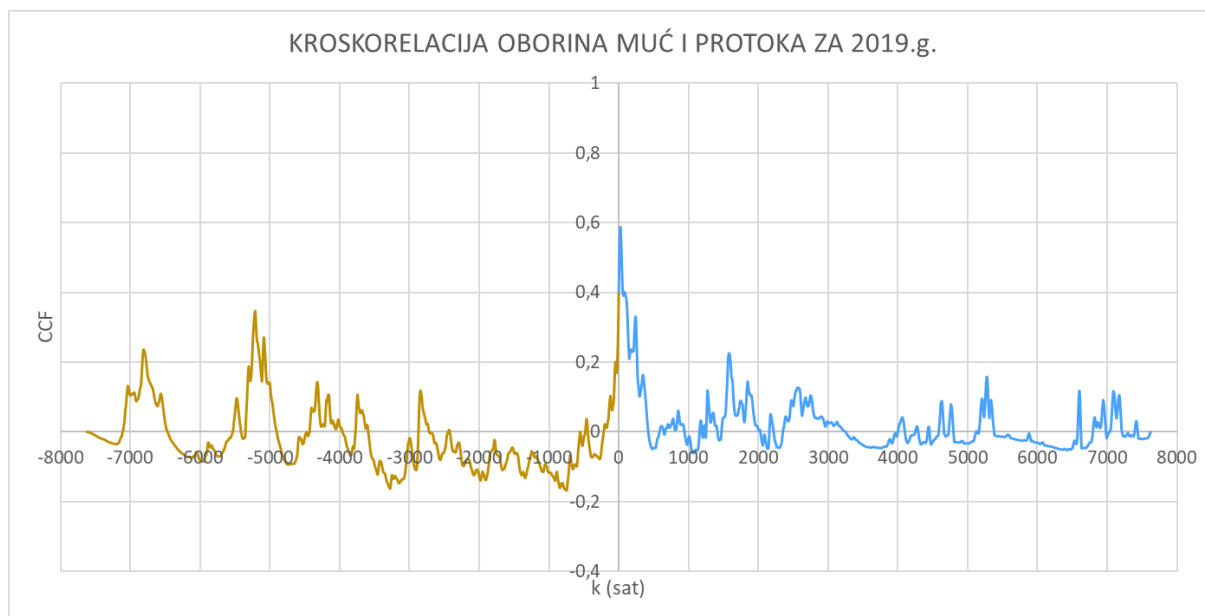


Slika 128. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za 2018.

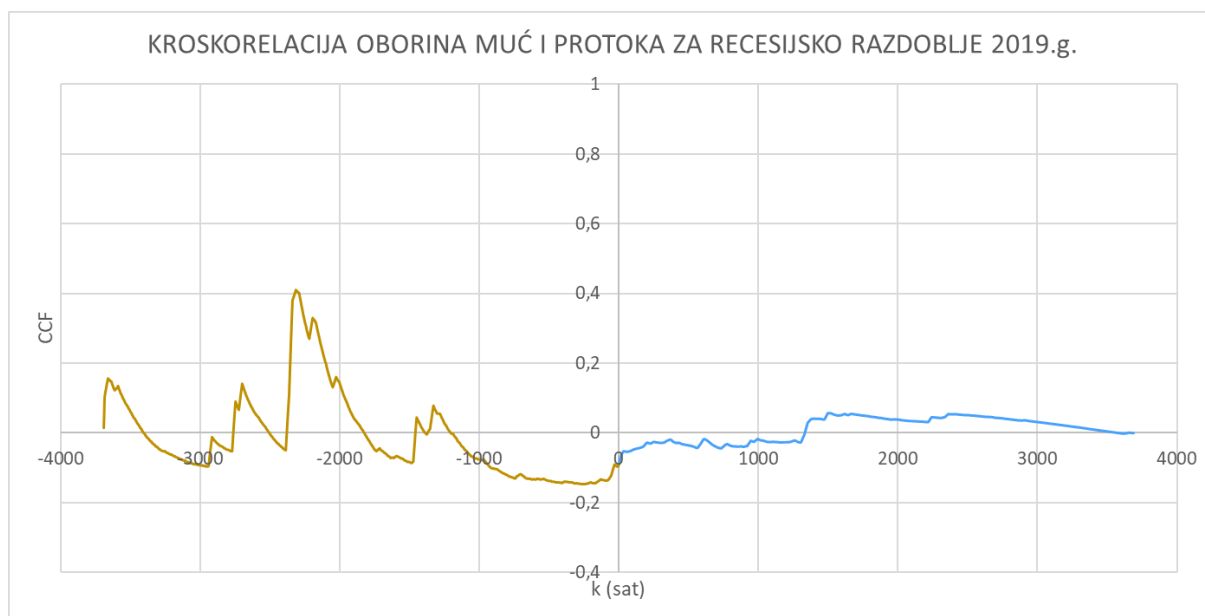


Slika 129. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za recesijsko razdoblje 2018.

- 2019.



Slika 130. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za 2019. (do 14.11. 14:00)

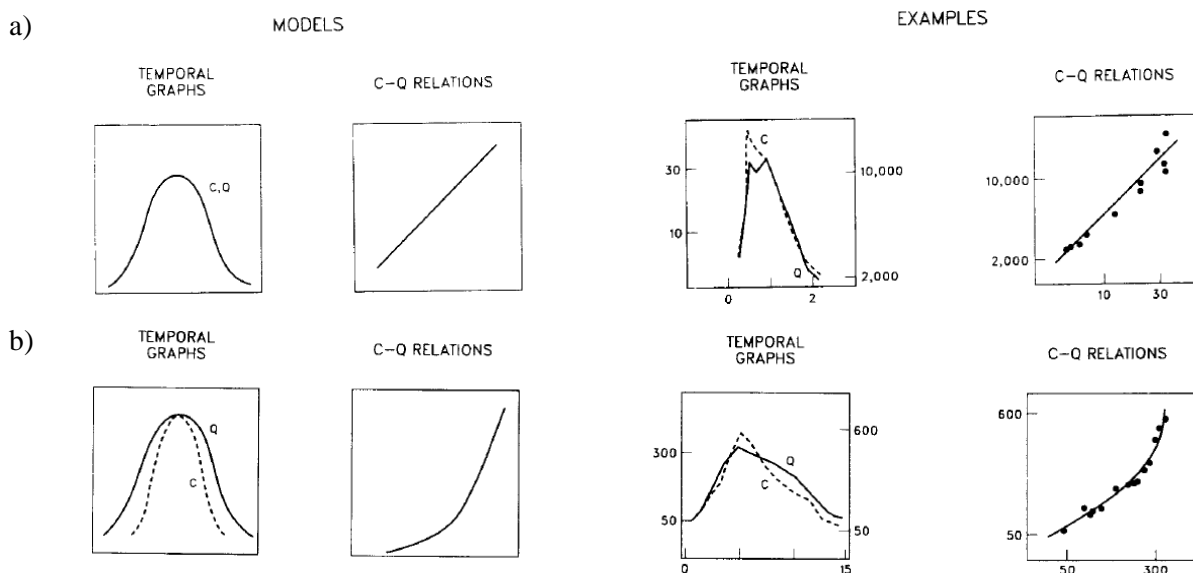


Slika 131. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za recesijsko razdoblje 2019.

## 8. HISTEREZNE PETLJE

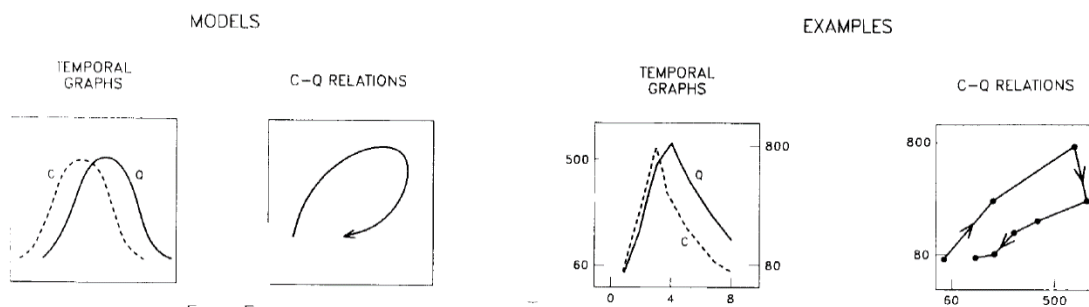
Williams-ova metoda, odnosno metoda histereznih petlji, je metoda kojom se u hidrologiji analizira odnos protoka krškog izvora i mutnoće. Metodu je 1989. godine razvio Garnett P. Williams u svrhu razumijevanja prijenosa sedimenta, smatrajući ga važnim u odnosu na čistoću i plovnost rijeke, vijek trajanja hidroelektrične opreme, prirodnu ljepotu rijeke, biljni i životinjski svijet i mnoge druge. Koristio je histereznu petlju kao grafički prikaz odnosa protoka rijeke ( $Q_w$ ) i koncentracije sedimenta ( $C_w$ ) u ovisnosti o vremenu. Odredio je 5 osnovnih tipova histereznih petlji i opisao fiziološko i hidrološko značenje iza svakog od njih.

- 1) Klasa I - *ravna ili zakrivljena linija* – predstavlja oblik koji nastaje ako su omjeri  $C/Q$  za vrijednost  $Q$  jednaki na uzlaznom i na silaznom kraku.



