

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Horvat, A., 2014. Primerjava metod izločanja baznega odtoka in analiza visokovodnih valov v Sloveniji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M.): 85 str.

Datum arhiviranja: 07-07-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Colja, M., 2014. Ekološko recikliranje bioloških odpadkov iz gospodinjstva z avtomatskim kompostnikom. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M.): 85 pp.

Archiving Date: 07-07-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM VODARSTVO IN  
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidatka:

**ALJA HORVAT**

**PRIMERJAVA METOD IZLOČANJA BAZNEGA  
ODTOKA IN ANALIZA VISOKOVODNIH VALOV V  
SLOVENIJI**

Diplomska naloga št.: 235/VKI

**COMPARISON OF BASEFLOW METHODS AND  
ANALYSIS OF FLOOD WAVES IN SLOVENIA**

Graduation thesis No.: 235/VKI

**Mentorica:**

doc. dr. Mojca Šraj

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Dušan Žagar

**Član komisije:**

izr. prof. dr. Jože Panjan

Ljubljana, 03. 07. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVE**

Podpisana Alja Horvat izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Primerjava metod izločanja baznega odtoka in analiza visokovodnih valov v Sloveniji«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, dne 4. 6. 2014

Alja Horvat

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>556.166:532.5 (497.4)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Alja Horvat</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Mojca Šraj</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Primerjava metod izločanja baznega odtoka in analiza visokovodnih valov v Sloveniji</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Dipl. nal.–UNI</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>85 str., 17 pregl., 54 sl., 41 en., 1 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>hidrogram, bazni odtok, visokovodni val, konica pretoka, volumen vala, trajanje vala, program R</b>

### **Izvleček**

Zanesljivost verjetnostnih analiz poplavnih dogodkov lahko zagotovimo samo z dovolj poglobljeno analizo visokovodnih valov. Poglobljena analiza vključuje analizo konic, volumnov in trajanja visokovodnih valov.

V teoretičnem delu diplomske naloge je predstavljena analiza hidrograma in baznega odtoka. Predstavljene so različne metode izločanja baznega odtoka, s poudarkom na avtomatiziranih postopkih, katerih cilj je, da se vzpostavijo enostavni in ponovljivi modeli. Predstavljen je tudi program R, ki ima že vgrajene različne modele za izločanje baznega odtoka.

V praktičnem delu naloge smo med seboj najprej primerjali različne metode izločanja baznega odtoka na izbranem valu vodomerne postaje Radovljica I na reki Savi za leto 2004. Primerjali smo metodi *BaseflowSeparation* in BFI z različnimi nastavitvami filtra in števila prehodov in rezultate med seboj primerjali. Metoda, ki je dala najbolj optimalne rezultate, je bila v nadaljevanju uporabljena za analiziranje visokovodnih valov vodomernih postaj v Sloveniji. Analizirali smo konice, volumne in trajanja ter naklone naraščanja in upadanja visokovodnih valov.

Rezultati povezav posameznih spremenljivk, ki smo jih pridobili z analiziranjem 50-ih vodomernih postaj v Sloveniji, so pokazali, da je največja povezanost med konico in volumnom visokovodnega vala, srednje velika med volumnom in trajanjem visokovodnega vala in najmanjša med konico in trajanjem visokovodnega vala.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 556.166:532.5 (497.4)(043.2)  
**Author:** Alja Horvat  
**Supervisor:** Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph.D.  
**Title:** Comparison of baseflow methods and analysis of flood waves in Slovenia  
**Document type:** Graduation Thesis – University studies  
**Scope and tools:** 85 p., 17 tab., 54 fig., 41 eq., 1 ann.  
**Keywords:** hydrogram, baseflow, flood wave, peak flow, flood volume, flood duration, program R

**Abstract**

Reliability of probabilistic analysis of flood events can only be assured by a sufficient deeply engaged analysis of flood waves. In-depth analysis includes an analysis of peaks, volumes and durations of flood waves.

The theoretical part of the thesis comprises analysis of hydrograph and baseflow. Methods of baseflow extraction are presented, with an emphasis on automated procedures whose aim is to establish a simple and repeatable models for the extraction of baseflow. The program R is also presented, which includes packages for different baseflow separation methods.

The practical part of the thesis includes the comparison of different baseflow separation methods for the selected flood wave of the gauging station Radovljica I on Sava River in 2004. We compare the *BaseflowSeparation* method and BFI method with different filters and number of passages. The method that gave us the best result was chosen for the analysis of flood waves of selected gauging stations in Slovenia. We analysed peak, volume, duration and slopes of the flood waves.

The linkage between individual pairs of variables was investigated for 50 gauging stations in Slovenia. The results show that maximum correlation is between the peak and the volume of flood wave, medium correlation between the volume and the duration of flood wave and the minimum correlation is between the peak and the duration of the flood wave.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Šraj in Nejcju Bezaku za pomoč in vse napotke pri izdelavi naloge.

Zahvalila bi se tudi družini, fantu in prijateljem, ki so me v času študija podpirali in mi stali ob strani.

**KAZALO VSEBINE**

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK .....	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....	IV
ZAHVALA .....	V
KAZALO VSEBINE.....	VI
KAZALO PREGLEDNIC.....	VIII
KAZALO SLIK .....	IX
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 Kratak pregled literature .....	2
1.2 Cilji diplomske naloge .....	3
<b>2 HIDROGRAM IN BAZNI ODTOK .....</b>	<b>4</b>
2.1 Analiza hidrograma .....	4
2.2 Bazni odtok.....	5
<b>3 METODE IZLOČANJA BAZNEGA ODTOKA .....</b>	<b>7</b>
3.1 Grafične metode .....	8
3.1.1 Izločanje baznega odtoka z ravno linijo .....	8
3.1.2 Izločanje baznega odtoka z lomljeno linijo .....	9
3.1.3 Izločanje baznega odtoka z linijsko krivuljo .....	10
3.2 Izločanje baznega odtoka z analizami pogostosti.....	10
3.3 Izločanje baznega odtoka s krivuljo upadanja.....	12
3.4 Določanje baznega odtoka v naravi .....	14
3.4.1 S pomočjo sledenja kemijskih elementov ali spojin.....	14
3.4.2 Z merjenjem gladin v piezometrih in vodnjakih .....	15
<b>4 IZLOČANJE BAZNEGA ODTOKA S POMOČJO AVTOMATIZIRANIH POSTOPKOV .....</b>	<b>16</b>
4.1 Osnovne metode avtomatiziranega filtriranja .....	16
4.2 Digitalni rekurzivni filtri.....	18
4.2.1 Oblikovanje filtra baznega odtoka (Boughton, IHACRES, Furey-Gupta) .....	21
4.2.2 Opis posameznih filtrov .....	24
4.2.2.1 Eno-parametrski algoritem.....	24
4.2.2.2 Boughton-ov dvo-parametrski algoritem .....	25
4.2.2.3 IHACRES tri-parametrski algoritem.....	25



---

4.2.2.4	Lyne in Hollick-ov filter .....	27
4.2.2.5	Chapman-ov algoritem .....	28
4.2.2.6	Filter Furey in Gupta .....	29
4.2.2.7	Eckhardt-ov filter .....	30
4.3	Indeks baznega odtoka (BFI) .....	31
<b>5</b>	<b>IZLOČANJE BAZNEGA ODTOKA S POMOČJO UPORABE PROGRAMA R.....</b>	<b>34</b>
5.1	Predstavitev programa R .....	34
5.2	Predstavitev obravnavanega porečja Sava-Radovljica I .....	36
5.3	Vhodni podatki .....	37
5.4	Izločanje baznega odtoka.....	38
5.4.1	Paket 'EcoHydRology' .....	38
5.4.2	Paket 'lfstat' .....	43
5.5	Primerjava deležev baznega odtoka za vodomerno postajo Radovljica I za leto 2004.....	44
5.6	Analiza izbranega visokovodnega vala .....	45
5.7	Primerjava deležev baznega odtoka za izbrani visokovodni val .....	49
<b>6</b>	<b>ANALIZA VISOKOVODNIH VALOV NA POSAMEZNIH VODOMERNIH POSTAJAH</b>	
<b>V SLOVENIJI .....</b>	<b>.....</b>	<b>51</b>
6.1	Primer analize vodomerne postaje Radovljica I na Savi (1910–2010).....	53
6.1.1	Analiza visokovodnih konic .....	53
6.1.2	Analiza volumnov visokovodnih valov .....	54
6.1.3	Analiza trajanj visokovodnih valov .....	56
6.1.4	Analiza naklonov naraščanja in upadanja visokovodnih valov .....	56
6.1.5	Povezave med spremenljivkami .....	57
6.2	Povezava med pretokom in volumnom (Q – V) visokovodnih valov za obravnavane vodomerne postaje v Sloveniji .....	59
6.3	Povezava med pretokom in trajanjem (Q – T) visokovodnih valov za obravnavane vodomerne postaje v Sloveniji .....	65
6.4	Povezava med volumnom in trajanjem (V – T) visokovodnih valov za obravnavane vodomerne postaje v Sloveniji .....	70
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČKI.....</b>	<b>77</b>
<b>VIRI .....</b>	<b>.....</b>	<b>79</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Predpostavke, ki so vgrajene v filtre (Povzeto po Croke, 2010) .....	19
Preglednica 2: Pregled digitalnih rekurzivnih filtrov (Brodie in Hostetler, 2005; Kovačič, 2012) .....	23
Preglednica 3: Primerjava deležev baznega odtoka po dveh metodah pri različnih vrednostih parametra filtra in različnim številom prehodov za vodomerno postajo Radovljica I v letu 2004 .....	45
Preglednica 4: Analiza visokovodnega vala pri parametru filtra 0,9 .....	46
Preglednica 5: Analiza visokovodnega vala pri parametru filtra 0,925 .....	47
Preglednica 6: Delež baznega odtoka visokovodnega vala pri parametru filtra 0,95 .....	48
Preglednica 7: Analiza visokovodnega vala – metoda BFI .....	49
Preglednica 8: Primerjava deležev baznega odtoka po različnih metodah za izbrani visokovodni val .50	
Preglednica 9: Obravnavane vodomerne postaje v Sloveniji .....	51
Preglednica 10: Ocene opistnih statistik letnih konic obravnavanih visokovodnih valov Radovljice I na Savi (1910–2010) .....	54
Preglednica 11: Ocene opisnih statistik vzorca volumnov obravnavanih visokovodnih valov za obdobje za obdobje 1910–2010 .....	54
Preglednica 12: Ocene opisnih statistik vzorca trajanj obravnavanih visokovodnih valov za obdobje 1910–2010 .....	56
Preglednica 13: Ocene opisnih statistik naklonov naraščanja in upadanja obravnavanih valov vodomerne postaje Radovljica I za obdobje 1910–2010 .....	56
Preglednica 14: Izračunane vrednosti koeficientov korelacije med posameznimi spremenljivkami visokovodnih valov Radovljice I na Savi (1910–2010) .....	58
Preglednica 15: Rezultati Pearsonovih, Spearmanovih in Kendallovih koeficientov korelacije in pripadajočih p-vrednosti (spremenljivki (Q – V)) za obravnavane vodomerne postaje v Sloveniji .....	60
Preglednica 16: Rezultati Pearsonovih, Spearmanovih in Kendallovih p-vrednost in koeficientov korelacije (spremenljivki (Q – T)) za posamezne postaje .....	65
Preglednica 17: Rezultati Pearsonovih, Spearmanovih in Kendallovih p-vrednost in koeficientov korelacije (spremenljivki (V – T)) za posamezne postaje .....	71

## KAZALO SLIK

Slika 1: Komponente hidrograma pretoka (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005).....	4
Slika 2: Izločanje baznega odtoka z ravno črto (Povzeto po Pandi, 2010) .....	9
Slika 3: Konkavna metoda za izločanje baznega odtoka (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005) .....	9
Slika 4: Izločanje baznega odtoka s krivuljo (Povzeto po NPTEL, 2011) .....	10
Slika 5: Krivulja trajanja srednjih dnevni vrednosti (Povzeto po Walderufael in Woyessa, 2010).....	11
Slika 6: Primerjava krivulj pretok - verjetnost (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005).....	11
Slika 7: Identifikacija obdobj upadanja iz neprekinjenih zapisov pretoka (obdobje enega hidrološkega leta 1969/1970 reka Ngaruroro ) (Povzeto po Gustard in Demuth, 2009) .....	12
Slika 8: Primer preprostih avtomatiziranih tehnik ločevanja baznega odtoka za primer reke Mali Yarra, Victoria, september 1984 (Povzeto po Murphy et al. , 2009) .....	18
Slika 9: Primer eno-parametrskega algoritma za program R (Povzeto po Chapman, 1999) .....	24
Slika 10: Primer dvo-parametrskega algoritma za program R (Povzeto po Chapman, 1999) .....	25
Slika 11: Primer tri-parametrskega algoritma za program R (Povzeto po Chapman, 1999) .....	27
Slika 12: Primerjava filtrov Lyne & Hollick, Chapman in Eckhardt (Povzeto Asmerom, 2008) .....	31
Slika 13: Ločevanje baznega odtoka za prepustna in neprepustna tla (Velika Britanija) (Povzeto po Gustard in Demuth, 2009) .....	32
Slika 14: Osnovno okno programa R .....	34
Slika 15: Osnovno okno programa RStudio .....	35
Slika 16: Vodomerne postaja Sava-Radovljica I in njena prispevna površina (ARSO, 2011) .....	36
Slika 17: Vodomerne postaja Sava-Radovljica I z okolico (ARSO, 2013b).....	37
Slika 18: Hidrogram pretoka za merilno postajo Sava-Radovljica I za leto 2004.....	38
Slika 19: Primer uporabe paketa 'EcoHydRology'.....	39
Slika 20: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za parameter filtra 0,9 .....	40
Slika 21: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za parameter filtra 0,925 .....	40
Slika 22: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za parameter filtra 0,95 .....	41
Slika 23: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za enkratni prehod čez podatke .....	42
Slika 24: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za dvakratni prehod čez podatke .....	42
Slika 25: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za trikratni prehod čez podatke .....	43
Slika 26: Primer uporabe paketa 'lfstat' .....	44
Slika 27: Hidrogram pretoka in baznega odtoka po metodi BFI.....	44
Slika 28: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za visokovodni val v Radovljici I – metoda <i>BaseflowSeparation</i> parameter filtra 0,9 .....	46
Slika 29: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za visokovodni val v Radovljici I – metoda <i>BaseflowSeparation</i> parameter filtra 0,925 .....	47

Slika 30: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za visokovodni val v Radovljici I – metoda <i>BaseflowSeparation</i> parameter filtra 0,95.....	48
Slika 31: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za visokovodni val v Radovljici I – metoda BFI.....	49
Slika 32: Prikaz obravnavanih vodomernih postaj po Sloveniji .....	51
Slika 33: Hidrogram maksimalnih letnih konic Radovljice I na Savi (1910–2010).....	53
Slika 34: Prikaz razmerja med konicami in volumni visokovodnih valov Radovljice I na Savi (1910–2010).....	55
Slika 35: Prikaz razmerja med naklonom naraščanja in upadanja visokovodnih valov Radovljice I na Savi (1910–2010).....	57
Slika 36: Prikaz korelacij med konicami, volumni in trajanji visokovodnih valov Radovljice I na Savi (1910–2010).....	59
Slika 37: : Prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije med konico in volumnom visokovodnega vala po razredih .....	62
Slika 38: Odvisnost korelacije (Q – V) od koordinat (GKY).....	63
Slika 39: Odvisnost korelacije (Q – V) od koordinat (GKX).....	63
Slika 40: Odvisnost korelacije (Q – V) od nadmorske višine .....	64
Slika 41: Odvisnost korelacije (Q – V) od prispevne površine .....	64
Slika 42: Odvisnost korelacije (Q – V) od količine padavin.....	65
Slika 43: Prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije med konico in trajanjem visokovodnega vala po razredih .....	67
Slika 44: Odvisnost korelacije (Q – T) od koordinat (GKY) .....	68
Slika 45: Odvisnost korelacije (Q – T) od koordinat (GKX) .....	68
Slika 46: Odvisnost korelacije (Q – T) od nadmorske višine.....	69
Slika 47: Odvisnost korelacije (Q – T) od prispevne površine .....	69
Slika 48: Odvisnost korelacije (Q – T) od količine padavin .....	70
Slika 49: Prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije med volumnom in trajanjem visokovodnega vala po razredih .....	73
Slika 50: Odvisnost korelacije (V – T) od koordinat (GKY) .....	74
Slika 51: Odvisnost korelacije (V – T) od koordinat (GKX) .....	74
Slika 52: Odvisnost korelacije (V – T) od nadmorske višine.....	75
Slika 53: Odvisnost korelacije (V – T) od prispevne površine .....	75
Slika 54: Odvisnost korelacije (V – T) od količine padavin .....	76

## 1 UVOD

Načrtovanje in upravljanje z vodami, določanje projektnih pretokov in dimenzioniranje objektov na vodi, določanje poplavnih območij, obvladovanje tveganja zaradi poplav ipd. zahteva temeljito poznavanje značilnosti visokovodnih valov (Šraj in Bezak, 2013). Zato po najnovejših dognanjih ni dovolj, da poznamo le konico visokovodnega vala, temveč sta pomembna tudi volumen in trajanje vala. Vse tri spremenljivke so med seboj v neki povezavi. Možno je, da dogodek s 100-letno povratno dobo konice vala povzroči manj škode kot dogodek z 10-letno povratno dobo konice in s hkratno visoko povratno dobo volumna vala (Karmakar in Simonović, 2007). Poglobljene analize visokovodnih valov so zato bistvenega pomena za zanesljivejše verjetnostne analize pri določanju projektnih pretokov (Šraj in Bezak, 2013).

Pretok je sestavljen iz več elementov vključno z baznim odtokom, ki izvira iz podtalnice in površinskim odtokom, ki je posledica padavinskih dogodkov. V praksi je meja med obema elementoma brez meritev težko določiti, obstajajo pa različne tehnike in metode za oceno deleža baznega odtoka. Ker imajo različne lokacije različno stopnjo prispevka baznega odtoka, moramo za podrobno analizo baznega odtoka poznati lokalne hidrološke značilnosti (Murphy et al., 2009).

Med poplavami so procesi medsebojnega delovanja podtalnice in površinske vode še bolj izraziti. Interakcija procesov podtalnice in površinske vode je zapletena in pri algoritmih za avtomatizirano ločevanje baznega odtoka vseh teh procesov seveda ne moremo upoštevati (Murphy et al., 2009). Ker pa je izločanje baznega odtoka nujno za nadaljnje analize visokovodnih valov, nam avtomatizirani postopki pomagajo pridobiti informacije o deležu baznega odtoka.

## 1.1 Kratek pregled literature

Bazni odtok lahko od preostalega pretoka ločimo na različne načine. Uporabljamo lahko grafične metode, metode filtriranja, rekurzivne digitalne filtre, analizo pogostosti, krivuljo upadanja ali pa ga določamo v naravi z meritvami. Začetniki, ki so se ukvarjali z analizo baznega odtoka s pomočjo hidrograma pretoka so bili: Boussinesq (1904), Maillet (1905) in Horton (1933). Petteyjohn in Henning (1979) sta oblikovala tri osnovne avtomatizirane metode filtriranja, katerih prednost je, da so standardizirane in sistematične. Te metode so: metoda določenega intervala, metoda drsnega intervala in metoda lokalnega minimuma. Murphy s sodelavci (Murphy et al., 2009) poleg teh treh metod filtriranja omenja še metodo zglajenega minimuma. Chapman s sodelavci (Chapman, 1991; Chapman in Maxwell, 1996) opisuje pristop z upoštevanjem konstante upadanja. Filter temelji na predpostavki, da je bazni odtok povprečje površinskega odtoka in baznega odtoka prejšnjega časovnega intervala, ima en parameter. Boughton (1993) je s spremembo algoritma dodatne vrednosti izoblikoval dvo-parametrski algoritem, Jakeman in Hornberger (1993) pa sta razvila metodo IHACRES, ki vključuje tri parametre. Lyne in Hollick-ov (1978) digitalni filter temelji na predpostavki, da je filtriranje baznega in površinskega odtoka podobno analizi različno visokih signalov, s čimer se Chapman (1991) ni strinjal in je razvil novo obliko algoritma. Ker večina filtrov ni imela fizikalne podlage, sta Furey in Gupta (2001) predlagala fizikalno podprt filter, ki temelji na podlagi enačbe masne bilance. Eckhardt (2005) je razvil rekurzivni digitalni filter, pri katerem se uporabljata maksimalna vrednost indeksa baznega odtoka in parameter filtra. Gonzales s sodelavci (Gonzales et al., 2009) pa za določanje baznega odtoka v naravi uporablja enačbo masne bilance ob predpostavki, da je kemijska sestava vode posameznega vira konstantna in se očitno razlikuje od drugih virov. S pomočjo različnih metod izločanja baznega odtoka dobimo podatke o deležu baznega odtoka, ki jih lahko nato uporabimo naprej v nadaljnjih analizah.

Pugelj (2012) je za izločanje baznega odtoka in analizo visokovodnih valov Save v Šentjakobu uporabljala grafične metode. Metode, ki jih je uporabljala so: dvo-točkovna metoda, tro-točkovna metoda in tro-točkovna konkavna metoda. Pri teh metodah je potrebno poznati pogoje nastanka same metode in preveriti ali je uporaba metode primerna za lokacijo, ki se analizira. Za daljše časovno obdobje (1961–2010) je določila parametre visokovodnih valov (konica površinskega odtoka, volumen površinskega odtoka in trajanje) in iz dobljenega niza podatkov raziskala razmerja med konico, volumnom in trajanjem visokovodnega vala. Rezultati so pokazali na močno pozitivno linearno povezanost med konicami in volumni visokovodnih valov, srednje močno pozitivno linearno odvisnost med volumnom površinskega odtoka in trajanjem visokovodnega vala in pozitivno zelo slabo linearno povezanost med konico in trajanjem visokovodnega vala.

Šraj in Bezak sta analizirala konice, prostornine in trajanje visokovodnih valov ter njihovo povezanost za 58 visokovodnih valov Save v Litiji. Pri tem sta za izločanje baznega odtoka uporabljala grafično, tro-točkovno metodo. Pri analizah je bilo ugotovljeno, da je korelacija med volumnom in časom trajanja večja kot korelacije med konico in prostornino visokovodnega vala. Pričakovano med konico in časom trajanja ni bilo velike medsebojne povezanosti.

Kohnová je s sodelavci (Kohnova et al., 2013) predstavila analizo odvisnosti med konico in volumnom visokovodnih valov za območje Avstrije. Za izločanje baznega odtoka so uporabljali Chapman in Maxwell-ov (1996) digitalni filter. Klasifikacija visokovodnih valov je temeljila na izvorni klasifikaciji poplavnih tipov po metodologiji Merza in Blöschla (2006). Analizirali so sinoptične in kratkotrajne poplave ter poplave povzročene zaradi taljenja snega. Rezultati Spearmanovega koeficienta korelacije med konico in volumnom so dosegali največje vrednosti na območjih nižjih predelov (sever in vzhod) in najmanjše koeficiente korelacije na območju Alp. Z večanjem nadmorske višine in deleža snega je Spearmanov koeficient korelacije padal. Ko je prevladoval le en tip poplav, je bila korelacija največja, zmanjševala se je z dodajanjem različnega tipa poplav med podatke. Rezultati so pokazali, da so poplave, ki se pojavljajo v Avstriji samo sinoptične ali pa so mešanica sinoptičnih poplav in taljenja snega.

## **1.2 Cilji diplomske naloge**

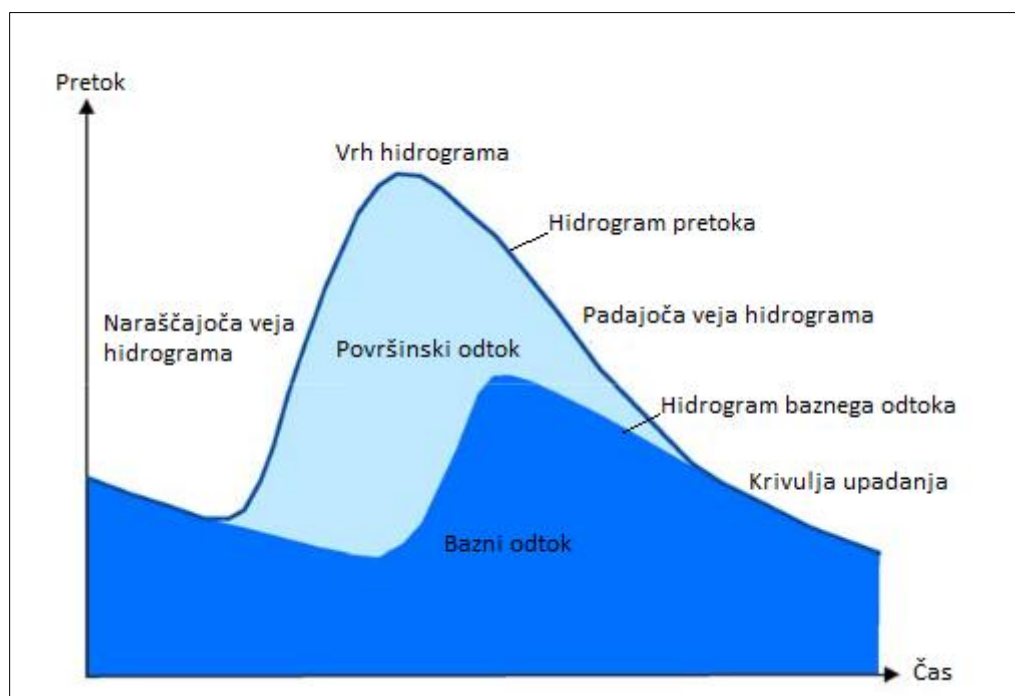
Glavni cilji diplomske naloge so: (1) predstaviti metode izločanja baznega odtoka, (2) s pomočjo uporabe programa R in različnih metod izločanja baznega odtoka, ki so vgrajene v program R, izločiti bazni odtok za postajo Radovljica I na Savi za leto 2004 in primerjati posamezne deleže baznega odtoka, (3) z izbrano metodo izločanja baznega odtoka analizirati posamezne visokovodne valove vodomernih postaj v Sloveniji, (4) ugotoviti povezavo med posameznimi spremenljivkami obravnavanih visokovodnih valov in (5) ugotovitve primerjati z ugotovitvami podobnih študij doma in v svetu.

## 2 HIDROGRAM IN BAZNI ODTOK

### 2.1 Analiza hidrograma

Hidrogram prikazuje časovno spremembo pretoka vodotoka in predstavlja skupek različnih vodnih virov, ki prispevajo vodo v vodotok (Brodie in Hostetler, 2005). Glavni dve komponenti, ki sestavljata hidrogram pretoka, sta (Annan, 2006):

- i. *POVRŠINSKI ODTOK* – voda s kratkim časovnim odzivom do vodotoka, posledica padavinskega odtoka po zemeljskem površju, neposrednih padavin v rečno strugo in podpovršinskega medtoka (Murphy et al., 2009);
- ii. *BAZNI ODTOK* – voda, ki doteka z daljšim časovnim odzivom in je posledica izcejanja podzemnih voda (Murphy et al., 2009).



Slika 1: Komponente hidrograma pretoka (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005)

Hidrogram pretoka prikazuje klasični odziv na padavinski dogodek in spreminjanje prispevkov površinskega in baznega odtoka ob pojavu visokih voda (Brodie in Hostetler, 2005).

Pred padavinskim dogodkom so nizki pretoki v celoti sestavljeni iz baznega odtoka. Ob začetku padavin se pretoki povečajo. V tem obdobju prevladuje površinski odtok in povzroči naraščanje



skupnega hidrograma pretoka proti vrhu. Hitro naraščanje rečne gladine, glede na raven podtalnice, poveča obrežno zalogo vode. Zakasnjeno vračanje obrežne vode v reko povzroči zmanjšanje baznega odtoka, ki se nadaljuje še po višku celotnega pretoka. Vrh baznega odtoka se pojavi po vrhu skupnega hidrograma zaradi zbiralnega in usmerjevalnega učinka podpovršinskih zbiralnikov. Krivulja upadanja baznega odtoka sledi eksponentni funkciji upadanja. Hidrogram baznega odtoka in površinskega odtoka je ponovno skupni hidrogram, ko površinski odtok preneha (Brodie in Hostetler, 2005).

## 2.2 Bazni odtok

Skupni pretok v vodotoku je posledica ponavljajočih se dogodkov (tj. taljenje snega, padavine) in odvajanja vode iz virov, kot so podzemne vode, jezera in mokrišča (Potter in Gaffield, 2001). Pretoki, ki izvirajo iz poznejših, ne-ponavljajočih se dogodkov, se imenujejo bazni odtok (Metcalf et al., 2005).

Definicija baznega odtoka je sledeča: "*bazni odtok sin. sušni odtok je del pretoka vode, ki doteka v strugo v daljših obdobjih brez padavin ali brez taljenja snežne odeje, torej predvsem posledica izcejanja podzemnih voda ali tudi iztoka iz jezer ali taljenja ledenikov*" (Mikoš et al., 2002).

Najpogosteje je bazni odtok sestavljen iz obstojnih podzemnih virov in se polni z vodo preko brežin in dna vodne struge. Poleg tega se lahko dopolnjuje s skladiščeno vodo, ki je priključena na omrežje za izsuševanje zemljišč in izvira iz podtalnice ali površinskega odtoka (Metcalf et al., 2005).

Gibanje podzemne vode se pojavlja kot odgovor na prostorske variacije gravitacijskih in kapilarnih sil. Pretok podzemne vode določajo lastnosti medija (velikost zrn, poroznost, prepustnost) in lastnosti tekočine (viskoznost in gostota). Podzemni materiali torej vplivajo na mehanizme toka (Brown in Bradley, 1995).

Bellamy et al. (2003) razlikuje med različnimi viri baznega odtoka glede na lokalno geologijo, rabo zemljišč in zemljiško prakso na določenem območju in jih razdeli glede na odzivni čas (Metcalf et al., 2005):

- Hitro reagiranje baznega odtoka, kot posledica vkopanih cevi za izsuševanje ali namakanje kmetijskih zemljišč, ki so povezane z majhnimi depresijami, mokrišči ali ribniki, ki odtečejo v nekaj dneh do nekaj tednih;
- Srednje hitro reagiranje virov baznega odtoka je lahko obsežno in sestavljeno iz odtoka iz plitvih razbremenilnih vodonosnikov ali velikih mokrišč, odtečejo v nekaj tednih do nekaj mesecih;

- Počasno reagiranje baznega odtoka lahko vključuje vmesne vodonosnike, ki imajo veliko možnost skladiščenja, odtok traja nekaj mesecev do enega leta;
- Trajni viri baznega odtoka, ki lahko vključujejo velike regionalne vodonosnike, ki zagotavljajo relativno stalen pretok do sistema vodotoka in se odvedejo v obdobju od enega leta do desetletja.

Največji možni bazni odtok se pojavi ob popolnoma nasičenem prispevnem območju in minimalni gladini podzemne vode (Freeze, 1971; Cherry, 1979).

Bazni odtok je odvisen od številnih dejavnikov. Najbolj je odvisen od velikosti prispevnega območja (Hayes, 1991), vendar pa imajo tudi topografija (naklon), geologija (tip tal, globina tal) in podnebje močan vpliv na bazni odtok in že manjše razlike v lastnostih prispevnega območja lahko povzročijo znatne razlike nizkih pretokov (Metcalf et al., 2005).

Razumevanje prispevka podzemne vode k vodotoku je zelo pomembno pri načrtovanju upravljanja z vodnimi viri. Obstajajo uveljavljeni postopki in metode za določanje deleža baznega odtoka oz. obsega in dinamike podzemne vode. Cilj metod je ločiti bazni odtok od površinskega odtoka (Welderufael and Woyessa, 2010), kar bo predstavljeno v nadaljevanju naloge.

### 3 METODE IZLOČANJA BAZNEGA ODTOKA

Ločevanje baznega odtoka od preostalega odtoka lahko poteka po različnih metodah. V grobem jih lahko razdelimo na dva pristopa (Kovačič, 2012):

- pristop analiziranja hidrograma pretoka ali podatkov o pretoku in
- pristop z dejanskim merjenjem baznega odtoka (s kemičnim sledenjem, z električno prevodnostjo, meritvami višine podtalnice ipd.).

Analize s pomočjo hidrograma pretoka lahko vključujejo tradicionalne grafične postopke ali novejši avtomatizirane. Pri tem je pomembno, da so uporabljene metode primerne za primerjalno analizo, s katero ugotavljamo relativne prispevke baznega odtoka. Za izdelavo hidrograma baznega odtoka je potrebno poznavanje vodonosnika in značilnosti pretokov obravnavanega območja, ne glede na to, katero metodo ločevanja uporabimo (Murphy et al., 2009).

Grafične metode v splošnem iščejo točke vzdolž posameznega hidrograma, kjer bazni odtok seka naraščajoče in padajoče dele površinskega dela odtoka (Annan, 2006).

Pri metodah filtriranja pa se za določitev hidrograma baznega odtoka uporabijo vsi merjeni podatki o pretokih, ki se obdelajo z uporabo digitalnih filtrov. Zgodnja uporaba filtrov (O'Loughlin et al., 1982; Chapman 1987) je temeljila na uporabi različno visokih signalov (Lyne in Hollick, 1979) in je pokazala podobne rezultate kot konvencionalne grafične metode (Nathan & McMahon, 1990). Metode filtriranja so podrobneje predstavljene v poglavju 4.

Analize pogostosti vključujejo statistični pristop in ocenjevanje razmerja med velikostjo in pogostostjo pretokov. Krivulja trajanja pretokov (FDC) prikazuje odstotek časa, ko je dosežen ali presežen določen pretok (Brodie in Hostetler, 2005). Za določanje baznega odtoka so bile razvite splošne oblike FDC krivulje za različne indekse nizkih pretokov (Smakhtin, 2001). Omenjena dela povezujejo te indekse s procesi podzemne vode (Brodie in Hostetler, 2005) in v ta namen nekatere študije povezujejo analize pogostosti nizkih pretokov z analizo krivulje upadanja pretoka (Loganathan et al., 1986; Gottschalk et al., 1997).

Analiza krivulje upadanja pretoka se osredotoča na krivulje upadanja in vključuje izbiro padajočih segmentov iz hidografskega zapisa, s katerimi lahko individualno ali skupinsko analiziramo procese, ki vplivajo na bazni odtok (Brodie in Hostetler, 2005). Analiza hidrograma upadanja se pogosto uporablja za hidrološke raziskave in za načrtovanje ter upravljanje z vodnimi viri (Tallaksen, 1995; Smakhtin, 2001).

Bazni odtok pa lahko določamo tudi z meritvami v naravi. Meritve temeljijo predvsem na metodologijah določanja izvora baznega odtoka. Merimo koncentracijo posameznih kemijskih spojin ali elementov, ki so raztopljeni v vodi na primer: kalcij (Ca), magnezij (Mg), raztopljen silicij ( $\text{SiO}_2$ ), stroncij (Sr), kisik ( $\text{O}_2$ ) (Kovačič, 2012). Za določanje baznega odtoka lahko uporabljamo tudi kemijska sledila, s katerimi lahko glede na kakovost in količino vode ugotovimo, kakšen je vpliv interakcije podzemne in površinske vode (Dixon-Jain et al., 2005). Analiza in razlaga kemije vode lahko zagotovita dragocen vpogled v interakcijo podzemne in površinske vode. Raztopljene komponente se uporabljajo kot okoljski markerji, s katerimi spremljamo gibanje vode (Brodie et al., 2005). Merimo lahko tudi električno prevodnost vode, kar omogoča neprekinjen način vzorčenja pretoka vode (Occhi, 2009).

### 3.1 Grafične metode

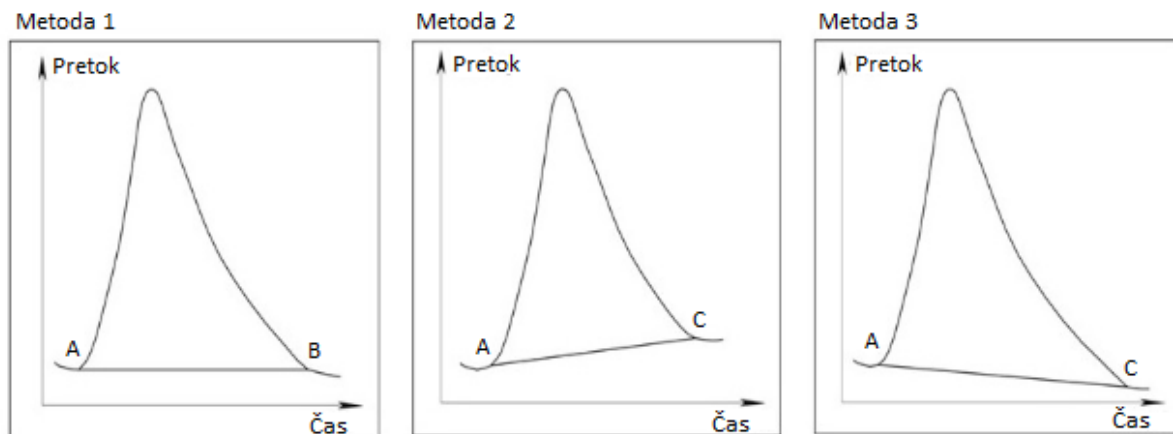
Za določanje baznega odtoka s pomočjo grafičnih metod uporabljamo hidrogram skupnega odtoka. Z različnimi grafičnimi tehnikami ločevanja ločimo bazni in površinski odtok (Pugelj, 2012). Začetek površinskega odtoka je lažje določljiv, medtem ko je konec površinskega odtoka težje določljiv. Grafično izločanje baznega odtoka lahko izvedemo na več načinov: premočrtno, z lomljeno linijo ali z linijsko krivuljo (Pandi, 2010).

#### 3.1.1 Izločanje baznega odtoka z ravno linijo

- 1) Bazni odtok je konstanten (Slika 2, Metoda 1). Začetek površinskega odtoka (točka A) povežemo z ravno črto s presečiščem hidrograma (točka B) (Brodie in Hostetler, 2005).
- 2) Bazni odtok ima konstanten naklon (Slika 2, Metoda 2 in 3). Začetek površinskega odtoka (točka A) povežemo z ravno črto s koncem površinskega odtoka (točka C). Točko C izračunamo (enačba 3.1) (Brodie in Hostetler, 2005):

$$N = 0,862 A^{0,2}, \quad (3.1)$$

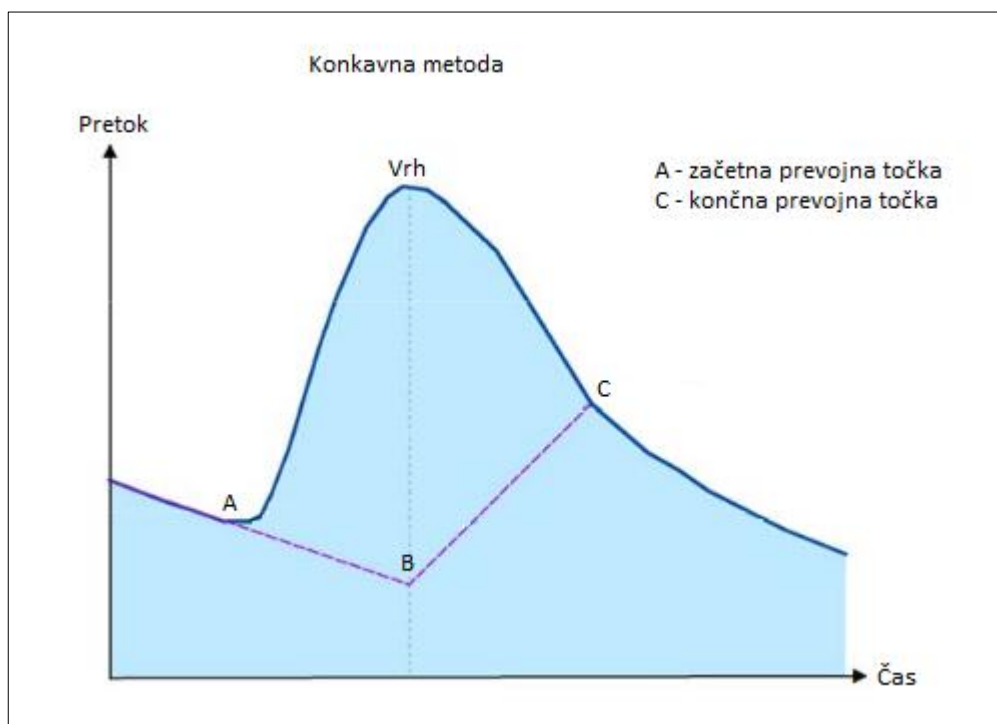
kjer je  $N$  čas v dnevih od vrha hidrograma do konca površinskega odtoka,  $A$  pa je prispevna povišina v  $\text{km}^2$ . Vrednost eksponentne funkcije (0,2) je odvisna od značilnosti prispevnega območja (naklon, vegetacija in geologija) (Brodie in Hostetler, 2005).



Slika 2: Izločanje baznega odtoka z ravno črto (Povzeto po Pandi, 2010)

### 3.1.2 Izločanje baznega odtoka z lomljeno linijo

- 1) Bazni odtok ima konkavno obliko. Točki A in B povežemo z enakim naklonom, kot ga je imel hidrogram pred pojavom površinskega odtoka. Točko B, ki leži navpično pod vrhom hidrograma, povežemo s prevojno točko C in prikažemo zakasnelo povečanje baznega odtoka (Brodie in Hostetler, 2005).

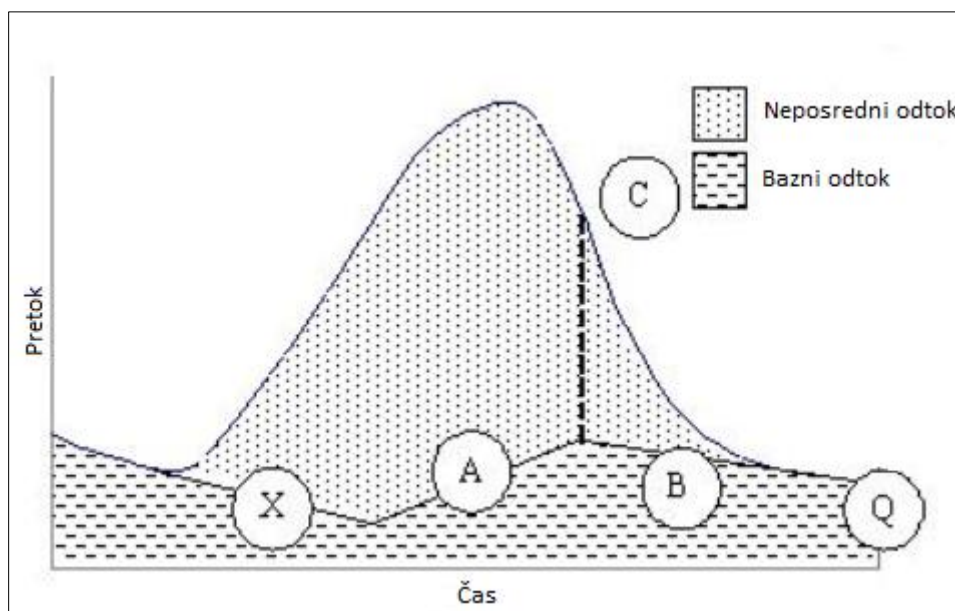


Slika 3: Konkavna metoda za izločanje baznega odtoka (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005)

- 2) Bazni odtok ima konveksno obliko. Metodo pogosto uporabimo takrat, ko je bazni odtok relativno velik in hitro doseže strugo vodotoka.

### 3.1.3 Izločanje baznega odtoka z linijsko krivuljo

- 1) Izločanje baznega odtoka s pomočjo sestavljene krivulje upadanja. Pri tem A-X sledi trendu začetnega baznega odtoka krivulje upadanja pred začetkom neposrednega odtoka hidrograma. Odsek B-Q sledi trendu kasnejše faze baznega odtoka krivulje upadanja. Točka B pa leži na hidrogramu pod točko C, ki je prevojna točka (NPTEL, 2011).



Slika 4: Izločanje baznega odtoka s krivuljo (Povzeto po NPTEL, 2011)

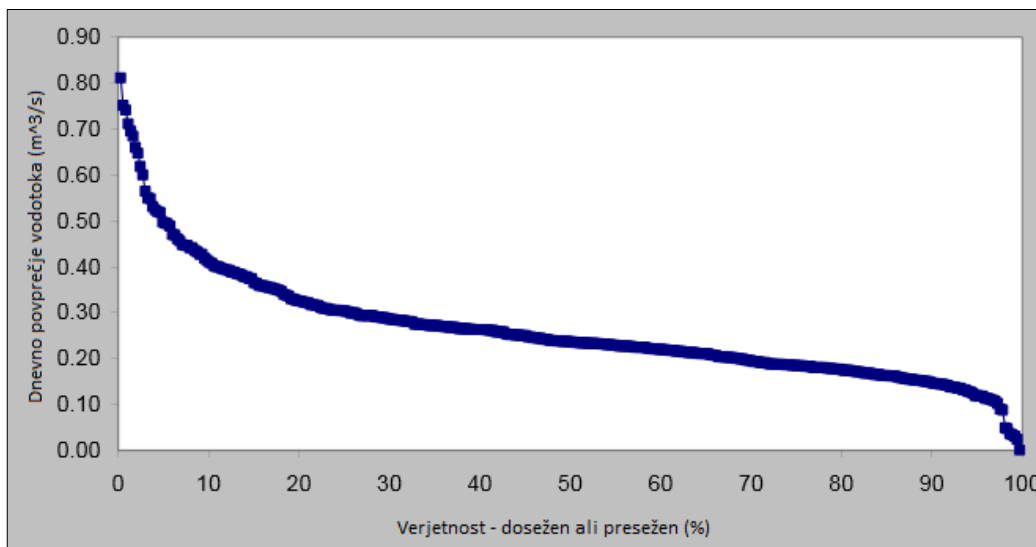
### 3.2 Izločanje baznega odtoka z analizami pogostosti

Pri analizi pogostosti uporabljamo krivuljo trajanja pretokov (FDC). Krivulja prikazuje odstotek časa, ko je presežen ali dosežen določen pretok (Lyne and Hollick 1979; Smakhtin 2000). Sestavljena je iz podatkov o pretoku, v določenem časovnem obdobju (dnevno, mesečno in letno), z uporabo naslednjega razmerja (Walderufael in Woyessa, 2010):

$$P = 100\left(\frac{m}{n+1}\right), \quad (3.2)$$

kjer je:

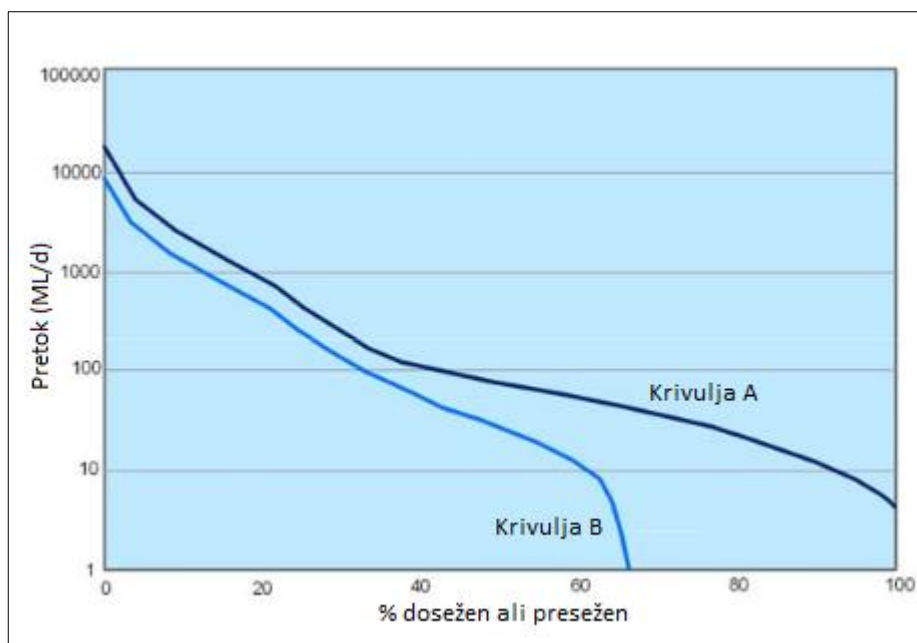
- $P$  verjetnost, da bo dani pretok dosežen ali presežen,
- $m$  število, ki ga dodelimo vsakemu pretoku, ko so dnevni ali mesečni pretoki razporejeni v padajočem vrstnem redu (največji pretok dobi vrednost  $m = 1$ ),
- $n$  skupno število opazovanj (365 ali 366 pri dnevni podatkih v enem letu).



Slika 5: Krivulja trajanja srednjih dnevni vrednosti (Povzeto po Walderufael in Woyessa, 2010)

Količina baznega odtoka, ki jo pridobimo iz krivulje trajanja pretoka, temelji na statističnih analizah in statistikah kot je npr. mediana (Brodie in Hostetler, 2005). Vrednost  $P = 50\%$  ( $Q_{50}$ ) se vzame kot srednja vrednost vodotokov (Walderufael in Woyessa, 2010). Del krivulje s pretoki manjšimi kot  $Q_{50}$ , smatramo kot nizke pretoke (Brodie in Hostetler, 2005).

Iz naklona krivulje nizkih pretokov lahko razberemo, katera vrsta toka je prevladujoča (Walderufael in Woyessa, 2010). V primeru, da ima krivulja nizkih pretokov majhen naklon, lahko sklepamo, da je delež baznega odtoka velik (slika 6, krivulja A), v nasprotnem primeru pa strm naklon pomeni, da je delež baznega odtoka manjši (slika 6, krivulja B) (Smakhtin, 2001; Kovačič, 2012).



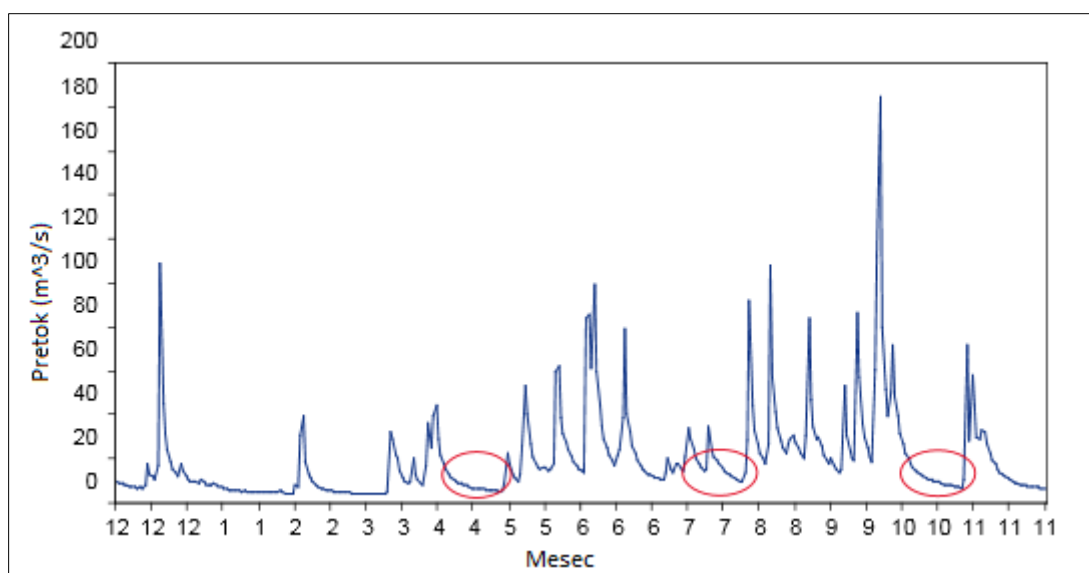
Slika 6: Primerjava krivulj pretok - verjetnost (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005)

Drugi kazalnik pa je razmerje med  $Q_{90}$  in  $Q_{50}$ , ki prikazuje delež prispevka vodotoku iz podtalnice ali odstotek komponente baznega odtoka (Lyne in Hollick, 1979).

### 3.3 Izločanje baznega odtoka s krivuljo upadanja

Postopno izločanje vode, shranjene v zajetjih v obdobjih z malo ali brez padavin, se odraža v obliki krivulje upadanja (upadajoči del hidrograma pretoka) (slika 7). Krivulja upadanja prikazuje celosten način, kako različna porečja shranjujejo in nadzirajo odtok (Gustard in Demuth, 2009). Glavna dejavnika, ki urejata stopnjo upadanja, sta geologija porečja (npr. prepustnost) in oddaljenost rečnih strug od mejnih območij (Smakhtin, 2001). Reke z majhno stopnjo upadanja so po navadi podzemne vode ali jezera, ki se izlivajo na nepropustnih površinah z omejeno hitrostjo skladiščenja (Gustard in Demuth, 2009).

Krivulje upadanja so se izkazale za uporabne na mnogih področjih upravljanja z vodnimi viri, vključno z napovedovanjem nizkih pretokov in oceno spremenljivk nizkih pretokov (Gustard in Demuth, 2009).



Slika 7: Identifikacija obdobj upadanja iz neprekinjenih zapisov pretoka (obdobje enega hidrološkega leta 1969/1970 reka Ngaruroro ) (Povzeto po Gustard in Demuth, 2009)

Krivulja upadanja je modelirana z vgradnjo analitičnega izraza v funkcijo iztoka  $Q_t$ , kjer je  $Q$  stopnja pretoka in  $t$  čas. Časovni interval  $\Delta t$  je običajno dnevni. Če je  $Q_t$  modeliran kot iztok iz linearnega rezervoarja brez priliva, je stopnja upadanja izražena s preprosto eksponentno enačbo (Gustard in Demuth, 2009):

$$Q_t = Q_0 \exp(-t/C), \quad (3.3a)$$



$$\ln Q_t = \ln Q_0 - t/C, \quad (3.3b)$$

kjer je:

- $Q_t$  pretok v času  $t$ ,
- $Q_0$  pretok na začetku obdobja upadanja ( $t = 0$ ),
- $C$  konstanta upadanja.

Krivulje so na grafu prikazane kot ravne črte na pol logaritemskem grafu z naklonom  $-1/C$ , kjer gre  $t$  proti  $\ln Q_t$ . Neprilagojenost enačbe 3.3 za dolge odseke upadanja je pripeljala do ločevanje krivulje na različne komponente (Gustard in Demuth, 2009).

V vlažnem podnebnju padavine pogosto prekinejo obdobje upadanja in upadajoči odseki imajo različna trajanja. Odseki predstavljajo različne stopnje v procesu iztoka in njihove lastnosti so odvisne od posameznega modela upadanja in sprejetega računskega postopka. Sezonske spremembe še dodatno prispevajo k variabilnosti v stopnji upadanja. Strmejšje krivulje upadanja običajno najdemo v obdobjih z visokim izhlapevanjem v rastni sezoni, ki je sorazmeren z upadanjem baznega odtoka (Gustard in Demuth, 2009).

Zaradi velike spremenljivosti stopenj upadanja, je iz zapisov neprekinjenega pretoka težko najti dosleden postopek. Kot rezultat so bili razviti različni postopki za ugotavljanje značilnih obnašanj upadanja na določenem povodju. Te lahko razvrstimo v dve glavni skupini: tiste, ki temeljijo na izdelavi glavne krivulje upadanja (MRC) in tiste, ki imajo ločen izračun parametrov posameznih delov upadanja (IRS) (Gustard in Demuth, 2009).

Metoda MRC poskuša pokriti variabilnost posameznih odsekov s povprečno krivuljo upadanja. Pri tem obstajajo različne metode za izračun krivulje MRC, kot so metoda korelacije in metoda ujemačih se trakov. Številni avtorji so opozorili na pomanjkanje objektivnosti teh postopkov in na dejstvo, da ti postopki ne podajo zadovoljive natančnosti krivulje upadanja (Rianna, 2010).

Metoda IRS obravnava obratni vrstni red in je sestavljena iz izračuna krivulj upadanja za vsak posamezni odsek upadanja. Ta metoda jasno upošteva variabilnost krivulje upadanja (Rianna, 2010). Vzorčne statistike parametrov modela pomenijo, da se varianca konstante upadanja lahko določi kasneje, za splošno opredelitev obnašanja pretoka povodja. Če se uporablja ločen model za vsak posamezen odsek upadanja, se uporablja metoda najmanjših kvadratov in povprečni naklon je aritmetična sredina posameznih naklonov, sicer se povprečje izračuna. Korelacijski faktorji temeljijo na dolžini odsekov (Tallaksen, 1989).

### 3.4 Določanje baznega odtoka v naravi

#### 3.4.1 S pomočjo sledenja kemijskih elementov ali spojin

Sledenje kemijskim elementom ali spojinam se lahko uporabljajo za določanje izvora vode in za izračun hidroloških in kemijskih tokov med podtalnico in površinsko vodo. Uporabljajo se lahko za izračun starosti vode in določanje stopenj kemijskih reakcij med transportom (Winter et al., 1998).

S pomočjo sledenja posameznim kemijskim elementom oz. njihovim ionom ali določenim naravnim, v vodi raztopljenim snovem, lahko določamo, kolikšen delež v celotnem odtoku predstavljajo posamezne komponente oz. viri odtoka (površinski odtok, bazni odtok, padavine,...) Za to moramo poznati kemijsko sestavo vode posameznega vira (Gonzales et al., 2009). S pomočjo sledenja kemijskim elementom in izotopom lahko proces oblikovanja odtoka lažje razumemo.

Kemijski elementi so lahko že sestavni del vode ali pa se jih uvede posebej za študijo podzemne in površinske vode, kar imenujemo umetna sledila. Najbolj pogosta sledila so: električna prevodnost in pH, temperatura, raztopljen kisik, večji ioni kot so kalcij, magnezij in natrij, stabilni izotopi, radioaktivni izotopi in industrijske kemikalije (Brodie et al., 2005).

Uporaba naravnih sledil je pokazala, da je zadrževanje vode na majhnih površinah zelo dolgo (Kirchner et al., 2000; McGuire in McDonnell, 2006). Vendar pa ni popolnoma razumljivo, kje in kako je shranjena voda tako dolgo, medtem ko je lahko hidrodinamična reakcija deževnih dogodkov zelo hitra (»hidrološki paradox«) (Kirchner, 2003).

Ta vrsta ločevanja temelji na konceptu masne bilance, ki predvideva, da je kemična sestava, ki izvira iz različnih virov konstantna in edinstvena in da mešanje ohranja količino in kakovost vode, vključno z mešanjem različnih komponent (Weiler et al., 1999; Uhlenbrook in Hoeg, 2003).

Pri tem je lahko sorazmerno veliko negotovosti v kvantifikaciji komponent odtoka zaradi številnih dejavnikov (Joerin et al., 2002). Nekatere od teh negotovosti so plod analize sledenja in meritve pretokov, razlik med nevihtno izotopsko koncentracijo, vpliva nadmorske višine na izotopsko sestavo dežja, kemičnih reakcij med tvorbo odtoka in mešanjem komponent ter prostorske heterogenosti sledilnih koncentracij (Uhlenbrook in Hoeg, 2003).

Ob predpostavki, da je kemijska sestava vode posameznega vira konstantna in se očitno razlikuje od drugih virov, lahko s pomočjo masne bilance izpeljemo enačbo (Gonzales et al., 2009):

$$c_{i,1}q_1 + c_{i,2}q_2 + \dots + c_{i,j}q_j + \dots + c_{i,n}q_n = c_{i,T}q_T, \quad (3.4)$$

$$q_1 + q_2 + \dots + q_j + \dots + q_n = q_T, \quad (3.5)$$

kjer je:

- $c_{i,j}$  koncentracija  $i$ -te raztopine v  $j$ -ti komponenti celotnega odtoka (ppm),
- $c_{i,T}$  koncentracija  $i$ -te raztopine (ppm) v celotnem pretoku  $q_T$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),
- $q_j$  pretok posamezne komponente celotnega odtoka ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

### 3.4.2 Z merjenjem gladin v piezometrih in vodnjakih

Piezometri in vodnjaki se uporabljajo za merjenje gladine v nasičenem območju (Davie, 2008). Piezometer je opazovalna vrtina, ki je namenjena merjenju nivoja podzemne vode. Pri izdelavi piezometra je potrebno upoštevati številne faktorje, kot so: namen izdelave piezometra, hidrogeološki pogoji, premer cevitve vrtine, globina, premer vrtanja vrtine in način ter tehnika vrtanja (Vižintin, 2008). Metoda za določanje baznega odtoka s pomočjo merjenja gladin podtalnice je uporabna ob predpostavki, da voda, ki pride v podtalnico, odteče v strugo kot bazni odtok. Tako lahko z merjenjem višine podtalnice izračunamo količino pretoka podtalnice v vodotok (Kovačič, 2012).

## 4 IZLOČANJE BAZNEGA ODTOKA S POMOČJO AVTOMATIZIRANIH POSTOPKOV

Za ločevanje baznega odtoka s pomočjo avtomatiziranih postopkov se največkrat uporabljajo digitalni filtri. Ti filtri imajo za podlago analizo in obravnavo podatkov ter vključujejo osnovna matematična pravila. Pri tem se v večini ne upoštevajo fizikalni procesi, ki se pojavijo med procesi odtoka. Cilj avtomatiziranih pristopov je, da se vzpostavi enostaven in ponovljiv model za določanje baznega odtoka (Murphy et al., 2009).

### 4.1 Osnovne metode avtomatiziranega filtriranja

Pettyjohn in Henning (1979) sta oblikovala tri osnovne metode za ločevanje baznega odtoka s ciljem, da bi pridobila evidence podatkov o pretoku podzemne vode. Te metode so: metoda določenega intervala, metoda drsnega intervala in metoda lokalnega minimuma (Gonzales et al., 2009). Poleg treh naštetih metod se uporablja še metoda zglajenega minimuma. Vse omenjene metode izoblikujejo interval iz minimalnih vrednosti hidrograma in ga povežejo po različnih kriterijih. Prednost teh metod je v tem, da so standardizirane in sistematične, zato jih je enostavno prevesti v računalniški program. S tem se skrajša potreben čas za izračun, poleg tega pa se izognemo neskladnosti ločevanja baznega odtoka (Sloto in Crouse, 1996).

Rezultat filtriranja je potek hidrograma baznega odtoka med začetno in končno točko. Dolžina intervala ( $2N^*$ ) se določi kot celo število med 3 in 11, ki je najbližje produktu  $2N$  ( $N$  v dnevih), kjer je  $N$  predviden čas od vrha hidrograma do konca površinskega odtoka po enačbi 4.2 (Linsley et al., 1975). Čas praznjenja lahko opišemo tudi z drugim časovnim korakom, kot je dan, zato je interval  $2N^*$  definiran kot (Gonzales et al., 2009):

$$2N^* = 2 \left[ \frac{N}{\Delta t} \right] + 1, \quad (4.1)$$

$$N = 0,862 A^{0,2}, \quad (4.2)$$

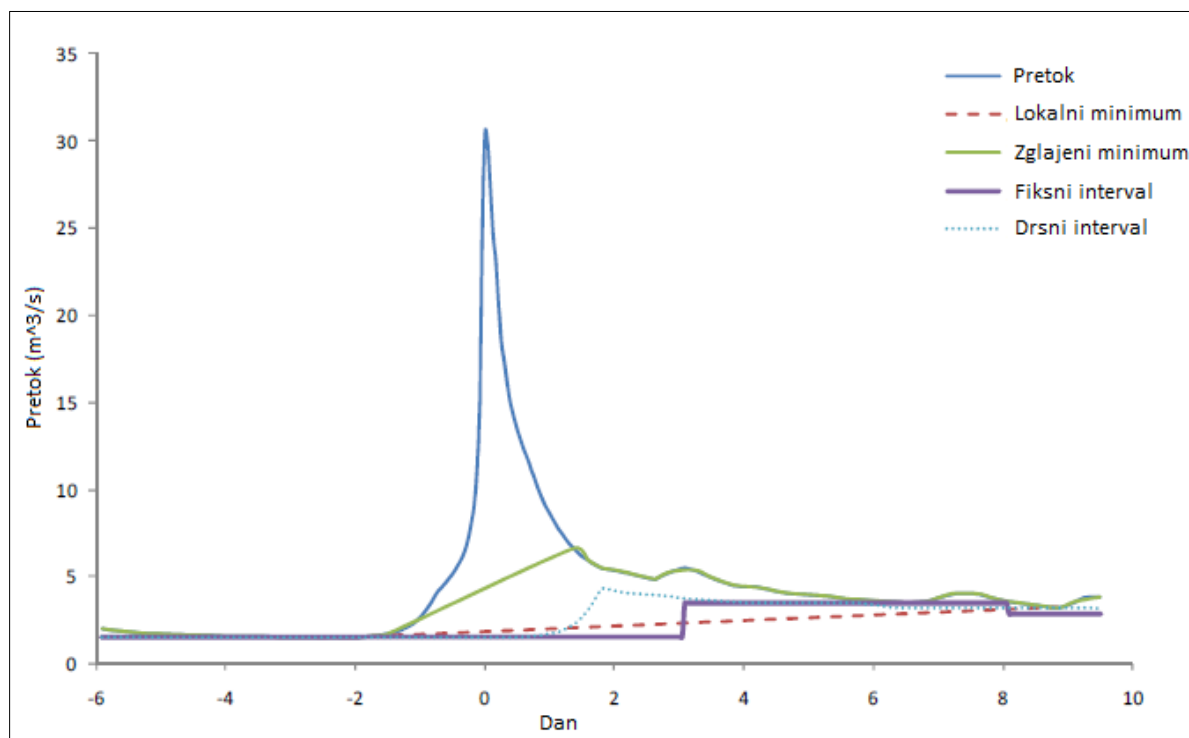
kjer je:

- $2N^*$  velikost časovnega koraka v številu časovnih korakov,
- $N$  čas od vrha hidrograma do točke, ko se površinski odtok konča [dnevi],
- $A$  površina povodja [ $\text{km}^2$ ],
- $\Delta t$  časovni korak odtoka [dnevi/časovni korak].

Pri teh preprostih metodah filtriranja se za določanje baznega odtoka uporabljajo značilnosti o podatkih pretoka, ki vključujejo (Murphy et al., 2009):

- *Lokalne minimume* v obdobju pretokov (obdobje je enako dvojnemu trajanju površinskega odtoka, izračunanega na podlagi empiričnega odnosa, podanega z enačbo  $N = 0,862 A^{0,2}$ ), ki so med seboj povezani z ravnimi linijami in predstavljajo hidrogram baznega odtoka. Metodo imenujemo metoda lokalnega minimuma.
- *Najmanjše pretoke*, ki se med seboj ne prekrivajo v obdobju trajanja 5-ih dni. Prelomnice, ki določajo bazni odtok, so med seboj povezane z ravnimi linijami. Metodo imenujemo metoda zglajenega minimuma.
- *Minimalne pretoke* v diskretnih časovnih intervalih (podvoji se trajanje površinskega odtoka), ki so dodeljeni vsem časovnim intervalom med ocenjevanjem baznega odtoka. Metodo imenujemo metoda fiksnega intervala.
- *Rekordno minimalne pretoke* v določenem obdobju (enako podvojenemu trajanju površinskega odtoka), ki so dodeljeni srednji časovni vrednosti in se ponovijo v vsakem časovnem koraku ocene baznega odtoka. To metodo imenujemo metoda drsečega intervala (Murphy et al., 2009).

Ti pristopi ustvarjajo časovno vrsto, ki vključuje postopne spremembe baznega odtoka v daljšem časovnem obdobju. Drugi algoritmi, ki so na voljo, ustvarjajo gladki odziv baznega odtoka in predstavljajo pristope, ki so pomembni za upoštevanje podatkov pretoka daljših obdobj (Murphy et al., 2009).



Slika 8: Primer preprostih avtomatiziranih tehnik ločevanja baznega odtoka za primer reke Mali Yarra, Victoria, september 1984 (Povzeto po Murphy et al. , 2009)

## 4.2 Digitalni rekurzivni filtri

Bazni odtok lahko določimo s pomočjo modelov, ki vključujejo podatke o padavinah in pretokih, takšen model je npr. IHACRES. Poleg tega pa lahko uporabljamo tudi filtre, ki zahtevajo manj parametrov kot modeli, ki vključujejo podatke o padavinah in pretoku. Ti filtri niso odvisni od enačb, s pomočjo katerih se pretvarjajo padavine v efektivne padavine, poleg tega pa imajo kot rezultat manj negotovosti pri določanju količine baznega odtoka. Najenostavnejši matematični modeli ne poskušajo predstaviti procesov, ki potekajo, torej nimajo nobene fizikalne podlage. Takšna filtra sta npr. Lyne-Hollick-ov in BFI (Croke, 2010).

Obstajajo pa tudi bolj izpopolnjeni filtri izločanja baznega odtoka. Izmed teh sta najenostavnejši filter predlagala Chapman in Maxwell (1996), ki ima en parameter. Drugi filtri so še Boughtonov dvo-parametrski (Boughton, 1993) in IHACRES tri-parametrski filter. Furey in Gupta (2001) sta predlagala nov filter, ki temelji na njunem modelu izcedka podtalnice (Croke, 2010). Te štiri filtre lahko zapišemo v naslednji obliki (Croke, 2010):

$$q_k = \alpha_q q_{k-1} + (1 + \alpha_q) (1 - \gamma) u_{k-\delta,q}, \quad (4.3)$$

$$s_k = -\alpha_s s_{k-1} + (1 + \alpha_s) \gamma u_{k-\delta,s}, \quad (4.4)$$

kjer je:

- $q$       komponente površinskega odtoka,
- $s$       komponente baznega odtoka,
- $u$       efektivne padavine,
- $\alpha$      konstanta upadanja (pripis  $q$  in  $s$  označuje komponente površinskega in baznega odtoka),
- $\delta$       zapozneli vpliv padavin na vodotok,
- $\gamma$       frakcija efektivnih padavin, ki prispevajo k baznemu odtoku.

Preglednica 1: Predpostavke, ki so vgrajene v filtre (Povzeto po Croke, 2010)

	$\alpha_q$	$\gamma$	$\delta_s$
<b>Chapman - Maxwell</b>	0	0,5	$\delta_q$
<b>Boughton</b>	0	konstanta	$\delta_q$
<b>Furey - Gupta</b>	0	konstanta	$\delta_{q+1}$
<b>IHACRES</b>	med -1 in 0	konstanta	$\delta_q$

Tehnike rekurzivnih digitalnih filtrov, kot sta jih opisala Nathan in McMahon (1990), so v originalu uporabljene v procesih signalne analize (Lyne in Hollick, 1979). Tako kot običajni digitalni filtri tudi ti nimajo hidrološke podlage. Izhajajo iz predpostavke, da visoke frekvence predstavljajo površinski odtok, nizke frekvence pa bazni odtok (Croke, 2010). Predpostavka za ta algoritem je, da je bazni odtok iz podtalnice linearno proporcionalen zalogi podtalnice. Eno-parameterski filter uporablja enačbe (Kovačič, 2012) :

$$y_k = f_k + b_k, \tag{4.5}$$

$$f_k = a f_{k-1} + (1 - a)/2 (y_k - y_{k-1}) \tag{4.6}$$

in

$$b_k = a b_{k-1} + (1 - a)/2 (y_k - y_{k-1}), \tag{4.7}$$

kjer je:

- $y_k$       celotni pretok,
- $f_k$       površinski odtok,
- $b_k$       bazni odtok,

$a$  parameter filtra.

