

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:

Petek, M., 2014. Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M., somentorica Kobold, M.): 68 str.

Datum arhiviranja: 13-10-2014

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:

Petek, M., 2014. Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M., co-supervisor Kobold, M.): 68 pp.

Archiving Date: 13-10-2014

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 PRVE STOPNJE
VODARSTVA IN
OKOLJSKEGA INŽENIRSTVA

Kandidatka:

MANCA PETEK

**ANALIZA NIZKIH PRETOKOV VODOTOKOV V
SLOVENIJI**

Diplomska naloga št.: 26/B-VOI

**LOW-FLOW ANALYSIS OF STREAM FLOWS IN
SLOVENIA**

Graduation thesis No.: 26/B-VOI

Mentorica:

doc. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Somentorica:

asist. dr. Mira Kobold

Ljubljana, 16. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Manca Petek izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2014

Manca Petek

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	556.167(497.4)(043.2)
Avtor:	Manca Petek
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Somentor:	asist. dr. Mira Kobold
Naslov:	Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	68 str., 18 pregl., 40 sl., 16 en., 1 pril.
Ključne besede:	nizki pretoki, indeks baznega odtoka, statistike nizkih pretokov, deficit vodnega toka, recesijska krivulja, krivulja trajanja, sezonskost

Izvleček

V hidrologiji pojem nizki pretoki pomeni stanje pretoka v vodotoku, ki sledi daljšemu obdobju pomanjkanja padavin. Kot taki so nizki pretoki sestavni del pretočnih režimov vodotokov, njihovo poznavanje pa je pomemben del učinkovitega gospodarjenja z vodami. V diplomski nalogi je predstavljen pregled glavnih kazalnikov nizkih pretokov; statistike nizkih pretokov, indeks baznega odtoka, analiza recesijske krivulje in deficita vodnega toka, krivulja trajanja pretoka ter indeks in razmerje sezonskosti. Za izračun obravnavanih kazalnikov je bil uporabljen program R ter znotraj njega nizkim pretokom namenjen paket *lfstat*. Na primeru vodomerne postaje Kokra I smo izračunali omenjene kazalnike ter tako skušali razložiti režim nizkih pretokov reke Kokre. Pri analizi deficita in recesijske krivulje smo določili primerne vhodne parametre izračuna, izrisali krivulje trajanja pretokov tako na letni ravni, kot tudi ločeno na letne čase. V analizi sezonskosti smo s pomočjo razmerja in indeksa sezonskosti dokazali zimski režim nizkih pretokov reke Kokre ter jo s pomočjo stolpčnega grafa mesečnih pretokov uvrstili v alpski sredogorski dežno-snežni režim. Analizo smo v nadaljevanju razširili še na 55 drugih vodomernih postaj po Sloveniji ter ravno tako vsaki od njih določili režim, v katerem se nahaja, ter izvedli analizo kazalnikov nizkih pretokov. Med seboj smo vodotoke primerjali po izračunanih statistikah; Q_{SR} , Q_{70} , Q_{90} , Q_{95} , MAM_1 in MAM_7 , indeksu baznega odtoka, indeksu in razmerju sezonskosti ter različnih kazalnikih analize recesijskih krivulj in deficita vodnega toka. Za kazalnike sezonskosti smo izdelali grafične prikaze ter ugotavljali medsebojno povezanost med izračunanimi kazalniki nizkih pretokov.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 556.167(497.4)(043.2)
Author: Manca Petek
Supervisor: Assist. Prof. Mojca Šraj, PhD.
Cosupervisor: Mira Kobold, PhD.
Title: Low-flow analysis of stream flows in Slovenia
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 68 p., 18 tab., 40 fig., 16 eq., 1 ann.
Keywords: low flows, base flow index, low-flow statistics, streamflow deficit, recession curve, flow duration curve, seasonality

Abstract

In hydrology the term »low-flows« indicates a flow which is followed after longer periods of dry weather. As such low flows are an essential part of any stream flow regime and their understanding is an important part of effective water management. In this graduate thesis we presented an overview of main low-flow indices, such as low-flow statistics, base flow index, recession curve and stream flow deficit analysis, flow duration curve and seasonality indices such as seasonality index and ratio. The calculations of analysed indices were carried out in a software environment R inside a package for low-flow analysis *lfstat*. The indices were calculated on a case study of the Kokra I gauging station in order to explain the low-flow regime of the Kokra river. Appropriate initial parameters were set when analysing stream flow deficit and the recession curve. Flow duration curves were drawn on a yearly basis as well as separately for different seasons. In seasonality analysis the winter regime of low-flows was found to be the case for the Kokra river based on seasonality ratio and index values. Furthermore the analysis of low flows was expanded on another 55 gauging stations across Slovenia with each one of them being assigned the stream flow regime. Stream flows were compared based on calculated statistics, such as Q_{MF} , Q_{70} , Q_{90} , Q_{95} , MAM_1 and MAM_7 , base flow index, seasonality index and ratio and different indices of recession analysis and stream flow deficit analysis. The correlation of the calculated indices was analysed and graphical presentations of seasonality indices were made.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Kratek pregled literature.....	1
1.2	Cilji diplomske naloge	2
2	KAZALNIKI NIZKEGA PRETOKA	3
2.1	Bazni odtok.....	3
2.1.1	Indeks baznega odtoka.....	4
2.1.1.1	Definicija.....	4
2.1.1.2	Izračun	6
2.2	Statistike nizkih pretokov	6
2.2.1	Srednji pretok	6
2.2.2	» Q_{95} «, » Q_{90} «, » Q_{70} «.....	7
2.2.3	Srednji letni minimum	7
2.3	Krivulje trajanja pretokov.....	8
2.3.1	Definicija.....	8
2.3.2	Izdelava in uporaba krivulje trajanja.....	8
2.4	Deficit vodnega toka	9
2.4.1	Definicija.....	9
2.4.2	Metoda mejne vrednosti	10
2.5	Analiza recesijskih krivulj	12
2.5.1	Definicija.....	12
2.5.2	Metode	14
2.6	Sezonskost nizkih pretokov	16
2.6.1	Razmerje sezonskosti.....	16
2.6.2	Indeks sezonskosti	16
3	PROGRAM R IN PAKET LFSTAT	19
4	PRIMER ANALIZE NIZKIH PRETOKOV REKE KOKRE NA VODOMERNI POSTAJI KOKRA I.....	21
4.1	Opis porečja Kokre	21

4.2	Izračun statistik nizkih pretokov in indeksa baznega odtoka	22
4.3	Hidrogram z baznim odtokom	25
4.4	Krivulje trajanja pretokov.....	26
4.5	Deficit vodnega toka	26
4.5.1	Analiza vpliva vhodnih parametrov na rezultate	27
4.6	Analiza recesijskih krivulj	30
4.7	Sezonskost.....	32
4.7.1	Razmerje sezonskosti.....	33
4.7.2	Indeks sezonskosti	33
5	ANALIZA NIZKIH PRETOKOV ZA VODOMERNE POSTAJE V SLOVENIJI.....	35
5.1	Podatki	35
5.2	Opis obravnavanega območja	37
5.2.1	Podnebne značilnosti.....	37
5.2.1.1	Temperatura.....	38
5.2.1.2	Padavine	38
5.2.2	Geološka podlaga.....	39
5.2.3	Pretočni režimi.....	40
5.2.3.1	Dežno prevladujoči režim.....	40
5.2.3.2	Snežno prevladujoči režim.....	41
5.2.3.3	Dežno-snežni režim	42
5.2.3.4	Snežno-dežni režim	43
5.2.3.5	Ledeniški oz. glacialni režim	44
5.2.3.6	Določitev pretočnega režima obravnavanih vodomernih postaj.....	44
5.3	Analiza nizkih pretokov	45
5.3.1	Izračun statistik in indeksa baznega odtoka.....	45
5.3.2	Krivulje trajanja pretokov.....	47
5.3.3	Deficit vodnega toka	50
5.3.4	Analiza recesijskih krivulj	52
5.3.5	Sezonskost.....	54

6	ANALIZA POVEZAV MED KAZALNIKI NIZKIH PRETOKOV IN RAZPRAVA	57
6.1	Analiza posameznih statistik nizkih pretokov in njihovih povezav.....	57
6.1.1	BFI.....	57
6.1.2	MAM_1 in MAM_7	59
6.1.3	Q_{SR} , Q_{70} , Q_{90} , Q_{95}	59
6.2	Analiza deficita vodnega toka in recesijske krivulje	59
6.3	Analiza sezonskosti	60
6.4	Ostale korelacije	62
7	ZAKLJUČKI	64
	VIRI	66

KAZALO SLIK

Slika 1: Hidrogram z baznim odtokom za leto 2010, podatki za vodomerno postajo Sava - Radovljica I	4
Slika 2: Hidrogram z baznim odtokom in izračunanim indeksom baznega odtoka (vodomerna postaja Muta, Bistrica, leto 1979)	5
Slika 3: Hidrogram z baznim odtokom in izračunanim indeksom baznega odtoka (vodomerna postaja Mali Otok, Nanoščica, leto 2012)	5
Slika 4: Krivulja trajanja pretokov za podatke z vodomerne postaje Sava - Radovljica I za obdobje 1953-2012	9
Slika 5: Prikaz deficita pretoka skupaj z njegovimi značilnimi kazalniki (Fleig in sod., 2006: str. 537)	11
Slika 6: Primerjava med postopki razvrščanja: IT, MA in SPA (Fleig in sod., 2006: str. 548)	12
Slika 7: Krivulja upadanja	13
Slika 8: Glavna recesijska krivulja (MRC) za podatke o pretoku z vodomerne postaje	15
Slika 9: Prikaz indeksa sezonskosti po mesecih (Srebrnič, 2005: str. 69)	17
Slika 10: Uporabniški vmesnik RStudio	19
Slika 11: Lokacija vodomerne postaje Kokra I	21
Slika 12: Vodomerna postaja Kokra I	21
Slika 13: Prikaz 95-, 90- in 70- odstotnega pretoka ter srednjega pretoka, povprečenega na vsa leta razpoložljivih podatkov (1957-2012), po mesecih (vodomerna postaja Kokra I)	24
Slika 14: Hidrogram z baznim odtokom za leto 1957 za vodomerno postajo Kokra I	25
Slika 15: Krivulja trajanja za vse razpoložljive podatke, vodomerna postaja Kokra I	26
Slika 16: Krivulja trajanja za vse razpoložljive podatke, vendar ločeno za vsak letni čas posebej, vodomerna postaja Kokra I	26
Slika 17: Deficit vodnega toka za leto 2010, vodomerna postaja Kokra I (mejna vrednost Q_{70})	29
Slika 18: Deficit vodnega toka za leto 2012, vodomerna postaja Kokra I (mejna vrednost Q_{70})	29
Slika 19: Histogram trajanja obdobja recesije	30
Slika 20: Hidrogram pretoka z označenimi konicami za leto 1991 (Kokra, vodomerna postaja Kokra I)	31
Slika 21: Izris MRC, Q_{70} , $seglength=4$ (Kokra, Kokra I)	32
Slika 22: Izris MRC, Q_{70} , $seglength=5$ (Kokra, Kokra I)	32
Slika 23: Izris MRC, Q_{70} , $seglength=6$ (Kokra, Kokra I)	32
Slika 24: Izris MRC, Q_{70} , $seglength=7$ (Kokra, Kokra I)	32
Slika 25: Grafična predstavitev sezonskosti (Kokra, vodomerna postaja Kokra I)	33

Slika 26: Obravnavane vodomerne postaje.....	35
Slika 27: Povprečna mesečna temperatura zraka in višina padavin - podatki za različne padavinske postaje (ARSO, 2008)	39
Slika 28: Geološka podlaga Slovenije skupaj s hidrografijo (Geopedia, 2013)	39
Slika 29: Sredozemski dežni režim Pivke (vodomerna postaja Cerkevnikov mlin, pretočni podatki od 1952 do 2012)	41
Slika 30: Alpski snežni režim Bistrice (vodomerna postaja Muta, pretočni podatki od 1954 do 1990)	42
Slika 31: Režim Bistrice od leta 1991 naprej (vodomerna postaja Muta, pretočni podatki od 1991 do 2005).....	42
Slika 32: Panonski dežno-snežni režim Pesnice (vodomerna postaja Zamušani I, podatki od 1961 do 2012).....	43
Slika 33: Alpski visokogorski snežno-dežni režim Save v Radovljici (vodomerna postaja Radovljica I, pretočni podatki od 1913 do 2011).....	44
Slika 34: Variacije krivulje trajanja pretoka (podatki iz vodomerne postaje Čatež I, Sava)....	48
Slika 35: Krivulja trajanja - Sava Dolinka, Jesenice	49
Slika 36: Krivulja trajanja - Dragonja, Podkaštel I.....	49
Slika 37: Krivulja trajanja - Ljublanica, Vrhnika	49
Slika 38: Krivulja trajanja - Mura, Petanjci	49
Slika 39: Srednja vrednost julijanskega dne nastopa nizkega pretoka za analizirane postaje.	61
Slika 40: Vrednost razmerja sezonskosti za vse analizirane postaje (modra ponazarja zimski režim nizkih pretokov, rdeča pa poletni režim).	61

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Izračunane statistike za podatke o pretokih na vodomerni postaji Kokra I od 1957 do 2012.....	22
Preglednica 2: Izračunane statistike, povprečene na vsa leta razpoložljivih podatkov, po mesecih (vodomerna postaja Kokra I).....	24
Preglednica 3: Tabeliran prikaz deficita pretoka za leti 2010 in 2012, vodomerna postaja Kokra I	27
Preglednica 4: Rezultati analize deficita vodnega toka s postopkoma MA in IT (Kokra, vodomerna postaja Kokra I)	28
Preglednica 5: Izračun recesijske konstante po metodi MRC in IRS za mejno vrednost Q_{70} , podatki iz vodomerne postaje Kokra I za obdobje od 1957 do 2012.....	31
Preglednica 6: Izračun kota θ , dneva D pojavitve nizkega pretoka in dolžine vektorja r (Kokra, vodomerna postaja Kokra I).....	33
Preglednica 7: Seznam analiziranih vodomernih postaj	36
Preglednica 8: Razvrstitev analiziranih postaj med pretočne režime, ki jim pripadajo.....	45
Preglednica 9: Izračunane statistike (povprečene vrednosti) za analizirane postaje.....	46
Preglednica 10: Pregled kazalcev deficita za vse analizirane postaje po metodi mejne vrednosti s primerjavo postopka drsečega povprečja (MA) in medčasovnega dogodka (IT); Q_{70} kot mejna vrednost	50
Preglednica 11: Primerjava med izbiro različno dolgih segmentov v analizi recesijskih krivulj in njihovim vplivom na recesijsko konstanto, Q_{70} kot mejna vrednost.....	52
Preglednica 12: Rezultati analize sezonskosti za izbrane postaje	54
Preglednica 13: Pregled nastopa srednjega dneva nizkega pretoka za analizirane postaje po mesecih	56
Preglednica 14: Stopnja korelacije v odvisnosti od koeficienta korelacije R	57
Preglednica 15: Primerjava izračunanega BFI z vrednostmi po Janža (2006) za dana obdobja izračuna.....	58
Preglednica 16: Korelacijska matrika med kazalniki analize recesijskih krivulj in analize deficita vodnega toka	60
Preglednica 17: Korelacijska matrika med kazalniki analize sezonskosti	60
Preglednica 18: Korelacijska matrika vseh kazalnikov nizkih pretokov	63

OKRAJŠAVE

BFI	<i>Base Flow Index</i> (ang.), indeks baznega odtoka
FDC	<i>Flow Duration Curve</i> (ang.), krivulja trajanja pretoka
IRS	<i>Individual Recession Segments</i> (ang.), metoda posameznih odsekov upadanja
IS	Indeks Sezonskosti
IT	<i>Inter-event Time method</i> (ang.), metoda medčasovnega dogodka
MA	<i>Moving Average</i> (ang.), metoda/postopek drsečega povprečja
MAM	<i>Mean Annual Minima</i> (ang.), srednji letni minimum
MRC	<i>Master Recession Curve</i> (ang.), glavna krivulja upadanja
RS	Razmerje Sezonskosti
SPA	<i>Sequent Peak Algorithm</i> (ang.), algoritem zaporednih konic

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

1.1 Kratek pregled literature

Za učinkovito upravljanje z vodami je potrebno poznati tudi značilnosti nizkih pretokov vodotokov, njihove kazalnike, vzroke in posledice. Osnova za vsakršno koli analizo, naj si bo nizkih ali visokih vod, pa je zanesljivost in zadostna količina podatkov. Dolžina niza razpoložljivih podatkov je v hidrologiji še posebej pomembna, saj se sistematično zbiranje podatkov v večjem obsegu izvaja šele od 20. stoletja dalje.

Sušo različni viri v literaturi v splošnem interpretirajo kot obdobje pomanjkanja vode in vodnih virov, medtem ko je natančnejša definicija pogosto subjektivna. Beran & Rodier (1985) definirata sušo kot nepretrgoma trajajoče obdobje pomanjkanja vode in naravnih vodnih virov, bodisi v obliki padavin, pretoka v vodotokih ali stanjem podtalnice, ki prizadene širše geografsko območje. V svoji prostorski razširjenosti se tako suše razlikujejo od poplav, ki običajno prizadenejo bistveno manjša območja. V odvisnosti od področja obravnave Hisdal in Tallaksen (2000) povzameta štiri kategorije suše:

- Meteorološka suša, ki se nanaša na pomanjkanje padavin, katere statistično odstopajo od povprečja – običajno predstavlja začetek suše;
- Hidrološka suša, ki se odraža v zmanjšani količini površinskih in podzemnih vodnih virov – predstavlja tako posledico suše, kot njen vpliv;
- Agrometeorološka ali kmetijska suša, ki se izraža v pomanjkanju potrebne vlažnosti zemljine za potrebe rastlin v rastnem obdobju;
- Socialno-ekonomska suša, ki se odraža v povezavi suše s povpraševanjem po določeni dobrini.

Meteorološka suša se pojavi prva in je povod za razvoj drugih. Sledi ji agrometeorološka ter kot zadnja še hidrološka, saj se pretoki v vodotokih počasneje odzivajo na pomanjkanje padavin. Obnavljanje vodnih virov sledi v obratni smeri, saj si ob pojavu padavin najprej opomorejo vodne zaloge v tleh in vodotokih, kot zadnje pa se obnovijo zaloge podtalnice (Kobold in Sušnik, 2003).

Beran in Rodier (1985) definirata razliko med hidrološko sušo in nizkimi pretoki. Glavna značilnost suše je deficit vode za nek določen namen, medtem ko so nizki pretoki sestavni del suše, vendar predstavljajo samo eno od njenih dimenzij, t.j. njeno intenziteto.

Kazalniki nizkega pretoka so v literaturi večinoma analizirani ločeno, saj predstavljajo kompleksne izračune, osnovane na številnih analizah podatkov. Strnjeno so vsi kazalniki, njihov izračun in značilnosti, opisani v priročniku World Meteorological Organization (2009). Ta nudi pregled nad stanjem analiz v svetu, daje napotke za nadaljnji študij ter v splošnem predstavlja osnovo za pristop k analizi nizkih pretokov. Podobno predstavi to vejo hidrologije tudi Smakhtin (2001), ki ponudi pregled stanja na področju obravnavanja nizkih pretokov. Bazni odtok, njegovi kazalniki in značilnosti so v literaturi pogosto in široko uporabljeni, natančneje so opisani v Beck in sod. (2013), indeks baznega odtoka je v diplomski nalogi podrobneje obravnaval že Kovačič (2012). Analizo recesijske krivulje ter krivuljo trajanja in njeno konstrukcijo je podrobneje obravnavala Tallaksen (1994) in (1989).

Fleig in sod. (2006) so poglobljeje analizirali karakteristike deficita vodnega toka. S pomočjo dnevnih podatkov o pretoku so definirali in analizirali metodo praga kot tudi različne načine razvrščanja ter jih kvalitativno ovrednotili. Pregled izbire praga deficita je podan tudi v Hisdal in Tallaksen (2000).

1.2 Cilji diplomske naloge

Zaradi neugodne razporeditve padavin tekom leta, suša in z njo povezano pomanjkanje vode predstavlja tudi za Slovenijo velik problem v zadnjih letih. Za natančno in učinkovito analizo nizkih pretokov je potrebno analizirati več kazalnikov. Hkrati morajo biti rezultati takih analiz pravilno ovrednoteni.

Cilji diplomske naloge so: (1) pripraviti pregled različnih kazalnikov nizkega pretoka, narediti njihovo primerjavo in analizirati povezanost, (2) predstaviti programsko orodje za analizo nizkih pretokov, (3) natančno predstaviti metodologije izračunov in ovrednotenje kazalnikov nizkih pretokov na primeru ene vodomerne postaje, (4) ovrednotiti vpliv vhodnih parametrov na rezultate, (5) analizirati nizke pretoke za vodomerne postaje v Sloveniji in (6) ugotoviti medsebojne povezave med različnimi kazalniki.

2 KAZALNIKI NIZKEGA PRETOKA

Nizek pretok je definiran kot pretok vode v vodotoku med daljšo odsotnostjo padavin (Smakhtin, 2001). Za razliko od suše je nizek pretok sestavni del pretoka v vodotoku in se kot tak pojavlja na letni, sezonski, celo mesečni ravni. Izmerjene serije dnevni pretokov lahko za potrebe opisa režima nizkih pretokov analiziramo na več načinov, za prikaz rezultatov pa imamo na voljo tudi več kazalnikov, s katerimi opišemo različne vidike nizkih pretokov. V pričujoči nalogi je predstavljenih nekaj glavnih kazalnikov in značilnosti nizkih pretokov, v znanstveni literaturi pa se jih seveda pojavlja še več.

2.1 Bazni odtok

Bazni odtok je pomemben del pretoka, ki izvira iz zalog podzemne vode ali drugih zakasnelih virov, kot so jezera, ledeniki, taljenje snega, močvirja, itd. V sušnem obdobju je tako pretok v večji meri sestavljen zgolj iz baznega odtoka, sicer pa celotni pretok sestavljata tako bazni kot hitri odtok (Smakhtin, 2001).

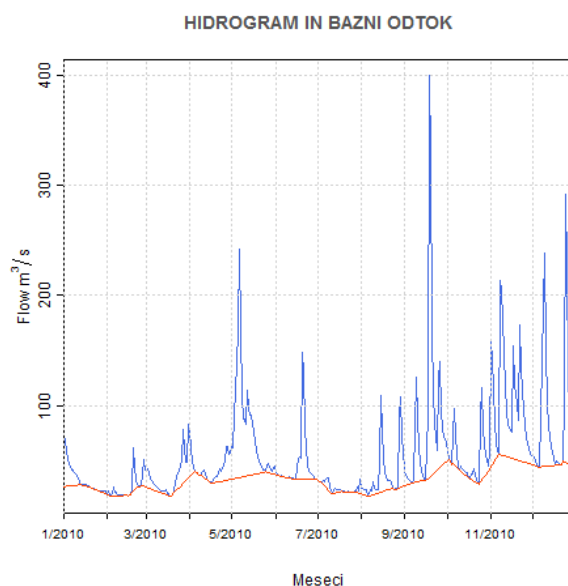
Poznavanje baznega odtoka je pomembno iz več vidikov, tako iz vidika upravljanja z vodnimi viri, kot tudi za potrebe pridobivanja električne energije s pomočjo hidroelektrarn, napovedovanja sušnih pretokov in transporta kontaminantov. Ugotovljeno je bilo, da je tesno povezan z geološkimi značilnostmi območja ter podlago, med vplivnimi faktorji pa so lahko tudi topografija, podnebje in pokrovnost tal (Beck in sod., 2013).

Določitev baznega odtoka lahko poteka s pomočjo analitičnih metod ali z njegovimi dejanskimi meritvami. Prvi način izhaja iz dnevni podatkov o pretoku ter njihovi analizi, drugi pa temelji na raznih posrednih meritvah. Bazni odtok je izjemno težko izmeriti, vendar ga lahko zaznamo na več načinov, npr. s pomočjo meritve koncentracije raztopljenih snovi v vodi in prevodnosti vode. Ugotovljeno je bilo, da prevodnost vode med padavinskimi dogodki pada in doseže svojo minimalno vrednost ob maksimalnem pretoku v strugi (Lott in Stewart, 2013).

Analitične metode za določanje baznega odtoka razdelimo na (Kovačič, 2012):

- Neposredno ugotavljanje baznega odtoka, med obstoječimi prevladujejo grafične metode ter metode digitalnih in rekurzivnih filtrov;
- Analize pogostosti, ki izhajajo iz določitve krivulje trajanja pretoka;
- Analize recesijske krivulje baznega odtoka, ki rezultate formira z analiziranjem različnih hidrogramov.

Bazni odtok grafično prikažemo na hidrogramu, ki prikazuje, kako se merjeni pretok spreminja s časom (slika 1/Slika 1). Celoten hidrogram pretoka lahko torej razdelimo na dve bistveni komponenti – hitro, ki predstavlja površinski odtok in medtok, ter zamujeno komponento, ki predstavlja del pretoka, neposredno povezanega z zalogami vodnih virov ter podtalnico, t.j. bazni odtok (WMO, 2009).



