

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:

Pevc, F., 2016. Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji s programom DFLOW. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M.): 89 str.

Datum arhiviranja: 27-05-2016

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:

Pevc, F., 2016. Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji s programom DFLOW. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M.): 89 pp.

Archiving Date: 27-05-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO**

Kandidat:

FRANCI PEVC

**ANALIZA NIZKIH PRETOKOV VODOTOKOV V
SLOVENIJI S PROGRAMOM DFLOW**

Diplomska naloga št.: 279/VKI

**LOW-FLOW ANALYSIS OF STREAM FLOWS IN
SLOVENIA USING DFLOW SOFTWARE**

Graduation thesis No.: 279/VKI

Mentorica:

doc. dr. Mojca Šraj

Ljubljana, 24. 05. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVE

Podpisani Franci Pevc izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji s programom DFLOW«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 10. 5. 2016

Franci Pevc

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	556.167(497.4)(043.2)
Avtor:	Franci Pevc
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Naslov:	Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji s programom DFLOW
Tip dokumenta:	diplomska naloga–univerzitetni študij
Obseg in oprema:	89 str., 26 pregl., 36 sl., 14 en.
Ključne besede:	nizki pretoki, kazalniki nizkih pretokov, biološka metoda, hidrološka metoda, ekološko sprejemljivi pretok, DFLOW

Izveček

Izračuni nizkih pretokov so bistvenega pomena pri spremljanju vodotokov in zagotavljanju njihove kakovosti, saj so življenjsko okolje za mnoge živali in rastline. Na razpolago je več različnih kazalnikov izračunavanja nizkih pretokov, kot so npr. krivulja trajanja pretokov, deficit vodnega toka, indeks baznega odtoka, petindevetdesetodstotni pretok Q_{95} , srednji letni minimum itd. V ZDA za izračun nizkih pretokov najpogosteje uporabljajo dve metodi, in sicer hidrološko (xQy) in biološko (xBy). Izračun nizkih pretokov po obeh metodah omogoča program DFLOW. Hidrološka metoda je statistična, biološka metoda pa je empirična in temelji neposredno na kriterijih za kakovost vodnega življenja. Kriteriji so izraženi v obliki dveh koncentracij namesto ene, tako da lahko bolj natančno odražajo toksikološka in dejanska stanja vodotoka. Koncentraciji sta CCC, ki določa dovoljeno stalno koncentracijo onesnaževal v vodotoku in CMC, ki določa maksimalno koncentracijo onesnaževal v vodotoku.

V diplomski nalogi so narejeni izračuni nizkih pretokov in odstopanj s programom DFLOW za 56 vodomernih postaj po Sloveniji. Za izračunane pretoke $4B3$, $7Q10$, $1B3$ in $1Q10$ sta bili narejeni analiza ter primerjava z izračunanim Q_{95} . Izkazalo se je, da so izračunani pretoki v programu DFLOW v primerjavi s Q_{95} bistveno nižji. Za izbranih 15 vodomernih postaj pa je bila narejena še primerjava z ekološko sprejemljivim pretokom po slovenski metodologiji in metodah izbranih evropskih držav. Najmanjše razlike pretokov $4B3$, $7Q10$, $1B3$ in $1Q10$ smo dobili pri primerjavi s povratnim odvzemom po slovenski metodologiji in avstrijski metodi Q_{361} .

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	556.167(497.4)(043.2)
Author:	Franci Pevc
Supervisor:	Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph.D.
Title:	Low-flow analysis of stream flows in Slovenia using DFLOW software
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	89 p., 26 tab., 36 fig., 14 eq.
Keywords:	low-flow, low flow indices, biological method, hydrological method, ecological acceptable flow, DFLOW

Abstract

The calculation of low flows is crucial for monitoring streams and ensuring their quality, because they are habitat for many animals and plants. There is a number of different indices for calculation of low flows, such as flow duration curve, streamflow deficit, base flow index, ninety-five percentile flow Q_{95} mean annual minima etc. In USA most commonly used methods for calculation of low flows are hydrological (xQy) and biological (xBy). Both methods can be implemented with DFLOW software. Hydrological method is statistical, biological one is empirical and uses aquatic life water quality criteria directly for its implementation. Criteria are expressed as two concentrations, instead of one, so that criteria can more exactly reflect toxicological and practical realities. The two concentrations are CCC, which provides the highest concentration of pollutants that could be maintained indefinitely in the stream and CMC, which determines maximum concentration of pollutants in the stream.