Ker enačba 4.7 slabo opisuje pretok  $y_k$ , ko se površinski odtok  $f_k$  približuje 0, je Chapman razvil algoritem (Eckhardt, 2004):

$$b_k = [(3a-1)/(3-a)] b_{k-1} + [(1-a)/(3-a)] (y_k + y_{k-1}), \quad (4.8)$$

oz.

$$b_k = a b_{k-1} + (1-a)/2(f_k + f_{k-1}), \quad (4.9)$$

kjer  $b_k$  ni več enak 0, kadar gre  $f_k$  proti 0, ampak je  $b_k = a b_{k-1}$  (Eckhardt, 2004). Če poenostavimo enačbo 4.8, dobimo (Eckhardt, 2004):

$$b_k = [a/(2-a)] b_{k-1} + [(1-a)/(2-a)] y_k \quad (4.10)$$

oz.

$$b_k = A b_{k-1} + B y_k. \quad (4.11)$$

Iz enačb 4.9 in 4.11 dobimo enačbo (Eckhardt, 2004):

$$b_k = [A b_{k-1} + B f_k]/(1-B), \quad (4.12)$$

ob predpostavki, da je  $f_k = 0$ , dobimo enačbo (Eckhardt, 2004):

$$b_k = [A/(1-B)] b_{k-1}, \quad (4.13)$$

kjer je  $[A/(1-B)] = a$ ,  $0 < a < 1$  konstanta upadanja podtalnice. Če izpeljemo indeks baznega odtoka dobimo (Eckhardt, 2004):

$$BFI_{max} = [B/(1-A)], 0 < BFI_{max} < 1 \quad (4.14)$$

Končna enačba digitalnega rekurzivnega filtra z dvema parametrama je (Eckhardt, 2004):

$$b_k = [(1 - BFI_{max}) a b_{k-1} + (1 - a) BFI_{max} y_k]/(1 - a BFI_{max}). \quad (4.15)$$



#### 4.2.1 Oblikovanje filtra baznega odtoka (Boughton, IHACRES, Furey-Gupta)

Ob predpostavki, da je pretok sestavljen iz kombinacije baznega ( $s$ ) in površinskega ( $q$ ) odtoka, lahko opazovani pretok ( $f$ ) zapišemo kot (Croke, 2010):

$$\begin{aligned} f &= q + s, \\ q &= h_q * [(1 - \gamma) u], \\ s &= h_s * r = h_s * (h_r * [\gamma u]), \end{aligned} \tag{4.16}$$

kjer je:

$h_q, h_s$ in $h_r$	funkcije za površinski in bazni odtok ter polnjenje,
$u$	efektivne padavine,
$r$	polnjenje,
$\gamma$	frakcija efektivnih padavin, ki v končni fazi postanejo bazni odtok,
*	konvolucijski operator: $(a * b)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} a(t)b(t - t)dt$ .

Ob predpostavki, da je  $\gamma$  konstanta in so  $h_q, h_s$  in  $h_r$  zastopane kot posamezne eksponentno padajoče zaloge, lahko zapišemo diskreten nabor enačb (Croke, 2010):

$$f_k = q_k + s_k, \tag{4.17}$$

$$q_k = -\alpha_q q_{k-1} + (1 + \alpha_q) (1 - \gamma) u_{k-\delta_q},$$

$$r_k = -\alpha_r r_{k-1} + (1 + \alpha_r) \gamma u_{k-\delta_r},$$

$$s_k = -\alpha_s s_{k-1} + (1 + \alpha_s) r_{k-\delta_s},$$

$$= -\alpha_s s_{k-1} - (1 + \alpha_s) \alpha_r r_{k-\delta_s-1} + (1 + \alpha_s) (1 + \alpha_r) \gamma u_{k-\delta_r-\delta_s},$$

kjer je:

$\delta_q$	zakasnitev med padavinami in odzivom površinskega odtoka,
$\delta_r$	zakasnitev med padavinami in odzivom polnjenja,
$\delta_s$	zakasnitev med polnjenjem in odzivom baznega odtoka,
$\alpha_q, \alpha_r$ in $\alpha_s$	recesijske konstante površinskega odtoka, polnjenja in baznega odtoka.

Če preuredimo enačbo 4.16 dobimo časovne korake baznega odtoka (Croke, 2010):

$$s_k = -\alpha_s s_{k-1} - (1 + \alpha_s) \alpha_r r_{k-\delta k-1} + \eta (f_{k+\rho} + \alpha_s q_{k+\rho-1}), \quad (4.18)$$

kjer:

$$\eta = \frac{(1 + \alpha_s)(1 + \alpha_r)\gamma}{(1 + \alpha_q)(1 - \gamma)}, \quad \rho = \delta_q - \delta_s - \delta, \quad (4.19)$$

s parametri filtra  $\alpha_q, \alpha_r, \alpha_s, \gamma, \delta_s$  in  $\rho$ .

Če je  $\rho < 0$  potem lahko enačbo 4.17, uporabimo za izračun baznega odtoka (časovni korak  $k$ ).

Če je  $\rho = 0$ , potem enačba 4.17 postane (Croke, 2010):

$$s_k = \frac{1}{(1 + \eta)} [-\alpha_s s_{k-1} - (1 + \alpha_s) \alpha_r r_{k-\delta s-1} + \eta (f_k + \alpha_q q_{k-1})] \quad (4.20)$$

Če v enačbi 4.17 in 4.19 vstavimo  $\alpha_q = \alpha_r = \delta_s = \rho = 0$  dobimo Boughton-ov filter. Če vstavimo  $\alpha_q = \alpha_r = 0$  in  $\rho = -1$ , dobimo filter Furey Gupta in če vstavimo  $\alpha_r = \delta_s = \rho = 0$  dobimo filter IHACRES. Ostale parametre je potrebno za vsak filter posebej določiti (Croke, 2010).

Pri uporabi digitalnih filtrov se filtrirajo časovni podatki o pretoku. Te metode nimajo hidrološkega ozadja, ampak poskušajo na objektivni, enostaven, ponovljiv in avtomatiziran način generirati indeks, s katerim ponazarjajo povezavo med baznim odtokom in prispevnim območjem (Brodie in Hostetler, 2005).

Različni avtorji podajajo svoje digitalne filtre na različne načine. Ti filtri se med seboj le malo razlikujejo. Preglednica 2 prikazuje enačbe filtrov posameznih avtorjev.

Preglednica 2: Pregled digitalnih rekurzivnih filtrov (Brodie in Hostetler, 2005; Kovačič, 2012)

Ime filtra	Enačba filtra	Vir	Opomba
<b>Eno-parametrski algoritem</b>	$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_{(i)}$	Chapman in Maxwell (1996)	$q_{b(i)} \leq q_{(i)}$ Podatke filtriramo enkrat.
<b>Boughton-ov dvo-parametrski algoritem</b>	$q_{b(i)} = \frac{k}{(1+C)} q_{b(i-1)} + \frac{C}{(1+C)} q_{(i)}$	Boughton (1993), Chapman in Maxwell (1996)	$q_{b(i)} \leq q_{(i)}$ Podatke filtriramo enkrat, možne so kalibracije z drugimi metodami.
<b>IHACRES tro-parametrski algoritem</b>	$q_{b(i)} = \frac{k}{(1+C)} q_{b(i-1)} + \frac{C}{(1+C)} (q_{(i)} + \alpha_q q_{(i-1)})$	Jakeman in Hornberger (1993)	Razširitev Boughtonovega dvo-parametričnega algoritma.
<b>Lyne-Hollick-ov algoritem</b>	$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_{(i)} - q_{(i-1)}) \frac{1+\alpha}{2}$	Lyne in Hollick (1979), Nathan in McMahon (1990)	$q_{f(i)} \geq 0$ Vrednost $\alpha$ za dnevne podatke o pretoku je 0,925. Podatke filtriramo trikrat. Bazni odtok $q_b = q - q_f$
<b>Chapman-ov algoritem</b>	$q_{f(i)} = q_{f(i-1)} + \frac{2}{3-\alpha} (q_{(i)} - \alpha q_{(i-1)})$	Chapman (1991), Mau in Winter (1997)	Bazni odtok $q_b = q - q_f$
<b>Filter Furey in Gupta</b>	$q_{b(i)} = (1-\gamma) q_{b(i-1)} + \gamma \frac{C_3}{C_1} (q_{(i-d-1)} - q_{b(i-d-1)})$	Furey in Gupta (2001)	Filter uporablja enačbo masne bilance baznega odtoka.
<b>Eckhardt-ov filter</b>	$q_{b(i)} = \frac{k(1-BFI_{max}) + q_{b(i-1)} + (1-k)BFI_{max}q_{(i)}}{1-kBFI_{max}}$	Eckhardt (2005)	$BFI_{max}$ je 0,80 za trajne tokove v poroznih vodonosnikih, $BFI_{max}$ je 0,50 za minljive tokove v poroznih vodonosnikih, $BFI_{max}$ je 0,25 za trajne tokove vodonosnikov s trdo podlago.

$q_{(i)}$  je pretok vodotoka,  $q_{b(i)}$  je bazni odtok dobljen s filtriranjem,  $q_{f(i)}$  je površinski odtok dobljen s filtriranjem,  $k$  je parameter dobljen iz konstante upadanja pretoka,  $\alpha, \alpha_q$  sta parametra filtra,  $C$  je parameter filtra,  $\gamma, C_1, C_3$  so parametri, ki temeljijo na fizikalnih osnovah (Brodie et. al., 2005).  $BFI_{max}$  je maksimalna vrednost indeksa baznega odtoka.

## 4.2.2 Opis posameznih filtrov

### 4.2.2.1 Eno-parametrski algoritem

Chapman (1991) in Chapman in Maxwell (1996) opisujejo pristop, pri katerem se upošteva konstanta upadanja hidrograma. Konstanta predstavlja razmerje pretoka s tokom, kadar ni površinskega odtoka. Ta filter temelji na predpostavki, da je bazni odtok povprečje površinskega odtoka in baznega odtoka prejšnjega časovnega intervala in zahteva le enkratno filtriranje (Murphy et al., 2009):

$$q_{b(i)} = kq_{b(i-1)} + (1 - k) q_{d(i)}, \quad (4.21)$$

kjer je:

- $k$  parameter filtra enakovreden konstanti upadanja skozi obdobje brez površinskega odtoka,
- $q_{b(i)}$  filtrirani bazni odtok za  $i$ -ti trenutek vzorčenja,
- $q_{d(i)}$  površinski odtok za  $i$ -ti trenutek vzorčenja.

Celotni pretok ( $q$ ) je vsota baznega odtoka ( $q_b$ ) in površinskega odtoka ( $q_d$ ), katerega v naslednji enačbi izločimo in dobimo algoritem upadanja (Chapman, 1999):

$$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_{d(i)}, \quad \text{kjer } q_{b(i)} \leq q_{d(i)}, \quad (4.22)$$

kjer je:

- $q_{d(i)}$  prvotni pretok za  $i$ -ti trenutek vzorčenja.

Eno-parametrični algoritem:  
Chapman (1999)

```

bf_oneparam <- function(discharge, k){
  bf <- rep(discharge[1], length(discharge))
  for(i in 2:length(discharge)) {
    bf[i] <- (k*bf[i-1]/(2-k)) + ((1-k)*discharge[i]/(2-k))
    if(bf[i] > discharge[i]) bf[i] <- discharge[i]
  }
  return(bf)
}

```

Parameter  $k$  - konstanta upadanja, ko ni površinskega odtoka

Slika 9: Primer eno-parametrskega algoritma za program R (Povzeto po Chapman, 1999)

#### 4.2.2.2 Boughton-ov dvo-parametrski algoritem

Dodatna prilagodljivost je vključena v enačbi 4.23 s spremembo algoritma dodatne vrednosti parametra (Boughton, 1993; Chapman in Maxwell, 1996). Podatki se filtrirajo enkrat (Murphy et al., 2009).

$$q_b(i) = \frac{k}{(1+C)} q_{b(i-1)} + \frac{C}{(1+C)} q_{(i)}, \quad \text{kjer } q_{b(i)} \leq q_{(i)}, \quad (4.23)$$

kjer je:

- $q_{b(i)}$  filtrirani bazni odtok za  $i$ -ti trenutek vzorčenja,
- $q_{(i)}$  prvotni pretok za  $i$ -ti trenutek vzorčenja,
- $k$  parameter filtra, enakovreden konstanti upadanja,
- $C$  dodatna vrednost parametra, ki spremeni obliko ločevanja baznega odtoka.

V algoritem je vključena večja kompleksnost (dva parametra) in dodatna subjektivnost (kot je izbor ustreznih vrednosti parametrov, ki ni več neposredno povezan z znanimi procesi) (Murphy et al., 2009).

```
Dvo-parametrični algoritem:  
Chapman (1999)  
  
bf_boughton <- function(discharge, k, C){  
  bf <- rep(discharge[1], length(discharge))  
  for(i in 2:length(discharge)) {  
    bf[i] <- (k*bf[i-1]/(1+C)) + (C*discharge[i]/(1+C))  
    if(bf[i] > discharge[i]) bf[i] <- discharge[i]  
  }  
  return(bf)  
}
```

Slika 10: Primer dvo-parametrskega algoritma za program R (Povzeto po Chapman, 1999)

#### 4.2.2.3 IHACRES tri-parametrski algoritem

Alternativni pristop sta oblikovala Jakeman in Hornberger (1993) in razvila metodo IHACRES. Ta pristop vključuje tri parametre in dodatno zaplete oceno ločevanja baznega odtoka (Murphy et al., 2009).

Običajna izbira linearnega modela IHACRES vključuje presežne padavine, ki se razdelijo na komponente površinskega in baznega odtoka, te se v enačbi imenujejo  $q_b$  in  $q_d$  (Chapman, 1999).

$$q_{b(i)} = \beta_s u_{(i)} \cdot \alpha_s q_{b(i-1)}, \quad (4.24)$$

$$q_{d(i)} = \beta_q u_{(i)} \cdot \alpha_q q_{d(i-1)}, \quad (4.25)$$

kjer je:

- $\alpha, \beta$  parametra,
- $q$  površinski odtok,
- $s$  bazni odtok.

Z odpravo  $u$ -ja iz enačbe in z izražanjem površinskega odtoka kot razlike med baznim in celotnim odtokom dobimo enačbo za bazni odtok (Chapman, 1999):

$$q_{(i)} = \frac{\alpha_s \beta_q + \alpha_q \beta_s}{\beta_q + \beta_s} q_{b(i-1)} + \frac{\beta_s}{\beta_q + \beta_s} [q_{(i)} + \alpha_q q_{(i-1)}] \quad (4.26)$$

Opozoriti je potrebno, da je  $q$  v tej enačbi modelirani odtok in ne opazovani odtok, kot se ponavadi uporablja pri algoritmičnih ločevanja (Chapman, 1999).

Če vstavimo  $C = \beta_s/\beta_q$  in  $k = \alpha_s \cdot \alpha_q \beta_s/\beta_q$  dobimo (Chapman, 1999):

$$q_{b(i)} = \frac{k}{(1+C)} q_{b(i-1)} + \frac{C}{(1+C)} [q_{(i)} - \alpha q_{(i-1)}], \quad \text{kjer } q_{b(i)} \leq q_{(i)}, \quad (4.27)$$

kjer je:

- $q_{b(i)}$  filtrirani bazni odtok za  $i$ -ti trenutek vzorčenja,
- $q_{(i)}$  prvotni pretok za  $i$ -ti trenutek vzorčenja,
- $k, C, \alpha$  parametri filtra.

```
IHACRES tri-parametrični algoritem:  
Chapman (1999)  
  
bf_IHACRES <- function(discharge, k, C, a){  
  bf <- rep(discharge[1], length(discharge))  
  for(i in 2:length(discharge)) {  
    bf[i] <- (k*bf[i-1]/(1+C)) + (C*(discharge[i] + a*discharge[i-1])/(1+C))  
    if(bf[i] > discharge[i]) bf[i] <- discharge[i]  
  }  
  return(bf)  
}
```

Slika 11: Primer tri-parametrskega algoritma za program R (Povzeto po Chapman, 1999)

V študijih, ki so vključevale primerjavo vseh treh navedenih metod ločevanja baznega odtoka, je dvo-parametrski algoritem (enačba 4.23) podajal najbolj zadovoljive rezultate (Chapman, 1999). Kljub vsemu Chapman pri iskanju primernih vrednosti parametrov ni dosegel zadovoljivega uspeha (Murphy et al., 2009).

#### 4.2.2.4 Lyne in Hollick-ov filter

Lyne in Hollick (1978) sta razvila rekurzivni digitalni filter, ki temelji na predpostavki, da je filtriranje baznega in površinskega odtoka podobno analizi različno visokih signalov (Murphy et al., 2009).

$$q_f(i) = \begin{cases} \alpha q_f(i-1) + \frac{(1+\alpha)}{2} [q(i) - q(i-1)] & \text{za } q_f(i) > 0, \\ 0 & \text{drugače} \end{cases} \quad (4.28)$$

$$q_b(i) = q(i) - q_f(i),$$

kjer je:

- $q_b(i)$  filtrirani bazni odtok za  $i$ -ti trenutek vzorčenja,
- $q_f(i)$  filtriran površinski odtok za  $i$ -ti trenutek vzorčenja,
- $q(i)$  prvotni pretok za  $i$ -ti trenutek vzorčenja pri prvem prehodu,
- $\alpha$  parameter filtra, enakovreden konstanti upadanja (po navadi ima vrednost 0,925).

Pri tem se podatki filtrirajo trikrat. Časovni korak ( $i-1$ ) se pri povratnem prehodu nadomesti z ( $i+1$ ). Po prvem prehodu se  $q(i)$  nadomesti s pomočjo računalniško izračunanega baznega odtoka iz prejšnjega prehoda, pri tem pa prihaja do glajenja podatkov (Murphy et al., 2009).

Pomanjkanje fizične podlage pri filtru Lyne-Hollick zahteva od uporabnika, da določi, kdaj je pridobljeni bazni odtok »pravi«, vendar pa pri tem ne informira uporabnika o naravi baznega odtoka (Croke, 2010). Kljub temu je tehnika preprosta za avtomatizacijo, objektivna in ponovljiva.

Standardni pristop uporabe Lyne in Hollick filtra vključuje (Ladson et al., 2013):

- odražanje pretoka na začetku in koncu obravnavanih časovnih korakov;
- določanje začetne vrednosti v vsakem prehodu;
- priporočeno število prehodov, če se uporabljajo dnevni in urni podatki;
- določanje postopka za uporabo pretoka primanjkuje podatkov;
- sprejetje premišljene odločitve, kar zadeva ustrezne vrednosti parametra.

#### 4.2.2.5 Chapman-ov algoritem

Chapman (1991) je poudaril, da Lyne-Hollick-ov (1979) algoritem nepravilno zagotavlja konstantne pretoke ( $Q$ ) ali bazni odtok ( $b$ ), ob prenehanju neposrednega odtoka. Razvil je novo obliko algoritma, ki temelji na predpostavki, da je bazni odtok preprosto povprečje neposrednega odtoka in baznega odtoka od prej (Chapman, 1991). Oblikoval je enačbo za skupne pretoke (Asmerom, 2008):

$$b_t = \frac{3\alpha - 1}{3 - \alpha} b_{t-1} + \frac{1 - \alpha}{3 - \alpha} (Q_t + Q_{t-1}), \quad (4.29)$$

kjer so:

- $Q_t$  pretok v času  $t$ ,
- $b_t$  komponenta baznega odtoka,
- $\alpha$  parameter filtra, povezan s porečjem.

Chapman in Maxwell (Chapman & Maxwell, 1996) sta spremenila enačbo (4.29) brez spreminjanja lastnosti in posledično je enačba prinesla podoben rezultat kot original (Asmerom, 2008).

$$b_t = \frac{\alpha}{2 - \alpha} b_{t-1} + \frac{1 - \alpha}{2 - \alpha} Q_t \quad (4.30)$$

Chapman je pojasnil, da ob prenehanju površinskega odtoka postane parameter filtra ( $\alpha$ ) hidrološka recesijska konstanta. Običajno se uporablja za opis upadanja baznega odtoka v suhem obdobju brez napajanja podtalnice. Enačba se glasi (Asmerom, 2008):

$$b_t = \alpha b_{t-1} + \frac{1 - \alpha}{2} (q_t + q_{t-1}) \quad (4.31)$$

In posledično je upadanje baznega odtoka enako (Asmerom, 2008):



$$b_t = \alpha b_{t-1} \quad (4.32)$$

#### 4.2.2.6 Filter Furey in Gupta

Razumevanje splošnih fizikalnih procesov baznega odtoka je dobro dokumentirano, vendar je večinoma problem pomanjkanje hidrološke analize na študijskih porečjih. S pomočjo eksplisitnega modeliranja fizikalnih procesov lahko natančneje določimo količino podzemne vode. Ti modeli omogočajo istočasno ocenjevanje modelov podzemne in površinske vode, kar omogoča dobro razumevanje odnosov med površinskimi in podzemnimi viri. Na ta način določimo bazni odtok glede na celotni vodotok in gladino podzemne vode brez tehnik subjektivnega ločevanja (Murphy et al., 2009). Vendar pa so ti pristopi zaradi kompleksnosti modelov zelo zahtevni z vidika virov in podatkov in ne zagotavljajo preprostega načina določanja.

Furey in Gupta (2001) sta predlagala fizikalni filter, ki temelji na podlagi enačbe masne bilance baznega odtoka iz brežin (Murphy et al., 2009):

$$q_b(i) = (1 - \gamma) q_b(i-1) + \gamma \left(\frac{c_3}{c_1}\right) [q(i-d-1) - q_b(i-d-1)], \quad (4.33)$$

kjer je:

$q_b(i)$	filtrirani bazni odtok za $i$ -ti trenutek vzorčenja,
$q(i)$	prvotni pretok za $i$ -ti trenutek vzorčenja,
$\gamma, c_1, c_3$	parametri filtra, ki temeljijo na fizikalni podlagi,
$d$	čas zakasnitve polnjenja.

Vrednosti parametrov za ta pristop so v fizikalnem smislu dobro opredeljene. V tej obliki se filter Furey in Gupta šteje med bolj zapletene digitalne filtre. Pri tem je potrebno določiti vrednosti parametrov, ki temeljijo na analizi in drugih razpoložljivih podatkih. Alternativa temu je ročna manipulacija posameznih vrednosti parametrov za izboljšanje ocene baznega odtoka. Rezultati kažejo, da algoritem deluje boljše v daljših časovnih obdobjih kot v krajših. Spremenjena različica algoritma Furey in Gupta (2003) predvideva tudi oceno vlage v tleh. Pri večji kompleksnosti modela se ocena baznega odtoka nekoliko izboljša (Murphy et al., 2009).

#### 4.2.2.7 Eckhardt-ov filter

Eckhardt (2005) je razvil rekurzivni digitalni filter, ki temelji na teoriji vključevanja enega parametra in v posebnih primerih uporabe dveh parametrov (Murphy et al., 2009). Pri tem se uporabljata maksimalna vrednost indeksa baznega odtoka ( $BFI_{max}$ ) in parameter filtra ( $\alpha$ ), ki ga je potrebno določiti za posamezna porečja (Asmerom, 2008). Enačba filtra je:

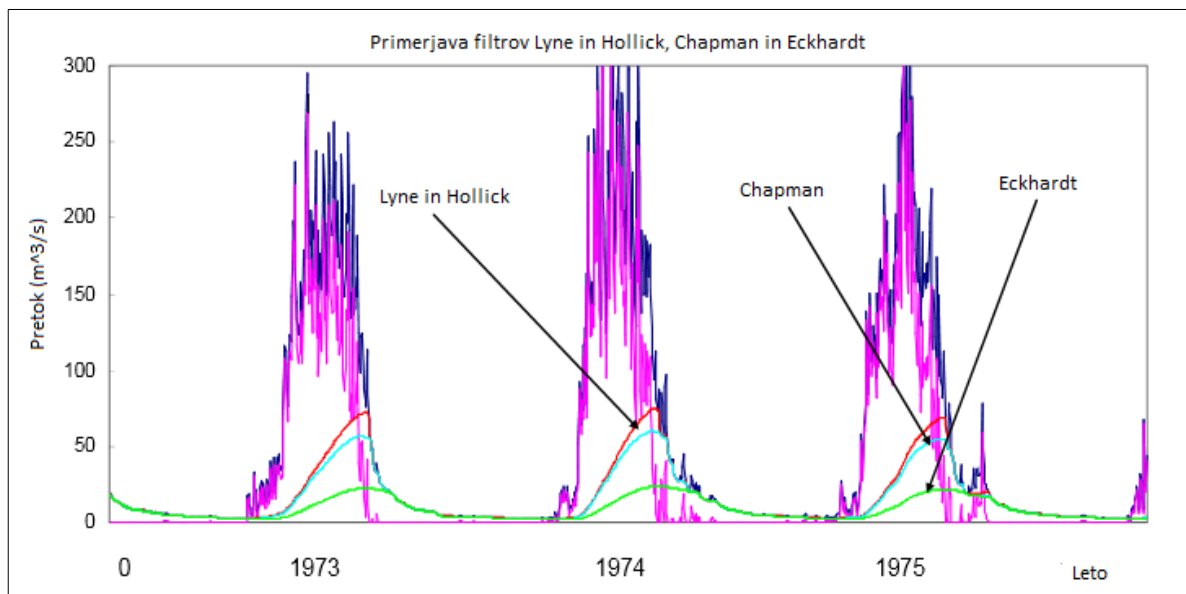
$$b_t = \frac{(1 - BFI_{max}) ab_{t-1} + (1 - a) BFI_{max} Q_t}{1 - a BFI_{max}}, \quad (4.34)$$

pri tem velja, da je  $b_t \leq Q_t$ ,

kjer je:

- $Q_t$  pretok v času  $t$ ,
- $b_t$  komponenta baznega odtoka,
- $a$  konstanta upadanja podtalnice,
- $BFI_{max}$  največja vrednost indeksa baznega odtoka BFI.

Razložiti ga je mogoče s pomočjo uporabe konstante upadanja (objektivno opredeljene) in  $BFI_{max}$  (ki ga ni mogoče izmeriti), pomeni pa dolgoročno razmerje med baznim odtokom in celotnim odtokom (Murphy et al., 2009).  $BFI_{max}$  je parameter filtra, ki določa največji bazni odtok. Je subjektivni parameter, ki se določi glede na vrsto povodja. Eckhardt-ove ocene vrednosti parametra  $BFI_{max}$  temeljijo na podlagi rezultatov, ki jih je dobil za različna povodja. Ugotovil je, da je vrednost  $BFI_{max}$  0,80 za trajne vodotoke v poroznih vodonosnikih, 0,50 za presihajoče vodotoke v poroznih vodonosnikih in približno 0,25 za trajne tokove na trdni podlagi (Asmerom, 2008).



Slika 12: Primerjava filtrov Lyne & Hollick, Chapman in Eckhardt (Povzeto Asmerom, 2008)

### 4.3 Indeks baznega odtoka (BFI)

Pri avtomatiziranih postopkih se uporabljajo različni indeksi in parametri. Indeks baznega odtoka (BFI) predstavlja dolgoročno razmerje med volumnom baznega odtoka in celotnega pretoka vodotoka (Smakhtin, 2001).

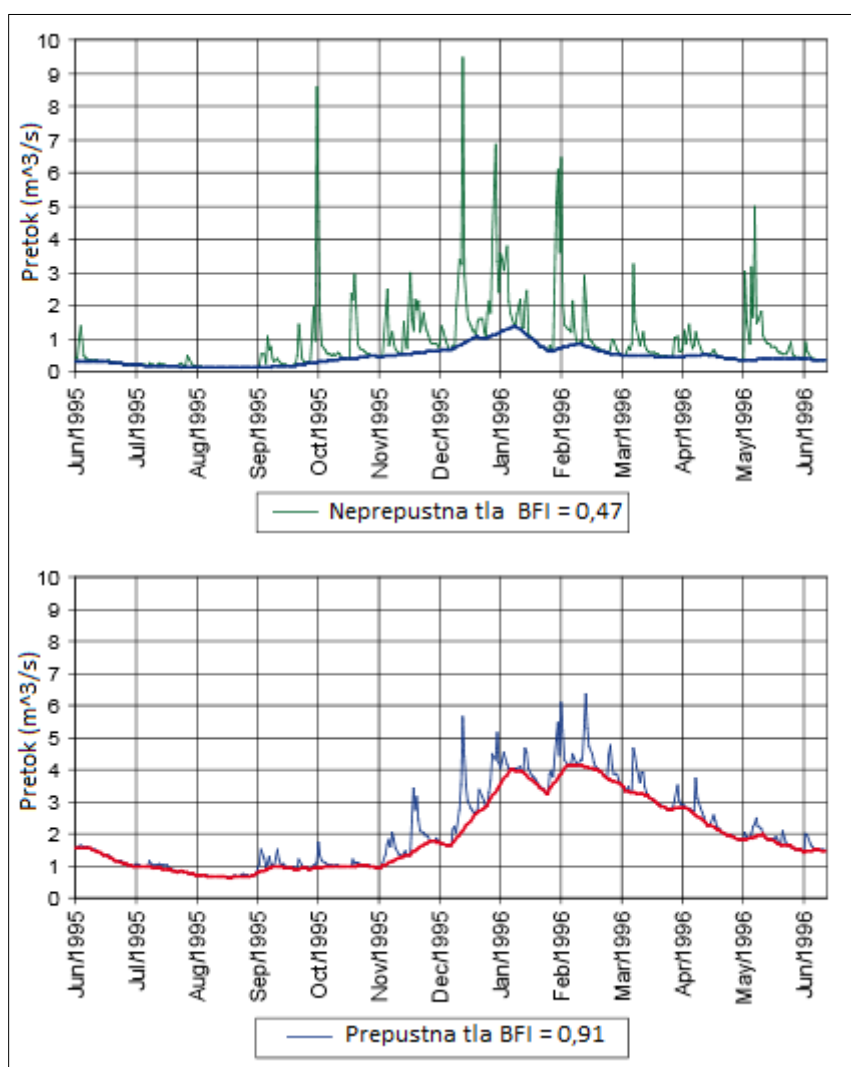
Indeksi baznega odtoka so običajno zelo povezani s hidrološkimi lastnostmi tal, geologijo in drugimi zadrževalnimi komponentami. BFI je razmerje baznega odtoka in celotnega odtoka, izračunan s postopkom ločevanja hidrograma. Prvotno je bil razvit za karakterizacijo hidroloških odzivov prispevnih tal in geologije (Gustard in Demuth, 2009).

Postopek izračuna BFI je sledeč (Gustard in Demuth, 2009):

- Pretoke  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) razdelimo v časovno vrsto dnevni pretokov in jih razdelimo v neprekrivajoča obdobja petih dni;
- V vsakem petdnevem obdobju  $Q_m$  izberemo minimume;
- Ugotovimo prelomice (prevojne točke) v zaporednju minimumov ( $Q_m$ ). Minimalne pretoke pomnožimo s prevojnimi faktorjem  $f$  in tako določimo, kateri minimalni pretoki predstavljajo prevojne točke hidrograma baznega odtoka. Če je  $\min. Q * f$  za nek odsek manjši od  $\min. Q$  sosednjih dveh odsekov, potem je  $\min. Q$  obravnavanega odseka prelomnica – prevojna točka hidrograma  $Q_t$ ;
- Prelomne točke  $Q_t$  povežemo med seboj z ravnimi linijami in dobimo hidrogram baznega odtoka;

- e) S pomočjo linearne interpolacije med prelomnicami dobimo vrednosti baznega odtoka za posamezni dan. Bazni odtok je omejen na enak način kot hidrogram opazovanega pretoka na kateri koli dan, v primeru, če bazni odtok preseže opazovani pretok;
- f) Postopek se nadaljuje, dokler se ne analizirajo vsi časovni koraki;
- g) Za določeno obdobje določimo količino vode ( $m^3$ ) pod ločitveno linijo ( $V_{bazni}$ ), kot vsoto dnevni vrednosti baznega odtoka pomnoženo z obdobjem (s/dan). Volumen vode pod hidrogramom ( $V_{celomi}$ ) izračunamo na enak način;
- h) Na koncu je BFI definiran kot:

$$BFI = V_{bazni} / V_{celomi} \quad (4.35)$$



Slika 13: Ločevanje baznega odtoka za prepustna in neprepustna tla (Velika Britanija) (Povzeto po Gustard in Demuth, 2009)

Metoda BFI je občutljiva na manjkajoče podatke. Priporočljivo je, da se ločevanje baznega odtoka izračuna za celoten zapis, zato podatki ne smejo manjkati za dni na začetku in koncu vsakega leta. BFI se izračuna kot razmerje med prostornino baznega odtoka in prostornino volumna celotnega

pretoka za celotno obdobje. Letne vrednosti BFI se lahko določijo tako, da se sešteje bazni odtok in celotni odtok za vsako posamezno leto. To omogoča oceno letne spremenljivost indeksa (Gustard in Demuth, 2009).

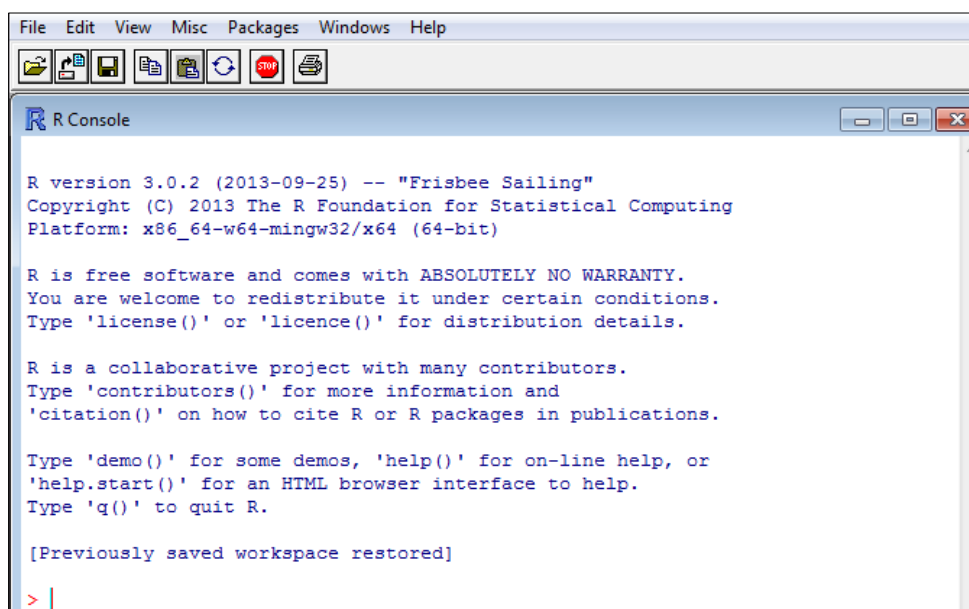
BFI postopek je bil razvit za padavinski režim s tipičnim odzivom v urah ali dnevih. To se odraža v izbiri parametrov: petdnevno obdobje in prevojni faktor 0,9, sta bila določena s kalibracijo in vizualnim pregledom baznega odtoka v več kot 100 povodjih v Veliki Britaniji. Pri regijah z dolgo trajajočimi poplavami, jezeri ali snegom obstaja verjetnost, da je prelomnica določena v obdobju visokega pretoka, zato postopek ne zagotavlja zanesljivih rezultatov. V takšnih primerih hidroloških režimov lahko izračunamo alternativne vrednosti parametrov in izračunamo BFI za vsako posamezno sezono. Sezonski izračuni potrebujejo krajše opazovano obdobje, za zapis stabilnih vrednosti (Tallaksen, 1987).

BFI je uporabljen predvsem kot splošni indeks odziva povodja. Uporabljen je bil za razvrstitev hidroloških odzivov različnih tal pri regionalnih študijah poplav. Poleg tega se uporablja pri hidrološkem modeliranju, kot orodje za izbiro analognega porečja in za letno ter dolgoletno bogatenje podzemne vode (Gustard in Demuth, 2009).

## 5 IZLOČANJE BAZNEGA ODTOKA S POMOČJO UPORABE PROGRAMA R

### 5.1 Predstavitev programa R

Program R je jezik in okolje za statistično računalništvo in grafiko. Na voljo je kot prostodostopna programska oprema in deluje na različnih operacijskih sistemih (Windows, MacOS, Linux...) (Paradis, 2005).



Slika 14: Osnovno okno programa R

Ponuja široko paleto statističnih (linearno in nelinearno modeliranje, klasični statistični testi, časovne analize, razvrščanje, povezovanje...) in grafičnih tehnik (R-project, 2006). Slednje so vidne v svojem lastnem oknu in omogočajo uporabniku popoln nadzor. Shranjujejo se lahko v različnih formatih (jpg, png...), odvisno od operacijskega sistema. Rezultati statističnih analiz so prikazani na zaslonu, nekatere vmesne rezultate, pa lahko shranimo v datoteko in jih uporabimo za poznejše analize (Paradis, 2005).

Program R omogoča zaporedno analizo več nizov podatkov, prav tako pa je možno v enotni diagram združiti različne statistične funkcije za opravljanje zahtevnejših analiz (Paradis, 2005). Je integrirana zbirka programskih vsebin za manipulacijo podatkov, izračun in grafični prikaz, ki vključuje (R-project, 2006):

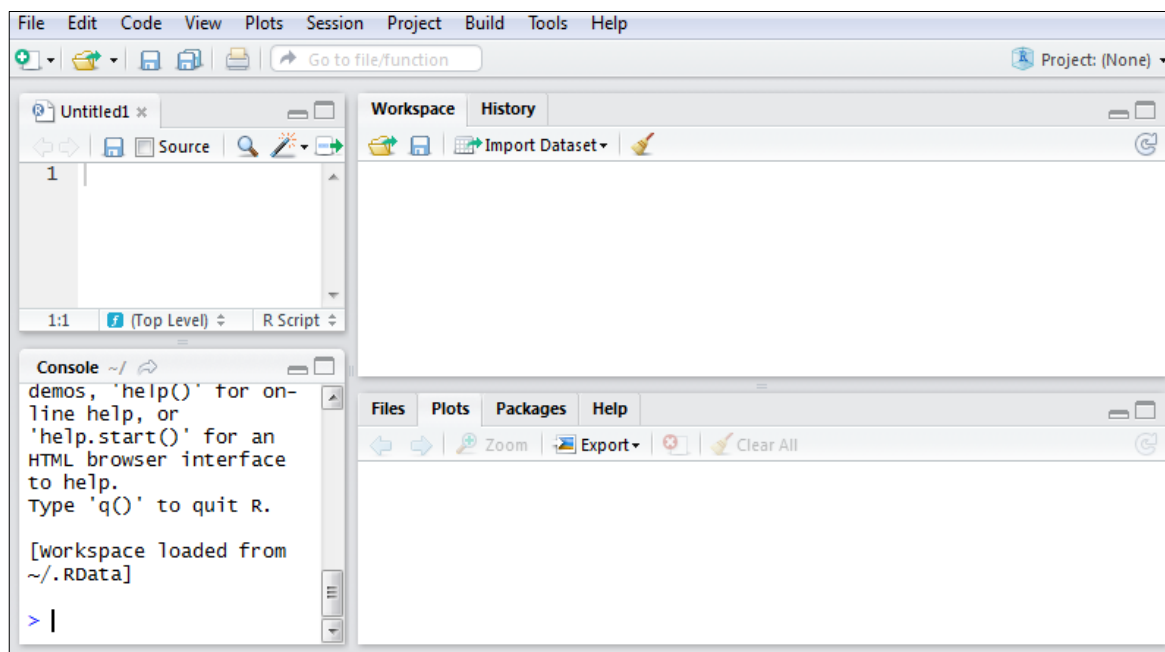
- učinkovito obdelavo in shranjevanje podatkov,
- računanje z matrikami,
- veliko integrirano zbirko vmesnih orodij za analizo podatkov,

- grafične zmogljivosti za analizo podatkov in prikaz, bodisi na zaslonu ali papirju,
- dobro razvit, preprost in učinkovit programski jezik, ki vključuje pogoje, zanke in uporabniško definirane rekurzivne funkcije.

Program lahko enostavno nadgradimo preko paketov, ki so na voljo na internetnih straneh in pokrivajo širok spekter statističnih podatkov (R-project, 2006).

R je zasnovan na resničnem računalniškem jeziku in uporabnikom omogoča, da dodajajo dodatne funkcionalnosti.

Program RStudio je grafični vmesnik za program R. Omogoča enostavnejšo in preglednejšo uporabo programa R.



Slika 15: Osnovno okno programa RStudio

## 5.2 Predstavitev obravnavanega porečja Sava-Radovljica I

Reka Sava je najdaljša slovenska reka, ki od izvira Zelencev do izliva v Donavo meri 947 km. V Sloveniji zajema Sava 44 km na Dolinki in 41 km na Bohinjki, ki se združeni tečeta 175 km. Celotna dolžina reke Save v Sloveniji je 220 km. Sava izvira na višini 833 m, iztok iz države pa je na 132 m nadmorske višine (Frantar, 2003).

Površina prispevnega območja Sava-Radovljica I je 907,97 km<sup>2</sup>, oddaljenost od izvira je 46 km in oddaljenost do izliva je 901 km (ARSO, 2011). Nadmorska višina vodomerne postaje je 409,30 m (ARSO, 2013b).



Slika 16: Vodomerna postaja Sava-Radovljica I in njena prispevna površina (ARSO, 2011)

Pretočne značilnosti reke Save kažejo, da ima v povirnem delu do Radovljice alpski snežno-dežni pretočni režim. To pomeni praviloma največje pretoke spomladi zaradi taljenja snega in dežja. Drugi višek pretokov je jeseni zaradi deževja. V primeru porečja Sava-Radovljica I je jesenski vrhunec nekoliko bolj izrazit. Najmanj vode ima Sava v tem delu pozimi, saj večina padavin ostane zadržana v snegu, kar zmanjšuje odtok, drugi nižek pa je poleti zaradi manjše količine padavin in večjega izhlapevanja (ARSO, 2003).

Vodnatost reke narašča od izvira proti iztoku iz države. Dolgoročni trendi srednjih pretokov pa izkazujejo upadajoč trend, kar pomeni, da se povprečna količina odtoka zmanjšuje (ARSO, 2003).



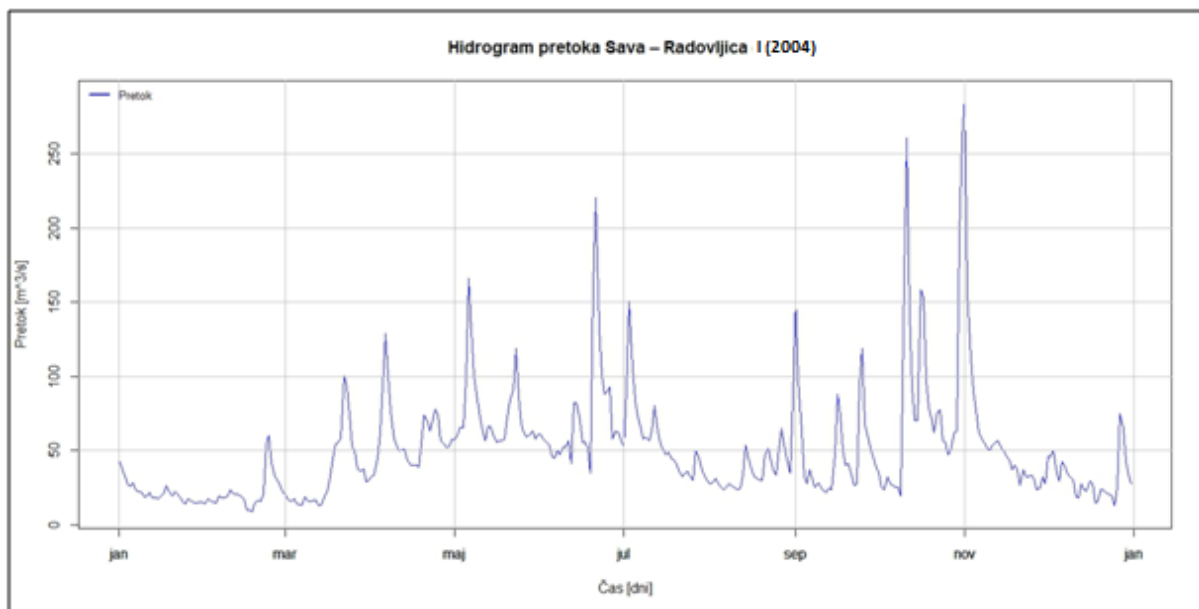


Slika 17: Vodometna postaja Sava-Radovljica I z okolico (ARSO, 2013b)

### 5.3 Vhodni podatki

Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) opazuje, analizira in napoveduje naravne pojave in procese v okolju. Hkrati pa skrbi za shranjevanje in pridobivanje uradnih hidroloških podatkov. Vsi uporabljeni podatki so pridobljeni iz spletne strani agencije Republike Slovenije za okolje.

Slika 18 prikazuje hidrogram pretoka za vodometno postajo Sava-Radovljica I za obravnavano leto 2004. Uporabljene so srednje dneve vrednosti pretoka. Iz hidrograma pretoka je razvidno, da so največji pretoki doseženi v jesenskem obdobju, medtem ko so v zimskem obdobju pretoki najmanjši.



Slika 18: Hidrogram pretoka za merilno postajo Sava-Radovljica I za leto 2004

#### 5.4 Izločanje baznega odtoka

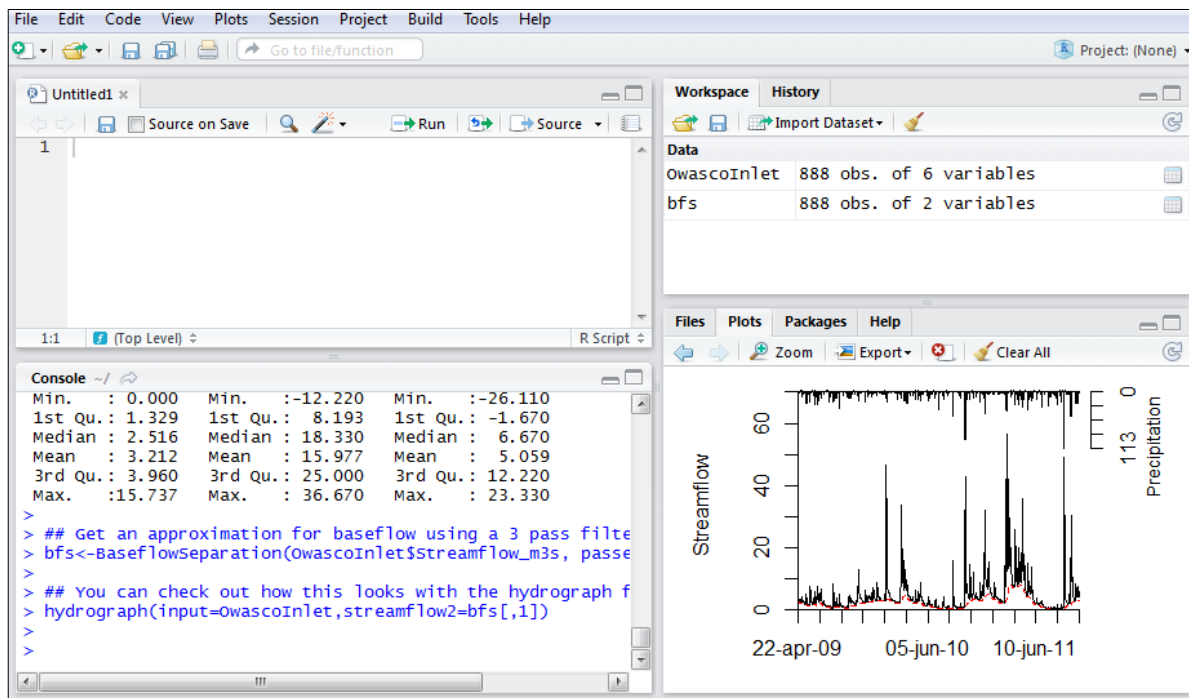
Za določanje baznega odtoka smo uporabljali program R (Rstudio), ki smo ga nadgradili s paketoma 'EcoHydRology' in 'lfstat'. Paketa imata vgrajene funkcije, s pomočjo katerih lahko določimo delež baznega odtoka.

##### 5.4.1 Paket 'EcoHydRology'

Paket zagotavlja prilagodljivo podlago za znanstvenike in inženirje, od začetniške uporabe, kakor tudi za uporabo modeliranja kompleksnih eko-hidroloških interakcij (Fuka et al., 2013).

Vključuje funkcijo *BaseflowSeparation*, katera iz podatkov o pretoku, poda nabor podatkov o baznem odtoku. To se izvaja s spreminjanjem vrednosti parametra filtra in uporabo različnega števila prehodov čez podatke (Fuka et al., 2013).

Slika 19 prikazuje primer uporabe funkcije *BaseflowSeparation* iz paketa 'EcoHydRology'.



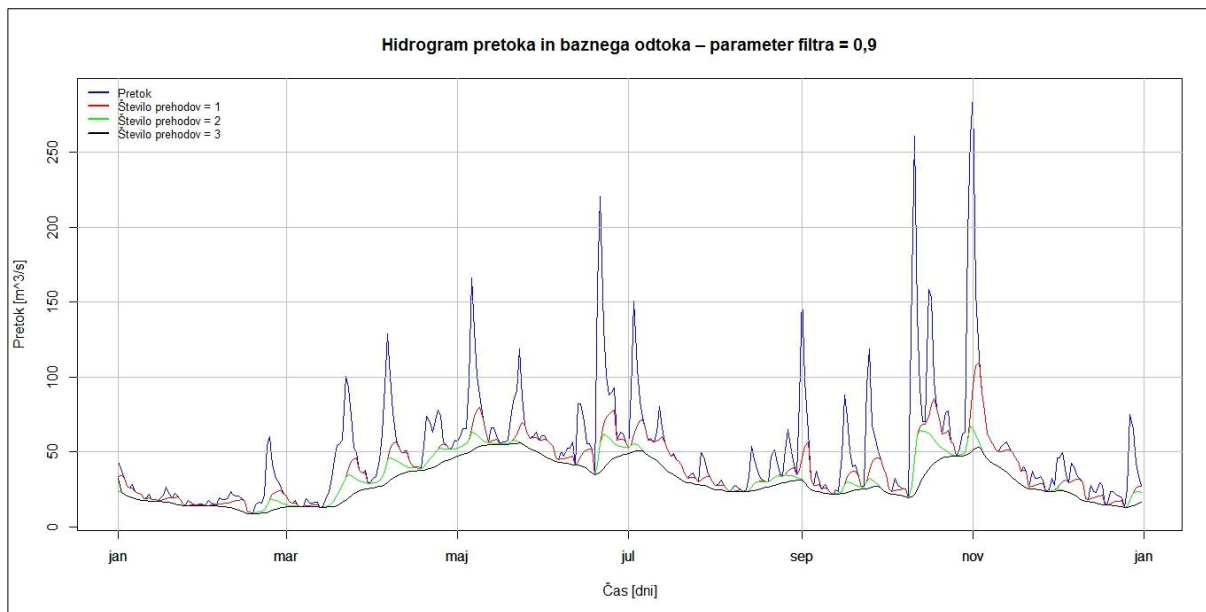
Slika 19: Primer uporabe paketa 'EcoHydRology'

*i. Spreminjanje parametra filtra*

Paket omogoča spreminjanje vrednosti parametra filtra od 0,9 do 0,95. Slike 20, 21 in 22 prikazujejo pretok in bazni odtok pri konstantni vrednosti parametra filtra, spreminja pa se število prehodov čez podatke. Razvidno je, da se pri konstantni vrednosti parametra filtra in spreminjanju števila prehodov čez podatke, spreminja delež baznega odtoka in oblika hidrograma baznega odtoka.

a) *Parameter filtra = 0,9*

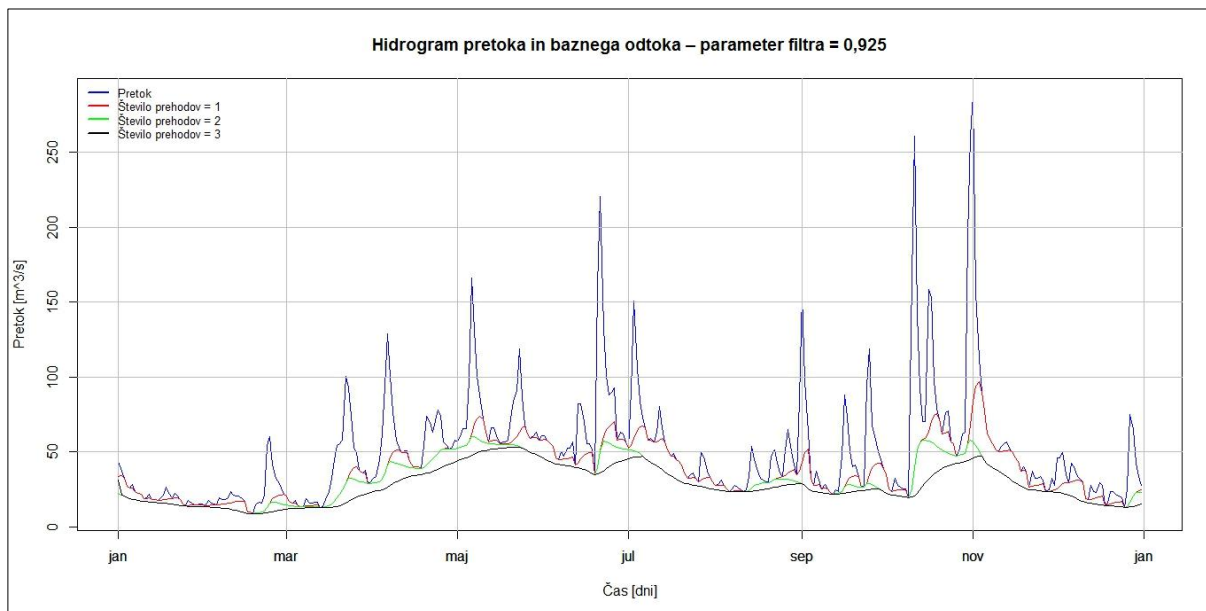
Slika 20 prikazuje hidrogram pretoka in baznega odtoka za vrednost parametra filtra 0,9 pri enkratnem, dvakratnem in trikratnem prehodu čez podatke.



Slika 20: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za parameter filtra 0,9

b) *Parameter filtra 0,925*

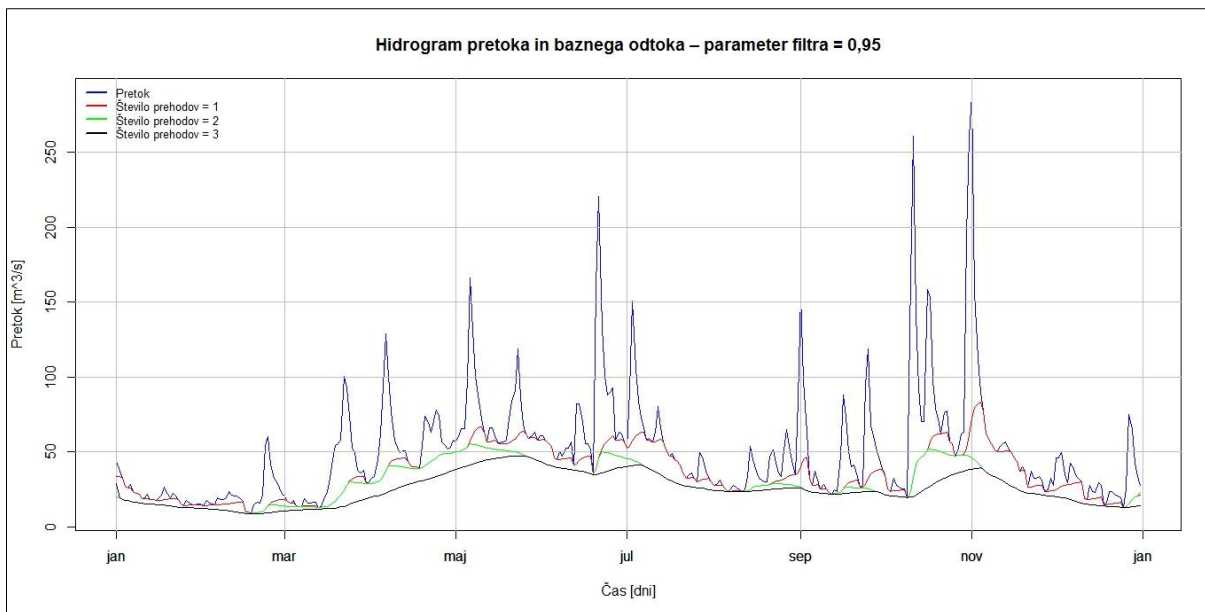
Slika 21 prikazuje hidrogram pretoka in baznega odtoka za vrednost parametra filtra 0,925 pri enkratnem, dvakratnem in trikratnem prehodu čez podatke.



Slika 21: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za parameter filtra 0,925

c) *Parameter filtra = 0,95*

Slika 22 prikazuje hidrogram pretoka in baznega odtoka za vrednost parametra filtra 0,95, pri enkratnem, dvakratnem in trikratnem prehodu čez podatke.



Slika 22: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za parameter filtra 0,95

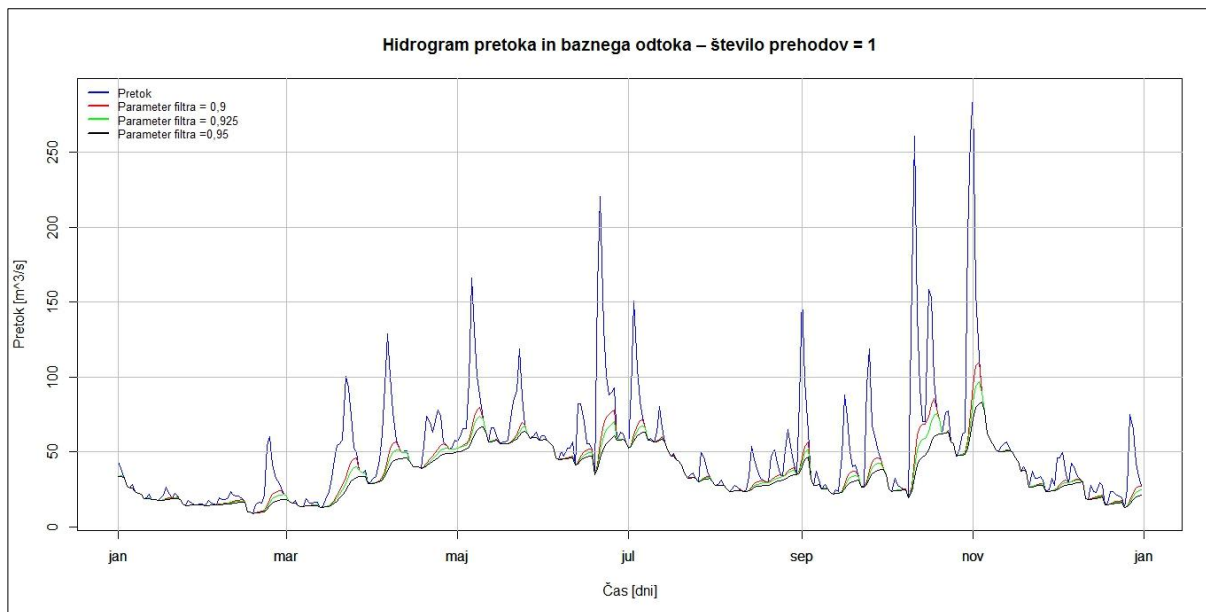
Pri enkratnem prehodu čez podatke, v primerjavi z dvakratnim in trikratnim prehodom čez podatke, so doseženi najvišji in najizrazitejši vrhovi hidrograma baznega odtoka. Z večanjem števila prehodov čez podatke se vrhovi vse bolj nižajo in postajajo manj izraziti. Enkratni prehod čez podatke zajame vsak val hidrograma pretoka posebej in ga posebej analizira, medtem ko se pri večanju števila prehodov čez podatke posamezni vali hidrograma pretoka med seboj združujejo in skupno analizirajo. Razvidno je, da ima število prehodov čez podatke precejšen vpliv na obliko hidrograma baznega odtoka.

ii. *Spreminjanje števila prehodov čez podatke*

Slike 23, 24 in 25 prikazujejo spreminjanje vrednosti parametra filtra pri konstantnem številu prehodov čez podatke.

## a) Število prehodov čez podatke = 1

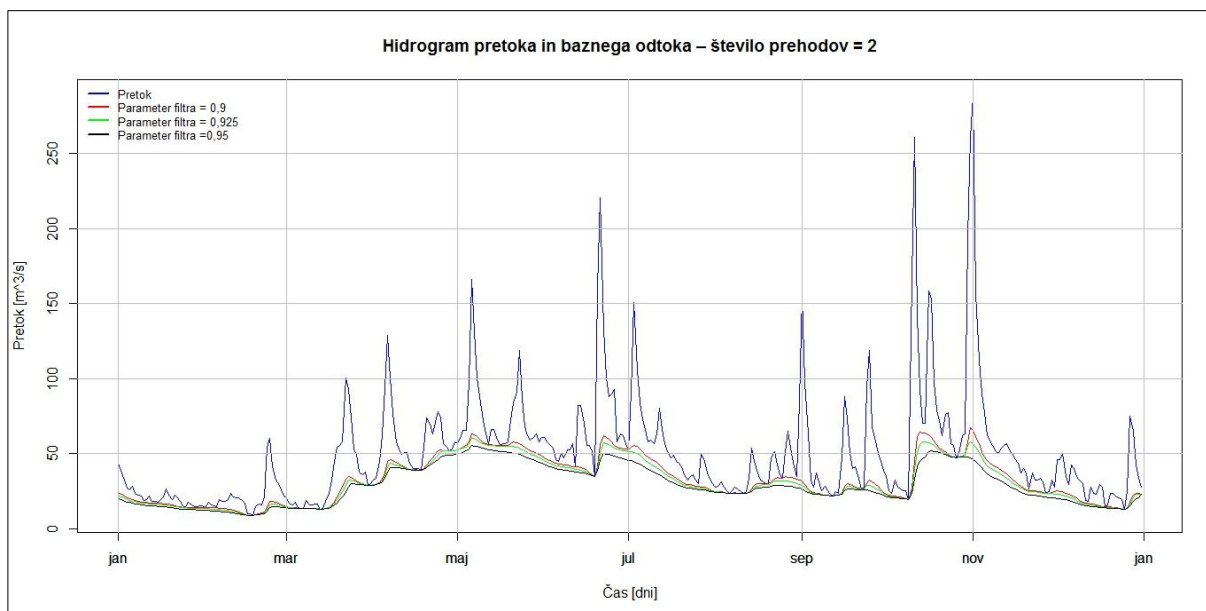
Slika 23 prikazuje hidrogram pretoka in baznega odtoka za enkratni prehod čez podatke pri vrednosti parametra filtra 0,9, 0,925 in 0,95.



Slika 23: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za enkratni prehod čez podatke

## b) Število prehodov čez podatke = 2

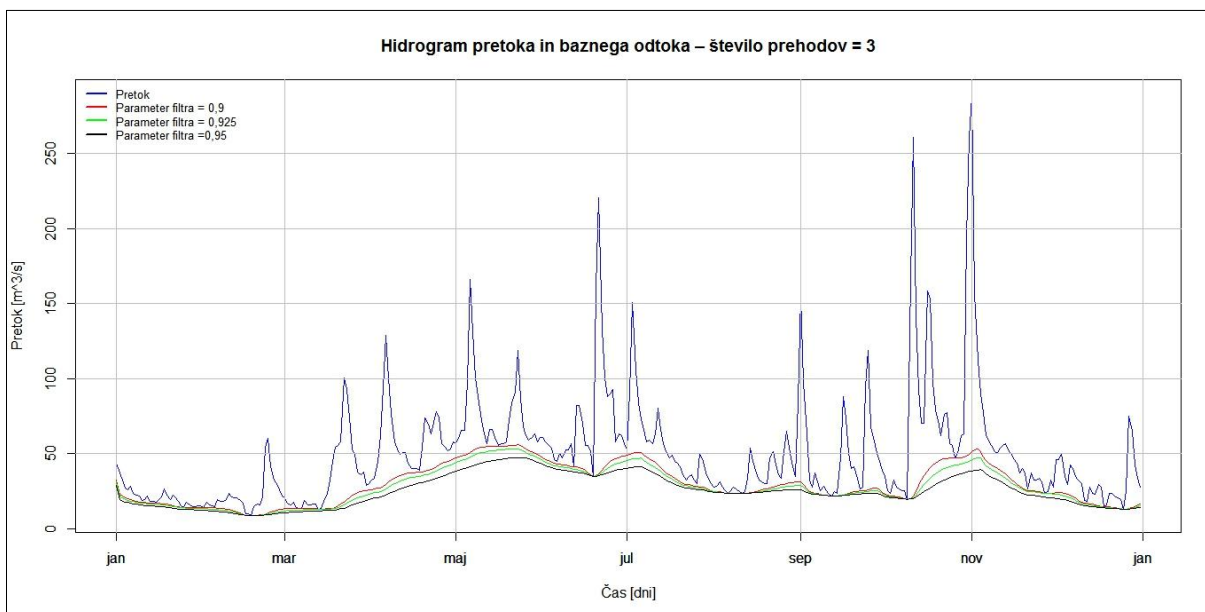
Slika 24 prikazuje hidrogram pretoka in baznega odtoka za dvakratni prehod čez podatke pri vrednosti parametra filtra 0,9, 0,925 in 0,95.



Slika 24: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za dvakratni prehod čez podatke

c) Število prehodov čez podatke = 3

Slika 25 prikazuje hidrogram pretoka in baznega odtoka za trikratni prehod čez podatke, pri vrednosti parametra filtra 0,9, 0,925 in 0,95.



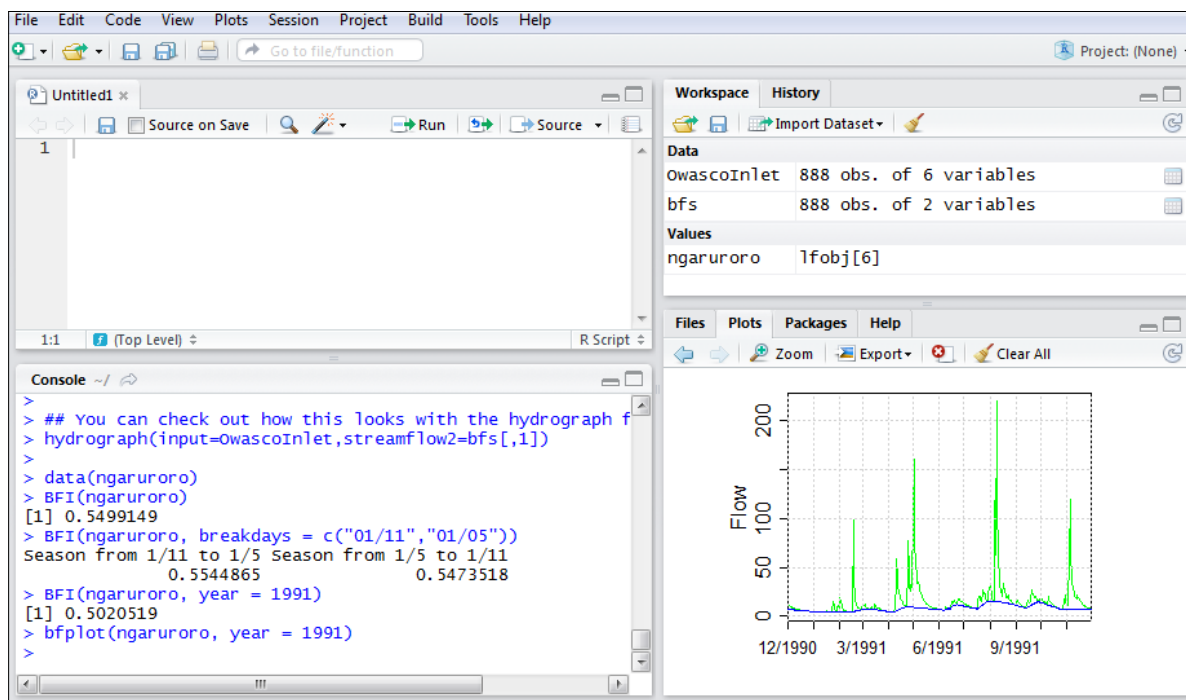
Slika 25: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za trikratni prehod čez podatke

Pri vrednosti parametra filtra 0,9 so doseženi najvišji vrhovi hidrograma baznega odtoka. Z večanjem vrednosti parametra filtra se vrhovi nižajo. Vpliv vrednosti parametra filtra na obliko hidrograma baznega odtoka je majhen, saj se oblika hidrograma baznega odtoka s spreminjanjem vrednosti parametra filtra le malo spreminja.

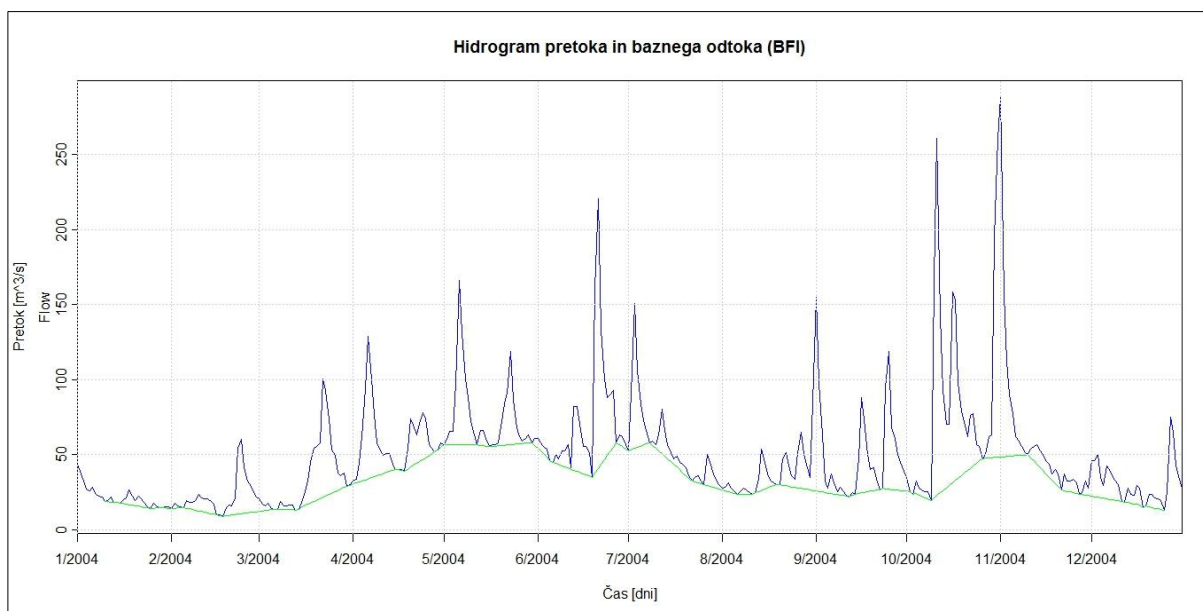
#### 5.4.2 Paket 'lfstat'

Paket 'lfstat' omogoča kompleksno statistično analizo nizkih pretokov. Podaja funkcije za izračun opisnih statistik in izris grafov. Paket vključuje funkcijo BFI, ki iz podanega niza pretokov izračuna indeks baznega odtoka (Koffler in Laaha, 2014).