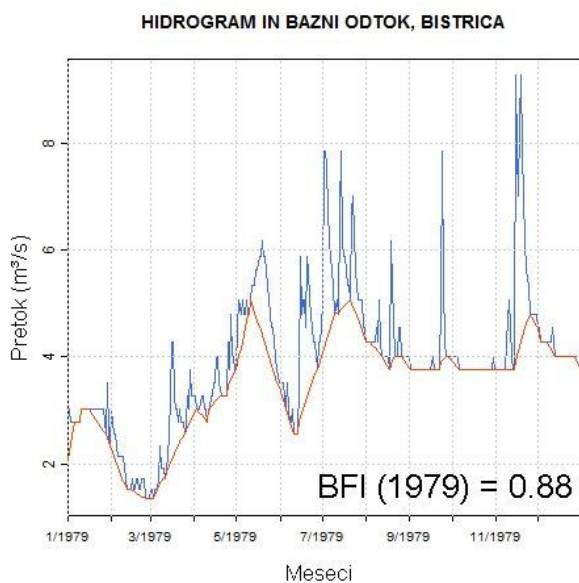
Slika 1: Hidrogram z baznim odtokom za leto 2010, podatki za vodomerno postajo Sava - Radovljica I

2.1.1 Indeks baznega odtoka

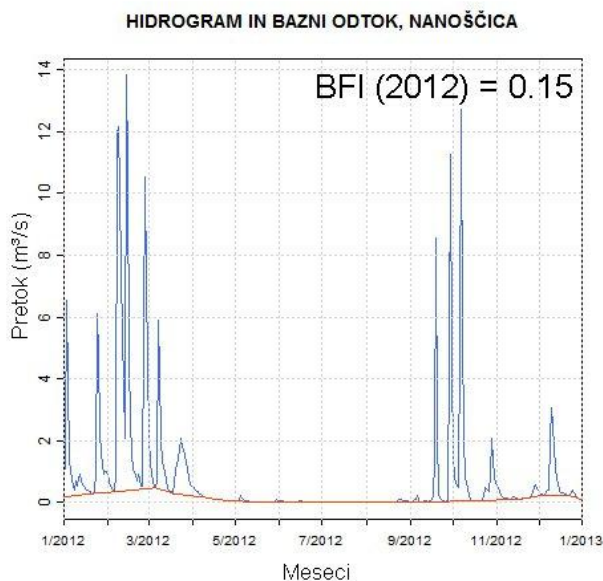
2.1.1.1 Definicija

Indeks baznega odtoka (ang. *base flow index*, BFI) predstavlja razmerje baznega odtoka in celotnega pretoka vodotoka.

Vrednosti indeksa se gibljejo med 0 in 1 in se spreminjajo v odvisnosti od prepustnosti tal, po katerih teče vodotok (slika 2 in 3). V primeru nepropustnih tal je indeks baznega odtoka običajno manjši od vrednosti 0.2, medtem ko je pri bolj propustnih tleh, z večjo možnostjo infiltracije vode, lahko njegova vrednost večja od 0.90. Na vrednost indeksa torej močno vpliva prepustnost podlage, pa tudi nizvodna prisotnost jezer in zajezev, kakor tudi splošne podnebne značilnosti območja (WMO, 2009).



Slika 2: Hidrogram z baznim odtokom in izračunanim indeksom baznega odtoka (vodomerna postaja Muta, Bistrica, leto 1979)



Slika 3: Hidrogram z baznim odtokom in izračunanim indeksom baznega odtoka (vodomerna postaja Mali Otok, Nanoščica, leto 2012)

Nekatere dejavnike, ki vplivajo na vrednost indeksa baznega odtoka, je povzel in analiziral Kovačič (2012). Mednje spadajo;

- Geografske lastnosti porečja: površina, povprečen naklon in naklonski indeks porečja, lastnosti hidrografske mreže, drenažni indeks;
- Podnebje in klimatske lastnosti: količina padavin in izhlapevanje;

- Vrsta pokrivnosti tal ter njihova namenska raba;
- Geološka podlaga;
- Tip vodonosnika – hidrogeologija;
- Pedologija oz. sestava tal.

2.1.1.2 Izračun

Izračun indeksa baznega odtoka poteka po postopku, ki ga predlaga WMO (2009):

- Serije dnevni pretokov razdelimo v skupine po pet dni, ki se med seboj ne prekrivajo;
- Za vsako pet-dnevno obdobje določimo najmanjši pretok Q_m ;
- Iz zaporedja minimalnih pretokov Q_m določimo prevojne točke Q_t . $Q_{m,i}$ je prevojna točka, če zanjo velja:

$$0,9 \cdot Q_{m_i} \leq Q_{m_{i\pm 1}}; \quad (1)$$

- V naslednjem koraku prevojne točke med seboj povežemo, s čimer konstruiramo hidrogram baznega odtoka;
- Z interpolacijo med prevojnimi točkami za vsak dan določimo vrednost baznega odtoka za celoten niz podatkov;
- Za želeno obdobje s pomočjo seštevka dnevni vrednosti baznega pretoka, pomnoženih s časovnim obdobjem v sekundah, izračunamo volumen baznega odtoka (V_{bazni}). Izračun po istem postopku ponovimo še za celotni pretok ($V_{celotni}$), le da v slednjem primeru seštejemo dnevne vrednosti pod hidrogramom;
- Iz dobljenih vrednosti V_{bazni} in $V_{celotni}$ izračunamo indeks baznega odtoka:

$$BFI = \frac{V_{bazni}}{V_{celotni}}. \quad (2)$$

2.2 Statistike nizkih pretokov

2.2.1 Srednji pretok

Srednji pretok (ang. *mean flow*) je ena izmed najbolj pogosto uporabljenih statistik v hidrologiji saj je njegov izračun iz serije izmerjenih dnevni pretokov enostaven in nudi hitro primerjavo med različnimi vodotoki. Ocenimo ga z seštevkom vseh dnevni pretokov, ki ga nato delimo s številom dni v vzorcu meritev. Lahko ga določimo za specifične mesece ali

obdobja, najpogosteje pa se izračuna posebej za vsako koledarsko ali hidrološko leto razpoložljivih podatkov:

$$Q_{SR} = \frac{\sum \text{dnevni pretoki}}{\text{št.dni}}. \quad (3)$$

Srednji pretok predstavlja pomembno oceno razpoložljive količine vodnih virov in je iz tega razloga pomemben statistični kazalnik za področje upravljanja z vodnimi viri. Prav tako je uporaben za začetne ocene primernosti vodotoka za izrabo v namene pridobivanja električne energije (WMO, 2009).

2.2.2 » Q_{95} «, » Q_{90} «, » Q_{70} «

Petindevetdeset odstotni pretok (Q_{95}) spada med pogoste kazalnike nizkih pretokov in predstavlja pretok, ki je presežen 95 odstotkov časa (WMO, 2009). Določimo ga z razporejanjem podatkov o pretoku ter določitvi vrednosti, ki presega petindevetdeset odstotkov vseh izmerjenih vrednosti, ali pa s pomočjo uporabe krivulje trajanja pretokov.

Devetdeset odstotni pretok Q_{90} ter sedemdeset odstotni pretok Q_{70} se izračunata analogno.

2.2.3 Srednji letni minimum

Srednji letni minimum (ang. *mean annual minima*, *MAM*) lahko ocenimo iz niza izmerjenih dnevni pretokov z izločitvijo najmanjšega vsakoletnega pretoka ter izračunom srednje vrednosti vseh minimalnih letnih vrednosti (WMO, 2009). S tem dobimo eno vrednost za celotno obdobje razpoložljivih podatkov, lahko pa *MAM* prikažemo tudi za vsako leto posebej. Minimumi različno dolgih obdobj (1, 7, 10, 30 ali 90 dni) so pogosto v uporabi. Precej razširjen je t.i. MAM_7 , ki predstavlja povprečje minimumov 7-dnevni serij izmerjenih pretokov. Smakhtin (2001) priporoča uporabo MAM_7 , ker 7-dnevno obdobje omogoča izločitev variacij v pretoku na dnevni ravni, prav tako se s tem zmanjšajo morebitne napake pri meritvah. MAM_1 in MAM_{30} sta pogosto uporabljena v Vzhodni Evropi in Rusiji za oceno poletnih in zimskih sušnih pretokov (Smakhtin, 2001), medtem ko sta 7- in 10-dnevni letni minimum uporabna pri ocenah potencialnih območij, primernih za namakanje (WMO, 2009).

V zmernih podnebjih je srednji letni minimum za $n = 7$, MAM_7 , po absolutni vrednosti podoben petindevetdeset odstotnemu pretoku (WMO, 2009), medtem ko je Smakhtin (2001) v analizi vodotokov v Južni Afriki ugotovil večjo podobnost med MAM_7 in Q_{75} .

2.3 Krivulje trajanja pretokov

2.3.1 Definicija

Krivulja trajanja pretoka (ang. *flow duration curve, FDC*) prikazuje odstotek časa, v katerem je vrednost pretoka enaka oz. večja od neke vrednosti (Mikoš in sod., 2002). Kot taka omogoča ločitev med nizkimi in visokimi vodami ter jasen pregled nad pretoki v vodotoku. Iz nje lahko razberemo odstotek časa, v katerem je določena vrednost pretoka presežena oziroma razmerje med količino pretoka in pogostostjo njegovega pojavljanja (Smakhtin, 2001).

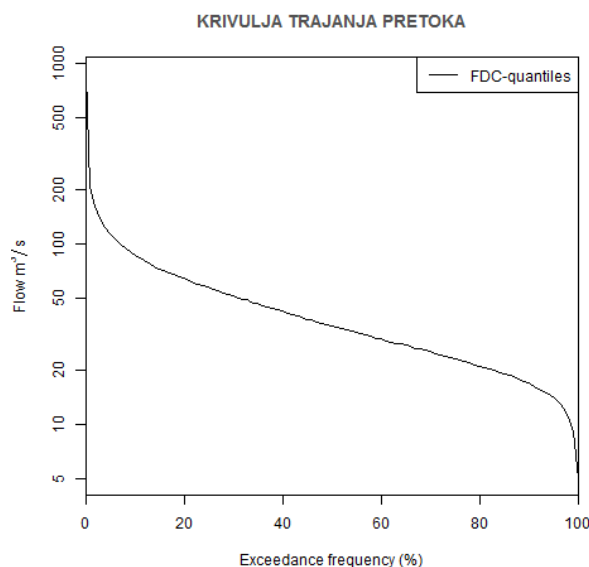
2.3.2 Izdelava in uporaba krivulje trajanja

Izris krivulje poteka s pomočjo celotnega niza podatkov, temelji pa na rangiranju podatkov dnevnega pretoka v padajočem vrstnem redu od 1 do i ; največja vrednost pretoka je torej prva, najmanjša pa zadnja v ranžirni vrsti (slika 4Slika 4). Sledi izračun porazdelitvene funkcije (PF) za vsako od vrednosti, ki predstavlja razmerje med mestom v ranžirni vrsti ter številom vseh podatkov o izmerjenih pretokih (WMO, 2009):

$$PF_{Q_i} = \frac{i}{N} \quad (4)$$

V zmernih podnebjih se priporoča vsaj 10-letno zaporedje podatkov, saj se zanesljivost krivulje večja linearno z nizom razpoložljivih podatkov. Dobljene vrednosti vnesemo v graf; porazdelitveno funkcijo v odstotkih nanesimo na abscisno os, medtem ko je ordinatna os namenjena vrednostim pretoka, običajno prikazanih v logaritmičnem merilu. (WMO, 2009: str. 50-53).

Izrisana je lahko tudi za pretočne podatke na mesečni ali letni ravni, pa tudi s pomočjo n -dnevnega ali n -mesečnega povprečja pretokov, vendar je natančnost prikaza in zanesljivost krivulje v omenjenih primerih seveda manjša kot pri uporabi podatkov o dnevnem pretoku (Smakhtin, 2001). Krivulja trajanja pretoka je uporabna tudi za primerjavo med različnimi vodotoki; bolj strma pomeni večje nihanje v dnevni pretokih ter je kot taka značilna za vodotoke z neprepustno podlago, ki se na padavine hitro odzivajo (WMO, 2009). Iz nje lahko prav tako razberemo učinke antropogenih aktivnosti ter regulacij vodotokov.



Slika 4: Krivulja trajanja pretokov za podatke z vodomerne postaje Sava - Radovljica I za obdobje 1953-2012

V povezavi z nizkimi pretoki je za analizo uporaben predvsem del krivulje, ki predstavlja pretok, manjši od mediane, torej del pod mejo, ki določa pretoke presežene v 50 odstotkih časa. Ta del krivulje predstavlja doprinos podzemnih virov k površinskemu pretoku (Smakhtin, 2001). Položen del krivulje na tem delu pomeni, da podzemni viri bistveno prispevajo k pretoku, obratno pa strma krivulja v delu, ki opisuje pretoke manjše od Q_{50} , nakazuje na majhen oz. spremenljiv doprinos baznega toka (Smakhtin, 2001). Razlike v obliki krivulje so opazne tudi v primeru človekovih posegov v okolje, npr. z izgradnjo hidroelektrarne. Pogosto se v analizi nizkih pretokov uporabljajo predvsem pretoki, preseženi 70 ali več odstotkov časa.

2.4 Deficit vodnega toka

2.4.1 Definicija

Deficit vodnega toka (ang. *streamflow deficit*) označuje obdobje, ko ima pretok v vodotoku vrednost pod določeno mejo, ki definira sušo ali kritični deficit toka (WMO, 2009).

Najpogosteje se za določanje deficita uporablja metoda mejne vrednosti (ang. *threshold level method*), s katero definiramo sušo oz. obdobja nizkih pretokov vodotoka. Metoda se pogosto uporablja na področjih, kot so upravljanje z vodami, energetska izraba, oskrba z vodo in namakalni sistemi (Hisdal in Tallaksen, 2000).

2.4.2 Metoda mejne vrednosti

Prag določa mejna vrednost Q_Z , zato se deficit začne, ko pretok pade pod to vrednost, konča pa, ko se dvigne nad njo (WMO, 2009). V splošnem lahko mejna vrednost Q_Z predstavlja potrebo po določenem pretoku, npr. za potrebe hidroelektrarn, oskrbe z vodo, potreben pretok za plovbo, itd. Vrednost Q_Z je lahko fiksna ali spremenljiva skozi leto (Fleig in sod., 2006), od njene izbire pa so odvisni rezultati analize deficita.

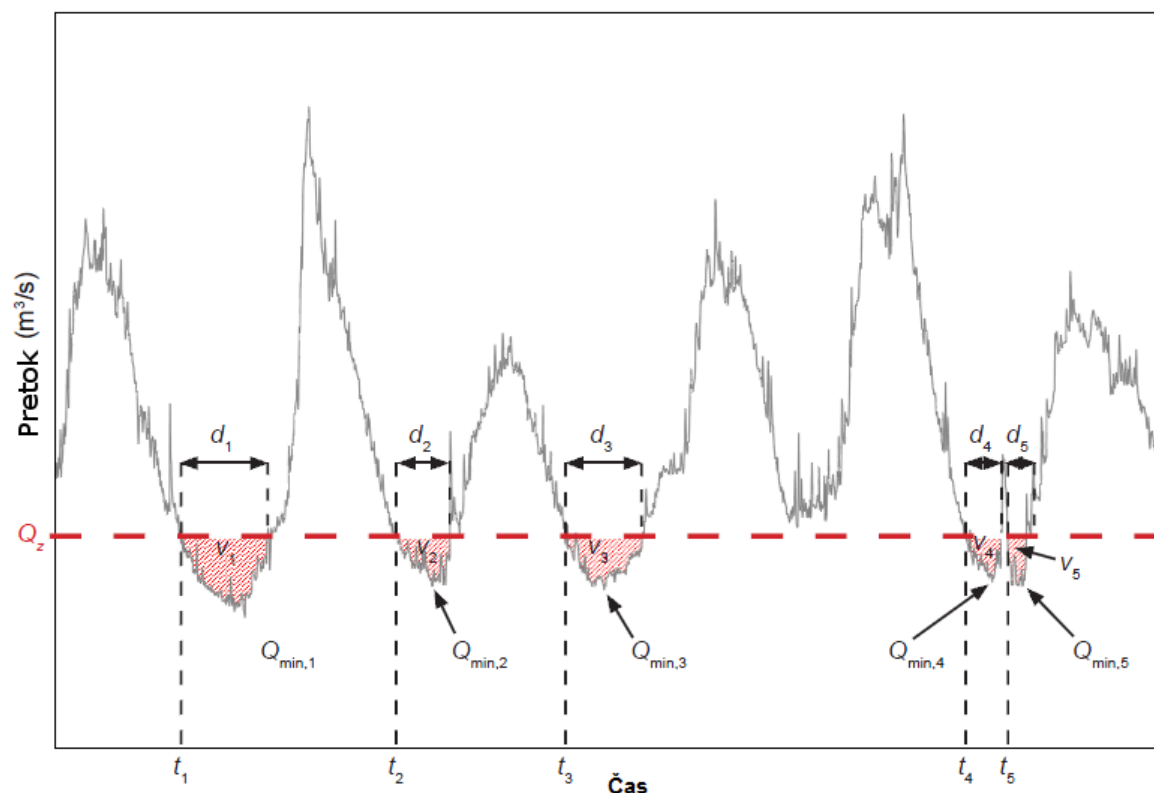
Hisdal in Tallaksen (2000) povzemata več načinov za izbiro ustrezne mejne vrednosti oz. praga. Ta je lahko kvantitativna vrednost, izbrana z določenim namenom izrabe vode. Pogosto uporabljena možnost je tudi izbira praga kot določene statistične lastnosti obravnavanega pretoka, npr. odstotek povprečnega pretoka ali del pretoka, izbran s pomočjo krivulje trajanja (v našem primeru Q_{70} oz. pretok, ki je prisoten 70 odstotkov časa ali več). Če je prag določen s pomočjo krivulje trajanja, se za njegovo konstrukcijo uporabijo vsi razpoložljivi podatki. Prag je lahko stalen za celoten niz podatkov, lahko pa je določen na mesečni ali celo dnevni ravni.

V povezavi s primanjkljajem vodnega toka določamo več kazalnikov slednjega (slika 5) (WMO, 2009):

- Trajanje (d);
- Volumen deficita oz. jakost (v);
- Intenziteta ali sušna magnituda (mi), ki predstavlja razmerje med volumnom in trajanjem:

$$mi = \frac{v}{d}; \quad (5)$$

- Minimalni pretok deficita (Q_{min});
- Čas nastopa dogodka, npr. datum začetka, srednje vrednosti ali minimalnega pretoka.



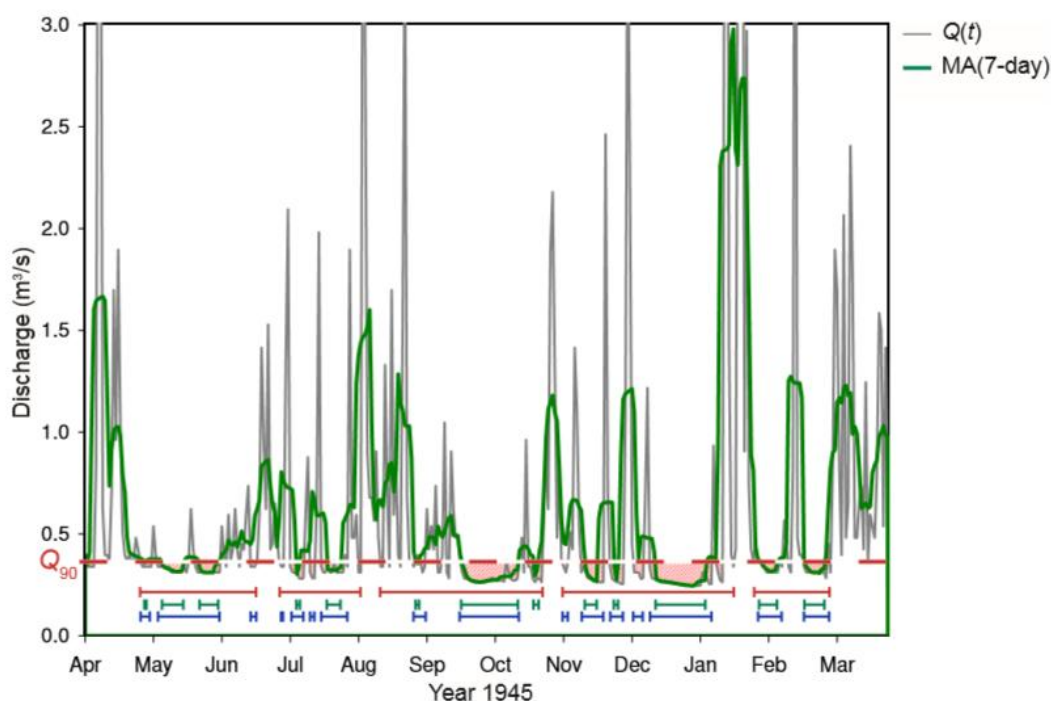
Slika 5: Prikaz deficita pretoka skupaj z njegovimi značilnimi kazalniki (Fleig in sod., 2006: str. 537)

Metoda mejne vrednosti ima tudi svoje pomanjkljivosti. Ena teh nastopi pri uporabi dnevni podatkov o pretoku, ki lahko povzročijo medsebojno odvisnost med sušnimi obdobji ter pojav manjših sušnih obdobji. Med daljšimi sušnimi obdobji se namreč lahko ob padavinskih dogodkih pojavi krajše obdobje, v katerem pretok preseže prag, ki določa deficit. S tem nastane več manjših sušnih obdobji, ki pa so medsebojno odvisna drug od drugega.

Tovrstnim nevšečnostim se lahko izognemo z uporabo različnih postopkov razvrščanja podatkov (ang. *pooling procedures*):

- i. Postopek drsečega povprečja (ang. *moving average procedure*, MA) temelji na uporabi n-dnevnega filtra (npr. za časovni interval 7 ali po Hisdal in Tallaksen (2000) priporočenih 10 dni), ki ublaži nihanja v pretoku (Fleig in sod., 2006);
- ii. Algoritem zaporednih konic (ang. *sequent peak algorithm*, SPA), ki izpelje največji deficit volumna iz serij dnevnega pretoka, razvit je bil za potrebe dimenzioniranja vodnih zbiralnikov (Fleig in sod., 2006; WMO, 2009). V skladu s to metodo sta dve sušni obdobji združeni, če posledice prve do začetka druge še niso bile odpravljene (Hisdal in Tallaksen, 2000);
- iii. Metoda medčasovnega dogodka (ang. *inter-event time method*, IT), ki medsebojno odvisne sušne dogodke združi v skupnega, ki traja od začetka prvega do konca

zadnjega sušnega dogodka, združenega v enega (Fleig in sod., 2006). Metoda se pogosto obravnava skupaj s postopkom volumskega kriterija (ang. *inter-event time and volume criterion*, IC), pri katerem sta dva dogodka združena, če se zgodita manj kot določeno število dni narazen, ter je razmerje med prekoračenim volumnom deficita med tema dvema dogodkoma ter prejšnjim volumnom deficita manjše od kritične vrednosti (WMO, 2009). Tallaksen in Hisdal (2000) navajata, da je metoda v splošnem manj uporabna za analizo kot metodi MA in SPA.



Slika 6: Primerjava med postopki razvrščanja: IT, MA in SPA (Fleig in sod., 2006: str. 548)

Primerjavo med različnimi postopki razvrščanja kaže slika 6. Zgornje črte v rdečem prikazujejo deficite, določene z metodo IT za uporabo 5-dnevnega razvrščanja. Zelene črte ponazarjajo postopek drsečega povprečja (MA) s 7-dnevnim filtrom, modre pa metodo SPA. Hidrogram prikazuje pretoke reke Honokohau na Havajih za leto 1954 (Fleig in sod., 2006).

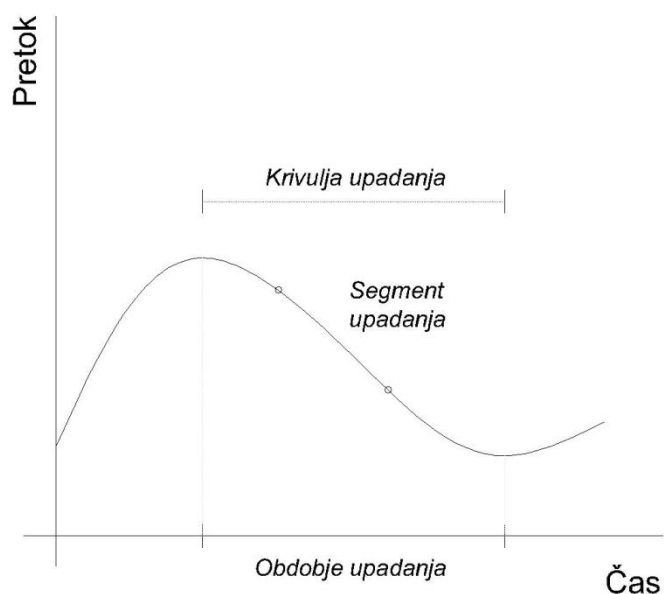
2.5 Analiza recesijskih krivulj

2.5.1 Definicija

Analiza recesijske krivulje oz. analiza krivulje upadanja preučuje, kako se pretok spreminja s časom in kakšna je ta odvisnost. Tehnik za oceno slednjega je v literaturi na voljo veliko, kar otežuje primerjavo rezultatov ter oceno ustreznosti teh tehnik (Tallaksen, 1995).

V sušnih obdobjih se zaloge podzemne vode običajno zmanjšajo zaradi izsuševanja zemljine in tal, med dejavniki zmanjšanja je tudi evapotranspiracija. S tem se zmanjša pretok v strugi, kar je razvidno iz padajoče veje hidrograma, tovrstna zmanjšanja pa lahko opišemo z t.i. recesijsko krivuljo oz. krivuljo upadanja (slika 7). Slednja prikazuje, kako različni faktorji vplivajo na proces iztoka. Vodotoki, katerih stopnja upadanja je postopna in dolgotrajnejša, imajo izrazit vpliv podzemne vode ali jezer na odtok, medtem ko hiter upad pomeni vodotoke na neprepustni podlagi, pogosto z manjšo sposobnostjo infiltracije vode (Tallaksen, 1995).