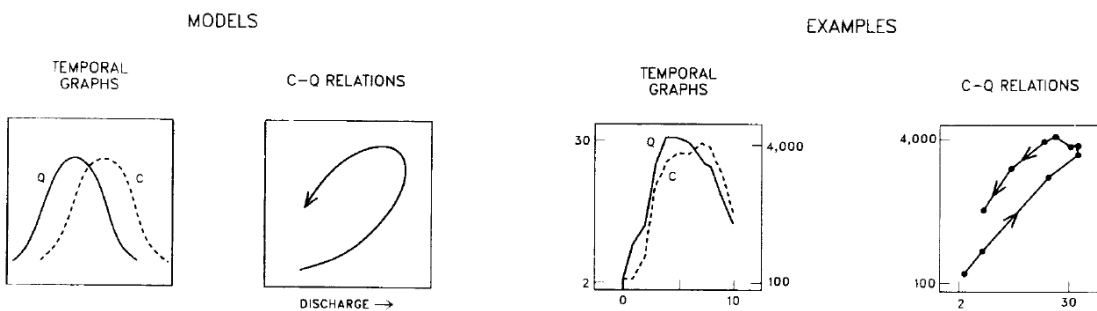
Slika 132. Shematski prikaz Klase I - (a) ravna, (b) zakrivljena [12]

- 2) Klasa II – *petlja u smjeru kazaljke na satu* predstavlja najčešći tip petlje, a nastaje ako krivulja  $C_w$  dosegne maksimalnu vrijednost prije krivulje  $Q_w$ . To se može dogoditi ako se sediment ubrzano troši uoči ostvarenja maksimalnog protoka, ili ako se formira deblji sloj sedimenta prije dostizanja maksimalne vrijednosti protoka.



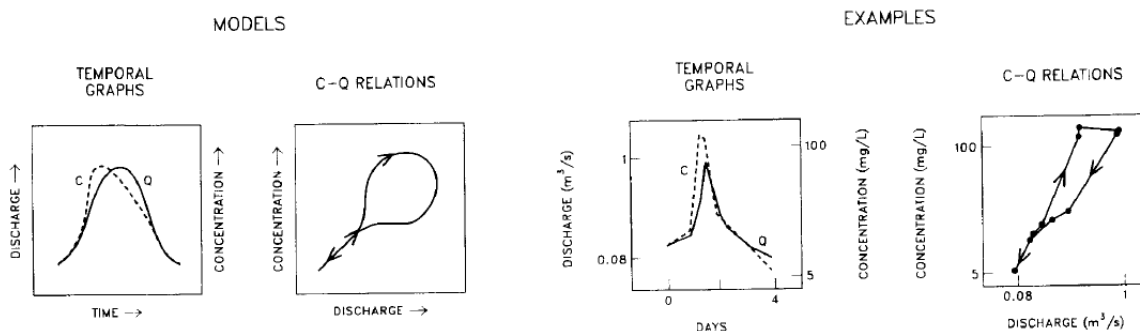
Slika 133. Shematski prikaz Klase II [12]

- 3) Klasa III – *petlja u smjeru suprotnom od kazaljke na satu* se pojavljuje zbog 3 razloga. Prvi razlog je ako vode ima veću brzinu nego nanos sedimenta. Drugi razlog nastanka ovakvih petlji je kada se tlo podložno eroziji izloži produljenoj eroziji za vrijeme oborine. Treći razlog je promjenjivost oborina i koncentracije sedimenta po sezonama.



Slika 134. Shematski prikaz Klase III [12]

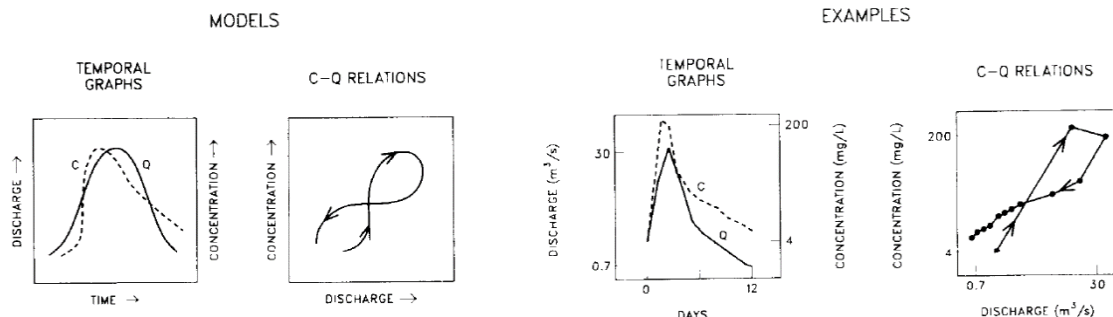
- 4) Klasa IV - *ravna plus zakrivljena linija* predstavlja kombinaciju Klase I, II i III.



Slika 135. Shematski prikaz Klase IV [12]



- 5) Klasa V – **petlja u obliku osmice** nastaje kombinacijom Klase II i III. Petlja se za vrijeme velikog protoka formira u smjeru kazaljke na satu, dok za manje protoke mijenja smjer i poprima izgled petlje u smjeru suprotnom od kazaljke na satu.



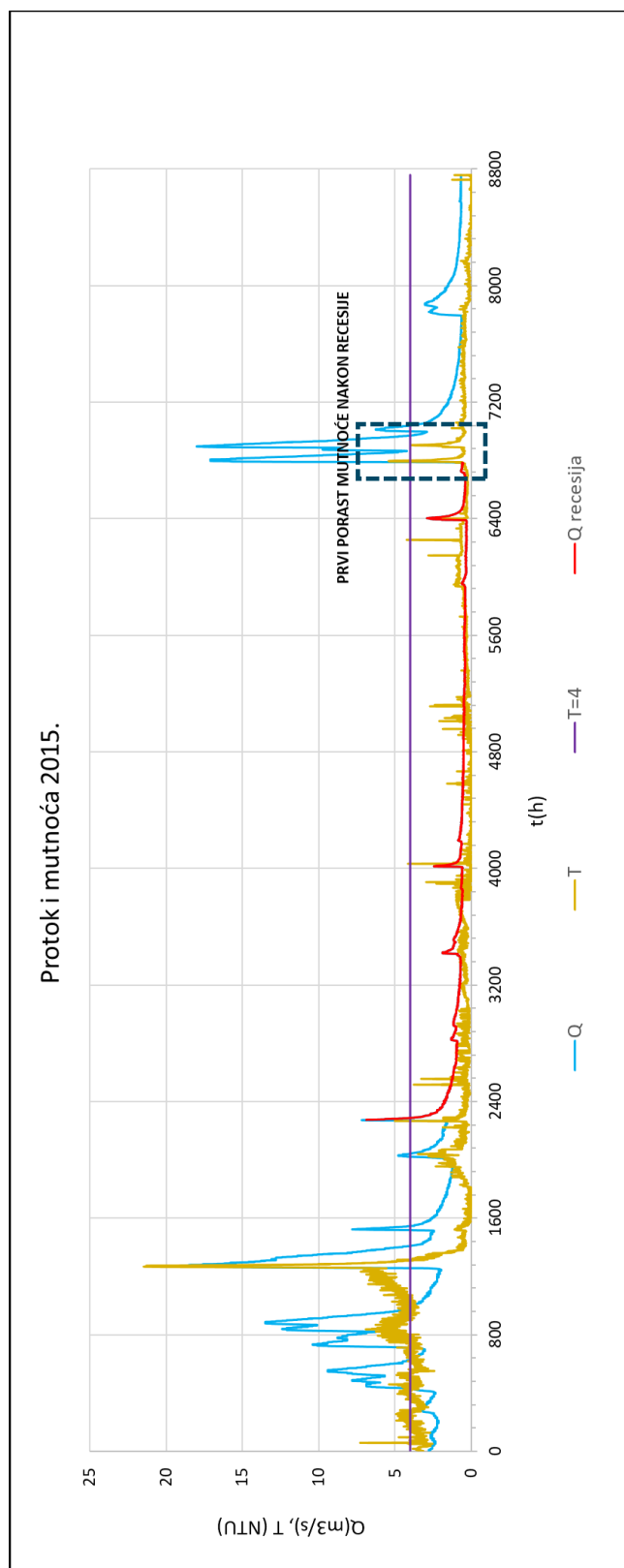
Slika 136. Shematski prikaz Klase V [12]

Ako se petlja zbog svoje kompleksnosti ne može svrstati u nijednu od gore navedenih kategorija, smatra se složenom. **Složena petlja** je najčešće produkt dugotrajnih i intenzivnih oborina.

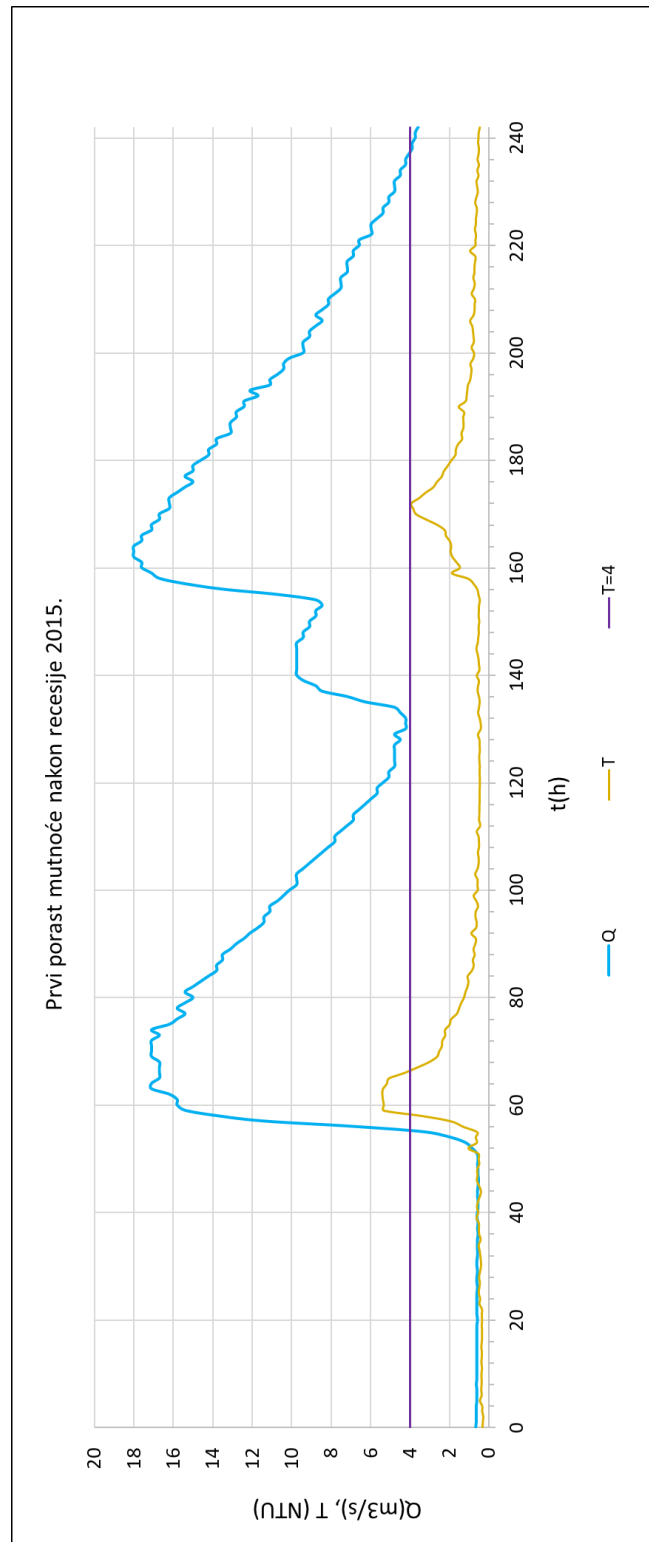
U ovom diplomskom radu korištena je Williams-ova metoda koja je modificirana na način da se umjesto protoka rijeke ( $Q_w$ ) koristi protok krškog izvora ( $Q$ ), dok se koncentracija sedimenta ( $C_w$ ) zamjenjuje mutnoćom ( $T$ ). (Na osnovu članka *Exceeding Turbidity versus Karst Spring Discharge during Single Rainfall Events: The Case of the Jadro Spring*. *Water* 2023, 15, 2589.; Kadić A.; Denić-Jukić V.; Jukić, D)