In graduation thesis calculations of low flows and excursions with DFLOW software are conducted for 56 Slovenian gauging stations. For calculated flows $4B3$, $7Q10$, $1B3$ and $1Q10$ an analysis and comparison with calculated Q_{95} were made. It has turned out that the calculated flows with software DFLOW compared to Q_{95} are significantly lower. For 15 selected gauging stations a comparison with ecologically acceptable flow by the Slovenian methodology and methods of selected European countries was also made. The smallest difference have occurred by comparison of flows $4B3$, $7Q10$, $1B3$ and $1Q10$ with the return withdrawal by the Slovenian methodology and Austrian method Q_{361} .

ZAHVALA

Za pomoč, usmerjanje in podporo skozi celoten študij in pri izdelavi diplomske naloge se iz vsega srca zahvaljujem svoji mentorici doc. dr. Mojci Šraj.

Zahvaljujem se za vso podporo in vzpodbudne besede v času študija tudi svoji družini, sošolcem in prijateljem, še posebej G. L., trenerju R. K. in svoji puncici Š. Š.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD	1
2 KAZALNIKI NIZKIH PRETOKOV IN EKOLOŠKO SPREJEMLJIVI PRETOK	3
2.1 Statistike nizkih pretokov	3
2.1.1 Srednji pretok Q_{SR}	3
2.1.2 Petindevetdesetodstotni pretok Q_{95}	4
2.1.3 Srednji letni minimum MAM (n-dan).....	5
2.2 Bazni odtok.....	6
2.2.1 Indeks baznega odtoka BFI	7
2.3 Krivulja trajanja pretoka.....	8
2.3.1 Definicija in izdelava krivulje trajanja.....	8
2.3.2 Trajanje	11
2.3.3 Percentili	11
2.4 Analize recesijskih krivulj.....	12
2.5 Deficit vodnega toka.....	14
2.6 Določanje nizkih pretokov v Združenih državah Amerike.....	17
2.6.1 Biološka metoda.....	17
2.6.1.1 Odstopanja.....	18
2.6.1.2 Izračun odstopanj.....	19
2.6.1.3 Izpeljava trajanja in pogostosti za CCC in CMC.....	19
2.6.1.4 Trajanje povprečnih obdobj.....	21
2.6.1.5 Pogostost	22
2.6.1.6 Postopek za izračun nizkih projektnih pretokov po biološki metodi.....	23
2.6.2 Hidrološka metoda	25
2.6.2.1 Postopek za izračun nizkih pretokov pri hidrološki metodi	25
2.7 Ekološko sprejemljivi pretok v Sloveniji	27
3 PROGRAM DFLOW	32
3.1 Priprava vhodne datoteke	32
3.2 Možnosti programa DFLOW.....	34
3.2.1 Določanje klimatološkega/hidrološkega leta	34
3.2.2 Določanje časovnega obdobja izračunov	34
3.2.3 Določanje bioloških parametrov	35
3.2.4 Določanje hidroloških parametrov	36
3.3 Prikaz rezultatov v programu DFLOW	36