Krivulja upadanja (slika 7) vsebuje pomembne informacije o lastnostih in dinamiki podtalnice, zato je uporabna na več področjih urejanja in upravljanja z vodami. Pri napovedovanju nizkih pretokov tako lahko pomaga pri upravljanju namakalnih sistemov, oskrbi z vodo, uporabi v energetske namene na hidroelektrarnah, v povezavi z redčenjem odpadnih voda in drugih izpustov, pri uporabi matematičnih modelov padavin in odtoka, pri analizi hidrogramov za grafično ločitev različnih komponent toka ter na drugih področjih povezanih z nizkimi pretoki. Oblika recesijske krivulje se razlikuje med letnimi časi, saj je evapotranspiracija v toplim obdobju leta večja, čemur sledi tudi višja stopnja upadanja (Tallaksen, 1995).



Slika 7: Krivulja upadanja

2.5.2 Metode

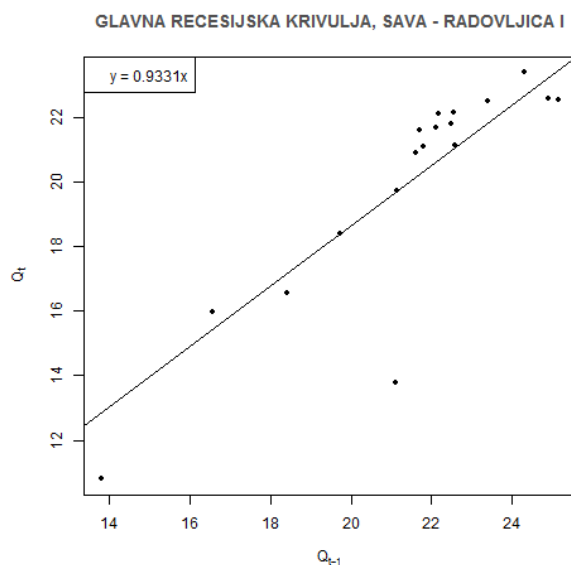
Zaradi velikih razlik v izračunih stopenj upadanja ter težavnosti pri določanju segmentov upadanja, so bile razvite različne metode za recesijsko analizo vodotokov, ki jih lahko v grobem razdelimo v dve skupini (WMO, 2009):

- Prve, osnovane na konstrukciji glavne recesijske krivulje (ang. *master recession curve*, MRC) (slika 8);
- Ostale, ki temeljijo na izračunu parametrov individualnih segmentov upadanja (ang. *individual recession segments*, IRS).

Analizo v vsakem primeru začnemo z določitvijo kriterijev in zahtev za izbiro segmentov upadanja iz danih podatkov o pretoku. Običajno prvi del obdobja upadanja v analizi zanemarimo, s čimer se izognemo vplivu hitrega odziva vodotoka na padavine. Začetna vrednost je lahko definirana z absolutnim pragom, kar pomeni, da se obdobje upadanja začne, ko pretok pade pod definirano vrednost. Spremenljiva vrednost začetka obdobja upadanja pa je lahko določena s pretokom, ki se začne po definiranem času od padavinskega dogodka ali konice pretoka (WMO, 2009).

Glavna recesijska krivulja zaobide problem variabilnosti podatkov tako, da konstruira t.i. srednjo recesijsko krivuljo, s čimer je informacija o variabilnosti zabrisana. Podatki so združeni, na absciso se vrisuje pretok Q_{t-1} v prvem časovnem intervalu, na ordinato pa pretok v kasnejšem časovnem intervalu, Q_t . Nato se s čim boljšim prileganjem izrisanim točkam konstruira krivulja. S predpostavko, da recesijska premica seka graf v izhodišču, lahko razberemo recesijski parameter oz. stopnjo upadanja, k (Tallaksen, 1995):

$$k = \frac{Q_t}{Q_{t-1}}. \quad (6)$$



Slika 8: Glavna recesijska krivulja (MRC) za podatke o pretoku z vodomerne postaje Sava - Radovljica I za obdobje 1953-2012

S parametroma je povezana tudi recesijska konstanta oz. konstanta upadanja, C (WMO, 2009):

$$C = \frac{-\Delta t}{\ln(k)} \quad (7)$$

Recesijska konstanta je vrednost, izražena v dneh, ki ponazarja mero recesije oz. upadanja. Določimo jo tako po metodi MRC kot tudi po metodi IRS, končna primerjava med vrednostma po eni in drugi metodi pa naj bi prinesla zadovoljive rezultate.

Po metodi IRS, posameznih recesijskih segmentov oz. odsekov upadanja, je spremenljivost teh odsekov zajeta z aproksimacijo recesijskega modela na vsak posamezen segment upadanja. Recesijsko analizo po metodi IRS torej izvedemo s kvantitativnim izračunom za posamezne individualne odseke upadanja (Tallaksen, 1995).

2.6 Sezonskost nizkih pretokov

2.6.1 Razmerje sezonskosti

Razmerje sezonskosti (ang. *seasonality ratio*) predstavlja razmerje med poletnimi in zimskimi pretoki. Laaha in Blöschl (2006), ki sta analize izvajala na območju Avstrije, predlagata ločitev na poletno obdobje z začetkom 1. aprila, in zimsko obdobje, ki nastopi 1. decembra. Za vsako obdobje je potreben izračun značilnih vrednosti nizkih pretokov, q_{95P} za poletne in q_{95Z} za zimske pretoke. Razmerje sezonskosti nato določimo iz razmerja:

$$RS = \frac{q_{95P}}{q_{95Z}}. \quad (8)$$

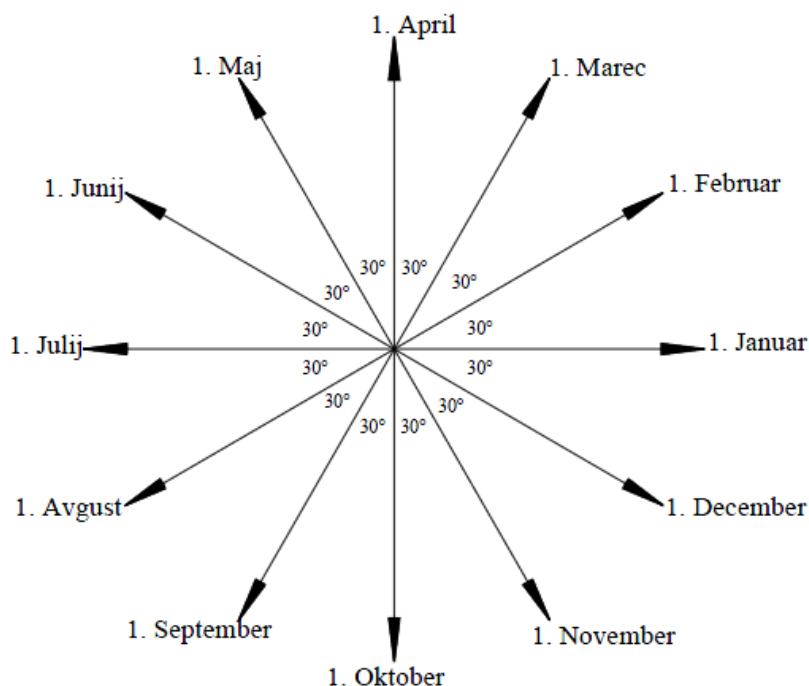
Za vrednosti RS večje od 1 lahko predpostavimo prevladujoč zimski režim nizkih pretokov, za vrednosti manjše od 1 pa poletni režim.

Hisdal in sod. (2001) po naravi deficita vodnega toka ločijo poletne in zimske suše. Prve so posledica manjših količin padavin in vodnih izgub zaradi izhlapevanja, druge pa so posledica snežnih padavin, ki ne prispevajo k odtoku ter se akumulirajo do nastopa toplejših mesecev. V zvezi s tem Hisdal in sod. predlagajo izbiro poletne sušne sezone z nastopom meseca, ki ima povprečno mesečno temperaturo višjo od 0°C, ali pa s koncem nastopa povečanih pretokov, ki so posledica taljenja snega. Zaradi pomanjkanja podatkov in večje nejasnosti v analizi ter različnih hidroloških režimov smo v nalogi uporabili ločitev, ki jo predlagata Laaha in Blöschl (2006).

2.6.2 Indeks sezonskosti

Sezonsko porazdelitev pojavljanja nizkih pretokov lahko prikažemo s pomočjo indeksa sezonskosti (ang. *seasonality index*) na enostaven grafičen način, z metodo, ki jo predlaga Burn (1997). V skladu z njo določimo datum pojava vsakoletnega ekstremnega dogodka (v našem primeru nizkega pretoka) v julijanskem koledarju, pri čemer prvi dan pomeni 1. januar in 365. dan pomeni 31. december. To prikažemo grafično, z izrisom vektorja dneva pojavitve ekstremnega dogodka, pri čemer uporabimo koordinatni sistem z vsemi štirimi kvadranti in risanjem vektorja iz izhodišča (slika 9). Celoten krog v tem primeru predstavlja 365 dni, zato kot med absciso prvega kvadranta in vektorjem izračunamo po enačbi:

$$\theta = \text{Julijanski dan} \cdot \left(\frac{2\pi}{365}\right). \quad (9)$$



Slika 9: Prikaz indeksa sezonskosti po mesecih (Srebrnič, 2005: str. 69)

Za vzorec n sušnih dogodkov izračunamo kot θ_i v radianih, ki predstavlja nastop sušnega dogodka i ;

$$\theta_i = (\text{Julijanski dan})_i \cdot \left(\frac{2\pi}{365}\right). \quad (10)$$

Nato določimo x in y , ki predstavljata koordinati povprečnega dneva sušnega dogodka, ležita pa znotraj oz. na enotskem krogu (Burn, 1997):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \cos \theta_i; \quad (11)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \sin \theta_i. \quad (12)$$

Srednja vrednost smeri oz. dneva nastopa ekstremnega sušnega pretoka se nato ponovno izrazi s kotom:

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}}\right). \quad (13)$$

Iz vrednosti srednje smeri $\bar{\theta}$ lahko nastop ekstrema pretvorimo v srednji dan v letu;

$$D = \bar{\theta} \frac{365}{2\pi}, \quad (14)$$

ki vsebuje hidrološke značilnosti, saj je tesno povezan z geografskimi značilnostmi, kar je še posebej razvidno pri vodotokih z zimskimi nizkimi pretoki zaradi akumulacije snežnih padavin (Burn, 1997).

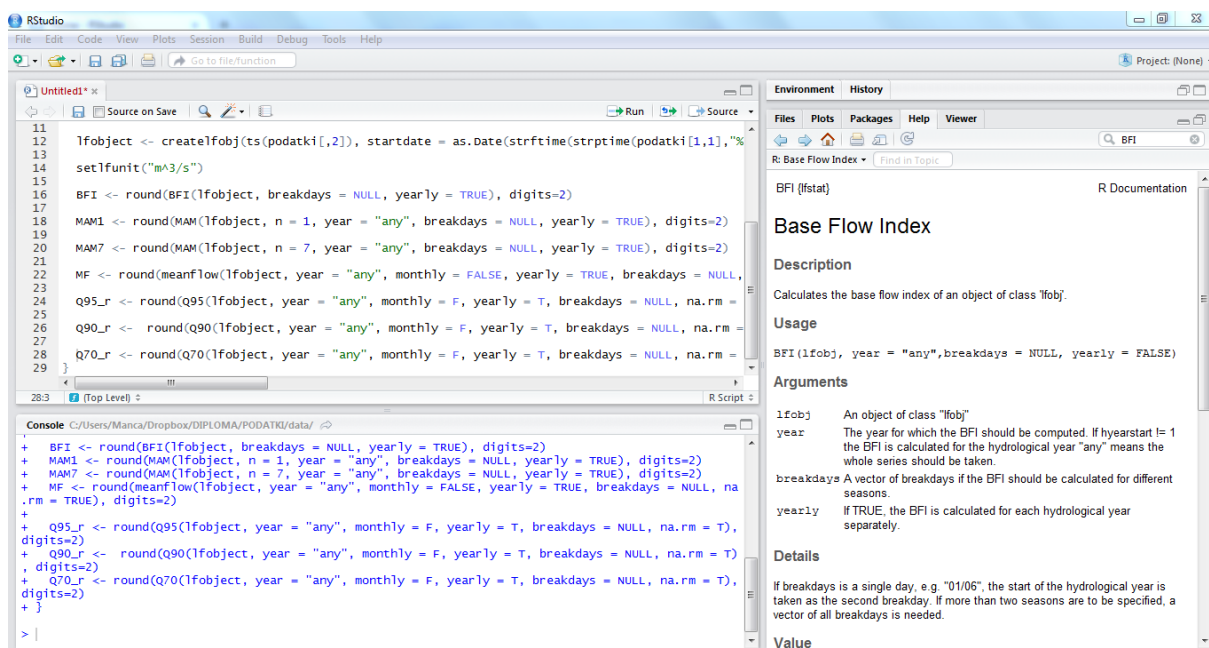
Enota za spremenljivost pojava dogodkov, r , oz. kar dolžina vektorja, se izračuna iz prej dobljenih koordinat povprečnega sušnega dogodka:

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}. \quad (15)$$

Parameter r predstavlja brezdimenzijsko mero razpršenosti podatkov in lahko zavzame vrednost od 0 do 1. Višja vrednost parametra nakazuje, da se je večina ekstremnih sušnih dogodkov zgodila na izračunan srednji dan ter da je spremenljivost pojavljanja nizkih pretokov skozi leto majhna, vrednosti blizu 0 pa nakazujejo veliko variabilnost pojavljanja ekstremnih dogodkov, kar zmanjša uporabno vrednost parametra (Young in sod., 2000). Izračun indeksa sezonskosti je sicer pogosto povezan z regionalizacijo ter napovedovanjem trendov za območja s pomanjkljivim nizom podatkov. Ti postopki so podrobneje predstavljeni v Laaha in Blöschl (2006) ter Burn (1997).

3 PROGRAM R IN PAKET LFSTAT

Za uvoz, obdelavo in izvoz podatkov, izris grafov ter celotno manipulacijo z vhodnimi podatki je bil v nalogi uporabljen odprt kodni program R (slika 10) (R-project, 2014). Ta predstavlja vedno bolj priljubljeno orodje za statistično analizo podatkov in grafičen prikaz, obenem pa je tudi programski jezik. Dostopen je na različnih platformah – tako za operacijski sistem Windows, kot tudi za MacOS in Linux. V primerjavi s sorodnimi programi nudi nekatere prednosti; je brezplačen, nudi dokaj enostaven izris nekaterih grafov, ki bi bili sicer z orodji kot so Microsoft Office, težavnejši, ravno tako se z uporabo algoritmov in kod v R-u izognemo nepotrebnemu ponavljanju enakih dejavnosti in korakov za različne podatke, saj lahko postopek avtomatiziramo in zaženemo večkrat.



Slika 10: Uporabniški vmesnik RStudio

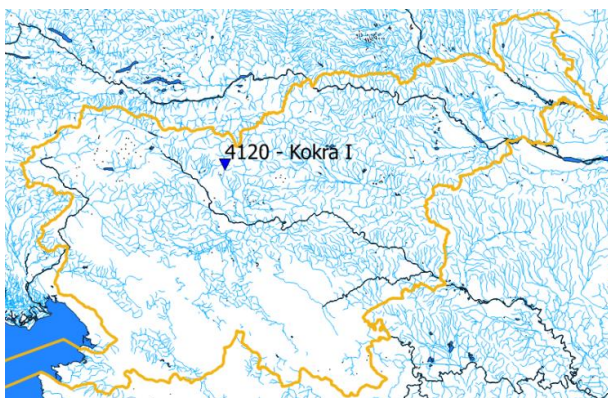
Prednost R-ja je tudi v t.i. paketih, ki jih uporabniki R skupnosti prispevajo, ter predstavljajo nadgradnjo osnovnih funkcij. Odvisno od vrste statistične analize ti paketi omogočajo specifične izračune ter v mnogih pogledih olajšajo delo uporabnikom. Poleg v nalogi uporabljenega paketa *lfstat* obstaja še vrsta drugih uporabnih paketov za hidrološke analize, kot so *Hydrosanity*, *Topmodel*, *HydroMe*, *HydroTSM*, *HydroGOF*, *RHydro* in *Wasim* (Zambrano-Bigiarini in Bellin, 2013), novi paketi pa nastajajo neprestano zaradi velike razširjenosti programa in angažiranosti uporabnikov R skupnosti.

Za analizo nizkih pretokov je bil v nalogi uporabljen paket *lfstat* (Koffler in Laaha, 2014). Paket sledi izdaji priročnika Svetovne meteorološke organizacije: »*Manual on Low-flow Estimation and Prediction*«, ki nudi navodila za analizo podatkov o pretokih, apliciranih na študije nizkih pretokov (WMO, 2009). Omogoča torej oceno statistik ekstremnih vrednosti, osnovnih kazalnikov nizkega toka, kot so indeks baznega odtoka (BFI), letni n-dnevni minimum, srednji pretok, deficit vodnega toka, ter analizo sezonskosti in recesije. Nudi pa tudi nekatere metode regionalizacije, ki jih v tej nalogi posebej ne obravnavamo. Močna lastnost tako programa R kot paketa *lfstat* so grafični prikazi, kot je hidrogram skupaj z baznim tokom, prikaz deficita, recesijske krivulje, krivulje trajanja ter drugi. Avtorja paketa sta Daniel Koffler in Gregor Laaha iz Univerze BOKU na Dunaju (Koffler in Laaha, 2014).

4 PRIMER ANALIZE NIZKIH PRETOKOV REKE KOKRE NA VODOMERNI POSTAJI KOKRA I

Za prikaz rezultatov so bili uporabljeni podatki o pretoku Kokre z vodomerne postaje Kokra I (slika 11 in 12) za obdobje od leta 1957 do 2012. Uporabljen niz je brez manjkajočih vrednosti pretoka, kar omogoča verodostojno in zanesljivo analizo podatkov.

Začetek hidrološkega leta je izbran tako, da sovpada s koledarskim.



Slika 11: Lokacija vodomerne postaje Kokra I



Slika 12: Vodomerna postaja Kokra I

4.1 Opis porečja Kokre

Kokra je alpska reka, ki izvira v Karavankah, pod Virnikovo planino v bližini Jezerskega, na približno 1400 m nadmorske višine. Od tam teče po dolini, ki jo je sama izdolbla, mimo Preddvora proti Kranju, kjer se izlije v Savo. Površina prispevne površine reke do vključno vodomerne postaje Kokra I znaša 113,1 km², sicer pa celotno povodje Kokre meri 224 km² (Globevnik, 1998). Na območju naselja Kokra, torej v bližini obravnavane vodomerne postaje, ter gorvodno vse do izvira, ima ta alpska reka izrazit hudourniški značaj. Geološko gledano v tem delu prevladujejo karbonatne kamnine, večinoma apnenci in dolomiti, v strugi gorvodno, v bližini obravnavane merilne postaje, pa najdemo tudi konglomerat, keratofirje in lapor, ob strugi so pogosti pobočni grušč ter aluvialni nanosi. Od Preddvora do Kranja prevladujejo aluvijalne naplavine in prodni zasipi, padec struge se tu bistveno bolj umiri, značilni so tudi nekateri tolmoni in brzice. Hidravliko toka na celotnem vodotoku regulirajo številni jezovi, pragovi, drče, nekaj objektov je namenjeno za energetska izrabo vodnega toka. Prisotna je erozija, značilna za alpske in predalpske razmere. (Globevnik, 1998: str. 11-13, 17-19, 29).

Na reki so v preteklosti obratovala še vodomerne postaje Kokra, Britof I, Kranj I in Kranj II, slednja je poleg postaje Kokra I, natančneje obravnavane v nalogi, še edina delujoča.

4.2 Izračun statistik nizkih pretokov in indeksa baznega odtoka

Za razpoložljiv niz podatkov o pretoku smo izračunali tipične statistike nizkih pretokov; letni n-dnevni minimum – MAM_1 in MAM_7 , srednji pretok, 70-, 90- in 95-odstotni pretok ter indeks baznega odtoka – BFI (preglednica 1).

Preglednica 1: Izračunane statistike za podatke o pretokih na vodomerni postaji Kokra I od 1957 do 2012

Leto	BFI	MAM_1	MAM_7	Q_{SR}	Q_{95}	Q_{90}	Q_{70}
1957	0.64	1.35	1.38	3.56	1.41	1.67	2.03
1958	0.54	1.67	1.76	5.19	2.03	2.13	2.78
1959	0.58	1.53	1.59	4.72	1.68	1.74	2.36
1960	0.60	2.13	2.17	6.94	2.36	2.64	3.90
1961	0.58	1.00	1.98	5.20	2.20	2.23	2.81
1962	0.57	1.15	1.19	5.07	1.55	1.71	2.53
1963	0.66	1.53	1.57	5.27	1.78	1.90	2.75
1964	0.62	1.47	1.47	4.13	1.47	1.59	1.95
1965	0.61	2.22	2.23	6.53	2.48	2.76	3.50
1966	0.69	1.83	1.91	3.86	2.02	2.15	2.40
1967	0.65	1.23	1.30	4.98	1.65	1.82	2.39
1968	0.58	0.80	0.95	4.80	1.65	2.19	2.78
1969	0.63	2.01	2.15	4.97	2.32	2.47	2.83
1970	0.64	2.18	2.19	5.48	2.24	2.40	2.75
1971	0.63	1.15	1.15	3.64	1.15	1.42	1.82
1972	0.61	1.18	1.18	5.21	1.35	1.55	2.93
1973	0.59	0.97	1.16	4.40	1.23	1.39	1.94
1974	0.63	1.65	1.73	4.00	1.88	2.04	2.42
1975	0.64	1.36	1.36	4.76	1.41	1.46	1.96
1976	0.61	1.58	1.61	4.03	1.65	1.72	2.16
1977	0.65	0.90	0.94	4.04	1.17	1.46	2.30
1978	0.58	1.06	1.08	4.98	1.24	1.41	1.96
1979	0.59	1.50	1.54	5.43	1.92	2.22	2.85
1980	0.68	1.95	1.97	4.43	2.09	2.17	2.74
1981	0.73	1.48	1.49	3.21	1.55	1.72	2.15
1982	0.54	1.45	1.47	4.67	1.52	1.58	1.99
1983	0.69	1.45	1.46	3.16	1.52	1.58	1.83
1984	0.65	1.51	1.60	4.81	1.61	1.72	2.17
1985	0.63	0.84	0.89	3.82	1.04	1.21	1.83
1986	0.70	1.56	1.68	4.27	1.88	1.99	2.45

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 1

1987	0.63	1.17	1.23	4.87	1.43	1.61	2.65
1988	0.71	0.98	1.00	3.69	1.41	1.67	2.45
1989	0.64	0.72	0.77	3.77	0.93	1.12	2.19
1990	0.52	0.98	1.02	3.79	1.17	1.30	1.81
1991	0.63	1.29	1.34	4.37	1.49	1.65	2.25
1992	0.53	0.92	0.99	4.31	1.12	1.17	1.39
1993	0.62	0.89	0.95	2.94	0.98	1.03	1.15
1994	0.68	1.39	1.57	3.69	1.57	1.77	2.23
1995	0.65	1.67	1.71	3.70	1.76	1.76	2.04
1996	0.58	1.76	1.79	5.19	1.96	2.19	3.10
1997	0.68	1.28	1.30	3.22	1.42	1.50	2.05
1998	0.65	1.25	1.29	4.12	1.48	1.65	2.05
1999	0.65	1.25	1.28	3.55	1.40	1.57	2.16
2000	0.54	1.28	1.34	4.96	1.42	1.42	1.75
2001	0.72	1.56	1.62	4.60	1.68	1.98	2.67
2002	0.70	1.06	1.06	3.33	1.12	1.18	2.16
2003	0.69	1.00	1.03	2.75	1.12	1.18	1.69
2004	0.70	1.80	1.85	4.55	2.19	2.29	2.78
2005	0.71	1.14	1.14	3.50	1.20	1.29	2.15
2006	0.74	1.06	1.10	3.05	1.18	1.32	1.75
2007	0.73	1.36	1.40	3.02	1.61	1.68	1.98
2008	0.54	1.15	1.20	3.58	1.28	1.28	1.78
2009	0.51	1.21	1.26	4.99	1.52	1.64	2.33
2010	0.59	1.40	1.59	4.88	1.68	2.01	2.85
2011	0.69	0.97	1.00	3.14	1.20	1.47	2.08
2012	0.54	1.15	1.19	3.84	1.21	1.28	1.65

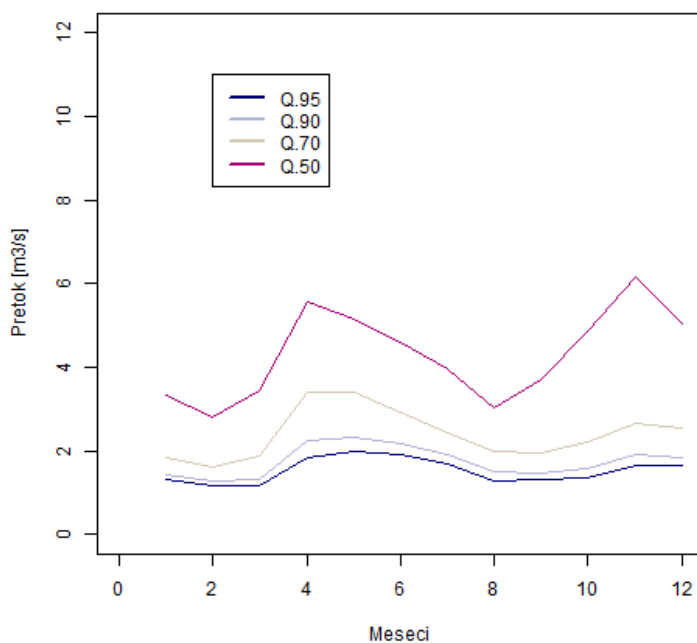
V paketu *lfstat* so bile za izračun statistik uporabljene funkcije:

- »BFI«;
- »MAM«, Mean Annual Minimum z ustrezno definiranim številom dni n , za katere naj se izračun izvede (1 in 7 za MAM_1 in MAM_7);
- »meanflow« za izračun srednjega pretoka Q_{SR} ;
- » Q_{xx} « za izračun Q_{95} , Q_{90} , Q_{70} .