Slika 26 prikazuje hidrogram baznega odtoka, pridobljenega s pomočjo metode BFI.



Slika 26: Primer uporabe paketa 'lfstat'



Slika 27: Hidrogram pretoka in baznega odtoka po metodi BFI

## 5.5 Primerjava deležev baznega odtoka za vodomerno postajo Radovljica I za leto 2004

Preglednica 3 prikazuje primerjavo deležev baznega odtoka za vodomerno postajo Radovljica I na Savi za leto 2004. Indeks baznega odtoka je definiran kot razmerje med baznim in celotnim odtokom. Med seboj smo primerjali rezultate, pridobljene s pomočjo metod *BaseflowSeparation* in BFI. Delež



baznega odtoka se pri metodi *BaseflowSeparation* spreminja s spreminjanjem števila prehodov čez podatke in s spreminjanjem vrednosti parametra filtra.

Največji delež baznega odtoka je bil dosežen pri vrednosti parametra filtra 0,9 in enkratnem prehodu čez podatke. Z večanjem števila prehodov čez podatke in konstantni vrednosti parametra filtra, se delež baznega odtoka zmanjšuje. Delež baznega odtoka se zmanjšuje tudi v primeru konstantnega števila prehodov čez podatke in spreminjanju vrednosti parametra filtra. Z večanjem vrednosti parametra filtra se delež baznega odtoka zmanjšuje. Najmanjši delež baznega odtoka je pri vrednosti parametra filtra 0,95 in trikratnem prehodu čez podatke (preglednica 3).

Pri metodi BFI je vrednost indeksa baznega odtoka 0,621. Če rezultat primerjamo z metodo *BaseflowSeparation* vidimo, da metoda podaja najbolj primerljiv rezultat pri vrednosti parametra filtra 0,925 in dvakratnem prehodu čez podatke, saj je v tem primeru delež baznega odtoka 0,616.

Preglednica 3: Primerjava deležev baznega odtoka po dveh metodah pri različnih vrednostih parametra filtra in različnim številom prehodov za vodomerno postajo Radovljica I v letu 2004

<b>Primerjava deležev baznega odtoka</b>			
<b>Parameter filtra</b>	<b>Število prehodov</b>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
0,9	0,753	0,643	0,584
0,925	0,729	0,616	0,550
0,95	0,696	0,574	0,500
<b>BFI</b>	0,621		

## 5.6 Analiza izbranega visokovodnega vala

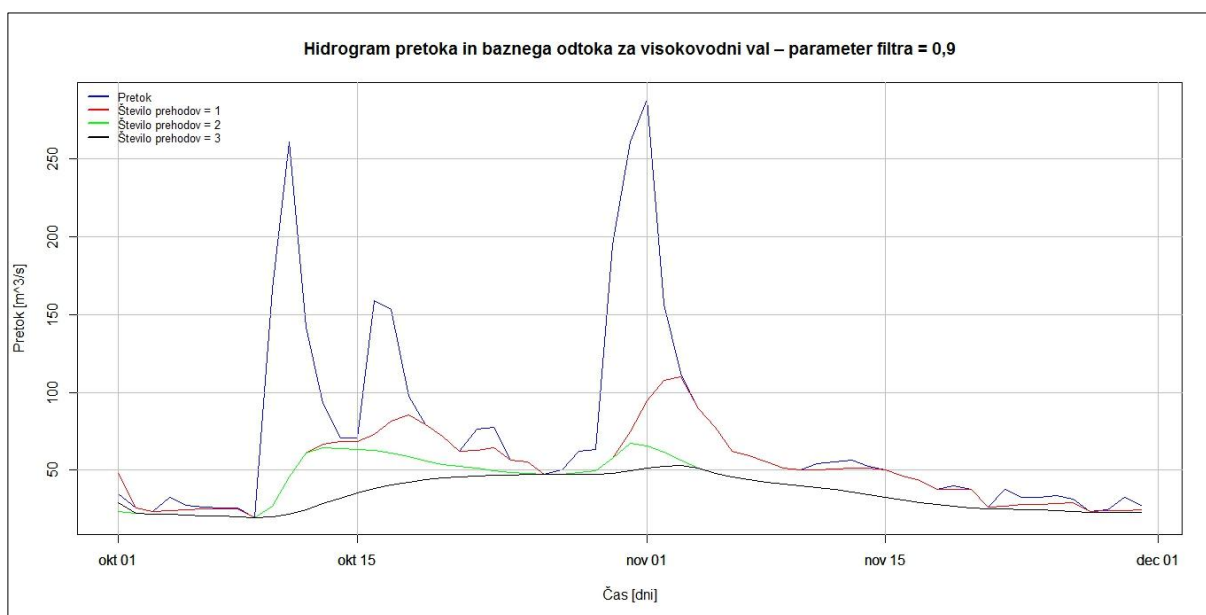
Poplavni oz. visokovodni val pomeni naraščanje gladine vodotoka do največje vrednosti in njegovo upadanje, povzročeno s padavinami ali taljenjem snega. Poleg tega lahko nastane tudi zaradi porušitve pregrade ali spuščanja vode iz zbiralnika hidroelektrarne (Mikoš et al., 2002).

Večina ekstremnih hidroloških pojavov je odvisna od hkratnega vpliva več naključnih spremenljivk, ki so v večini primerov medsebojno povezane in odvisne. Visokovodni val je tako določen s konico pretoka, prostornino in trajanjem vala. Te tri spremenljivke so medsebojno bolj ali manj odvisne. Z natančnejšimi analizami lahko ugotovimo resnost pojava visokovodnih valov. Pri analizi ekstremnih dogodkov zato ni dovolj, da poznamo le podatek o konici pretoka, temveč je enako pomembno tudi poznavanje prostornine in trajanja visokovodnega vala ( Karmakar in Simonovic, 2007).

Pri analizah visokovodnih valov se pogosto srečamo s pojavom kompleksnih hidrogramov ali sestavljenih valov. Pri teh valovih nastopi problem določitve neodvisnosti konic. Neodvisnost zaporednih konic hidrograma pomeni, da lahko dve zaporedni konici hidrograma ločimo in ju obravnavamo kot dva neodvisna visokovodna vala (Šraj in Bezak, 2013).

V nadaljevanju je prikazana analiza visokovodnega vala za vodomerno postajo Radovljica I na reki Savi (oktober/november 2004), kjer smo s pomočjo funkcij *BaseflowSeparation* in BFI (paketa 'EcoHydRology' in 'lfstat') primerjali izločanje baznega odtoka. Pri tem smo poleg visokovodne konice upoštevali še volumen in trajanje visokovodnega vala.

a) Metoda *BaseflowSeparation* - parameter filtra 0,9

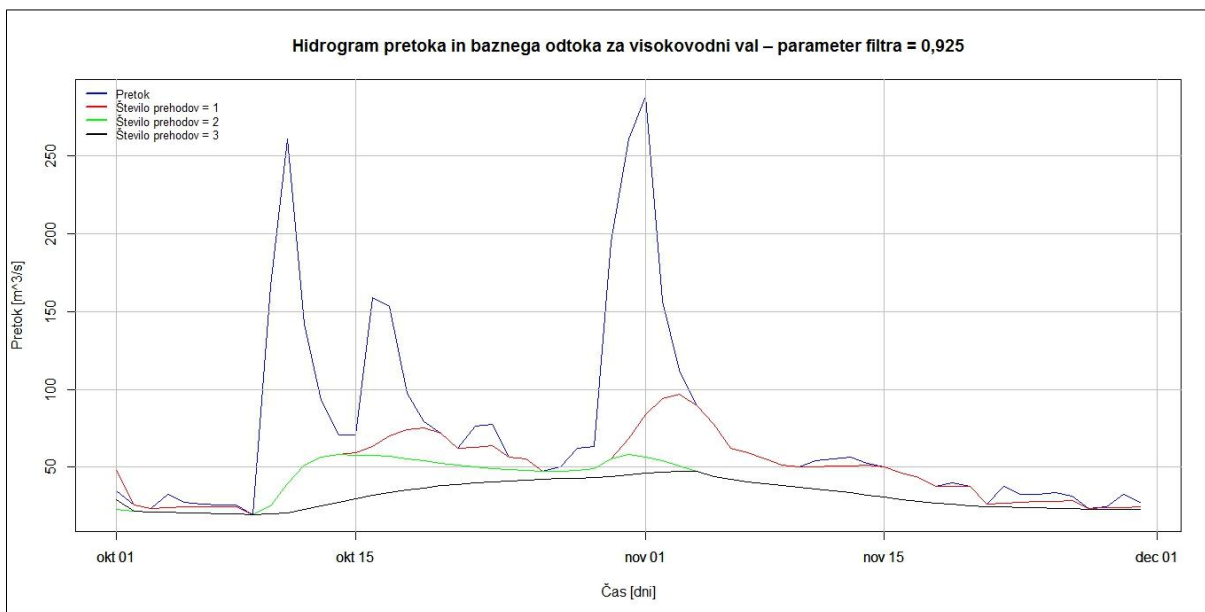


Slika 28: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za visokovodni val v Radovljici I – metoda *BaseflowSeparation* parameter filtra 0,9

Preglednica 4: Analiza visokovodnega vala pri parametru filtra 0,9

	Število prehodov		
	1	2	3
<b>Volumen visokovodnega vala <math>10^6</math>[m<sup>3</sup>]</b>	960,35	6766,40	6766,40
<b>Volumen baznega odtoka <math>10^6</math> [m<sup>3</sup>]</b>	496,63	3730,39	3564,83
<b>Trajanje [dni]</b>	9	33	33
<b>Delež baznega odtoka</b>	0,517	0,551	0,527

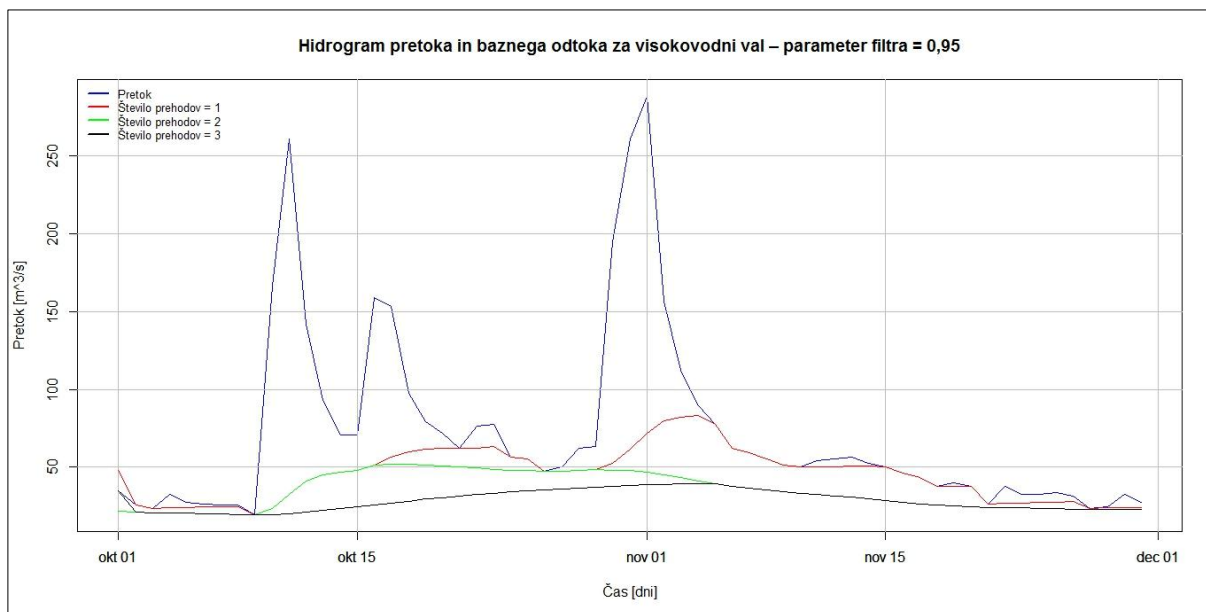
b) Metoda *BaseflowSeparation* - parameter filtra 0,925



Slika 29: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za visokovodni val v Radovljici I – metoda *BaseflowSeparation* parameter filtra 0,925

Preglednica 5: Analiza visokovodnega vala pri parametru filtra 0,925

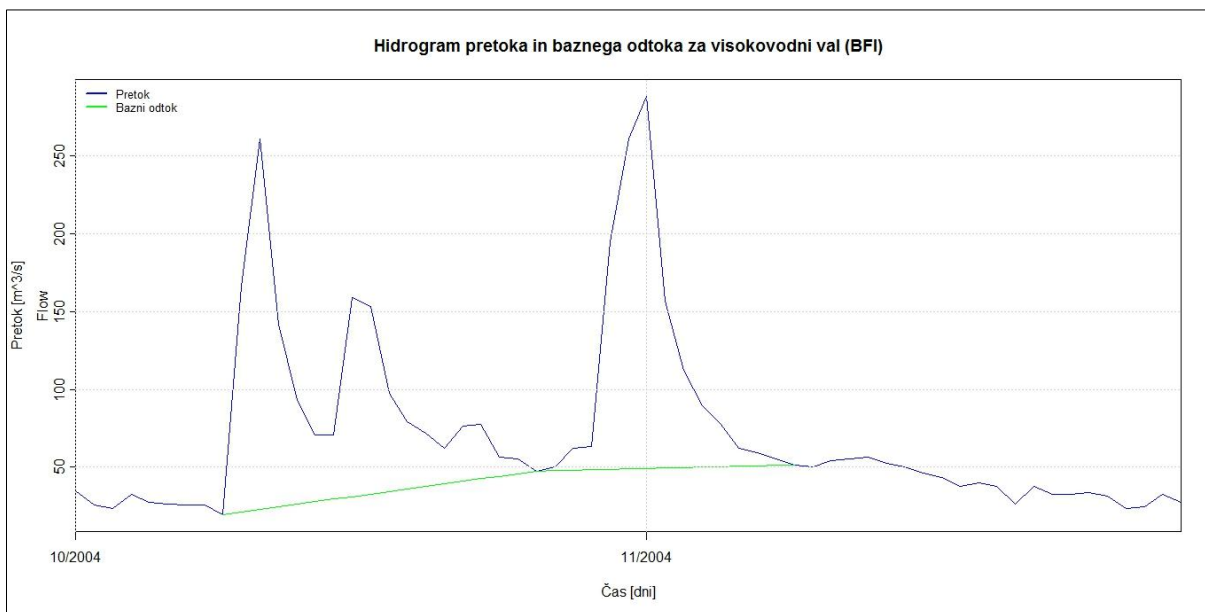
	Število prehodov		
	1	2	3
<b>Volumen visokovodnega vala 10<sup>6</sup> [m<sup>3</sup>]</b>	1144,57	6766,40	17640,49
<b>Volumen baznega odtoka 10<sup>6</sup> [m<sup>3</sup>]</b>	588,28	3502,79	7371,12
<b>Trajanje [dni]</b>	10	33	50
<b>Delež baznega odtoka</b>	0,514	0,518	0,418

c) Metoda *BaseflowSeparation* - parameter filtra 0,95Slika 30: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za visokovodni val v Radovljici I – metoda *BaseflowSeparation* parameter filtra 0,95

Preglednica 6: Delež baznega odtoka visokovodnega vala pri parametru filtra 0,95

	Število prehodov		
	1	2	3
<b>Volumen visokovodnega vala <math>10^6</math> [m<sup>3</sup>]</b>	1332,90	6766,40	17640,49
<b>Volumen baznega odtoka <math>10^6</math> [m<sup>3</sup>]</b>	666,52	3217,08	6482,71
<b>Trajanje [dni]</b>	11	33	50
<b>Delež baznega odtoka</b>	0,500	0,475	0,367

d) *Metoda BFI*



Slika 31: Hidrogram pretoka in baznega odtoka za visokovodni val v Radovljici I – metoda BFI

Preglednica 7: Analiza visokovodnega vala – metoda BFI

	<b>Metoda BFI</b>
<b>Volumen visokovodnega vala <math>10^6</math> [m<sup>3</sup>]</b>	2113,42
<b>Volumen baznega odtoka <math>10^6</math> [m<sup>3</sup>]</b>	961,46
<b>Trajanje [dni]</b>	15
<b>Delež baznega odtoka</b>	0,455

### 5.7 Primerjava deležev baznega odtoka za izbrani visokovodni val

Deleži baznega odtoka se pri vseh uporabljenih metodah gibljejo okrog vrednosti 0,500. Največa vrednost deleža baznega odtoka je pri vrednosti parametra filtra 0,9 in dvakratnem prehodu čez podatke. Pri tem traja visokovodni val 33 dni. Najmanjši delež baznega odtoka je pri vrednosti parametra filtra 0,95 in trikratnem prehodu čez podatke, visokovodni val pa traja 50 dni. Ob konstantni vrednosti parametra filtra 0,9 in 0,925 je delež baznega odtoka največji pri dvakratnem prehodu čez podatke in najmanjši pri trikratnem prehodu čez podatke. Pri vrednosti parametra filtra 0,95 je delež baznega odtoka največji pri enkratnem prehodu čez podatke, z večanjem števila prehodov pa se delež zmanjšuje. Pri metodi BFI je delež baznega odtoka 0,455, visokovodni val pa traja 15 dni. Delež baznega odtoka metode BFI je najbolj primerljiv z metodo *BaseflowSeparation* pri vrednosti parametra filtra 0,95 in dvakratnem prehodu čez podatke, vendar pri tej metodi visokovodni val traja 33 dni.

Pri parametru filtra 0,925 in 0,95 se pri trikratnem prehodu čez podatke pojavi sestavljeni hidrogram baznega odtoka, ki obravnava skupno več konic, zaradi tega je tudi trajanje visokovodnega vala daljše in traja 50 dni.

Preglednica 8: Primerjava deležev baznega odtoka po različnih metodah za izbrani visokovodni val

<b>Primerjava deležev baznega odtoka</b>			
<b>Parameter filtra</b>	<b>Število prehodov</b>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
0,9	0,517	0,551	0,527
0,925	0,514	0,518	0,418
0,95	0,500	0,475	0,367
<b>BFI</b>	0,455		

Metoda BFI izmed vseh metod (enkratno, dvakratno, trikratno filtriranje in spreminjanje filtrov 0,9 do 0,95) za izbrani val najprimerneje izloči bazni odtok od preostalega pretoka. To pomeni, da zajame vsak visokovodni val posebej in najprimerneje izmed vseh metod izbere začetek, potek in konec hidrograma baznega odtoka. Iz tega razloga smo v nadaljevanju naloge uporabili metodo BFI tudi za ostale vodomerne postaje R Slovenije.

## 6 ANALIZA VISOKOVODNIH VALOV NA POSAMEZNIH VODOMERNIH POSTAJAH V SLOVENIJI

V analizo visokovodnih valov posameznih vodomernih postaj smo vključili 50 postaj v Sloveniji (preglednica 9), ki imajo dovolj dolga obdobja opazovanj (vsaj 30 let). Vključene so bile 4 postaje v porečju Mure, 3 v porečju Drave, 28 v porečju Save, 13 v porečju Soče in 2 v porečju Jadranskih rek (slika 32). Obdobja posameznih postaj, ki smo jih obravnavali, so imela različna trajanja. Najkrajše obravnavano obdobje je pripadalo postaji Kokra I na Kokri in sicer 30 let (1926–1956), najdaljše obravnavano obdobje pa je pripadalo postaji Radovljica I na reki Savi in sicer 100 let (1910–2010). Območja prispevnih površin posameznih postaj se gibljejo med 8,61 in 10391,44 km<sup>2</sup>. Najmanjša prispevna površina (8,61 km<sup>2</sup>) pripada postaji Mlino I na Jezernici in največja prispevna površina (10391,44 km<sup>2</sup>) postaji Petanjci na reki Muri. Območje prispevne površine za postajo Verd I na reki Ljubiji je kraško, zato prispevne površine nismo mogli določiti.



Slika 32: Prikaz obravnavanih vodomernih postaj po Sloveniji

Preglednica 9: Obravnavane vodomerne postaje v Sloveniji

Šifra postaje	Ime postaje	Ime vodotoka	Obravnavano obdobje	Prispevna površina [km <sup>2</sup> ]
1060	Gornja Radgona I	Mura	1946–2010	10197,20
1070	Petanjci	Mura	1956–2010	10391,44
1140	Pristava I	Ščavnica	1954–2010	272,54
1220	Polana I	Ledava	1956–2010	208,21

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 9

2250	Otiški Vrh I	Meža	1953–2010	550,89
2432	Muta I	Bistrica	1954–2010	146,55
2900	Zamušani I	Pesnica	1946–2010	477,8
3060	Jesenice	Sava Dolinka	1918–2010	257,56
3180	Podhom	Radovna	1933–2010	166,79
3200	Sveti Janez	Sava Bohinjka	1951–2010	93,99
3400	Mlino I	Jezernica	1956–2010	8,61
3420	Radovljica I	Sava	1910–2010	907,97
3740	Radeče	Sava	1909–1994	7083,70
4025	Ovsiše II	Lipnica	1955–2007	56,47
4050	Preska	Tržiška Bistrica	1958–2010	121,00
4120	Kokra I	Kokra	1926–1956	112,34
4200	Suha I	Sora	1945–2010	566,34
4740	Rakovec I	Sotla	1946–2010	559,99
4820	Petrina	Kolpa	1952–2010	460,00
4850	Radenci II	Kolpa	1947–2010	1191,00
4860	Metlika	Kolpa	1926–2009	2002,00
4970	Gradac	Lahinja	1952–2010	221,32
5078	Moste I	Ljubljana	1924–2010	1762,32
5240	Verd I	Ljubija	1952–2009	/
5770	Cerknica I	Cerkniščica	1954–2010	47,29
6020	Solčava I	Savinja	1949–2010	63,70
6060	Nazarje	Savinja	1926–2010	457,30
6200	Laško I	Savinja	1946–2010	1663,60
6240	Kraše	Dreta	1959–2010	100,84
6300	Šoštanj	Paka	1920–2010	131,2
6630	Levec I	Ložnica	1954–2010	102,89
6691	Črnomlja I	Voglajna	1959–2010	54,72
7030	Podbukovje	Krka	1959–2010	321,44
7160	Podbočje	Krka	1926–2010	2238,12
7380	Škocjan	Radulja	1961–2010	107,96
8031	Kršovec I	Soča	1945–2010	158,06
8060	Log Čezsoški	Soča	1948–2010	324,74
8080	Kobarid I	Soča	1947–2010	437,02
8180	Solkan I	Soča	1945–2010	1572,8
8242	Kal - Koritnica I	Koritnica	1954–2010	86,04
8270	Žaga	Učja	1954–2010	50,21
8350	Podroteja I	Idrijca	1954–2010	112,84
8450	Hotešček	Idrijca	1949–2010	442,83
8480	Dolenja Trebuša	Trebuša	1954–2010	54,7
8500	Bača pri Modreju	Bača	1949–2010	142,31
8560	Vipava I	Vipava	1948–2010	131,9

se nadaljuje ...



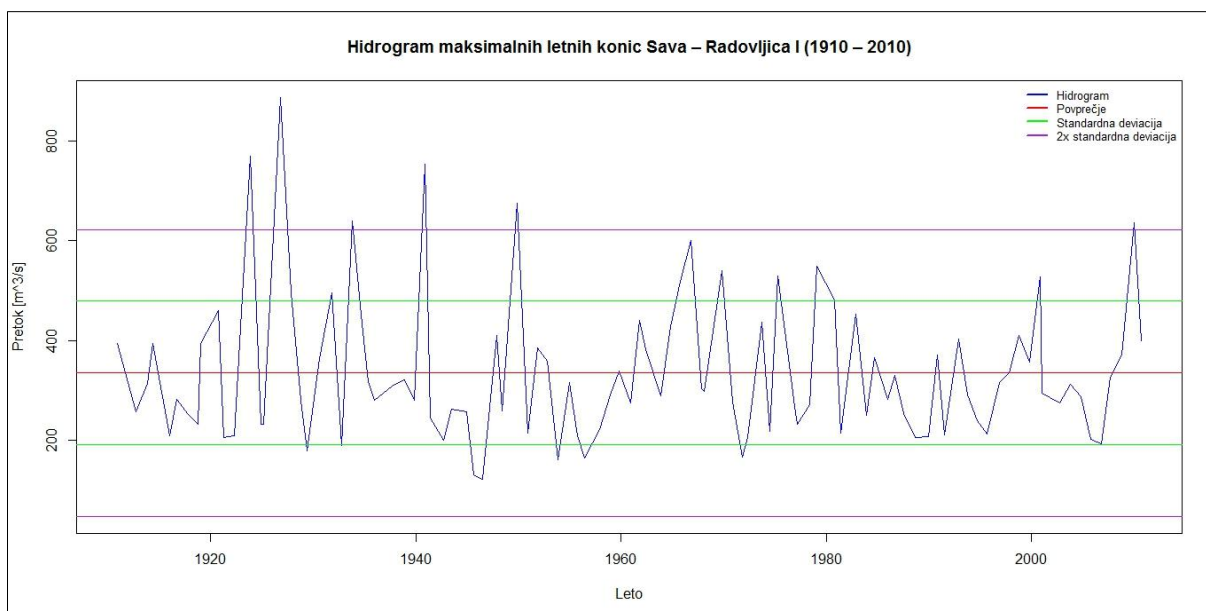
... nadaljevanje Preglednice 9

8590	Dornberk	Vipava	1951–2010	468,51
8601	Miren I	Vipava	1950–2010	589,97
9050	Cerkvenikov mlin	Reka	1952–2010	377,89
9210	Kubed II	Rižana	1947–2010	204,50

## 6.1 Primer analize vodomerne postaje Radovljica I na Savi (1910–2010)

### 6.1.1 Analiza visokovodnih konic

Na sliki 33 so prikazane vrednosti letnih maksimumov pretokov na vodomerni postaji Radovljica I na Savi za obdobje meritev 1910–2010. Označena je srednja vrednost in območji standardne deviacije ter dvakratne standardne deviacije. Standardna deviacija prikazuje mero razpršenosti vzorca. Od vseh obravnavanih vrednosti odstopa šest konic, ki padejo zunaj območja dvakratnika standardne deviacije (slika 33). Največji pretok, ki se je zgodil v obravnavanem časovnem obdobju, je iz leta 1926, njegova vrednost je bila  $887 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Slika 33: Hidrogram maksimalnih letnih konic Radovljice I na Savi (1910–2010)

Preglednica 10 podaja ocene opisnih statistik za vodomerno postajo Radovljica I na Savi za obdobje meritev 1910–2011.

Preglednica 10: Ocene opistnih statistik letnih konic obravnavanih visokovodnih valov Radovljice I na Savi (1910–2010)

<b>povprečje</b>	334,99 [m <sup>3</sup> /s]
<b>maksimum</b>	887,00 [m <sup>3</sup> /s]
<b>minimum</b>	122,00 [m <sup>3</sup> /s]
<b>standardna deviacija</b>	143,85 [m <sup>3</sup> /s]
<b>varianca</b>	20693,95 [m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> ]
<b>mediana</b>	292,80 [m <sup>3</sup> /s]
<b>modus</b>	232,00 [m <sup>3</sup> /s]
<b>koeficient sploščenosti</b>	2,36
<b>koeficient asimetrije</b>	1,43

Analiza sezonskosti pojavljanja visokovodnih valov v obravnavanem obdobju je pokazala, da se je več kot polovica konic zgodila v jesenskem obdobju. Spomladansko in poletno obdobje pa sta imela približno enako zastopanost visokovodnih valov. Alpski dežno-snežni režim ima dva izrazita vrhunca: jesenskega in spomladanskega. Na primeru Radovljice I smo ugotovili, da je jesenski vrhunec, ki je posledica padavin, izrazitejši od spomladanskega, ki je v večini primerov posledica taljenja snega. Najmanjši pretoki so bili doseženi v poletnem obdobju, kar se ujema z značilnostmi obravnavanega režima.

### 6.1.2 Analiza volumnov visokovodnih valov

Preglednica 11 podaja ocene opisnih statistik vzorca volumnov visokovodnih valov za obdobje 1910–2010. Največji volumen pripada valu iz leta 1940, ki je imel sicer tretjo največjo konico 754 m<sup>3</sup>/s in čas trajanja 24 dni. Val je imel dve konici, ki sta bili med seboj odvisni, zato smo ga obravnavali kot kompleksen hidrogram.

Preglednica 11: Ocene opisnih statistik vzorca volumnov obravnavanih visokovodnih valov za obdobje za obdobje 1910–2010

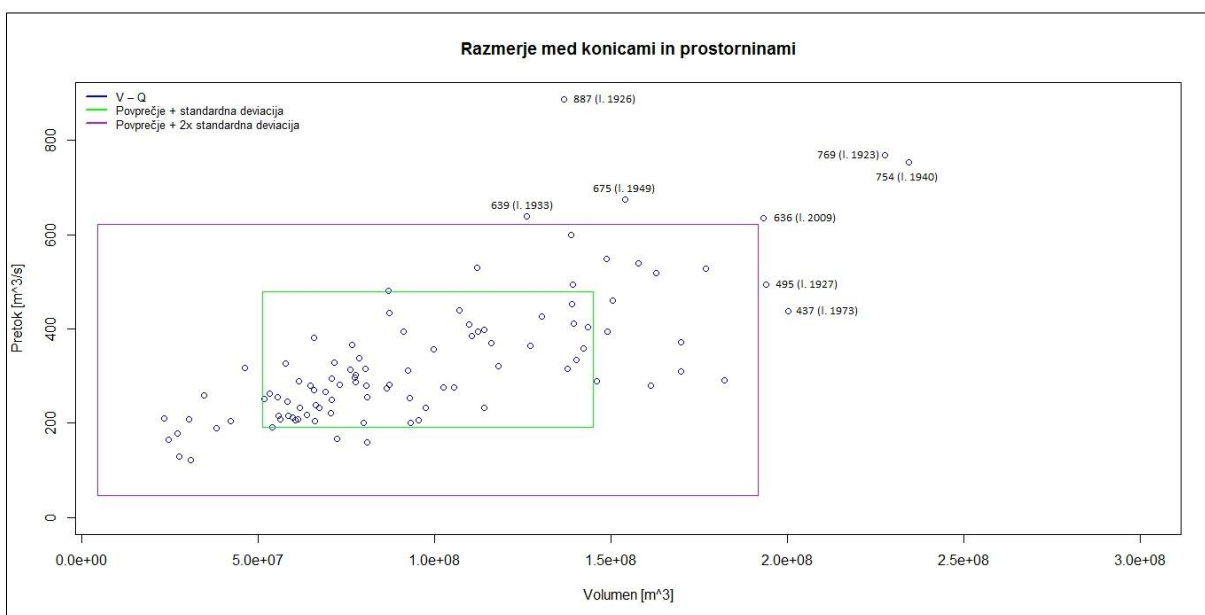
<b>povprečje</b>	98,16 [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]
<b>maksimum</b>	234,46 [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]
<b>minimum</b>	23,55 [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]
<b>standardna deviacija</b>	46,77 [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]
<b>varianca</b>	21,88 [10 <sup>14</sup> m <sup>6</sup> ]
<b>mediana</b>	86,77 [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 11

<b>modus</b>	ni opredeljen
<b>koeficient sploščenosti</b>	0,06
<b>koeficient asimetrije</b>	0,72

Slika 34 prikazuje razmerje med konicami in volumni visokovodnih valov. Vključno z že omenjenim valom iz leta 1926 pade zunaj območja dvakratnika standardne deviacije osem volumnov visokovodnih valov. Večina jih je imela tudi visoke konice (leta 1923, 1926, 1933, 1940, 1949, 2009) razen dveh valov iz leta 1927 in 1973, ki po velikosti konice nista izstopala. Ekstremne vrednosti volumnov teh valov so posledica večih zaporednih konic, razen dveh valov iz leta 1927 in 2009, ki sta imela samo eno konico.



Slika 34: Prikaz razmerja med konicami in volumni visokovodnih valov Radovljice I na Savi (1910–2010)

Izračunane vrednosti baznega odtoka so bile za obravnavane ekstremne dogodke, ki so v veliki meri posledica obilnih padavin in izrazitega površinskega odtoka, precej nizke. Vrednost povprečnega indeksa baznega odtoka, za Radovljico I v obdobju 1910–2010 je bila 0,374. Maksimalna vrednost indeksa baznega odtoka je pripadala valu iz leta 1956 in je bila 0,720. Minimalna vrednost je pripadala valu iz leta 1979 in je bila 0,144.

### 6.1.3 Analiza trajanj visokovodnih valov

Preglednica 12 prikazuje ocene opisnih statistik trajanj obravnavanih visokovodnih valov za obdobje 1910–2010. Najdaljše trajanje sta imela vala iz leta 1947 in 1952, nobeden izmed teh dveh valov pa ni imel izrazite konice. Najkrajše trajanje je imel val iz leta 1948 in sicer 7 dni.

Preglednica 12: Ocene opisnih statistik vzorca trajanj obravnavanih visokovodnih valov za obdobje 1910–2010

<b>povprečje</b>	18,26 [dni]
<b>maksimum</b>	33 [dni]
<b>minimum</b>	7 [dni]
<b>standardna deviacija</b>	6,05 [dni]
<b>varianca</b>	36,64 [dni <sup>2</sup> ]
<b>mediana</b>	17 [dni]
<b>modus</b>	14 [dni]
<b>koeficient sploščenosti</b>	-0,62
<b>koeficient asimetrije</b>	0,33

### 6.1.4 Analiza naklonov naraščanja in upadanja visokovodnih valov

Preglednica 13 prikazuje ocene opisnih statistik naklonov naraščanja in upadanja visokovodnih valov. Največji naklon naraščanja je imel visokovodni val iz leta 1927, najmanjšega pa visokovodni val iz leta 2006. Vrednost največjega naklona naraščanja je bila 468,80, pripadajoča vrednost naklona upadanja pa -44,00. Vrednost najmanjšega naklona naraščanja je bila 16,31, pripadajoča vrednost naklona upadanja pa 10,10. Visokovodni val z največjim naklonom naraščanja je trajal 11 dni, medtem ko je visokovodni val z najmanjšim naklonom naraščanja trajal 29 dni. Največji naklon upadanja je imel visokovodni val iz leta 2000, njegova vrednost je bila -88,64. Najmanjši naklon upadanja pa je imel visokovodni val iz leta 1953, njegova vrednost je bila -6,36.

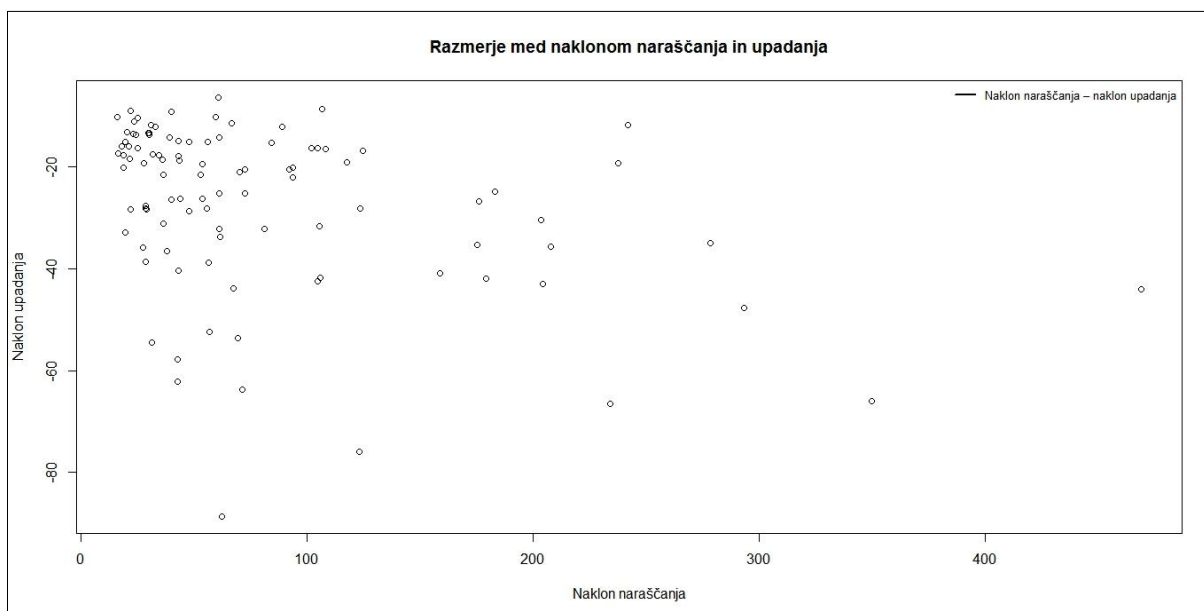
Preglednica 13: Ocene opisnih statistik naklonov naraščanja in upadanja obravnavanih valov vodomerne postaje Radovljica I za obdobje 1910–2010

	<b>Naklon naraščanja</b>	<b>Naklon upadanja</b>
<b>povprečje</b>	81,00	-27,06
<b>maksimum</b>	468,80	-88,64
<b>minimum</b>	16,31	-6,36

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 13

<b>standardna deviacija</b>	78,70	16,18
<b>varianca</b>	6193,09	261,70
<b>mediana</b>	54,89	-21,25
<b>modus</b>	ni opredeljen	ni opredeljen
<b>koeficient sploščenosti</b>	6,61	2,06
<b>koeficient asimetrije</b>	2,33	-1,42



Slika 35: Prikaz razmerja med naklonom naraščanja in upadanja visokovodnih valov Radovljice I na Savi (1910–2010)

### 6.1.5 Povezave med spremenljivkami

Slika 36 prikazuje korelacije med pretokom, volumnom in trajanjem visokovodnih valov vodomerne postaje Radovljica I (1910–2010) in histograme podatkov, ki prikazujejo lastnosti obravnavanih nizov. Največji koeficient korelacije je bil izračunan med konicami in volumni visokovodnih valov. Večja konica visokovodnega vala torej največkrat pomeni, da je tudi volumen visokovodnega vala velik. Manjši koeficient korelacije je bil izračunan med volumni in trajanji visokovodnih valov, najmanjši pa med konicami in trajanjem visokovodnih valov. Pričakovano je med konicami in trajanji valov najmanj povezave, saj lahko nadpovprečno veliki konici pripada tudi podpovprečno trajanje visokovodnega vala in obratno (nadpovprečno trajanje in podpovprečna konica) (Šraj in Bezak, 2013).

Slika 36a prikazuje histogram konic pretokov. Razvidno je, da se na vodomerni postaji Radovljica I najpogoste pojavljajo visokovodne konice med 200 in 300 m<sup>3</sup>/s. S histograma o volumnov

visokovodnih valov (slika 36e) lahko razberemo, da so najpogostejši volumni med  $6 \cdot 10^7$  in  $8 \cdot 10^7$  m<sup>3</sup> in najpogostejša trajanja visokovodnih valov (slika 36i) med 20 in 25 dni.

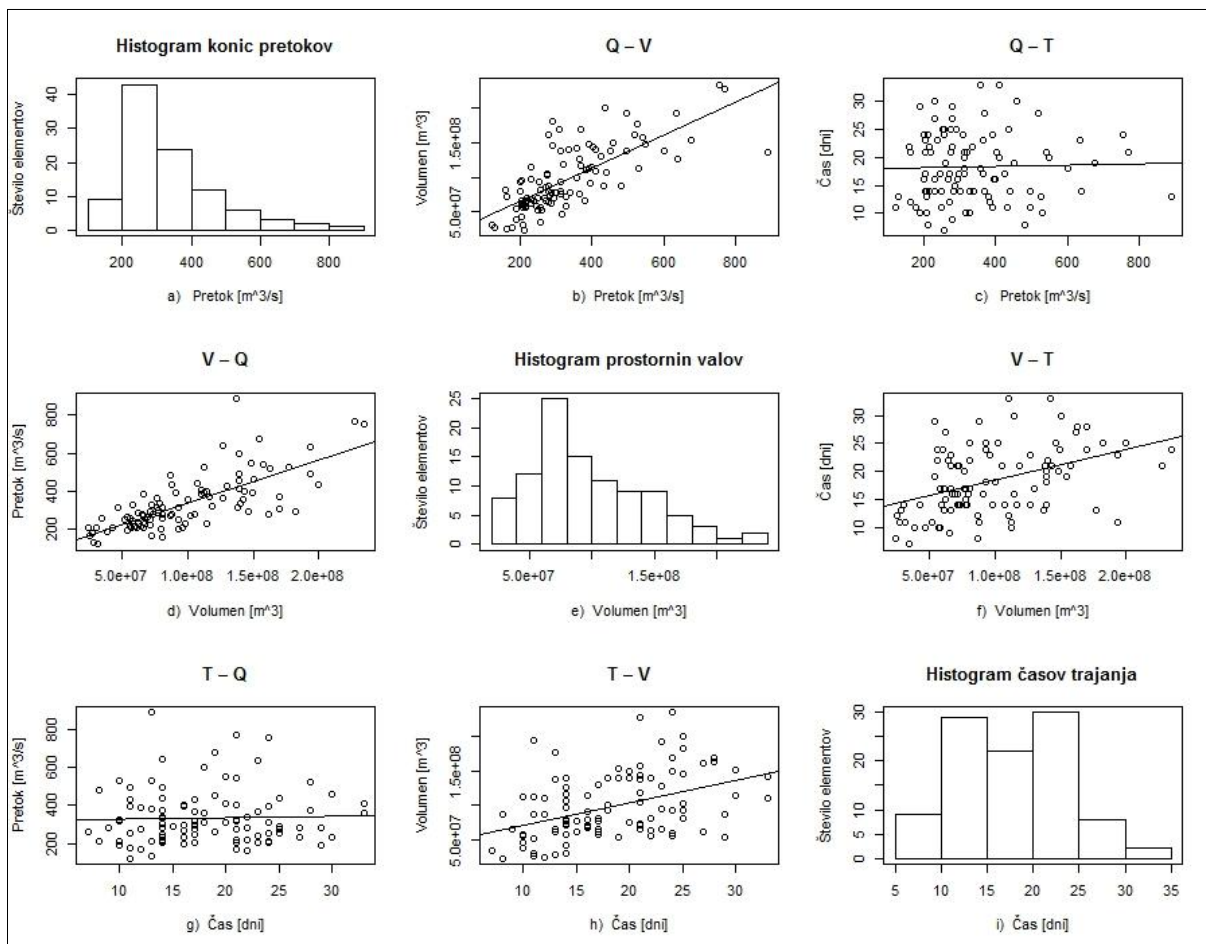
Na slikah 36b in 36d je prikazano razmerje med konicami in volumni visokovodnih valov. Pearsonov, Spearmanov in Kendallov koeficient korelacije so v tem primeru znašali: 0,741, 0,750 in 0,551. Pripadajoča p-vrednost za Pearsonov koeficient korelacije znaša  $2,2 \cdot 10^{-16}$ . Ker je izračunana p-vrednost manjša od izbrane stopnje značilnosti ( $\alpha = 0,05$ ) pomeni, da sta obravnavani spremenljivki statistično značilno linearno povezani.

Na slikah 36f in 36h je prikazano razmerje med volumni in trajanji visokovodnih valov. Pearsonov, Spearmanov in Kendallov koeficient korelacije so v tem primeru znašali: 0,425, 0,439 in 0,313. Vsi trije koeficienti so manjši kot koeficienti pri izračunu korelacije med konicami in volumni visokovodnih valov. Pripadajoča p-vrednost za Pearsonov koeficient korelacije znaša  $1,06 \cdot 10^{-5}$ , kar ponovno pomeni, da sta obravnavani spremenljivki statistično značilno linearno povezani. Izračunana p-vrednost je manjša od določene stopnje tveganja ( $\alpha = 0,05$ ).

Na slikah 36c in 36g je prikazano razmerje med konicami in trajanji visokovodnih valov. Pearsonov, Spearmanov in Kendallov koeficient korelacije so v tem primeru znašali: 0,030, 0,035 in 0,026. Vsi koeficienti korelacije imajo vrednost, ki je blizu nič. To pomeni, da med spremenljivkami ni linearne povezanosti. Pripadajoča p-vrednost za Pearsonov koeficient korelacije znaša 0,768, kar je več od izbrane stopnje značilnosti  $\alpha = 0,05$ . Ničelne hipoteze (spremenljivki sta neodvisni) s tveganjem  $\alpha = 0,05$  ne moremo zavrniti.

Preglednica 14: Izračunane vrednosti koeficientov korelacije med posameznimi spremenljivkami visokovodnih valov Radovljice I na Savi (1910–2010)

	Q – V		Q – T		V – T	
	korelacija	p-vrednost	korelacija	p-vrednost	korelacija	p-vrednost
<b>Pearson</b>	0,741	2,20E-16	0,030	0,768	0,425	1,06E-05
<b>Spearman</b>	0,750	2,20E-16	0,035	0,726	0,439	4,97E-06
<b>Kendall</b>	0,551	4,44E-16	0,026	0,713	0,313	6,33E-06



Slika 36: Prikaz korelacij med konicami, volumni in trajanji visokovodnih valov Radovljice I na Savi (1910–2010)

## 6.2 Povezava med pretokom in volumnom (Q – V) visokovodnih valov za obravnavane vodomerne postaje v Sloveniji

Preglednica 15 prikazuje rezultate Pearsonovih, Kendallovih in Spearmanovih koeficientov korelacije s pripadajočimi p-vrednostmi med konicami in volumni za obravnavane vodomerne postaje v Sloveniji.

Največji koeficient korelacije je bil izračunan za postajo Petanji na Muri (1956–2010). Pearsonov koeficient korelacije je v tem primeru znašal 0,862, s pripadajočo p-vrednostjo  $2,20 \cdot 10^{-16}$ . Spearmanov koeficient korelacije je znašal 0,826 in Kendallov koeficient korelacije 0,634. Kadar je koeficient korelacije blizu 1, govorimo o pozitivni korelaciji med dvema spremenljivkama. V našem primeru lahko zagotovo potrdimo, da velja, da je z visoko konico povezan velik volumen in obratno, ob podpovprečni konici je tudi volumen visokovodnega vala podpovprečen.

Najmanjši koeficient korelacije je bil izračunan za postajo Verd I na Ljubiji (1952–2009). Pearsonov koeficient korelacije je v tem primeru znašal  $-0,048$  s pripadajočo p-vrednostjo 0,723, Spearmanov

koeficient korelacije  $-0,066$  in Kendallov koeficient korelacije  $-0,033$ . Postaja Verd I na Ljubiji je izmed obravnavanih postaj edina, ki ima med konico in volumnom negativno korelacijo ter hkrati edina postaja s pripadajočo p-vrednostjo, ki je večja od določene stopnje tveganja ( $\alpha = 0,05$ ). Ničelne hipoteze (spremenljivki sta neodvisni) s tveganjem  $\alpha = 0,05$  v tem primeru ne moremo zavrni. Za postajo Verd I je že Kavčič (2012) pri poskusu hidrološke regionalizacije verjetnostnih analiz ugotovila, da te postaje ni mogoče uvrstiti v nobeno od homogenih skupin. V splošnem lahko rečemo, da predvsem postaje s kraškim zaledjem izkazujejo slabše rezultate kot npr. postaje na hudourniških vodotokih. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi v študiji za vodomerne postaje v Avstriji (Kohnova et al., 2013). Spearmanov koeficient korelacije (Q – V) je v avstrijskih analizah dosegal največje vrednosti v predelu severnih in vzhodnih nižin, najmanjše vrednosti pa na območju Alp.

Preglednica 15: Rezultati Pearsonovih, Spearmanovih in Kendallovih koeficientov korelacije in pripadajočih p-vrednosti (spremenljivki (Q – V)) za obravnavane vodomerne postaje v Sloveniji

Šifra postaje	Pearson		Spearman		Kendall	
	korelacija	p-vrednost	korelacija	p-vrednost	korelacija	p-vrednost
1060	0,734	3,44E-12	0,720	2,20E-16	0,533	3,55E-10
1070	0,862	2,20E-16	0,826	2,20E-16	0,634	1,32E-11
1140	0,433	7,57E-04	0,490	1,10E-04	0,347	1,41E-04
1220	0,614	6,23E-07	0,654	6,06E-08	0,479	2,44E-07
2250	0,660	1,78E-08	0,633	9,78E-08	0,459	3,67E-07
2432	0,668	1,41E-08	0,696	1,85E-09	0,504	3,35E-08
2900	0,675	9,87E-10	0,742	2,25E-12	0,537	3,63E-10
3060	0,663	4,57E-13	0,738	2,20E-16	0,555	3,55E-15
3180	0,646	1,76E-10	0,617	1,83E-09	0,445	8,39E-09
3200	0,620	1,24E-07	0,695	7,01E-10	0,517	5,76E-09
3400	0,589	2,74E-06	0,716	1,20E-09	0,536	1,80E-08
3420	0,741	2,20E-16	0,750	2,20E-16	0,551	4,44E-16
3740	0,590	2,80E-09	0,512	5,54E-07	0,368	6,48E-07
4025	0,630	2,66E-06	0,677	2,43E-07	0,522	3,32E-07
4050	0,503	1,45E-04	0,485	2,65E-04	0,345	3,11E-04
4120	0,691	1,66E-05	0,813	2,74E-08	0,618	1,23E-06
4200	0,637	1,13E-08	0,610	6,81E-08	0,454	9,34E-08
4740	0,687	2,71E-10	0,680	4,64E-10	0,498	4,63E-09
4820	0,512	3,37E-05	0,505	4,60E-05	0,368	3,89E-05
4850	0,466	1,05E-04	0,414	6,71E-04	0,286	8,46E-04
4860	0,503	1,09E-06	0,572	1,32E-08	0,397	9,35E-08
4970	0,562	3,57E-06	0,565	3,09E-06	0,397	8,98E-06
5078	0,312	0,003	0,284	7,74E-03	0,188	0,010
5240	-0,048	0,723	-0,066	0,624	-0,032	0,722
5770	0,356	0,007	0,303	0,023	0,214	0,020
6020	0,708	1,72E-10	0,690	7,94E-10	0,501	1,24E-08
6060	0,658	7,99E-12	0,646	2,52E-11	0,472	1,72E-10

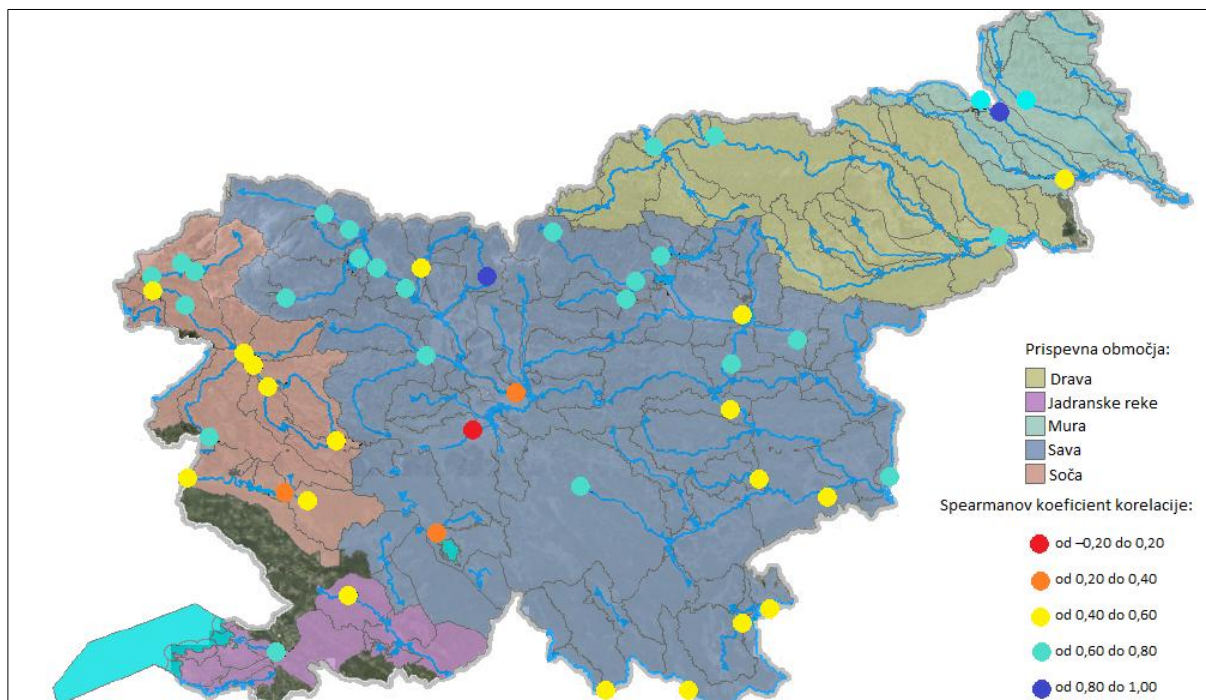
se nadaljuje ...



... nadaljevanje Preglednice 15

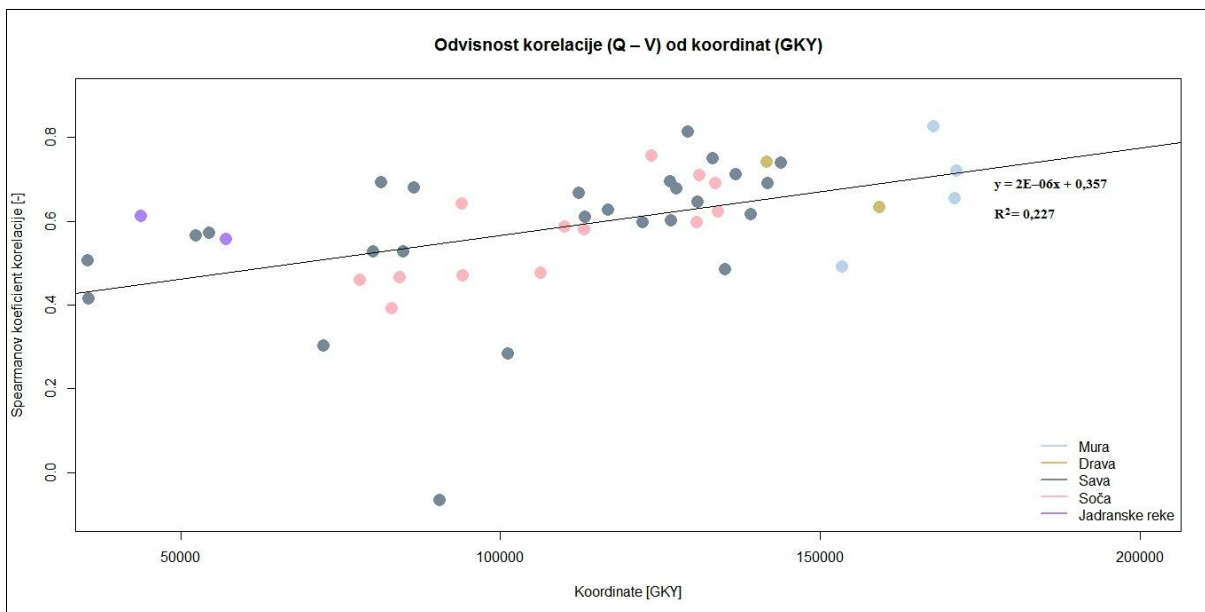
6200	0,703	6,85E-11	0,666	1,37E-09	0,486	1,04E-08
6240	0,700	7,64E-09	0,602	2,30E-06	0,440	4,21E-06
6300	0,750	2,20E-16	0,712	5,10E-15	0,531	2,02E-13
6630	0,652	5,20E-08	0,597	1,17E-06	0,438	1,97E-06
6691	0,571	1,22E-05	0,626	8,83E-07	0,449	3,51E-06
7030	0,739	4,08E-10	0,693	1,28E-08	0,533	2,75E-08
7160	0,556	4,99E-08	0,528	2,86E-07	0,380	4,05E-07
7380	0,585	8,22E-06	0,528	8,12E-05	0,363	2,03E-04
8031	0,738	1,58E-12	0,690	1,44E-10	0,498	3,52E-09
8060	0,768	2,13E-13	0,709	8,18E-11	0,537	5,09E-10
8080	0,808	8,88E-16	0,757	4,44E-13	0,580	1,36E-11
8180	0,706	3,57E-11	0,641	1,57E-08	0,464	3,66E-08
8242	0,559	7,48E-06	0,622	3,03E-07	0,456	7,23E-07
8270	0,640	8,29E-08	0,597	9,69E-07	0,443	1,17E-06
8350	0,564	4,93E-06	0,470	2,26E-04	0,334	2,50E-04
8450	0,634	3,10E-08	0,587	5,44E-07	0,419	1,55E-06
8480	0,452	4,11E-04	0,476	1,83E-04	0,339	2,01E-04
8500	0,544	4,91E-06	0,580	7,74E-07	0,416	1,80E-06
8560	0,377	2,36E-03	0,459	1,52E-04	0,324	1,78E-04
8590	0,371	3,78E-03	0,392	2,11E-03	0,272	2,36E-03
8601	0,456	2,25E-04	0,465	1,59E-04	0,320	2,78E-04
9050	0,552	5,75E-06	0,557	4,54E-06	0,378	2,39E-05
9210	0,565	1,16E-06	0,611	8,06E-08	0,443	2,44E-07

Slika 37 prikazuje prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije po razredih, glede na vrednost korelacijskega koeficienta. Največ obravnavanih postaj ima vrednost koeficienta korelacije med 0,60 in 0,80. Z dobro korelacijo izstopata postaja Petanjci na Muri (1956–2010) in postaja Kokra I na Kokri (1926–1956), ki imata koeficient korelacije v razredu od 0,80 do 1,00.

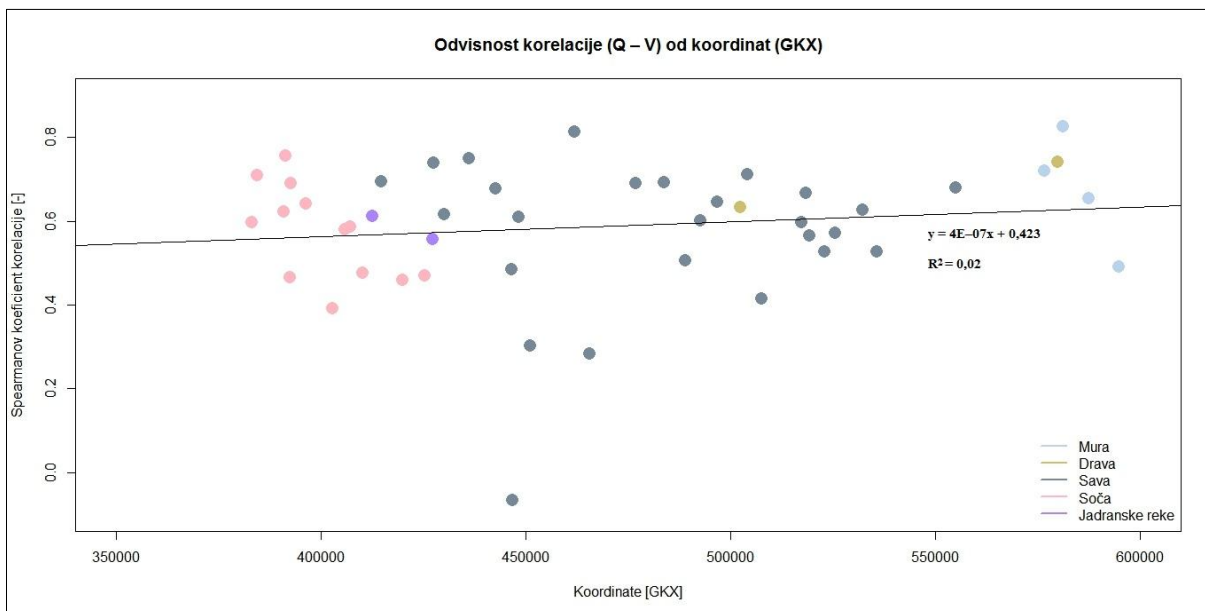


Slika 37: : Prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije med konico in volumnom visokovodnega vala po razredih

Sliki 38 in 39 prikazujeta odvisnost korelacije ( $Q - V$ ) od lokacije postaje oz. Gauss-Krugerjevih koordinat (GKY in GKK). Opazen je trend naraščanja med Spearmanovim koeficientom korelacije ( $Q - V$ ) in koordinatami GKY (slika 38). Trend korelacije narašča v smeri od juga proti severu Slovenije. Odvisnost med Spearmanovim koeficientom korelacije ( $Q - V$ ) in koordinatami GKK pa je minimalna in rahlo narašča od zahoda proti vzhodu države (slika 39). Najvišje vrednosti korelacije med konico in volumnom dosega postaje porečja Mure, medtem ko postaje porečja Soče, Krke in Ljubljance dosega najmanjši koeficient korelacije med konico in volumnom.

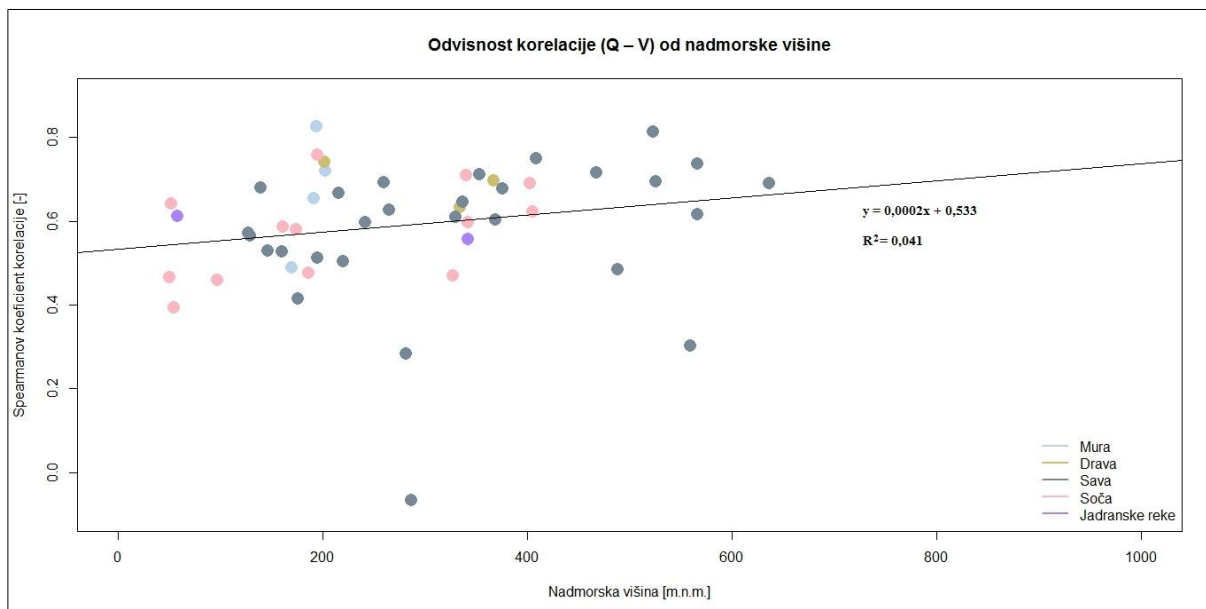


Slika 38: Odvisnost korelacije (Q – V) od koordinat (GKY)



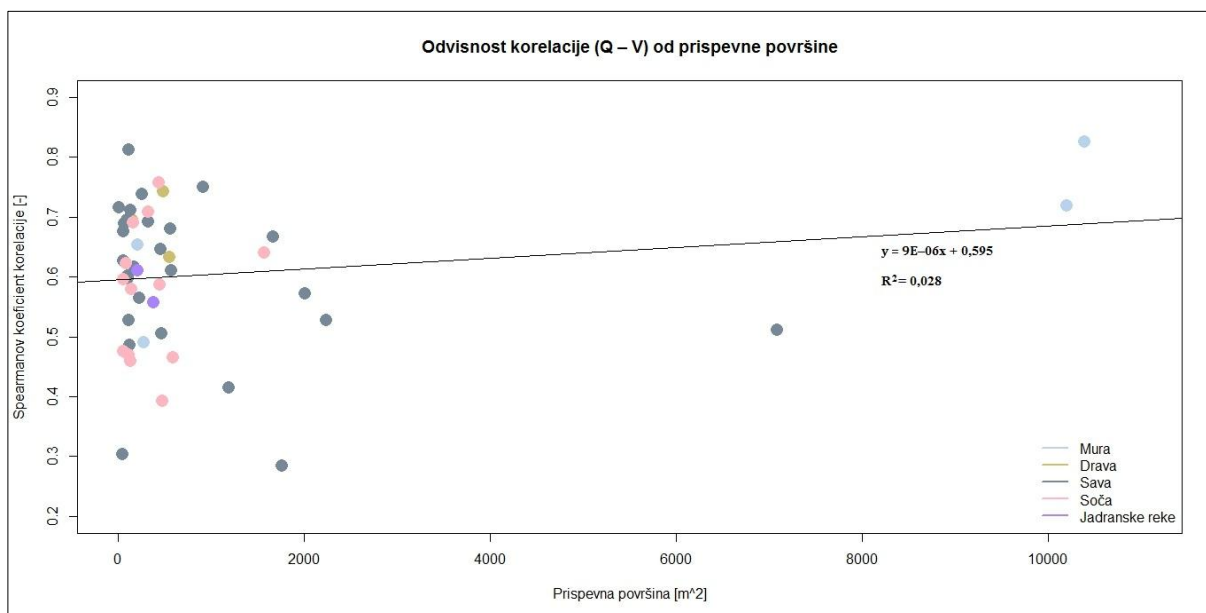
Slika 39: Odvisnost korelacije (Q – V) od koordinat (GKX)

Slika 40 prikazuje odvisnost korelacije (Q – V) od nadmorske višine. Pri tem opazimo rahel trend naraščanja korelacije, kar pomeni, da se z večanjem nadmorske višine povečuje tudi vrednost Spearmanovega koeficienta korelacije (Q – V).



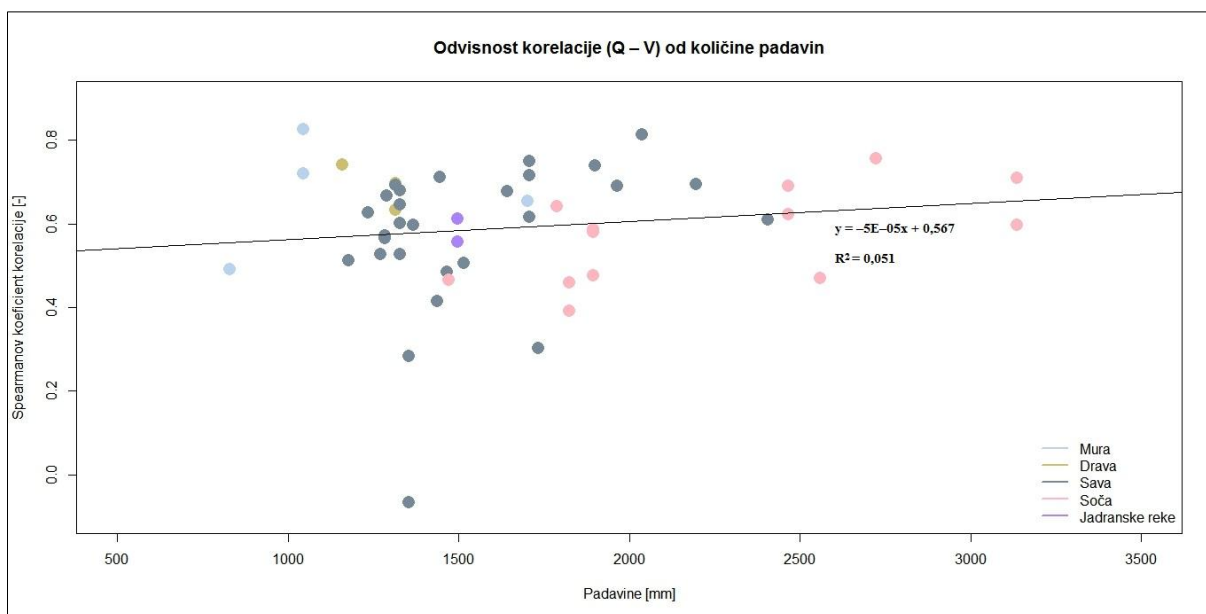
Slika 40: Odvisnost korelacije (Q – V) od nadmorske višine

Slika 41 prikazuje odvisnost korelacije (Q – V) od prispevne površine. Izrazito veliko prispevno površino imata dve vodomerni postaji, ki pripadata porečju Mure. Postaji imata poleg velike prispevne površine velik koeficient korelacije med konico in volumnom. Imajo pa tudi postaje z zelo majhno prispevno površino velike koeficiente korelacije. Viden je rahel trend naraščanja trendne črte med Spearmanovim koeficientom korelacije (Q – V) in velikostjo prispevne površine, vendar o očitni povezavi med spremenljivkama ne moremo govoriti.



Slika 41: Odvisnost korelacije (Q – V) od prispevne površine

Slika 42 prikazuje odvisnost korelacije (Q – V) od količine padavin. Razvidno je, da se delež padavin zmanjšuje od zahoda (porečje reke Save) proti vzhodu (porečje reke Mure). Trend naraščanja korelacije med Spearmanovim koeficientom korelacije (Q – V) in količino padavin je majhen.



Slika 42: Odvisnost korelacije (Q – V) od količine padavin

### 6.3 Povezava med pretokom in trajanjem (Q – T) visokovodnih valov za obravnavane vodomerne postaje v Sloveniji

Preglednica 16 prikazuje rezultate Pearsonovih, Kendallovih in Spearmanovih p-vrednosti in koeficientov korelacije med konico in trajanjem.