4	PRIMER ANALIZE NIZKIH PRETOKOV REKE MIRNE NA VODOMERNI POSTAJI MARTINJA VAS I S PROGRAMOM DFLOW	38
4.1	Opis porečja Mirne.....	38
4.2	Izračun nizkih pretokov za vodomerno postajo Martinja vas I s programom DFLOW	41
5	IZRAČUN NIZKIH PRETOKOV S PROGRAMOM DFLOW ZA IZBRANE VODOMERNE POSTAJE V SLOVENIJI	44
5.1	Splošni podatki o vodomernih postajah	44
5.2	Opis obravnavanega območja	46
5.2.1	Geološka sestava tal in relief	46
5.2.2	Pedološka sestava tal in pokrovnost tal	49
5.2.3	Podnebje in njegove značilnosti	51
5.2.3.1	Padavine	52
5.2.3.2	Snežna odeja.....	53
5.2.3.3	Temperatura	54
5.2.4	Vode.....	54
5.2.4.1	Pretočni režimi	55
5.3	Izračun nizkih pretokov s programom DFLOW	57
5.3.1	Primerjava in analiza rezultatov	57
5.3.2	Primerjava in analiza odstopanj.....	61
5.3.2.1	Odstopanja po kriteriju stalne koncentracije (CCC)	61
5.3.2.2	Odstopanja po kriteriju maksimalne koncentracije (CMC).....	65
6	PRIMERJAVA IN ANALIZA Z OSTALIMI KAZALNIKI NIZKIH PRETOKOV... 69	
6.1	Primerjava in analiza s Q_{95}	69
6.1.1	Izračun in primerjava odstopanj po kriterijih CCC in CMC za Q_{95}	71
6.2	Primerjava z ekološko sprejemljivim pretokom Q_{es}	75
6.2.1	Primerjava in analiza s Q_{es} za izbrane postaje po slovenski metodologiji.....	76
6.2.1.1	Izračun in primerjava odstopanj po kriterijih CCC in CMC za Q_{es} v Sloveniji.....	78
6.2.2	Primerjava in analiza s Q_{es} za izbrane postaje po metodologijah nekaterih evropskih držav.....	79
7	ZAKLJUČKI.....	84
VIRI	.....	86

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primer izračuna Q_{95}	4
Preglednica 2: Primer izračuna 7-dnevni povprečni pretokov.....	5
Preglednica 3: Izračun krivulje trajanja pretoka reke Drammenselv v Fiskumu na Norveškem (Prirejeno po WMO, 2008: str. 51).....	10
Preglednica 4: Faktorji frekvence K za log-Pearsonovo III porazdelitev (EPA, 1986).....	26
Preglednica 5: Skupine ekoloških tipov vodotokov (Ur. l. RS št. 97/2009).....	29
Preglednica 6: Vrednosti faktorja f za nepovratni odvzem (Ur. l. RS št. 97/2009).....	30
Preglednica 7: Vrednosti faktorja f za povratni odvzem (Ur. l. RS št.97/2009).....	31
Preglednica 8: Šifrant hidrografskih območij (Povzeto po Brilly in Šraj, 2006: str. 7)	39
Preglednica 9: Izračunani nizki pretoki, percentili in število odstopanj po kriteriju stalne koncentracije (CCC) za vodomerno postajo Martinja vas I (1963–2012)	41
Preglednica 10: Izračunani nizki pretoki, percentili in število odstopanj po kriteriju maksimalne koncentracije (CMC) za vodomerno postajo Martinja vas I (1963–2012).....	42
Preglednica 11: Podrobnejši prikaz odstopanj po kriteriju stalne koncentracije (CCC) za vodomerno postajo Martinja vas I (1963–2012).....	42
Preglednica 12: Podrobnejši prikaz odstopanj po kriteriju maksimalne koncentracije (CMC) za vodomerno postajo Martinja vas I (1963–2012)	43
Preglednica 13: Seznam obravnavanih vodomernih postaj in uporabljenih obdobji.....	45
Preglednica 14: Primerjava pretočnih režimov v obdobjih 1961–1990 in 1971–2000 (Povzeto po Frantar in Hrvatin, 2005: str. 124).....	57
Preglednica 15: Izračunani nizki pretoki po kriterijih CCC in CMC ter njihova primerjava za izbrane vodomerne postaje.....	58
Preglednica 16: Izračunana odstopanja po kriteriju CCC ter njihova primerjava za izbrane vodomerne postaje.....	61
Preglednica 17: Izračunana odstopanja po kriteriju CMC ter njihova primerjava za izbrane vodomerne postaje.....	65
Preglednica 18: Vrednosti nizkih pretokov po kriterijih CCC in CMC (DFLOW) ter Q_{95}	69
Preglednica 19: Korelacijska matrika primerjanih kazalnikov nizkih pretokov.....	71
Preglednica 20: Odstopanja po kriterijih CCC in CMC za Q_{95}	72
Preglednica 21: Seznam izbranih vodomernih postaj za primerjavo s Q_{es}	75
Preglednica 22: Vrednosti kazalnikov nizkih pretokov DFLOW in Q_{es} za izbrane slovenske postaje	76
Preglednica 23: Korelacijska matrika primerjanih kazalnikov nizkih pretokov s Q_{es}	77
Preglednica 24: Število odstopanj na tri leta po kriteriju CCC	78
Preglednica 25: Število odstopanj na tri leta po kriteriju CMC.....	78
Preglednica 26: Vrednosti pretokov DFLOW in ekološko sprejemljivih pretokov za izbranih 15 vodomernih postaj	80