Vse statistike so izračunane na letni ravni, izračun pa bi lahko izvedli tudi za različna obdobja, letne čase ali mesece, za katere bi se statistike izračunale posamično. Izračun statistik za posamezne mesece prikazuje preglednica 2.

Preglednica 2: Izračunane statistike, povprečene na vsa leta razpoložljivih podatkov, po mesecih (vodomerna postaja Kokra I)

Mesec	BFI	MAM ₁	MAM ₇	Q _{SR}	Q ₉₅	Q ₉₀	Q ₇₀
1	0.63	1.80	1.92	3.32	1.31	1.44	1.82
2	0.53	2.15	2.32	2.79	1.18	1.28	1.61
3	0.50	2.55	2.76	3.46	1.17	1.32	1.88
4	0.54	2.31	2.58	5.55	1.83	2.24	3.40
5	0.69	1.67	1.75	5.15	1.98	2.33	3.42
6	0.65	1.81	1.90	4.61	1.90	2.15	2.92
7	0.64	2.90	3.25	3.94	1.68	1.91	2.42
8	0.72	3.19	3.49	3.01	1.27	1.51	1.99
9	0.69	2.80	3.10	3.68	1.30	1.48	1.93
10	0.69	2.28	2.56	4.87	1.35	1.56	2.20
11	0.72	1.90	2.06	6.16	1.66	1.90	2.67
12	0.60	1.87	2.00	5.05	1.66	1.82	2.53



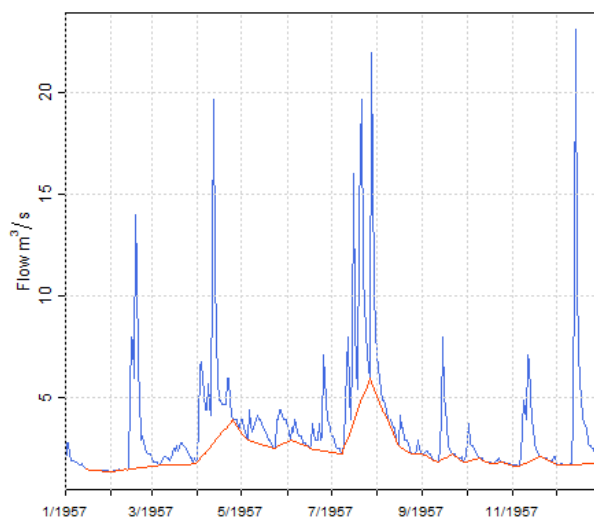
Slika 13: Prikaz 95-, 90- in 70- odstotnega pretoka ter srednjega pretoka, povprečenega na vsa leta razpoložljivih podatkov (1957-2012), po mesecih (vodomerna postaja Kokra I)

Izris značilnih pretokov različnih pogostosti pojavljanja (slika 13) pokaže značilne ekstreme Kokre skozi leto. Opazen je porast pretoka v mesecu aprilu, ki je posledica taljenja snega v Alpah, kar je značilnost gorskih vodotokov. Povečan delež pretoka je opazen tudi v

novembru in decembru, glavna minimuma pa sta v avgustu in februarju; slednji je posledica snežnih padavin, ki povzročijo zmanjšanje odtoka.

4.3 Hidrogram z baznim odtokom

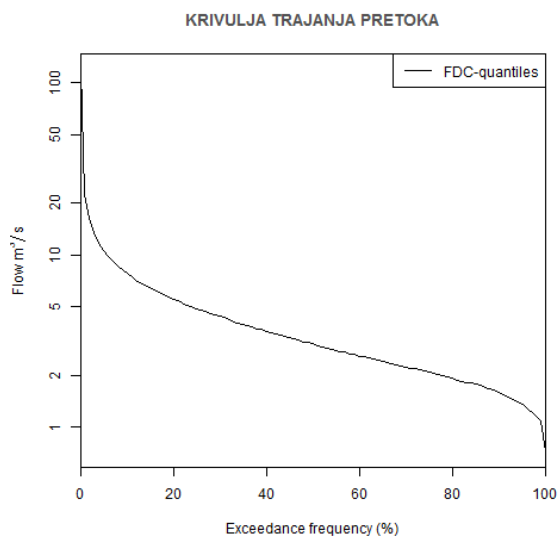
Paket *lfstat* omogoča izris hidrograma za posamezno leto ali celoten niz podatkov. Zaradi večje preglednosti je na sliki 14 predstavljen hidrogram pretoka za leto 1957 (modra barva) skupaj z baznim odtokom (rdeča barva).



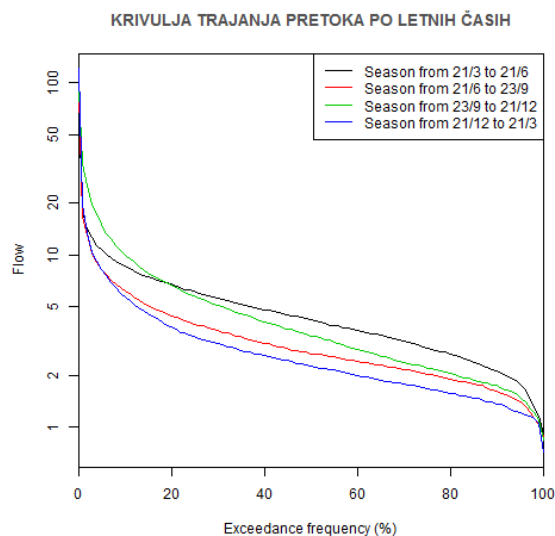
Slika 14: Hidrogram z baznim odtokom za leto 1957 za vodomerno postajo Kokra I

Iz hidrograma so razvidna relativno velika nihanja v pretoku, ki se lahko ob padavinskih dogodkih poveča tudi za faktor 10 ali več, glede na bazni odtok. Kokra je hudourniški vodotok, ki je močno odvisen tudi od hudourniških pritokov, zato se pretok naglo odzove na padavinske dogodke.

4.4 Krivulje trajanja pretokov



Slika 15: Krivulja trajanja za vse razpoložljive podatke, vodomerna postaja Kokra I



Slika 16: Krivulja trajanja za vse razpoložljive podatke, vendar ločeno za vsak letni čas posebej, vodomerna postaja Kokra I

Krivulja trajanja pretoka da vpogled v naravo pretoka reke Kokre (slika 15). Značilna so velika nihanja; pretok je večino časa vsaj med 1 in 2 m³/s, medtem ko se redkeje, ob bolj ekstremnih dogodkih, poveča za več kot 10-kratnik. Velika nihanja v pretoku kažejo hudourniški značaj Kokre, ki je v veliki meri odvisen od hudourniških pritokov.

Z izrisom štirih različnih krivulj trajanja, za vsak letni čas posebej, se pokaže spremenljivost v pretoku skozi različna obdobja v letu (slika 16). Črna linija prikazuje krivuljo trajanja za pomlad, ki je pomaknjena nad vsemi ostalimi. Takrat ima vodotok največ vode, kar pa je predvsem posledica taljenja snega v gorah. Sneg se v zimskem obdobju zadržuje in ne odteče, zato je zimska krivulja v modri barvi najnižja, kar kaže najmanjše pretoke, presežene v določenem časovnem obdobju.

4.5 Deficit vodnega toka

Paket *lfstat* za določitev deficita vodnega toka po metodi mejne vrednosti nudi različne vrste izračuna, in sicer po postopku drsečega povprečja (MA), metodi medčasovnega dogodka (IT) in po postopku volumskega kriterija (IC), ustrezno metodo pa izberemo z argumentom »pooling«. Mejno vrednost določimo kot Q_{xx} , rezultat analize pa se izpiše v obliki preglednice z rezultati o trajanju, volumnu, intenziteti, minimalnem pretoku ter datum začetka in konca sušnega pretoka.

Po priporočilu WMO (2009) je bila v nalogi uporabljena metoda mejne vrednosti skupaj s postopkoma drsečega povprečja (MA) in medčasovnega dogodka (IT). Prvi naj bi bil uporaben tako za vodotoke, ki se na spremembe v členih vodne bilance odzivajo hitreje, kot za tiste, katerih odzivni čas je daljši. Za mejno vrednost je bil izbran pretok Q_{70} , sicer pa je izbira praga odvisna od namena študije deficita.

Preglednica 3: Tabeliran prikaz deficita pretoka za leti 2010 in 2012, vodomerna postaja Kokra I

d [dni]	v [m ³]	mi [m ³ /dan]	Q_{min} [m ³ /s]	Leto začetka deficita	Mesec začetka deficita	Dan začetka deficita
6	36769.37	6128.23	2.11	2010	3	14
16	303930.51	18995.66	1.79	2010	7	11
3	83956.11	27985.37	1.64	2010	8	3
7	205940.57	29420.08	1.59	2010	8	20
7	209779.20	29968.46	1.64	2010	9	1
1	18748.80	18748.80	2.01	2010	9	13
89	6317703.77	70985.44	1.19	2012	1	7
13	254596.11	19584.32	1.83	2012	6	29
53	2098767.09	39599.38	1.35	2012	7	19
3	15403.89	5134.63	2.13	2012	10	10

* d označuje trajanje, v volumen in mi intenziteto deficita, Q_{min} je minimalni pretok deficita

Iz tabeliranih podatkov je razvidno, da je bilo v letu 2010, čeprav je bilo to bolj vodnato, več sušnih dogodkov, kot v letu 2012. Njihovo trajanje pa je krajše ter intenzivnost manjša kot leta 2012, ko je bil najmanjši pretok izmerjen v obdobju deficita (Q_{min}) 1,19 m³/s. Obdobja pomanjkanja vode (izbran je prag Q_{70}) so v letu 2012 trajala dalj časa, skoraj polovico koledarskega leta (158 dni), najdaljše neprekinjeno obdobje pa se je začelo že v januarju.

4.5.1 Analiza vpliva vhodnih parametrov na rezultate

Za izbrano vodomerno postajo smo uporabili dva različna postopka razvrščanja ter pri vsakem tri različne variacije postopka. Parametri deficita pretoka so bili tako izračunani z metodo drsečega povprečja (MA) in metodo medčasovnega dogodka (IT). Pri metodi drsečega povprečja smo uporabili filter za 5, 7 in 10 dni, za metodo medčasovnega dogodka pa smo ravno tako izbrali enake intervale za število dni, znotraj katerih se dva sosednja deficita združita v en sam dogodek. Rezultati so predstavljeni v preglednici 4.

Preglednica 4: Rezultati analize deficita vodnega toka s postopkoma MA in IT (Kokra, vodomerna postaja Kokra I)

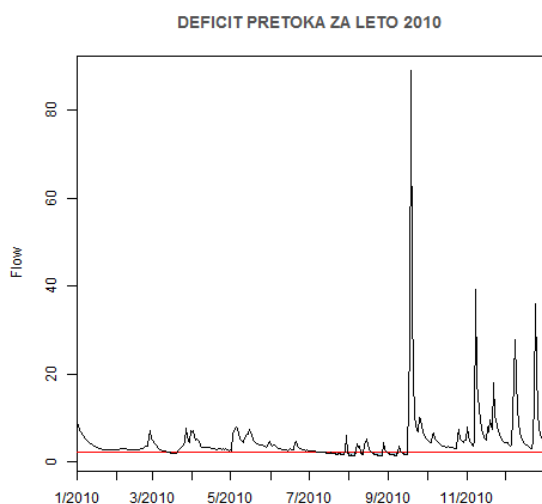
	Število dogodkov deficita	Trajanje sušnih dogodkov [dni]	Srednja vrednost volumna [m ³]	Srednja vrednost magnitude [m ³ /dan]	min Q _{min} [m ³ /s]
MA, Q ₉₅ , 5 dni	53	920	266480.1	11655.95	0.74
MA, Q ₉₀ , 5 dni	114	1802	367071.9	13983.07	0.74
MA, Q ₇₀ , 5 dni	295	5607	832172.6	26090.64	0.74
MA, Q ₉₅ , 7 dni	49	890	269178.6	10745.52	0.77
MA, Q ₉₀ , 7 dni	89	1730	446067.4	15141.62	0.77
MA, Q ₇₀ , 7 dni	264	5402	891490.8	25687.88	0.77
MA, Q ₉₅ , 10 dni	42	810	282353.8	10153.98	0.81
MA, Q ₉₀ , 10 dni	75	1642	491725.1	14433.59	0.81
MA, Q ₇₀ , 10 dni	210	5115	1055078.0	27028.08	0.81
IT, Q ₉₅ , t ₅	62	1020	259773.2	10841.03	0.72
IT, Q ₉₀ , t ₅	115	2065	409497.7	14506.21	0.72
IT, Q ₇₀ , t ₅	270	6106	995000.6	26613.52	0.72
IT, Q ₉₅ , t ₇	58	1021	277688.6	11051.91	0.72
IT, Q ₉₀ , t ₇	106	2065	444266.4	14959.82	0.72
IT, Q ₇₀ , t ₇	236	6106	1138348.0	27005.37	0.72
IT, Q ₉₅ , t ₁₀	53	1021	303885.6	11373.48	0.72
IT, Q ₉₀ , t ₁₀	94	2071	500981.2	15125.22	0.72
IT, Q ₇₀ , t ₁₀	216	6111	1243751.0	27609.79	0.72

Rezultati obeh metod so odvisni od izbire parametrov. Pričakovano pri obeh metodah nižji prag pomeni večje število in trajanje sušnih dogodkov. Število in dolžina deficitov je torej pri uporabi mejne vrednosti Q₇₀ večja kot pri Q₉₀. Pri MA metodi večdnevni filter zmanjša celotno število sušnih dogodkov, ker ublaži konice in druga nihanja. Linearno s številom dogodkov se zmanjša tudi njihovo povprečno trajanje, večja pa se volumen deficita, medtem ko se vrednost magnitude oz. jakosti deficita manjša.

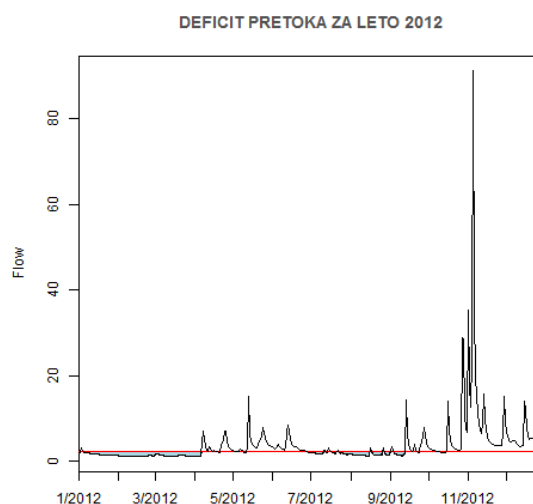
Pri metodi medčasovnega dogodka (IT) so intervali 5-, 7-, in 10-ih dni na število vseh sušnih dogodkov vplivali enako kot pri metodi MA; količina deficitov se je z uporabo daljšega obdobja manjšala, medtem ko se trajanje dogodkov ni bistveno spreminjalo v primerjavi z metodo MA. Volumen in magnituda se pri metodi IT obnašata podobno kot pri MA.

Najmanjši minimalni pretok se med metodama razlikuje, kar je pripisati naravi vsakega postopka. Pri metodi MA se razlikuje samo med različnimi filtri, medtem ko je za različne mejne vrednosti znotraj filtra enak, kar je smiselno, saj so minimalni pretoki odvisni od izbire dolžine obdobja. Pri metodi IT je minimalna vrednost pretoka v vseh primerih enaka, saj združevanje bližnjih deficitov ne vpliva na minimalni pretok – če bi ga vmesno obdobje vsebovalo, bi namreč tvorilo svoj deficit.

Paket *lfstat* omogoča tudi vizualen prikaz tovrstnih izračunov z grafom deficita pretoka. Mejna vrednost oz. Q_z je v sledečem primeru izbrana kot Q_{70} , torej pretok, ki je prisoten v 70 odstotkih obravnavanega časa.



Slika 17: Deficit vodnega toka za leto 2010, vodomerna postaja Kokra I (mejna vrednost Q_{70})



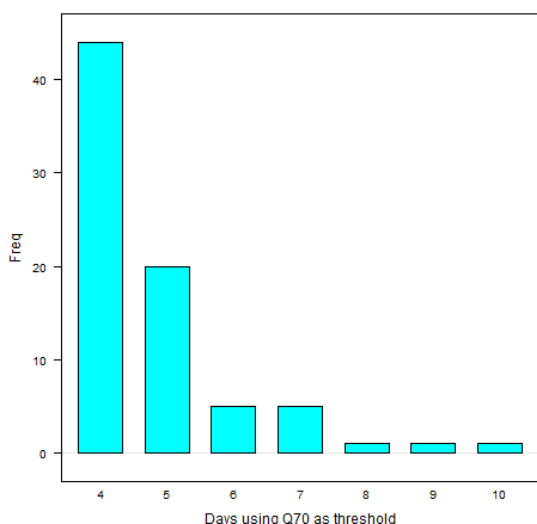
Slika 18: Deficit vodnega toka za leto 2012, vodomerna postaja Kokra I (mejna vrednost Q_{70})

Slika 17 prikazuje graf deficita vodnega toka, preračunanega iz podatkov za vodomerno postajo Kokra I. Razvidno je relativno »mokro« leto, saj je bilo leto 2010 proglašeno za najbolj vodnato leto v zadnjih tridesetih letih (ARSO, 2014). Na drugi strani slika 18 prikazuje analizo za leto 2012, ki je bilo precej sušno, s pomanjkanjem (tudi snežnih) padavin že v samem začetku leta, posledica tega so bile manjše zaloge podzemnih virov, kar je skupaj z odsotnostjo padavin tudi v poletnih mesecih stanje znova poslabšalo.

4.6 Analiza recesijskih krivulj

Paket *lfstat* z vgrajeno funkcijo »*recession*« omogoča izračun recesijske konstante *C* za obe obravnavani metodi; metodo glavne recesijske krivulje MRC in metodo individualnih odsekov upadanja IRS. Za izračun je potrebno definirati bistvene parametre (Koffler in Laaha, 2014);

- i. Izberemo metodo, po kateri želimo izračunati recesijsko konstanto; MRC ali IRS (v primeru MRC z argumentom »*plotMRC*« še določimo, ali naj program izriše graf glavne recesijske krivulje)
- ii. Izberemo dolžine odsekov v dnevih (ang. *seglength*). V pomoč pri izbiri nam je funkcija »*seglenplot*«, ki izriše stolpčni graf trajanja obdobj recesij za izbrano mejno vrednost pretoka (slika 19).
- iii. Določimo mejo, ki zaznamuje obdobje upadanja (ang. *threshold*) – izbran je bil pretok Q_{70} .



Slika 19: Histogram trajanja obdobj recesije

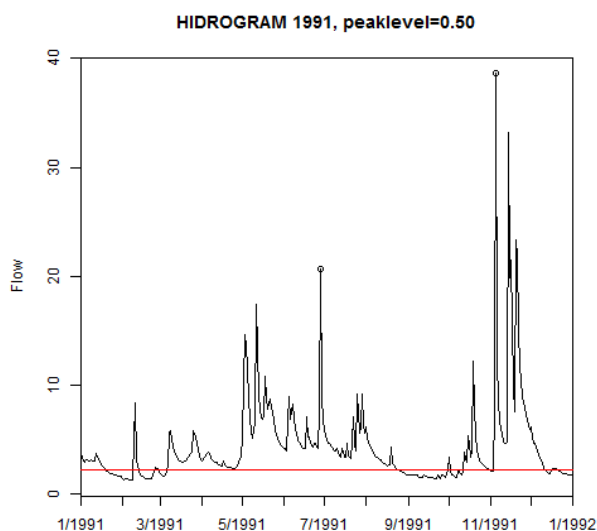
- iv. Definiramo t.i. »*peaklevel*« oz. nivo konice v deležu od 0 do 1. Da je določen dan izbran kot dan konice pretoka (dan k), mora veljati:

$$"peaklevel" \cdot \text{pretok na dan } k - 1 < "peaklevel" \cdot \text{pretok na dan } k \quad \text{in}$$

$$"peaklevel" \cdot \text{pretok na dan } k + 1 < "peaklevel" \cdot \text{pretok na dan } k.$$

V pomoč pri definiranju vrednosti »*peaklevel*« nam je lahko tudi izris hidrograma z označenimi konicami za izbrano vrednost »*peaklevel*«. S prilagajanjem slednje dobimo želen odstotek zajetih konic. Slika 20 prikazuje konice na hidrogramu, če je vrednost »*peaklevel*« izbrana 0.50. Izbrano razmerje je očitno premajhno, zato

ga moramo povečati. Za nadaljnje izračune smo z analizo različnih vrednosti kot ustrezno izbrali »*peaklevel*« vrednosti 0.95.



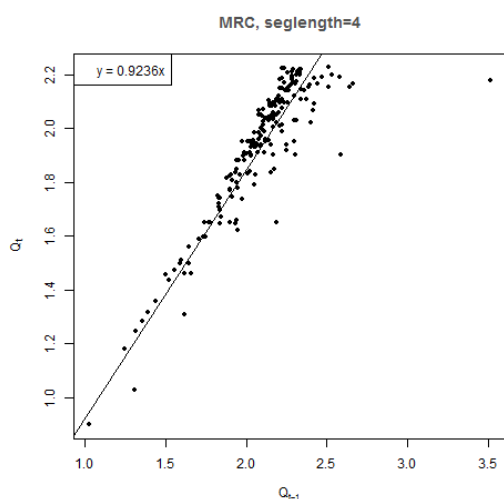
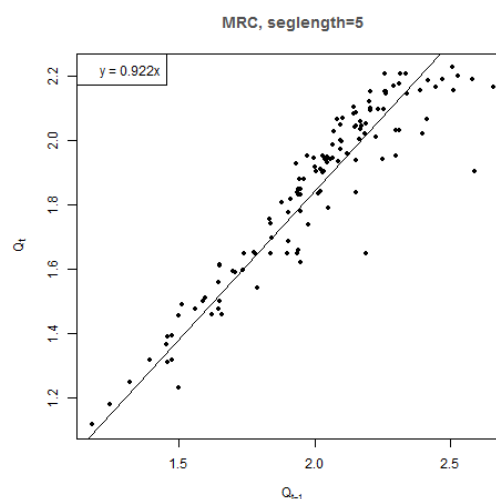
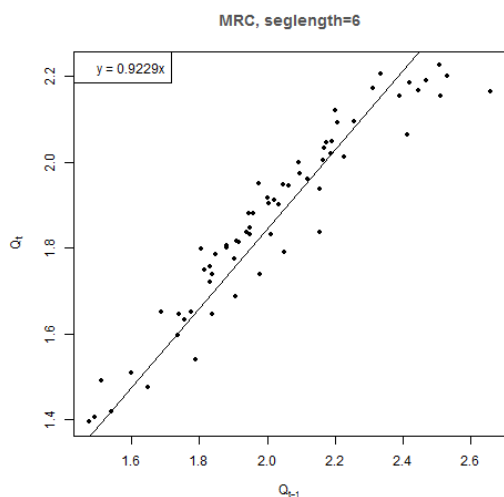
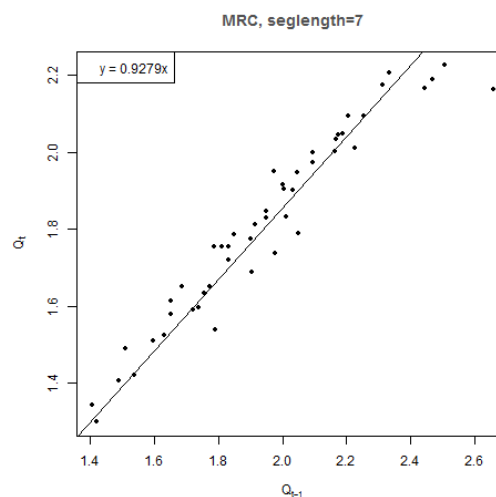
Slika 20: Hidrogram pretoka z označenimi konicami za leto 1991 (Kokra, vodomerna postaja Kokra I)

- v. Če želimo izračun opraviti za različna obdobja v letu, definiramo še »*seasonbreakdays*«, »*thresbreaks*« in »*thresbreakdays*«.

Preglednica 5: Izračun recesijske konstante po metodi MRC in IRS za mejno vrednost Q_{70} , podatki iz vodomerne postaje Kokra I za obdobje od 1957 do 2012

»Seglength«	4	5	6	7
C_{MRC}	12.6	12.3	12.5	13.4
C_{IRS}	17.8	14.6	13.2	14.4

Za izbran mejni pretok Q_{70} smo s pomočjo izračuna glavne recesijske krivulje in individualnih segmentov upadanja izračunali recesijske konstante v odvisnosti od izbrane dolžine trajanja segmentov v dnevih, torej za 4, 5, 6 in 7 dni. Vrednost konstant se najbolj razlikuje pri trajanju 4 dni, najmanj pa pri segmentih trajanja 6 dni. Bistveno ne odstopata ena od druge tudi v primeru dolžine 7 dni. Izris glavnih recesijskih krivulj za vsakega od primerov prikazujejo slike 21 do 24.