Preglednica 16: Rezultati Pearsonovih, Spearmanovih in Kendallovih p-vrednost in koeficientov korelacije (spremenljivki (Q – T)) za posamezne postaje

Šifra postaje	Pearson		Spearman		Kendall	
	korelacija	p-vrednost	korelacija	p-vrednost	korelacija	p-vrednost
1060	0,204	0,104	0,198	0,114	0,132	0,126
1070	0,305	0,025	0,300	0,027	0,204	0,033
1140	0,007	0,959	-0,003	0,984	-0,008	0,929
1220	-0,202	0,139	-0,223	0,102	-0,153	0,103
2250	0,079	0,556	0,024	0,857	0,019	0,835
2432	-0,016	0,907	0,001	0,994	0,009	0,923
2900	-0,068	0,595	-0,038	0,767	-0,027	0,754
3060	0,030	0,778	-0,053	0,612	-0,031	0,665
3180	0,072	0,533	0,018	0,873	0,006	0,935

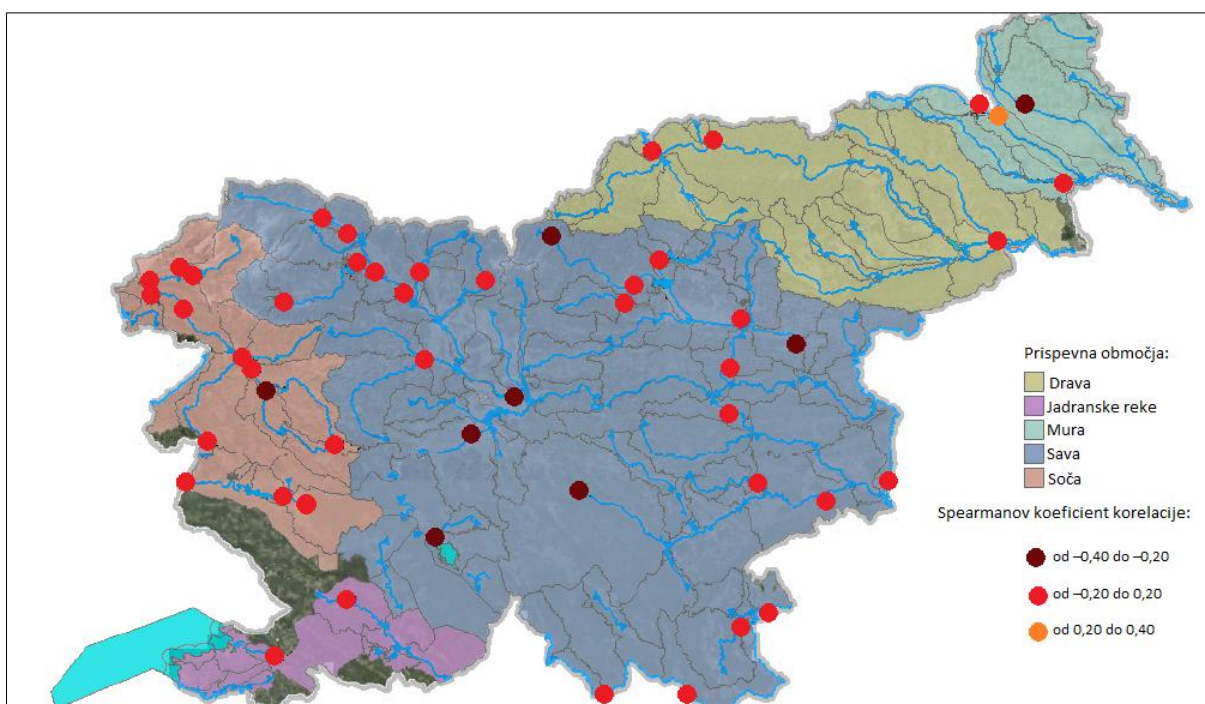
se nadaljuje ...

...nadaljevanje Preglednice 16

3200	0,109	0,408	-0,010	0,938	-0,003	0,975
3400	0,108	0,431	0,123	0,372	0,081	0,398
3420	0,030	0,768	0,035	0,726	0,026	0,713
3740	0,058	0,600	0,078	0,480	0,048	0,523
4025	0,104	0,492	0,121	0,424	0,090	0,388
4050	-0,093	0,513	-0,164	0,244	-0,125	0,200
4120	-0,180	0,332	-0,107	0,566	-0,089	0,495
4200	0,013	0,917	0,005	0,968	0,004	0,964
4740	-0,035	0,783	-0,056	0,660	-0,035	0,687
4820	0,008	0,952	0,057	0,668	0,036	0,694
4850	-0,105	0,407	-0,103	0,419	-0,075	0,390
4860	0,073	0,512	0,096	0,387	0,064	0,397
4970	0,199	0,131	0,188	0,155	0,123	0,175
5078	-0,162	0,133	-0,211	0,050	-0,143	0,055
5240	-0,282	0,032	-0,396	0,002	-0,271	0,004
5770	-0,311	0,020	-0,324	0,015	-0,225	0,016
6020	-0,027	0,839	-0,070	0,591	-0,046	0,609
6060	0,032	0,771	0,004	0,973	0,002	0,979
6200	0,122	0,335	0,098	0,439	0,074	0,395
6240	-0,032	0,822	-0,063	0,657	-0,042	0,664
6300	0,058	0,590	-0,010	0,928	-0,001	0,992
6630	-0,054	0,693	-0,058	0,671	-0,034	0,718
6691	-0,287	0,041	-0,272	0,053	-0,176	0,072
7030	0,310	0,025	0,217	0,122	0,149	0,125
7160	0,146	0,187	0,158	0,154	0,105	0,167
7380	-0,055	0,705	-0,039	0,786	-0,038	0,706
8031	-0,032	0,797	0,007	0,957	0,007	0,934
8060	-0,053	0,680	-0,046	0,719	-0,017	0,845
8080	0,201	0,111	0,142	0,262	0,096	0,268
8180	0,004	0,972	-0,111	0,376	-0,077	0,369
8242	-0,072	0,596	0,054	0,691	0,015	0,871
8270	0,032	0,815	0,028	0,837	0,021	0,820
8350	-0,036	0,791	-0,078	0,562	-0,056	0,544
8450	-0,002	0,989	-0,020	0,877	-0,012	0,894
8480	-0,232	0,082	-0,265	0,047	-0,180	0,053
8500	-0,093	0,470	-0,024	0,850	-0,021	0,812
8560	-0,183	0,151	-0,129	0,315	-0,093	0,290
8590	-0,201	0,126	-0,140	0,289	-0,107	0,241
8601	-0,120	0,358	-0,063	0,631	-0,023	0,798
9050	0,112	0,398	-0,007	0,957	0,004	0,969
9210	-0,023	0,854	0,026	0,840	0,014	0,876

Rezultati kažejo, da v večini primerov obravnavanih postaj med konico in trajanjem visokovodnega vala prevladuje negativna korelacija. To pomeni, da sta v večini primerov konica in trajanje vala obratno sorazmerna. Dobljene vrednosti Spearmanovega koeficienta korelacije se gibljejo od vrednosti  $-0,396$  (Verd I – Ljubija) pa do vrednosti  $0,310$  (Podbukovje – Krka).

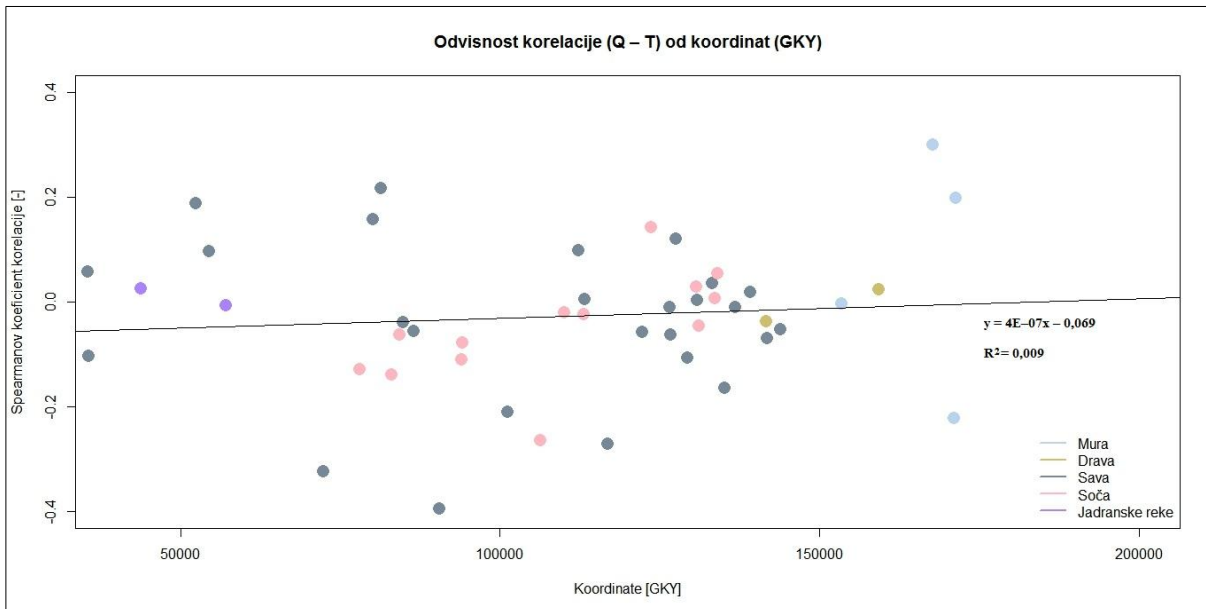
Slika 43 prikazuje prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije med konico in trajanjem po razredih. Vrednosti, ki prevladujejo, se gibljejo med  $-0,20$  in  $0,20$ . Izstopa postaja Petanjci na Muri (1956–2010), ki ima edina izmed obravnavanih postaj vrednost koeficienta korelacije v razredu od  $0,20$  in  $0,40$ .



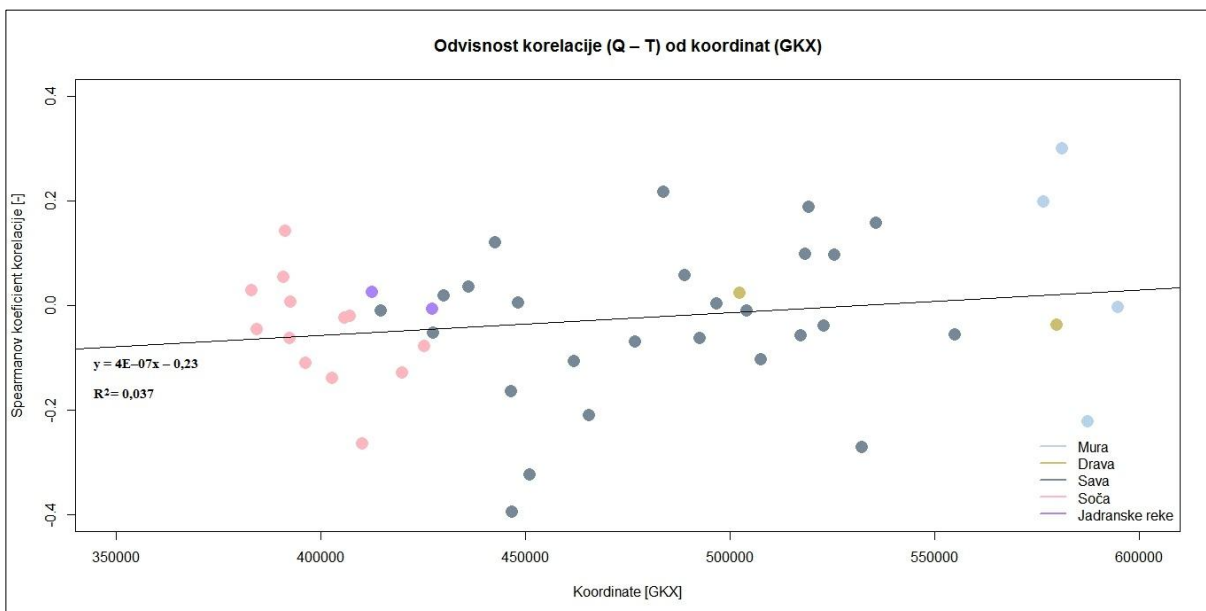
Slika 43: Prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije med konico in trajanjem visokovodnega vala po razredih

Če primerjamo rezultate s korelacijskimi koeficienti med konico in volumnom, lahko vidimo, da imajo korelacijski koeficienti med konico in trajanjem nižje vrednosti. Lahko zaključimo, da za večino postaj velja, da veliki konici pripada kratko trajanje visokovodnega vala in obratno. Podobno sta ugotovila tudi Šraj in Bezak (2013) za vodomerno postajo Litija I na Savi.

Slika 44 in 45 prikazujeta odvsnost korelacije (Q – T) od Gauss-Krugerjevih koordinat (GKY in GKX). Neke očitne povezave ni opaziti.



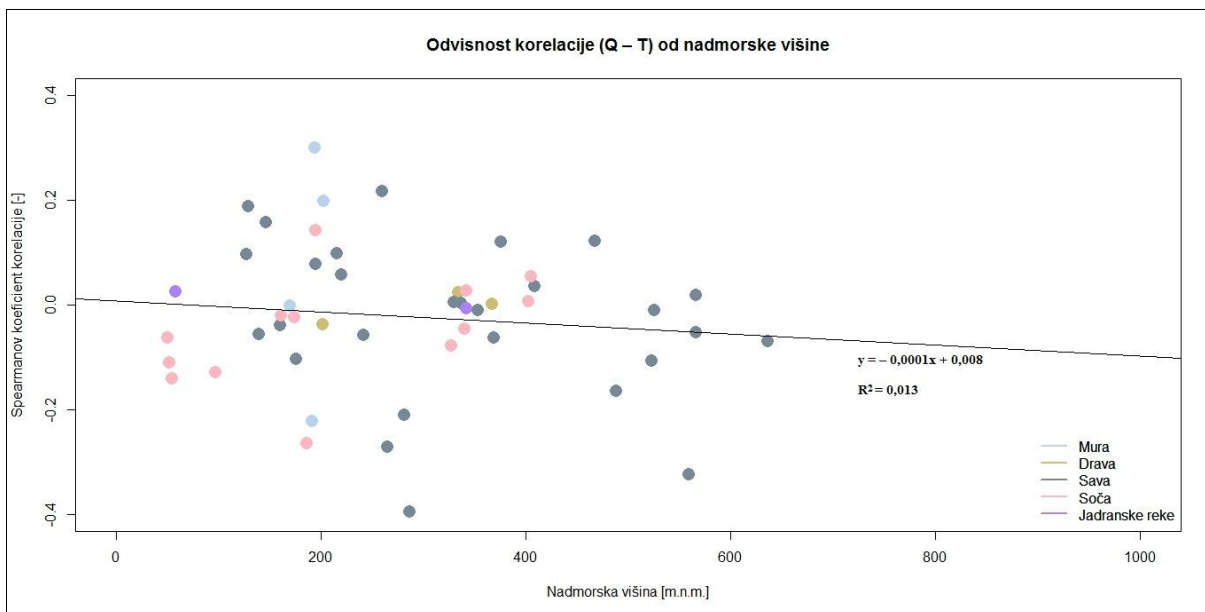
Slika 44: Odvisnost korelacije (Q – T) od koordinat (GKY)



Slika 45: Odvisnost korelacije (Q – T) od koordinat (GKX)

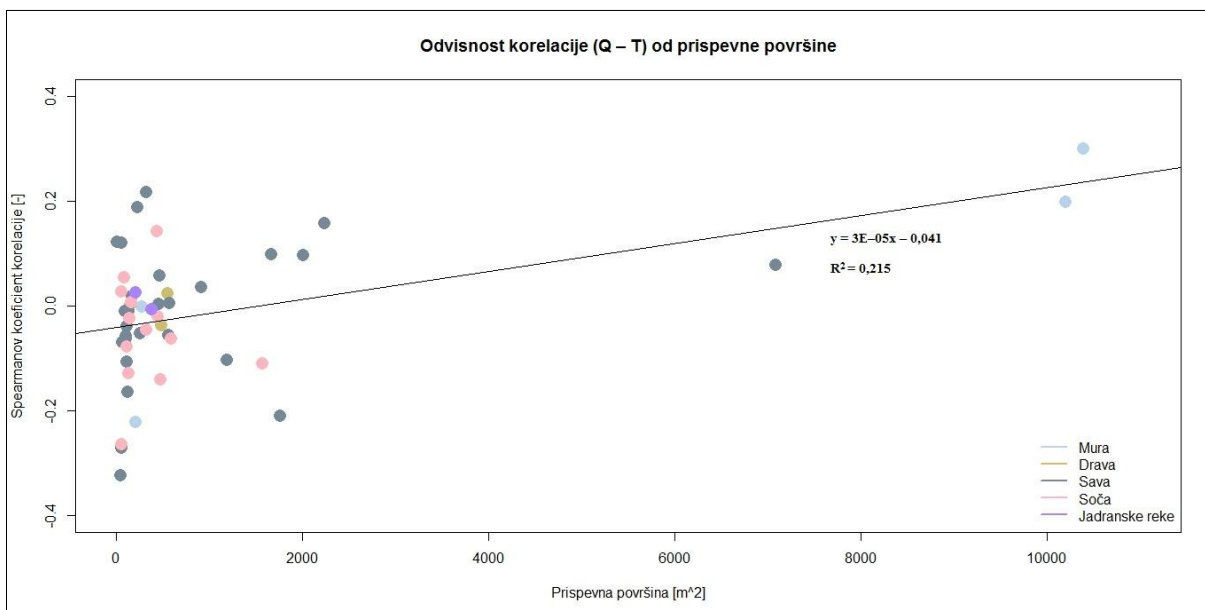
Slika 46 prikazuje odvisnost korelacije (Q – T) od nadmorske višine. Vidimo, da je trend korelacije rahlo negativen, torej da korelacijski koeficient (Q – T) z nadmorsko višino pada.





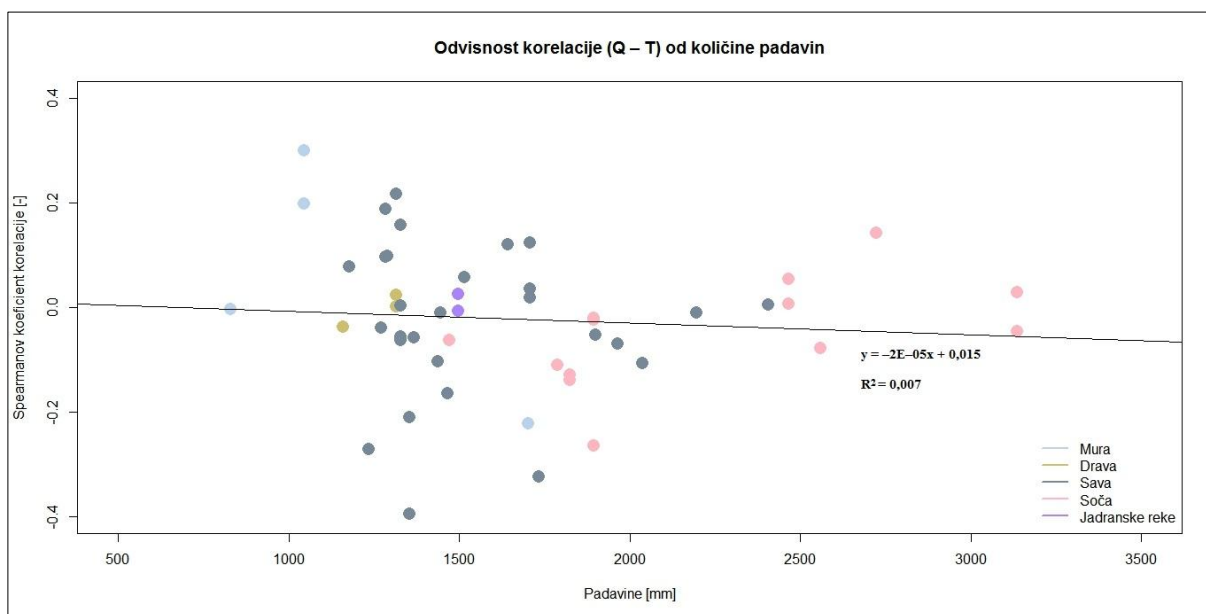
Slika 46: Odvisnost korelacije (Q – T) od nadmorske višine

Slika 47 prikazuje odvisnost korelacije od prispevne površine. Dve izstopajoči vodomerni postaji porečja reke Mure, ki izstopata po velikosti prispevne površine, izstopata tudi zaradi največjih vrednosti korelacije med konico in trajanjem. Pri tem je opaziti trend naraščanja korelacije med odvisnostjo korelacije (Q – T) in velikostjo prispevne površine.



Slika 47: Odvisnost korelacije (Q – T) od prispevne površine

Slika 48 prikazuje odvisnost korelacije (Q – T) od količine padavin. Največje vrednosti korelacije dosegajo vodomerne postaje z najmanj padavinami in najmanjše vrednosti korelacije vodomerne postaje z največ padavinami. Kot že pri odvisnosti korelacije (Q – T) od lokacije postaje, lahko tudi tukaj ugotovimo, da koeficient korelacije med konico in trajanjem rahlo narašča od zahoda proti vzhodu Slovenije.



Slika 48: Odvisnost korelacije (Q – T) od količine padavin

#### 6.4 Povezava med volumnom in trajanjem (V – T) visokovodnih valov za obravnavane vodomerne postaje v Sloveniji

Preglednica 17 prikazuje rezultate Pearsonovih, Kendallovih in Spearmanovih p-vrednosti in koeficientov korelacije med volumnom in trajanjem.

Največji koeficient korelacije je bil izračunan za postajo Verd I na Ljubiji (1952–2009). Pearsonov koeficient korelacije je v tem primeru znašal 0,840 s pripadajočo p-vrednostjo  $2,22 \cdot 10^{-16}$ . Vrednost Spearmanovega koeficienta korelacije je bila 0,730 in Kendallovega koeficienta korelacije 0,566. Ugotovimo lahko, da so vrednosti koeficientov korelacije med volumnom in trajanjem visokovodnega vala večje od korelacij med konico in trajanjem in manjše od vrednosti korelacijskih koeficientov med konico in volumnom visokovodnega vala.

Preglednica 17: Rezultati Pearsonovih, Spearmanovih in Kendallovih p-vrednost in koeficientov korelacije (spremenljivki (V – T)) za posamezne postaje

Šifra postaje	Pearson		Spearman		Kendall	
	korelacija	p-vrednost	korelacija	p-vrednost	korelacija	p-vrednost
1060	0,655	3,27E-09	0,660	2,19E-09	0,496	9,44E-09
1070	0,552	1,55E-05	0,608	1,10E-06	0,434	5,11E-06
1140	0,427	0,001	0,452	4,10E-04	0,307	0,0009
1220	0,283	0,036	0,219	0,108	0,163	0,0823
2250	0,574	2,53E-06	0,543	1,07E-05	0,397	1,38E-05
2432	0,521	3,20E-05	0,532	2,03E-05	0,382	3,97E-05
2900	0,247	0,049	0,239	0,057	0,165	0,0578
3060	0,619	3,65E-11	0,455	4,67E-06	0,330	4,88E-06
3180	0,519	1,15E-06	0,561	9,09E-08	0,393	5,27E-07
3200	0,467	1,71E-04	0,374	0,003	0,269	0,003
3400	0,551	1,58E-05	0,587	3,08E-06	0,440	3,96E-06
3420	0,425	1,06E-05	0,439	4,97E-06	0,313	6,33E-06
3740	0,587	3,54E-09	0,653	1,23E-11	0,470	3,97E-10
4025	0,392	0,0070	0,483	0,001	0,336	0,001
4050	0,543	3,17E-05	0,564	1,33E-05	0,409	2,83E-05
4120	0,289	0,115	0,297	0,105	0,196	0,129
4200	0,554	1,65E-06	0,547	2,39E-06	0,399	4,00E-06
4740	0,388	0,001	0,444	2,14E-04	0,307	3,70E-04
4820	0,489	8,39E-05	0,394	0,002	0,287	0,002
4850	0,494	3,36E-05	0,525	8,27E-06	0,373	1,92E-05
4860	0,606	9,90E-10	0,578	8,67E-09	0,419	2,71E-08
4970	0,478	1,28E-04	0,410	0,001	0,295	0,001
5078	0,706	2,18E-14	0,722	3,00E-15	0,542	2,67E-13
5240	0,840	2,22E-16	0,730	7,68E-11	0,566	8,64E-10
5770	0,533	2,35E-05	0,423	0,001	0,297	0,001
6020	0,529	1,17E-05	0,476	1,07E-04	0,338	1,54E-04
6060	0,554	3,77E-08	0,554	3,82E-08	0,390	1,99E-07
6200	0,559	1,30E-06	0,528	6,16E-06	0,371	1,83E-05
6240	0,436	0,001	0,460	0,001	0,297	0,002
6300	0,453	8,36E-06	0,418	4,68E-05	0,301	4,02E-05
6630	0,458	3,85E-04	0,441	0,001	0,316	0,001
6691	0,336	0,016	0,331	0,018	0,227	0,020
7030	0,602	2,29E-06	0,644	2,60E-07	0,465	1,56E-06
7160	0,652	2,40E-11	0,669	4,88E-12	0,491	8,29E-11
7380	0,505	1,86E-04	0,432	0,002	0,317	0,001
8031	0,427	3,53E-04	0,473	6,04E-05	0,349	4,61E-05
8060	0,325	0,009	0,339	0,007	0,232	0,008
8080	0,505	2,05E-05	0,522	9,68E-06	0,378	1,35E-05
8180	0,504	1,58E-05	0,491	2,79E-05	0,344	6,22E-05

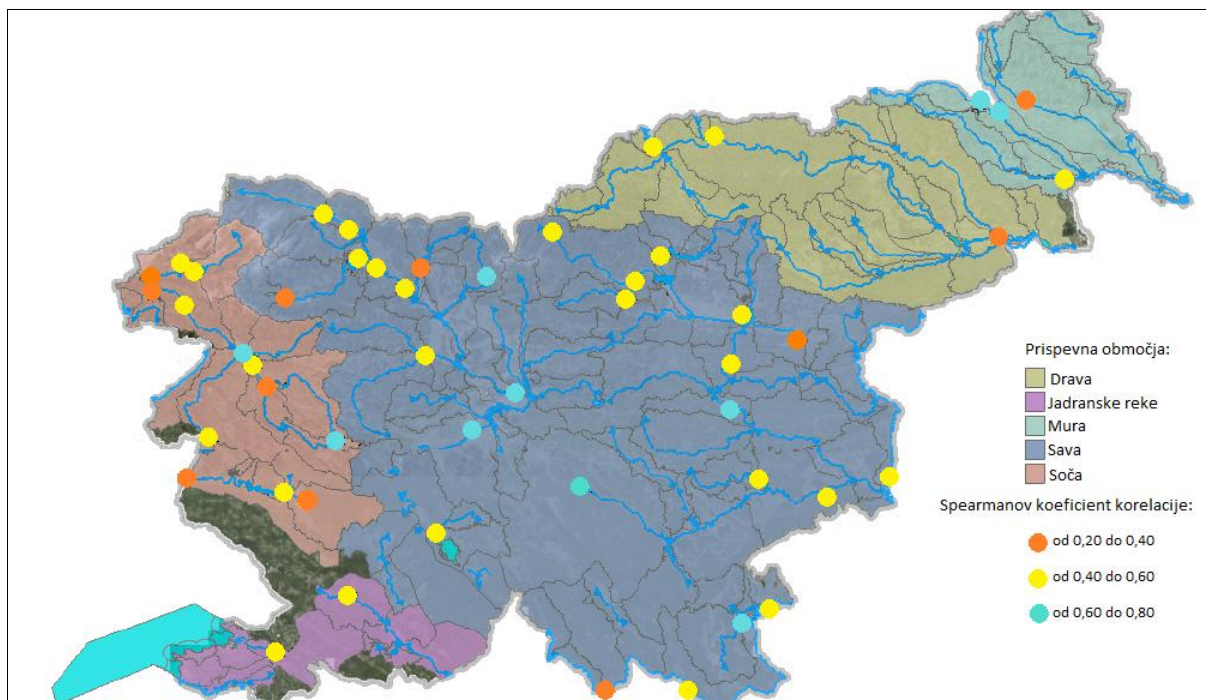
se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 17

8242	0,579	2,88E-06	0,560	7,30E-06	0,419	7,56E-06
8270	0,331	0,012	0,337	0,010	0,237	0,010
8350	0,623	2,31E-07	0,601	7,49E-07	0,422	4,87E-06
8450	0,591	4,29E-07	0,531	8,95E-06	0,386	1,31E-05
8480	0,366	0,005	0,383	0,003	0,258	0,005
8500	0,596	3,23E-07	0,626	5,15E-08	0,447	4,76E-07
8560	0,381	0,002	0,336	0,007	0,242	0,006
8590	0,502	5,08E-05	0,490	8,03E-05	0,343	1,64E-04
8601	0,383	0,002	0,386	0,002	0,266	0,003
9050	0,617	1,92E-07	0,580	1,44E-06	0,445	9,29E-07
9210	0,487	4,55E-05	0,421	0,001	0,310	3,67E-04

Minimalna vrednost Pearsonovega koeficienta korelacije je bila izračunana za postajo Zamušani I na Pesnici (1946–2010) in je znašala 0,247. Minimalna vrednost Spearmanovega in Kendallovega koeficienta korelacije je bila izračunana za postajo Polana I na Ledavi (1956–2010). Vrednost Spearmanovega koeficienta korelacije je bila 0,219 in Kendallovega koeficienta korelacije 0,163. Med volumnom in trajanjem ni v nobenem primeru prišlo do negativnega koeficienta korelacije, kar pomeni, da je večji volumen vala pogojen z daljšim trajanjem. V tem primeru so vrednosti minimalnih koeficientov korelacij večje od minimalnih vrednosti koeficientov med konicami in volumni.

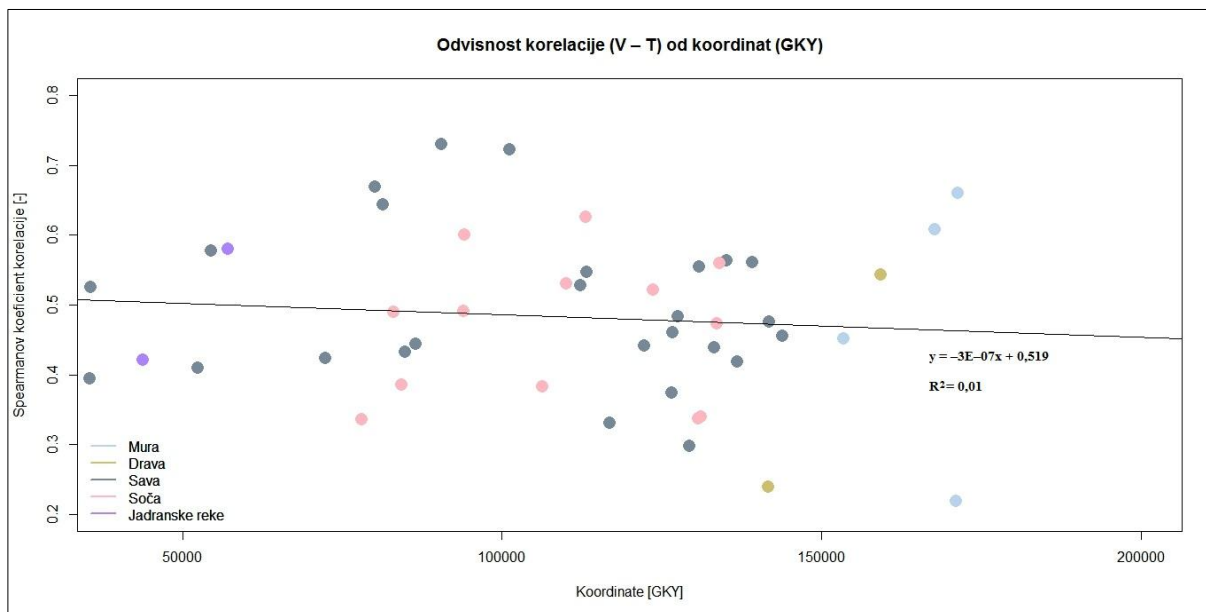
Slika 49 prikazuje prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije med volumnom in trajanjem visokovodnega vala po razredih. Največ vrednosti koeficientov korelacije se giblje med 0,40 in 0,60, pri tem pa noben koeficient korelacije ni manjši od 0,20 in ne presega vrednosti 0,80.



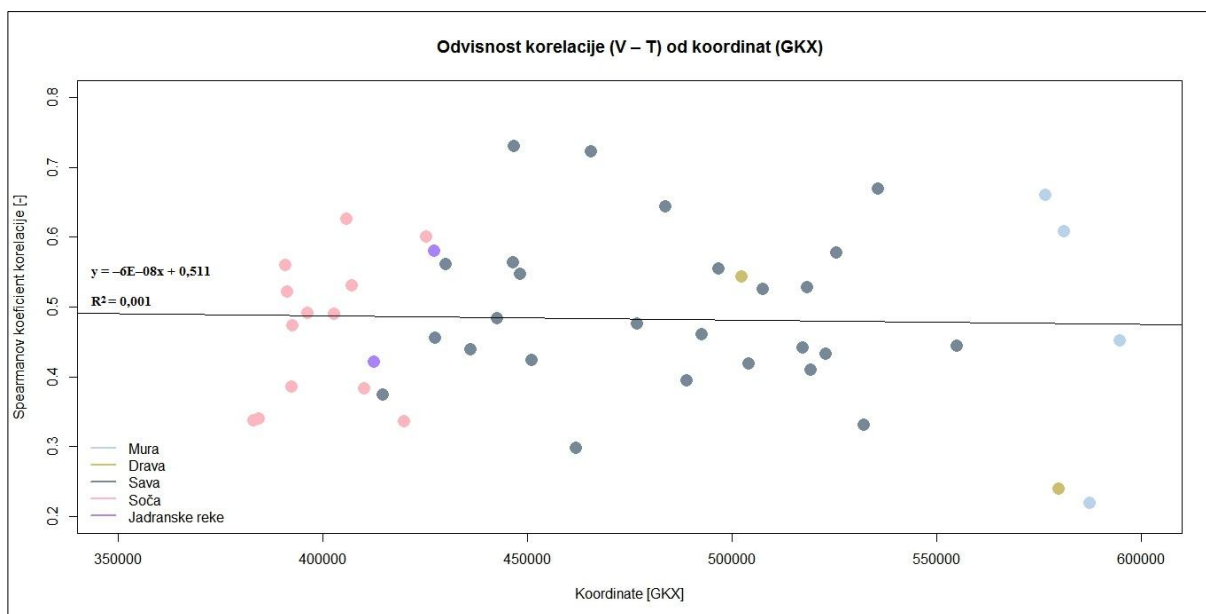
Slika 49: Prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije med volumnom in trajanjem visokovodnega vala po razredih

Boljšo korelacijo med volumnom in trajanjem je bilo pričakovati, saj daljše trajanje visokovodnega vala ponavadi pomeni tudi večjo prostornino površinskega odtoka in obratno. Podobno sta ugotovila tudi Šraj in Bezak (2013) za vodomerno postajo Litija I na Savi.

Sliki 50 in 51 prikazujeta odvisnost korelacije ( $V - T$ ) od Gauss-Krugerjevih koordinat (GKY in GKX). O neki očitni povezavi med lokacijo postaj in korelacijo ( $V - T$ ) ne moremo govoriti.

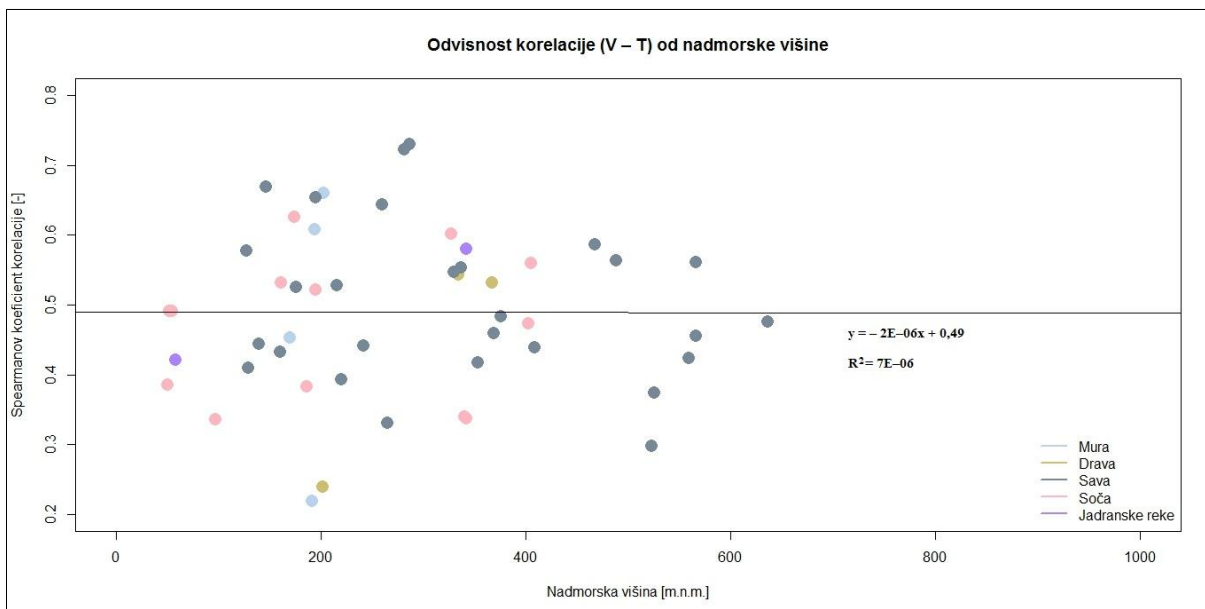


Slika 50: Odvisnost korelacije (V – T) od koordinat (GKY)



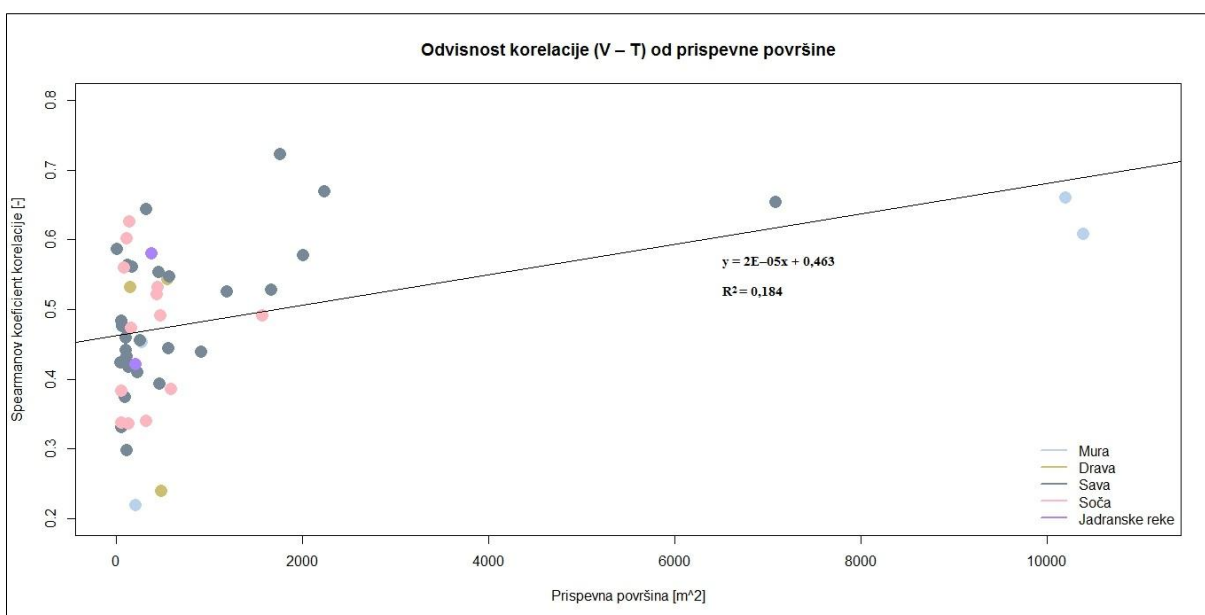
Slika 51: Odvisnost korelacije (V – T) od koordinat (GKX)

Slika 52 prikazuje odvisnost korelacije (V – T) od nadmorske višine. O neki očitni povezavi med nadmorsko višino in korelacijo (V – T) ne moremo govoriti.



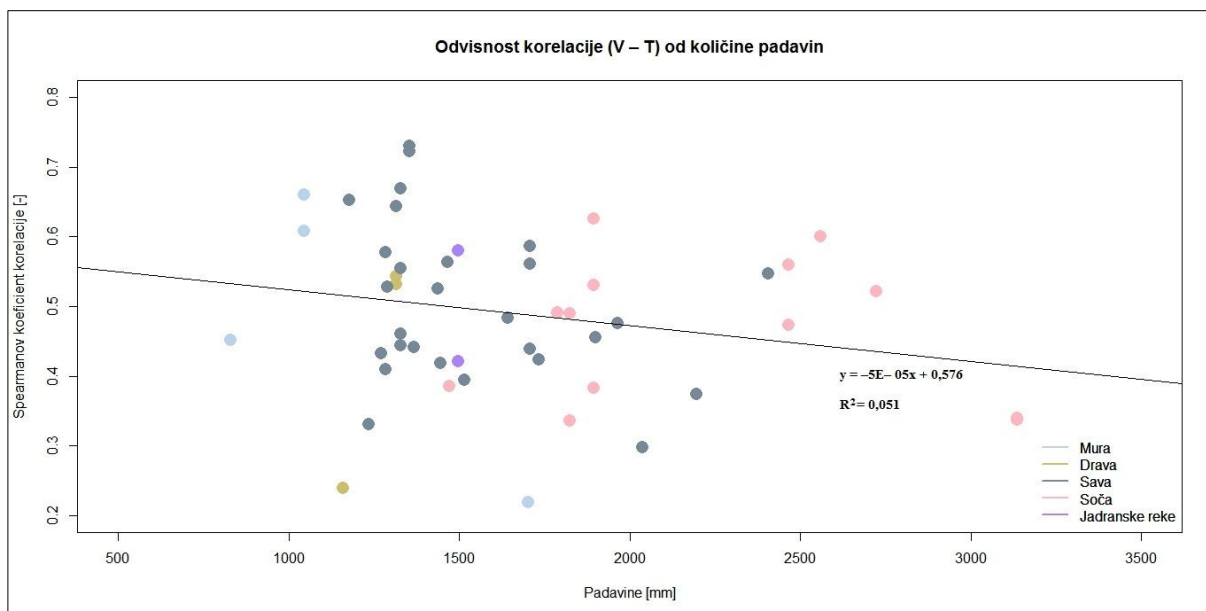
Slika 52: Odvisnost korelacije (V – T) od nadmorske višine

Slika 53 prikazuje odvisnost korelacije (V – T) od prispevne površine. Največjo vrednost korelacije med volumnom in trajanjem dosega tri vodomerne postaje porečja Save s prispevno površino okrog vrednosti 2000 m<sup>2</sup>. Tudi vodomerni postaji porečja Mure, s prispevno površino okrog 10000 m<sup>2</sup>, dosega visoke vrednosti korelacije. Pri tem opazimo trend naraščanja korelacije med Spearmanovim koeficientom korelacije (V – T) in velikostjo prispevne površine.



Slika 53: Odvisnost korelacije (V – T) od prispevne površine

Slika 54 prikazuje odvisnost korelacije ( $V - T$ ) od količine padavin. Pri tem največje vrednosti korelacije dosegajo vodomerne postaje porečja Save. Količina padavin se zmanjšuje od zahoda proti severovzhodu Slovenije. Zaznan je rahlo padajoč trend odvisnosti korelacije ( $V - T$ ) od padavin, kar pomeni, da postaje z manjšo količino padavin izkazujejo višje vrednosti korelacijskega koeficienta. Ker količina padavin v Sloveniji pada od zahoda proti vzhodu, enako pa tudi nadmorska višina, se ugotovitev sklada tudi s prejšnjimi ugotovitvami.



Slika 54: Odvisnost korelacije ( $V - T$ ) od količine padavin



## 7 ZAKLJUČKI

Vsako načrtovanje in upravljanje voda, določanje poplavnih območij, obladovanje tveganja zaradi poplav ipd. zahteva temeljito poznavanje značilnosti visokovodnih valov, kar pomeni, da je potrebno poznati spremenljivke, ki določajo visokovodni val in njihovo medsebojno povezavo (Grimaldi in Serinaldi, 2006; Karmakar in Simonovic, 2007).

Za izločanje baznega odtoka se uporabljajo različne metode. Nekatere si pri izločanju pomagajo s hidrogrami, kamor spadajo tudi avtomatizirani postopki določanja baznega odtoka. Avtomatizirani postopki veljajo za široko uporabljene, enostavne in ponovljive modele, zato smo jih uporabili tudi mi. Pri tem smo uporabili program R. Program R je jezik za statistično računalništvo in grafiko, katerega je možno nadgraditi preko posameznih paketov. Pri izdelavi diplomske naloge smo uporabili paketa 'EcoHydRology' in 'lfstat', ki vključujeta metode za določanje baznega odtoka. 'EcoHydRology' vključuje metodo *BaseflowSeparation*, katera omogoča spreminjanje števila prehodov čez podatke (1–3) in vrednosti parametra filtra (0,9–0,95). Za preizkušanje metod in izbiro najbolj optimalne metode smo uporabili podatke vodomerne postaje Radovljica I na Savi za leto 2004. Rezultati so pokazali, da se delež baznega odtoka spreminja s spreminjanjem vrednosti parametra filtra in s spreminjanjem števila prehodov čez podatke. Največji delež baznega odtoka je pri enkratnem prehodu čez podatke in pri vrednosti filtra parametra 0,9. Z večanjem vrednosti parametra filtra se delež baznega odtoka zmanjšuje, prav tako pa se zmanjšuje z večanjem števila prehodov čez podatke. Metoda BFI, ki jo vključuje paket 'lfstat', se najbolj približa metodi *BaseflowSeparation* pri dvakratnem prehodu čez podatke in parametru filtra 0,925 za analizo celega leta 2004 in za dvakraten prehod čez podatke in parameter filtra 0,95 za izbran visokovodni val (oktober/november).

Metoda BFI je bila v nadaljevanju naloge izbrana za podrobno analizo visokovodnih valov 50-ih vodomernih postaj v Sloveniji. Za vse tri spremenljivke visokovodnih valov (konica, volumen, trajanje) smo ugotavljali medsebojno povezanost. Med konicami in volumni visokovodnih valov smo ugotovili močno pozitivno linearno povezanost z visokimi korelacijskimi koeficienti (0,60–0,80). Spearmanov koeficient korelacije (Q – V) je v odvisnosti lokacije postaje naraščal od juga proti severu in od zahoda proti vzhodu Slovenije. Rahlo naraščajoč trend pa je opazen tudi pri odvisnosti Spearmanovega koeficienta korelacije (Q – V) od velikosti prispevne površine, nadmorske višine in količine padavin.

Srednje močno pozitivno linearno odvisnost smo ugotovili med volumnom in trajanjem visokovodnih valov v Sloveniji. Vrednosti korelacije, ki so prevladovale, so bile nižje od vrednosti korelacije med konico in volumnom visokovodnega vala. Gibale so se med 0,40 in 0,60. Koeficienti korelacije so bili za vse postaje pozitivni, kar pomeni, da je večji volumen vala pogojen z daljšim trajanjem vala.

Povezave med Spearmanovim koeficientom korelacije in lokacijo postaje ni opaziti. Opazen pa je trend naraščanja korelacije med Spearmanovim koeficientom korelacije ( $V - T$ ) in velikostjo prispevne površine ter rahel padajoč trend odvisnosti korelacije ( $V - T$ ) od padavin.

Zelo slabo linearno povezanost smo dobili med konico in trajanjem visokovodnega vala. Vrednosti so se gibale med  $-0,20$  in  $0,20$ . Zaradi dobljenih vrednosti, ki se gibljejo okrog vrednosti nič, lahko povzamemo, da spremenljivki med seboj ne korelirata, torej med seboj nista odvisni. Med Spearmanovim koeficientom korelacije ( $Q - T$ ) in lokacijo postaj neke očitne povezave ni. Opaziti pa je trend naraščanja korelacije med Spearmanovim koeficientom korelacije ( $Q - T$ ) in velikostjo prispevne površine.

Pri kompleksnih hidroloških pojavih, kot so poplave, je potrebno analizirati več med seboj odvisnih slučajnih spremenljivk, saj lahko z verjetnostno analizo le ene spremenljivke dobimo napačne informacije o pogostosti posameznih kompleksnih pojavov (Šraj in Bezak, 2013). Pri analizi visokovodnih valov je potrebno tako upoštevati konice, volumnne in trajanja visokovodnih valov, saj je tak pristop nujen za učinkovito upravljanje voda in zaščito pred poplavami.

## VIRI

Annan, K. 2006. A comparison of techniques for investigating groundwater-surface water interactions along the Brunswick River, Western Australia. University of Western Australia: 141 f.

ARSO. 2003. Hidrološke značilnosti Save. Agencija Republike Slovenije za okolje.

<http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/030276->

[Hidrolo%C5%A1ke%20zna%C4%8Dilnosti%20Save.doc](http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/030276-Hidrolo%C5%A1ke%20zna%C4%8Dilnosti%20Save.doc) (Pridobljeno 7. 1. 2014.)

ARSO. 2011. Tekoče vode (priloga 1). Agencija Republike Slovenije za okolje.

[http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno\\_bogastvo\\_9priloga1.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno_bogastvo_9priloga1.pdf)

(Pridobljeno 18. 12. 2013.)

ARSO. 2013a. Arhiv površinskih voda. Agencija Republike Slovenije za okolje.

[http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov\\_arhiv\\_tab.php](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php) (Pridobljeno 12. 11. 2013.)

ARSO. 2013b. Atlas okolja.

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso)

(Pridobljeno 10. 11. 2013.)

Asmerom, G.H. 2008. Groundwater contribution and recharge estimation in the Upper Blue Nile flows, Ethiopia: 119 str.

[http://www.itc.nl/library/papers\\_2008/msc/wrem/getachew.pdf](http://www.itc.nl/library/papers_2008/msc/wrem/getachew.pdf) (Pridobljeno 10. 1. 2014.)

Bellamy, S., Boyd, D., Whiteley, H. 2003. Baseflow separation techniques. Technical paper prepared for the Grand River Conservation Authority, Groundwater and Hydrology Committee: 18 f.

Boughton, W.C. 1993. A hydrograph-based model for estimating the water Yield of Ungauged Catchments. Hydrology and Water Resources Symposium, Newcastle. Honorary Senior Fellow, Griffith University : 8 f.

Brodie, R.S., Hostetler, S. 2005. A review of techniques for analysing baseflow from stream hydrographs: 13 str.

[http://www.connectedwater.gov.au/documents/IAH05\\_Baseflow.pdf](http://www.connectedwater.gov.au/documents/IAH05_Baseflow.pdf) (Pridobljeno 30. 10. 2013.)

Brodie, R., Baskaran, S., Hostetler, S. 2005. Tools for assessing groundwater-surface water interactions: a case study in the Lower Richmond catchment. NSW, Bureau of Rural Sciences, Canberra.

Brown, A.G., Bradley, C. 1995. Geomorphology and groundwater: convergence and diversification. In, A.G. Brown (ed.). Geomorphology and Groundwater. Chichester, Wiley. John Wiley & Sons Ltd: str. 1-20.

Chapman, T. G. 1987. Unit hydrograph identification using only streamflow data. Transactions of the Institute of Engineers Australia 29: 187-191.

Chapman, T.G., Maxwell, A.I. 1996. Baseflow separation – Comparison of numerical methods with tracer experiments. Proceedings of the 23rd Hydrology and Water Resources Symposium, Hobart Australia. Institution of Engineers Australia 539-545.

Chapman, T. 1999. A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. Hydrol. Process 13: 701-714.

Croke, B.F.W. 2010. Exploring changes in catchment response characteristics: Application of a generic filter for estimating the effective rainfall and unit hydrograph from an observed streamflow timeseries. National Centre for Groundwater Research and Training. Canberra, Australia. The Australian National University: 6 str.

<http://www.hydrology.org.uk/assets/2010%20papers/077Croke.pdf> (Pridobljeno 10.1.2014.)

Davie, T. 2008. Fundamentals of hydrology (Second edition). London, Taylor & Francis Groupe: 221 str.

Dixon-Jain, P., Croke, B., Letcher, R., Sims, J. 2005. Managing water quality in river and groundwater systems: a case study from the Herbert River Catchment, North Queensland. Canberra, Australia. North Qld in 29th Hydrology and Water Resources Symposium, Water Capital.

Echardt, K. 2004. How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation. Hydrological Processes 19: 507–519  
DOI: 10.1002/hyp.5675

Frantar, P. 2003. Pretočni režimi na reki Savi in njihove spremembe med obdobjem 1961 – 1990 in 1991 – 2000. 14. Mišičev vodarski dan: 133–141.

<http://mvd20.com/LETO2003/R21.pdf> (Pridobljeno 2. 2. 2014.)

Freeze, R.A., Cherry, J.A. 1979. Groundwater. Prentice Hall, New Jersey: 604 str.

Fuka, DR., Walter, MT., Archibald, JA., Steenhuis, TS., Easton, ZM. 2013. Package 'EcoHydRology'.  
A community modeling foundation for Eco-Hydrology: 48 str.

<http://cran.r-project.org/web/packages/EcoHydRology/EcoHydRology.pdf> (20. 10. 2013.)

Gonzales, A. L., Nonner, J., Heijkers, J., Uhlenbrook, S. 2009. Comparison of different base flow separation methods in a lowland catchment. Hydrology and Earth System Sciences 13: 2055–2068.

Gottschalk, L., Tallaksen, L. M. & Persyna, G. 1997. Derivation of low flow distribution functions using recession curves. Journal of Hydrology 194: 239-262.

Grimaldi, S., Serinaldi, F. 2006. Asymmetric copula in multivariate flood frequency analysis. Advances in Water Resources: str. 1155–1167.

Gustard, A., Demuth, S. 2009. Manual on Low-flow Estimation and Prediction. Operational Hydrology Report No. 50. WMO-No. 1029: 136 str.

Hayes, D.C. 1991. Low-flow characteristics of streams in Virginia. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2374: 55 str.

Joerin, C., Beven, K. J., Iorgulescu, I., Musy, A. 2002. Uncertainty in hydrograph separations based on geochemical mixing models. Journal of Hydrology 255, 1–4: 90–106.

Karmakar, S., Simonovic, S. 2007. Flood frequency analysis using copula with mixed marginal distributions, Water Resources Researchreport no.055. London, Ontario, Canada. Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario: 141 str.

Kavčič, K. 2013. Hidrološka regionalizacija verjetnostnih analiz visokovodnih konic v Sloveniji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Kavčič): 113 f.

Kirchner, J. W., Feng, X., and Neal, C. 2000. Fractal stream chemistry and its implications for contaminant transport in catchments. Nature 403: 524–527.

Kirchner, J. W. 2003. A double paradox in catchment hydrology and geochemistry, *Hydrol. Processes* 17: 871–874.

Koffler, D. in Laaha, G. 2014. Package 'lfstat'. Calculation of Low Flow Statistics for daily stream flow data: 37 str.

<http://cran.r-project.org/web/packages/lfstat/lfstat.pdf> (Pridobljeno 28. 3. 2014.)

Kohnová, S., Parajka, J., Gaál L., Szolgay J., Viglione A., Hlavčová K., Blöschl, G. 2013. The relationship between peaks of maximum annual floods and their volumes in Austria. Dept. of Land and Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia. Institute for Hydraulic and Water Resources Engineering, Vienna University of Technology, Vienna, Austria. EGU General Assembly.

Kovačič, T. 2012. Analiza vpliva lastnosti porečja na indeks baznega odtoka. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Kovačič): 105 f.

Ladson, AR., Brown, R., Neal, B., Nathan, R. 2013. A standard approach to baseflow separation using the Lyne and Hollick filter. Department of Civil Engineering, Monash University, Melbourne, Victoria. Sinclair Knight Merz, Melbourne, Victoria: 10 str.

Linsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L. H. 1975. *Hydrology for engineers*, McGraw-Hill: 508 str.

Loganathan, G. V., Mattejat, P., Kuo, C. Y. & Diskin, M. H. 1986. Frequency analysis of low flows: hypothetical distribution methods and a physically based approach. *Nordic Hydrology* 17, 3: 129–150.

Lyne, V. in Hollick, M. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. Institute of Engineers Australia National Conference. Publ. 79, 10: 89–93.

McGuire, K. J. in McDonnell, J. J. 2006. A review and evaluation of catchment transit time modeling. *Journal of Hydrology* 330: 543–563. Olsthoorn, T. N.: Do a bit more with convolution, *Groundwater*, 46, 1: 13–22.

Metcalf, R.A, Schmidt, B., Pyrc, R. 2005. A surface water quality threats assessment method using landscape-based indexing. WSC Report No. 01-2005: 58 str.

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, J., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. *Acta Hydrotechnica* 20, 32.

<http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta/> (Pridobljeno 28. 10. 2013.)

Murphy, R., Graszkiwicz, Z., Hill, P., Neal, B., Nathan, R., Ladson, T. 2009. Australian rainfall and runoff. Revision project 7: Baseflow for catchment simulation. Stage 1 report – volume 1 – selection of approach. Barton, Engineers Australia, Engineering House: 111 str.

[http://www.ncwe.org.au/arr/Website\\_links/ARR\\_Project\\_7\\_Stage1\\_report\\_Final.pdf](http://www.ncwe.org.au/arr/Website_links/ARR_Project_7_Stage1_report_Final.pdf)

(Pridobljeno 29. 10. 2013.)

Nathan, R.J, and McMahon, T.A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resources Research* 26, 7: 1465–1473.

Occhi, M. 2009. Sources of Stream Discharge in the North East and North West Braches of the Anacostia Watershed: 34 str.

<http://www.geol.umd.edu/undergraduate/paper/occhi.pdf> (Pridobljeno 29. 10. 2013.)

O'Loughlin, E. M., Cheney, N. P., Burns, J. 1982. The Bushrangers experiment: Hydrological response of a eucalypt catchment to fire. *Institute of Engineers Australia National Conference Publication* 82. 6: 132–138.

Pandi, G. 2010. The analysis of flood waves, *Air and Water – Components of the Environment Conference*, Cluj, Romania: str. 35–44.

Paradis, E. 2005. *R for Beginners*. Montpellier, France. Institut des Sciences de l'Evolution Université Montpellier II: 72 str.

Pettyjohn, W. A., Henning, R. 1979. Preliminary estimate of groundwater recharge rates, related streamflow and water quality in Ohio. Ohio State. University Water Resources Center, Project Completion Report Number 552, 323.

Potter, K.W., Gaffield, S.J. 2001. Watershed assessment with synoptic base surveys. *Geomorphic processes and riverine habitat water science and application*, 4: 19–25.

Pugelj, A. 2012. Analiza visokovodnih valov Save v Šentjakobu. *Diplomska naloga*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Pugelj): 98 f.

- Rianna, M. 2010. Regionalization of flow duration curves in flow regimes of intermittent streams. Dottorato di Ricerca in Ingegneria Idraulica XXIII Ciclo. "SAPIENZA" Università degli Studi di Roma, Facoltà di Ingegneria. Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale: 102 f.
- Sloto, R.A., Crouse, M. Y. 1996. HYSEP: A Computer Programe for Streamflow Hydrograph Separation and Analysis. Water-Resources Investigations Report 96–4040, Lemoyne. Lemoyne, U.S. Geological Survey: 54 str.
- Smakhtin, V.U. 2000. Estimating daily flow duration curves from monthly streamflow data. *Water SA* 26(1): 13–18.
- Smakhtin, V. U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* 240: 147–186
- Šraj, M., Bezak, N. 2013. Analiza visokovodnih valov Save v Litiji = The analysis of flood waves on the Sava River in Litija. *Ujma* 27: 228–235.
- Tallaksen, L.M. 1987. An Evaluation of the Base Flow Index (BFI). Report Series in Hydrology No. 16, University of Oslo, Norway.
- Tallaksen, L.M. 1995. A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology* 165: 349–370.
- Tallaksen, L.M. 1989. Analysis of time variability in recessions. In: *FRIENDS in Hydrology* (L.Roald, K. Nordseth and K.A. Hassel). IAHS Publication 187: 5–96.
- Uhlenbrook, S., Hoeg, S. 2003. Quantifying uncertainties in tracer-based hydrograph separations: a case study for two three and five-component hydrograph separations in a mountainous catchment. *Hydrol. Processes* 17: 431–453.
- Vizintin, G. 2008. Graditev objektov na vodovarstvenih območjih. Opazovalni objekti in izkoriščanje geotermalne energije na VVO. UL NTF, Oddelek za geotehnologijo in okolje.  
[http://www.e-net-okolje.si/eno/GVVO\\_Vizintin\\_Opaz%20obj%20&%20geoterm.pdf](http://www.e-net-okolje.si/eno/GVVO_Vizintin_Opaz%20obj%20&%20geoterm.pdf)  
(Pridobljeno 10. 3. 2014.)
- The R Project for Statistical Computing. 2006.  
<http://www.r-project.org/> (Pridobljeno 10. 12. 2013.)



Weiler, M., Scherrer, S., Naef, F., Burlando, P. 1999. Hydrograph separation of runoff components based on measuring hydraulic state variables, tracer experiments and weighting methods. IAHS Publications 258: 249–255.

Welderufael, W.A., Woyessa Y.E. 2010. Stream flow analysis and comparison of base flow separation methods. Case study of the Modder River Basin in Central South Africa: 12 f.

Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L., Alley, W. M. 1998. Groundwater and surface water a single resource. U.S. Geological Survey, Denver: 9 f.