Prvo je napravljen zajednički grafički prikaz protoka, mutnoća za 2015. i 2016. godinu, zatim zajednički grafički prikaz protoka, mutnoća i kumulativnih oborina za 2017., 2018. i 2019. godinu, koristeći satne podatke, a zatim je izdvojen period prvog vrha mutnoće nakon recesijskog razdoblja. Podaci o oborinama za 2015. i 2016. godinu nisu dostupni, zato su izostavljeni iz grafičkog prikaza za te godine. Na svakom vremenskom grafičkom prikazu prikazana je i granica dopuštene vrijednosti mutnoće vode za piće od 4 NTU.

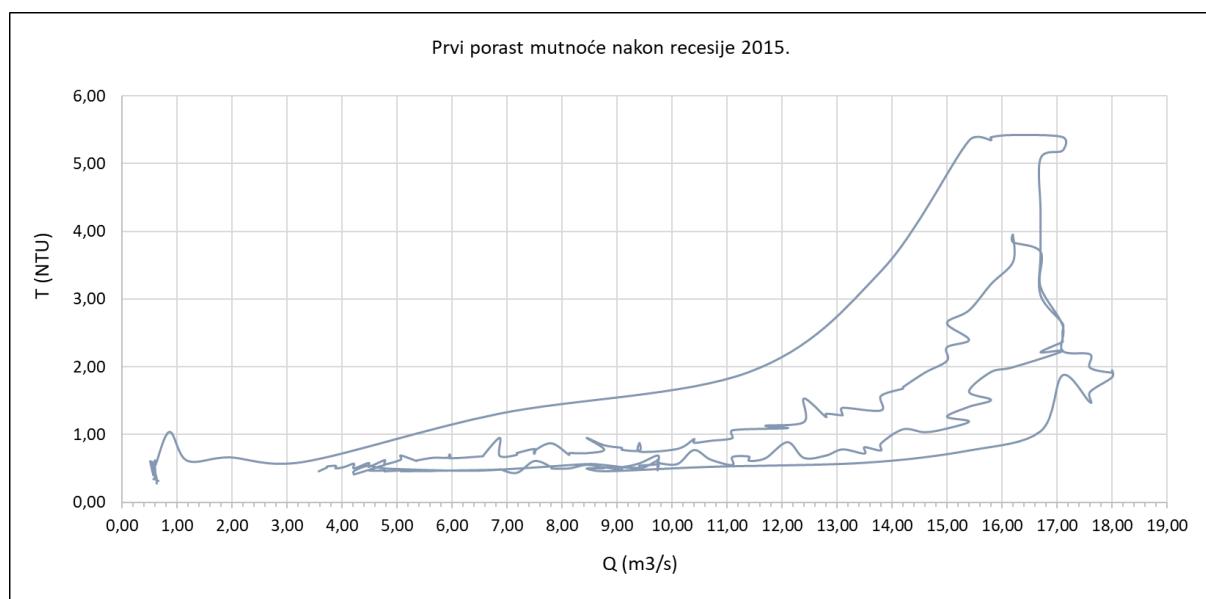
## 8.1. Analiza prvog vrha mutnoće nakon recesije 2015. godine



Slika 137. Grafički prikaz protoka i mutnoće u 2015. godini



Slika 138. Grafički prikaz protoka i mutnoće tijekom prvog vrha mutnoće nakon recesije 2015. godine

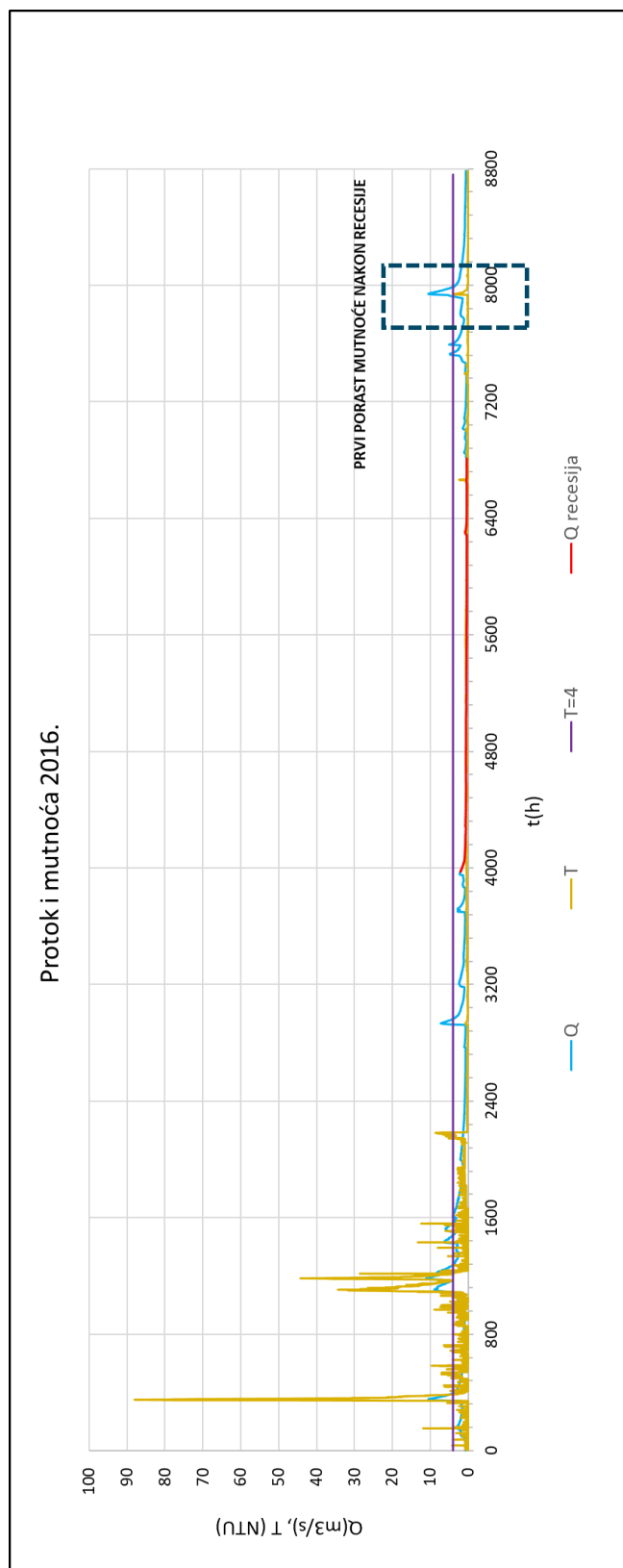


Slika 139. Petlja T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2015. godine

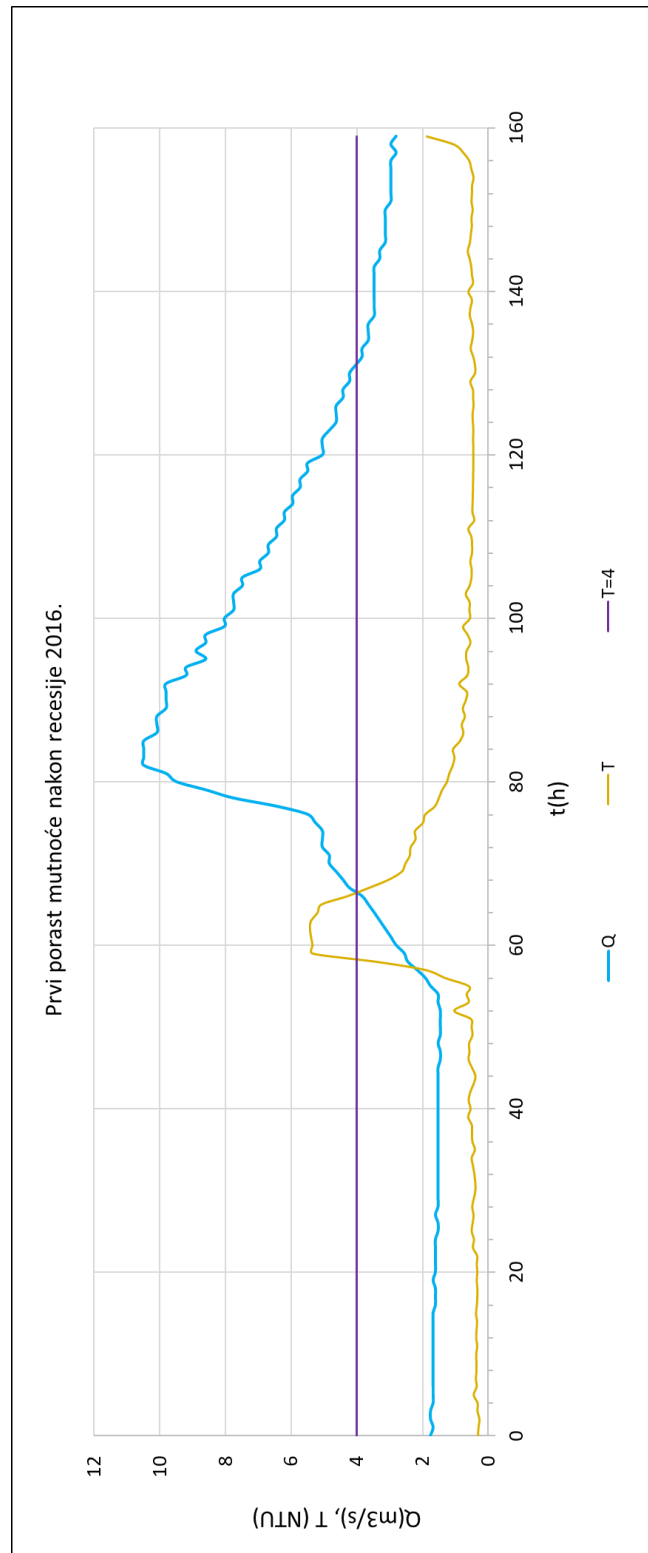
Tip petlje T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2015. godine:

**Složena petlja**

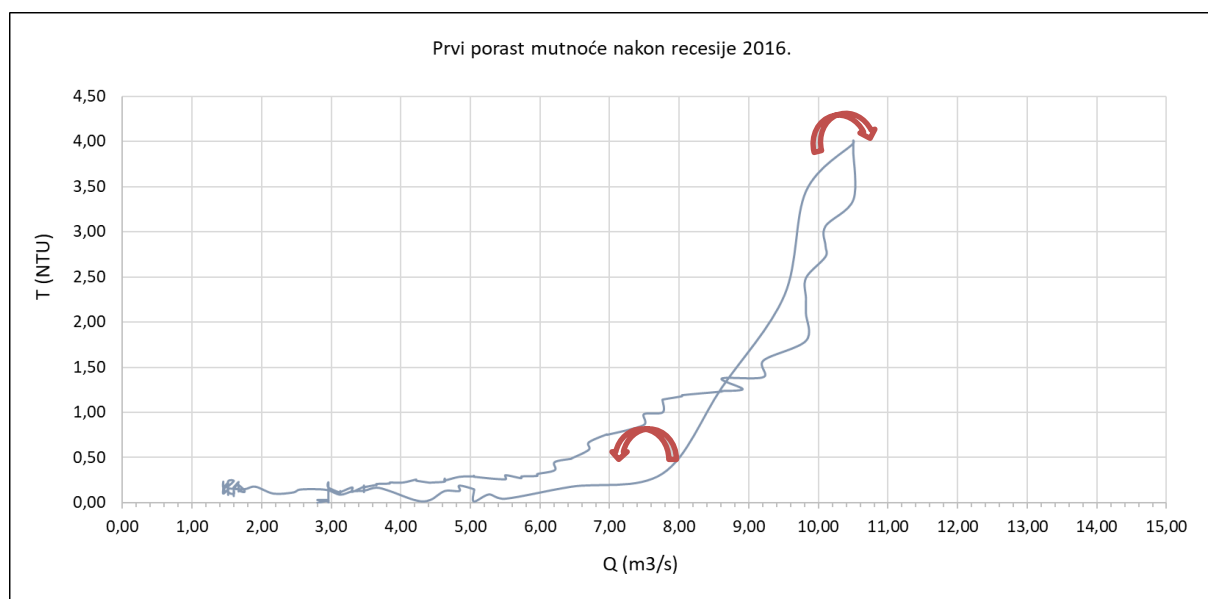
## 8.2. Analiza prvog vrha mutnoće nakon recesije 2016. godine



Slika 140. Grafički prikaz protoka i mutnoće u 2016. godini



Slika 141. Grafički prikaz protoka i mutnoće tijekom prvog vrha mutnoće nakon recesije 2016. godine

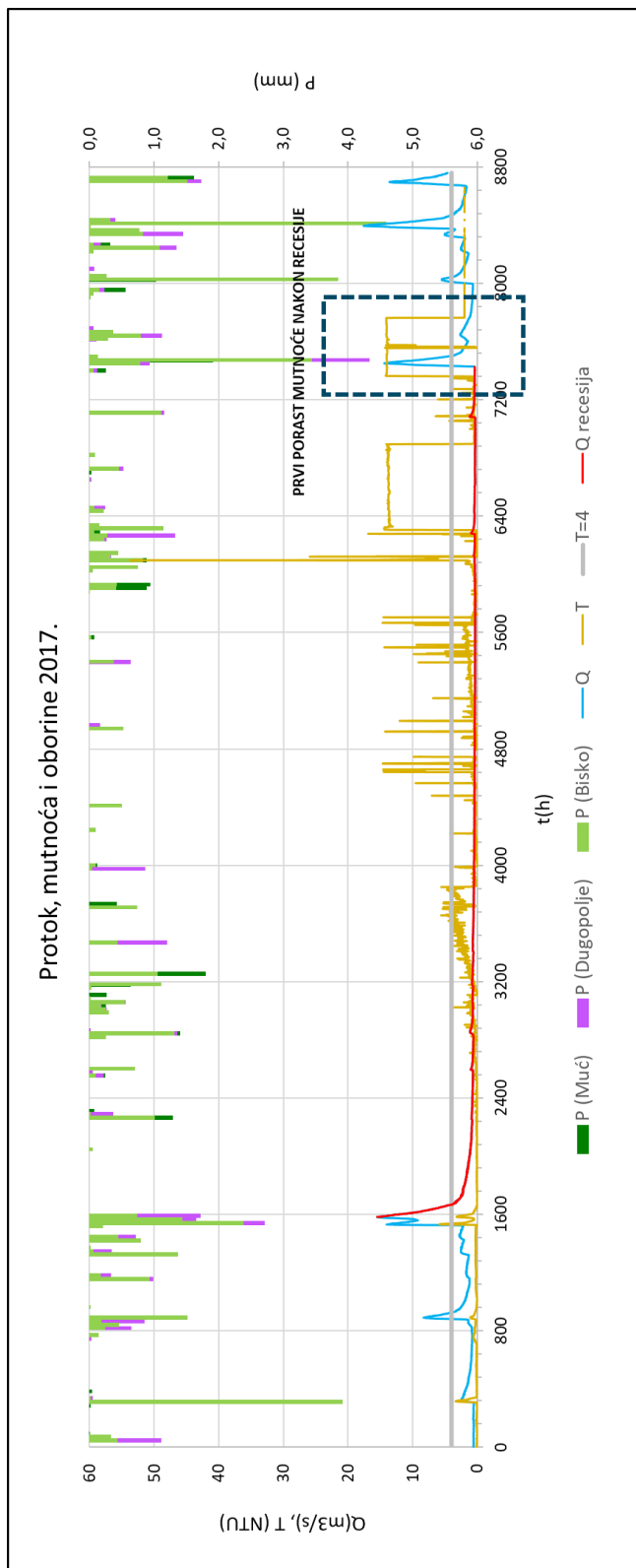


Slika 142. Petlja T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2016. godine

Tip petlje T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2016. godine:

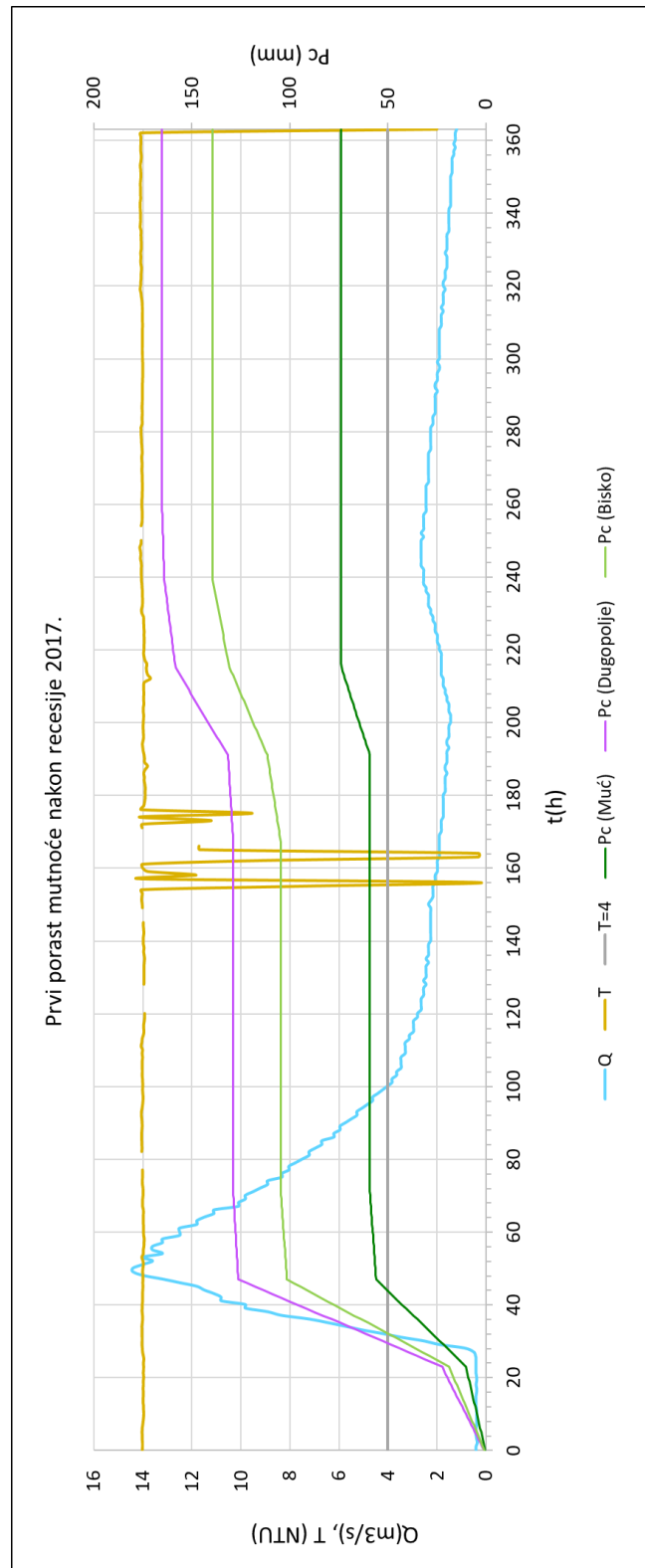
**Klasa V – petlja u obliku osmice**

### 8.3. Analiza prvog vrha mutnoće nakon recesije 2017. godine

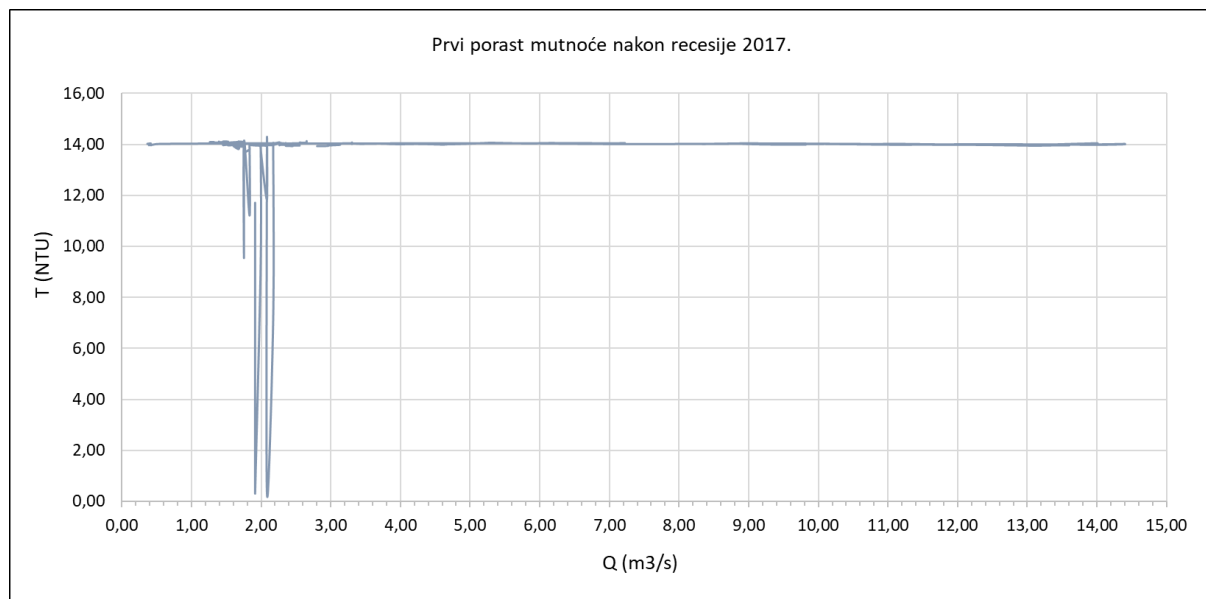


Slika 143. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborine u 2017. godini





Slika 144. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborina tijekom prvog vrha mutnoće nakon recesije 2017. godine

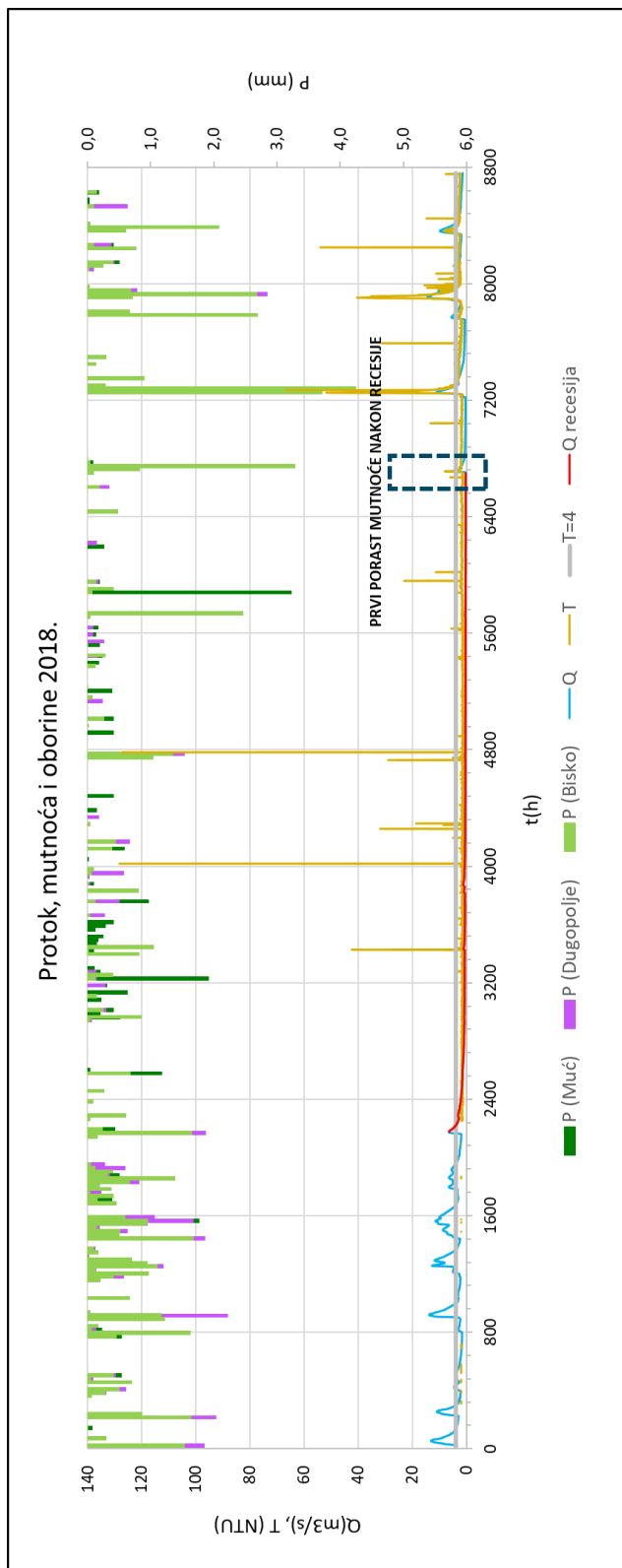


Slika 145. Petlja T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2017. godine

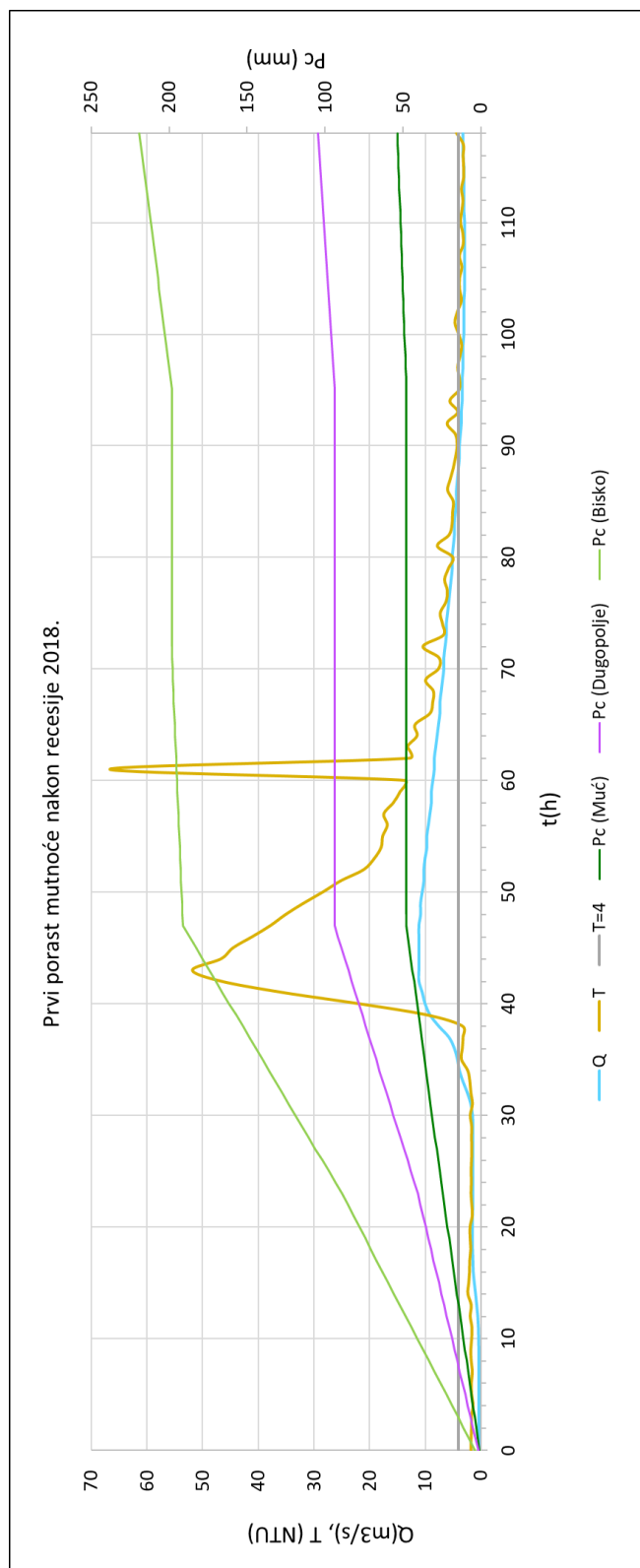
Tip petlje T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2017. godine:

**Složena petlja**

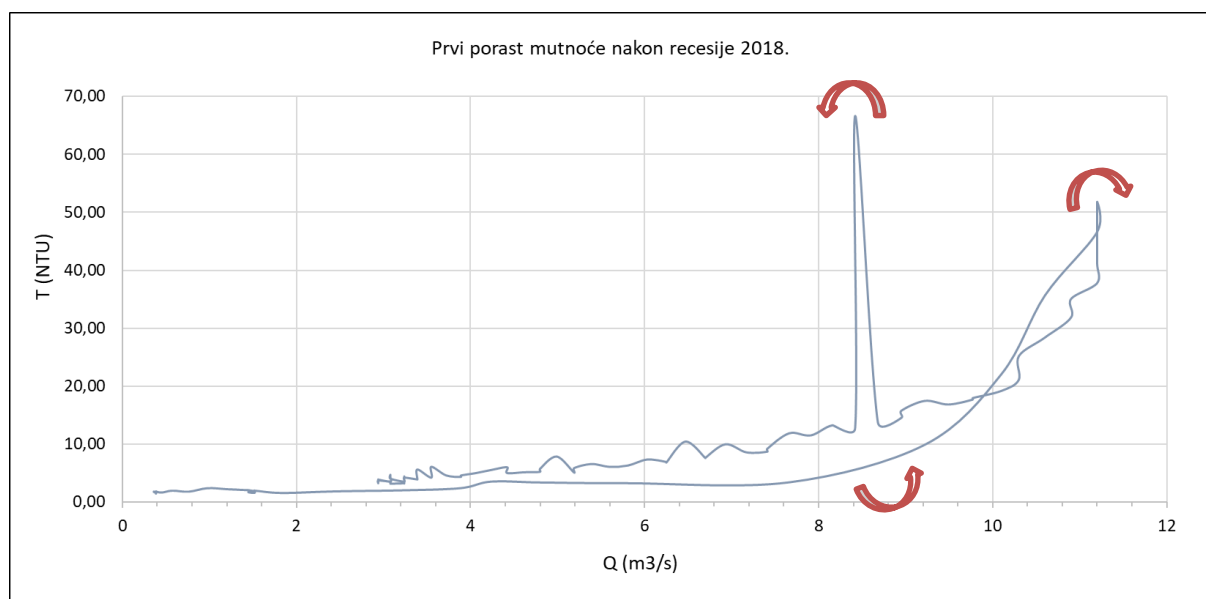
### 8.4. Analiza prvog vrha mutnoće nakon recesije 2018. godine



Slika 146. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborine u 2018. godini



Slika 147. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborina tijekom prvog vrha mutnoće nakon recesije 2018. godine

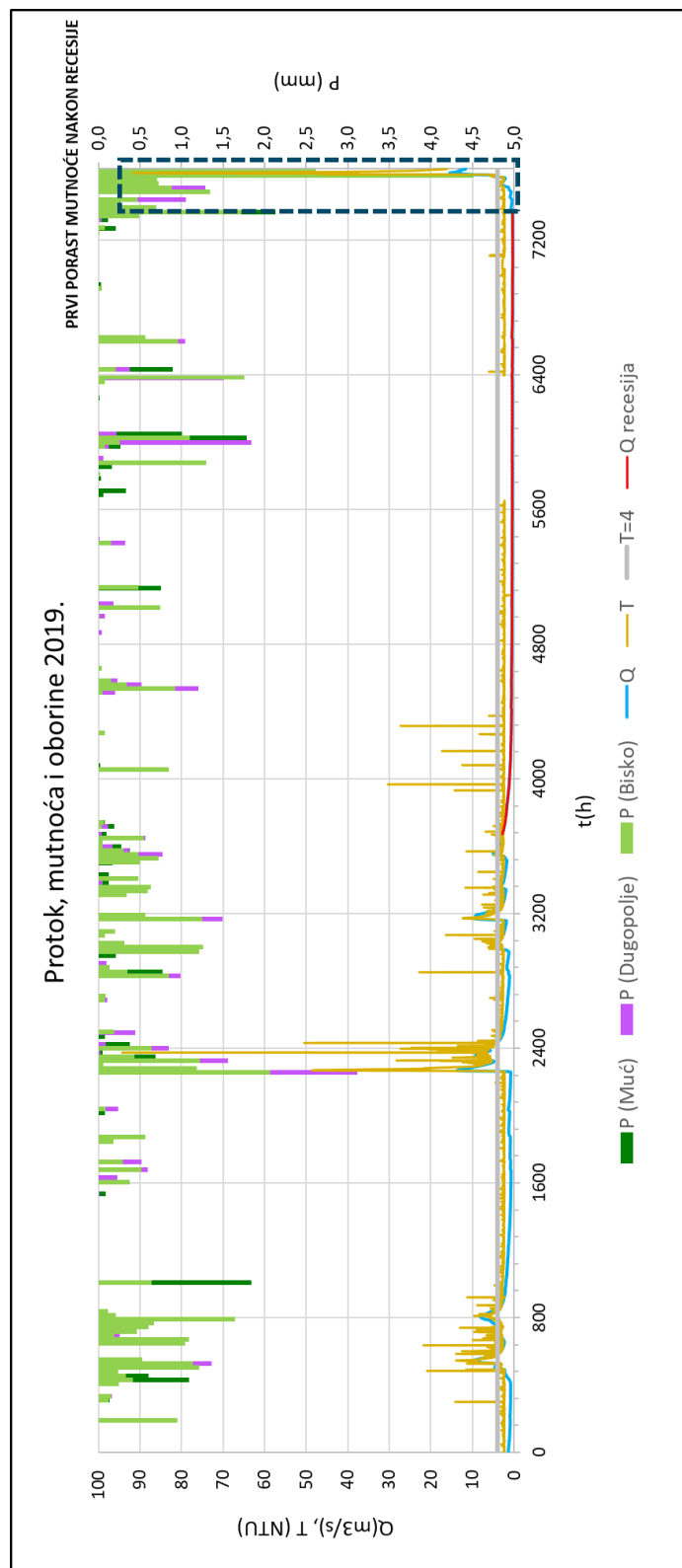


Slika 148. Petlja T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2018. godine

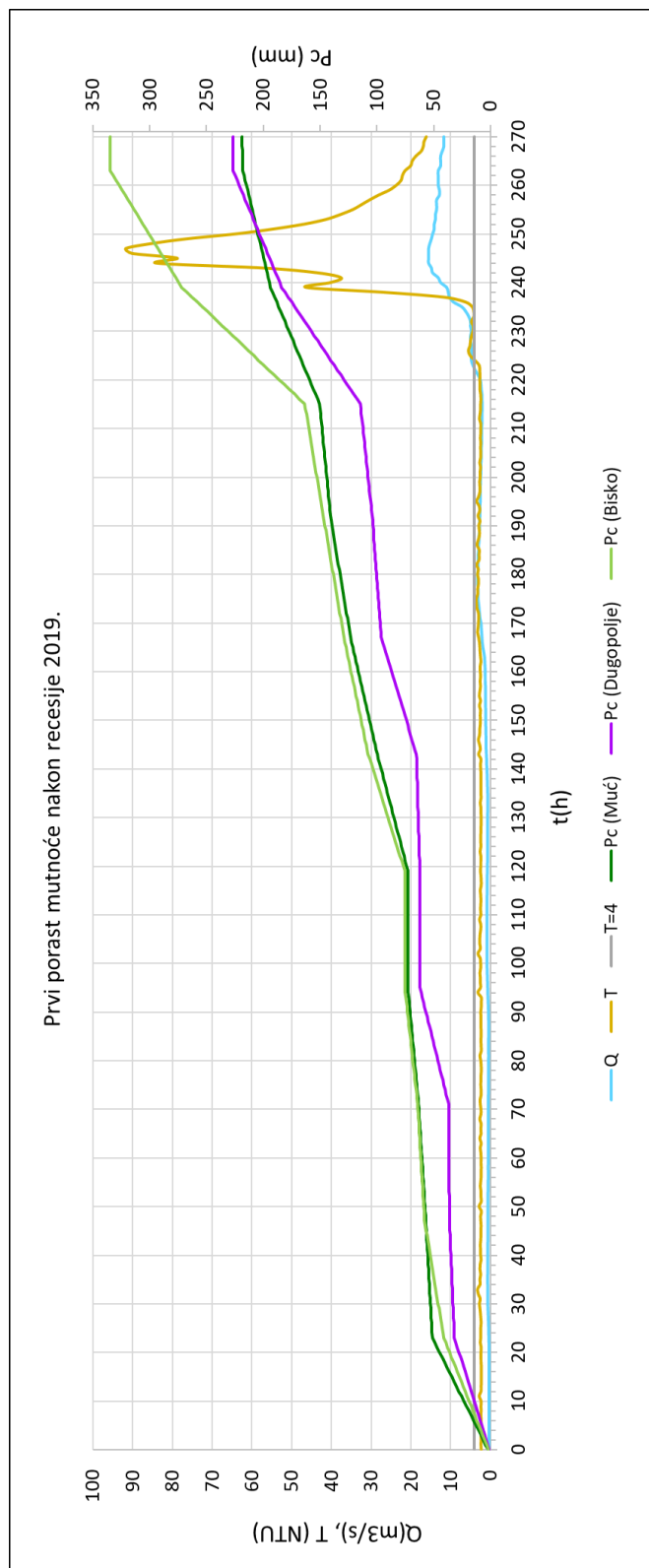
Tip petlje T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2018. godine:

**Klasa V – petlja u obliku osmice**

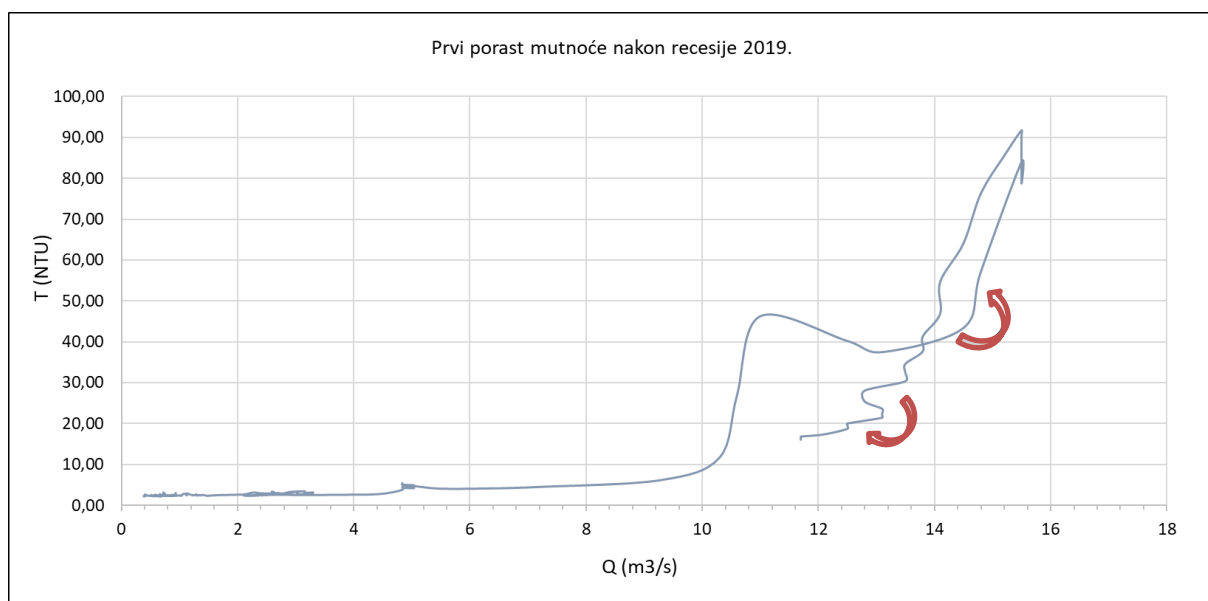
## 8.5. Analiza prvog vrha mutnoće nakon recesije 2019. godine



Slika 149. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborine u 2019. godini (do 14.11. 14:00)



Slika 150. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborina tijekom prvog vrha mutnoće nakon recesije 2019. godine



Slika 151. Petlja T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2019. godine

Tip petlje T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2019. godine:

**Klasa V – petlja u obliku osmice**



## 9. ZAKLJUČAK

Na osnovu pribavljenih meteoroloških i hidroloških podataka o oborinama na mjernim postajama Bisko, Dugopolje i Muć, te protoku i mutnoći izvora rijeke Žrnovnice za period 2015.-2019. godine, izvršena je analiza recesijskih razdoblja. Korištene su metode usporedne analize, kroskorelacija, kao i metoda Williams-a za identifikaciju i klasifikaciju histereznih petlji.

Podaci o izmjerenom protoku i mutnoći dostavljeni su u obliku satnih vrijednosti, te su kao takvi i korišteni, a dnevni podaci o oborinama su svedeni na satne.

Uspoređujući hidrogram otjecanja sa krivuljom mutnoće za godine 2015.-2019., nije uočena jasna povezanost u ponašanju ovih dviju krivulja. Porastom ili smanjenjem protoka ne dolazi nužno do povećanja ili smanjenja mutnoće. To znači da osim protoka postoje drugi čimbenici koji utječu na promjenu mutnoće.

Analiza vremenskih serija protoka, mutnoće i oborina metodom kroskorelacije, obavljena je za godine 2017., 2018. i 2019., kao i za njihova recesijska razdoblja. Na gotovo svim kroskorelogramima recesijskog razdoblja, koeficijent kroskorelacije je negativan za nulto vrijeme zakašnjenja. Primjerice, na kroskorelogramu oborina Bisko i mutnoće za recesijsko razdoblje 2019. vidljivo je da se maksimalni koeficijent  $r=0,14$  javlja nakon otprilike 21 dan. To govori da je potrebno 21 dan da se pokaže posljedica oborinskog događaja u vidu povećanja mutnoće.

Radi boljeg razumijevanja ponašanja mutnoće  $T$  i protoka izvora jadro  $Q$ , korištena je metoda histereznih petlji ili metoda Williams-a. Promatran je period prvog povećanja mutnoće koje slijedi nakon recesijskog razdoblja godina 2015.-2017. Identificirane su i klasificirane petlje koje prikazuju  $T$ - $Q$  odnos, a pojavljuju se dva tipa. Prepoznate su složene petlje za 2015. i 2017. godinu, dok su za ostale godine klasificirane kao petlje u obliku osmice.

## Popis slika

- Slika 1. Razvoj pukotinskog sustava u krškom masivu tijekom vremena
- Slika 2. Cjeline podzemne vode u krškom dijelu Republike Hrvatske
- Slika 3. Hidrološka karta sliva rijeka Jadro i Žrnovnica
- Slika 4. Skica područja sliva rijeke Cetine sa pripadajućom granicom
- Slika 5. Rijeka Žrnovnica
- Slika 6. Satne oborine 2017. godine za Bisko
- Slika 7. Satne oborine 2018. godine za Bisko
- Slika 8. Satne oborine 2019. godine za Bisko
- Slika 9. Satne oborine 2017. godine za Dugopolje
- Slika 10. Satne oborine 2018. godine za Dugopolje
- Slika 11. Satne oborine 2019. godine za Dugopolje
- Slika 12. Satne oborine 2017. godine za Muć
- Slika 13. Satne oborine 2018. godine za Muć
- Slika 14. Satne oborine 2019. godine za Muć
- Slika 15. Shematski prikaz hidrograma otjecanja
- Slika 16. Hidrogram sa direktnim (Qd) i baznim (Qb) otjecanjem
- Slika 17. Hidrogram otjecanja rijeke Žrnovnice za 2015. godinu
- Slika 18. Hidrogram otjecanja rijeke Žrnovnice za 2016. godinu
- Slika 19. Hidrogram otjecanja rijeke Žrnovnice za 2017. godinu
- Slika 20. Hidrogram otjecanja rijeke Žrnovnice za 2018. godinu
- Slika 21. Hidrogram otjecanja rijeke Žrnovnice za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)
- Slika 22. Nefelometar
- Slika 23. Uzorci vode sa različitim vrijednostima NTU (Montana State University)
- Slika 24. Turbidograf rijeke Žrnovnice za 2015. godinu
- Slika 25. Turbidograf rijeke Žrnovnice za 2016. godinu
- Slika 26. Turbidograf rijeke Žrnovnice za 2017. godinu
- Slika 27. Turbidograf rijeke Žrnovnice za 2018. godinu
- Slika 28. Turbidograf rijeke Žrnovnice za 2019. godinu
- Slika 29. Grafički prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za 2015. godinu
- Slika 30. Grafički prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za 2016. godinu
- Slika 31. Grafički prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za 2017. godinu
- Slika 32. Grafički prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za 2018. godinu
- Slika 33. Grafički prikaz protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)
- Slika 34. Hidrogram otjecanja i recesija rijeke Žrnovnice za 2015. godinu
- Slika 35. Recesija rijeke Žrnovnice za 2015. godinu
- Slika 36. Hidrogram otjecanja i recesija rijeke Žrnovnice za 2016. godinu
- Slika 37. Recesija rijeke Žrnovnice za 2016. godinu
- Slika 38. Hidrogram otjecanja i recesija rijeke Žrnovnice za 2017. godinu
- Slika 39. Recesija rijeke Žrnovnice za 2017. godinu

- Slika 40. Hidrogram otjecanja i recesija rijeke Žrnovnice za 2018. godinu
- Slika 41. Recesija rijeke Žrnovnice za 2018. godinu
- Slika 42. Hidrogram otjecanja i recesija rijeke Žrnovnice za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)
- Slika 43. Recesija rijeke Žrnovnice za 2019. godinu
- Slika 44. Hidrogram otjecanja, recesija i mutnoća rijeke Žrnovnice za 2015. godinu
- Slika 45. Hidrogram otjecanja, recesija i mutnoća rijeke Žrnovnice za 2016. godinu
- Slika 46. Hidrogram otjecanja, recesija i mutnoća rijeke Žrnovnice za 2017. godinu
- Slika 47. Hidrogram otjecanja, recesija i mutnoća rijeke Žrnovnice za 2018. godinu
- Slika 48. Hidrogram otjecanja, recesija i mutnoća rijeke Žrnovnice za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)
- Slika 49. Krivulja trajanja i histogram učestalosti
- Slika 50. Krivulja trajanja protoka za 2015. godinu
- Slika 51. Histogram učestalosti protoka za 2015. godinu
- Slika 52. Krivulja trajanja mutnoće za 2015. godinu
- Slika 53. Histogram učestalosti mutnoće za 2015. godinu
- Slika 54. Krivulja trajanja protoka za 2016. godinu
- Slika 55. Histogram učestalosti protoka za 2016. godinu
- Slika 56. Krivulja trajanja mutnoće za 2016. godinu
- Slika 57. Histogram učestalosti mutnoće za 2016. godinu
- Slika 58. Krivulja trajanja protoka za 2017. godinu
- Slika 59. Histogram učestalosti protoka za 2017. godinu
- Slika 60. Krivulja trajanja mutnoće za 2017. godinu
- Slika 61. Histogram učestalosti mutnoće za 2017. godinu
- Slika 62. Krivulja trajanja protoka za 2018. godinu
- Slika 63. Histogram učestalosti protoka za 2018. godinu
- Slika 64. Krivulja trajanja mutnoće za 2018. godinu
- Slika 65. Histogram učestalosti mutnoće za 2018. godinu
- Slika 66. Krivulja trajanja protoka za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)
- Slika 67. Histogram učestalosti protoka za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)
- Slika 68. Krivulja trajanja mutnoće za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)
- Slika 69. Histogram učestalosti mutnoće za 2016. godinu (do 14.11. 14:00)
- Slika 70. Krivulja trajanja protoka za recesijsko razdoblje 2015. godine
- Slika 71. Histogram učestalosti protoka za recesijsko razdoblje 2015. godine
- Slika 72. Krivulja trajanja mutnoće za recesijsko razdoblje 2015. godine
- Slika 73. Histogram učestalosti mutnoće za recesijsko razdoblje 2015. godine
- Slika 74. Krivulja trajanja protoka za recesijsko razdoblje 2016. godine
- Slika 75. Histogram učestalosti protoka za recesijsko razdoblje 2016. godine
- Slika 76. Krivulja trajanja mutnoće za recesijsko razdoblje 2016. godine
- Slika 77. Histogram učestalosti mutnoće za recesijsko razdoblje 2016. godine
- Slika 78. Krivulja trajanja protoka za recesijsko razdoblje 2017. godine
- Slika 79. Histogram učestalosti protoka za recesijsko razdoblje 2017. godine
- Slika 80. Krivulja trajanja mutnoće za recesijsko razdoblje 2017. godine