Slika 21: Izris MRC, Q_{70} , $seglength=4$ (Kokra, Kokra I)Slika 22: Izris MRC, Q_{70} , $seglength=5$ (Kokra, Kokra I)Slika 23: Izris MRC, Q_{70} , $seglength=6$ (Kokra, Kokra I)Slika 24: Izris MRC, Q_{70} , $seglength=7$ (Kokra, Kokra I)

4.7 Sezonskost

V povezavi s sezonskim pojavljanjem nizkih pretokov lahko za razpoložljive podatke naredimo analizo sezonskosti, s katero določimo režim nizkih pretokov. Laaha in Blöschl (2006) predlagata uporabo petindevetdeset odstotnega pretoka (Q_{95}) tako pri določanju indeksa kot razmerja sezonskosti. V analizo so torej zajeti dnevi v izbranem obdobju, ko so pretoki enaki oz. manjši od Q_{95} . Glede na prostorsko lego reke Kokre ter klimatske značilnosti območja, se zanjo predvidevajo prevladujoči zimski nizki pretoki.

4.7.1 Razmerje sezonskosti

Za niz podatkov izračunamo razmerje med poletnimi in zimskimi nizkimi pretoki. Paket *lfstat* ima znotraj funkcije »*seasratio*« možnost izbire zelenega kvantila, vendar je bila priporočena vrednost iz literature – Q_{95} - uporabljena tudi v našem primeru. Laaha in Blöschl (2006) sta opazila, da pri alpskih rekah v Avstriji prevladuje zimski režim nizkih pretokov, kar se posledično kaže v razmerju sezonskosti, ki je v takih primerih večji od 1. Ker Kokra izvira v Karavankah ter je njen režim pod vplivom zimskih nizkih pretokov zaradi akumulacije snežnih padavin, je bilo zanjo pričakovano, da bo razmerje preseglo vrednost 1, kar je pokazal tudi izračun;

$$Q_{95}(1.4. - 30.11) / Q_{95}(1.12. - 31.3.) = 1,189637. \quad (16)$$

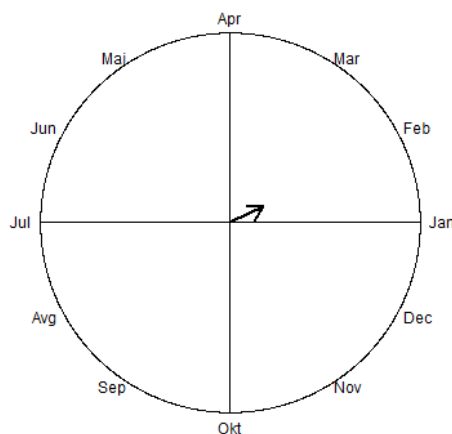
Izbrana dneva, ki ločita poletno in zimsko obdobje, sta 1. april in 1. december, kot predlagata Laaha in Blöschl (2006).

4.7.2 Indeks sezonskosti

Za indeks sezonskosti lahko iz izračunanega razmerja sklepamo, da bo zaradi same narave pretočnega režima Kokre dan nizkega pretoka postavljen v zimsko obdobje. Za določanje indeksa sezonskosti ima paket *lfstat* integrirano funkcijo »*seasindex*«, ki ponudi izračun treh najpomembnejših parametrov: kota θ , dneva D pojavitve nizkega pretoka in dolžine vektorja r (preglednica 6).

Preglednica 6: Izračun kota θ , dneva D pojavitve nizkega pretoka in dolžine vektorja r (Kokra, vodomerna postaja Kokra I)

θ	0.465
D	27
r	0.195



Slika 25: Grafična predstavitev sezonskosti (Kokra, vodomerna postaja Kokra I)

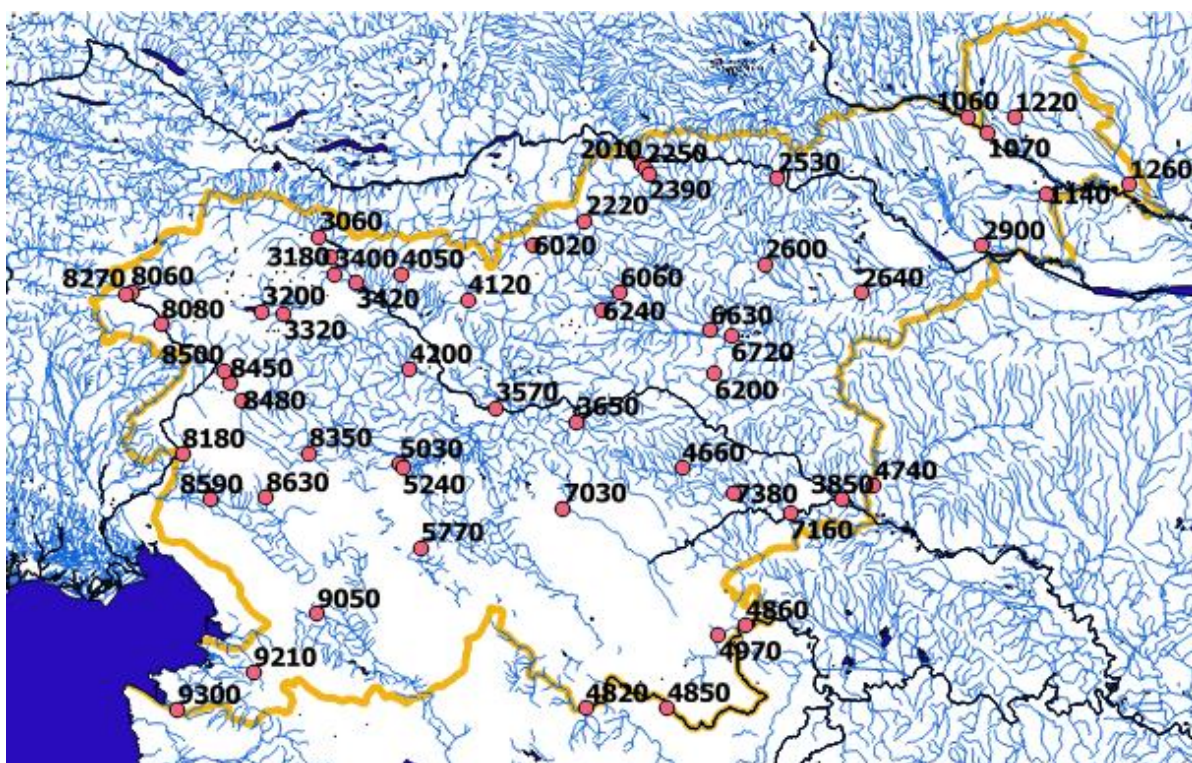
Iz rezultatov je razvidno, da je povprečni dogodek nizkega pretoka postavljen v prvi del hidrološkega leta oz. v zimsko obdobje. Srednji dan nastopa nizkega pretoka je 27. januar, vendar je vrednost parametra r dokaj majhna, zato lahko sklepamo na večjo spremenljivost pojavljanja nizkih pretokov ter njihovo razpršenost skozi hidrološko leto (slika 25).

5 ANALIZA NIZKIH PRETOKOV ZA VODOMERNE POSTAJE V SLOVENIJI

5.1 Podatki

V analizo smo zajeli 56 vodomernih postaj Slovenije (slika 26 in preglednica 7). Izbrane so bile na podlagi dolžine njihovega niza podatkov in reprezentativnosti, zaradi katere so primerne za primerjavo različnih značilnosti vodozbirnih območij. Izbrane vodomerne postaje imajo vsaka vsaj 30-letni neprekinjen niz podatkov o dnevem pretoku, pri nekaterih je ta niz lahko prekinjen za leto ali največ dve, kot je zabeleženo v preglednici 7. Eden od kriterijev za izbiro je bil tudi ta, da so postaje še vedno delujoče, torej niz podatkov za vse analizirane postaje sega do konca leta 2012.

Med analiziranimi vodomernimi postajami jih 13 pripada porečju Drave, 30 porečju Save ter 10 porečju Soče, medtem ko tri pripadajo Jadranskim rekam. Najdaljše obravnavano obdobje od vseh analiziranih postaj ima postaja Jesenice na reki Savi Dolinki (95 let), najkrajše obdobje pa pripada Soči na vodomerni postaji Solkan I (33 let).



Slika 26: Obravnavane vodomerne postaje

Preglednica 7: Seznam analiziranih vodomernih postaj

Šifra postaje	Reka	Ime postaje	Uporabljen niz podatkov		Manjkajoča leta podatkov*
			Od	Do	
1060	Mura	Gornja Radgona I	1946	2012	
1070	Mura	Petanjci	1956	2012	2008
1140	Ščavnica	Pristava I	1975	2012	
1220	Ledava	Polana I	1962	2012	
1260	Ledava	Čentiba	1970	2012	
2010	Drava	HE Dravograd	1965	2012	
2220	Meža	Črna	1970	2012	
2250	Meža	Otiški vrh I	1953	2012	
2390	Mislinja	Otiški vrh I	1973	2012	
2530	Radoljna	Ruta	1973	2012	2007, 2008
2600	Dravinja	Zreče	1973	2012	
2640	Dravinja	Makole	1973	2012	
2900	Pesnica	Zamušani I	1961	2012	
3060	Sava dolinka	Jesenice	1918	2012	
3180	Radovna	Podhom	1933	2012	
3200	Sava Bohinjka	Sveti Janez	1951	2012	
3320	Bistrica	Bohinjska Bistrica	1969	2012	
3400	Jezernica	Mlino I	1956	2012	
3420	Sava	Radovljica I	1953	2012	
3570	Sava	Šentjakob	1946	2012	
3650	Sava	Litija I	1953	2012	
3850	Sava	Čatež I	1976	2012	
4050	Tržiška Bistrica	Preska	1958	2012	2008
4120	Kokra	Kokra I	1957	2012	
4200	Sora	Suha I	1962	2012	1991
4660	Mirna	Martinja vas I	1963	2012	
4740	Sotla	Rakovec I	1965	2012	
4820	Kolpa	Petrina	1952	2012	
4850	Kolpa	Radenci II	1978	2012	
4860	Kolpa	Metlika	1926	2012	
4970	Lahinja	Gradac	1952	2012	
5030	Ljubljanica	Vrhnika	1961	2012	
5240	Ljubija	Verd I	1960	2012	2010
5770	Cerkniščica	Cerknica I	1962	2012	1996
6020	Savinja	Solčava I	1960	2012	
6060	Savinja	Nazarje	1926	2012	
6200	Savinja	Laško I	1953	2012	

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 7

6240	Dreta	Kraše	1959	2012	
6630	Ložnica	Levec I	1967	2012	
6720	Vogljajna	Celje II	1967	2012	
7030	Krka	Podbukovje	1960	2012	
7160	Krka	Podbočje	1926	2012	1930, 1943
7380	Radulja	Škocjan	1961	2012	
8060	Soča	Log Čezsoški	1948	2012	
8080	Soča	Kobarid I	1947	2012	
8180	Soča	Solkan I	1980	2012	
8270	Učja	Žaga	1954	2012	
8350	Idrijca	Podroteja I	1977	2012	
8450	Idrijca	Hotešk	1949	2012	
8480	Trebuša	Dolenja Trebuša	1954	2012	
8500	Bača	Bača pri Modreju	1949	2012	
8590	Vipava	Dornberk	1951	2012	1957
8630	Hubelj	Ajdovščina I	1956	2012	
9050	Reka	Cerkvenikov Mlin	1952	2012	
9210	Rižana	Kubed II	1965	2012	
9300	Dragonja	Podkaštel I	1979	2012	1997

*Navedeno, če manjka leto podatkov ali več

5.2 Opis obravnavanega območja

5.2.1 Podnebne značilnosti

Celotno območje Slovenije je precej razgibano, saj se tu stikajo štiri pomembne enote: Alpe, Dinarsko gorstvo, Panonska nižina in Sredozemlje. Posledica tega so znatna nihanja tako v nadmorski višini, naklonu in reliefu, kar rezultira v znatnih razlikah v količini padavin ter drugih podnebnih značilnostih. Poleg vsega naštetega na podnebje najbolj vpliva lega Slovenije v zmerno toplem pasu, to pa naprej določa značilnosti vodnega kroga ter vodne bilance na celotnem območju.

V grobem v Sloveniji ločimo tri podnebne tipe (Frantar in Hrvatini, 2008):

- Gorsko podnebje v Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alpah, Karavankah, na Snežniku;
- Submediteransko podnebje ob obali in v zaledju jugozahodne Slovenije;
- Zmerno-celinsko podnebje v ostalih delih Slovenije.

5.2.1.1 Temperatura

V skladu s podnebjem je temperatura v večjem delu Slovenije najvišja v juliju in najnižja v januarju, izjema je le visokogorje, ki s tovrstnimi trendi zaostaja vsakič po en mesec. Temperatura je pomemben člen v obravnavi nizkih pretokov, saj ima vpliv nanje tudi evapotranspiracija. Največja nihanja v temperaturi izkusi območje severovzhodne Slovenije, medtem ko so najbolj »stabilne« razmere v visokogorju in ob obali (Frantar in Hrvatina, 2008).

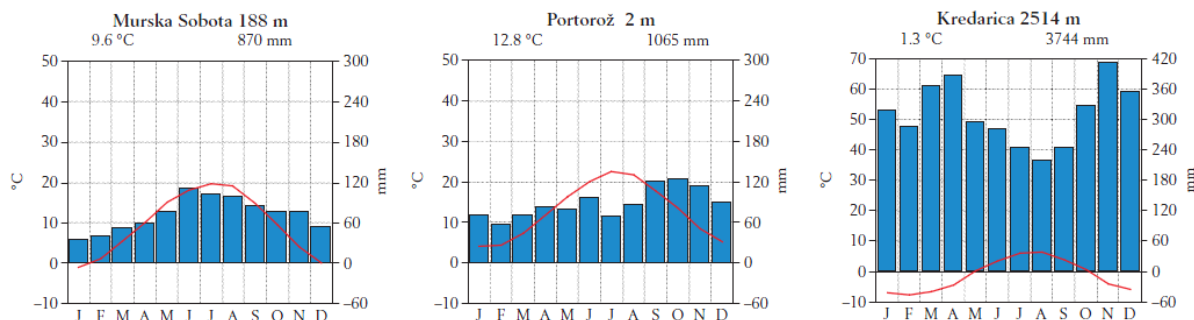
Temperatura posredno in neposredno vpliva na pretoke v vodotokih; višje temperature rezultirajo v večjem izhlapevanju, medtem ko lahko izredno nizke temperature (pod lediščem) zakasni odtok – primer tega so snežne padavine in njihovo taljenje.

5.2.1.2 Padavine

Količina padavin se spreminja v odvisnosti od reliefa. Od obale k gorskim pregradam se zato količina padavin povečuje, saj gore nudijo možnost orografskega dviganja zraka po pobočjih, njegove kondenzacije in posledičnih padavin. Iz tega razloga je največja letna količina padavin v Julijskih Alpah, kjer na letni ravni pade več kot 3200 mm padavin (ARSO, 2006). Najmanj »moker« del države je območje severovzhodne Slovenije, kjer letno padavine ne presežejo 900 mm (ARSO, 2006).

Za razliko od drugih tipov podnebja pri nas ni opaznih ekstremnih razlik v količini padavin v odvisnosti od letnih časov, se pa ta vsekakor pojavlja, predvsem v severovzhodni Sloveniji, kjer so zimski meseci izrazito bolj suhi od poletnih (ARSO, 2006). Značilnost gorskega podnebja sta dva letna ekstrema v povezavi s padavinskimi dogodki – jeseni ter na prehodu iz pomladi v poletje, kar je razvidno tudi iz klimatograma meteorološke postaje Kredarica (slika 27).

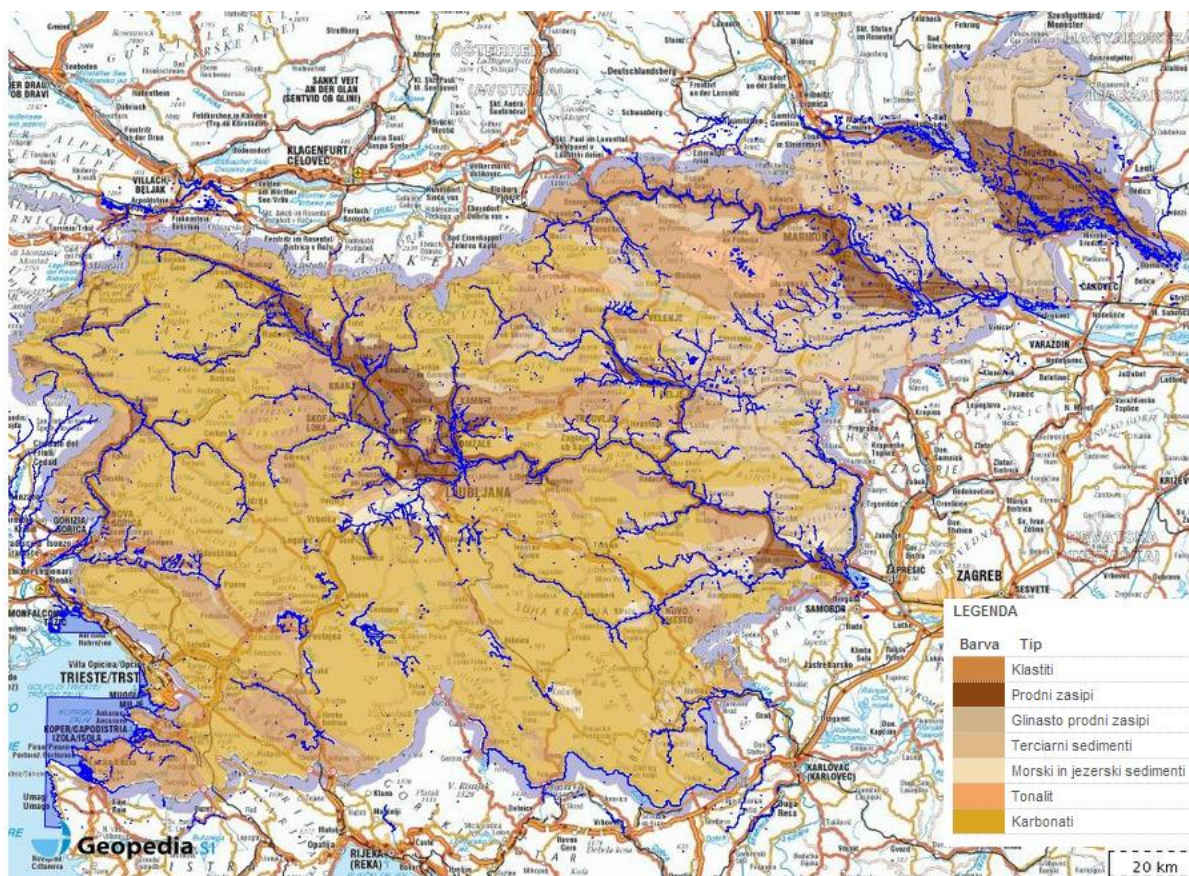
Slika 27 prikazuje podatke o srednji dnevni temperaturi in količini padavin za obdobje od 1971 do 2000. Namenoma so izbrani podatki iz meteoroloških postaj treh različnih podnebnih tipov; zmerno celinsko (Murska Sobota), sub-mediteransko (Portorož) in gorsko podnebje (Kredarica).



Slika 27: Povprečna mesečna temperatura zraka in višina padavin - podatki za različne padavinske postaje (ARSO, 2008)

5.2.2 Geološka podlaga

Pri nizkih pretokih znatno vlogo igra tudi geološka podlaga in vodoprepustnost kamnin, po katerih vodotok teče. V Sloveniji med geološkimi tipi kamnin prevladujejo karbonatne; apnenci in dolomiti, v dolinah in kotlinah pa so pogosti aluvialni in ledeniški nanosi (slika 28). Izjema je del severovzhodne Slovenije, kjer se pojavljajo tudi metamorfne in magmatske kamnine (Frantar in Hrvatini, 2008).



Slika 28: Geološka podlaga Slovenije skupaj s hidrografijo (Geopedia, 2013)

Vrsta geološke podlage diktira tudi vrsto vodonosnika; v dolinah z aluvialnimi sedimenti se tako najpogosteje pojavlja vodonosnik z medzrnsko poroznostjo, na kraških območjih najdemo vodonosnik s kraško, v hribovitih predelih pa z razpoklinsko poroznostjo.

5.2.3 Pretočni režimi

Nizki pretoki so karakteristika obdobj z manjšo količino padavin, ko evapotranspiracija preseže vrednost padavinske vode, lahko pa so tudi posledica nizkih temperatur in padavin v obliki snega. Tovrstna obdobja imajo za posledico zmanjšano količino vode, shranjene v obliki podzemnih virov, v jezerih ter drugih naravnih akumulacijah, kar rezultira tudi v zmanjšanem pretoku vodotokov (WMO, 2009).

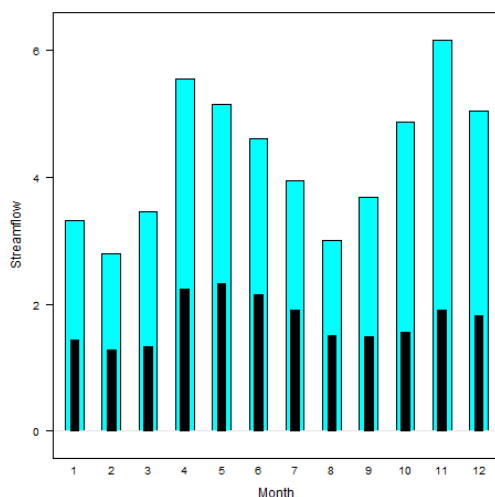
V povezavi z različnimi razlogi za nizke pretoke tako v našem podnebnem pasu ločimo dve različni poimenovanji; poletni ter zimski nizki pretoki.

Antropogene dejavnosti ravno tako lahko znatno vplivajo na pojav in značilnosti nizkih pretokov, med najbolj vplivnimi faktorji pa so krčenje gozdov, aforestacija (umetno pogozdovanje na območjih, kjer gozd ni primarno prisoten), urbanizacija območij ter vpliv globalnih klimatskih sprememb na spreminjanje pretočnih režimov (WMO, 2009).

Zaradi različnih geografskih in klimatskih dejavnikov, reliefa, geološke in pedološke sestave, antropogenih in drugih vplivov, lahko vodotoke razdelimo na več skupin pretočnih režimov v odvisnosti od nekaterih teh skupnih značilnosti (Zgornik, 2008). V grobem ločimo dežno- in snežno-prevladujoče režime ter ledeniški režim.

5.2.3.1 Dežno prevladujoči režim

Zanj sta značilna letni maksimum in minimum; prvi v pozni jeseni, drugi pa v poletnih mesecih (Hrvatin, 1998). V Sloveniji lahko v to skupino režimov uvrstimo t.i. sredozemski dežni režim, ki je značilen za Primorsko regijo s submediteranskim podnebjem (Zgornik, 2008).

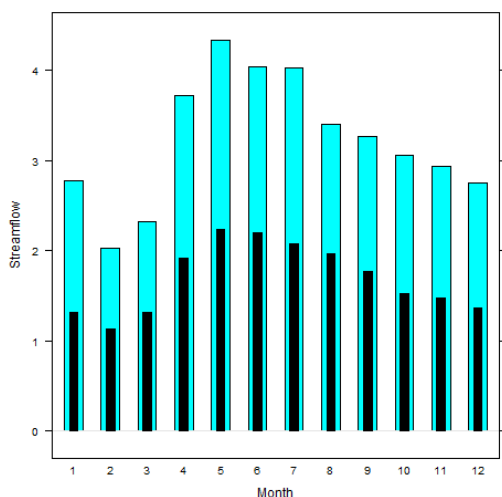


Slika 29: Sredozemski dežni režim Pivke (vodomerne postaja Cerkevnikov mlin, pretočni podatki od 1952 do 2012)

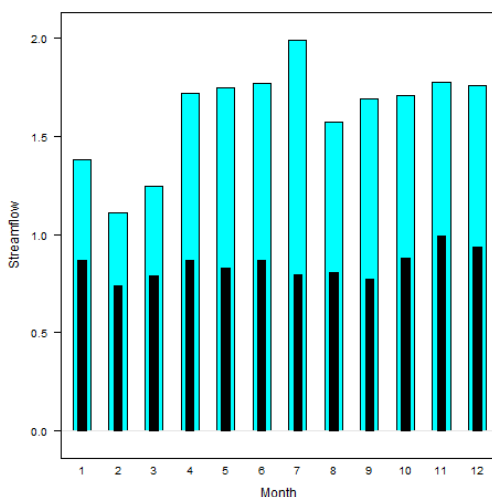
Za sredozemski dežni režim je značilen glavni maksimum v novembru ter sekundarni v aprilu, ki navadno ni izrazit, saj pretok v zimskih mesecih običajno ne upade znatno (Dolinar in sod., 2008). Pretok se nato običajno zmanjšuje vse do avgusta, ko doseže svoj minimum. V to skupino poleg Pivke (slika 29) spadata še značilni predstavnici Reka in Rižana (Dolinar in sod., 2008).

5.2.3.2 Snežno prevladujoči režim

Ima letni minimum v zimskih mesecih, maksimum pa ob prehodu iz pomladi v poletje. Zanj je značilno zadrževanje snega pet mesecev ali več (Hrvatina, 1998). Edini, ki popolnoma ustreza tej skupini pri nas, je alpski snežni režim, značilen predvsem za reke s povirji v alpskem visokogorju: Bistrica, Drava in Mura (Zgornik, 2008).