**KAZALO PRILOG:**

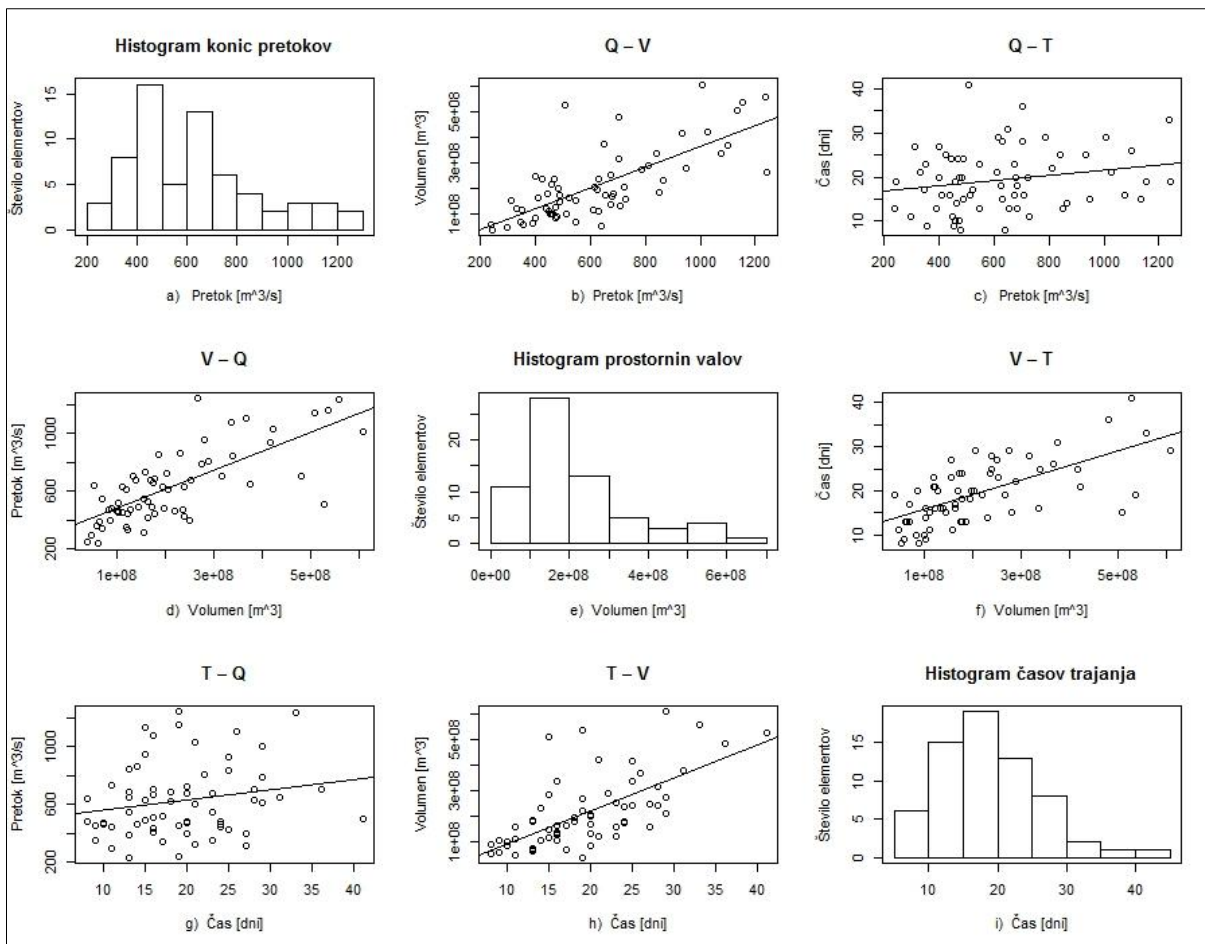
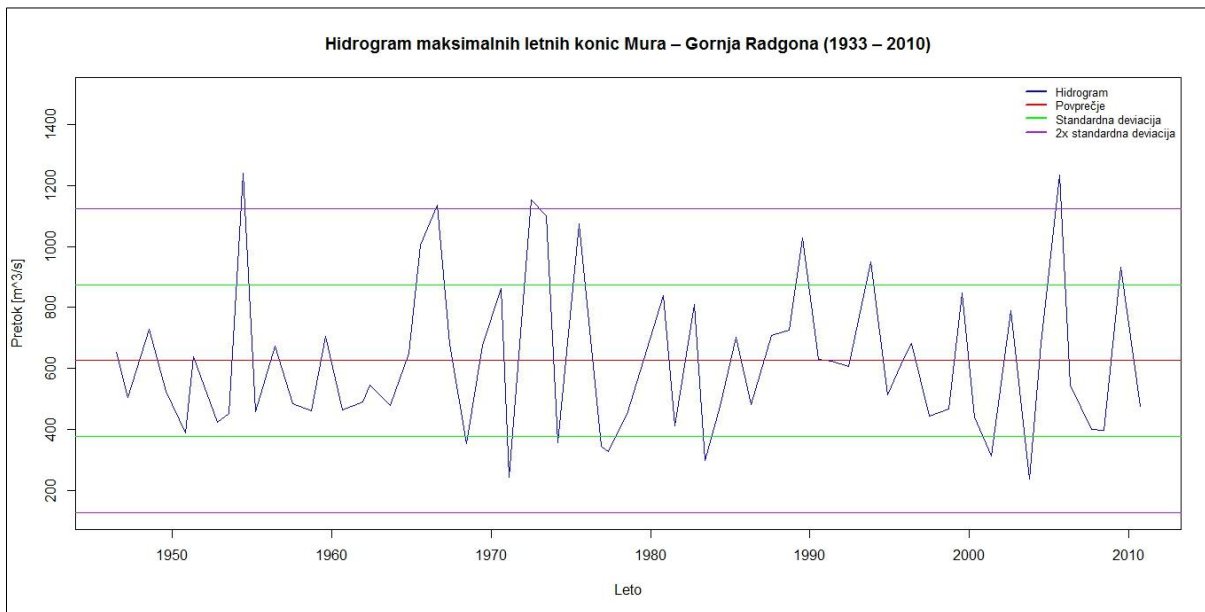
**Priloga A: Primeri analiz vodomernih postaj po Sloveniji.....A1**



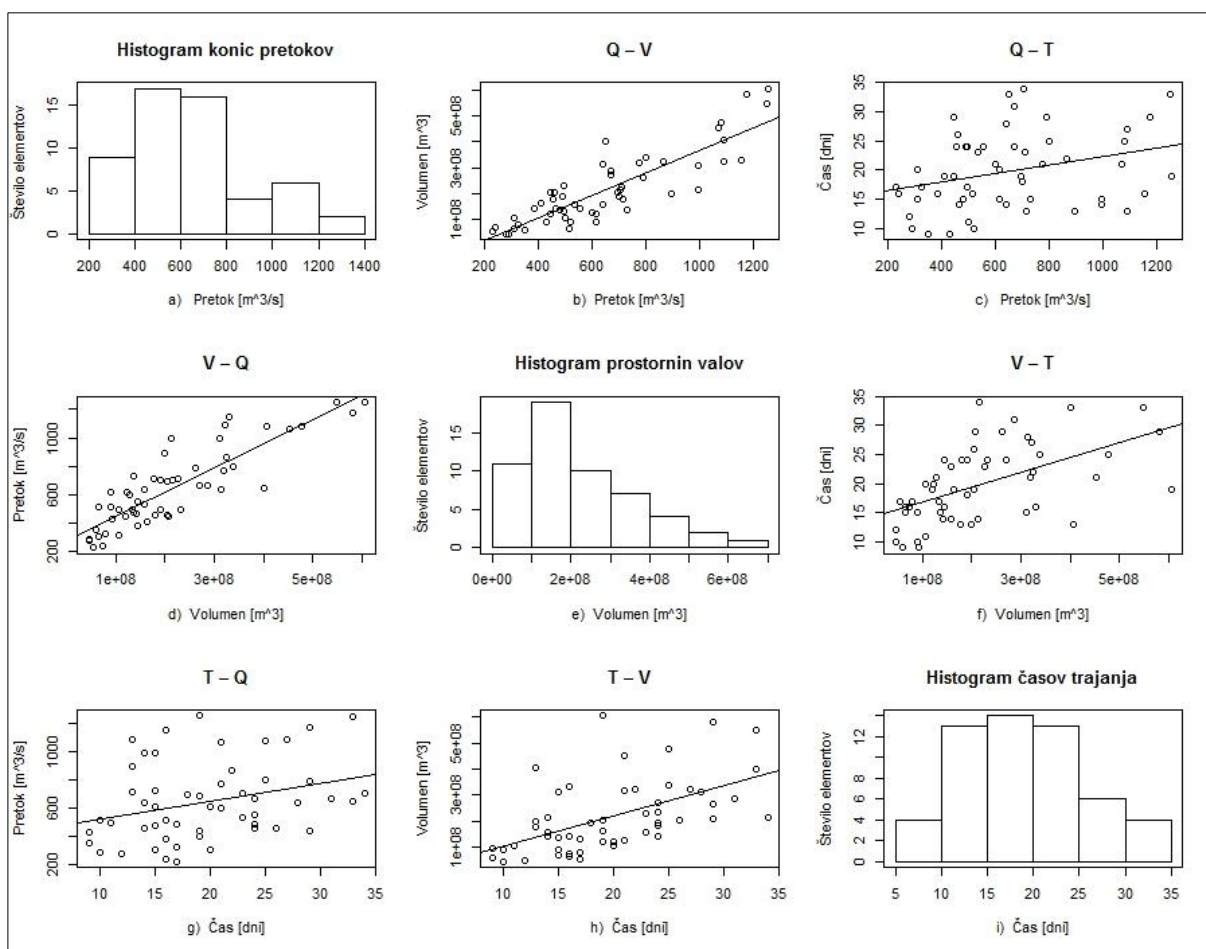
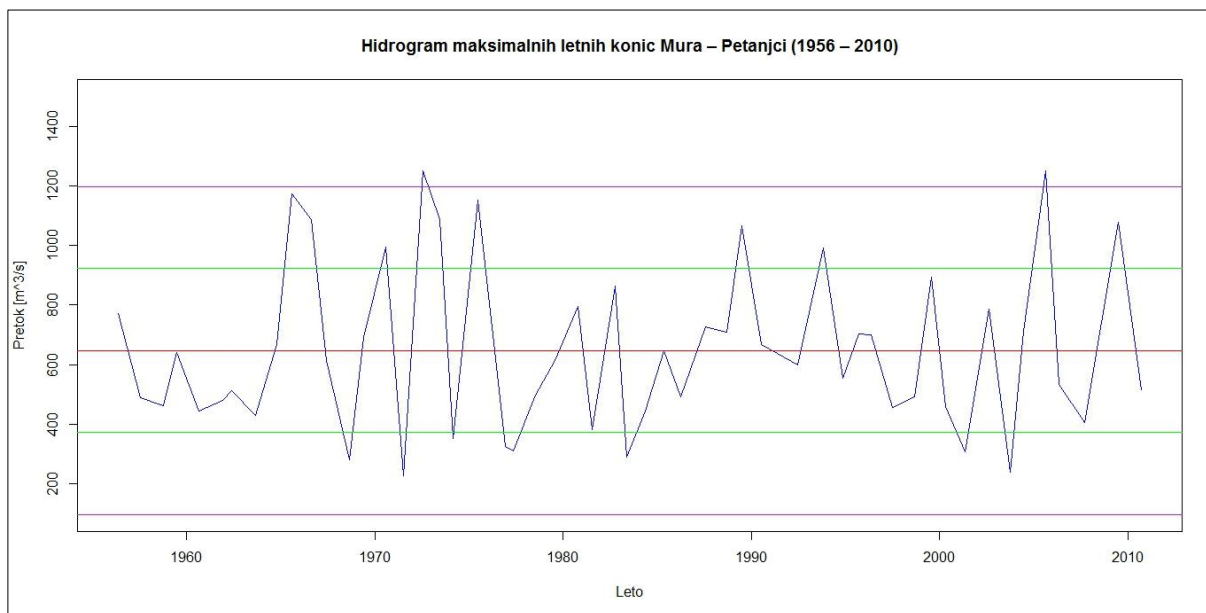
## PRILOGE

### Priloga A: Primeri analiz vodomernih postaj po Sloveniji

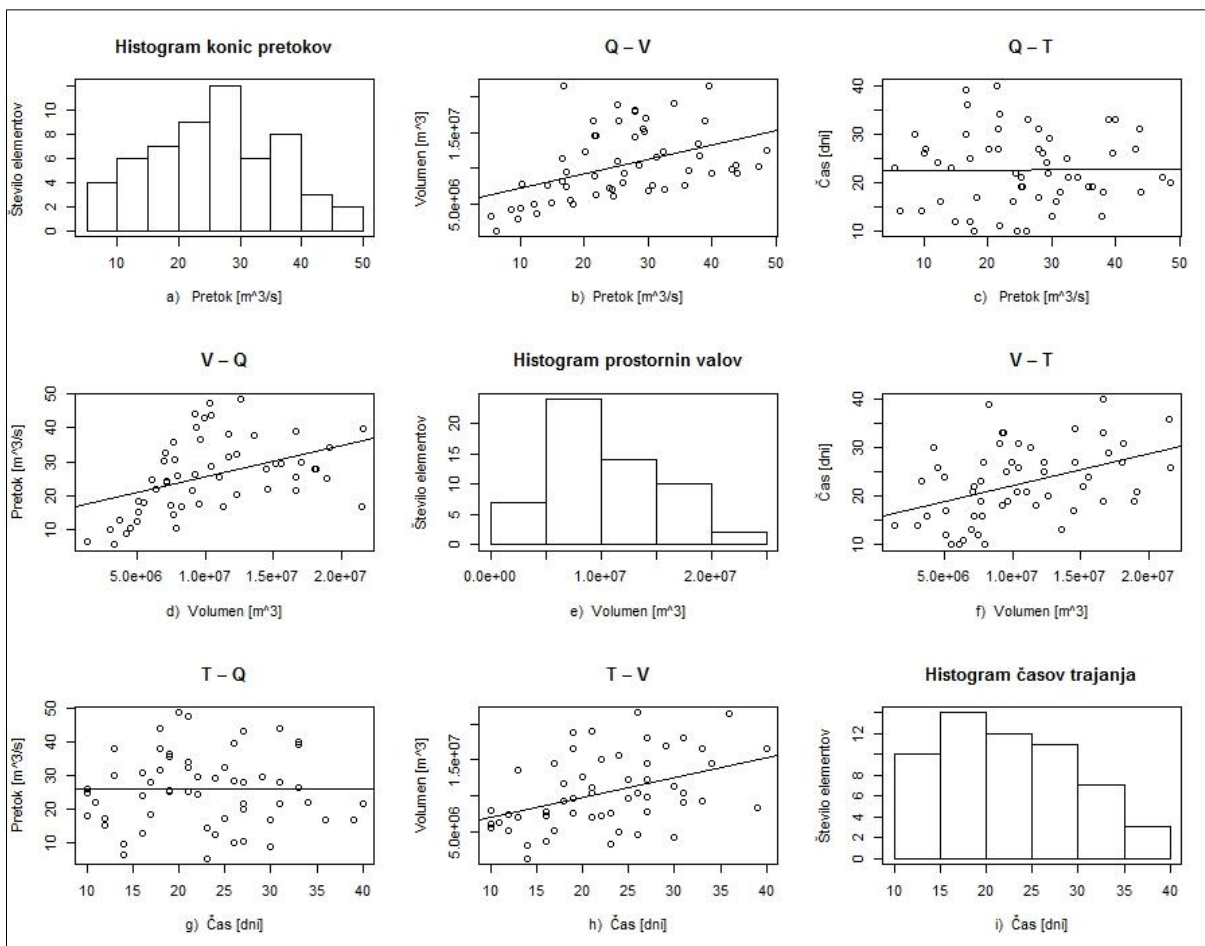
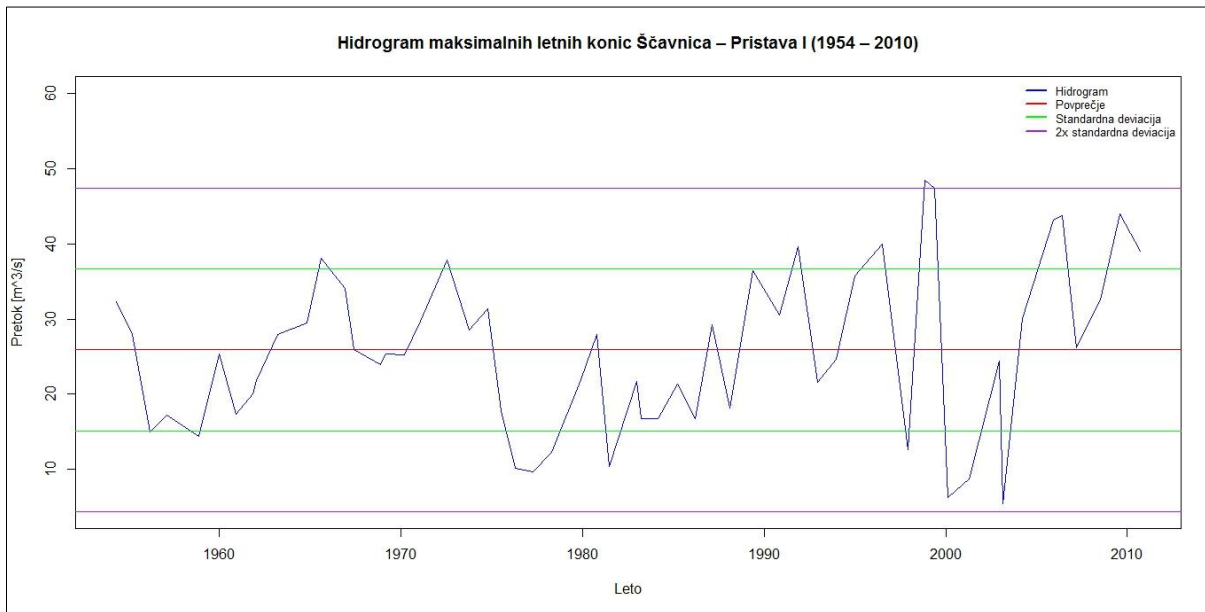
- 1060



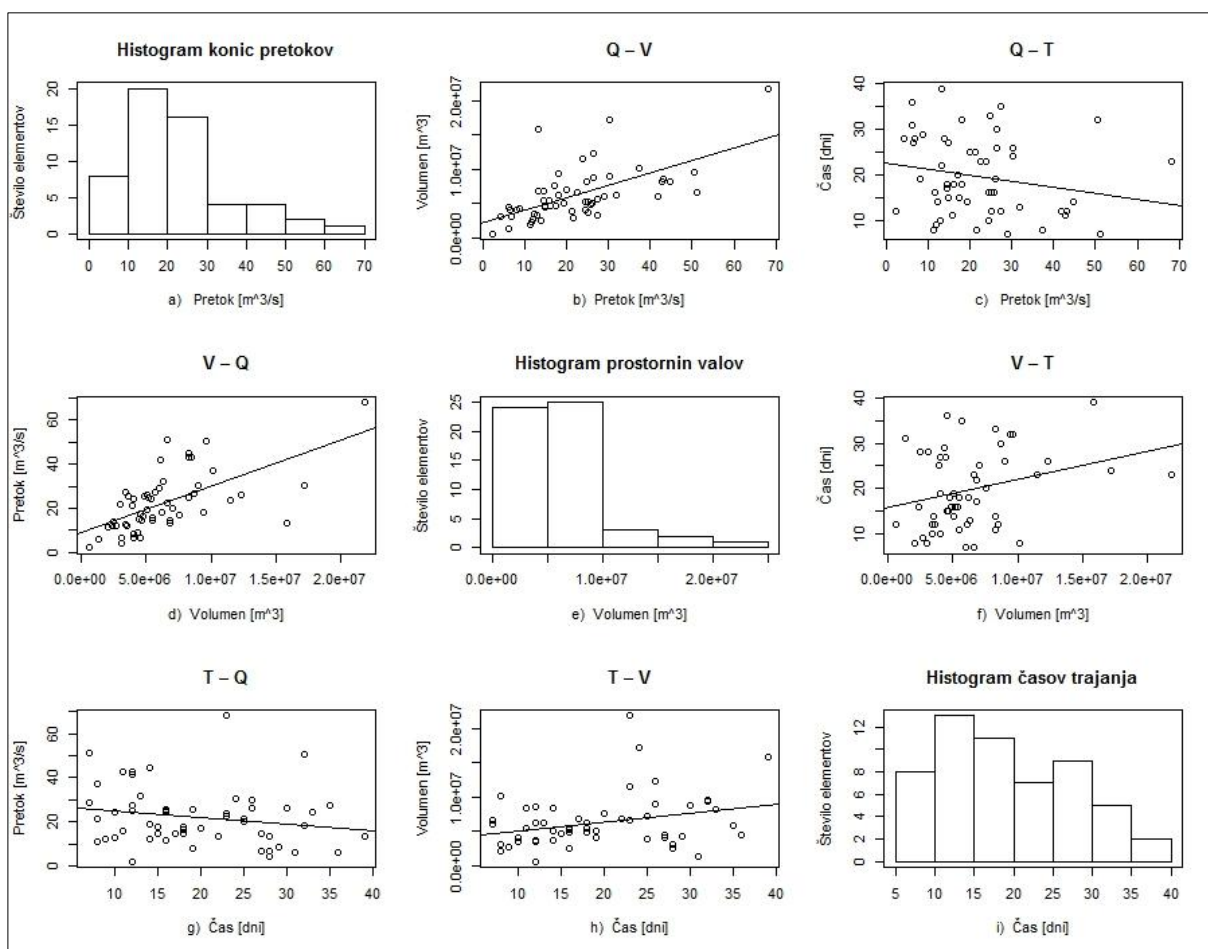
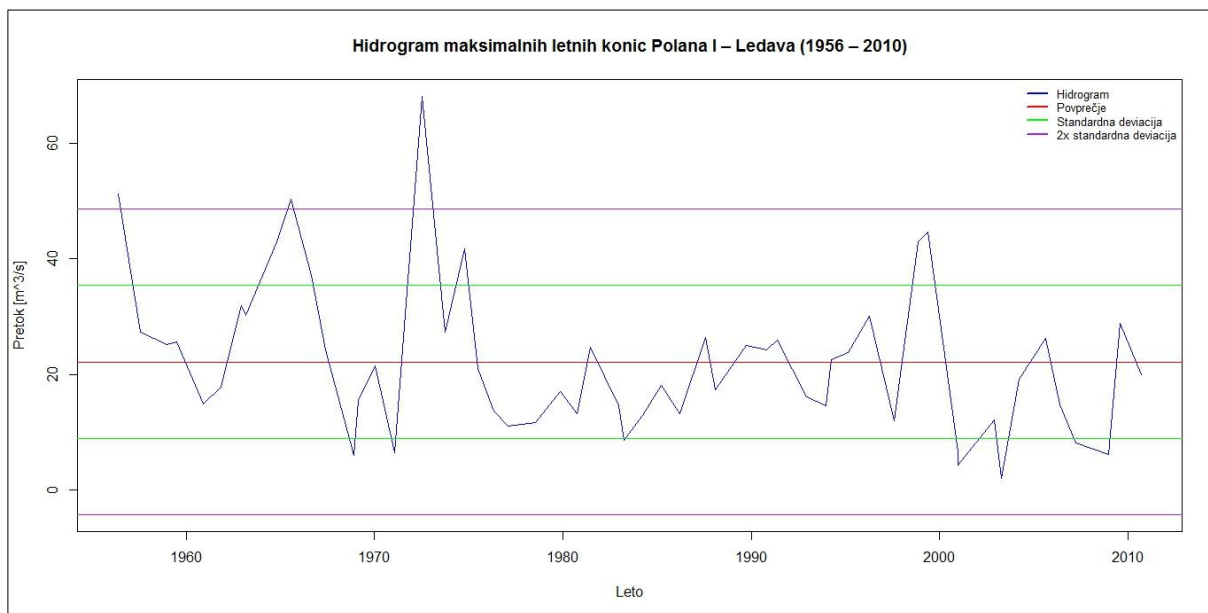
## • 1070



• 1140

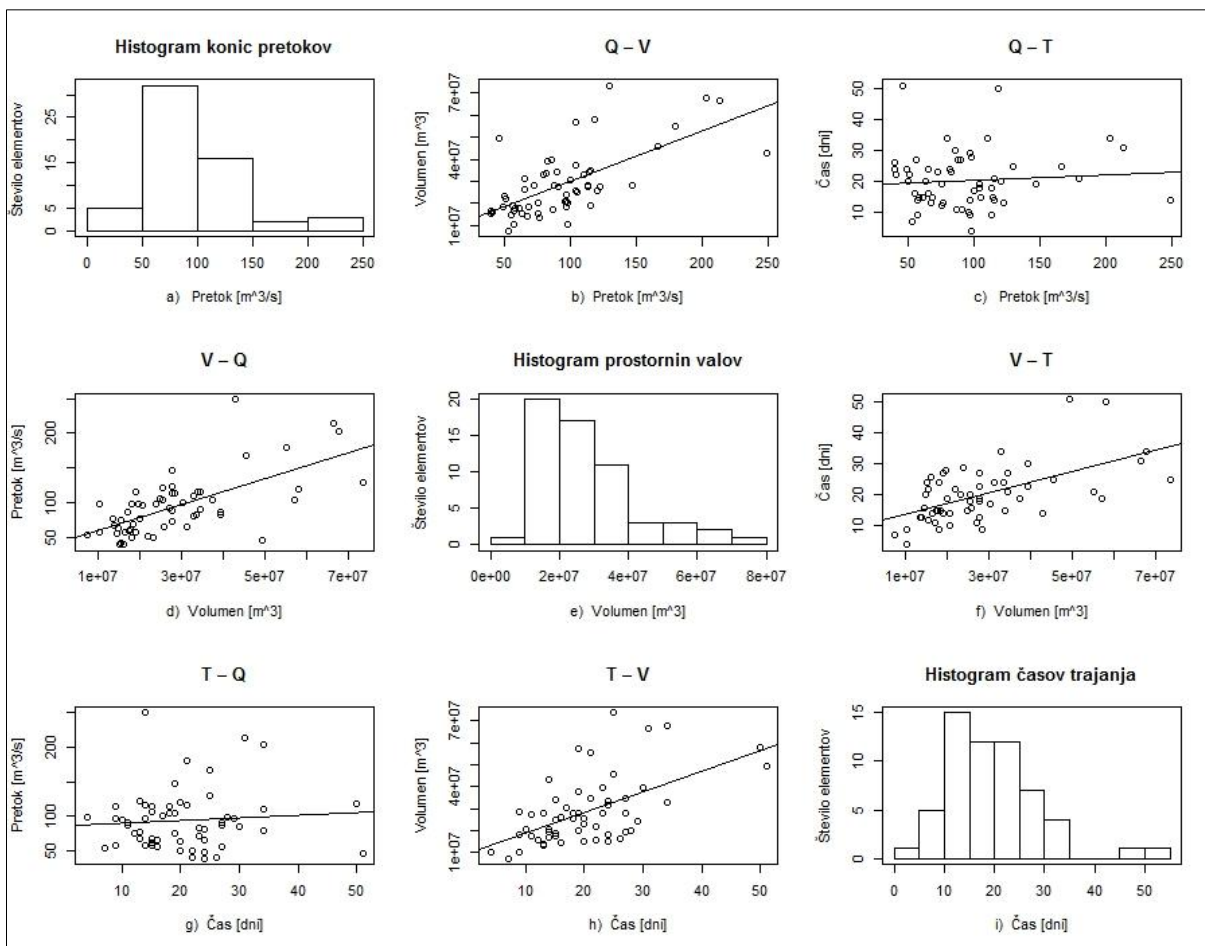
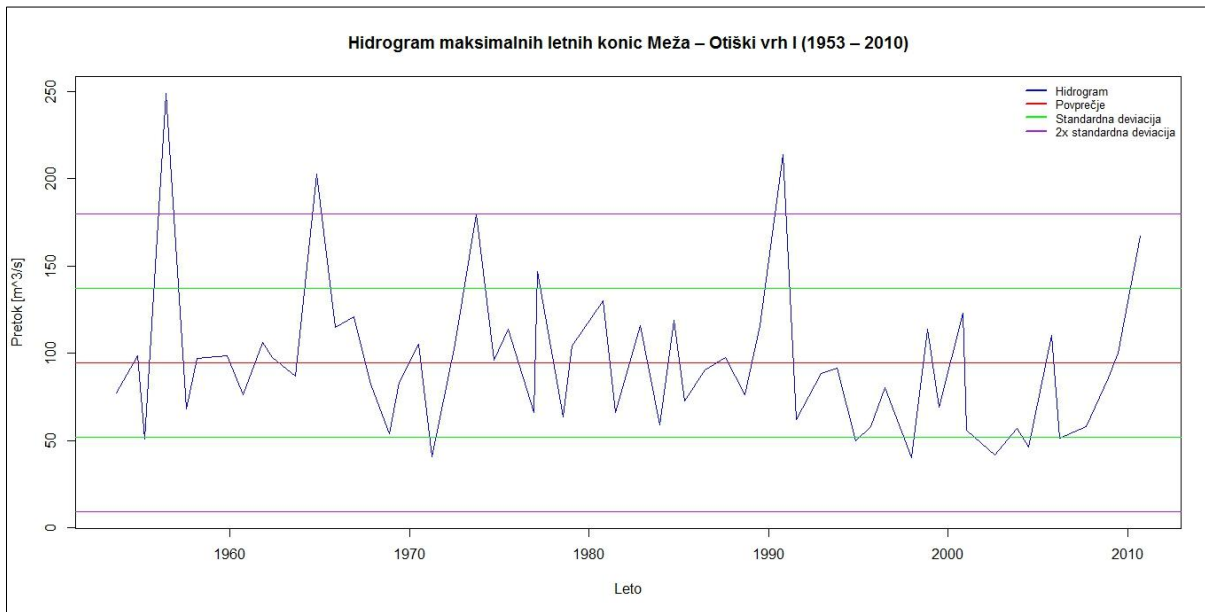


• 1220

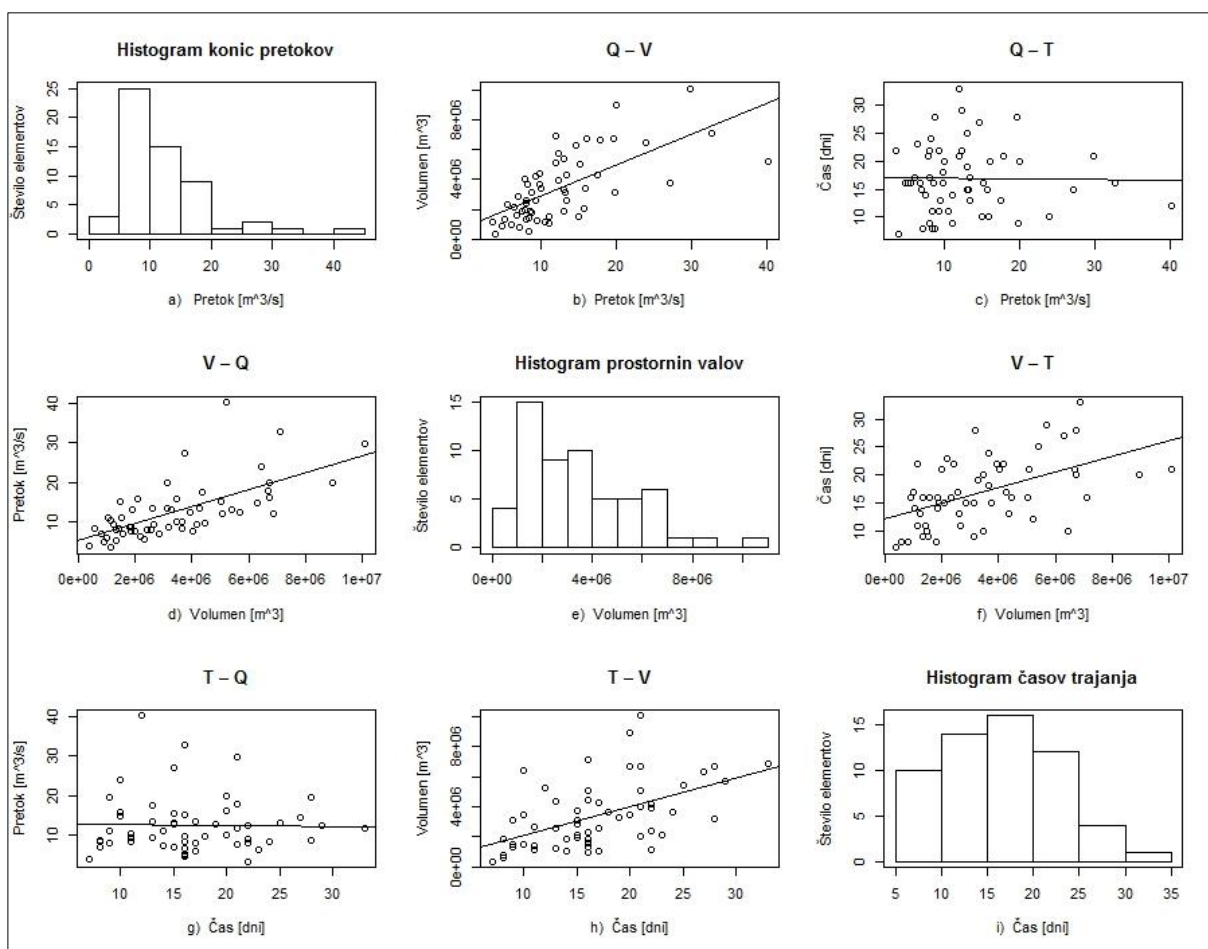
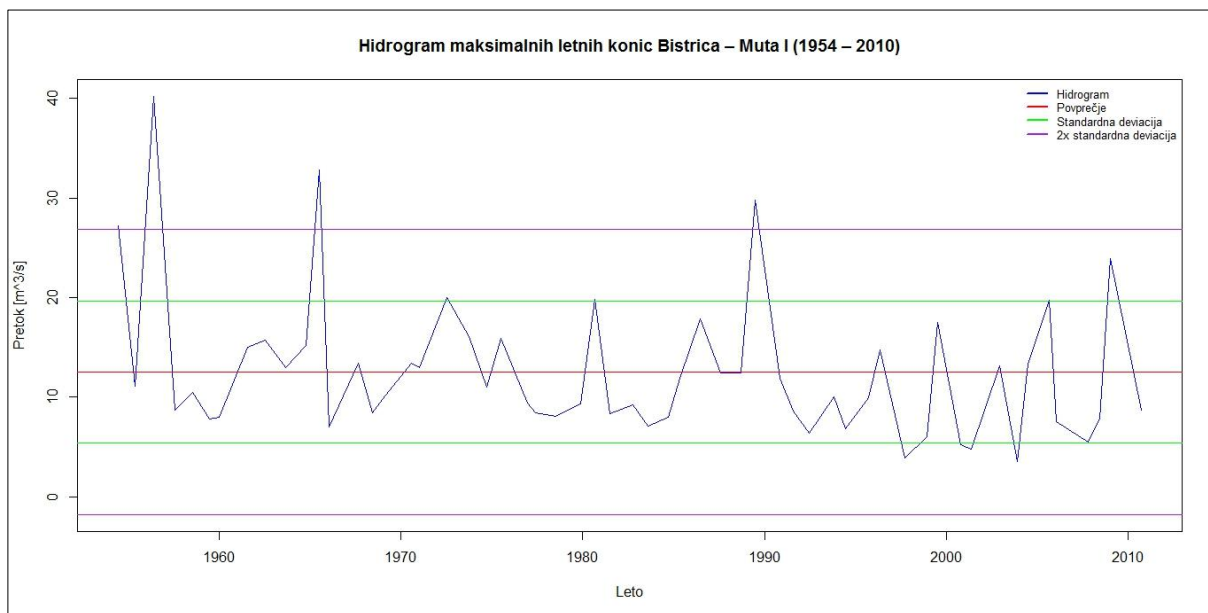




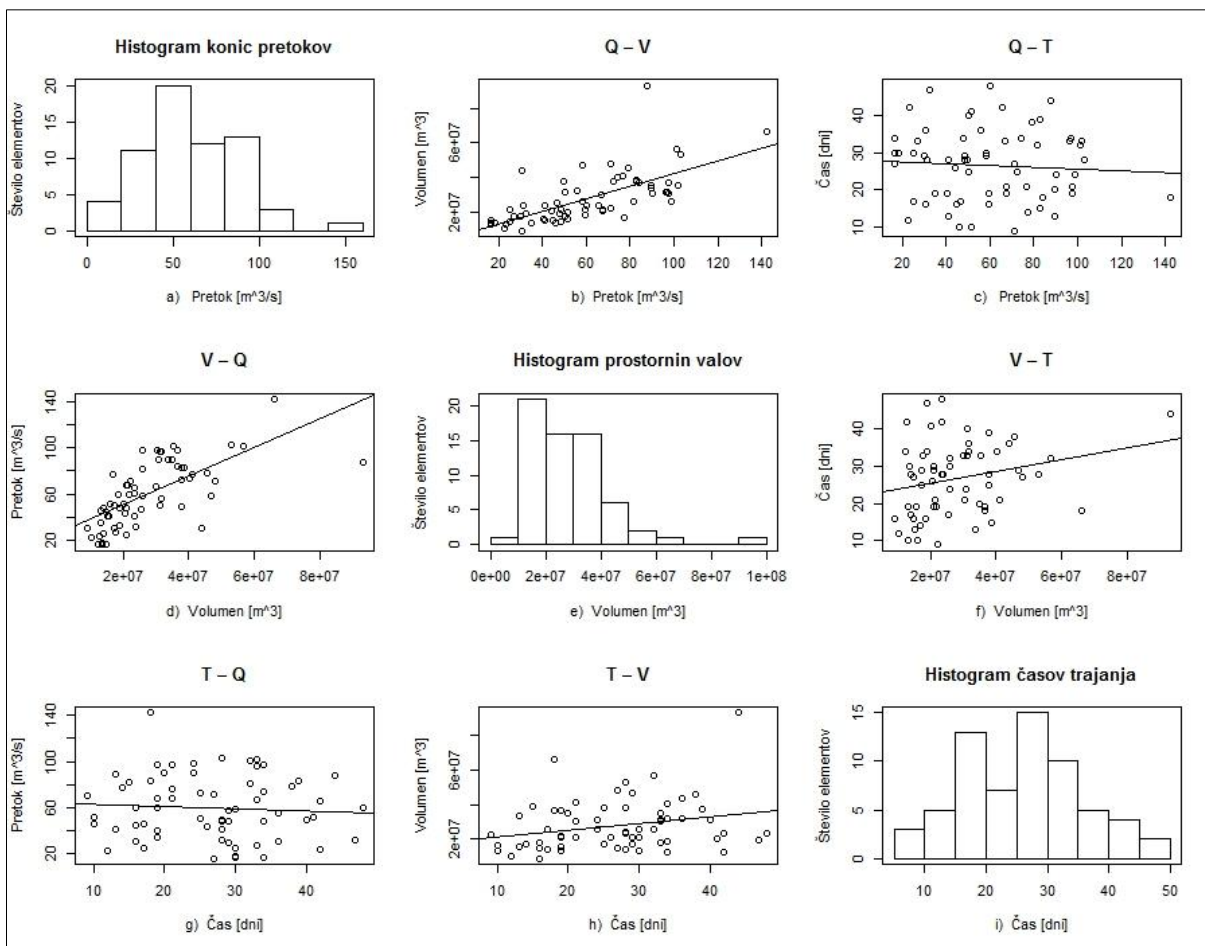
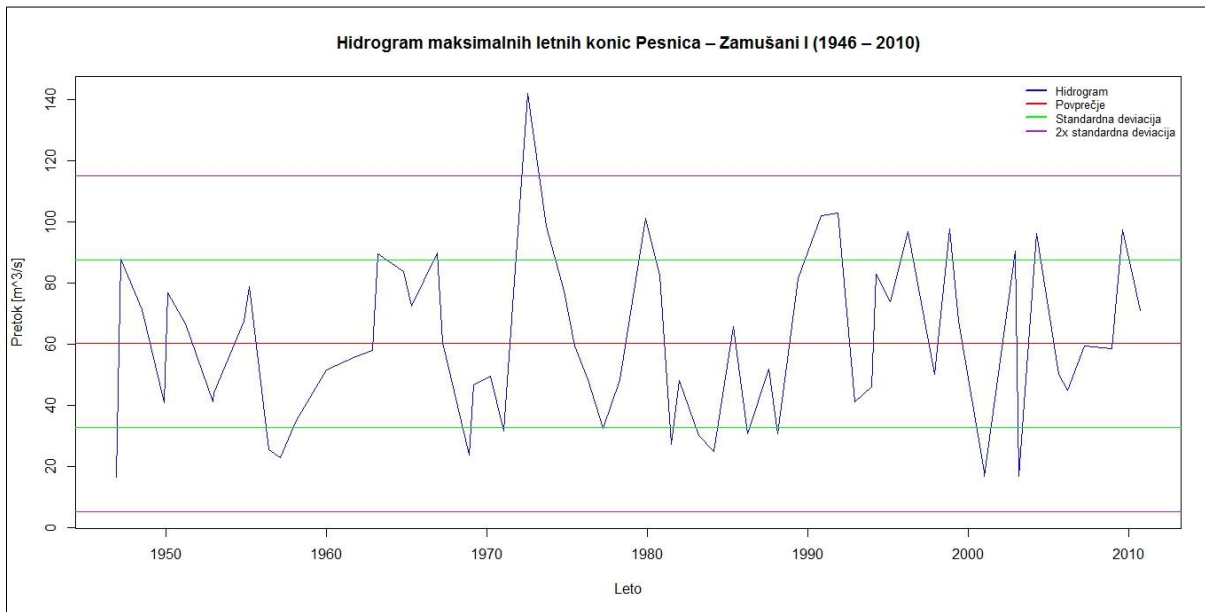
• 2250



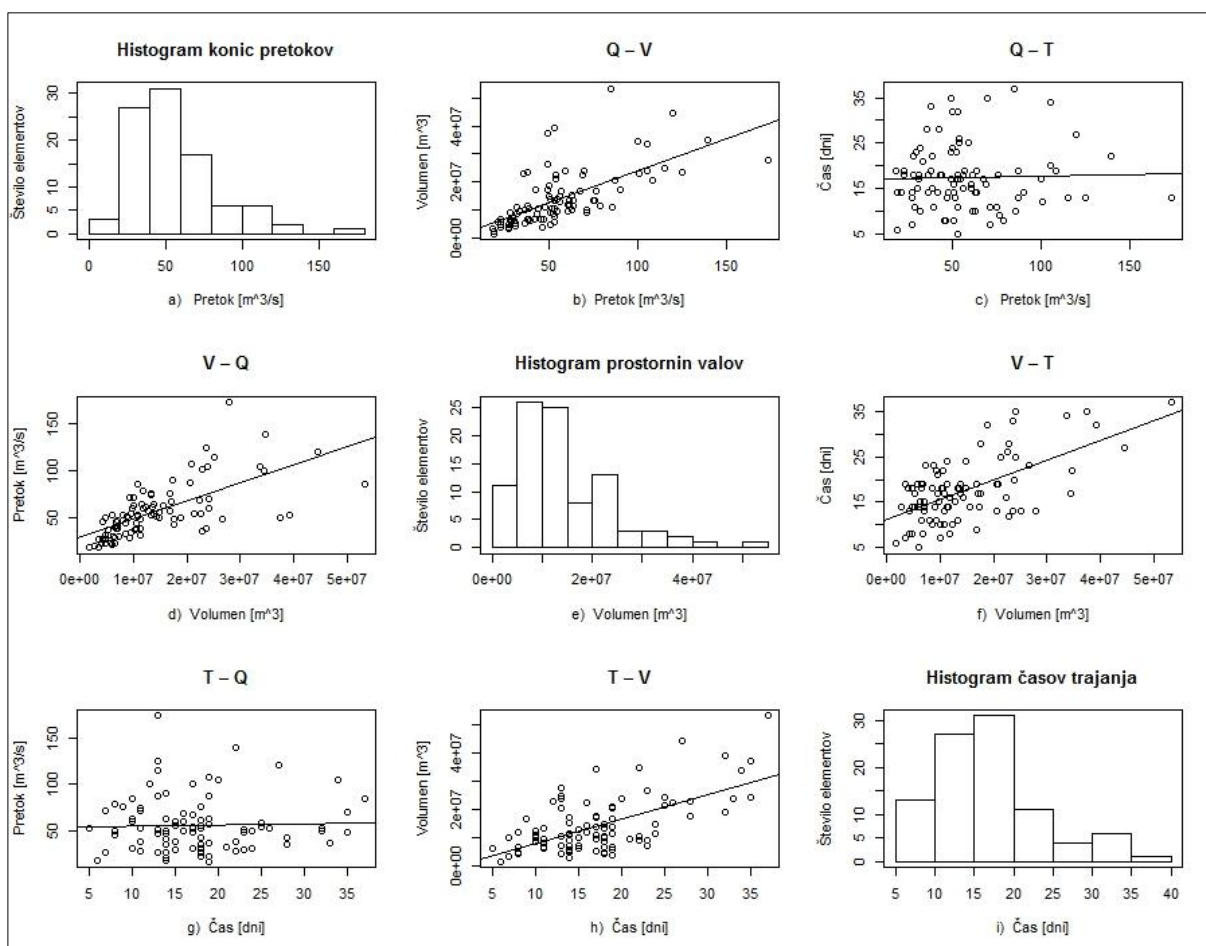
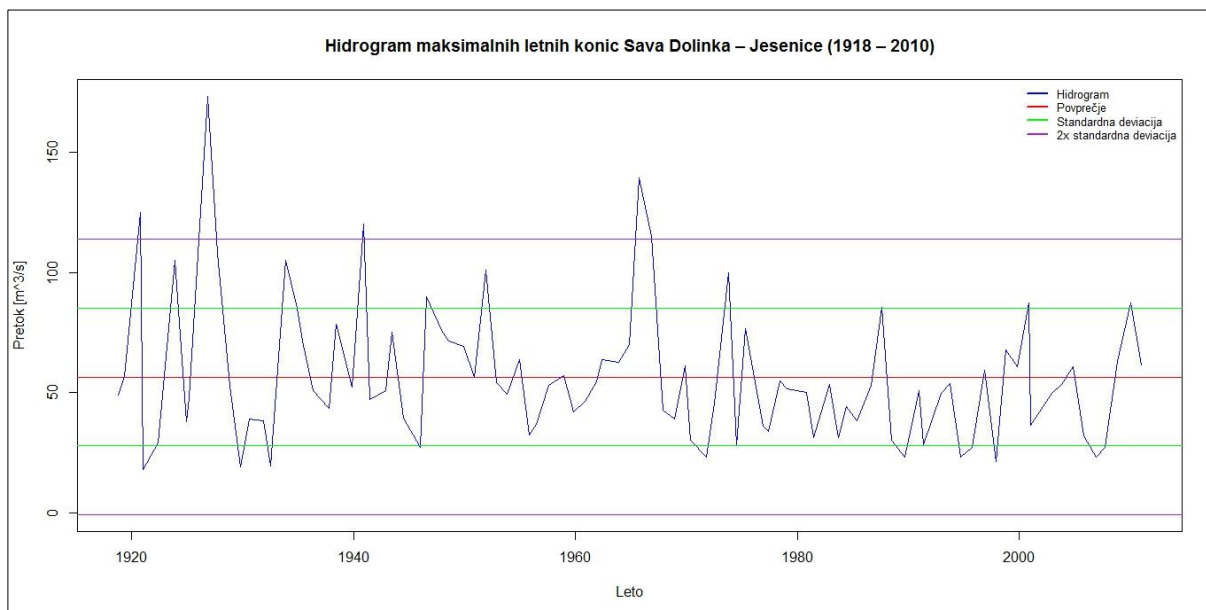
- 2432



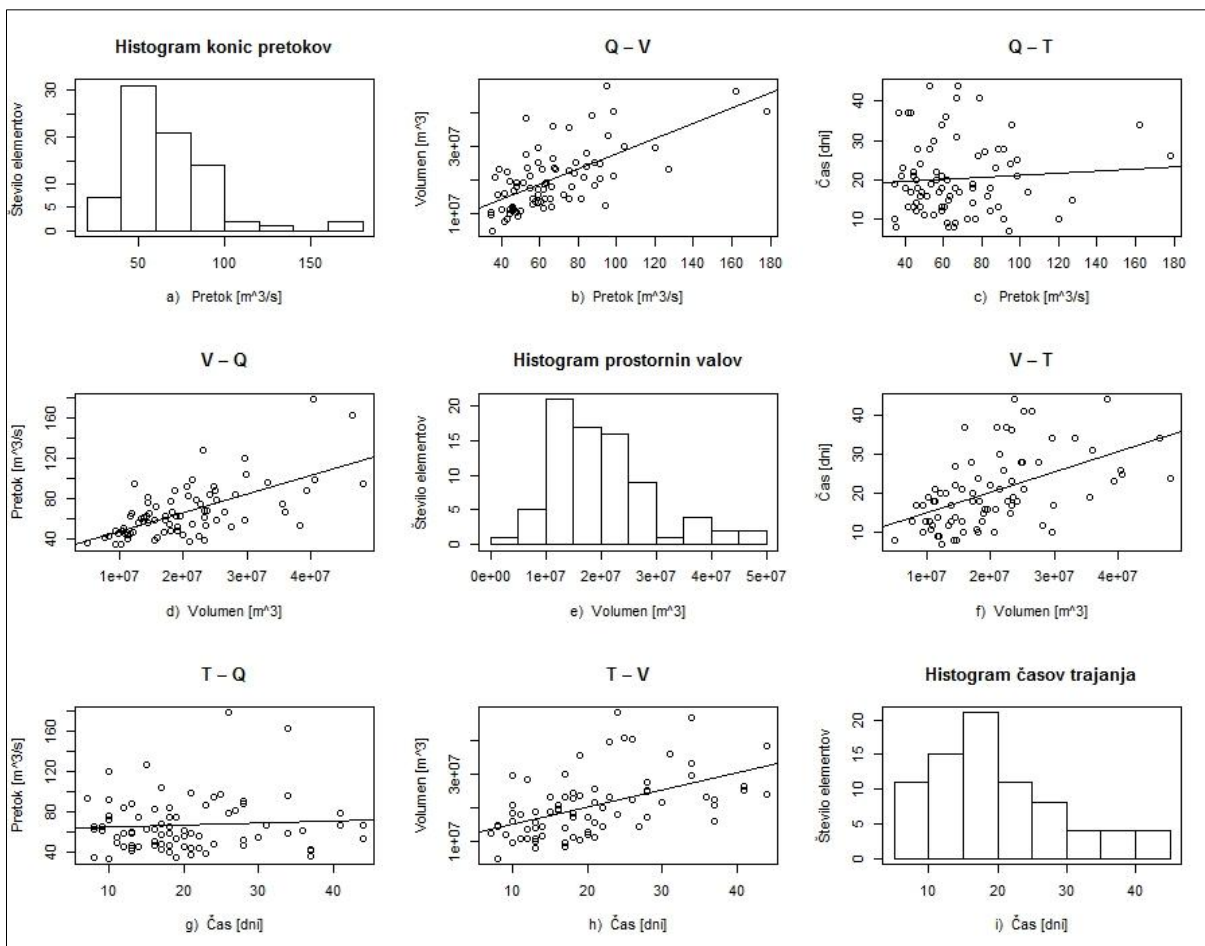
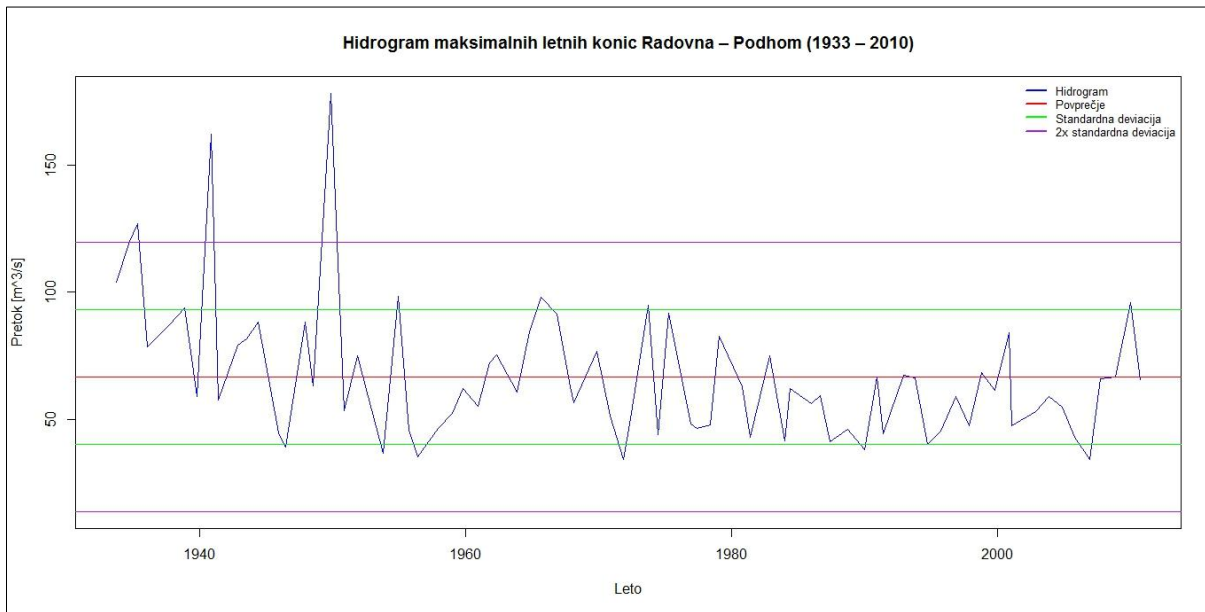
• 2900



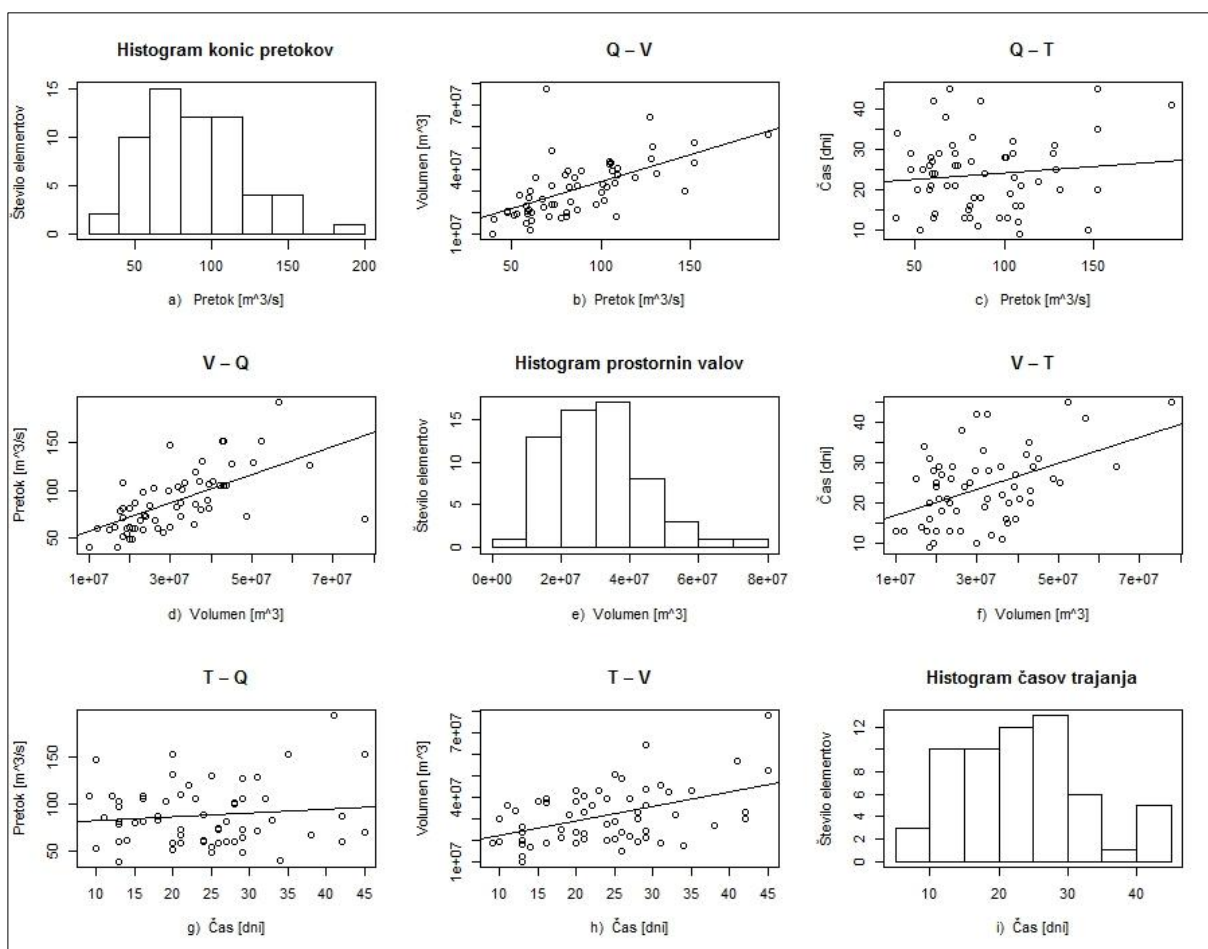
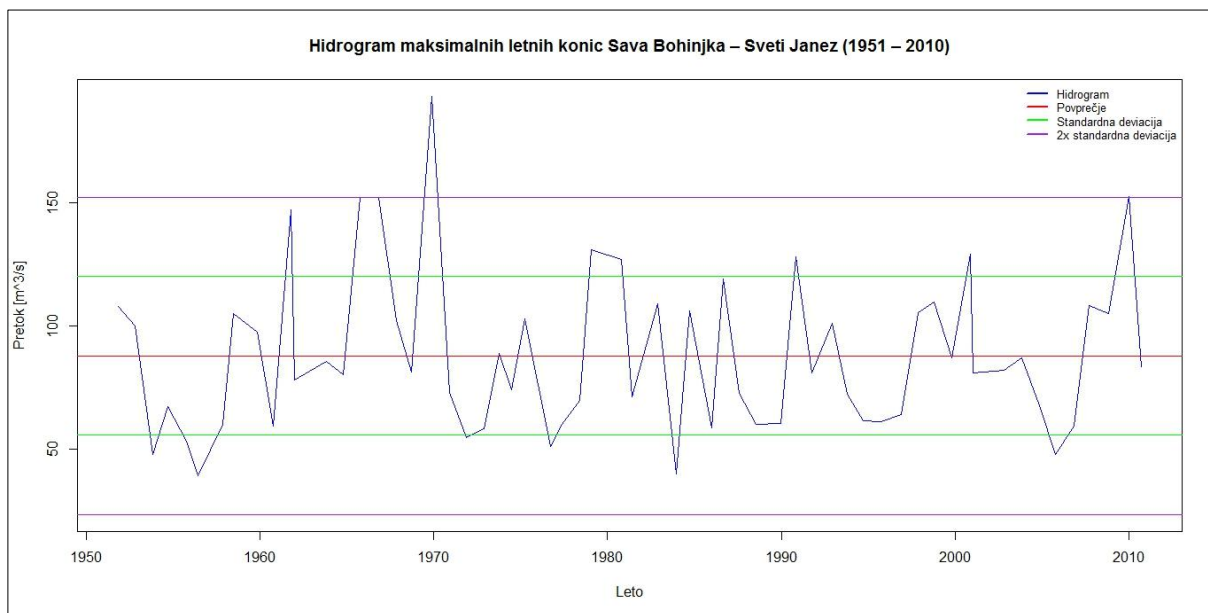
## • 3060



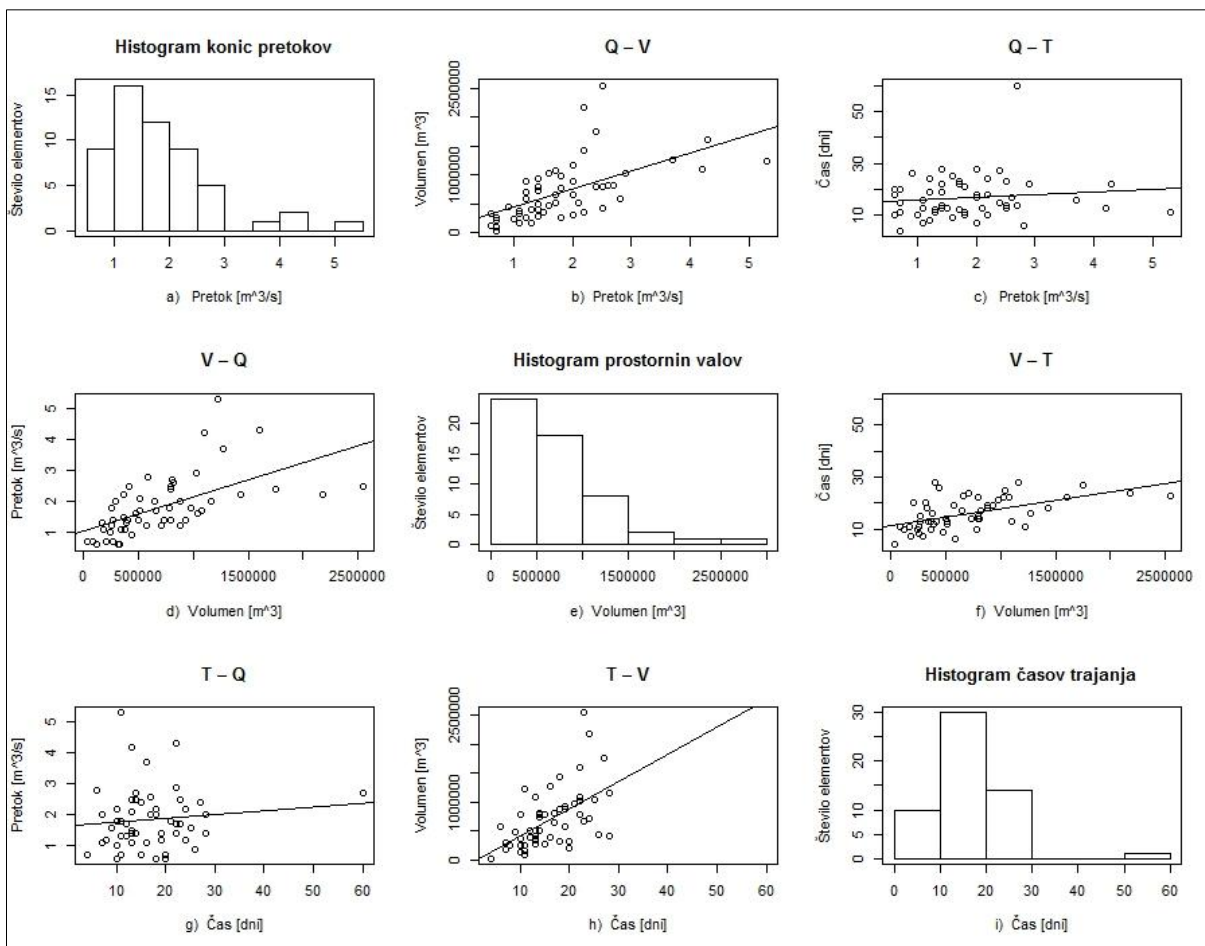
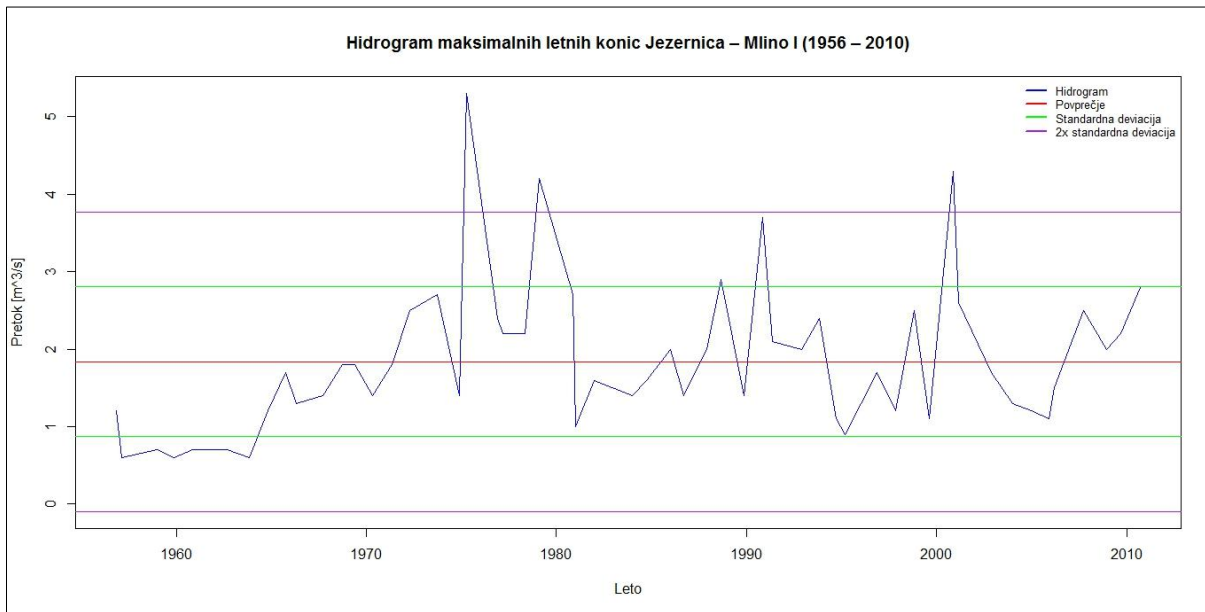
• 3180



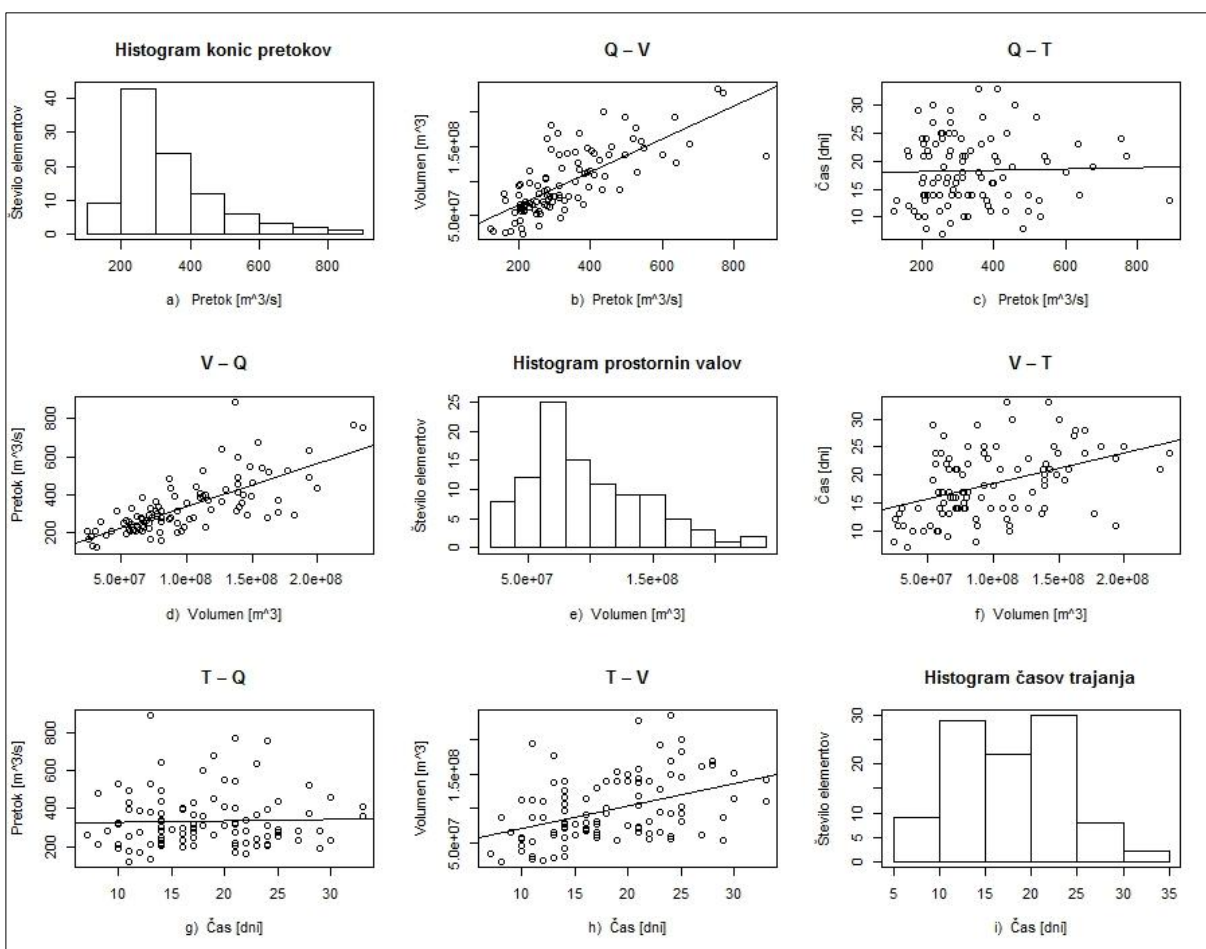
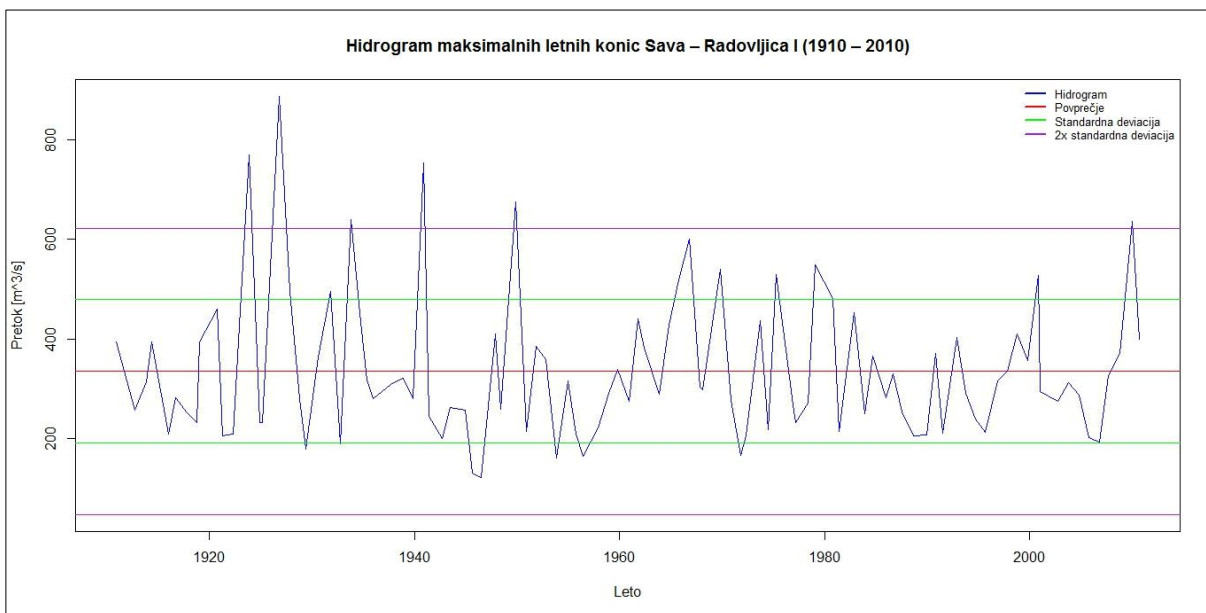
- 3200



• 3400

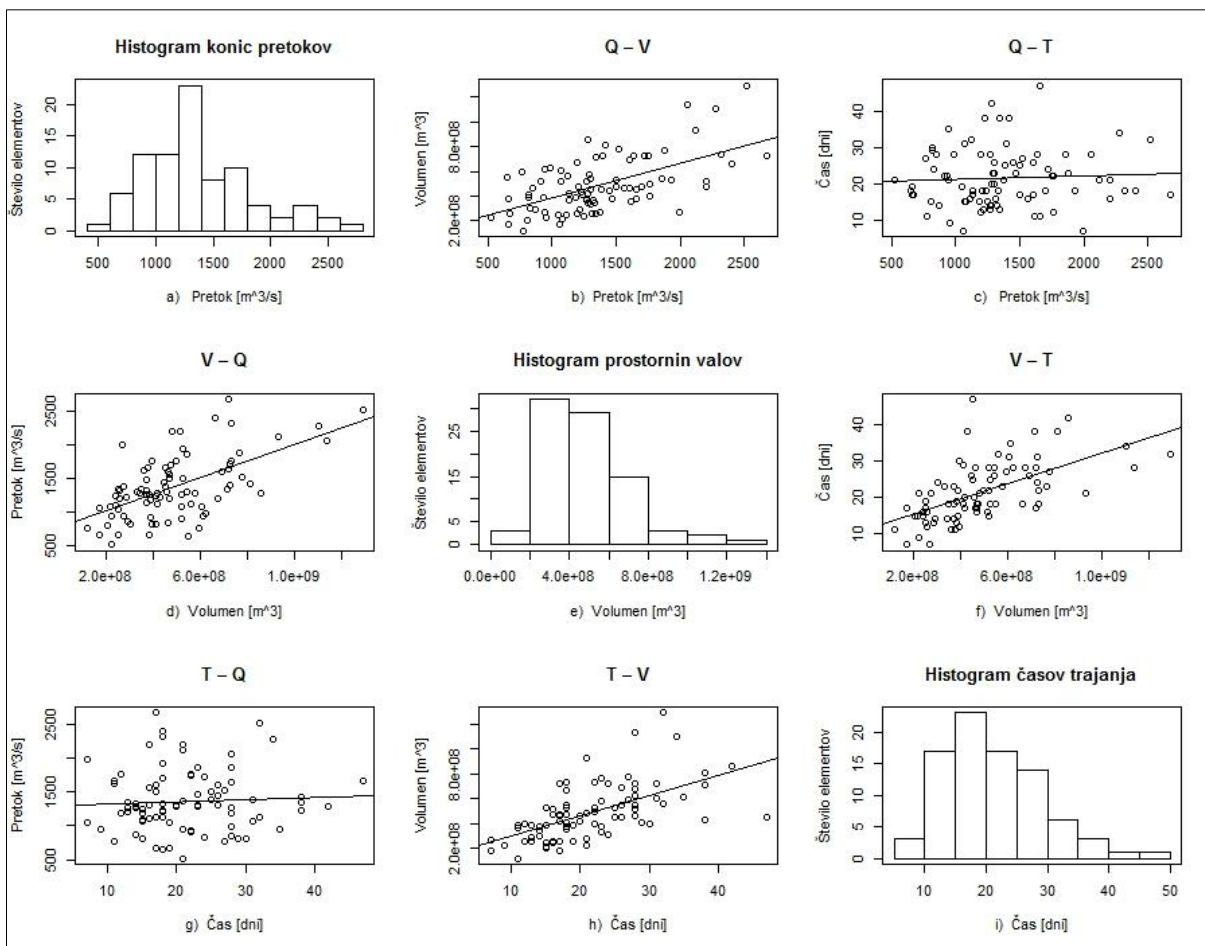
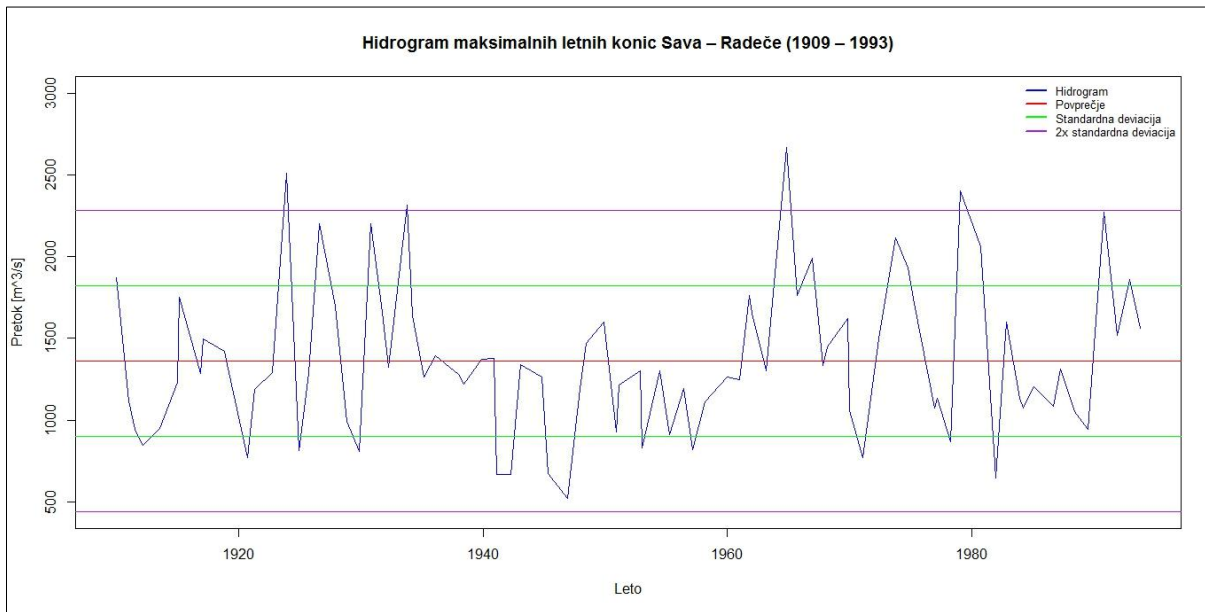