KAZALO SLIK

Slika 1: Deli hidrograma pretoka in hidrogram baznega odtoka (Povzeto po Kovačič, 2012: str. 5).....	7
Slika 2: Teoretične krivulje trajanja pretoka za vlažno, povprečno vlažno in suho leto (Prirejeno po Žugaj in sod., 2011)	9
Slika 3: Krivulja trajanja za reko Drammenselv v Fiskumu na Norveškem (Prirejeno po WMO, 2008: str. 50)	9
Slika 4: Krivulja upadanja (Povzeto po Petek, 2014: str. 13)	12
Slika 5: Glavna recesijska krivulja za vodomerno postajo Radovljica I (vodotok Sava) (Povzeto po Petek, 2014: str. 15)	13
Slika 6: Prikaz značilnih kazalnikov za deficit vodnega toka: trajanje d_i , čas začetka t_i , volumen deficita v_i in minimalni pretok $Q_{\min,i}$ (Povzeto po Fleig in sod., 2006: str. 537)	15
Slika 7: Prikaz manjših sušnih obdobj in medsebojno odvisnih sušnih obdobj (Prirejeno po Fleig in sod., 2006: str. 538).....	16
Slika 8: Prikaz razlik med različnimi postopki razvrščanja (Prirejeno po Fleig in sod., 2006: str. 548)	17
Slika 9: Ponazoritev obdobj pri biološki metodi (Prirejeno po EPA, 1986)	19
Slika 10: Prikaz vhodne datoteke za program DFLOW	33
Slika 11: Določanje klimatološkega/hidrološkega leta	34
Slika 12: Določanje časovnega obdobja izračunov	35
Slika 13: Določanje bioloških parametrov	35
Slika 14: Določanje hidroloških parametrov.....	36
Slika 15: Prikaz rezultatov v programu DFLOW.....	37
Slika 16: Prikaz dodatnih izračunov za pretok xQy	37
Slika 17: Dodatna analiza odstopanj za pretok xBy	37
Slika 18: Lokacija obravnavane vodomerne postaje Martinja vas I.....	38
Slika 19: Reka Mirna (Dolenjskolist.si, 2016).....	40
Slika 20: Prikaz obravnavanih vodomernih postaj.....	44
Slika 21: Geološka sestava tal Slovenije (eGradiva, 2016).....	47
Slika 22: Hidrogeološka zgradba Slovenije (Atlas voda, 2016)	48
Slika 23: Relief Slovenije (ZRC SAZU, 2016).....	49
Slika 24: Pedološka sestava tal Slovenije (eGradiva, 2016)	50
Slika 25: Pokrovnost tal Slovenije (Atlas okolja, 2016)	51
Slika 26: Podnebni tipi in podtipi Slovenije (Geodetski inštitut Slovenije, 2016).....	52
Slika 27: Povprečna letna višina korigiranih padavin Slovenije (Atlas okolja, 2016).....	53
Slika 28: Rečna mreža obravnavanega območja (i-Učbeniki, 2016)	55

Slika 29: Graf odvisnosti $4B3$ od $7Q10$	60
Slika 30: Graf odvisnosti $1B3$ od $1Q10$	60
Slika 31: Histogram odstopanj na tri leta za $4B3$	63
Slika 32: Histogram odstopanj na tri leta za $7Q10$	64
Slika 33: Histogram odstopanj na tri leta za $1B3$	67
Slika 34: Histogram odstopanj na tri leta za $1Q10$	68
Slika 35: Histogram odstopanj na tri leta po kriteriju CCC za Q_{95}	74
Slika 36: Histogram odstopanj na tri leta po kriteriju CMC za Q_{95}	75