Slika 30: Alpski snežni režim Bistrice (vodomerna postaja Muta, pretočni podatki od 1954 do 1990)

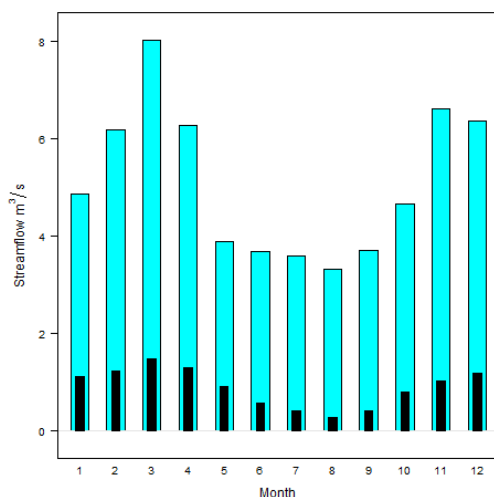


Slika 31: Režim Bistrice od leta 1991 naprej (vodomerna postaja Muta, pretočni podatki od 1991 do 2005)

Bistrica pri vodomerni postaji Muta kaže tipičen alpski snežni režim z letnim minimumom v februarju, maksimum pa doseže v maju (slika 30). Ta režim prikazujejo predvsem pretočni podatki za obdobje do leta 1990, saj od leta 1991 gorvodno od vodomerne postaje obratuje hidroelektrarna Golica, od koder je iztok iz hidroelektrarne speljan v Dravo pri Labotu (ARSO, 2014), kar je razlog za bistveno manjše pretoke in izkrivljeno sliko pretočnega režima (slika 31).

5.2.3.3 Dežno-snežni režim

Dežno-snežni režim je mešani tip režima, njegove značilnosti pa sta po dva letna maksimuma in minimuma. Glavni maksimum nastopi v zgodnji pomladi, sledi mu septembrski, medtem ko glavni minimum nastopi poleti, sekundarni pa pozimi (Hrvatina, 1998) – pri nekaterih rekah pa sta maksimuma po intenzitetah ravno obrnjena (Dolinar in sod., 2008). V to skupino spadajo dinarski, dinarsko-alpski, panonski in alpski dežno-snežni režimi (Zgornik, 2008), kar pomeni, da te vrste režimov v Sloveniji dominirajo, vsaj po ozemeljski zastopanosti.

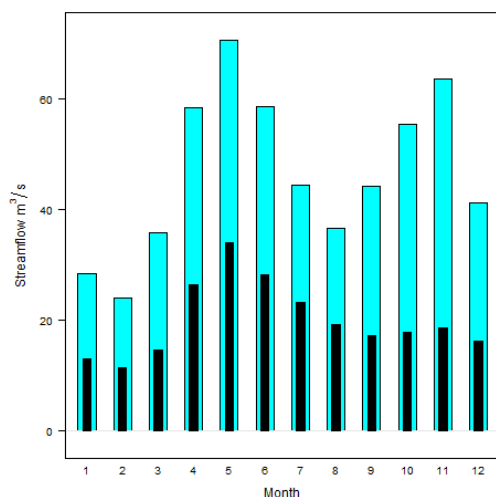


Slika 32: Panonski dežno-snežni režim Pesnice (vodomerna postaja Zamušani I, podatki od 1961 do 2012)

Za panonski dežno-snežni režim (Pesnica, slika 32) je značilen glavni maksimum v marcu in sekundarni v novembru, medtem ko so pretoki najmanjši avgusta. Do sekundarnega minimuma pride v januarju, vendar je ta običajno bližje povprečnim pretokom (Hrvatín, 1998). Režim je, kot ime nakazuje, značilen za panonski svet Slovenije.

5.2.3.4 Snežno-dežni režim

Podobno kot dežno-snežni, je tudi ta mešan režim z razliko v pojavljanju glavnih ekstremov. Dominanten maksimum se tako pojavi pozno pomladi, sledi mu jesenski maksimum. Glavni minimum se pojavi pozimi, sekundarni pa poleti (Hrvatín, 1998). Značilna predstavnika sta alpski sredogorski in visokogorski snežno-dežni režim (Zgornik, 2008).



Slika 33: Alpski visokogorski snežno-dežni režim Save v Radovljici (vodomerna postaja Radovljica I, pretočni podatki od 1913 do 2011)

Z analizo podatkov o pretoku Save z vodomerne postaje Radovljica I je jasno vidno, da lahko ta del vodotoka umestimo v alpski snežno-dežni režim (slika 33). Glavni maksimum se pojavi v pozno pomladi – v maju, sekundarni jeseni v novembru, medtem ko je dominantni minimum pozimi v februarju, sekundarni pa poleti v avgustu.

5.2.3.5 Ledeniški oz. glacialni režim

V Sloveniji se režim praktično ne pojavlja, vendar je vreden omembe zaradi tesne povezave z nizkimi pretoki. Značilna je občutna dominanca zimskega nizkega pretoka zaradi akumulacij snežnih padavin, ki se z nastopom pomladi začnejo počasi taliti, kar rezultira v porastu pretoka vse do poletnega obdobja. Zaradi klimatskih sprememb se pričakuje, da bodo nekateri od teh režimov prestopili v območje snežno- ali dežno-prevladujočih, predvsem je pričakovan zmanjšan potencial pretokov kot posledica taljenja ledenikov (WMO, 2009).

5.2.3.6 Določitev pretočnega režima obravnavanih vodomernih postaj

Na podlagi opisov in značilnosti posameznih režimov, ki jih je podal Hrvatinić (1998), smo analizirane postaje s pomočjo grafov, katerih izris je potekal s paketom *lstat* v programu R, razvrstili v posamezne režime. Razvrstitev prikazuje preglednica 8.

Preglednica 8: Razvrstitev analiziranih postaj med pretočne režime, ki jim pripadajo

Pretočni režim	Oznaka vodomerne postaje
Sredozemski dežni	9050, 9210, 9300
Dinarski dežno-snežni	2390, 4200, 4820, 4850, 4860, 4970, 5030, 8350, 8450, 8480, 8500, 8590, 8630
Dinarsko-alpski dežno-snežni	2600, 2640, 4660, 5240, 5770, 6630, 6720, 7030, 7160, 7380
Panonski dežno-snežni	1140, 1220, 1260, 2900, 4740
Alpski dežno-snežni	3650, 3850, 6200, 6240
Alpski sredogorski snežno-dežni	2220, 2250, 2530, 3400, 3570, 4050, 4120, 6060, 8180, 8270
Alpski visokogorski snežno-dežni	3060, 3180, 3200, 3320, 3420, 6020, 8060, 8080
Alpski snežni	1060, 1070, 2010

Analiza pretočnih režimov, ki jim pripadajo vodotoki na obravnavanih vodomernih postajah, je pokazala, da imata najmanjšo frekvenco pojavljanja oba ekstremna režima – sredozemski dežni in alpski snežni režim (upoštevajoč, da glacialnemu režimu ne pripada noben od obravnavanih vodotokov). Najbolj številčno zastopan je dinarski dežno-snežni režim, sledi mu dinarski alpsko snežni režim in alpski sredogorski snežno-dežni. Alpski režim kot tak prevladuje, vendar ima štiri podvariate, ki vsaka zase znatno ne izstopajo iz povprečja.

Tako izdelana ocena pretočnih režimov posameznih postaj se v večji meri ujema z oceno režima po Hrvatini (1998), izjema so vodotoki, ki v navedeni študiji niso zajeti.

5.3 Analiza nizkih pretokov

5.3.1 Izračun statistik in indeksa baznega odtoka

Za analiziranih 56 vodomernih postaj smo izračunali vrednosti statistik nizkega pretoka, kot so minimalni 1-dnevni minimum (MAM_1), minimalni 7-dnevni minimum (MAM_7), srednji pretok, povprečni pretoki Q_{70} , Q_{90} , Q_{95} ter indeks baznega toka (BFI) za vsako postajo. Rezultati so predstavljeni v preglednici 9, podrobnejša analiza pa je izvedena v poglavju 6.

Preglednica 9: Izračunane statistike (povprečene vrednosti) za analizirane postaje

Šifra	Reka	Ime postaje	BFI	MAM ₁	MAM ₇	Q _{sr}	Q ₉₅	Q ₉₀	Q ₇₀
1060	Mura	Gornja Radgona I	0.789	59.08	62.37	155.33	67.83	74.33	100.18
1070	Mura	Petanjci	0.798	62.09	65.89	160.98	70.98	78.66	105.91
1140	Ščavnica	Pristava I	0.441	0.22	0.26	1.92	0.31	0.39	0.67
1220	Ledava	Polana I	0.4	0.12	0.14	1.17	0.16	0.19	0.35
1260	Ledava	Čentiba	0.605	1.09	1.22	4.52	1.41	1.65	2.35
2010	Drava	HE Dravograd	0.794	92.55	109.85	257.62	116.4	126.96	168.74
2220	Meža	Črna	0.62	0.59	0.63	2.11	0.7	0.78	1.06
2250	Meža	Otiški vrh I	0.653	4.07	4.34	12.32	4.75	5.2	6.95
2390	Mislinja	Otiški vrh I	0.58	1.24	1.33	4.63	1.51	1.69	2.36
2530	Radoljna	Ruta	0.624	0.59	0.64	2	0.72	0.79	1.1
2600	Dravinja	Zreče	0.692	0.24	0.28	0.81	0.32	0.36	0.5
2640	Dravinja	Makole	0.544	1.15	1.27	4.69	1.43	1.64	2.27
2900	Pesnica	Zamušani I	0.396	0.61	0.67	5.09	0.77	0.93	1.55
3060	Sava Dolinka	Jesenice	0.829	4.39	4.57	11.05	4.94	5.41	7.53
3180	Radovna	Podhom	0.614	1.85	1.92	8.24	2.15	2.45	3.96
3200	Sava Bohinjka	Sveti Janez	0.497	0.94	1	8.17	1.2	1.42	2.67
3320	Bistrica	Bohinjska Bistrica	0.402	0.35	0.44	3.15	0.53	0.63	0.93
3400	Jezernica	Mlino I	0.678	0.09	0.1	0.42	0.14	0.16	0.24
3420	Sava	Radovljica I	0.578	9.58	12.56	44.31	14.08	16.48	24.33
3570	Sava	Šentjakob	0.636	28.86	31.78	89.47	35.01	38.47	51.49
3650	Sava	Litija I	0.63	47.04	51.14	163.11	56.88	63.71	90.62
3850	Sava	Čatež I	0.607	72.05	76.62	261.87	86.34	97.08	138.97
4050	Tržiška Bistrica	Preska	0.727	2.34	2.45	5.02	2.61	2.75	3.36
4120	Kokra	Kokra I	0.63	1.35	1.41	4.3	1.56	1.71	2.29
4200	Sora	Suha I	0.495	3.7	3.99	19.72	4.64	5.35	8.27
4660	Mirna	Martinja vas I	0.503	0.66	0.72	2.63	0.79	0.87	1.17
4740	Sotla	Rakovec I	0.373	0.9	1.01	8.52	1.24	1.52	2.58
4820	Kolpa	Petrina	0.369	2.85	3.11	25.76	3.64	4.36	7.83
4850	Kolpa	Radenci II	0.382	5.35	5.79	47.86	6.75	7.94	14.34
4860	Kolpa	Metlika	0.416	9.1	9.94	74.29	11.71	13.92	25.42
4970	Lahinja	Gradac	0.356	0.45	0.53	5.71	0.64	0.78	1.5
5030	Ljubljana	Vrhnika	0.544	2.36	2.59	23.86	3.17	3.98	8.08
5240	Ljubija	Verd I	0.677	0.97	1.04	6.73	1.34	1.7	3.5
5770	Cerkniščica	Cerknica I	0.4	0.09	0.12	1.02	0.15	0.19	0.35
6020	Savinja	Solčava I	0.634	0.4	0.43	2.22	0.51	0.6	1.03
6060	Savinja	Nazarje	0.53	3.46	3.74	17.54	4.31	4.98	7.91

se nadaljuje ...

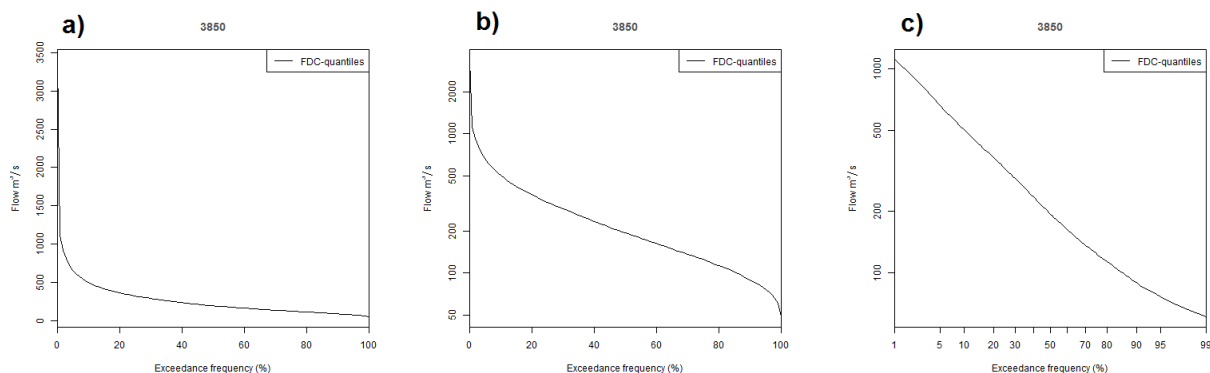
... nadaljevanje preglednice 9

6200	Savinja	Laško I	0.497	7.99	8.64	39.1	10.09	11.59	17.58
6240	Dreta	Kraše	0.464	0.74	0.83	4.1	0.97	1.09	1.67
6630	Ložnica	Levec I	0.312	0.13	0.16	1.52	0.2	0.25	0.41
6720	Vogljajna	Celje II	0.339	0.27	0.32	3.16	0.38	0.48	0.87
7030	Krka	Podbukovje	0.505	1.65	1.73	7.96	1.97	2.24	3.48
7160	Krka	Podbočje	0.482	9.59	10.35	54.63	12.04	13.95	21.69
7380	Radulja	Škocjan	0.453	0.27	0.3	1.75	0.36	0.43	0.69
8060	Soča	Log Čezsoški	0.631	5.45	5.71	25.22	6.64	7.59	11.99
8080	Soča	Kobarid I	0.598	7.68	7.96	34.23	9.05	10.29	16.09
8180	Soča	Solkan I	0.504	18.8	21.63	87.16	23.74	26.75	38.51
8270	Učja	Žaga	0.414	0.6	0.64	3.43	0.74	0.83	1.2
8350	Idrijca	Podroteja I	0.334	1.51	1.58	8.12	1.7	1.82	2.31
8450	Idrijca	Hotešk	0.443	4.95	5.19	23.44	5.68	6.23	8.77
8480	Trebuša	Dolenja Trebuša	0.504	0.61	0.64	2.71	0.71	0.77	1.16
8500	Bača	Bača pri Modreju	0.562	1.5	1.61	6.91	1.85	2.13	3.17
8590	Vipava	Dornberk	0.386	1.83	1.96	14.89	2.24	2.66	4.64
8630	Hubelj	Ajdovščina I	0.427	0.37	0.39	2.88	0.46	0.55	0.96
9050	Reka	Cerkveniko v Mlin	0.337	0.59	0.68	8.01	0.8	0.98	1.72
9210	Rižana	Kubed II	0.298	0.19	0.22	3.88	0.26	0.32	0.75
9300	Dragonja	Podkaštel I	0.3	0.02	0.02	1	0.03	0.04	0.1

5.3.2 Krivulje trajanja pretokov

Izrisane so bile krivulje za vse analizirane vodomerne postaje in sicer v vseh splošno uporabljenih oblikah:

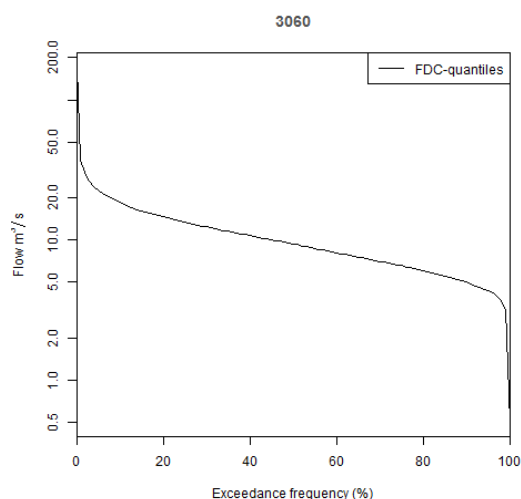
- Pretok na ordinatni osi in odstotki preseganja na abscisni osi v običajnem merilu (slika 34a);
- Pretok na ordinatni osi v logaritmičnem merilu in odstotki preseganja na abscisni osi v običajnem merilu (slika 34b);
- Pretok na ordinatni osi v logaritmičnem merilu in odstotki preseganja na abscisni osi z normalno porazdelitvijo (slika 34c).



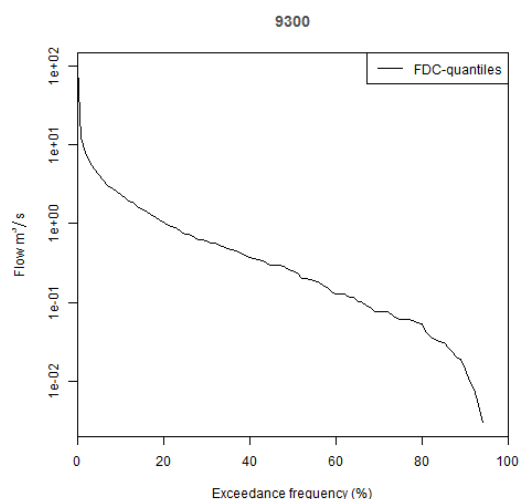
Slika 34: Variacije krivulje trajanja pretoka (podatki iz vodomerne postaje Čatež I, Sava)

Vse tri variacije krivulje trajanja nudijo zadovoljivo primerjavo med vodotoki, pri čemer je za hitro oceno režima tretja oblika precej enostavna za splošno uporabo, saj predpostavi, da če so logaritmi srednjih dnevni pretokov normalno porazdeljeni, ima to za posledico premico na grafu (WMO, 2009). V splošni rabi je najbolj pogosta druga oblika, medtem ko prva nudi manj primerjalne osnove med različnimi vodotoki kot ostali dve.

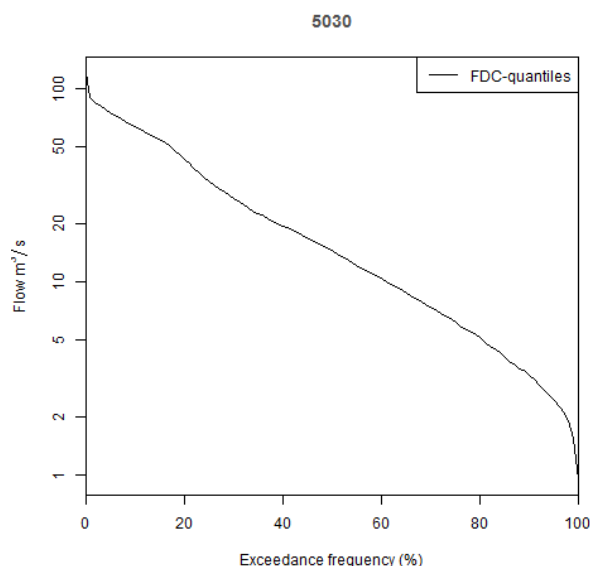
V primeru analiziranih postaj je pri izrisanih krivuljah trajanja prišlo do relativno majhnih grafičnih odstopanj med posameznimi postajami, z izjemo nekaterih vodotokov. Tako je pri vodotokih, kot so Ljubljanica, Ljubija, Bistrica, Jezernica in Dragonja prišlo do nepravilnih, pretrganih oblik krivulje (slika 36). Razlog za to je pri prvih treh kraško zaledje, medtem ko ima Jezernica izjemno majhno prispevno površino, Dragonja pa tako kaže značilnosti sredozemske reke. Najbolj tipični primeri in odstopanja krivulje trajanja s pretokom v logaritmičnem merilu so predstavljeni v nadaljevanju (slike 35 do 38).



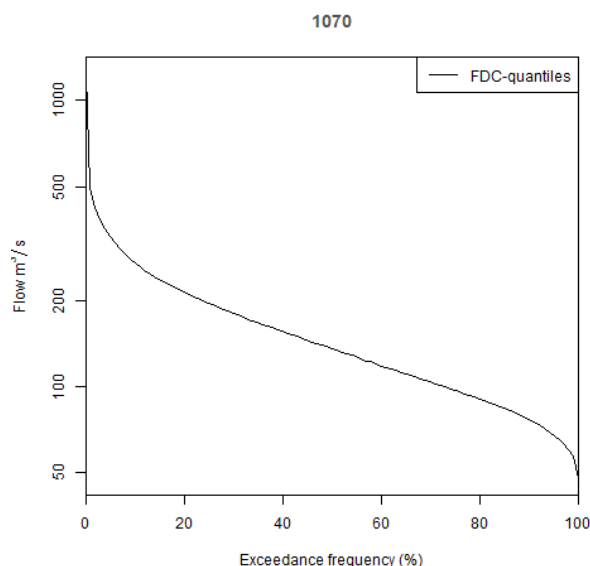
Slika 35: Krivulja trajanja - Sava Dolinka, Jesenice



Slika 36: Krivulja trajanja - Dragonja, Podkaštel I



Slika 37: Krivulja trajanja - Ljubljana, Vrhnika



Slika 38: Krivulja trajanja - Mura, Petanjci

Krivulja trajanja Save Dolinke pri Jesenicah (slika 35) kaže, da ima vodotok dokaj velik doprinos pretoka iz podzemnih virov, kar nakazuje na manjši naklon krivulje v delu nizkih pretokov. Njeno nasprotje je Dragonja (slika 36), katere krivulja je nazobčana in se zaključi še preden doseže višje odstotke presežanja. Q_{95} je v tem primeru blizu 0, saj je značilnost Dragonje, da v obdobjih nizkih pretokov deloma usahne, zaradi česar je slika krivulje trajanja »pretrgana«. Tretji primer Ljubljanice (slika 37) pa odraža njeno kraško naravo, saj naklon krivulje kaže na veliko odvisnost od površinskega odtoka ter hitro odzivanje na padavine. Visokovodne konice predstavljajo tudi do 100-kratnik njenih nizkih pretokov, strma krivulja pa kaže na majhen doprinos podzemnih virov. Mura na vodomerni postaji Petanjci (slika 38) ima

gladko oblikovano in nepretrgano krivuljo, značilno za večino obravnavanih vodomernih postaj.