- Slika 81. Histogram učestalosti mutnoće za recesijsko razdoblje 2017. godine
- Slika 82. Krivulja trajanja protoka za recesijsko razdoblje 2018. godine
- Slika 83. Histogram učestalosti protoka za recesijsko razdoblje 2018. godine
- Slika 84. Krivulja trajanja mutnoće za recesijsko razdoblje 2018. godine
- Slika 85. Histogram učestalosti mutnoće za recesijsko razdoblje 2018. godine
- Slika 86. Krivulja trajanja protoka za recesijsko razdoblje 2019. godine
- Slika 87. Histogram učestalosti protoka za recesijsko razdoblje 2019. godine
- Slika 88. Krivulja trajanja mutnoće za recesijsko razdoblje 2019. godine
- Slika 89. Histogram učestalosti mutnoće za recesijsko razdoblje 2019. godine
- Slika 90. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice 2017.
- Slika 91. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za recesijsko razdoblje 2017.
- Slika 92. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za recesijsko razdoblje 2018.
- Slika 93. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice 2018.
- Slika 94. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice 2019. (do 14.11. 14:00)
- Slika 95. Kroskorelacija protoka i mutnoće rijeke Žrnovnice za recesijsko razdoblje 2019.
- Slika 96. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće 2017.
- Slika 97. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće za recesijsko razdoblje 2017.
- Slika 98. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće 2018.
- Slika 99. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće za recesijsko razdoblje 2018.
- Slika 100. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće 2019.
- Slika 101. Kroskorelacija oborina Bisko i mutnoće za recesijsko razdoblje 2019.
- Slika 102. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće 2017.
- Slika 103. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće za recesijsko razdoblje 2017.
- Slika 104. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće 2018.
- Slika 105. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće za recesijsko razdoblje 2018.
- Slika 106. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće za 2019.
- Slika 107. Kroskorelacija oborina Dugopolje i mutnoće za recesijsko razdoblje 2019.
- Slika 108. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za 2017.
- Slika 109. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za recesijsko razdoblje 2017.
- Slika 110. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za 2018.
- Slika 111. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za recesijsko razdoblje 2018.
- Slika 112. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za 2019.
- Slika 113. Kroskorelacija oborina Muć i mutnoće za recesijsko razdoblje 2019.
- Slika 114. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za 2017.
- Slika 115. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za recesijsko razdoblje 2017.
- Slika 116. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za 2018.
- Slika 117. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za recesijsko razdoblje 2018.
- Slika 118. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za 2019. (do 14.11. 14:00)
- Slika 119. Kroskorelacija oborina Bisko i protoka za recesijsko razdoblje 2019.
- Slika 120. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za 2017.
- Slika 121. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za recesijsko razdoblje 2017.

- Slika 122. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za 2018.
- Slika 123. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za recesijsko razdoblje 2018.
- Slika 124. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za 2019. (do 14.11. 14:00)
- Slika 125. Kroskorelacija oborina Dugopolje i protoka za recesijsko razdoblje 2019.
- Slika 126. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za 2017.
- Slika 127. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za recesijsko razdoblje 2017.
- Slika 128. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za 2018.
- Slika 129. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za recesijsko razdoblje 2018.
- Slika 130. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za 2019. (do 14.11. 14:00)
- Slika 131. Kroskorelacija oborina Muć i protoka za recesijsko razdoblje 2019.
- Slika 132. Shematski prikaz Klase I - (a) ravna, (b) zakrivljena
- Slika 133. Shematski prikaz Klase II
- Slika 134. Shematski prikaz Klase III
- Slika 135. Shematski prikaz Klase IV
- Slika 136. Shematski prikaz Klase V
- Slika 137. Grafički prikaz protoka i mutnoće u 2015. godini
- Slika 138. Grafički prikaz protoka i mutnoće tijekom prvog vrha mutnoće nakon recesije 2015. godine
- Slika 139. Petlja T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2015. godine
- Slika 140. Grafički prikaz protoka i mutnoće u 2016. godini
- Slika 141. Grafički prikaz protoka i mutnoće tijekom prvog vrha mutnoće nakon recesije 2016. godine
- Slika 142. Petlja T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2016. godine
- Slika 143. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborina u 2017. godini
- Slika 144. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborina tijekom prvog vrha mutnoće nakon recesije 2017. godine
- Slika 145. Petlja T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2017. godine
- Slika 146. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborina u 2018. godini
- Slika 147. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborina tijekom prvog vrha mutnoće nakon recesije 2018. godine
- Slika 148. Petlja T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2018. godine
- Slika 149. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborina u 2019. godini (do 14.11. 14:00)
- Slika 150. Grafički prikaz protoka, mutnoće i oborina tijekom prvog vrha mutnoće nakon recesije 2019. godine
- Slika 151. Petlja T-Q odnosa za prvi vrh mutnoće nakon recesije 2019. godine

## Popis tablica

Tablica 1. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2017. godine za Bisko

Tablica 2. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2018. godine za Bisko

Tablica 3. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2019. godine za Bisko

Tablica 4. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2017. godine za Dugopolje

Tablica 5. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2018. godine za Dugopolje

Tablica 6. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2019. godine za Dugopolje

Tablica 7. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2017. godine za Muć

Tablica 8. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2018. godine za Muć

Tablica 9. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti oborina 2019. godine za Muć

Tablica 10. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti protoka rijeke Žrnovnice za 2015. godinu

Tablica 11. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti protoka rijeke Žrnovnice za 2016. godinu

Tablica 12. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti protoka rijeke Žrnovnice za 2017. godinu

Tablica 13. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti protoka rijeke Žrnovnice za 2018. godinu

Tablica 14. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti protoka rijeke Žrnovnice za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)

Tablica 15. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti mutnoće rijeke Žrnovnice za 2015. godinu

Tablica 16. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti mutnoće rijeke Žrnovnice za 2016. godinu

Tablica 17. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti mutnoće rijeke Žrnovnice za 2017. godinu

Tablica 18. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti mutnoće rijeke Žrnovnice za 2018. godinu

Tablica 19. Tablični prikaz karakterističnih statističkih vrijednosti mutnoće rijeke Žrnovnice za 2019. godinu

Tablica 20. Učestalost i trajanje protoka za 2015. godinu

Tablica 21. Učestalost i trajanje mutnoće za 2015. godinu

Tablica 22. Učestalost i trajanje protoka za 2016. godinu

Tablica 23. Učestalost i trajanje mutnoće za 2016. godinu

Tablica 24. Učestalost i trajanje protoka za 2017. godinu

Tablica 25. Učestalost i trajanje mutnoće za 2016. godinu

Tablica 26. Učestalost i trajanje protoka za 2018. godinu

Tablica 27. Učestalost i trajanje mutnoće za 2018. godinu

Tablica 28. Učestalost i trajanje protoka za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)

Tablica 29. Učestalost i trajanje mutnoće za 2019. godinu (do 14.11. 14:00)

- Tablica 30. Učestalost i trajanje mutnoće za recesijsko razdoblje 2015. godine  
Tablica 31. Učestalost i trajanje protoka za recesijsko razdoblje 2016. godine  
Tablica 32. Učestalost i trajanje mutnoće za recesijsko razdoblje 2016. godine  
Tablica 33. Učestalost i trajanje protoka za recesijsko razdoblje 2017. godine  
Tablica 34. Učestalost i trajanje mutnoće za recesijsko razdoblje 2017. godine  
Tablica 35. Učestalost i trajanje protoka za recesijsko razdoblje 2018. godine  
Tablica 36. Učestalost i trajanje mutnoće za recesijsko razdoblje 2018. godine  
Tablica 37. Učestalost i trajanje mutnoće za recesijsko razdoblje 2019. godine  
Tablica 38. Tumač vrijednosti koeficijenta korelacije

## Literatura

- [1] O. Bonacci; T. Roje-Bonacci: Posebnosti krških vodonosnika (2004), Građevinski godišnjak
- [2] R. Biondić; B. Biondić; J. Rubinić; H. Meaški; S. Krpelj; P. Tepeš: Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj, (2019), Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet
- [3] Hidrogeološka karta (Kadić i dr.,2015.)
- [4] Zaštita Cetine – najveće dalmatinske rijeke (2007), GRAĐEVINAR 59 (3)
- [5] [https://hr.wikipedia.org/wiki/%C5%BDrnovnica\\_\(rijeka\)#/media/Datoteka:River\\_%C5%BDrnovnica\\_in\\_Stobre%C4%8D.jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/%C5%BDrnovnica_(rijeka)#/media/Datoteka:River_%C5%BDrnovnica_in_Stobre%C4%8D.jpg)
- [6] H.Hrelja: Inženjerska hidrologija, (Sarajevo, 2007.), Univerzitet u Sarajevu – Građevinski fakultet
- [7] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Nefelometar#/media/Datoteka:Nefelometar.jpg>
- [8] <https://www.montana.edu/barleybreeding/images-and-videos/images/learning-center/malt-quality-testing/Turbidimeter/Turbidity%20standards%20500x400.jpg>
- [9] J. Horvat; J. Mijoč: Osnove statistike (2012.), Naklada Ljevak d.o.o. Zagreb
- [10] [https://bs.wikipedia.org/wiki/Koeficijent\\_korelacije#/media/Datoteka:Correlation\\_examples2.svg](https://bs.wikipedia.org/wiki/Koeficijent_korelacije#/media/Datoteka:Correlation_examples2.svg)
- [11] F. Armraoui; M. Razack; L. Bouchaoui (2015.): Turbidity dynamics in karstic systems. Exemple of Ribba and Bittit spring in the Middle Atlas (Morocco), Hydrological Sciences Journal
- [12] G.P. Williams: Sediment concentration versus water discharge single hydrologic events in rivers. Journal of Hydrology (1989.)