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
<i>BFI</i>	Base Flow Index; indeks baznega odtoka
CCC	Criterion Continuous Concentration; kriterij stalne koncentracije
CMC	Criterion Maximum Concentration; kriterij maksimalne koncentracije
EPA	U.S. Environmental Protection Agency; ameriška Agencija za varstvo okolja
IRS	Individual Recession Segments; metoda posameznih recesijskih segmentov
IT	Inter-event time method; metoda medčasovnega dogodka
MA	Moving average procedure; postopek drsečega povprečja
<i>MAM</i>	Mean Annual Minima; srednji letni minimum
MRC	Master recession Curve; glavna recesijska krivulja
SPA	Sequent peak algorithm; algoritem zaporednih konic
<i>Q_{es}</i>	ekološko sprejemljivi pretok
<i>xBy</i>	izračunani nizki biološki pretok v programu DFLOW po biološki metodi
<i>4B3</i>	biološki pretok, ki predstavlja 4-dnevni 3-letni biološki pretok, ki upošteva pogostost kriterija stalne koncentracije
<i>1B3</i>	biološki pretok, ki predstavlja 1-urni povprečni 3-letni biološki pretok, ki upošteva pogostost kriterija maksimalne koncentracije
<i>xQ_y</i>	izračunani nizki hidrološki pretoki v programu DFLOW po hidrološki metodi
<i>7Q10</i>	povprečni 7-dnevni nizki pretok s povratno dobo 10 let
<i>1Q10</i>	povprečni 1-dnevni nizki pretok s povratno dobo 10 let
<i>7Q5</i>	povprečni 7-dnevni nizki pretok s povratno dobo 5 let
<i>1Q10</i>	povprečni 1-dnevni nizki pretok s povratno dobo 10 let

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Voda je eden najpomembnejših virov življenja na Zemlji, saj omogoča razmnoževanje in razvoj vsem živalskim in rastlinskim vrstam. Tudi za človekovo življenje je voda ključnega pomena. Že v zgodovini se je človek naseljeval v njeni bližini in jo uporabljal za pridelovanje hrane in transport. Kasneje je, zaradi večanja svetovnega prebivalstva in nenehnega gospodarskega napredka, vodo začel izkoriščati tudi v ekonomske namene. Danes vodo izkoriščamo praktično v vseh panogah gospodarstva. Uporabljamo jo v kmetijstvu in ribištvu, za transport, za pridobivanje elektrike, v panogah predelovalne industrije, pa tudi v turizmu, kar pušča negativne posledice na vodnih sistemih, ki so življenjsko okolje za mnogo živih bitij. Da bi torej omogočili vodnim rastlinam in živalim normalno življenje, moramo s trajnostnim upravljanjem poskrbeti za zdrav vodni ekosistem, in sicer tako, da vode spremljamo, nadzorujemo ter ob ugotovitvi neustreznih stanj tudi pravočasno ukrepamo.

Za trajnostno upravljanje z vodami je treba dobro poznati različne komponente pretočnih režimov. Ena od pomembnejših komponent je nizki pretok, ki ga Smakhtin (2001) opredeli kot pretok, ki se pojavi med daljšim sušnim obdobjem, in je sezonski pojav. Za njegovo določitev obstaja več različnih kazalnikov, najpogostejši med njimi so predstavljeni v priročniku World Meteorological Organization (2009). V današnjih časih pa poleg nizkega pretoka, katerega izračuni temeljijo na dnevni vrednostih merjenih pretokov, uporabljamo tudi ekološko sprejemljivi pretok Q_{es} , ki v svoje izračune vključuje še druge dejavnike. Po Dyson in sod. (2008) je ekološko sprejemljivi tisti pretok, ki zagotavlja takšno količino in kvaliteto vode, s katerima ohranjamo in varujemo vodne in obvodne ekosisteme ter njihove vire.