5.3.3 Deficit vodnega toka

Preglednica 10: Pregled kazalcev deficita za vse analizirane postaje po metodi mejne vrednosti s primerjavo postopka drsečega povprečja (MA) in medčasovnega dogodka (IT); Q_{70} kot mejna vrednost

Šifra postaje	Število vseh sušnih dogodkov		Trajanje vseh sušnih dogodkov		Trajanje enega dogodka		Srednja vrednost volumna deficita		Srednja vrednost magnitude deficita		min Q_{min}	
	MA	IT	MA	IT	MA	IT	MA	IT	MA	IT	MA	IT
1060	242	266	6931	7350	28.6	27.6	50688519	49487673	998262.7	957989.2	43.29	40
1070	211	236	5723	6206	27.1	26.3	48317478	48233403	1018208	998616	48.82	47.53
1140	185	193	3593	4168	19.4	21.6	386343.3	436380.9	11930.28	11744.05	0.04	0.03
1220	235	232	4739	5550	20.2	23.9	233340.3	284866.4	7056.7	7885.24	0	0
1260	157	170	4216	4556	26.9	26.8	1433227	1459969	30272.1	31032.9	0.16	0.14
2010	136	208	5125	5256	37.7	25.3	1.15E+08	80920807	1786836	1702797	75.6	NA
2220	188	196	4080	4702	21.7	24.0	428172.3	487464.8	12679.38	13009.13	0.33	0.29
2250	284	316	5749	6526	20.2	20.7	2548794	2685874	82034.1	73222.12	2.55	2.17
2390	220	238	3756	4467	17.1	18.8	754460.7	862330.1	28949.09	28499.53	0.81	0.76
2530	207	177	3582	4180	17.3	23.6	405544.3	590039.8	15572.91	16707.58	0.31	0.28
2600	209	175	3794	4330	18.2	24.7	174917.9	253571.2	6068.06	6751	0.11	0.08
2640	214	208	3700	4384	17.3	21.1	843370.8	1066063	28649.23	27311.63	0.51	0.43
2900	249	305	5042	5710	20.2	18.7	947618.5	880527.6	26694.9	25941.61	0.15	0.13
3060	283	297	9751	10367	34.5	34.9	4934140	4992666	77536.81	77127.82	0.5	0.5
3180	310	362	7936	8765	25.6	24.2	2504483	2351416	61993.74	56667.73	1.17	1.15
3200	257	319	6226	6801	24.2	21.3	2008212	1763591	54224.77	50981.37	0.38	0.38
3320	243	265	4156	4837	17.1	18.3	480404.3	550615.1	20545.09	23503.75	0.06	0.02
3400	285	275	5719	6426	20.1	23.4	139265.2	169274.6	4492.57	5498.21	0	NA
3420	306	511	5952	6568	19.5	12.9	9579475	7025456	303288.1	359289.1	6.05	5
3570	337	441	6430	7354	19.1	16.7	17978466	16298918	593282	589278.6	18.46	17.6
3650	307	371	5793	6582	18.9	17.7	35320608	34038445	1147437	1100060	29.55	28.66
3850	192	227	3547	4047	18.5	17.8	56217749	55634782	1898142	1805249	49.21	48.27
4050	213	253	5278	5881	24.8	23.2	1210705	1173880	32289.53	29650.15	1.65	1.61
4120	264	270	5402	6106	20.5	22.6	891490.8	995000.6	25687.88	26613.52	0.77	0.72
4200	302	313	5706	6462	18.9	20.6	3638129	4226190	129879	131880.2	2.19	2.14
4660	269	293	4503	5480	16.7	18.7	398521	460178.8	14571.1	13645.18	0.33	0.3
4740	261	269	4504	5306	17.3	19.7	1256621	1473963	46535.24	47536.71	0.34	0.34
4820	323	370	5607	6678	17.4	18.0	3959179	4152153	150631.3	142119.9	1.51	1.51
4850	168	185	3340	3835	19.9	20.7	7990613	8536401	255153.2	256999.1	3.8	3.44
4860	428	480	8264	9546	19.3	19.9	14886089	15620012	495989.2	486359.1	5.55	5.55
4970	270	293	5867	6707	21.7	22.9	1103452	1167730	31452.05	29518.39	0.17	0.03

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 10

5030	239	256	5104	5689	21.4	22.2	5731571	6151826	174267.7	176382.3	1.18	0.95
5240	218	225	5311	5691	24.4	25.3	2915783	3131342	77892.84	79934.91	0.22	0.2
5770	285	297	4499	5528	15.8	18.6	175947.4	217649.8	7268.69	7563.8	0	0
6020	197	224	5342	5796	27.1	25.9	780049.7	768991.2	19562.82	19305.21	0.2	0.15
6060	461	513	8390	9538	18.2	18.6	3539703	3767771	129188	128689.5	1.44	1.44
6200	351	385	5575	6575	15.9	17.1	6671112	7419663	259063.3	265020.9	4.11	3.74
6240	302	315	5052	5957	16.7	18.9	667310.9	786319.3	25518.02	26143.05	0.31	0.25
6630	286	301	4053	5081	14.2	16.9	169382.4	213269.4	8225.23	7717.66	0	0
6720	271	287	4049	5076	14.9	17.7	384663.2	469933.8	16261.5	16376.75	0.12	0.11
7030	251	269	5214	5804	20.8	21.6	1753095	1861640	50944.64	52332.49	0.94	0.8
7160	395	482	8246	9303	20.9	19.3	12551506	11551396	360310.1	343054.4	4.4	4.4
7380	279	285	5195	5771	18.6	20.2	355558.4	429597.2	12768.26	16222.52	0.1	0.08
8060	258	287	6440	7174	25.0	25.0	7317134	7254787	176550.9	173289	3.13	3.02
8080	283	326	6478	7284	22.9	22.3	8930578	8710679	241440.1	232068.3	3.71	3.3
8180	179	212	3078	3614	17.2	17.0	13972930	14401966	528483.3	546312.5	14.37	9.6
8270	304	325	5558	6470	18.3	19.9	467717.4	531263	18132.44	17980.17	0.24	0.23
8350	208	230	3109	3948	14.9	17.2	613977.1	712172.7	28092.69	28826.27	0.84	0.84
8450	342	337	5783	7010	16.9	20.8	2972687	3748096	120518.3	112530.8	3.46	3.4
8480	295	255	5350	6453	18.1	25.3	455752.4	646035.5	17403.18	16957.5	0.27	0.27
8500	307	306	6230	7016	20.3	22.9	1340772	1597934	44740.14	45997.66	0.5	0.38
8590	304	336	5764	6683	19.0	19.9	2511206	2698494	86836.88	85349.79	0.99	0.94
8630	266	314	5586	6394	21.0	20.4	625891.7	618817.2	19863.06	19035.57	0.18	0.18
9050	283	300	5883	6690	20.8	22.3	1059913	1170933	31367.86	31960.99	0.19	0.16
9210	182	208	4666	5227	25.6	25.1	775895.9	763788.1	18567.5	17970.98	0.05	0.03
9300	91	79	3233	3382	35.5	42.8	129945.1	172001.6	2089.98	2637.8	0	0

V preglednici 10 so za dva različna postopka razvrščanja; postopek drsečega povprečja (MA) pri 7-dnevnom filtru in postopek medčasovnega dogodka (IT) za 5-dnevno razvrščanje, predstavljeni rezultati analize deficita vodnega toka. V večini primerov je število vseh sušnih dogodkov po metodi IT večje, ravno tako je daljše trajanje enega sušnega dogodka, medtem ko je minimalna vrednost pretoka Q_{min} manjša pri uporabi metode IT (razlogi za to so navedeni že v poglavju 4). Največje vrednosti trajanja enega sušnega dogodka kažeta Sava Dolinka (Jesenice) in Dragonja (Podkaštel I), medtem ko imajo najmanjše vrednosti vodotoki Ložnica (Levec I), Voglajna (Celje II) in Idrijca (Podroteja I).

5.3.4 Analiza recesijskih krivulj

Preglednica 11: Primerjava med izbiro različno dolgih segmentov v analizi recesijskih krivulj in njihovim vplivom na recesijsko konstanto, Q_{70} kot mejna vrednost

Šifra postaje	$C_{MRC,4}$	$C_{IRS,4}$	$C_{MRC,5}$	$C_{IRS,5}$	$C_{MRC,6}$	$C_{IRS,6}$	$C_{MRC,7}$	$C_{IRS,7}$
1060	17.5	21.4	18.6	23.0	17.0	19.5	16.9	20.2
1070	18.4	22.2	20.9	24.7	21.9	25.2	25.9	27.8
1140	4.4	6.8	4.1	7.3	5.2	7.5	4.7	7.0
1220	2.9	6.3	3.4	6.2	3.6	7.8	2.8	7.3
1260	8.3	13.2	9.6	14.9	10.0	16.6	8.7	14.4
2010	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2220	9.7	10.7	11.9	13.1	12.2	14.0	12.1	14.2
2250	12.7	15.3	13.0	14.4	13.3	15.0	12.2	14.5
2390	9.3	11.2	9.0	11.2	10.5	12.1	9.7	10.5
2530	6.0	11.3	11.5	14.7	13.0	14.5	17.7	17.9
2600	4.9	7.8	9.1	10.5	6.0	6.7	NA	NA
2640	9.9	13.1	10.3	12.3	10.7	13.1	11.3	14.0
2900	7.8	9.6	8.5	10.1	8.7	10.2	8.7	10.2
3060	15.3	19.4	17.0	20.5	19.7	24.8	17.7	19.4
3180	13.2	15.9	13.7	15.6	13.7	15.4	14.5	16.1
3200	11.4	13.0	11.8	13.2	11.7	13.0	12.5	13.9
3320	3.7	4.9	3.7	5.7	4.0	6.5	7.1	7.9
3400	1.9	3.1	2.3	2.9	1.8	2.3	NA	NA
3420	6.4	10.1	8.4	11.5	11.0	13.5	14.4	17.2
3570	11.0	13.7	11.5	14.4	13.2	15.0	17.2	18.4
3650	11.4	14.5	11.7	14.7	11.7	13.7	11.9	13.7
3850	12.2	14.8	13.9	16.1	15.1	16.9	15.8	17.4
4050	9.8	12.0	9.3	11.6	7.1	7.7	6.9	7.7
4120	12.6	17.8	12.3	14.6	12.5	13.2	13.4	14.4
4200	10.2	12.4	10.7	12.7	11.0	12.6	11.3	12.7
4660	7.0	11.4	9.6	13.1	10.5	13.2	10.0	11.0
4740	5.7	8.2	6.2	8.8	7.0	8.4	8.0	9.3
4820	9.2	10.7	9.7	11.1	10.7	12.0	11.9	13.0
4850	9.7	11.3	10.0	11.3	10.5	11.8	11.9	13.0
4860	8.5	11.3	9.6	12.1	10.8	13.2	11.1	13.4
4970	7.4	9.4	7.3	9.4	6.5	9.0	5.7	8.9
5030	7.1	10.0	7.9	10.0	9.0	10.4	9.7	10.8
5240	8.4	12.0	8.7	12.1	11.1	12.8	11.2	12.8
5770	1.9	4.3	3.2	5.5	4.0	6.9	2.3	5.9
6020	8.2	10.9	8.7	10.4	9.9	11.1	8.3	9.3
6060	10.2	12.2	10.7	12.7	11.1	12.9	11.3	13.3
6200	10.8	12.8	11.7	13.4	12.1	13.7	12.3	13.7

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 11

6240	8.0	10.3	9.2	11.5	9.8	12.4	11.3	13.8
6630	4.7	6.5	4.5	6.7	5.0	7.1	5.8	7.8
6720	5.3	7.7	5.6	7.6	5.7	7.9	6.2	8.4
7030	9.8	11.8	10.7	12.6	11.0	13.1	12.9	14.2
7160	8.8	11.0	9.0	11.2	9.7	12.2	10.8	13.6
7380	6.0	9.2	6.2	9.3	5.4	9.2	4.7	9.3
8060	14.1	16.8	17.1	18.1	17.8	18.8	18.2	19.2
8080	14.5	17.4	15.7	18.2	16.5	18.7	17.1	19.2
8180	8.0	11.3	7.9	12.6	6.4	10.9	22.9	21.0
8270	9.7	12.0	11.0	13.8	12.0	15.5	12.4	16.5
8350	8.9	13.1	10.9	13.5	10.6	13.1	10.8	14.6
8450	9.9	12.4	10.9	13.2	11.4	14.4	10.5	13.4
8480	7.6	9.9	7.9	10.8	8.0	12.0	9.6	10.6
8500	8.6	10.6	8.8	11.3	8.9	12.0	10.1	14.0
8590	9.1	10.8	9.3	11.1	10.1	11.8	10.5	12.5
8630	7.6	9.1	8.1	9.8	8.8	10.5	9.5	11.6
9050	6.4	8.8	7.2	10.3	7.1	11.2	9.0	14.8
9210	4.7	5.9	4.3	5.6	4.3	6.0	4.4	6.5
9300	2.8	3.6	3.5	4.4	6.2	6.0	NA	NA

Tallaksen (1989) je za recesijsko analizo Norveških vodotokov uporabila konstantno dolžino segmentov, 7 dni, v sledeči nalogi pa je bil uporabljen izračun za dolžino segmentov 4, 5, 6 in 7 dni (preglednica 11). 6-dnevna dolžina segmentov se je izkazala za primerno pri analizi vodomerne postaje Kokra I, kjer je bila potencialno kot primerna ocenjena tudi dolžina 7 dni, ter narejena primerjava med njunimi odstopanji. Za končno primerjavo z vsemi kazalniki nizkega pretoka je bila v nalogi izbrana 6-dnevna dolžina segmentov, saj je dolžina od 5 do 7 dni priporočena tudi v literaturi (WMO, 2009). Pri 7 dnevni segmentih je izračun recesijske konstante za nekatere postaje vrnil prazno vrednost, pri 5 dnevni pa je v nekaterih primerih prišlo do večjih odstopanj med izračunanima konstantama po metodi MRC in IRS.

V splošnem velja, da višja recesijska konstanta pomeni večjo sposobnost vodotoka pri vzdrževanju pretoka ter posledično njegovo manjšo občutljivost pri daljši odsotnosti padavin.

5.3.5 Sezonskost

Preglednica 12: Rezultati analize sezonskosti za izbrane postaje

Šifra	Reka	Ime postaje	Indeks sezonskosti			Razmerje sezonskosti
			θ	D	r	
1060	Mura	Gornja Radgona I	0.114	7	0.68	1.353
1070	Mura	Petanjci	0.202	12	0.751	1.368
1140	Ščavnica	Pristava I	3.85	224	0.754	0.335
1220	Ledava	Polana I	4.112	239	0.712	0.353
1260	Ledava	Čentiba	3.922	228	0.779	0.5
2010	Drava	HE Dravograd	0.613	36	0.845	1.46
2220	Meža	Črna	4.889	284	0.103	1.023
2250	Meža	Otiški vrh I	3.993	232	0.139	1.015
2390	Mislinja	Otiški vrh I	4.101	238	0.359	0.924
2530	Radoljna	Ruta	4.44	258	0.225	0.996
2600	Dravinja	Zreče	3.67	213	0.412	0.916
2640	Dravinja	Makole	3.883	226	0.724	0.637
2900	Pesnica	Zamušani I	3.811	221	0.833	0.413
3060	Sava Dolinka	Jesenice	0.805	47	0.729	1.447
3180	Radovna	Podhom	0.741	43	0.844	1.656
3200	Sava Bohinjka	Sveti Janez	0.604	35	0.777	2.123
3320	Bistrica	Bohinjska Bistrica	2.868	167	0.104	1.307
3400	Jezernica	Mlino I	4.364	254	0.417	0.471
3420	Sava	Radovljica I	0.37	22	0.605	1.604
3570	Sava	Šentjakob	5.786	336	0.228	1.086
3650	Sava	Litija I	4.522	263	0.286	0.966
3850	Sava	Čatež I	4.165	242	0.457	0.877
4050	Tržiška Bistrica	Preska	6.183	359	0.308	1.135
4120	Kokra	Kokra I	0.465	27	0.195	1.19
4200	Sora	Suha I	4.197	244	0.616	0.75
4660	Mirna	Martinja vas I	4.282	249	0.598	0.774
4740	Sotla	Rakovec I	3.938	229	0.815	0.465
4820	Kolpa	Petrina	4.177	243	0.707	0.615
4850	Kolpa	Radenci II	4.121	239	0.804	0.544
4860	Kolpa	Metlika	4.165	242	0.811	0.509
4970	Lahinja	Gradac	4.261	248	0.795	0.368
5030	Ljubljanica	Vrhnika	4.366	254	0.464	0.713
5240	Ljubija	Verd I	4.362	253	0.674	0.518
5770	Cerkniščica	Cerknica I	4.264	248	0.624	0.553
6020	Savinja	Solčava I	0.315	18	0.145	1.337
6060	Savinja	Nazarje	4.877	283	0.281	1.005

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 12

6200	Savinja	Laško I	4.263	248	0.439	0.85
6240	Dreta	Kraše	4.165	242	0.467	0.853
6630	Ložnica	Levec I	3.963	230	0.672	0.522
6720	Voglajna	Celje II	3.861	224	0.774	0.453
7030	Krka	Podbukovje	4.362	253	0.602	0.71
7160	Krka	Podbočje	4.27	248	0.626	0.65
7380	Radulja	Škocjan	4.206	244	0.646	0.535
8060	Soča	Log Čezsoški	0.666	39	0.811	1.729
8080	Soča	Kobarid I	0.562	33	0.731	1.646
8180	Soča	Solkan I	6.121	356	0.209	1.14
8270	Učja	Žaga	5.86	340	0.183	1.166
8350	Idrijca	Podroteja I	4.514	262	0.342	1
8450	Idrijca	Hotešk	4.36	253	0.61	0.812
8480	Trebuša	Dolenja Trebuša	4.369	254	0.699	0.751
8500	Bača	Bača pri Modreju	4.559	265	0.416	0.948
8590	Vipava	Dornberk	4.185	243	0.813	0.581
8630	Hubelj	Ajdovščina I	4.165	242	0.686	0.679
9050	Reka	Cerkvenikov Mlin	4.279	249	0.804	0.408
9210	Rižana	Kubed II	4.188	243	0.708	0.383
9300	Dragonja	Podkaštel I	4.107	239	0.899	0

Z izbiro *seasindex* za izbrane podatke smo v paketu *lfstat* programa R izračunali kazalnike indeksa sezonskosti (preglednica 12), ki predstavlja porazdelitev pojavljanja nizkih pretokov skozi hidrološko leto. Med te kazalnike spadajo; θ oz. kot, srednji dan nastopa nizkega pretoka D ter r oz. dolžina vektorja nastopa nizkega pretoka, ki predstavlja mero variabilnosti pojavljanja nizkih pretokov. Kazalniki v medsebojni odvisnosti tvorijo vektor nizkega pretoka, ki s pozitivnim krakom abscisne osi oklepa kot θ in ima dolžino r .

Povprečna vrednost kota θ za vse analizirane postaje znaša 3.581 rad oz. 205.47°, kar v julijanskih dnevih pomeni 208. dan v letu ali drugače – 27. julij (na ne-prestopno leto). Ta dan pomeni povprečni dan nastopa nizkih pretokov vseh analiziranih vodomernih postaj in kaže na to, da so postaje v splošnem izrazito pod vplivom poletnih minimumov. Zanimivo je, da nobena od obravnavanih postaj kljub temu nima dneva nastopa nizkega pretoka v juliju, kot je prikazano v preglednici 13, prevladujeta namreč avgust in september. Nekateri izmed analiziranih vodotokov imajo kljub temu prevladujoč zimski minimum, kar je posledica akumulacije snežnih padavin. Med te spada Mura na vodomernih postajah Petanjci in Gornja Radgona, kjer ima tudi najmanjšo vrednost julijanskega dneva med vsemi analiziranimi postajami; $D = 7$, poleg nje še Kokra, Sava pri Radovljici in Šentjakobu, Soča, Učja, Sava Dolinka, Sava Bohinjka, Radovna, Drava, Tržiška Bistrica. Zanimiva je Savinja, ki ima na

vodomerni postaji Solčava I srednji dan nizkega pretoka v januarju ($D = 18$), na postajah Nazarje in Laško I pa sta izrazita poletna minimuma. Potrebno je omeniti, da ima parameter r v prvem primeru majhno vrednost, 0.154, kar pomeni, da je spremenljivost v pojavljanju nizkih pretokov večja ter da Savinja v splošnem ne kaže tipičnega režima zimskih nizkih pretokov.

Preglednica 13: Pregled nastopa srednjega dneva nizkega pretoka za analizirane postaje po mesecih

Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
5	6	0	0	0	1	0	20	18	2	0	4

6 ANALIZA POVEZAV MED KAZALNIKI NIZKIH PRETOKOV IN RAZPRAVA

Za analizo povezanosti nekaterih kazalnikov nizkih pretokov je bila mestoma uporabljena korelacija. V odvisnosti od vrednosti korelacijskega koeficienta je bila določena stopnja korelacije med posameznimi kazalniki, ki je predstavljena v preglednici 14 (Žogan, 2013).

Preglednica 14: Stopnja korelacije v odvisnosti od koeficienta korelacije R

Koeficient korelacije R		Stopnja korelacije
Spodnja meja	Zgornja meja	
0.000	0.099	Neodvisnost
0.100	0.199	Zelo šibka
0.200	0.399	Šibka
0.400	0.599	Srednje močna
0.600	0.799	Močna
0.800	0.999	Zelo močna

6.1 Analiza posameznih statistik nizkih pretokov in njihovih povezav

6.1.1 BFI

Izračun indeksa baznega odtoka v paketu *lfstat* smo izvedli z za-to predvideno funkcijo »BFI«. Pri tem je potrebno določiti obdobje, za katerega želimo izračunati indeks. Lahko je ta izračunan za vsa leta, vsako posamezno leto, ali celo za manjša sezonska obdobja znotraj enega leta. V preglednici 9 so predstavljeni izračuni BFI za izbrane vodomerne postaje, ki predstavljajo povprečne vrednosti letnih izračunov indeksa baznega odtoka.

BFI se je v dosedanjih študijah kazalcev nizkih pretokov izkazal za primeren pokazatelj geološke podlage in na splošno prepustnosti tal. Ker je odvisen tudi od podnebja; v aridnih območjih je njegova vrednost skoraj 0, v tropskih pa dosega višje vrednosti, se za zmerno podnebje, brez izrazitega sušnega obdobja, kamor spada Slovenija, predvidevajo vrednosti okoli 0.5 (Beck in sod., 2013). V našem primeru znaša povprečna vrednost indeksa za vse analizirane postaje 0.522, kar sicer potrjuje prejšnjo hipotezo, vendar se interval indeksa pri analiziranih postajah giblje od 0.298 (Rižana, vodomerne postaja Kubed II) do 0.829 (Sava Dolinka, vodomerne postaja Jesenice). Za analizirane postaje znaša povprečna standardna deviacija 0.137. Ta nihanja med posameznimi vodotoki so rezultat interakcije več dejavnikov, katerih vpliv podrobneje analizira Kovačič (2012), ki navaja kot najbolj odločilen dejavnik

naklon porečja, sledijo mu naklonski indeks, delež kmetijskih površin oz. raba tal, gostota hidrografske mreže ter površina porečja.

Do podobnih rezultatov sta prišla tudi Janža (2006) in Kovačič (2012) v svojih analizah. Srednja vrednost BFI za obravnavane postaje, ki sicer niso identične tistim analiziranim v tej nalogi, je bila pri Kovačič (2012) 0.517, pri Janža (2006) pa 0.555. Oba sta uporabila različen časovni niz podatkov za izračun BFI, neujemanje pa lahko pripišemo tudi izbiri različnih vodomernih postaj. Kljub temu podroben pogled na analizo Janže (2006), ki je na vodomernih postajah določal BFI za obdobje od 1990 do vključno 2000, pokaže, da pri izbiri različne dolžine obdobja lahko pride do znatnih odstopanj v rezultatih (preglednica 15).

Preglednica 15: Primerjava izračunanega BFI z vrednostmi po Janža (2006) za dana obdobja izračuna

Šifra	Vodotok	Ime postaje	BFI in obdobje izračuna	BFI in obdobje izračuna po Janža (2006)	Odstotek odstopanja [%]
1220	Ledava	Polana I	0.4 (1962-2012)	0.473 (1990-2000)	18.3
2530	Radoljna	Ruta	0.624 (1973-2012)	0.68 (1990-2000)	9.0
2600	Dravinja	Zreče	0.692 (1973-2012)	0.771 (1990-2000)	11.4
3180	Radovna	Podhom	0.614 (1933-2012)	0.614 (1990-2000)	0.0
3200	Sava Bohinjka	Sveti Janez	0.497 (1951-2012)	0.558 (1990-2000)	12.3
5770	Cerkniščica	Cerknica I	0.4 (1962-2012)	0.551 (1990-2000)	37.8
6240	Dreta	Kraše	0.464 (1959-2012)	0.566 (1990-2000)	22.0
7380	Radulja	Škocjan	0.453 (1961-2012)	0.504 (1990-2000)	11.3
8630	Hubelj	Ajdovščina I	0.427 (1956-2012)	0.548 (1990-2000)	28.3

Odstotek odstopanja med dvema izračunoma je sicer odvisen od obravnavane vodomerne postaje (preglednica 15), vendar v povprečju znaša 16.7 %, največje odstopanje pa kaže

Cerkniščica, kar 37.8 %. Indeks baznega odtoka je za oba izračuna enak le v primeru reke Radovne na vodomerni postaji Podhom.

6.1.2 MAM_1 in MAM_7

MAM_1 predstavlja povprečje letnih minimumov in je tako najmanjša vrednost med vsemi predstavljenimi statistikami. Primerjava med različnimi vodotoki v tem primeru nima prave vrednosti, saj gre za vodotoke katerih pretoki so si lahko zelo različni; najmanjša vrednost MAM_1 je namreč 0.02 za Dragonjo (vodomerna postaja Podkaštel I), največja pa 92.55 za Dravo pri HE Dravograd (preglednica 9). Med seboj bi lahko primerjali le razmerja posameznih statistik za različne vodotoke. Ena od takih primerjav razkrije, da sta si MAM_7 in Q_{95} med sabo številčno precej podobna, Q_{95} je namreč za obravnavane postaje v povprečju 16.0% večji od MAM_7 , analiza korelacije pa kaže na zelo močno odvisnost med kazalcema.

6.1.3 Q_{SR} , Q_{70} , Q_{90} , Q_{95}

Pretok se med različnimi vodomernimi postajami spreminja v odvisnosti od vodnatosti vodotoka (preglednica 9). Povprečna vrednost srednjega pretoka za vse analizirane postaje je $31.83 \text{ m}^3/\text{s}$. Q_{SR} seveda predstavlja največjo od vrednosti med izračunanimi statističnimi pretoki; od Q_{70} je v povprečju večja za faktor 2.65, od Q_{90} za faktor 4.47 in od Q_{95} za faktor 5.32. Največje vrednosti faktorjev; torej večja odstopanja med posameznimi odstotnimi pretoki, imajo Dragonja, Rižana in Reka, najmanjši faktor razlike pa Tržiška Bistrica, Sava Dolinka in Mura.

6.2 Analiza deficita vodnega toka in recesijske krivulje

Analiza deficita za vse postaje je bila izdelana za vsa razpoložljiva leta podatkov vsake posamezne postaje. Zato je interpretacija kazalnikov, kot so skupno število deficitov in njihovo skupno trajanje, nesmiselna, lahko pa analiziramo povezavo povprečnega trajanja deficita z ostalimi kazalniki. Ta povezava je s pomočjo korelacije predstavljena v preglednici 16. Iz nje lahko razberemo, da so kazalniki recesijske analize ($C_{MRC,6}$, k_{MRC} in $C_{IRS,6}$) med seboj dokaj močno povezani; $C_{MRC,6}$ in k_{MRC} ter $C_{MRC,6}$ in $C_{IRS,6}$ kažejo zelo močno stopnjo korelacije, $C_{IRS,6}$ in k_{MRC} pa močno stopnjo korelacije. Med kazalniki recesijske analize in povprečno vrednostjo trajanja deficita je stopnja korelacije največ šibka (trajanje deficita po metodi MA in $C_{MRC,6}$), medtem ko je ponekod sploh ni oz. sta kazalnika neodvisna drug od

drugega (trajanje deficita po metodi IT in k_{MRC}). Povezanost med povprečno vrednostjo trajanja vodnega deficita po obeh uporabljenih postopkih je močna.