- 3420

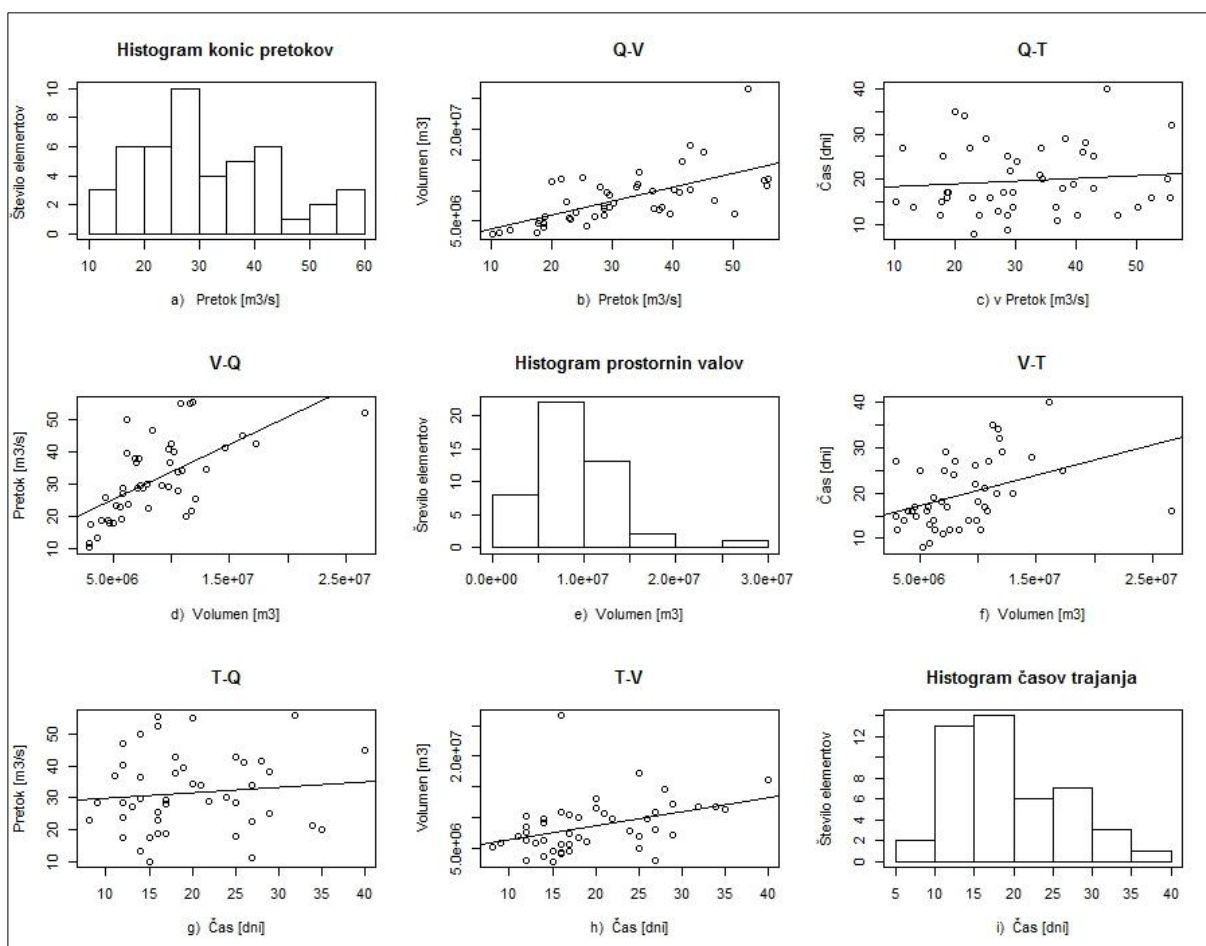
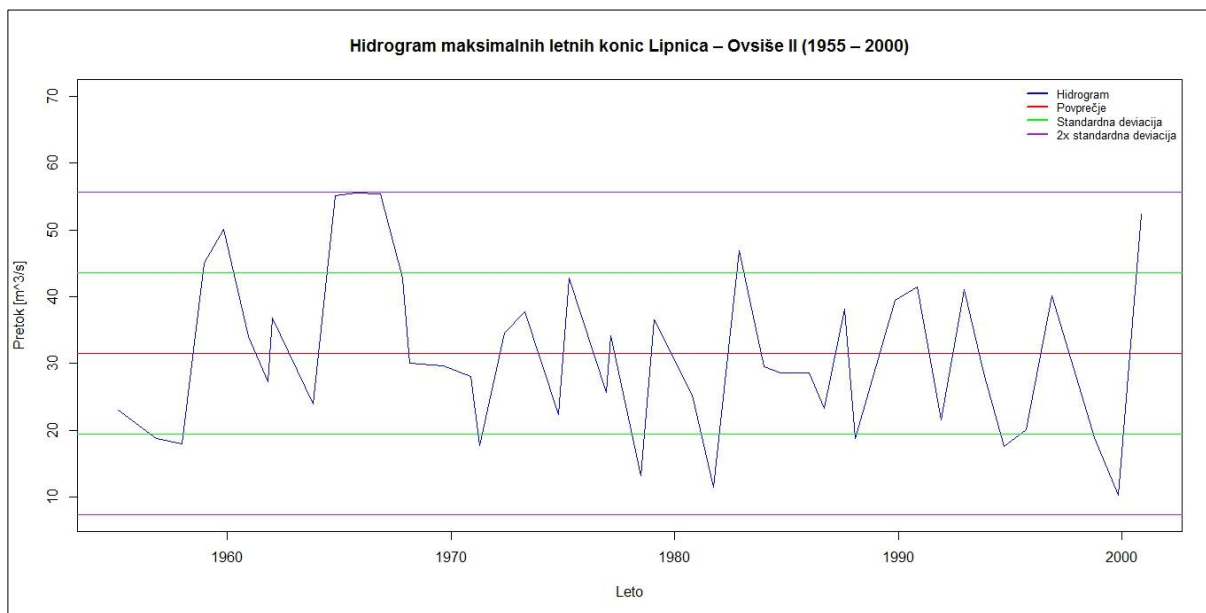




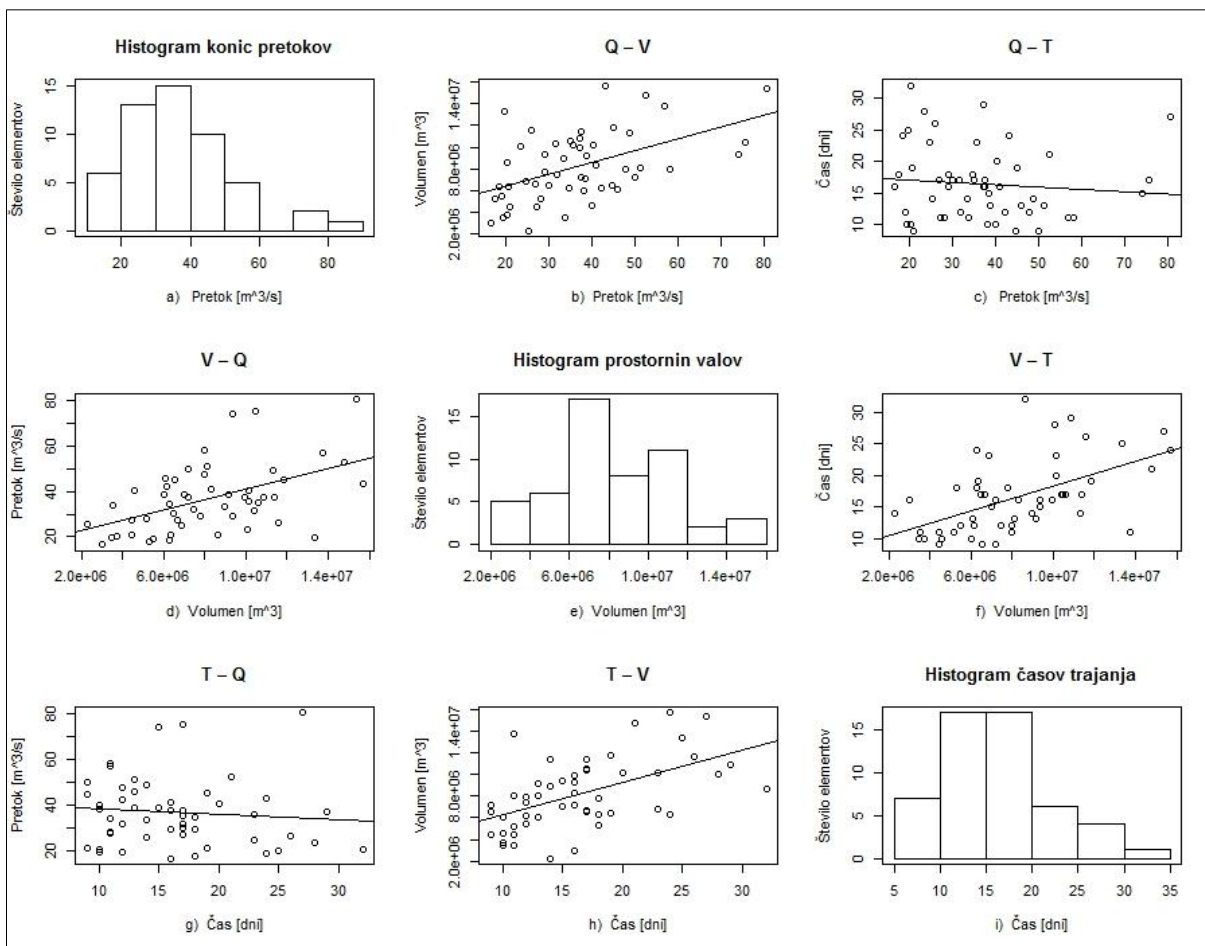
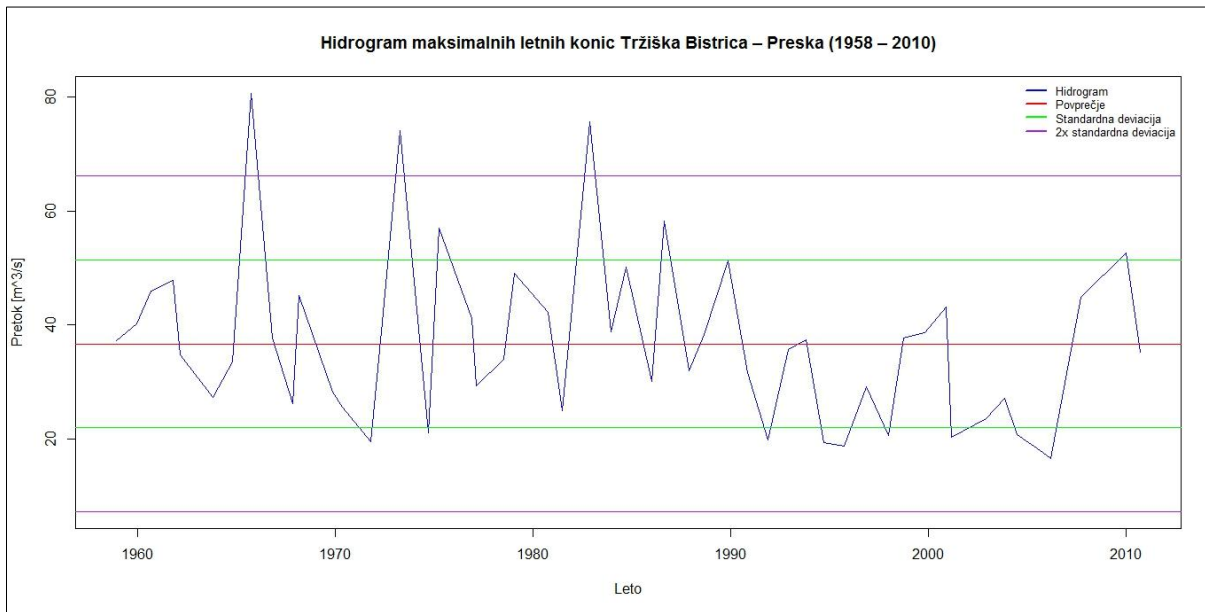
• 3740



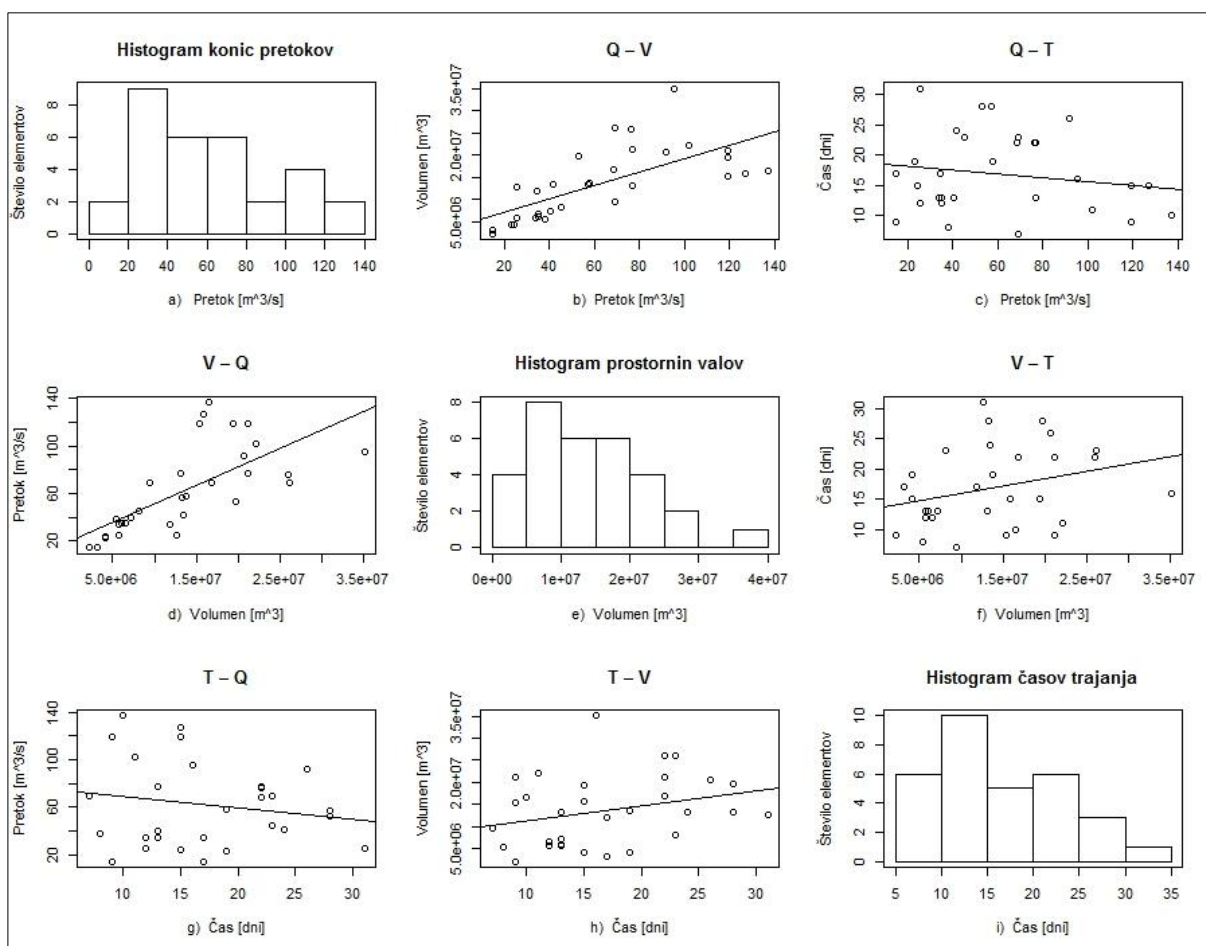
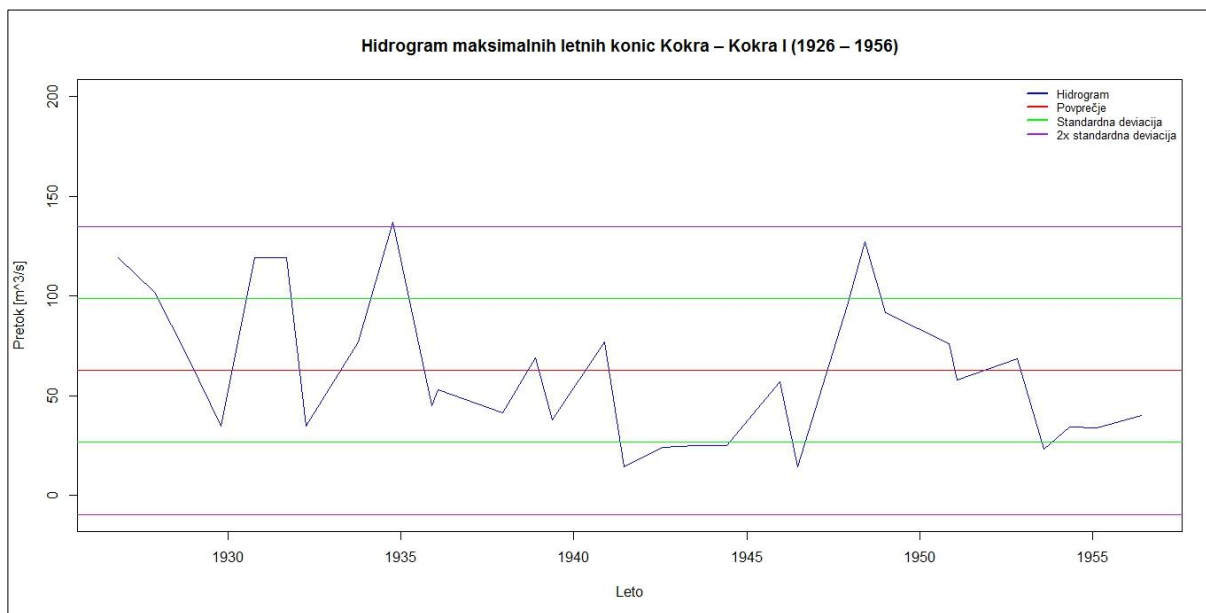
## • 4025



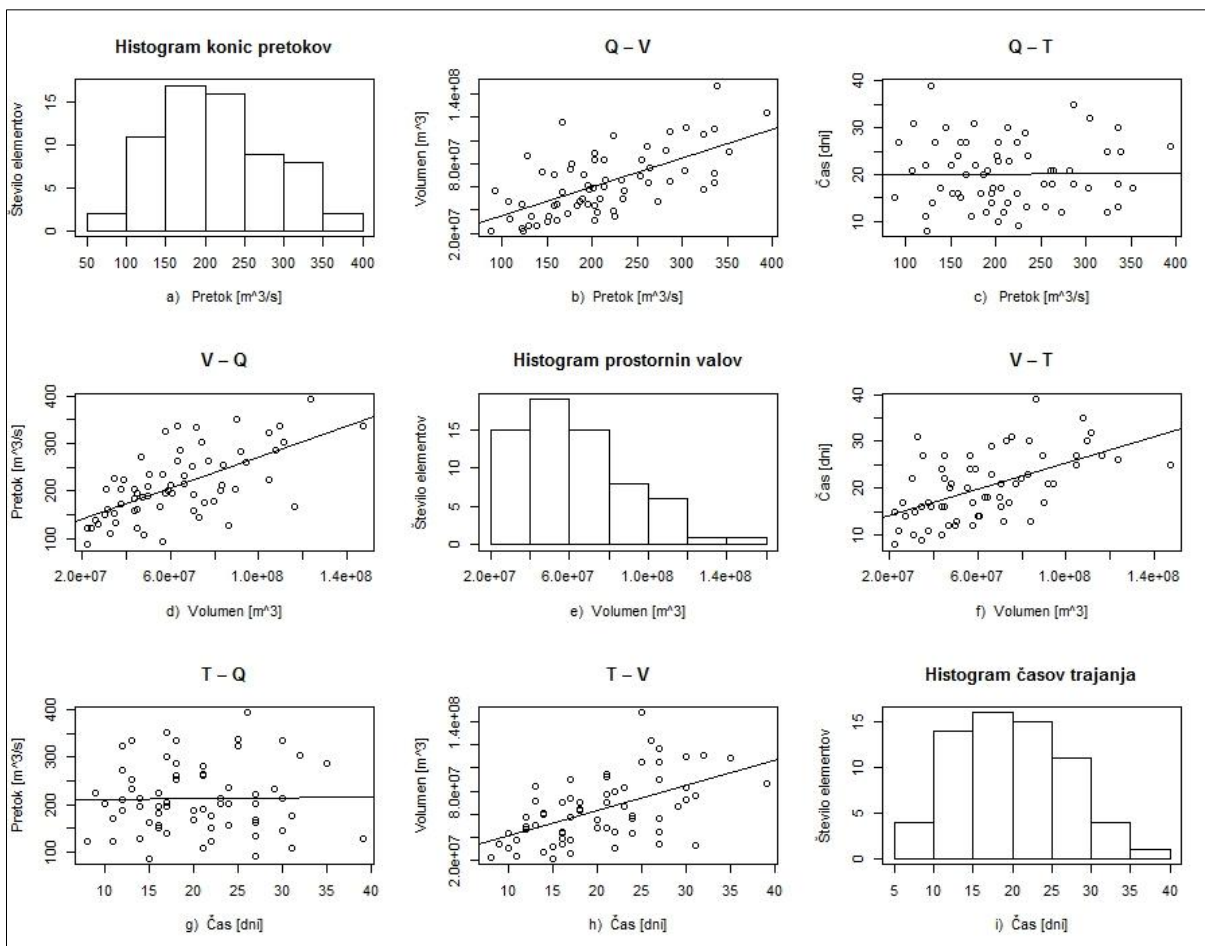
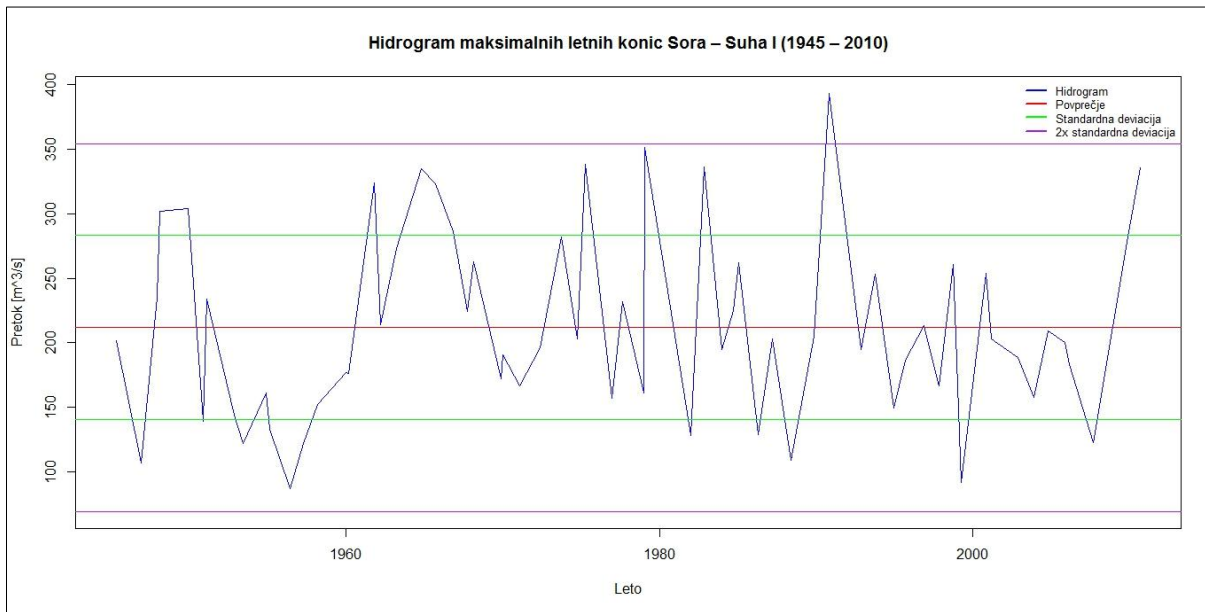
• 4050



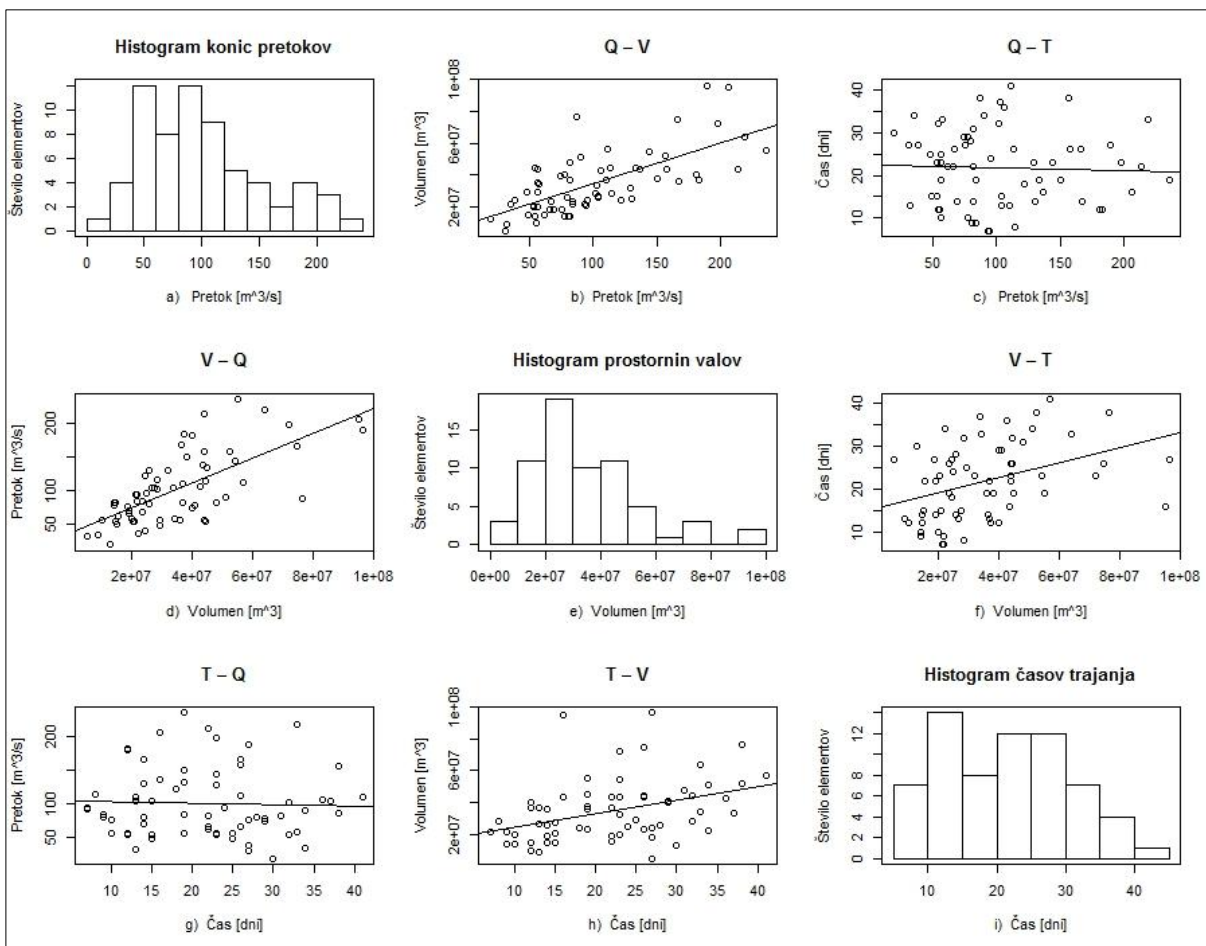
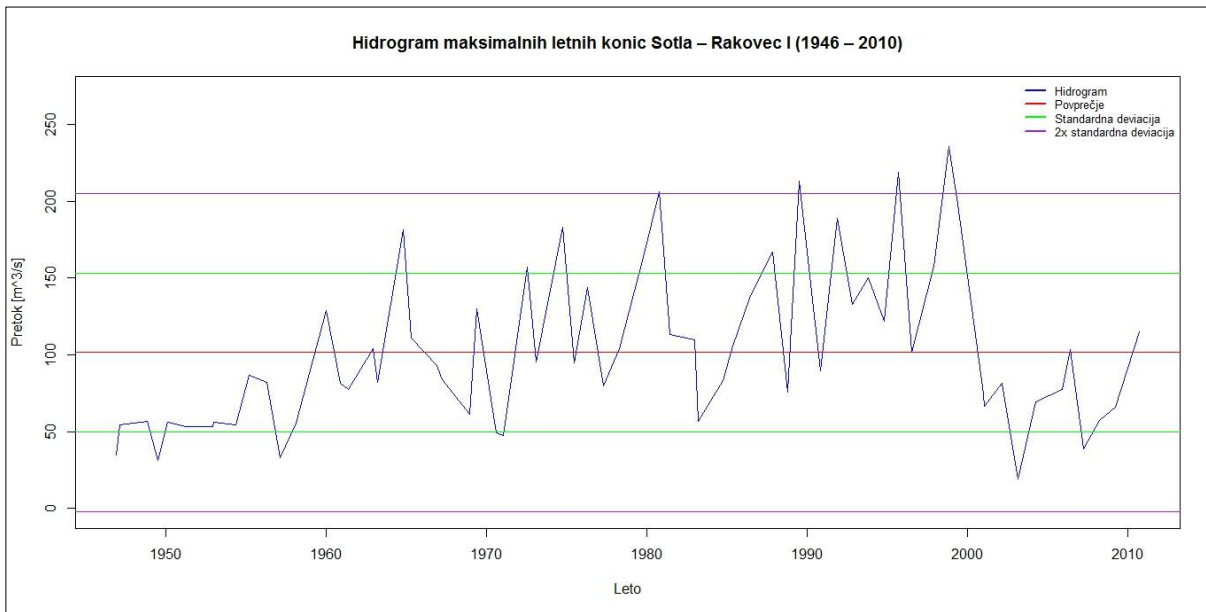
## • 4120



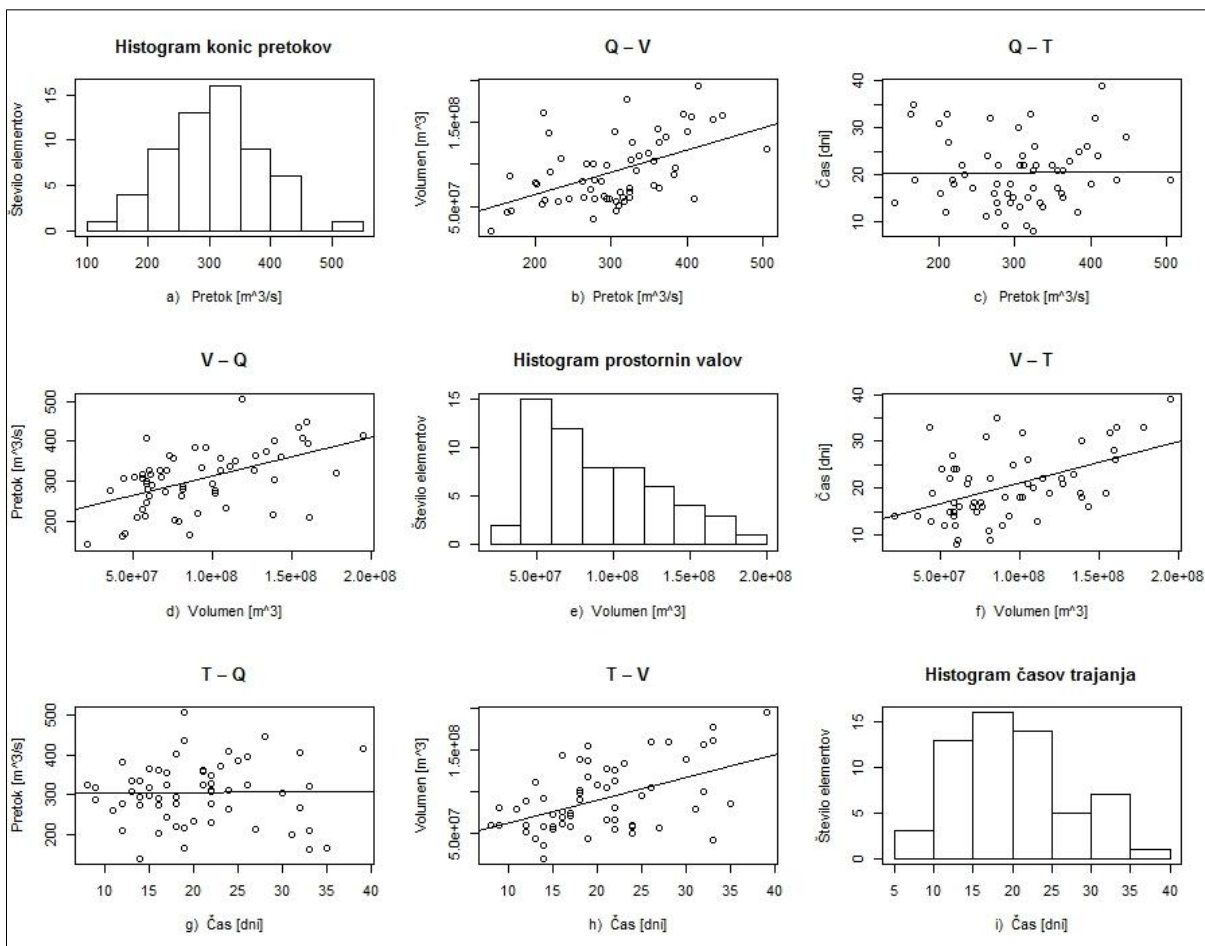
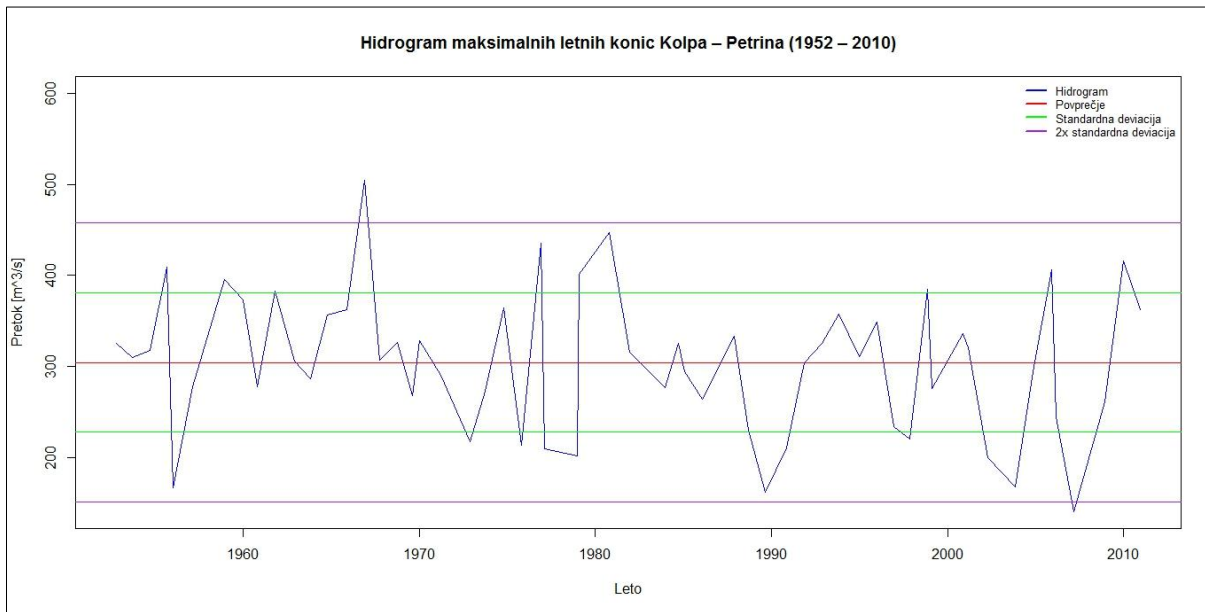
• 4200



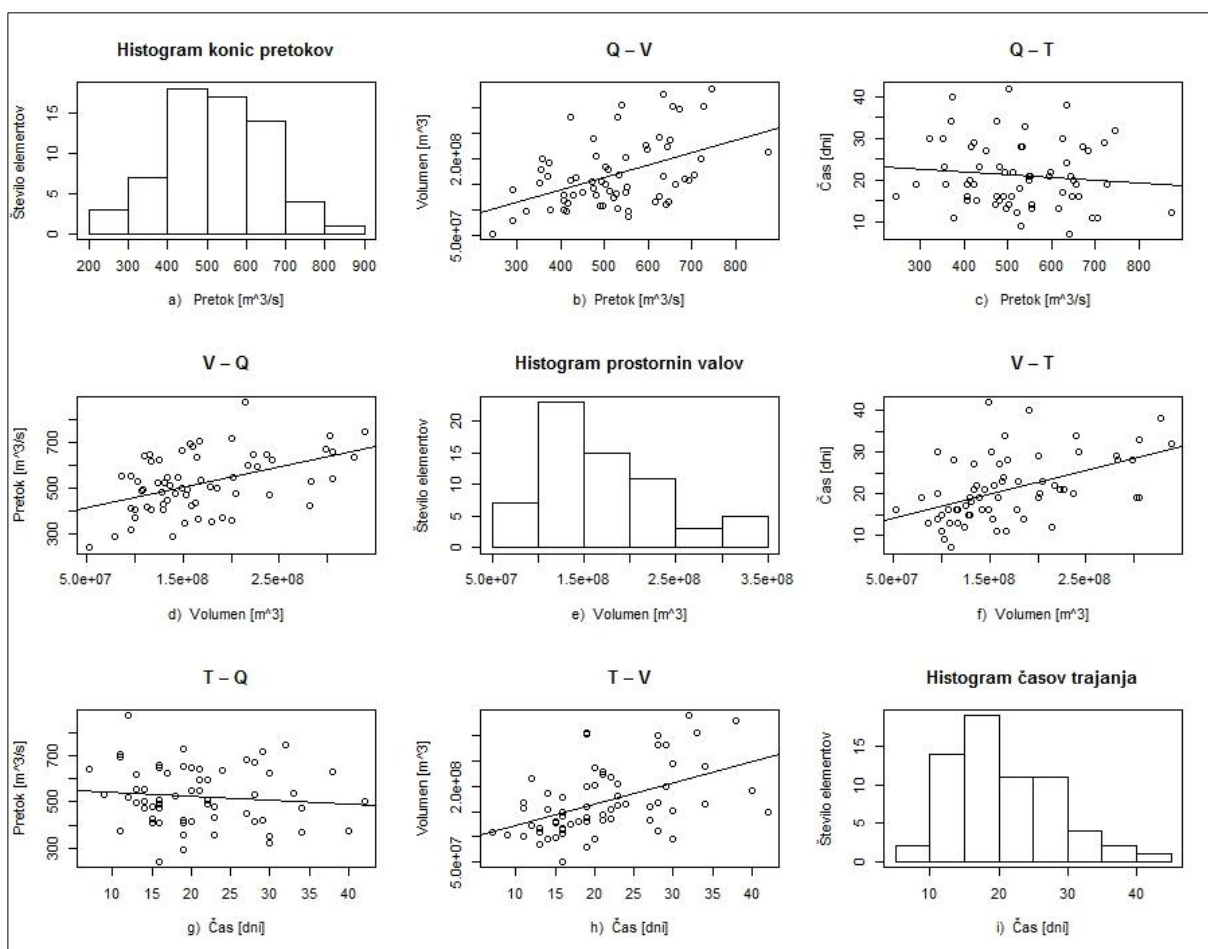
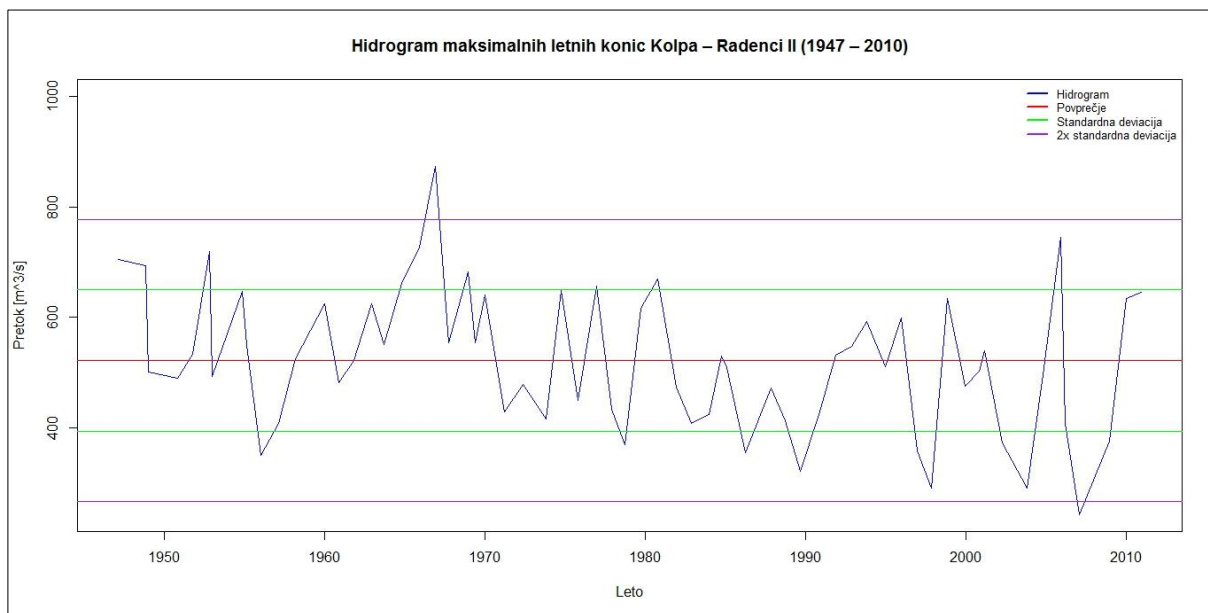
• 4740



• 4820

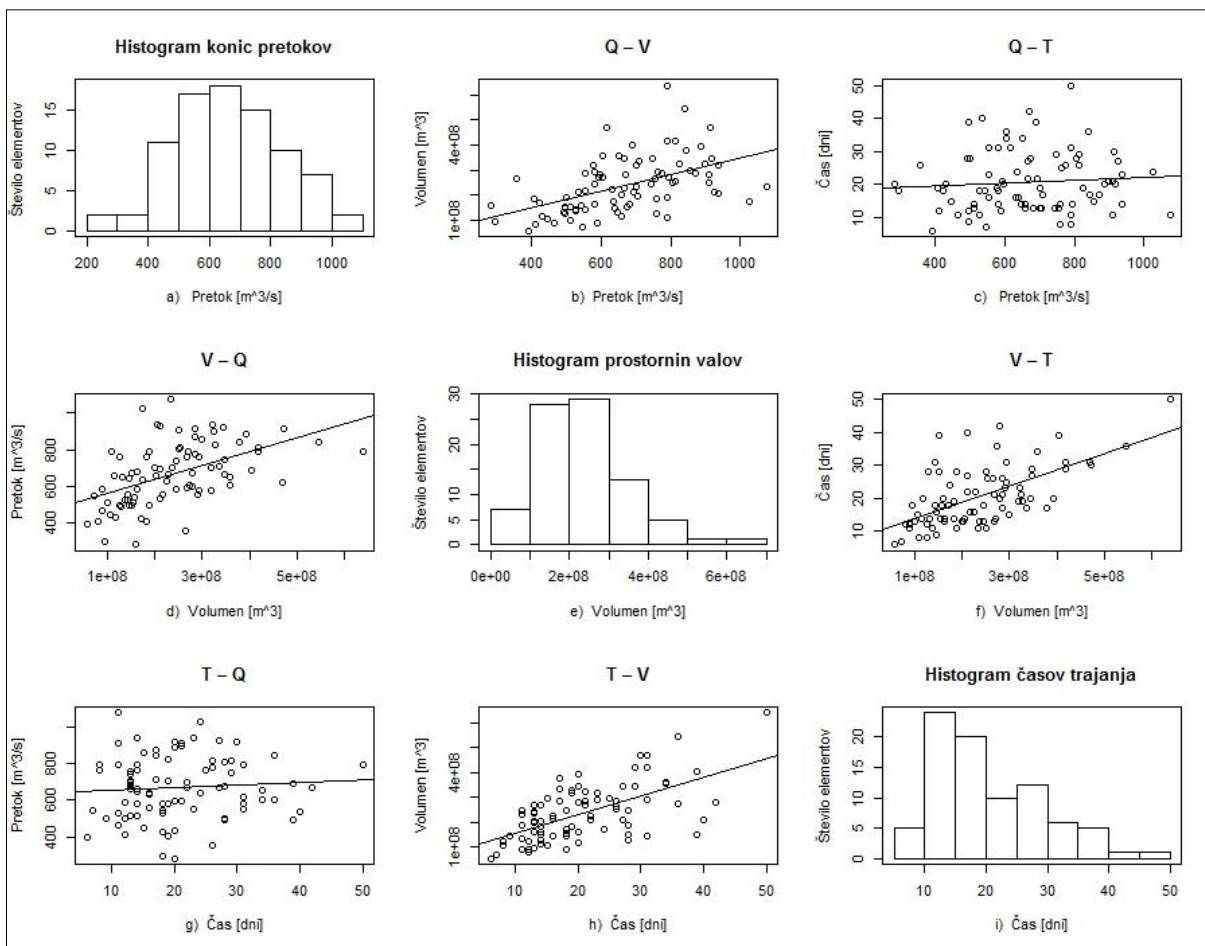
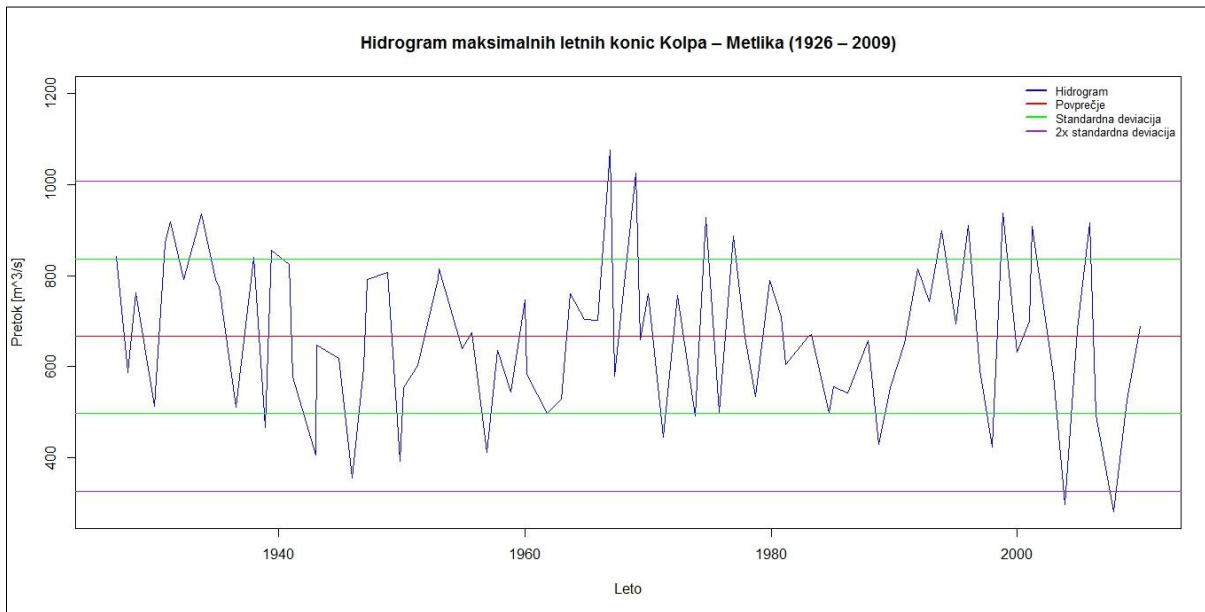


• 4850

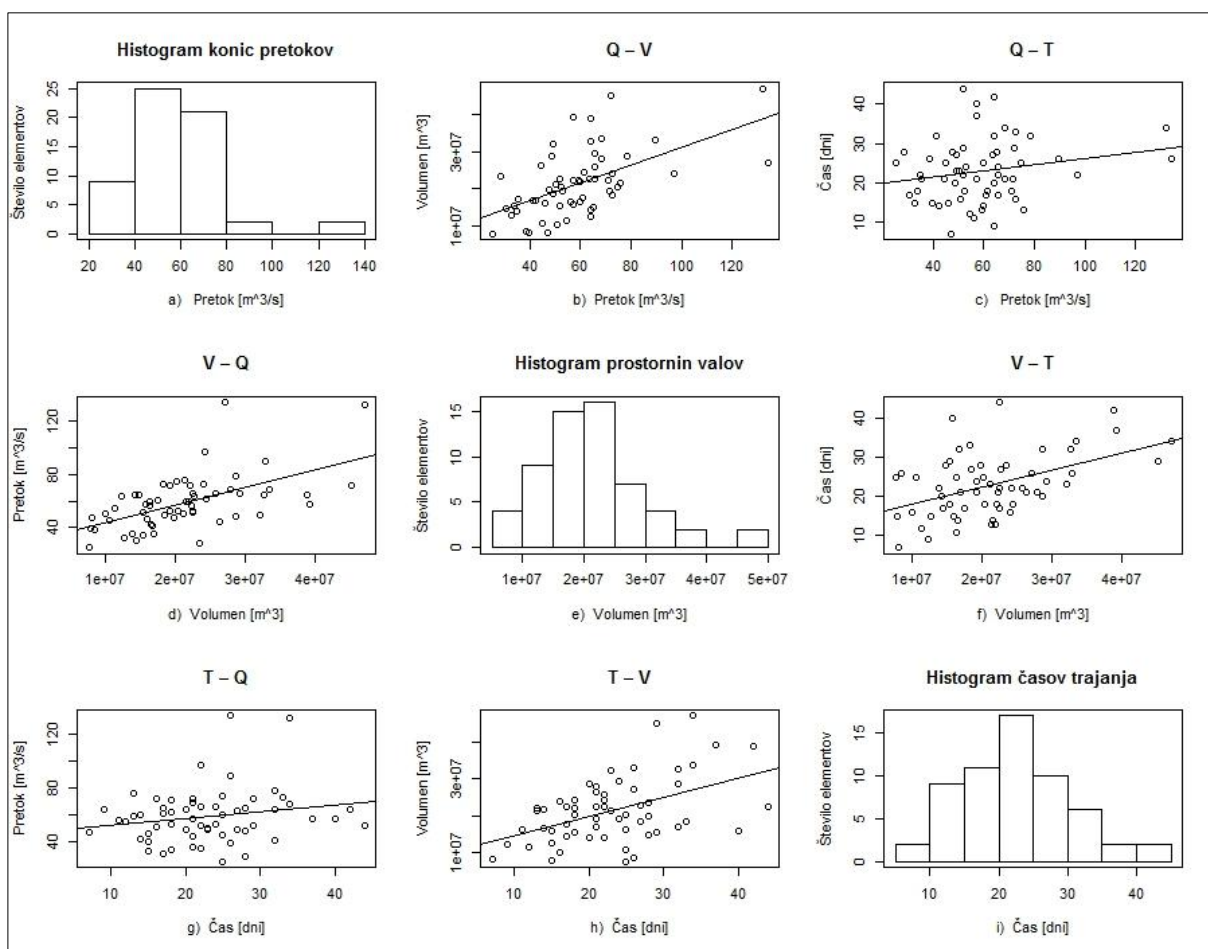
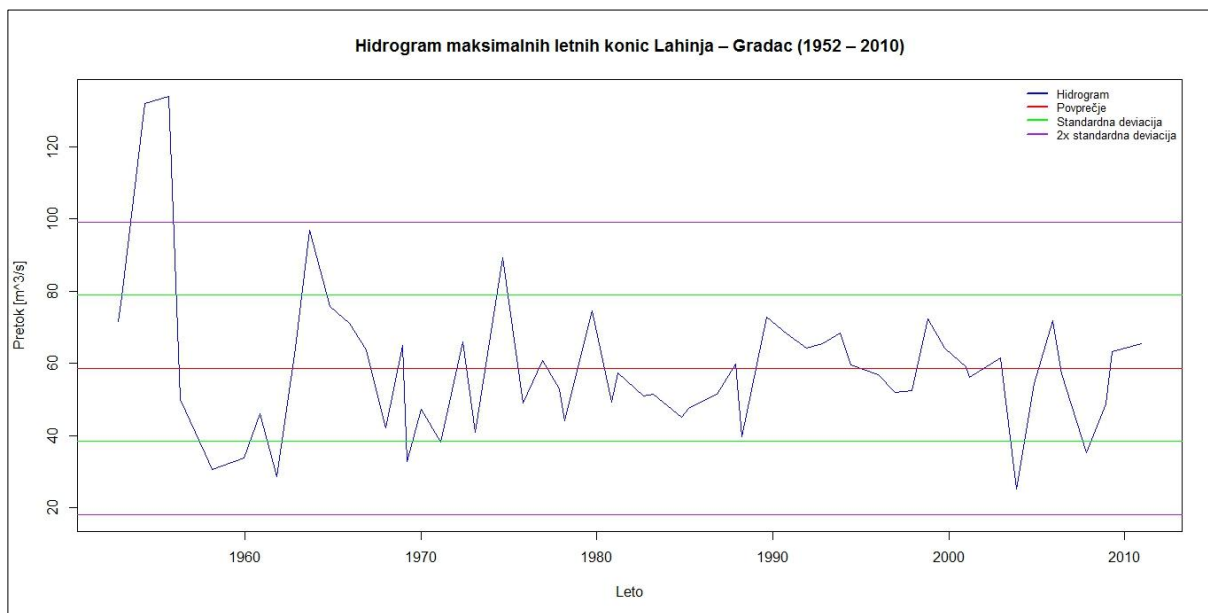




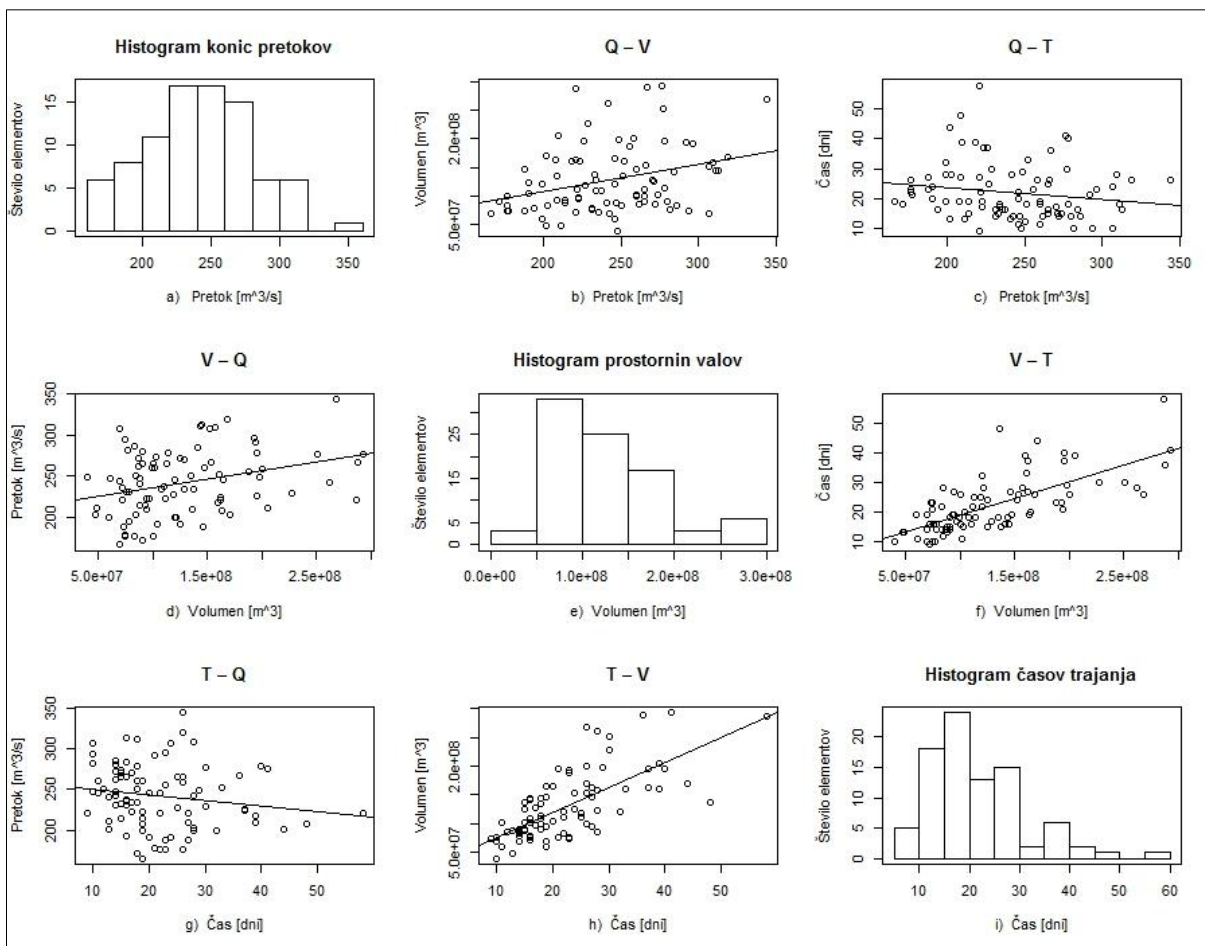
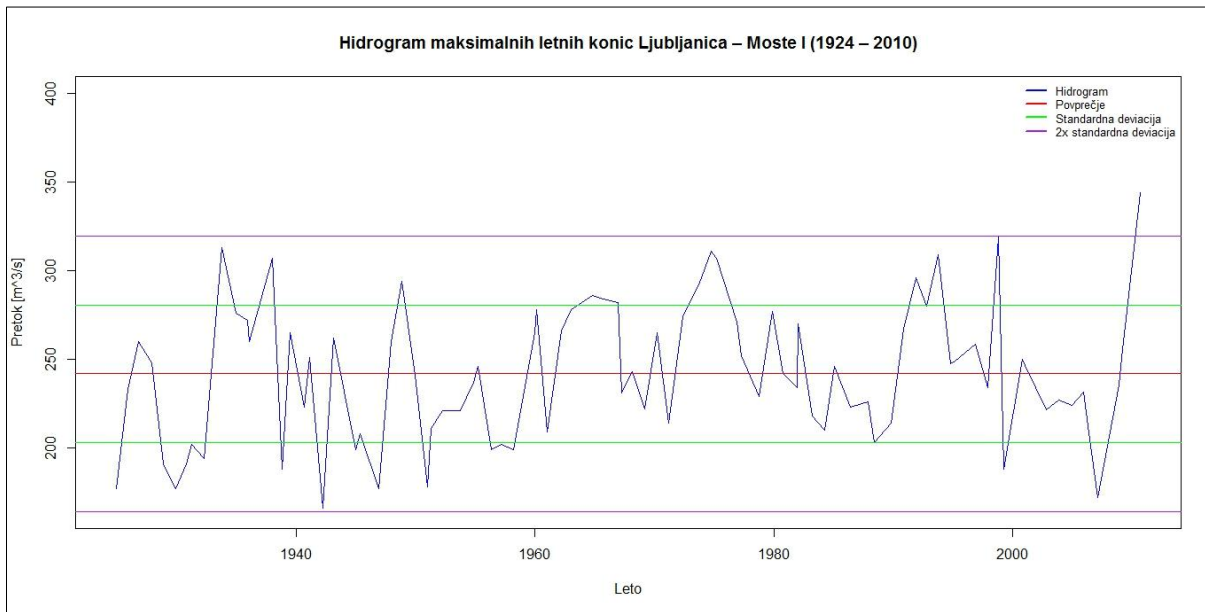
• 4860



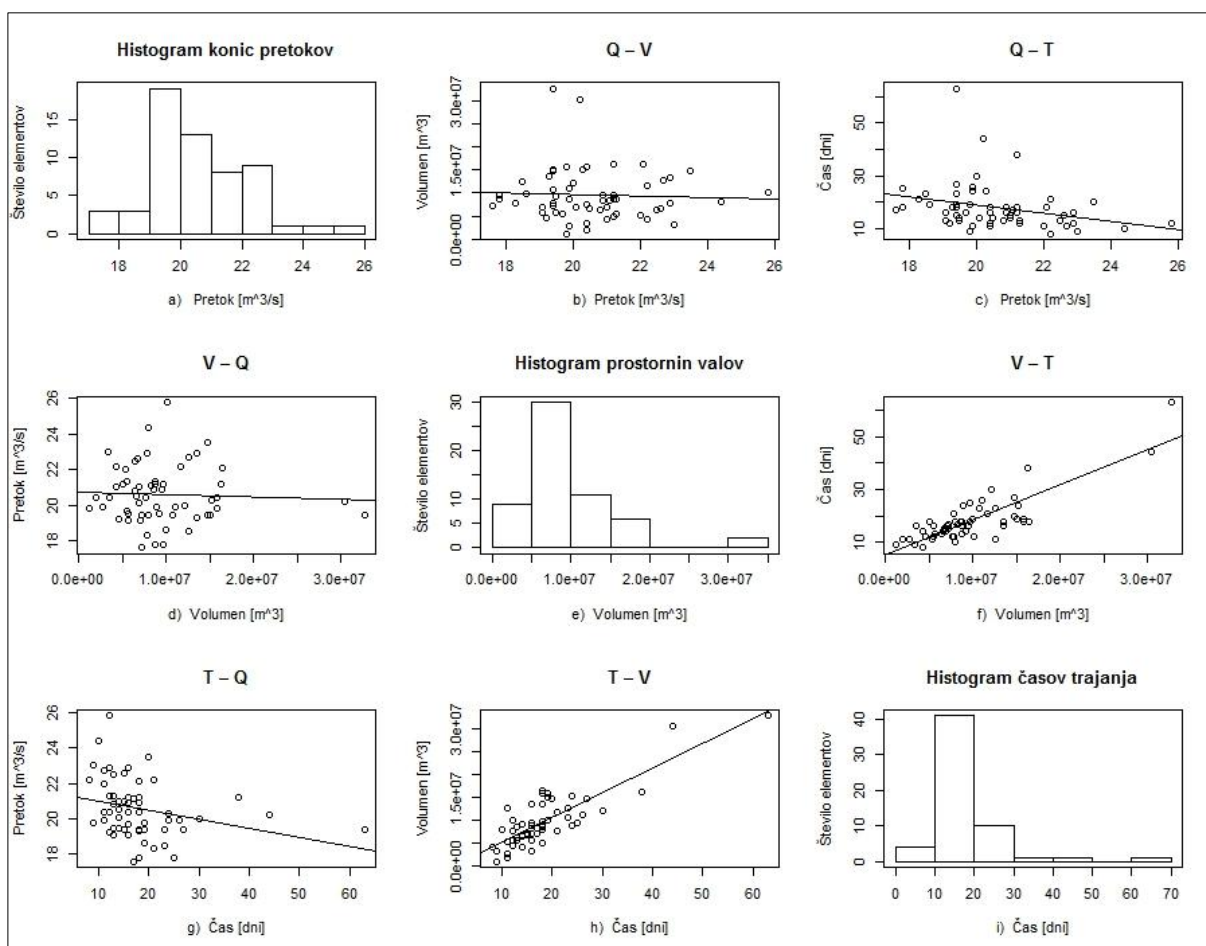
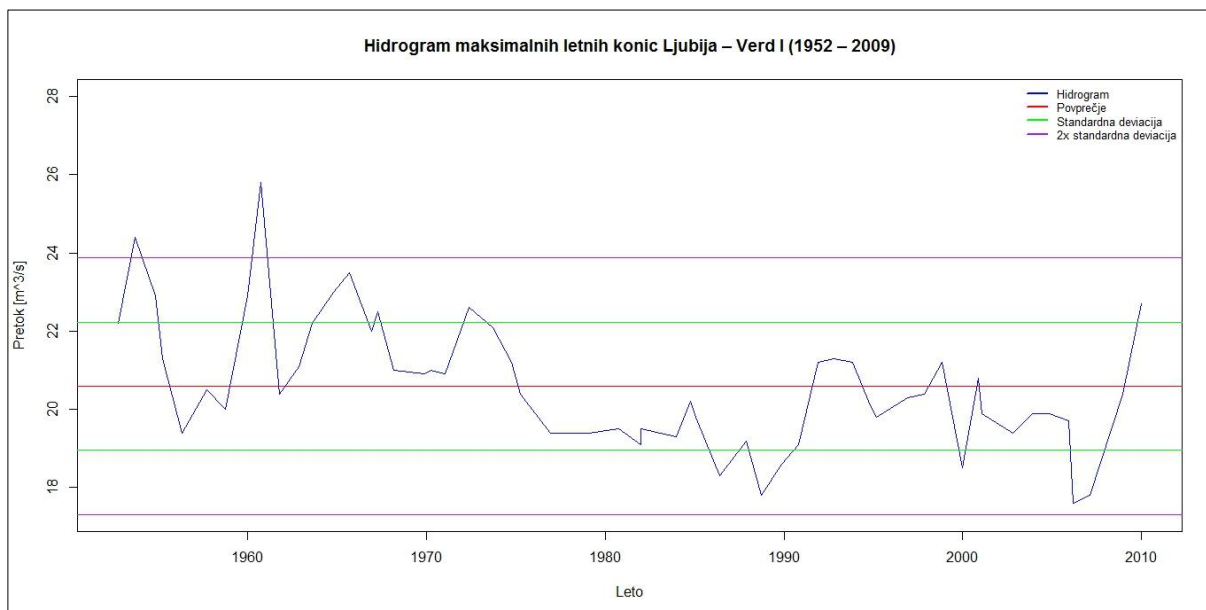
• 4970



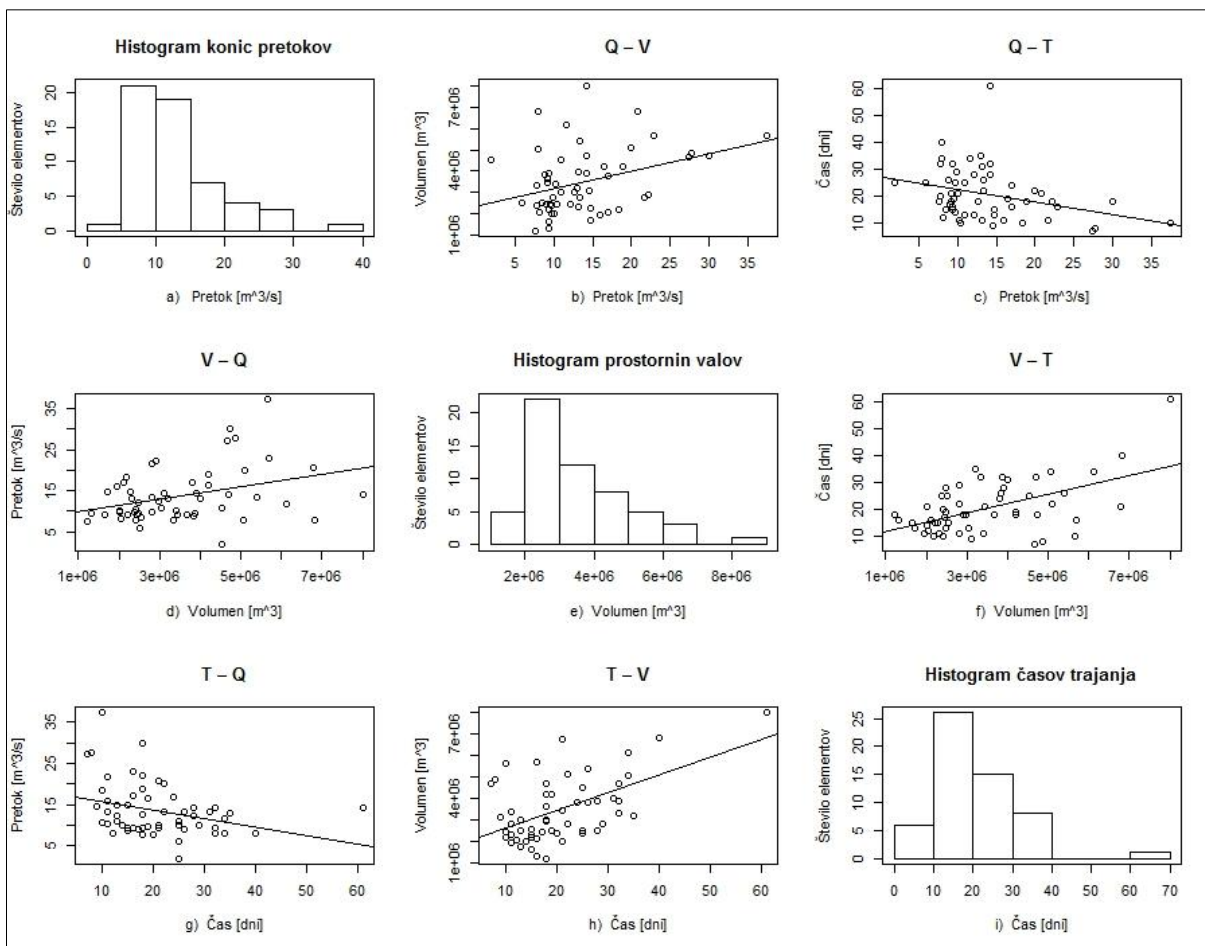
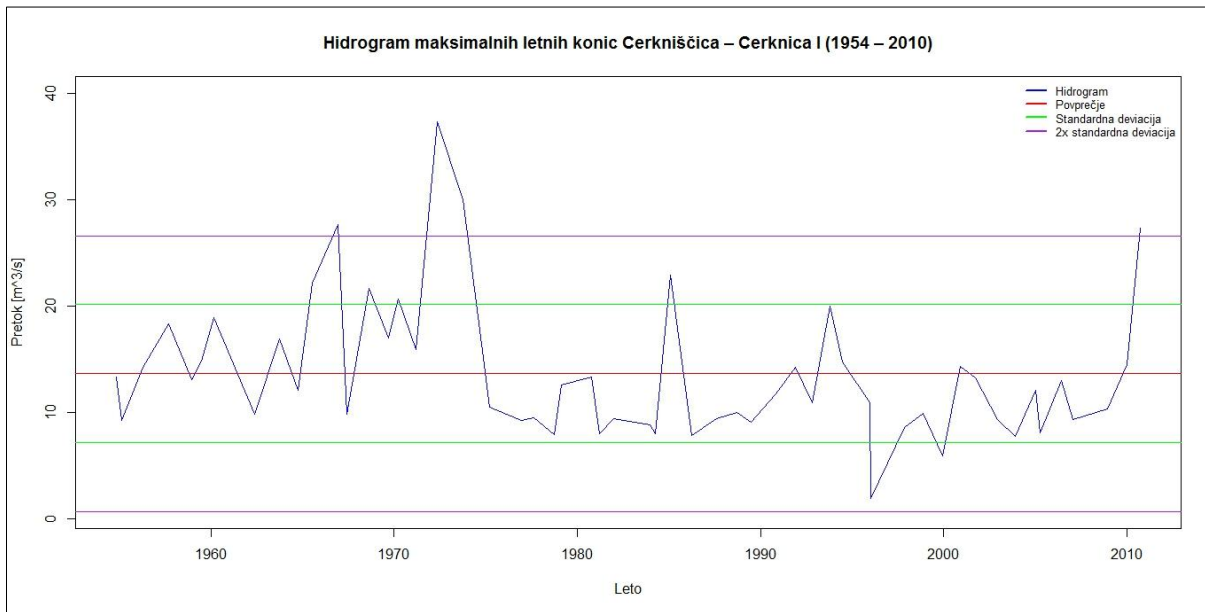
• 5078