V Združenih državah Amerike sta trenutno za izračun nizkih pretokov najpogosteje uporabljeni dve metodi. Prva metoda je statistična in temelji na podatkih izmerjenih dnevni pretokov (v nadaljevanju: hidrološka metoda). Novejša metoda pa je empirična in se ukvarja z dejanskimi izmerjenimi pretoki ter v svojih izračunih neposredno uporablja kriterije za kakovost vodnega življenja s strani ameriške Agencije za varstvo okolja (v nadaljevanju: biološka metoda) (EPA, 1986). Kriteriji so izraženi v obliki dveh koncentracij namesto ene, in sicer kriterij stalne koncentracije (ang. *Criterion Continuous Concentration*, CCC) je 4-dnevna koncentracija onesnaževal v vodotoku, ki v povprečju ne sme biti presežena več kot enkrat vsake tri leta in predstavlja zaščito pred kroničnimi (dolgotrajnimi) učinki. Kriterij maksimalne koncentracije (ang. *Criterion Maximum Concentration*, CMC) pa je enourna povprečna koncentracija onesnaževal v vodotoku, ki v povprečju ne sme biti presežena več kot enkrat vsake tri leta in predstavlja zaščito pred akutnimi (kratkotrajnimi) učinki. Za namen izračuna nizkih pretokov po obeh metodah je ameriška Agencija za varstvo okolja razvila program DFLOW (EPA, 1986).

Namen diplomske naloge je spoznati se z nekaterimi najpogostejšimi kazalniki nizkih pretokov, predstaviti program DFLOW ter preveriti njegovo uporabnost za slovenske vodotoke. V ta namen sta bili narejeni analiza nizkih pretokov s programom DFLOW na izbranih vodomernih postajah ter primerjava rezultatov z nekaterimi drugimi kazalniki nizkih pretokov.

2 KAZALNIKI NIZKIH PRETOKOV IN EKOLOŠKO SPREJEMLJIVI PRETOK

Nizek pretok je pretok, ki se pojavi med daljšim sušnim obdobjem (Smakhtin, 2001). Nizek pretok je sezonski pojav in pomembna komponenta pretočnega režima vsakega vodotoka. Za pridobitev informacij o nizkem pretoku obstaja veliko različnih analiz ter obdelav dnevni vrednosti merjenih pretokov. Število analiz se povečuje predvsem zaradi različnih metod izražanja pogostosti, različnih definicij pojava nizkih pretokov in različnih trajanj ali določanja povprečnih časovnih obdobj (WMO, 2008).

V današnjih časih pa se čedalje bolj pojavljajo tudi zahteve po ohranitvi in obnovi vodnih ekosistemov, ki pa jih lahko dosežemo z vzpostavitvijo ekološko sprejemljivega pretoka (Acreman in Dunbar, 2004). Ekološko sprejemljivi pretok Q_{es} je pretok, ki zagotavlja takšno količino in kvaliteto vode, s katerima ohranjamo in varujemo vodne in obvodne ekosisteme ter njihove vire (Dyson in sod., 2008). Za določanje ekološko sprejemljivega pretoka obstaja veliko metod, katere lahko delimo v štiri večje kategorije. V prvo kategorijo spadajo hidrološke metode, ki predstavljajo 30 % vseh metod, med katere spada tudi Tennantova metoda, sicer ena najbolj uporabljenih metod po svetu (Tharme, 2003). Druga največja kategorija zajema metode simulacije habitatov in predstavlja 28 % vseh metod. Naslednja večja kategorija so hidravlične metode, ki predstavljajo 11 % vseh metod. Zadnja večja kategorija vključuje celovite metodologije, njen delež med vsemi metodami pa je 7,7 % (Tharme, 2003).

V nadaljevanju je predstavljenih nekaj najpogosteje uporabljenih kazalnikov nizkih pretokov. Poleg tega so opisane tudi dve metodi, ki se uporabljata v Združenih državah Amerike in sta vgrajeni v program DFLOW, ter metoda za določanje ekološko sprejemljivega pretoka v Sloveniji.