Preglednica 16: Korelacijska matrika med kazalniki analize recesijskih krivulj in analize deficita vodnega toka

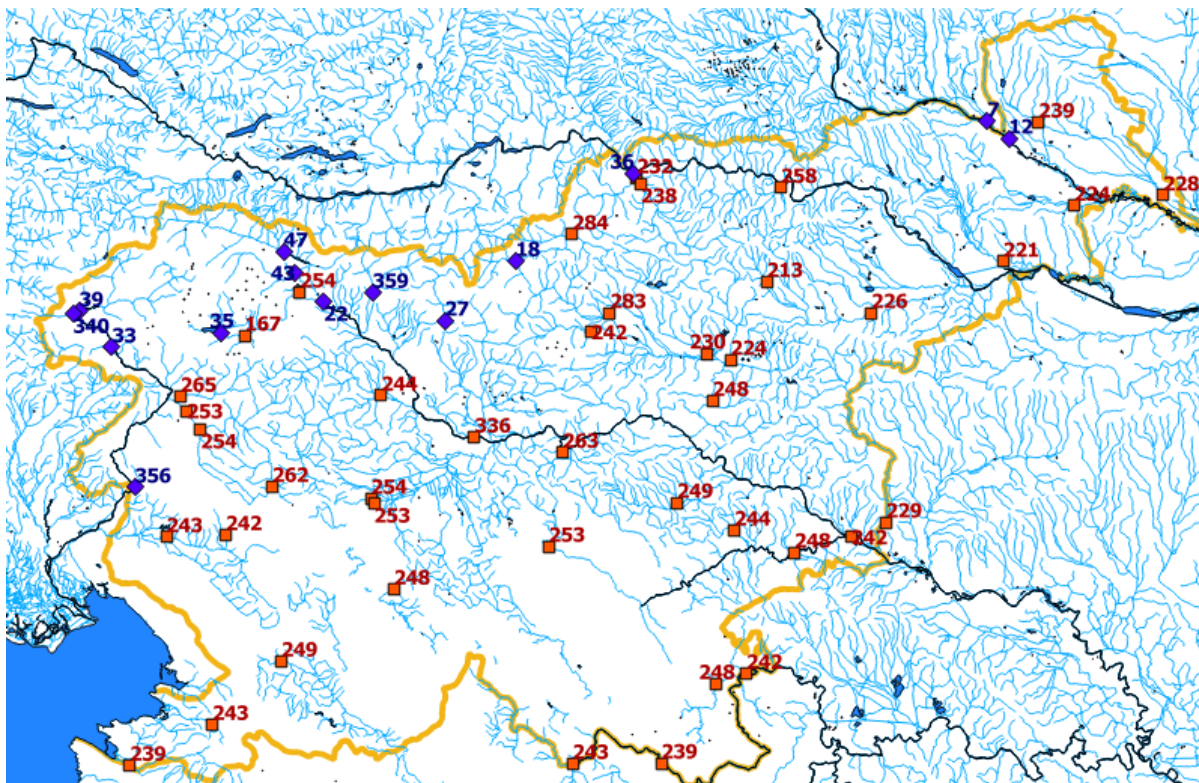
	$C_{MRC,6}$	k_{MRC}	$C_{IRS,6}$	Trajanje deficita (MA)	Trajanje deficita (IT)
$C_{MRC,6}$	1				
k_{MRC}	0.821	1			
$C_{IRS,6}$	0.961	0.792	1		
Trajanje deficita (MA)	0.356	0.178	0.340	1	
Trajanje deficita (IT)	0.151	0.001	0.141	0.797	1

6.3 Analiza sezonskosti

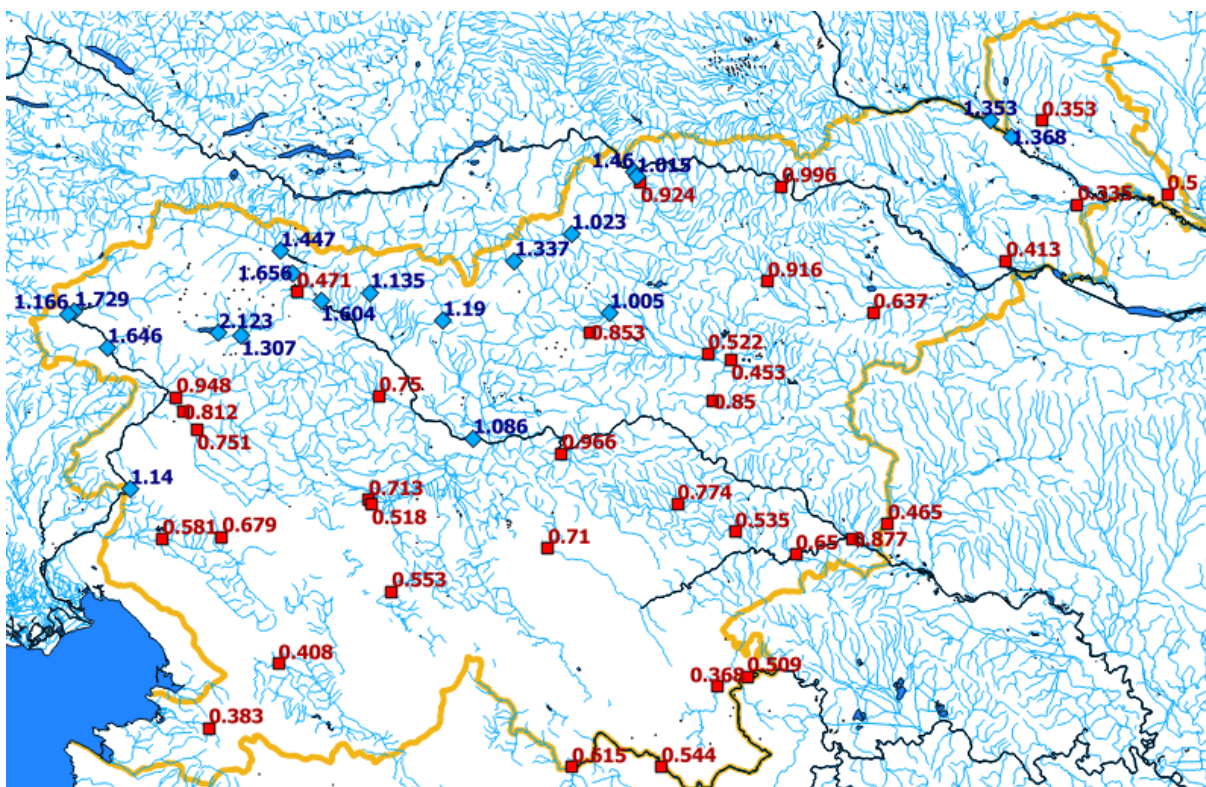
Tako indeks sezonskosti kot razmerje sezonskosti na nek način kažeta režim nizkih pretokov za posamezen vodotok, vendar med njima obstajajo razlike. To je razvidno tudi iz korelacijske matrike (preglednica 17), ki prikazuje povezanost kazalnikov sezonskosti. θ in D izkazujeta največjo povezanost, saj je korelacijski koeficient, ki jo opisuje enak 1. To je pričakovano, saj je indeks D zgolj kot θ , preračunan v julijanski dan v letu. Močno stopnjo negativne korelacije izkazujeta razmerje sezonskosti in kot θ , kar pomeni da sta datum nastopa nizkega pretoka in režim nizkih pretokov (razmerje med poletnimi in zimskimi pretoki) močno povezana. To je lepo vidno tudi na slikah 39 in 40.

Preglednica 17: Korelacijska matrika med kazalniki analize sezonskosti

	θ	D	r	Razmerje sezonskosti
θ	1			
D	1.000	1		
d	-0.278	-0.278	1	
Razmerje sezonskosti	-0.633	-0.633	-0.268	1



Slika 39: Srednja vrednost julijanskega dne nastopa nizkega pretoka za analizirane postaje



Slika 40: Vrednost razmerja sezonskosti za vse analizirane postaje (modra ponazarja zimski režim nizkih pretokov, rdeča pa poletni režim)

6.4 Ostale korelacije

Med tremi skupinami analiz; statistikami nizkih pretokov in indeksom baznega odtoka, analizo sezonskosti ter analizo deficita in recesijskih krivulj, ni zelo močne korelacije, vendar natančnejši pregled kazalnikov nizkega pretoka lahko poda nekaj vzporednic (preglednica 18). Zanimivo povezavo daje npr. korelacija med BFI in recesijsko konstanto $C_{MRC,6}$, ki imata močno stopnjo korelacije, ravno tako sta močno povezana $C_{MRC,6}$ in razmerje sezonskosti.

Srednje močna stopnja korelacije obstaja med vsemi statistikami nizkih pretokov, vključno z indeksom baznega odtoka, in recesijsko konstanto tako po metodi IRS, $C_{IRS,6}$, kot tudi po metodi MRC, $C_{MRC,6}$. Obe recesijski konstanti sta skupaj s stopnjo upadanja recesijske krivulje ($k_{MRC,6}$) srednje močno korelacijsko povezani z razmerjem sezonskosti. Srednje močna stopnja korelacije je tudi med indeksom baznega odtoka in povprečno vrednostjo trajanja deficita po postopku drsečega povprečja (MA) (preglednica 18).

Negativno srednje močno korelacijo kaže kot θ oz. julijanski dan nastopa nizkega pretoka v povezavi z indeksom baznega odtoka, obema recesijskima konstantama in srednjo vrednostjo trajanja deficita po metodi MA.

Preglednica 18: Korelacijska matrika vseh kazalnikov nizkih pretokov

	r	D	Theta	IT	MA	C _{IRS,6}	k _{MRC,6}	C _{MRC,6}	Q ₇₀	Q ₉₀	Q ₉₅	Q _{sr}	MAM ₇	MAM ₁	BFI
Ratio	0.591	-0.436	-0.436	0.275	0.470	0.570	0.307	0.606	0.477	0.486	0.489	0.422	0.491	0.495	1
r	0.041	-0.304	-0.305	0.022	0.374	0.506	0.305	0.517	0.997	0.999	0.999	0.977	0.998	1	
D	0.046	-0.306	-0.306	0.020	0.386	0.502	0.304	0.513	0.996	0.999	1.000	0.973	1		
Theta	0.035	-0.232	-0.232	-0.062	0.291	0.460	0.312	0.474	0.988	0.981	0.978	1			
IT	0.042	-0.300	-0.300	0.013	0.376	0.499	0.305	0.510	0.998	1.000	1				
MA	0.041	-0.297	-0.298	0.007	0.370	0.497	0.305	0.509	0.999	1					
C _{IRS,6}	0.042	-0.289	-0.289	-0.006	0.355	0.492	0.309	0.506	1						
k _{MRC,6}	-0.008	-0.509	-0.509	0.151	0.356	0.961	0.821	1							
C _{MRC,6}	-0.006	-0.275	-0.274	0.001	0.178	0.792	1								
Q ₇₀	0.030	-0.467	-0.467	0.141	0.340	1									
Q ₉₀	0.321	-0.522	-0.522	0.797	1										
Q ₉₅	0.281	-0.285	-0.285	1											
Q _{sr}	-0.633	1.000	1												
MAM ₇	-0.633	1													
MAM ₁	-0.268	1													
BFI	1														

(MA – povprečna dolžina deficita pri postopku MA; IT – povprečna dolžina deficita pri postopku IT; Ratio – indeks sezonskosti)

7 ZAKLJUČKI

Analiza kazalnikov nizkega pretoka je kompleksen proces, ki za doseg zadovoljivih rezultatov zahteva podrobno analizo. V diplomski nalogi smo skušali prikazati značilnosti in obnašanje posameznih kazalnikov, ovrednotiti njihovo uporabo ter najti povezave med njimi. Kot orodje za iskanje tovrstnih povezav in v splošnem za obdelavo podatkov na področju analize nizkih pretokov, se je kot zadovoljiv izkazal program R in nizkim pretokom namenjen paket *lfstat*. Ta ima sicer nekaj manjših pomanjkljivosti, predvsem pri personalizaciji grafičnih prikazov in pisanju rezultatov v zankah, kjer se v hitrosti ne izkaže najbolje. Kljub temu nudi odličen pripomoček za kompleksne izračune na dolgih nizih podatkov.

Na primeru vodomerne postaje Kokra I so bili posamično analizirani vsi predhodno v nalogi predstavljeni kazalniki nizkega pretoka. Kokra je relativno majhen vodotok, ki se hitro odziva na padavine in je pod vplivom hudourniških pritokov, zato so vrednosti statistik, kot so MAM_1 , MAM_7 , Q_{SR} , Q_{70} , Q_{90} in Q_{95} , nizke. Njihove vrednosti so se v manjšem obsegu spreminjale med leti ter tudi povprečno med meseci. Prikazane so bile spremembe režima pretoka med letnimi časi, ki imajo za posledico različne oblike krivulje trajanja. Za izračun deficita vodnega toka so bili analizirani vhodni parametri pri metodah MA in IT ter ugotovljen njihov vpliv na končni izračun. V nadaljevanju je sledil postopek analize recesijske krivulje, kjer so bili ugotovljeni optimalni vhodni parametri za metodi MRC in IRS. Za reko Kokro so se kot ustrezni za izbran odstotek pretoka (Q_{70}) izkazali; *peaklevel* 0.95, *seglength* pri metodi MRC in IRS pa 6 dni. Ugotovljen je bil zimski režim nizkih pretokov z razmerjem med zimskimi in poletnimi pretoki večjim od 1 in nastopom dneva nizkega pretoka v januarju.

Podobne analize so bile v nadaljevanju izvedene še za 55 vodomernih postaj, prostorsko enakomerno porazdeljenih po Sloveniji. Opisali smo značilnosti območja ter razdelili obravnavane vodomerne postaje v pretočne režime, definirane po Hrvatini (1998). Ugotovljeno je bilo, da najmanj vodotokov ustreza dežnemu in snežnemu režimu, večina pa se jih pade v kombinacijo teh dveh. Med režimi prevladujeta alpski in dinarski z različnimi podvariantami, največ postaj pripada dinarskemu dežno-snežnem režimu.

Z izbiro enotnih vhodnih parametrov smo ugotavljali vrednosti kazalnikov nizkega pretoka ter njihove medsebojne interakcije. Zaradi raznolikosti v izbranih vodotokih so si vrednosti statistik med seboj precej različne, izbrani so bili namreč tako manjši vodotoki (Jezernica, Cerknica), kot večje reke (Drava, Mura, Sava).

Analiza krivulj trajanja je pokazala, da ima večina obravnavanih postaj podobno obliko krivulje, od povprečja pa odstopajo reke s kraškim zaledjem, vodotoki z zelo majhno

prispevno površino in reka Dragonja. Za odstopanja in najbolj tipične primere smo krivulje trajanja prikazali tudi grafično ter razložili razloge za njihovo obliko.

Pri analizi recesijskih krivulj se je v večini primerov za ugoden vhodni parameter izkazala 6-dnevna dolžina segmentov (*seglength*), izračunane pa so bile recesijske konstante tudi za segmente dolžine 4, 5 in 7 dni. Tako pri analizi recesijskih krivulj kot pri analizi deficita je bil uporabljen mejni pretok Q_{70} . Analiza deficita je bila izvedena za metodo MA pri 7-dnevnem filtru in metodo IT pri izbranem 5-dnevnem minimalnem času med dvema deficitoma.

Pri analizi korelacij med različnimi kazalniki nizkih pretokov smo ugotovili močno korelacijo med BFI in recesijsko konstanto $C_{MRC,6}$, ravno tako pa sta močno povezana $C_{MRC,6}$ in razmerje sezonskosti. Srednje močna stopnja korelacije obstaja med vsemi statistikami nizkih pretokov, vključno z indeksom baznega odtoka in recesijsko konstanto. Podobno smo ugotovili srednje močno (negativno) povezanost med julijanskim dnem nastopa nizkega pretoka ter indeksom baznega odtoka, obema recesijskima konstantama in srednjo vrednostjo trajanja deficita po metodi MA.

VIRI

ARSO. 2006. Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971-2000). Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 27 str. http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/podnebne_razmere_v_sloveniji_71_00.pdf (Pridobljeno 18. 7. 2014.)

ARSO. 2014. Arhiv površinskih voda. Agencija Republike Slovenije za okolje. http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php (Pridobljeno junij 2014.)

Beck, H.E, van Dijk, A.I.J.M., Miralles, D.G., de Jeu, R.A.M., Bruijnzeel, L.A., McVicar, T.R., Schellekens, J. 2013. Global patterns in base flow index and recession based on streamflow observations from 3394 catchments. *Water Resources Research*. 49, 12: 7843–7863.

Beran, M., & Rodier, J.A. 1985. Hydrological aspects of drought: a contribution to the International Hydrological Programme. Paris, Unesco: 149 str.

Bezak, N. 2012. Verjetnostna analiza visokovodnih konic z metodo vrednosti nad izbranim pragom in z metodo letnih maksimumov. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba: N. Bezak): 106 str.

Burn, D.H. 1997. Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology* 202, 1–4: 212–230.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Dolinar, M., Frantar, P., Hrvatin, M. 2009. Vpliv podnebne spremenljivosti na pretočne in padavinske režime Slovenije. <http://mvd20.com/LETO2008/R1.pdf> (Pridobljeno 25. 7. 2014.)

Fleig, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H., and Demuth, S. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences*. 10, 4: 535–552. <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/535/2006/hess-10-535-2006.pdf> (Pridobljeno 16. 7. 2014.)

Frantar, P., Hrvatin, M. 2008. Pretočni režimi. V: Frantar, P. (ur). *Vodna bilanca Slovenije 1971-2000 = Water balance of Slovenia 1971-2000*. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana: 43-50. http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/vodna%20bilanca/vodna_bilanca.html (Pridobljeno 17. 7. 2014.)

Interaktivni spletni atlas in zemljevid Slovenije, Geopedia. 2013. <http://www.geopedia.si/>
(Pridobljeno 24. 7. 2014)

Globevnik, L. (ur.). 1998. Načrt urejanja povodja, vodnogospodarsko načrtovanje v okvirih približevanja Evropski uniji: načrt urejanja povodja Kokre. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 103 str.

Hisdal, H., Tallaksen, L.M. 2000. Drought Event Definition. V: Hisdal, H. (ur.), Tallaksen, L.M. (ur.). Technical Report to the ARIDE project No. 6. University of Oslo, Department of Geophysics: 41 str.

Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L.M., Demuth, S. 2001. Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology*. 21, 3: 317-333.

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 (samozaložba A. Horvat): 85 str.

Hrvatina, M. 1998. Pretočni režimi v Sloveniji. *Geografski zbornik*. 38: 59-87.

Janža, M. 2006. Analiza odvisnosti indeksa baznega odtoka od lastnosti povodja. *Geografski informacijski sistemi 2005—2006*. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika ter inštitut za antropološke in prostorske študije ZRCSAZU: 103–111.

Kobold, M., Sušnik, M. 2003. Hidrološke razmere površinskih voda opazovanih slovenskih rek v letu 2003. *Mišičev vodarski dan, 2003*.

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 22. 2. 2014.)

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 str.

Laaha, G. 2006. Seasonality indices for regionalizing low flows. *Hydrological Processes*. 20, 18: 3851–3878.

Laaha, G., Blöschl, G. 2006. Seasonality indices for regionalizing low flows. *Hydrological Processes*. 20, 18: 3851–3878.

Lott, D.A., Stewart, M.T. 2013. A Power Function Method for Estimating Base Flow. *Groundwater*. 51, 3: 442–451.

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

R-project, version 3.0.2. 2014. <http://www.r-project.org/> (Pridobljeno 20. 2. 2014.)

Smakhtin, V.U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*. 240, 3–4: 147–186.

Srebrnič, T. 2005. Časovna razporeditev padavin in pretokov v Sloveniji z analizo sezonskosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba T. Srebrnič): 137 str.

Tallaksen, L.M. 1995. A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology*. 165, 1–4: 349–370.

Tallaksen, L.M., 1989. Analysis of time variability in recessions. *FRIENDS in Hydrology*, IAHS Publication, 187: 85-96.

World Meteorological Organization (WMO). 2009. Manual of Low-flow Estimation and Prediction. Operational Hydrology Report No. 50. (WMO-No. 1029). Ženeva: 136 str.

Young, A.R., Round, C.E., Gustard, A., 2000. Spatial and temporal variations in the occurrence of low flow events in the UK. *Hydrology and Earth System Sciences*. 4: 35-45.

Zambrano-Bigiarini, M., Bellin, A. 2013. Package 'hydroGOF'. <http://cran.r-project.org/web/packages/hydroGOF/index.html> (Pridobljeno 26. 7. 2014.)

Zgonik, T. 2008. Sezonskost mesečnih pretokov v Sloveniji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba T. Zgonik): 115 str.

Žogan, A. 2013. Analiza nizkih pretokov vodotokov porečja Ljubljanice. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (samozaložba A. Žogan): 88 str.

PRILOGE

PRILOGA A: SEZNAM ANALIZIRANIH VODOMERNIH POSTAJ S PODATKI O
KOORDINATAH IN KOTI TERENA

PRILOGA A: SEZNAM ANALIZIRANIH VODOMERNIH POSTAJ S PODATKI O KOORDINATAH IN KOTI TERENA

Šifra postaje	Stacionaža	Zaledje (km ²)	GKY	GKX	LON	LAT	KOTA "0"
1060	106,64	10197,2	576509	171284	16,00025	46,68151	202,338
1070	100,47	10391,44	581070	167710	16,05924	46,64882	193,763
1140	5,78	272,54	594880	153470	16,23673	46,51891	169,768
1220	44,33	208,21	587362	171082	16,14208	46,67836	191,399
1260	11,54	861,69	613705	155645	16,48256	46,53556	154,67
2010	428,82	12071,3	501800	160290	15,02349	46,58696	
2220	29	94,77	488729	147383	14,85322	46,47073	573,416
2250	1,35	550,89	502357	159305	15,03076	46,57809	333,966
2390	1,68	230,89	503225	158167	15,04207	46,56785	344,735
2530	0,54	74,14	532840	157270	15,42837	46,55899	298,945
2600	63,7	41,43	529858	137381	15,3882	46,38017	305,723
2640	30,6	301,52	551997	130796	15,67529	46,31958	240,22
2900	9,86	477,8	579855	141640	16,03889	46,41443	201,856
3060	919,45	257,56	427697	143744	14,05902	46,43421	566,433
3180	3,8	166,79	430058	139229	14,09042	46,39384	566,067
3200	32,8	93,99	414565	126620	13,89127	46,27862	524,948
3320	0,4	kras	419451	126031	13,95476	46,27392	504,33
3400	1,28	8,61	431109	135174	14,10468	46,35747	467,515
3420	900,95	907,97	436120	133220	14,17006	46,34038	408,086
3570	847,1	2284,8	468075	104515	14,58715	46,08435	268,185
3650	818,65	4821,43	486670	101285	14,82771	46,0559	230,444
3850	736,695	10186,45	547709	83402	15,61485	45,89345	137,279
4050	11,17	121	446470	135100	14,30431	46,35819	488,734
4120	18,01	112,34	461770	129206	14,50362	46,30619	522,847
4200	7,98	566,34	448320	113319	14,33074	46,16235	329,47
4660	19,6	164,48	510900	90700	15,14064	45,96069	228,92
4740	8,07	559,99	555070	86540	15,71007	45,92113	139,21
4820	268,33	460	488780	35521	14,8565	45,46412	219,683
4850	238,24	1191	507555	35610	15,09662	45,46497	175,246
4860	181,5	2002	525549	54558	15,32775	45,63506	127,18
4970	7,32	221,32	519295	52380	15,24743	45,61567	128,998
5030	38,73	kras	446125	91575	14,30477	45,96653	284,65
5240	2,9	kras	446781	90583	14,31335	45,95766	286,283
5770	4,6	47,29	450985	72380	14,36944	45,79418	559,583
6020	89,45	63,7	476784	141780	14,69794	46,42001	636,011
6060	56,64	457,3	496710	130800	14,95727	46,3216	336,97
6200	14,34	1663,6	518410	112230	15,23838	46,15427	215,025
6240	7,66	100,84	492677	126735	14,90495	46,285	368,642

se nadaljuje ...

... nadaljevanje priloge A

6630	2,5	102,89	517346	122220	15,22497	46,24419	240,951
6720	2,18	202,2	522215	120919	15,28805	46,23234	234,073
7030	91,27	321,44	483750	81425	14,79064	45,87712	259,224
7160	16,05	2238,12	535726	80170	15,46018	45,86509	146,323
7380	7,03	107,96	523015	84856	15,29668	45,9078	159,714
8060	108,46	324,74	384435	131180	13,49925	46,31518	340,248
8080	94,41	437,02	391369	123552	13,59103	46,24771	194,859
8180	44,23	1572,8	396180	93920	13,65989	45,98189	51,844
8270	0,57	50,21	383125	130645	13,48238	46,31015	341,551
8350	42,73	112,84	425277	94075	14,03539	45,98708	327,04
8450	5,27	442,83	407154	110061	13,79836	46,12868	160,81
8480	0,5	54,7	410105	106265	13,83727	46,09492	186,225
8500	1,54	142,31	405797	113112	13,7802	46,15594	163,825
8590	20,98	468,51	402871	83430	13,74836	45,8885	54,298
8630	3,35	93,15	415402	83863	13,90973	45,89405	107,403
9050	7,95	377,89	427181	57164	14,06553	45,65517	341,716
9210	13,25	204,5	412595	43764	13,88079	45,53291	57,682
9300	6,46	92,71	395130	35142	13,65905	45,45293	9,81