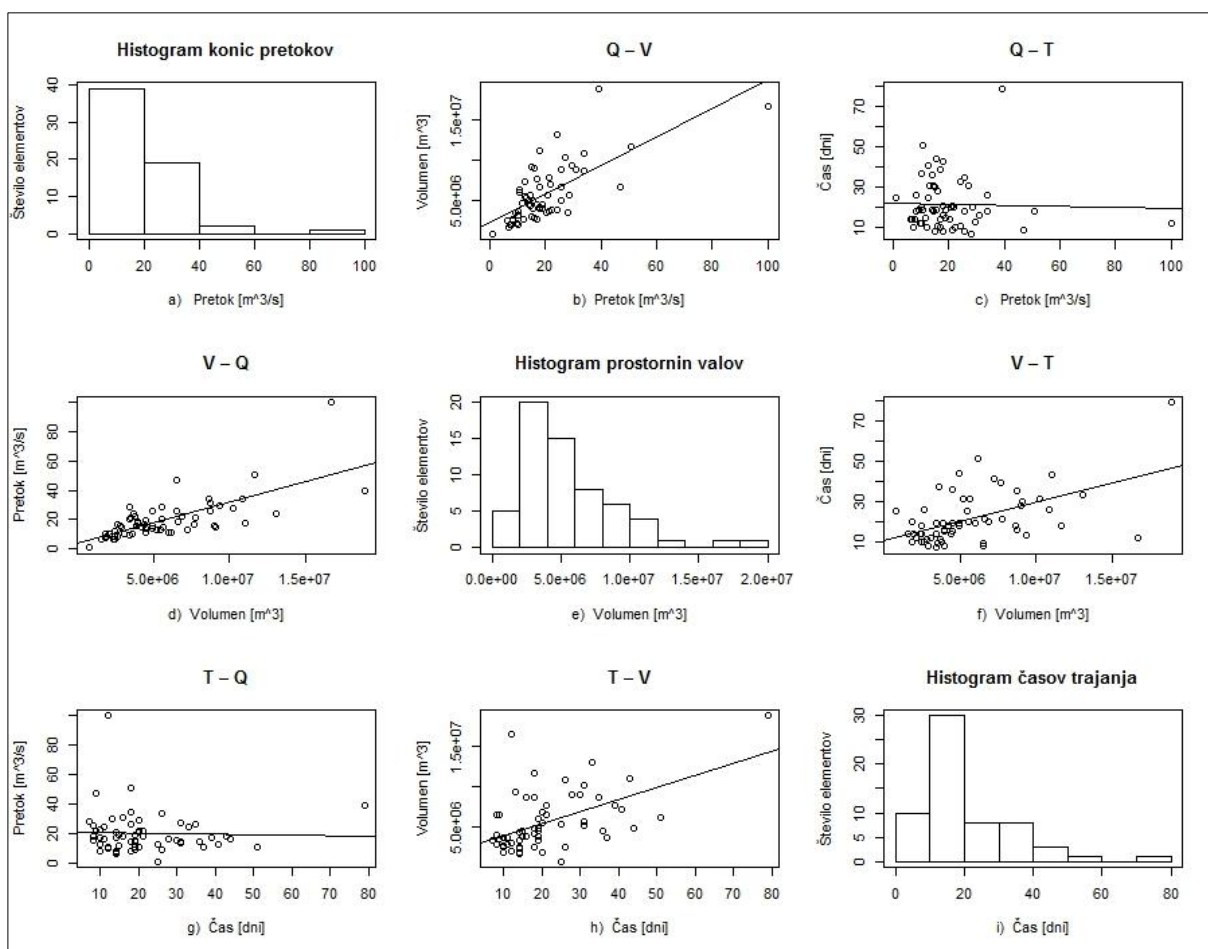
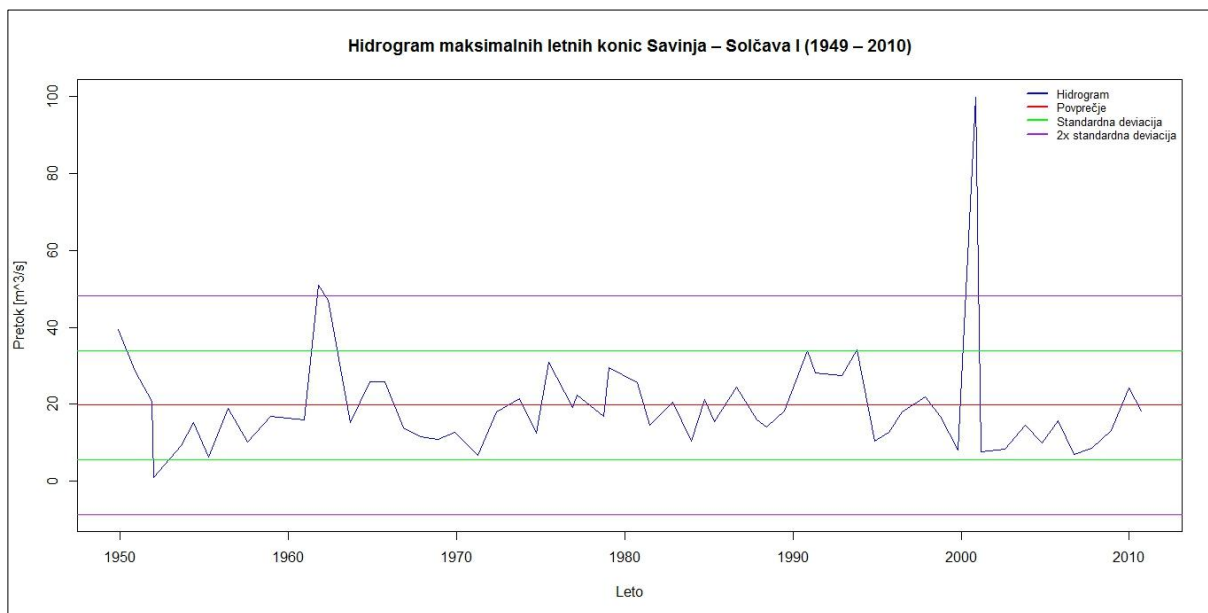
## • 5240



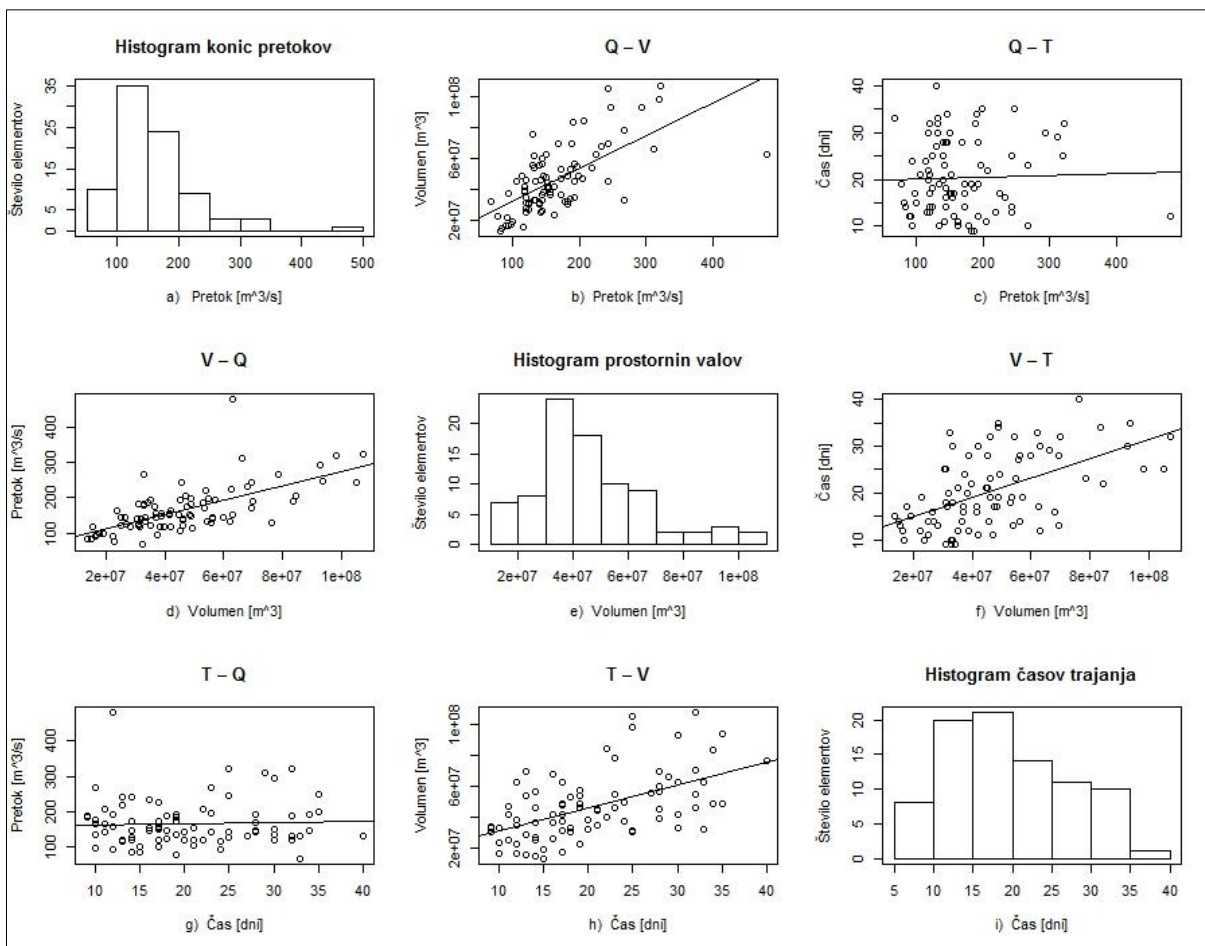
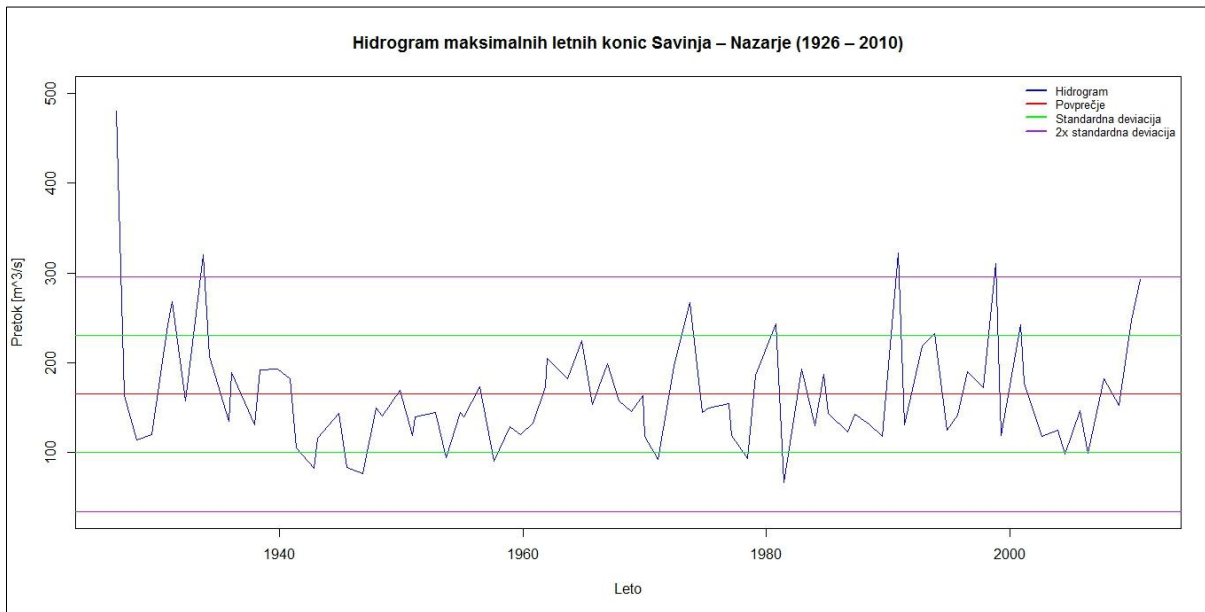
• 5770



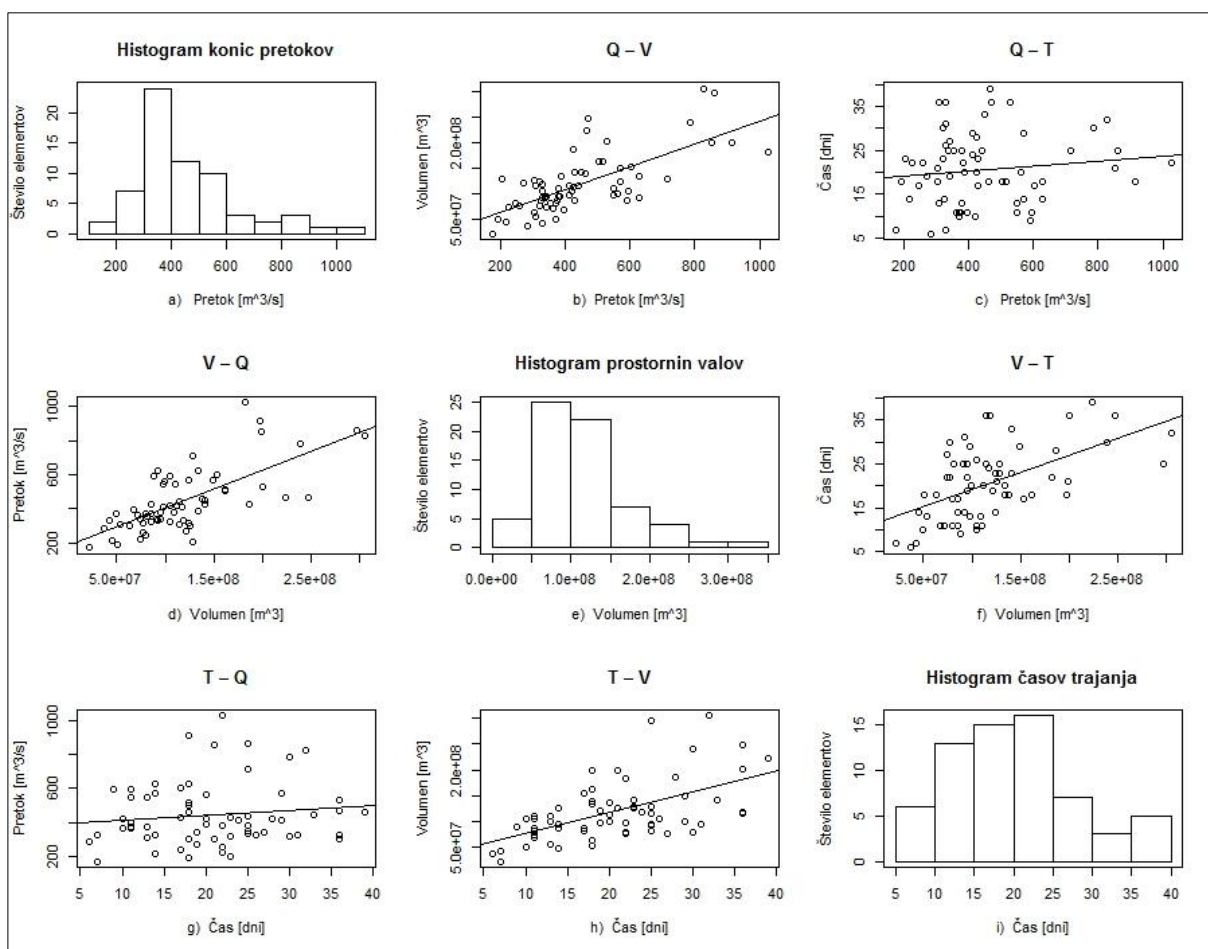
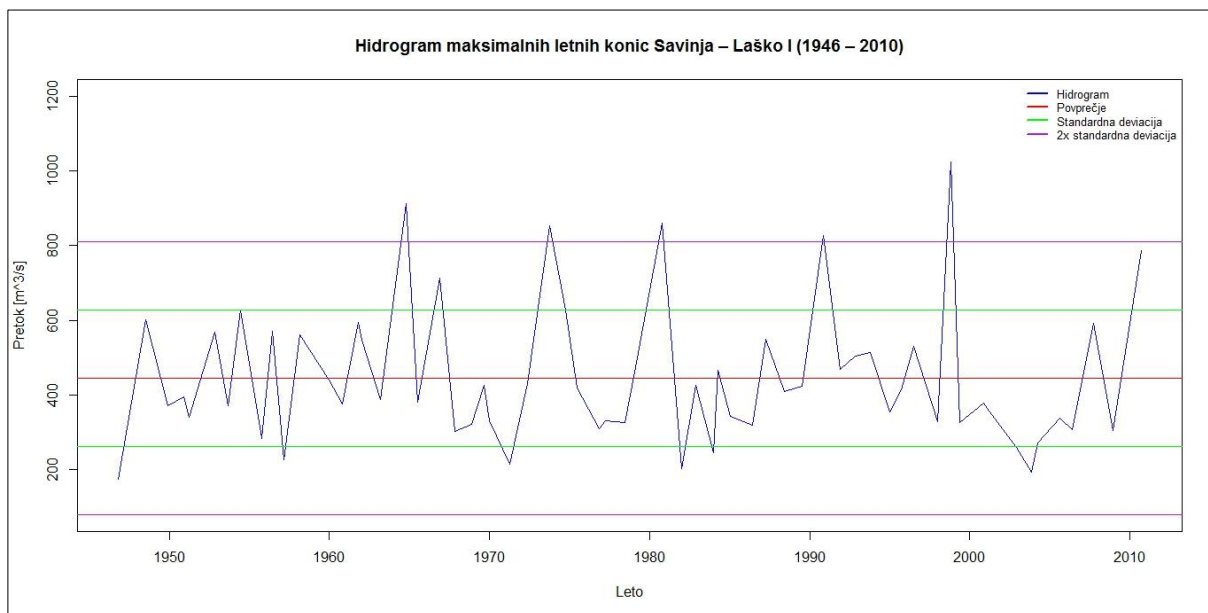
• 6020



• 6060

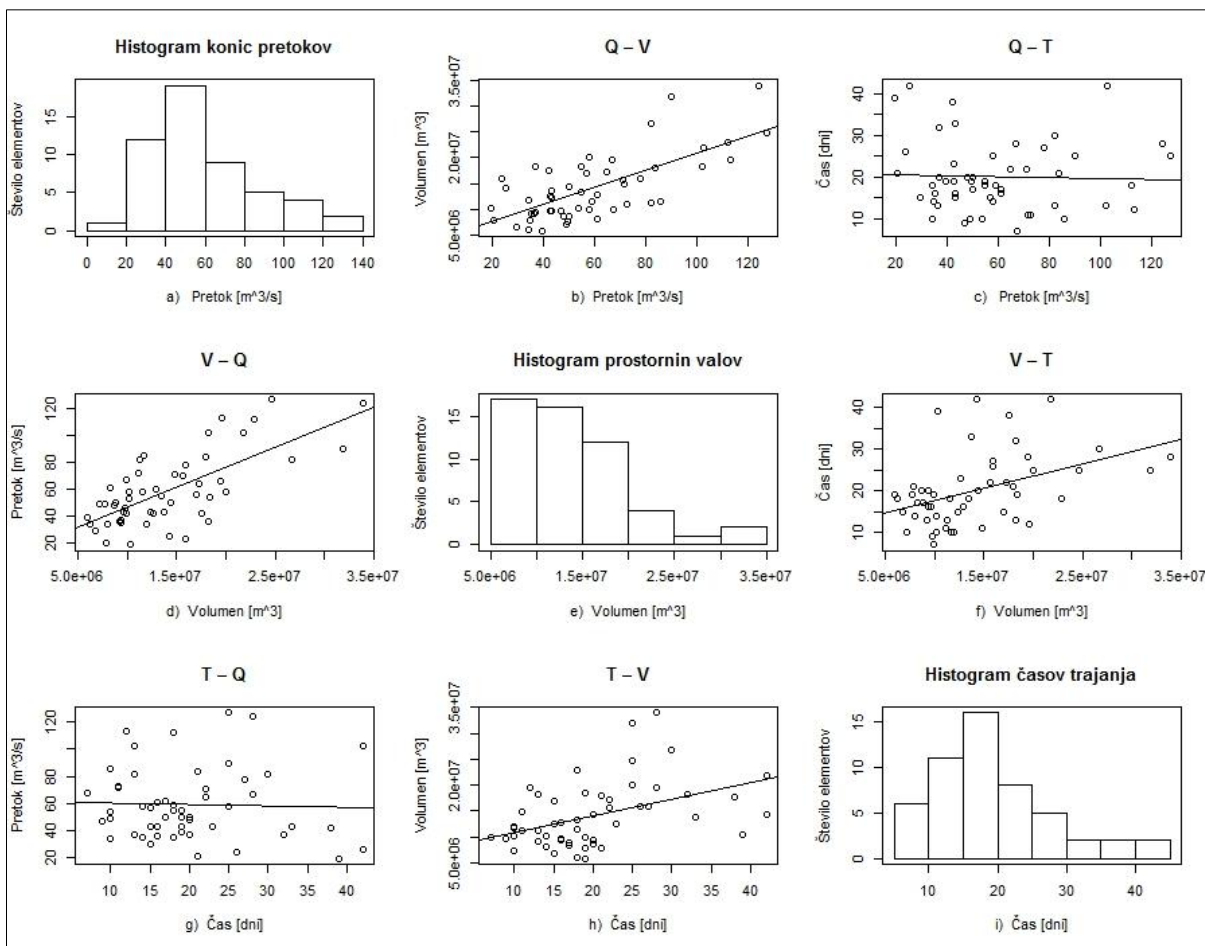
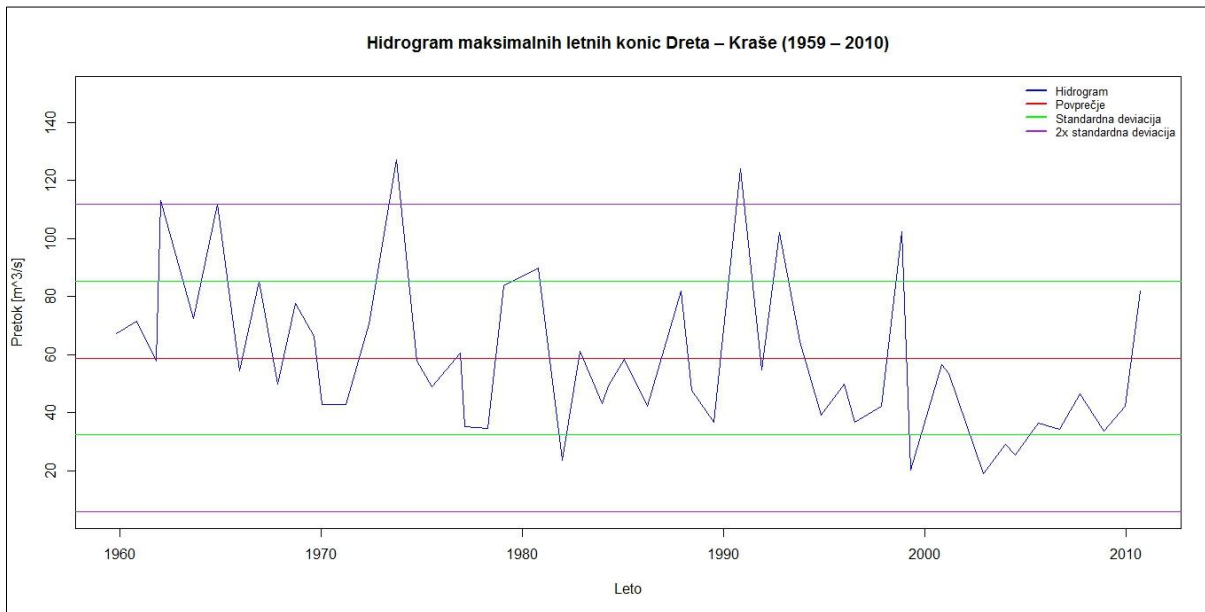


• 6200

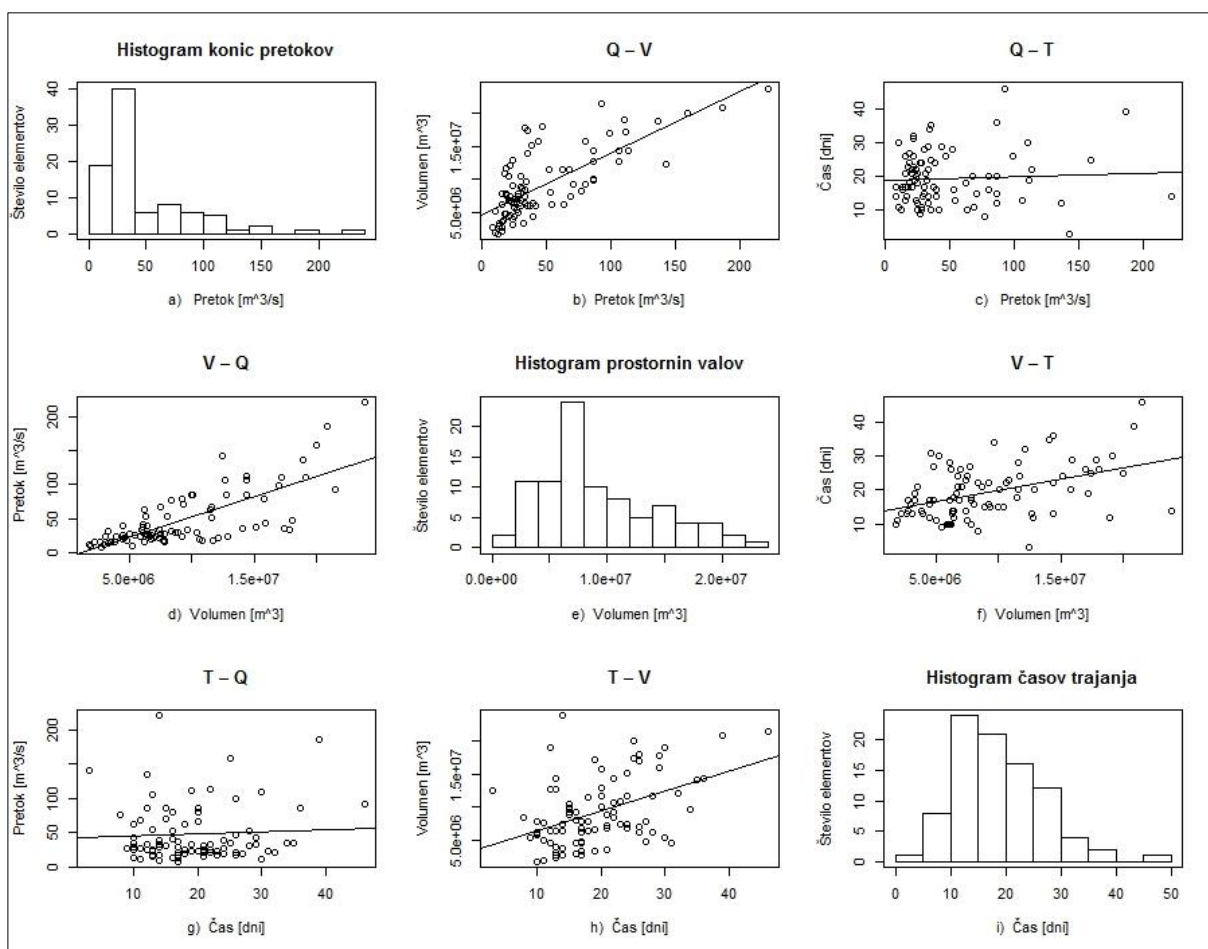
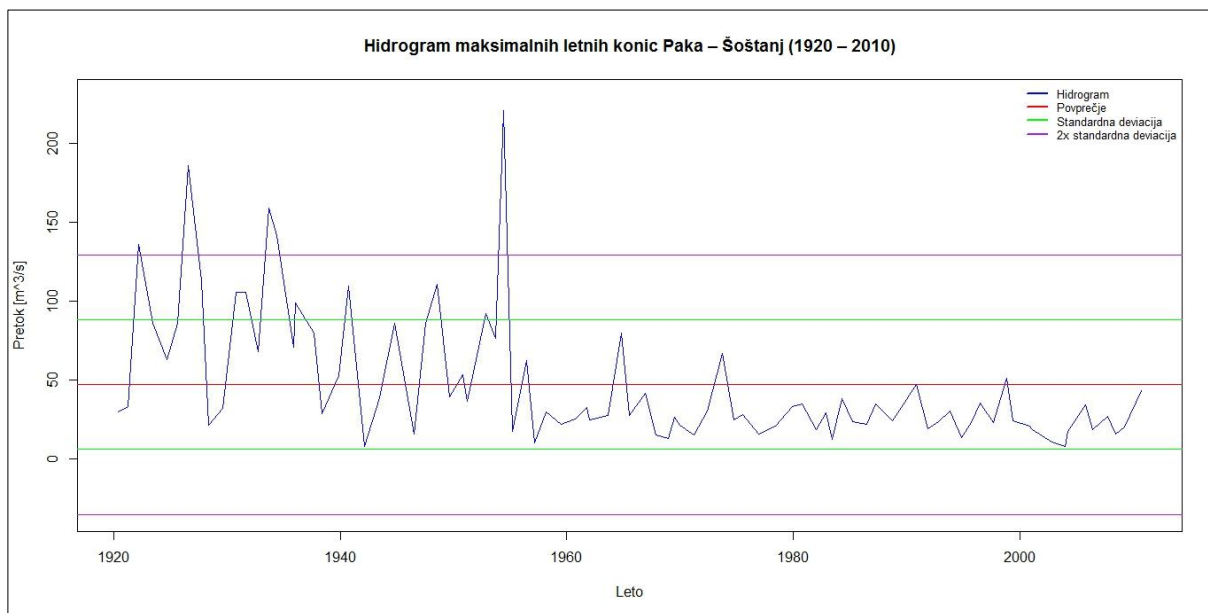




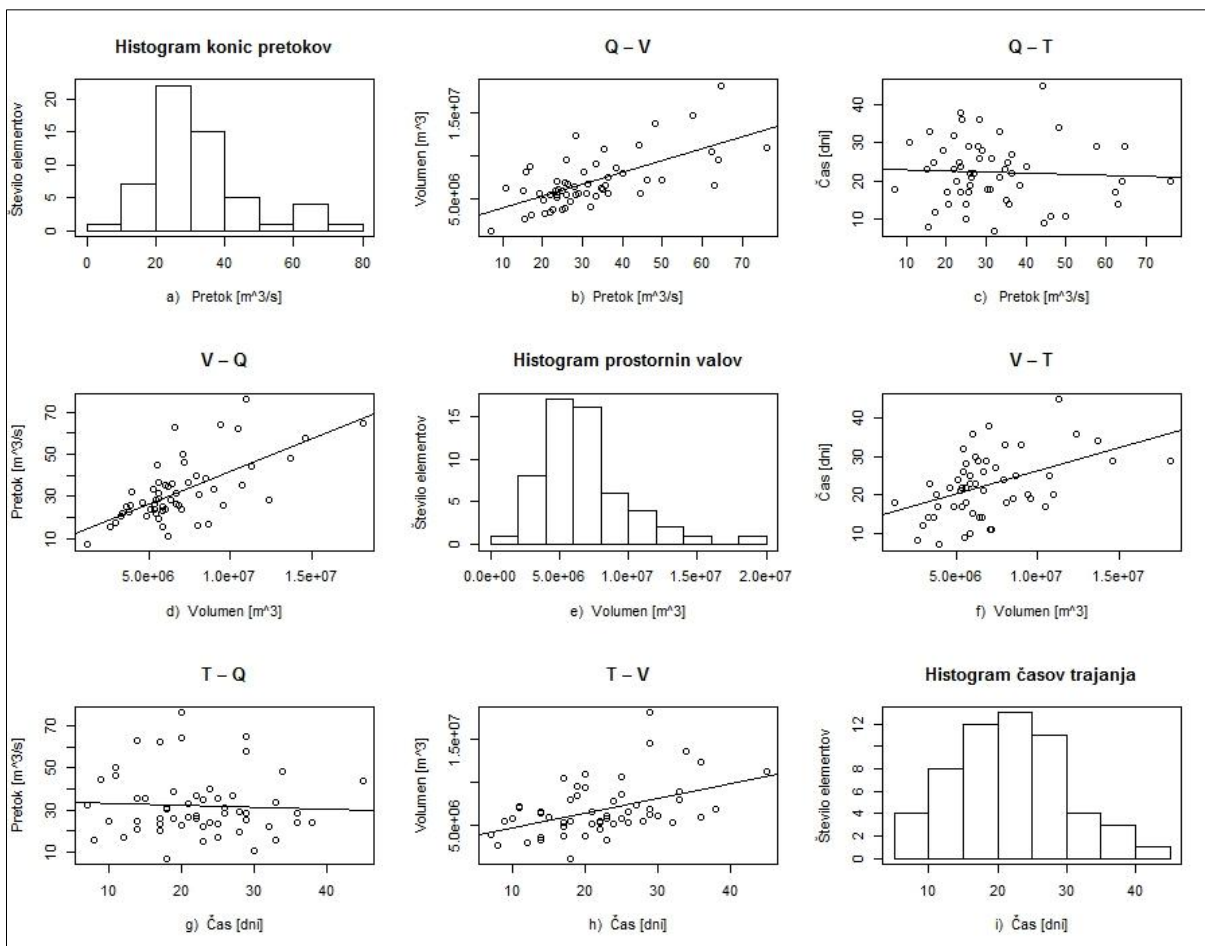
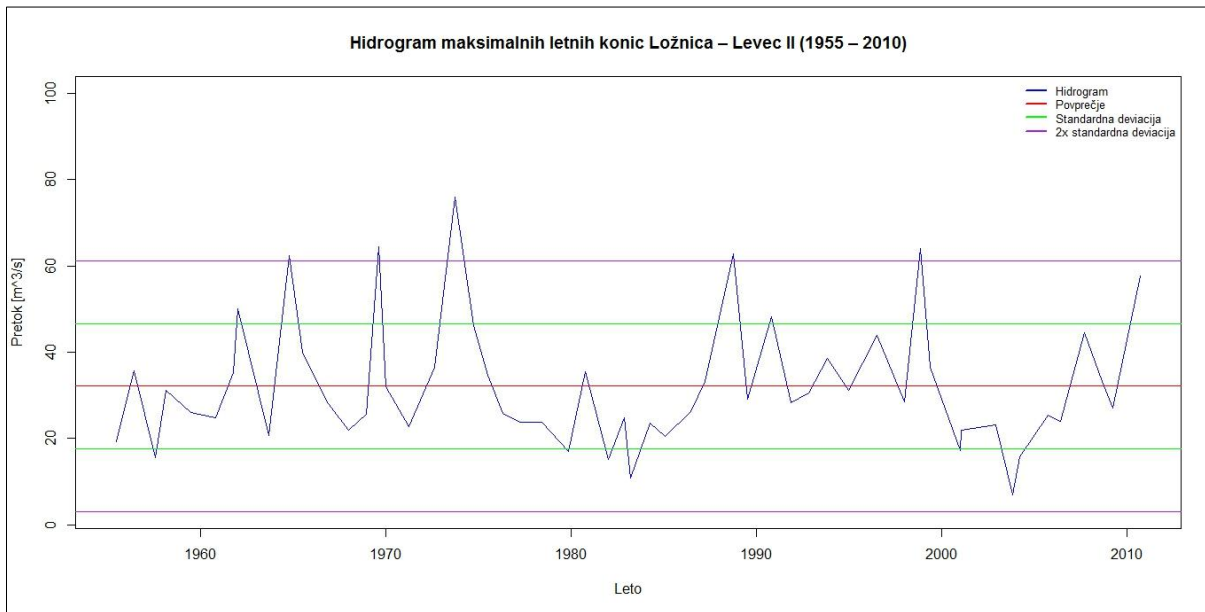
• 6240



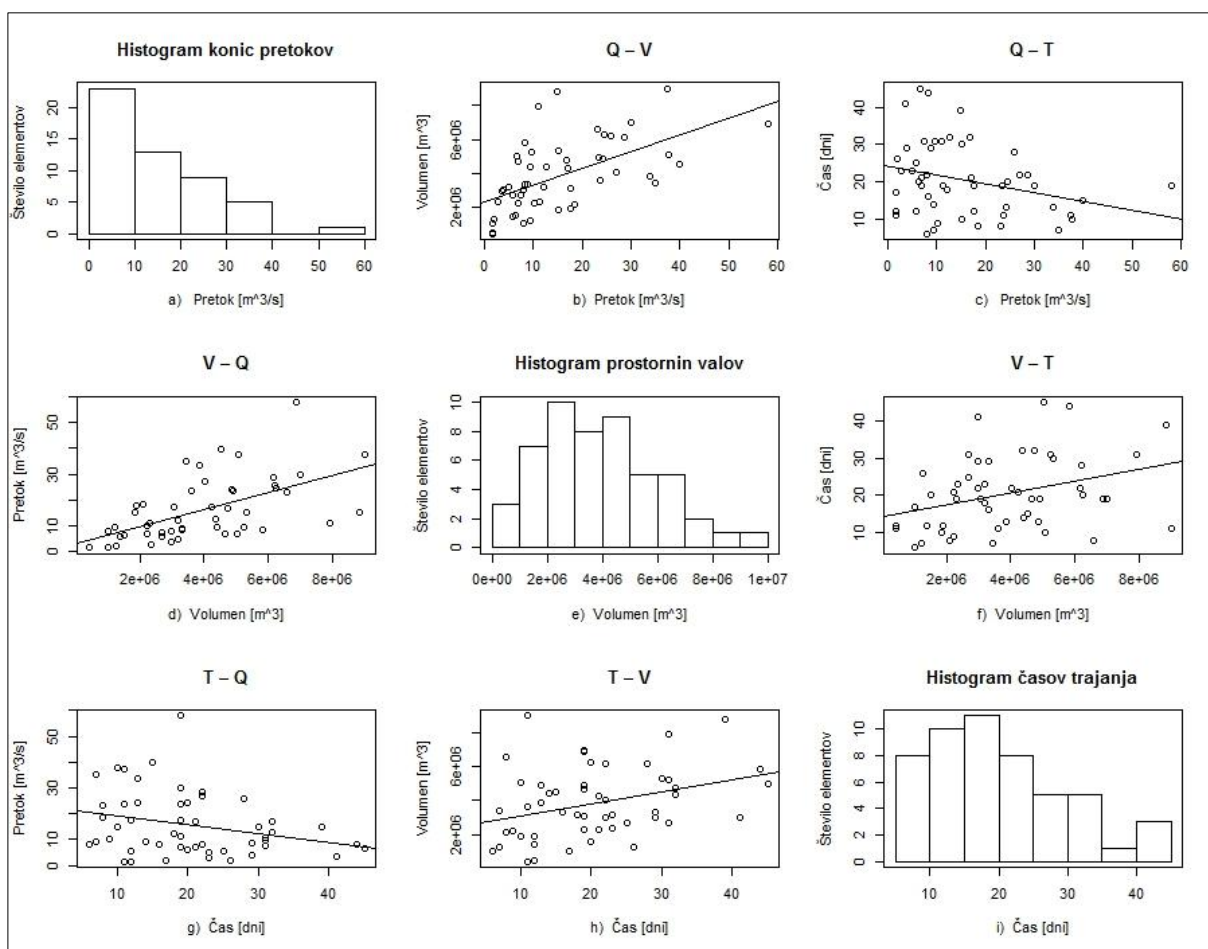
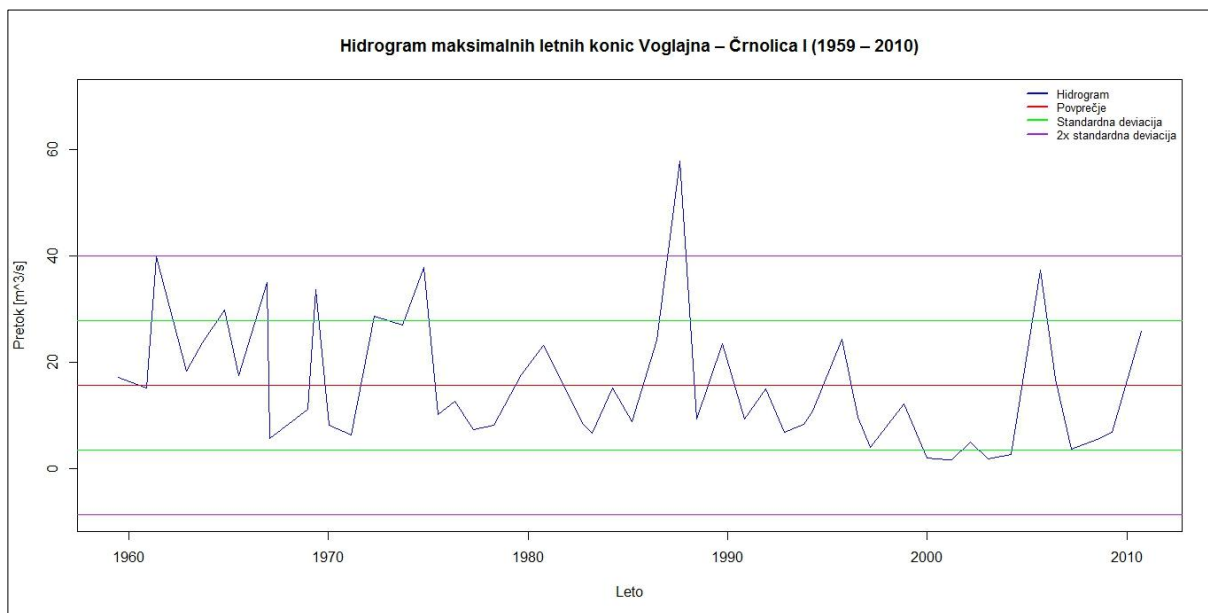
• 6300



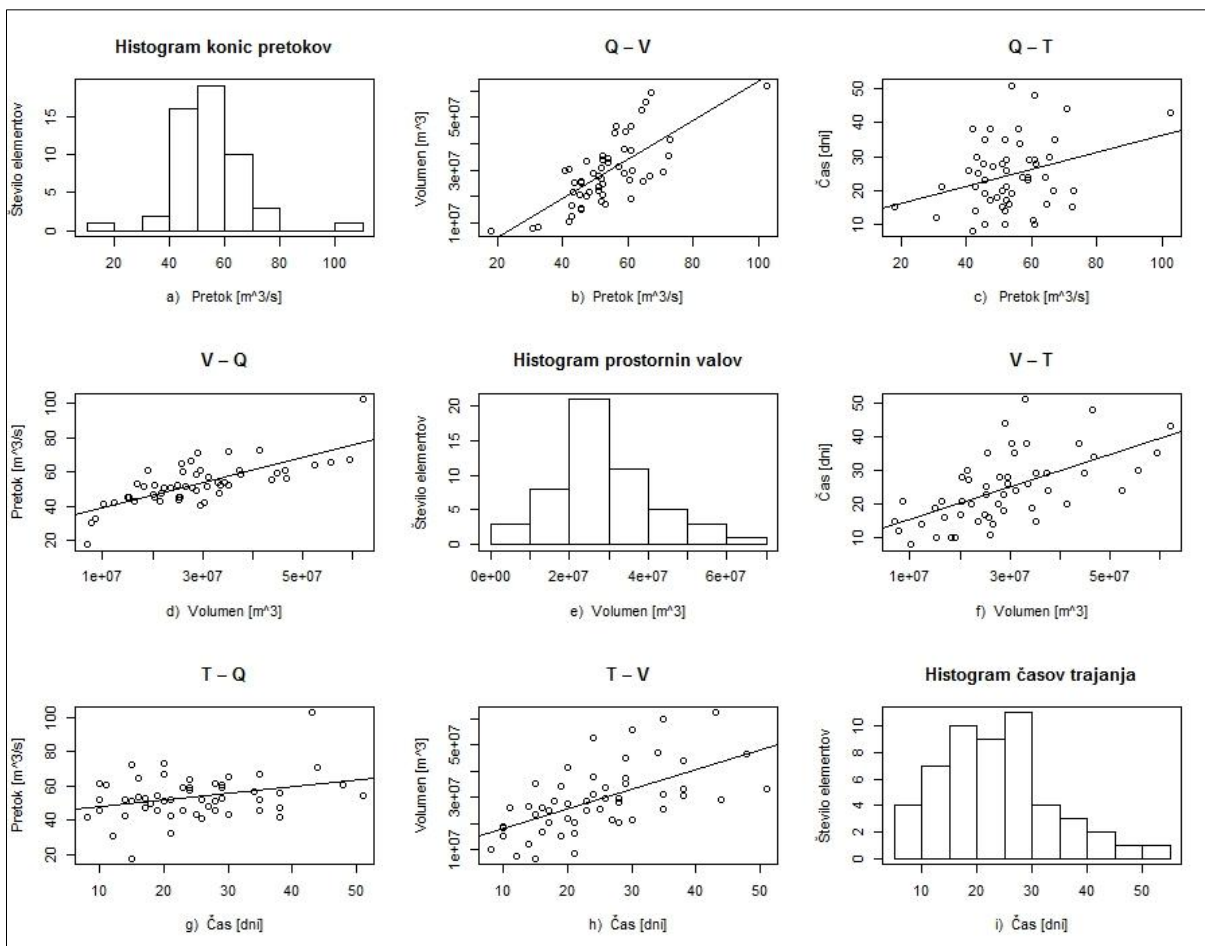
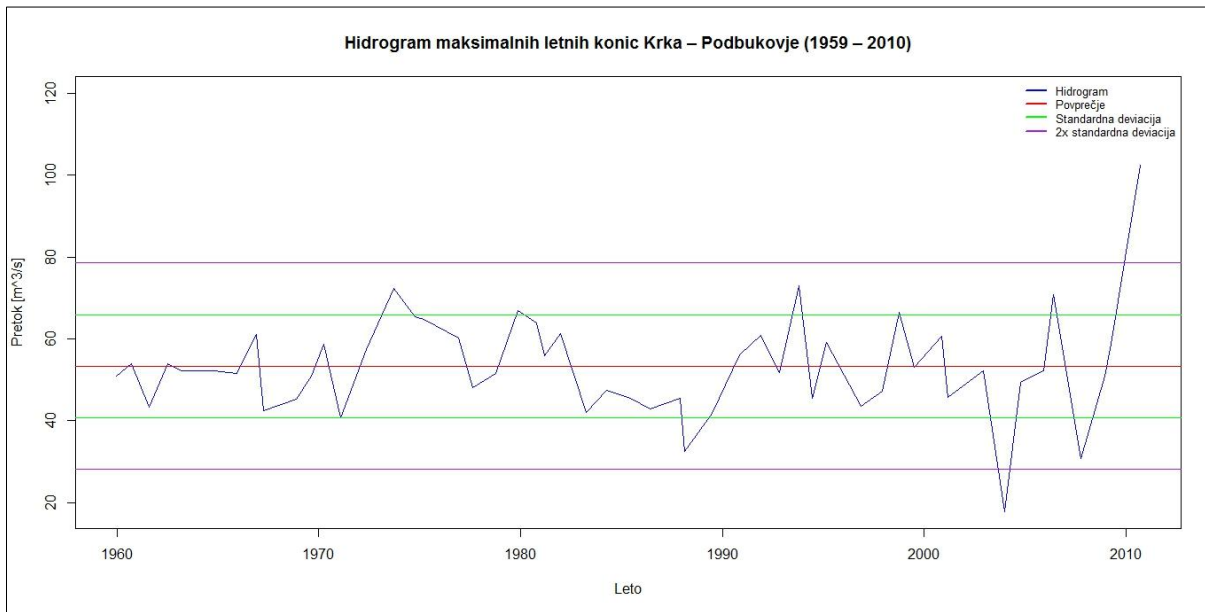
• 6630



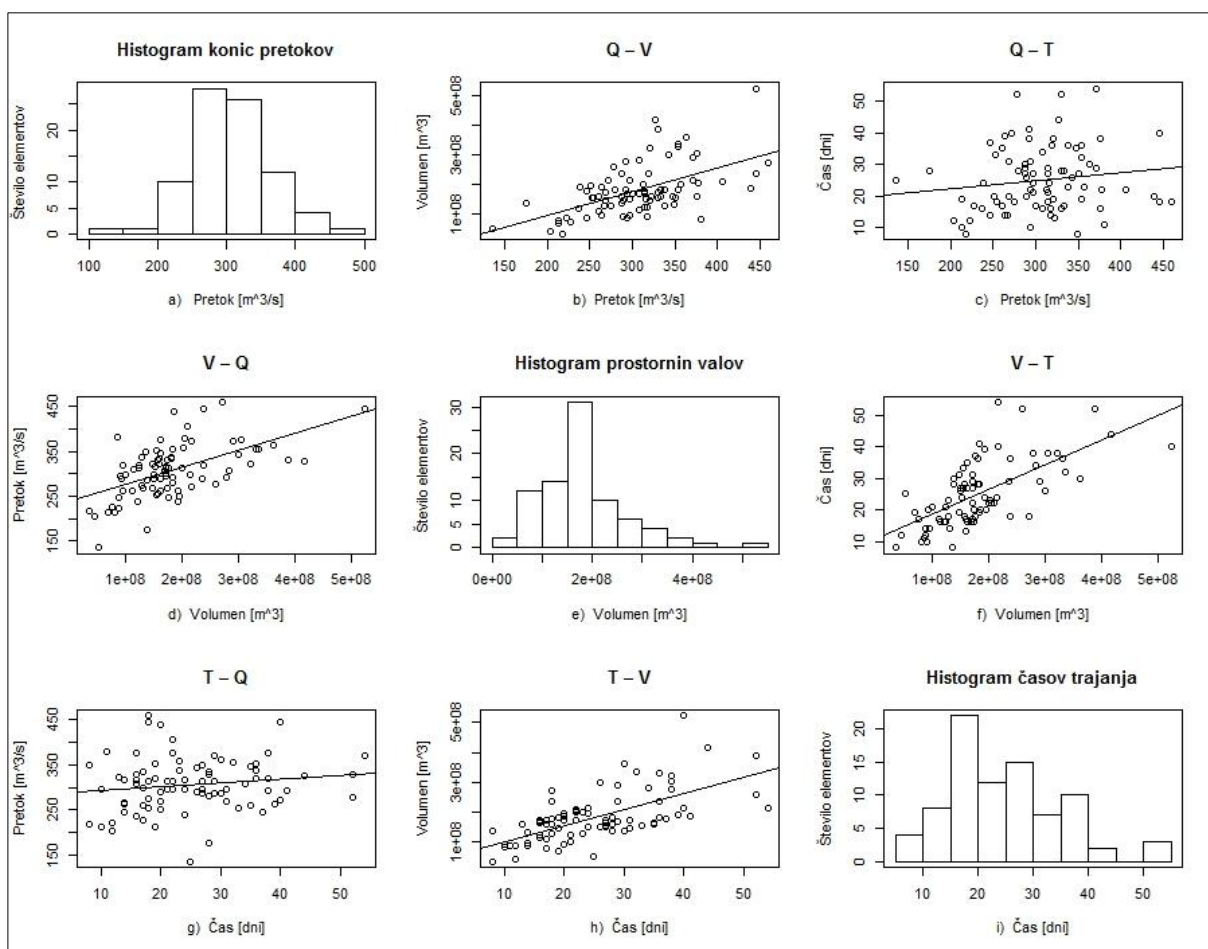
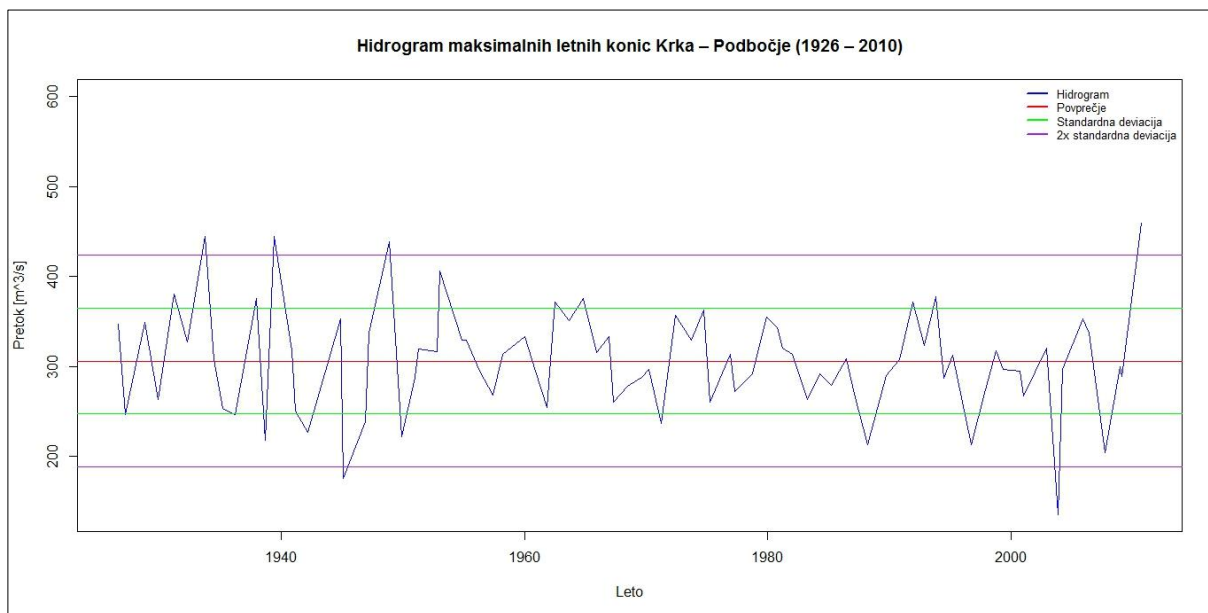
• 6691



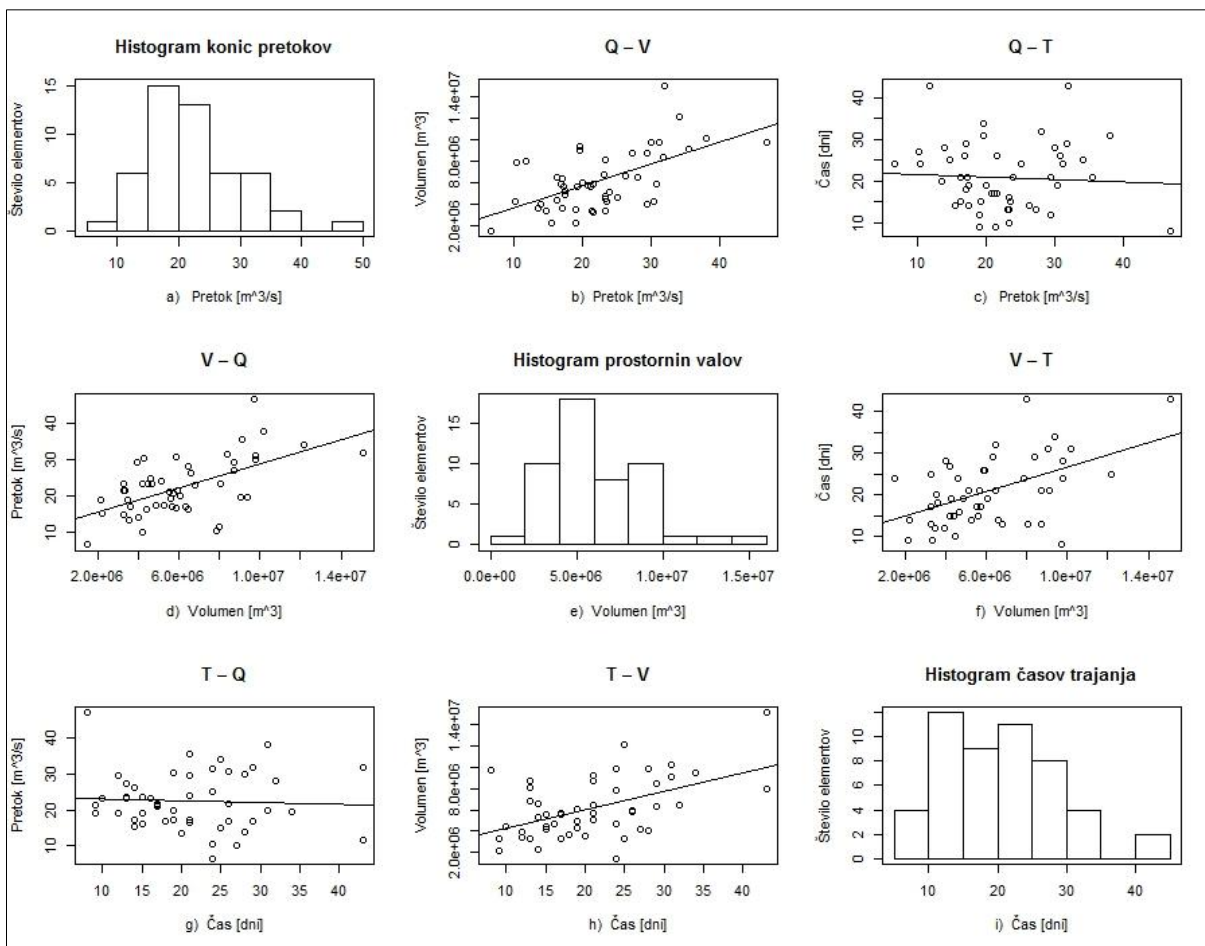
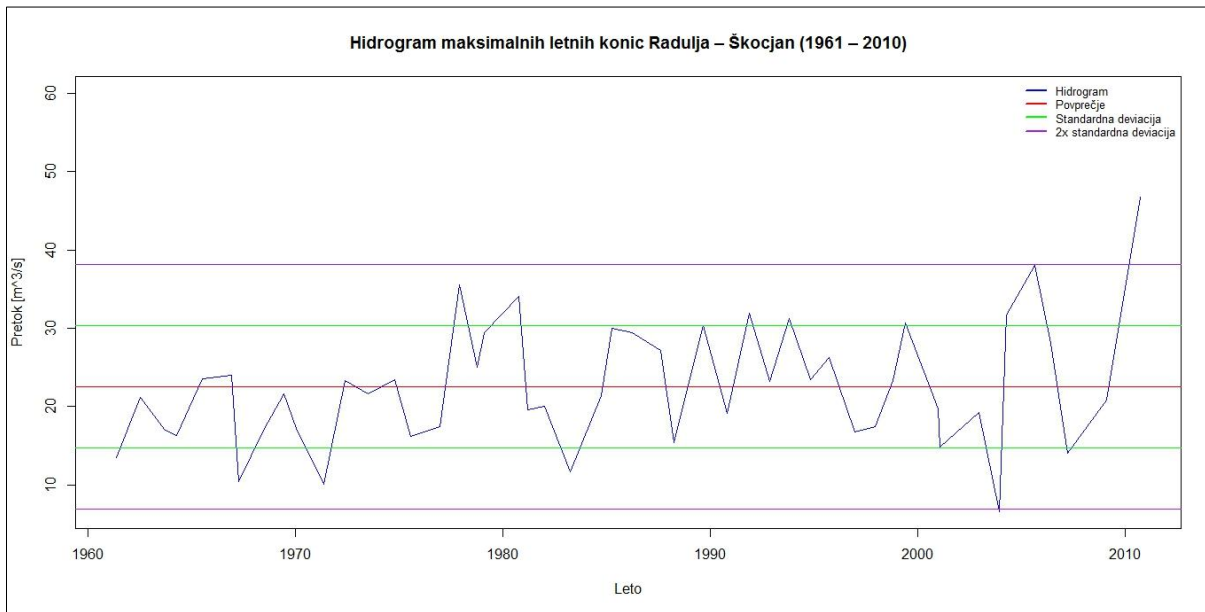
• 7030



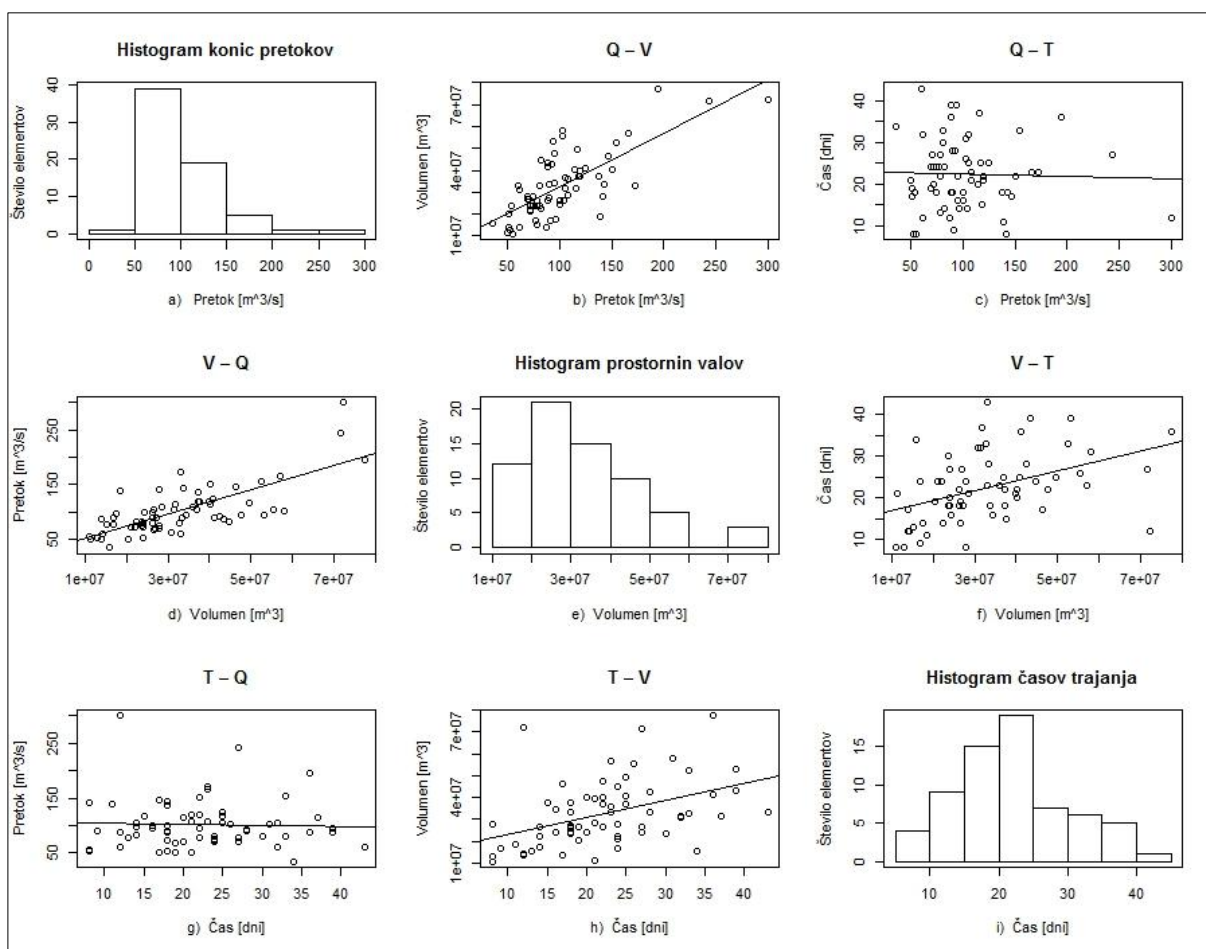
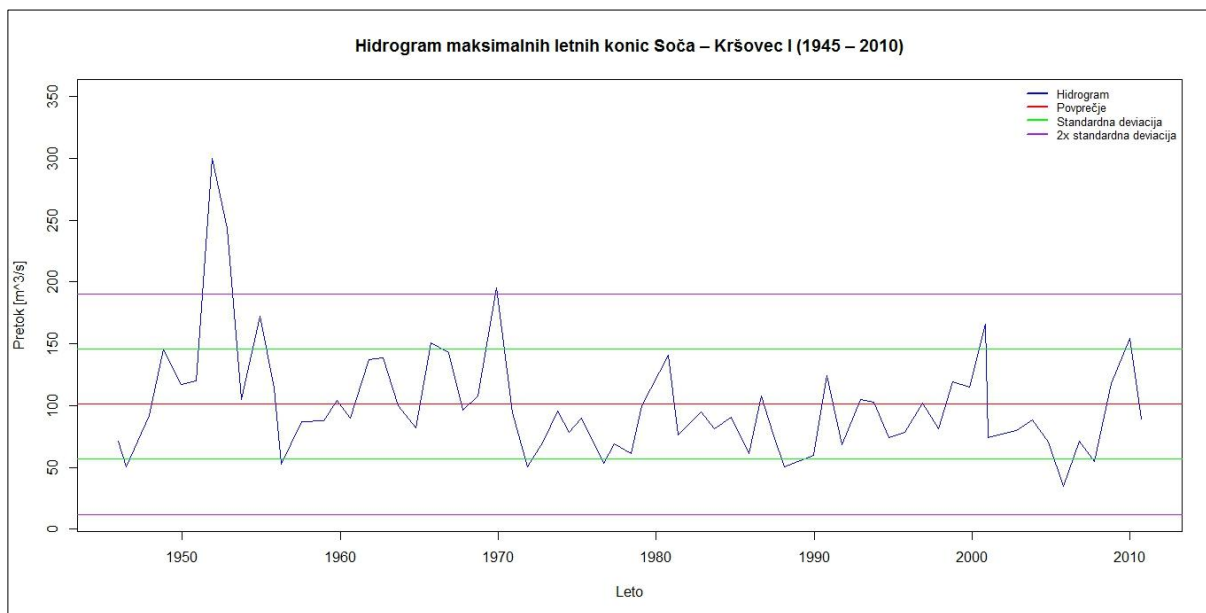
• 7160



• 7380

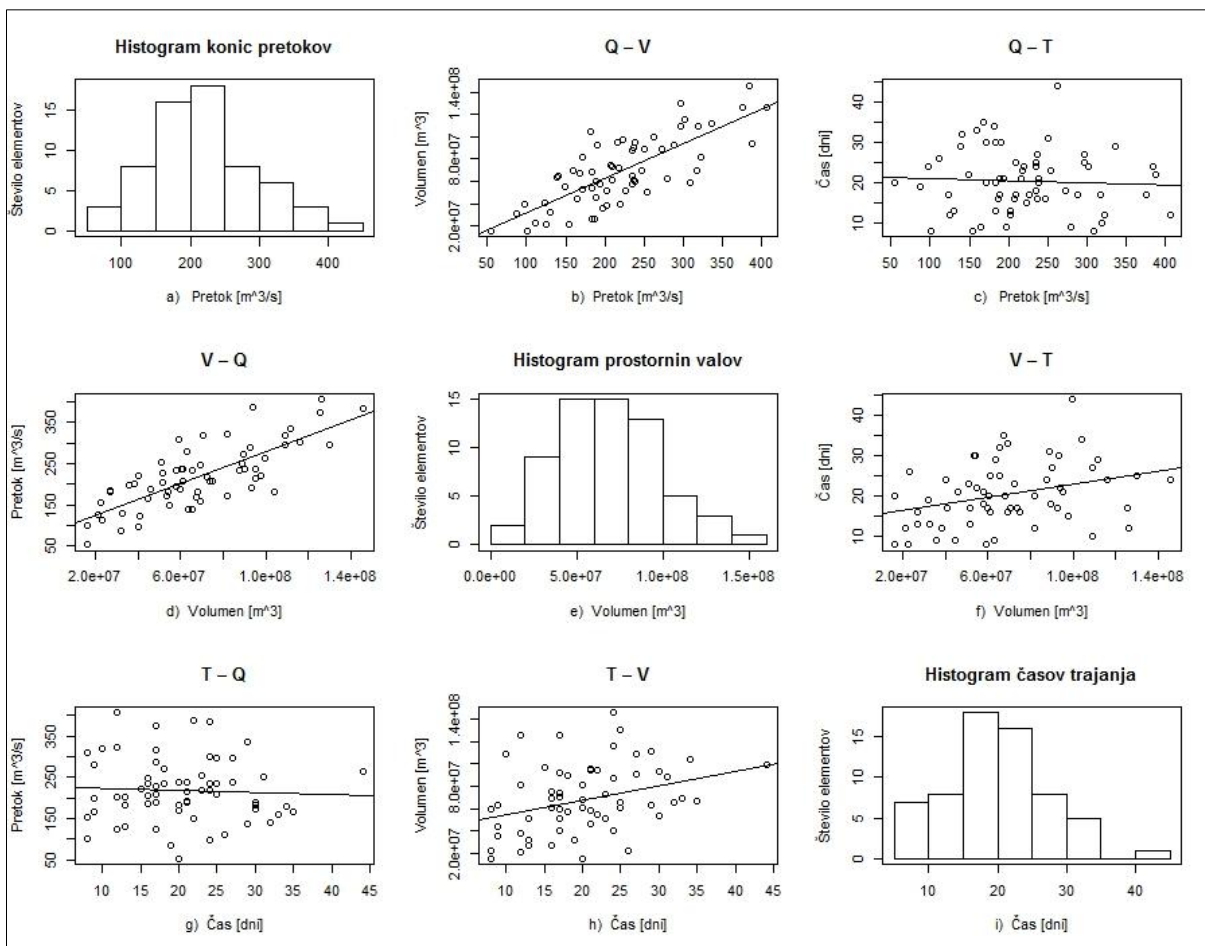
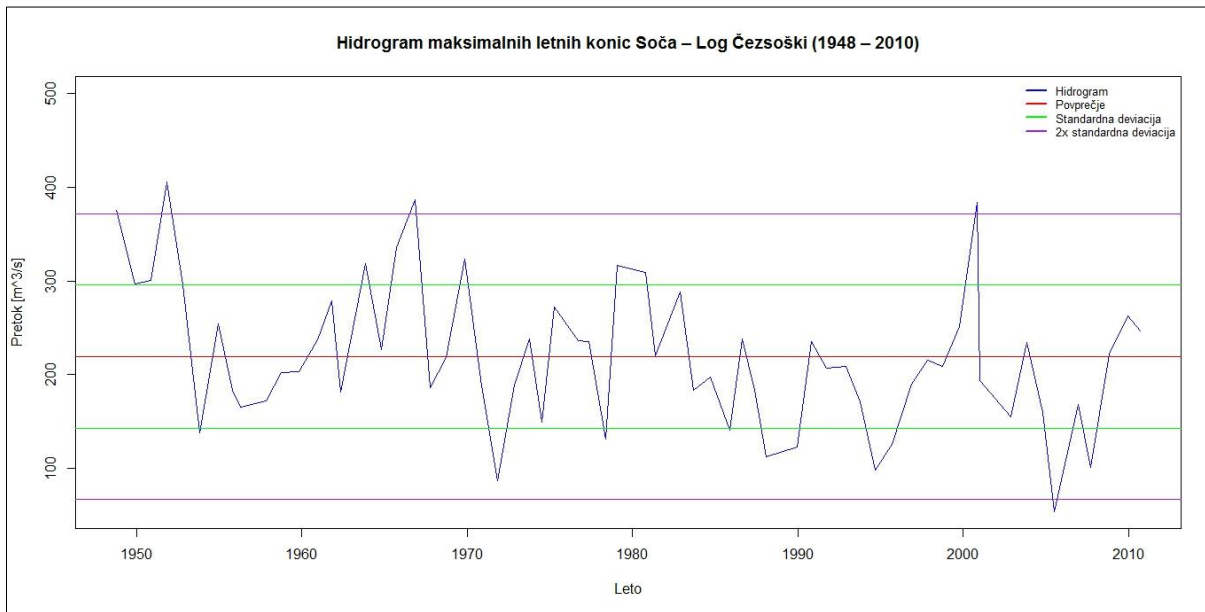


## • 8031

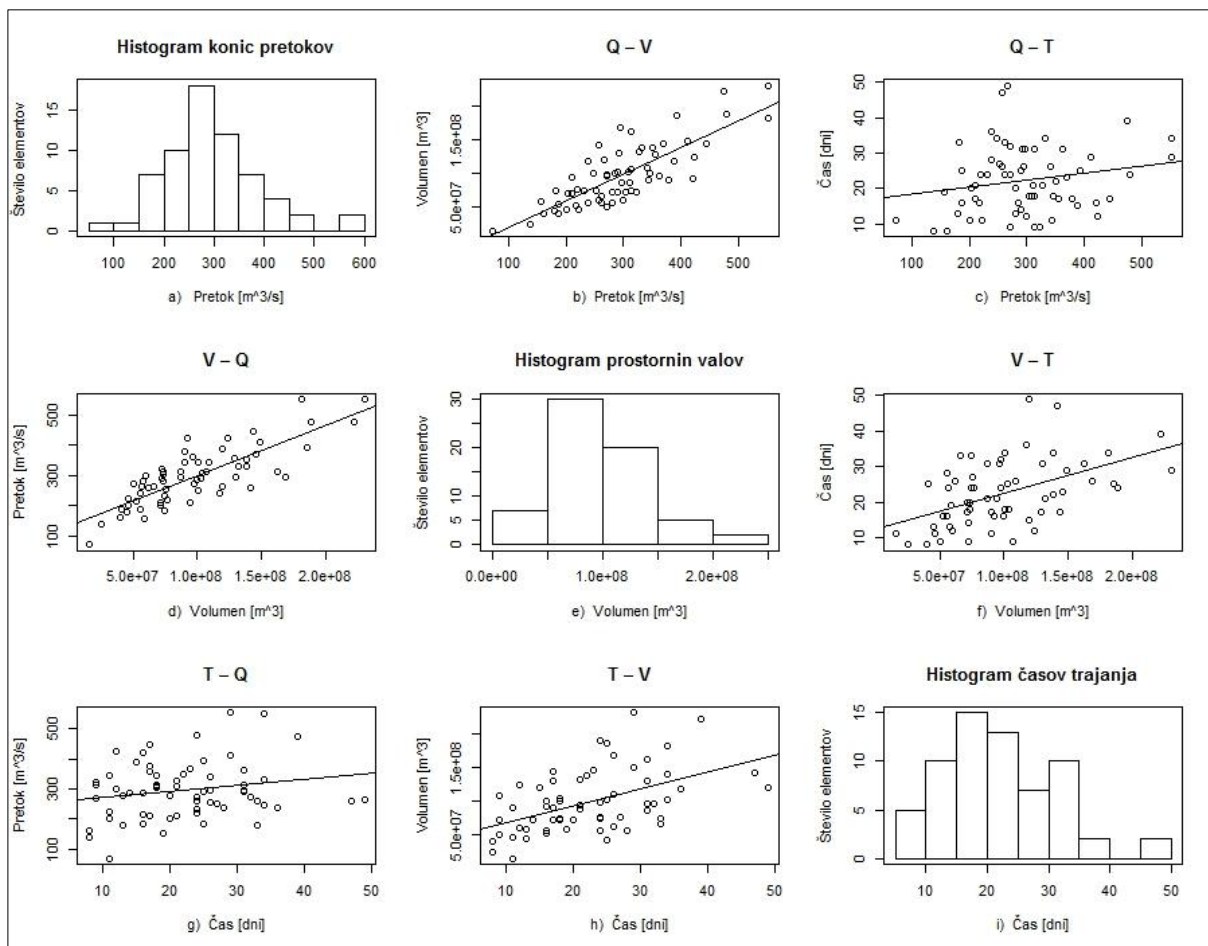
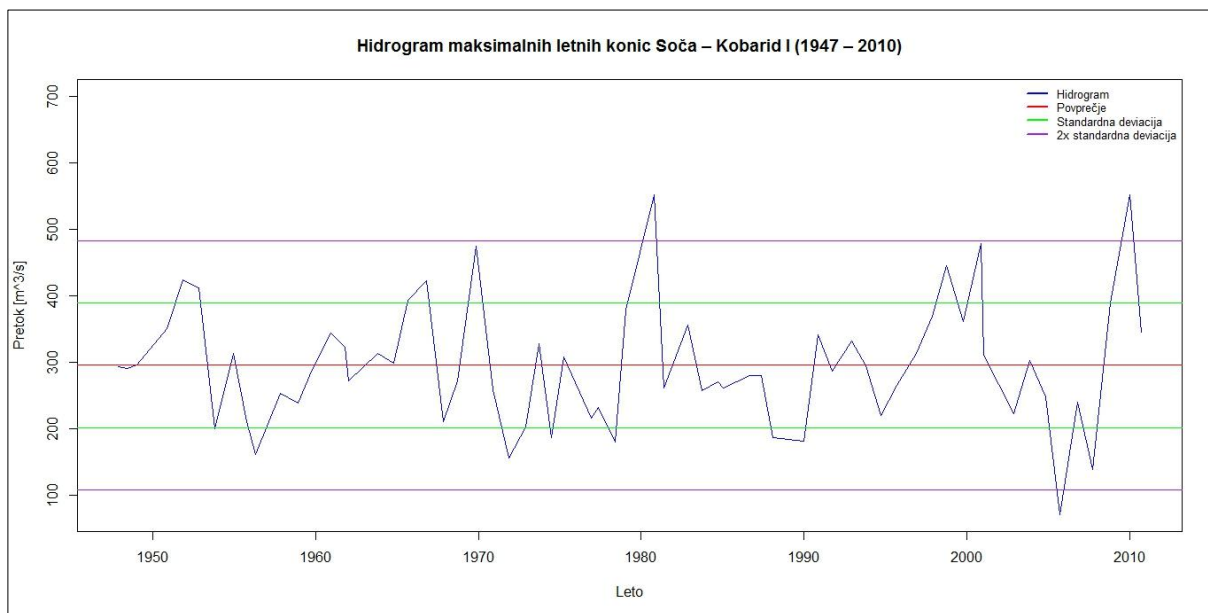




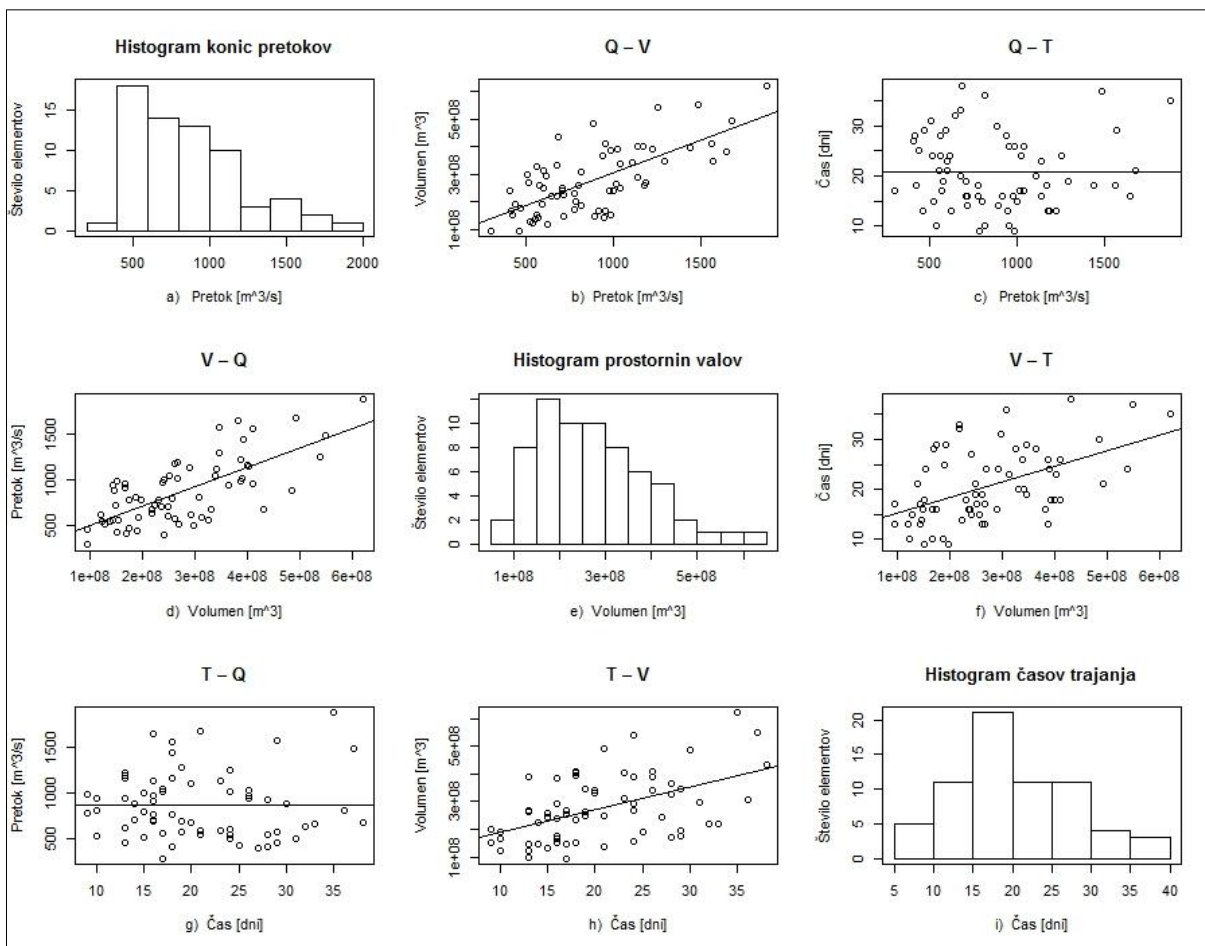
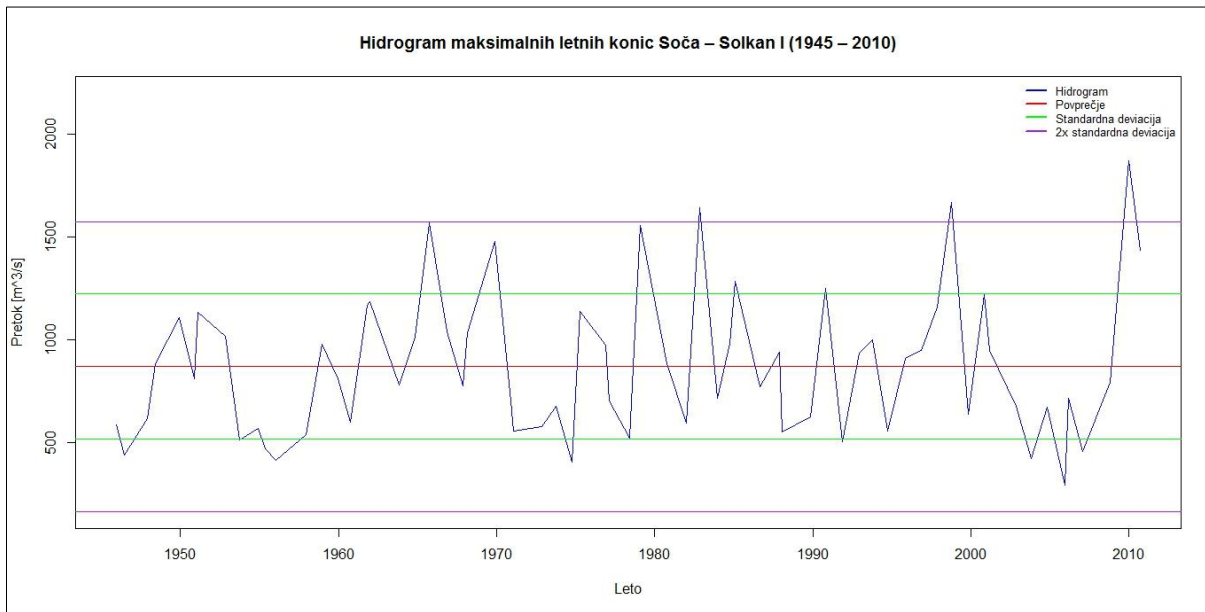
• 8060



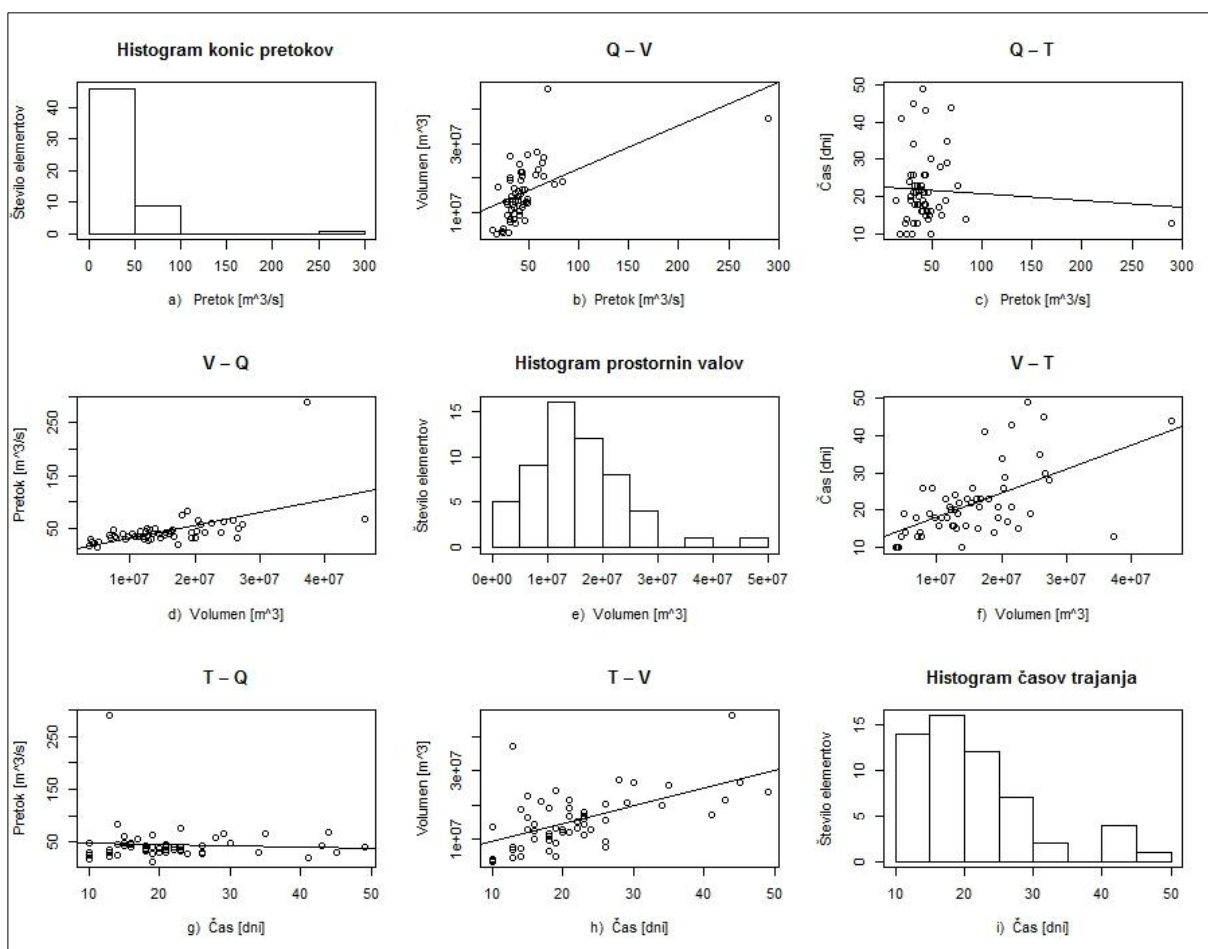
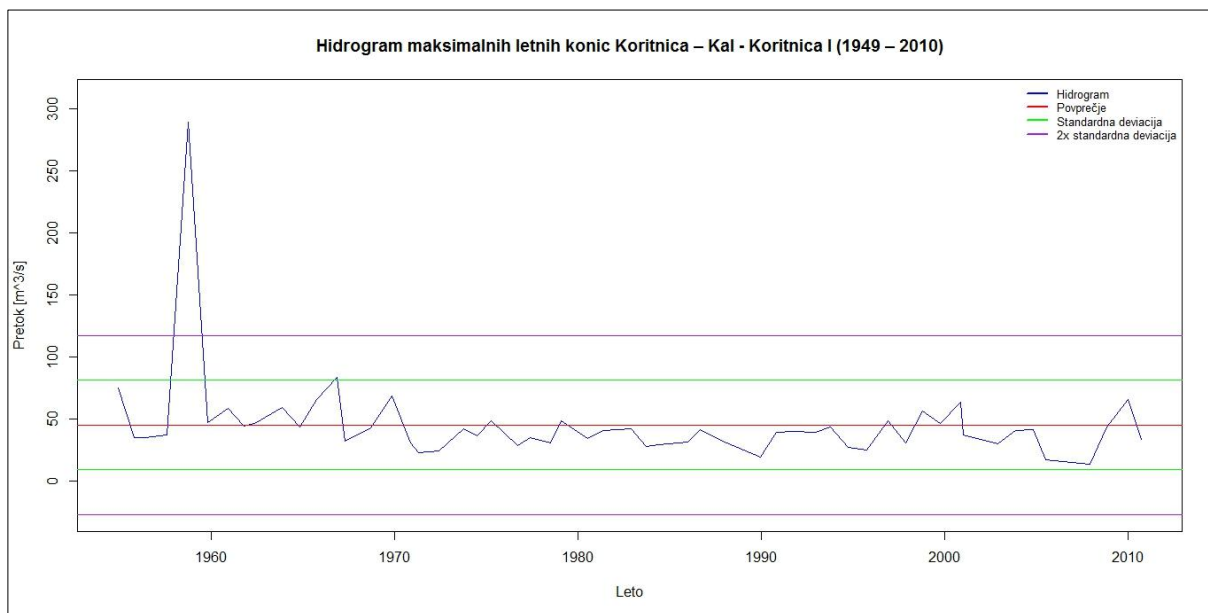
• 8080



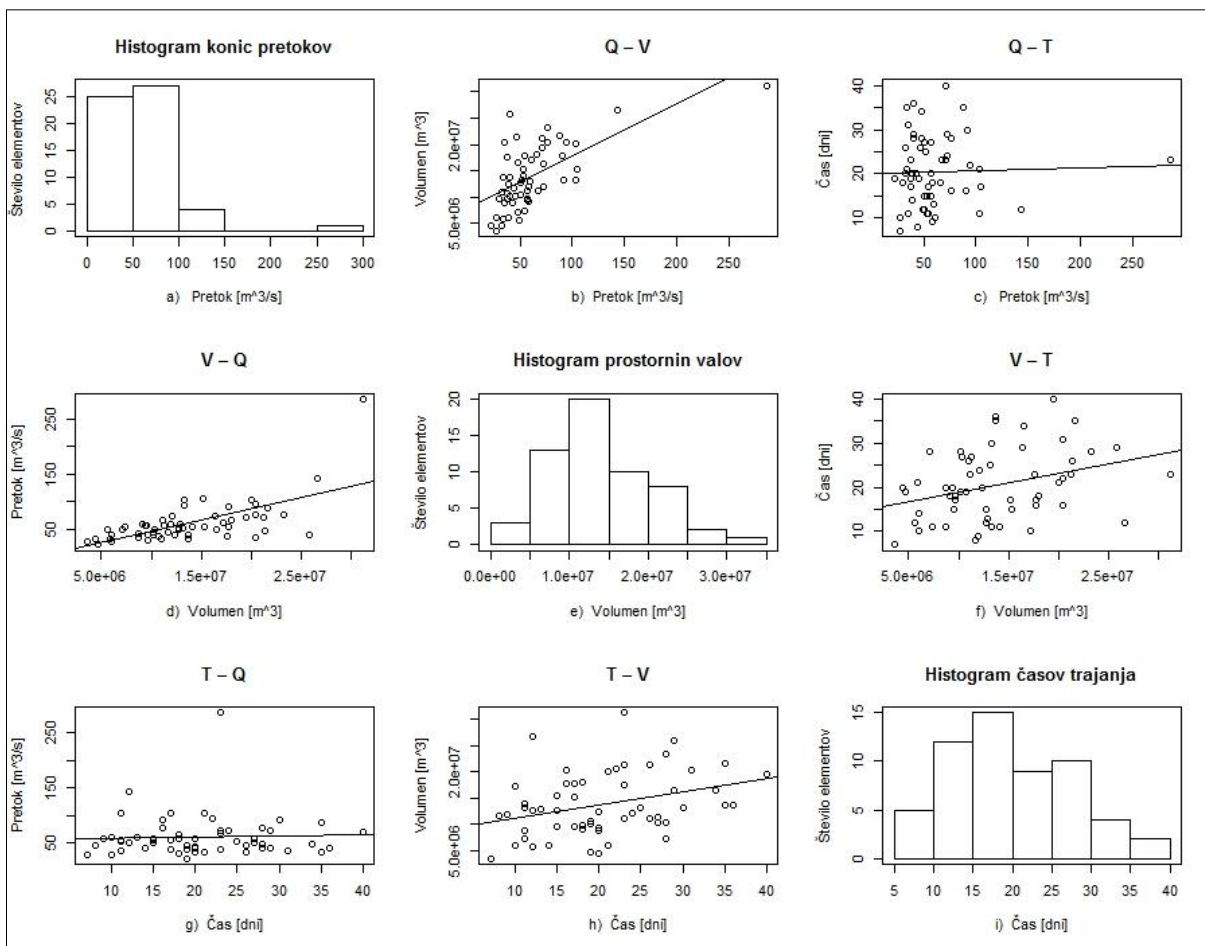
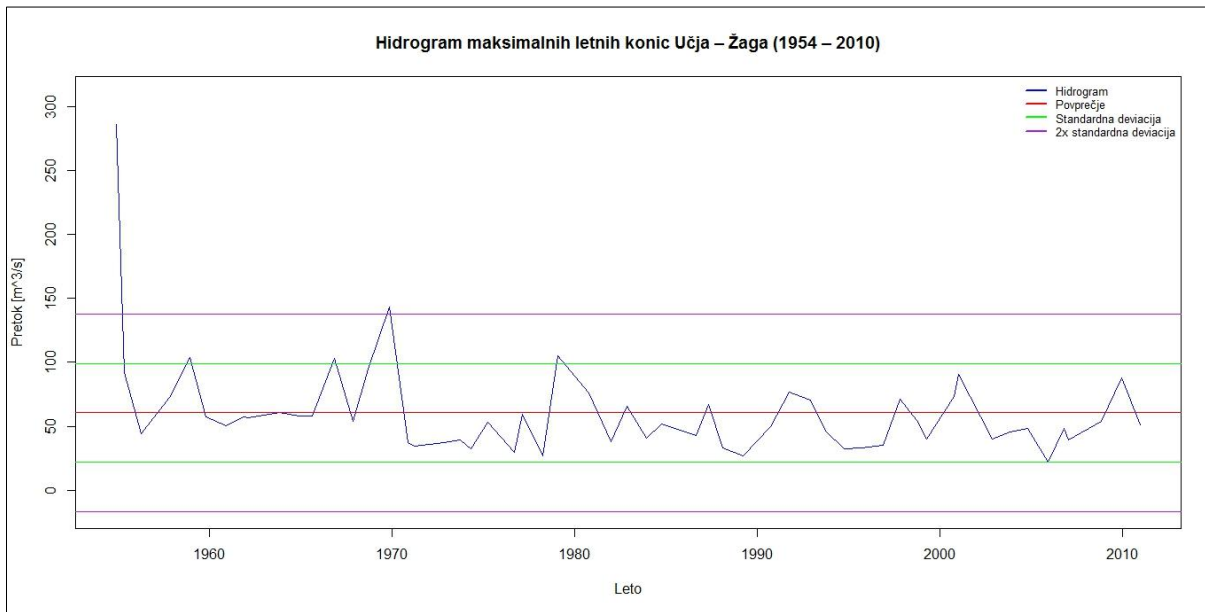
• 8180



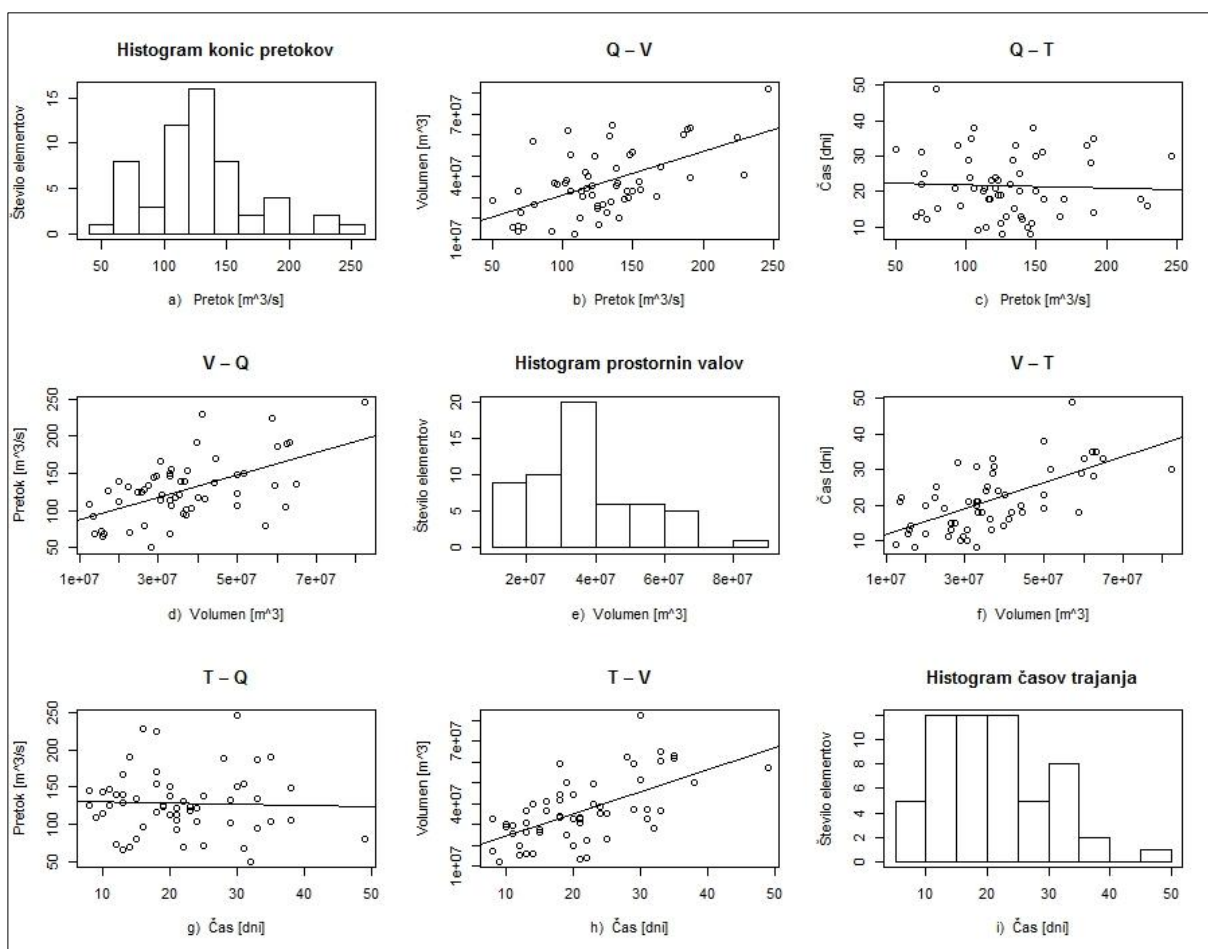
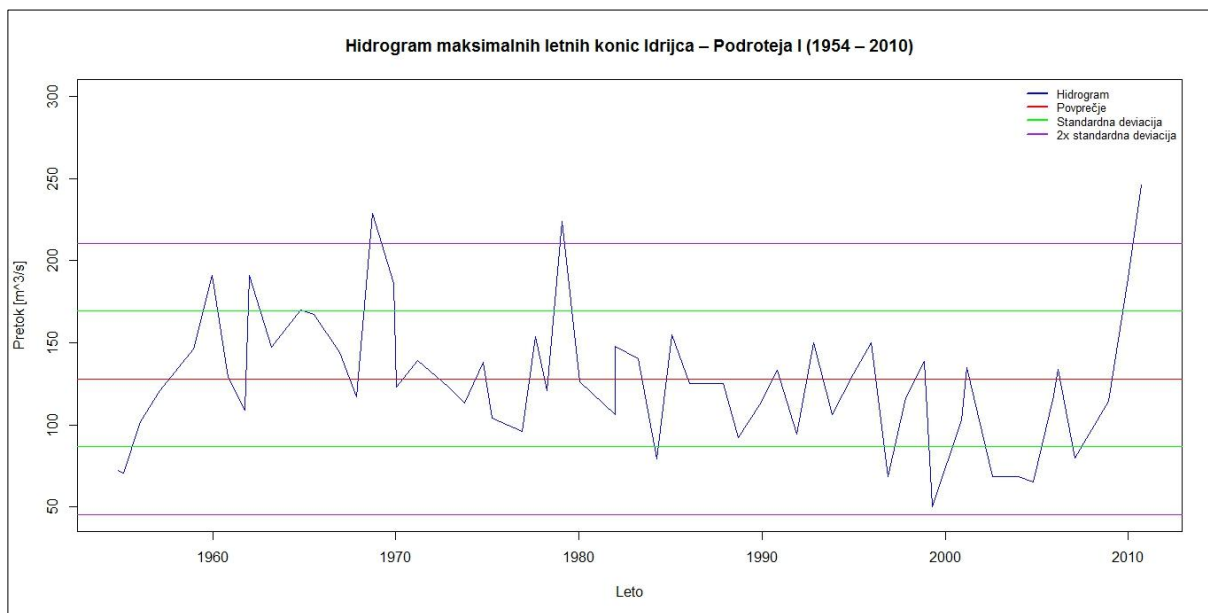
• 8242



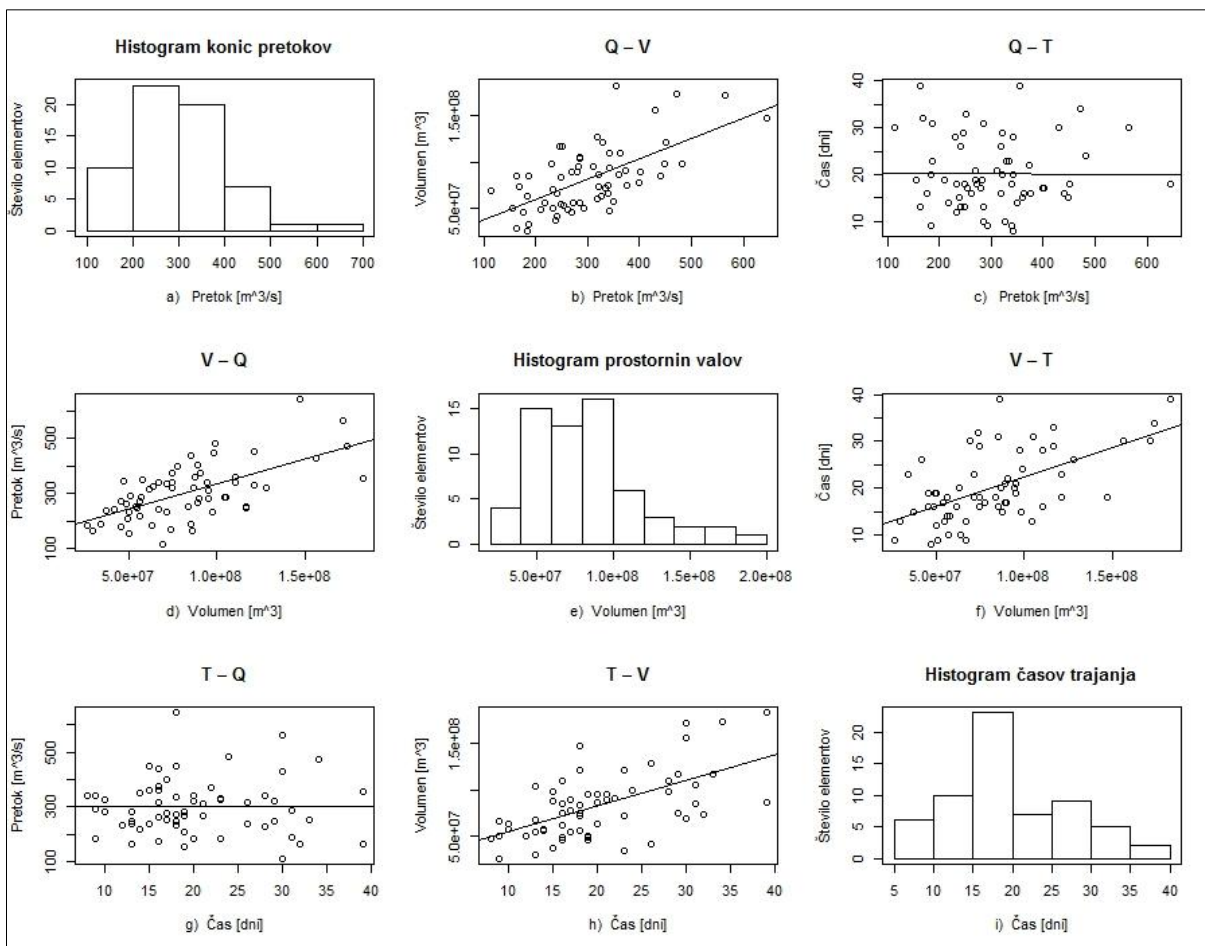
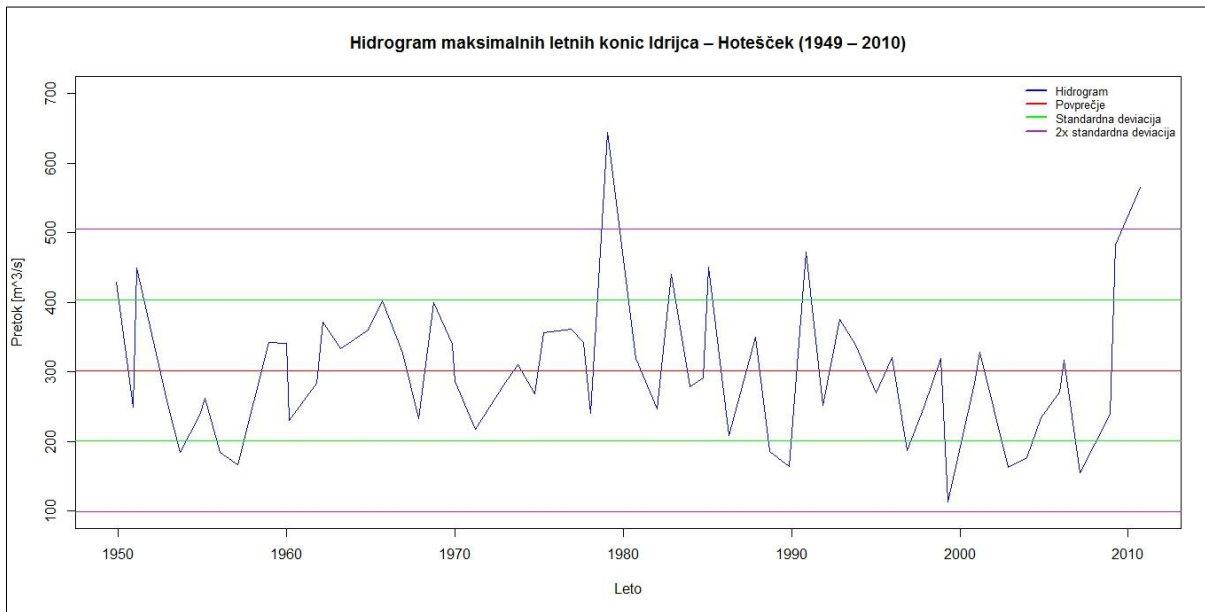
• 8270



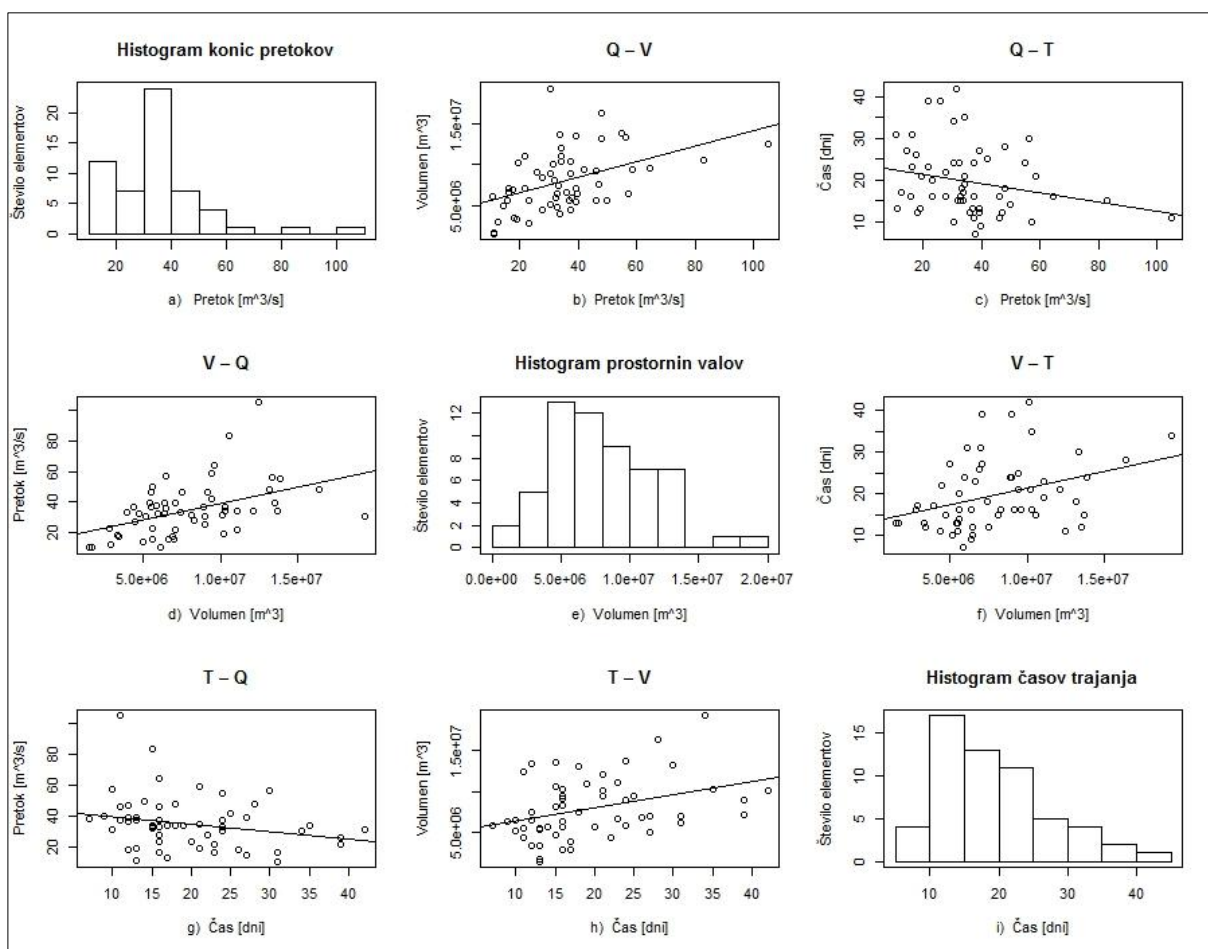
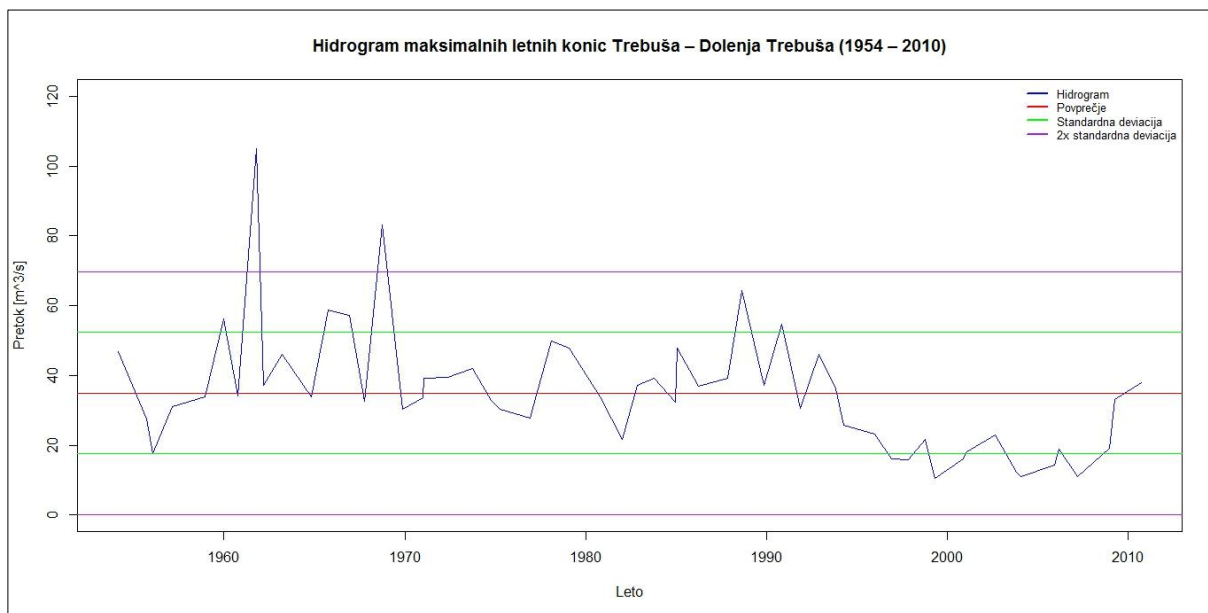
• 8350



• 8450

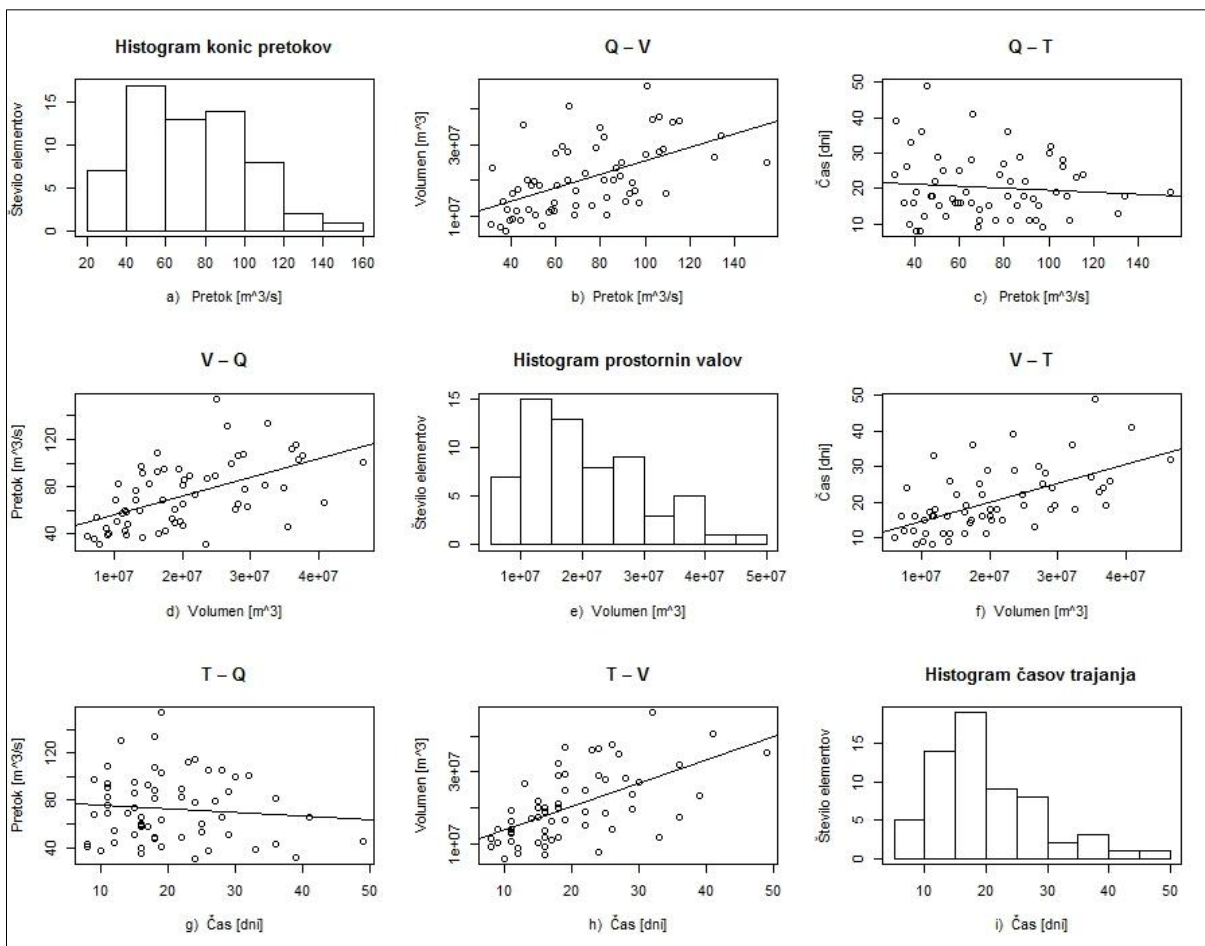
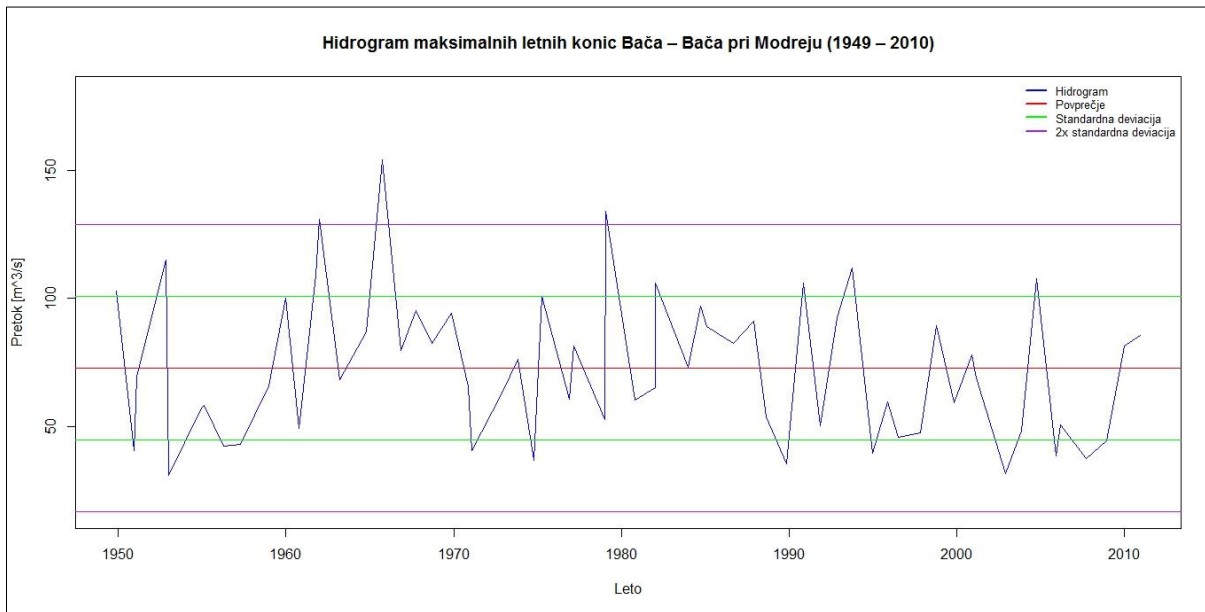


• 8480

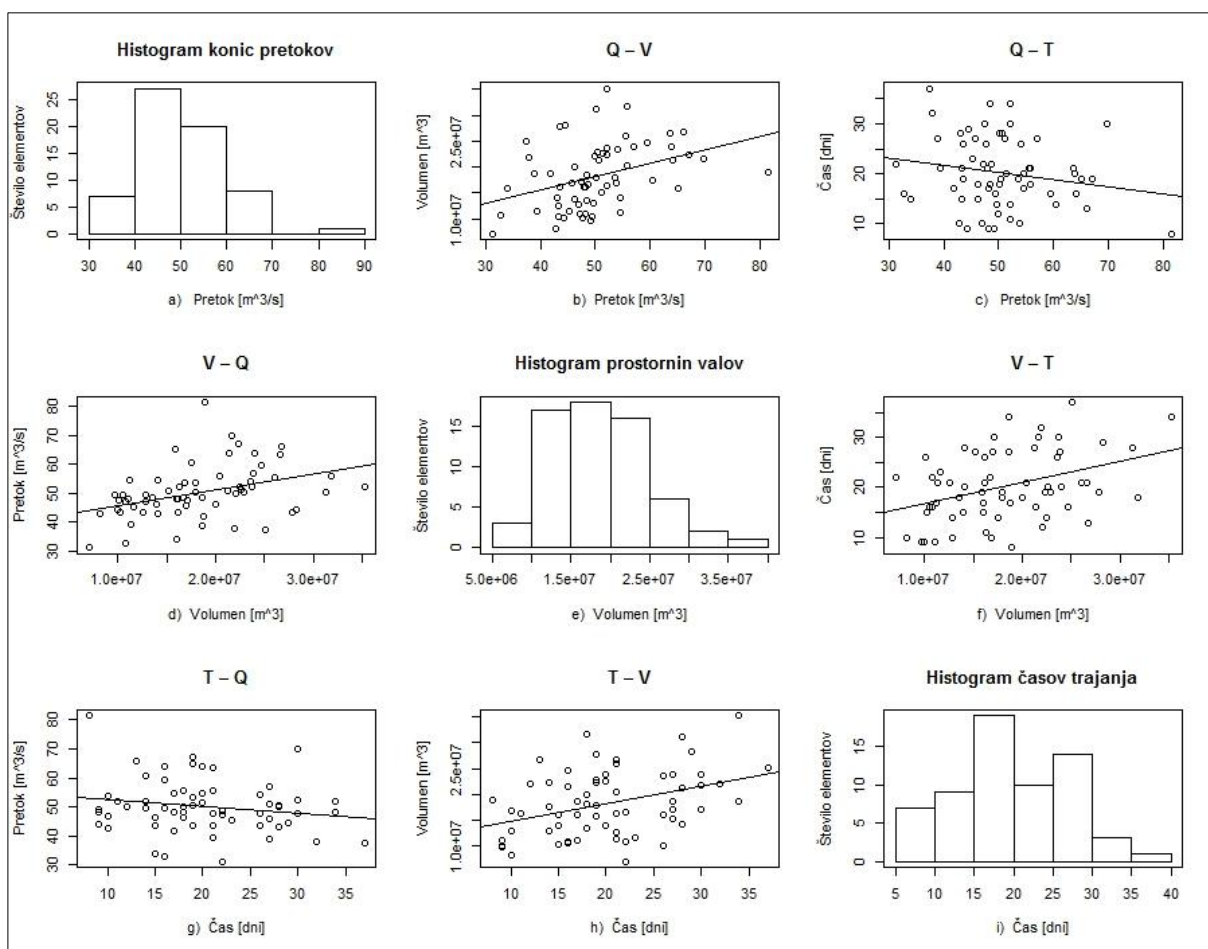
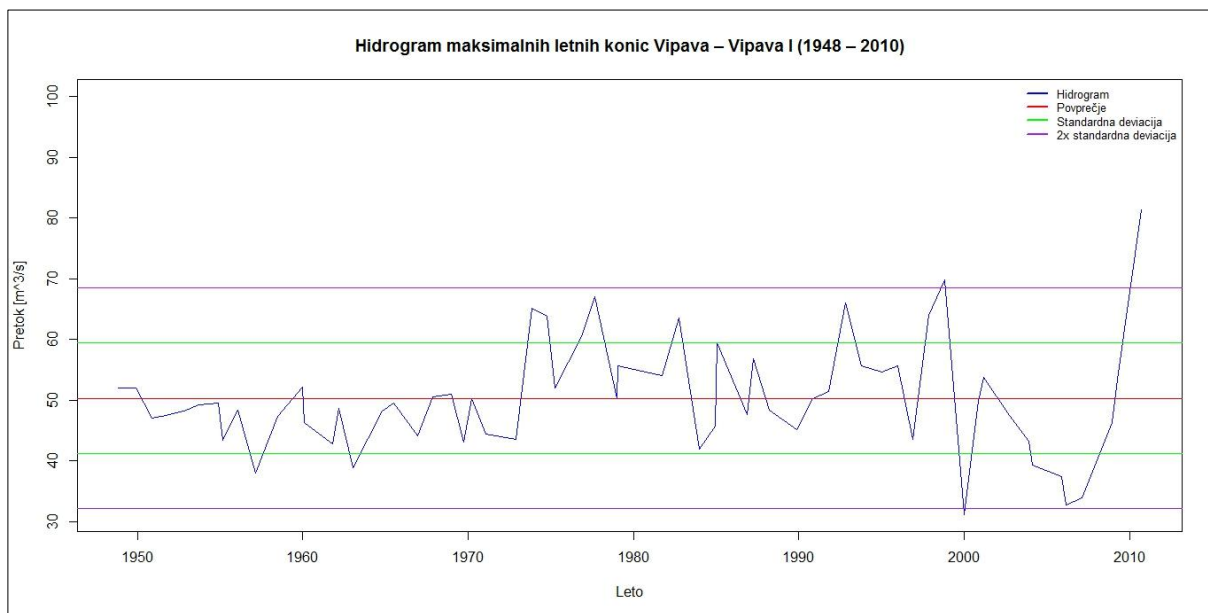




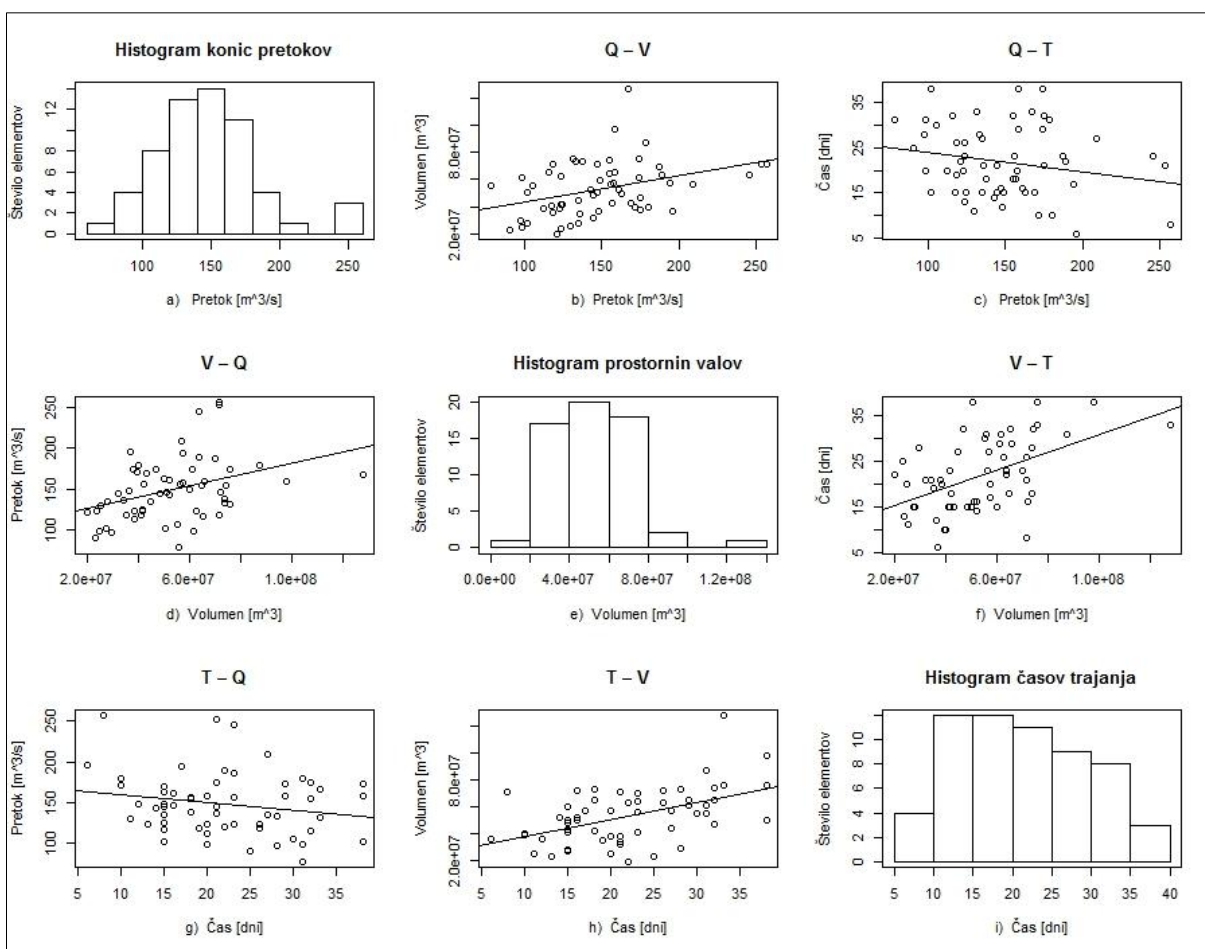
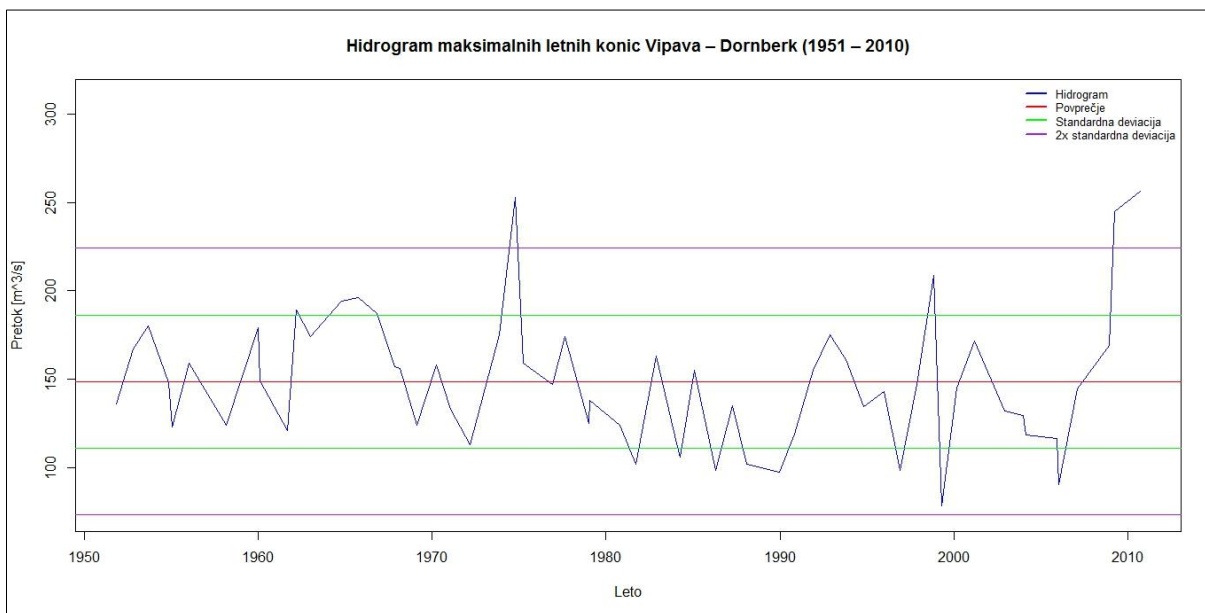
• 8500



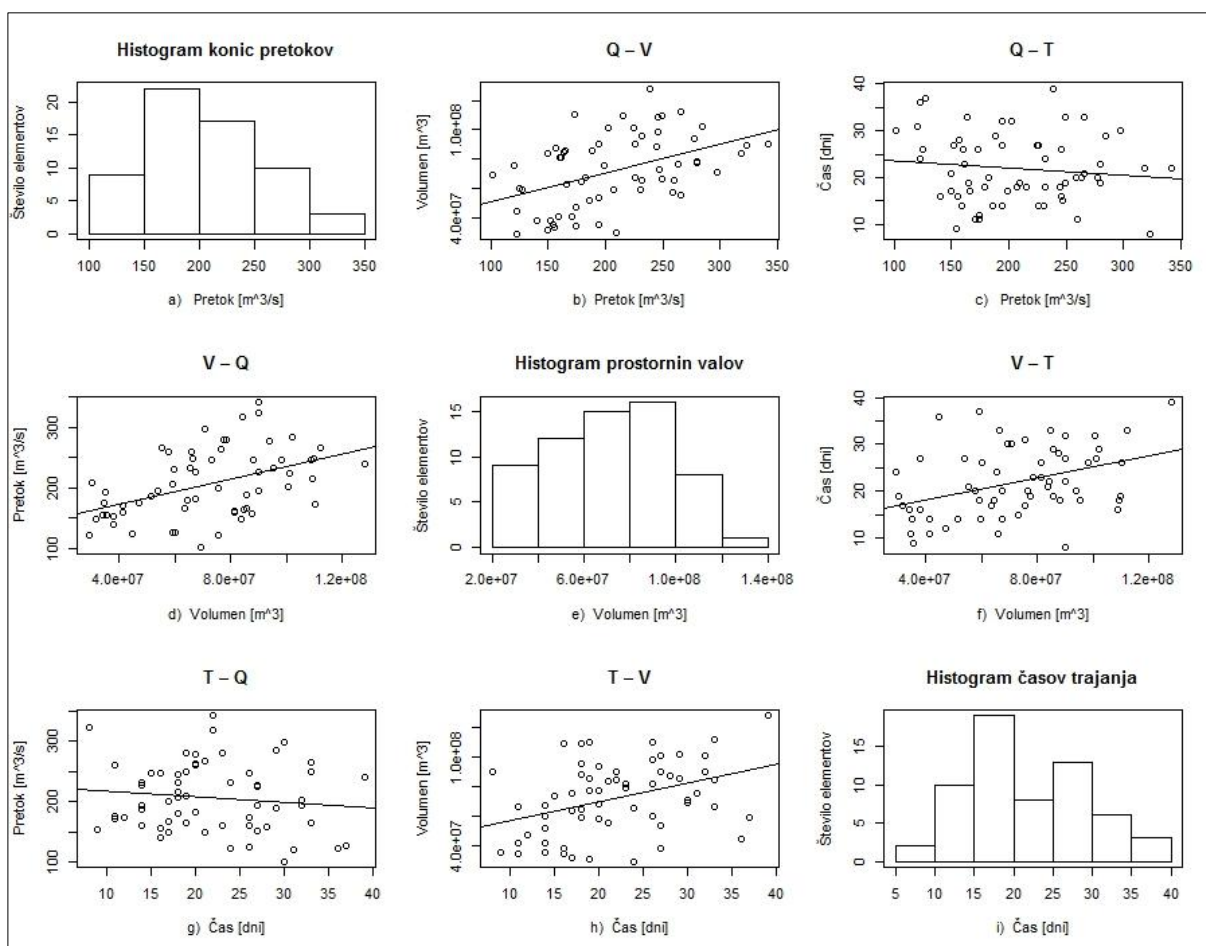
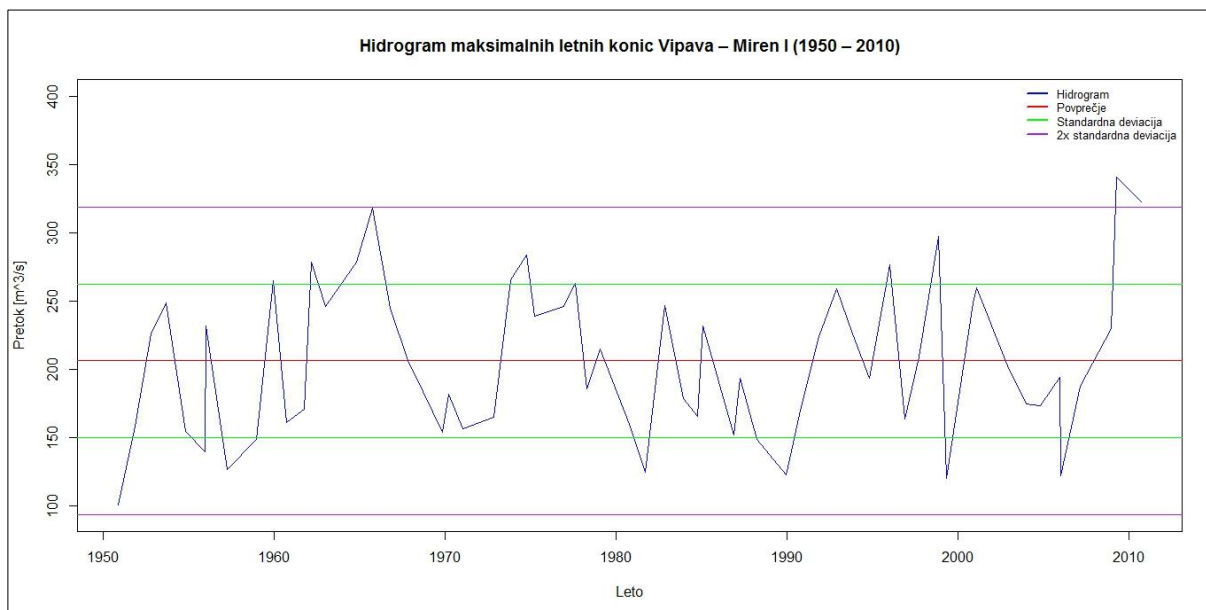
• 8560



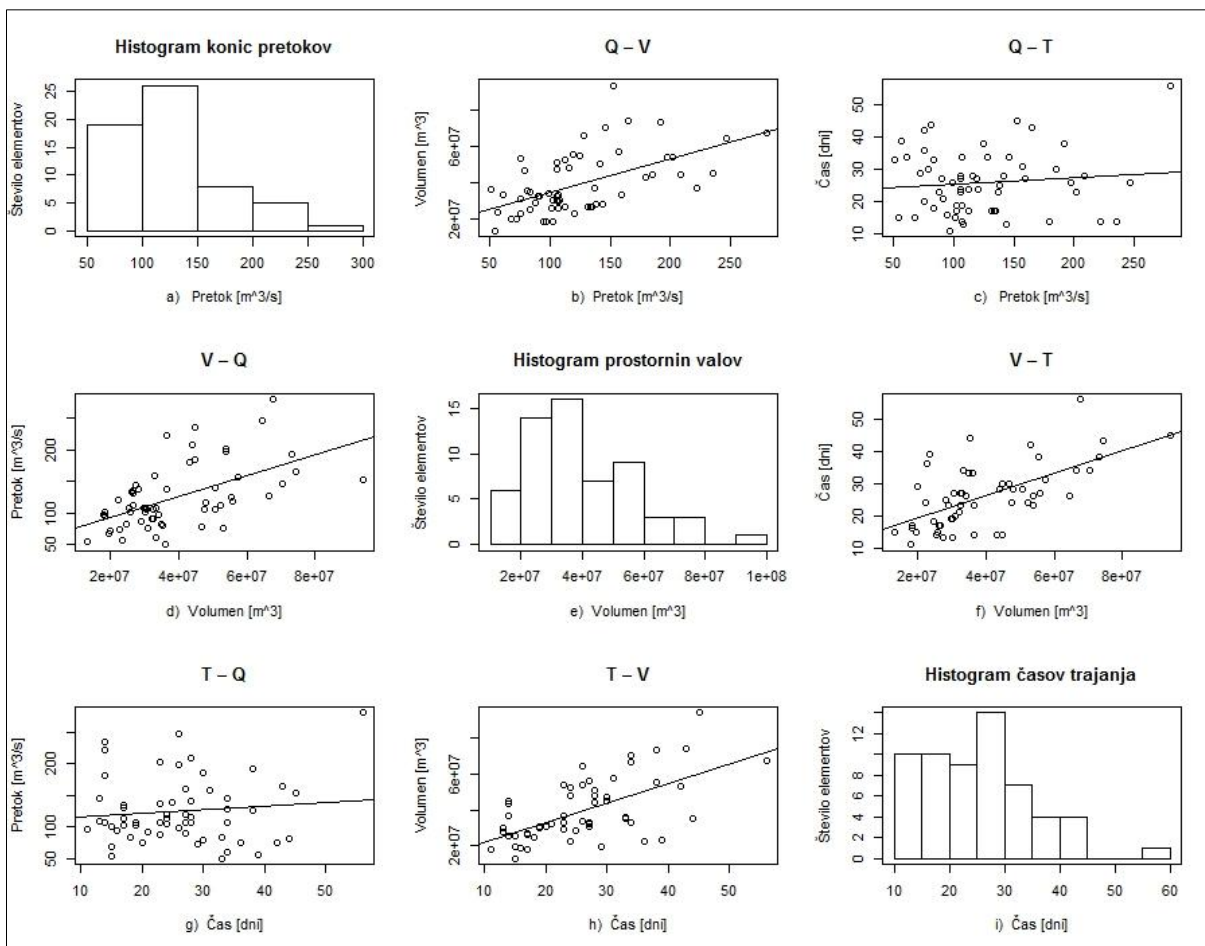
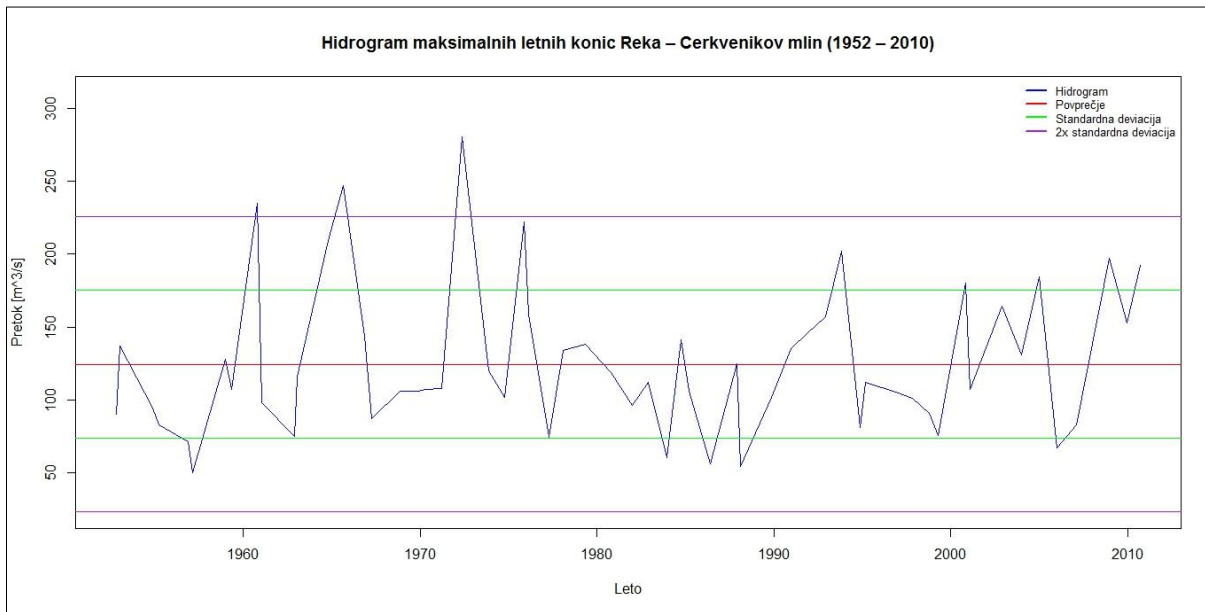
• 8590



## • 8601



• 9050



## • 9201