2.1 Statistike nizkih pretokov

2.1.1 Srednji pretok Q_{SR}

Srednji pretok (ang. *mean flow*) je ena izmed najpogosteje uporabljenih statistik v hidrologiji in pri načrtovanju z vodnimi viri (WMO, 2008). Ocenimo ga iz serije izmerjenih dnevni pretokov, in sicer tako, da seštejemo vse dnevne pretoke in nato seštevek delimo s številom dni v vzorcu meritev. Običajno se ga izračuna za posamezno koledarsko ali hidrološko leto, lahko pa se ga izračuna za posamezen mesec ali sezono (WMO, 2008; Petek, 2014). Enačba (1) za izračun srednjega pretoka je:

$$Q_{SR} = \frac{\text{vsota vseh dnevni pretokov}}{\text{število dni}}. \quad (1)$$

2.1.2 Petindevetdesetodstotni pretok Q_{95}

Petindevetdesetodstotni pretok je prav tako eden od najbolj pogosto uporabljenih pokazateljev nizkih pretokov in je definiran kot pretok, ki je presežen v 95 % časa (WMO, 2008). Določimo ga tako, da razvrstimo vse dnevne pretoke v padajočo ranžirno vrsto ter določimo vrednost, ki presega petindevetdeset odstotkov vseh izmerjenih vrednosti pretokov, ali pa z uporabo krivulje trajanja pretokov. Q_{95} lahko določimo za posamezni mesec, več mesecev ali katerokoli obdobje, ki ga izberemo (WMO, 2008).

Če vzamemo, za primer, obdobje enega leta (365 dni), se pretok, ki je presežen v 95 odstotkih časa, pojavi med 346. in 347. dnem. Če dobimo različna pretoka v omenjenih dneh, uporabimo linearno interpolacijo. V preglednici 1 je prikazan primer izračuna Q_{95} .

Preglednica 1: Primer izračuna Q_{95}

Dan	Datum	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]	Q_{95} [m ³ /s]
1	01.01.1982	33,9	84,5	
2	02.01.1982	19,3	41,7	
3	03.01.1982	10,4	33,9	
4	04.01.1982	7,61	32,7	
:	:	:	:	
:	:	:	:	
344	10.12.1982	13,9	1,52	
345	11.12.1982	26	1,52	
346	12.12.1982	11,2	1,52	1,52
347	13.12.1982	8,5	1,52	
348	14.12.1982	7,02	1,52	
349	15.12.1982	6,23	1,52	
:	:	:	:	
:	:	:	:	
362	28.12.1982	6,42	1,45	
363	29.12.1982	6,03	1,45	
364	30.12.1982	5,48	1,45	
365	31.12.1982	5,13	1,45	

2.1.3 Srednji letni minimum MAM (n-dan)

Srednji letni minimum (ang. *mean annual minima*) izračunamo iz serije izmerjenih dnevni pretokov, in sicer tako, da iz te serije določimo najnižji letni pretok ter izračunamo srednjo vrednost vseh letnih minimalnih vrednosti. Pogosto so v uporabi minimumi različno dolgih obdobj (1, 7, 10, 30 ali 90 dni) (WMO, 2008; Petek, 2014). Smakhtin (2001) priporoča uporabo 7-dnevnega obdobja (MAM_7), saj s tem izločimo dnevne variacije v pretoku, prav tako pa zmanjšamo možne napake pri meritvah. V zmernih podnebnjih je srednji letni 7-dnevni minimum (MAM_7) po vrednosti podoben petindevetdesetodstotnemu pretoku (Q_{95}) (WMO, 2008).

Hidrološko leto mora biti izbrano tako, da obdobje nizkega pretoka ni razdeljeno med dvema letoma. Na severni polobli se pogosto izbere kar koledarsko leto, saj se večina obdobj nizkega pretoka zgodi pozno poleti (julija in avgusta). Na južni polobli pa se večina obdobj nizkega pretoka zgodi med decembrom in februarjem (WMO, 2008). V Rusiji in v vzhodni Evropi sta za oceno poletnih in zimskih nizkih pretokov najpogosteje uporabljena MAM_1 in MAM_{30} (Smakhtin, 2001), medtem ko sta MAM_7 in MAM_{10} uporabljena pri ocenah potencialnih območij, ki bi bila lahko primerna za namakanje (WMO, 2008).

Srednji letni minimum lahko uporabimo pri porazdelitvenih funkcijah za oceno pogostosti ali povratnih dob nizkih pretokov (WMO, 2008).

Postopek za izračun MAM (WMO, 2008; Žogan, 2013):

a) Izračun

Za izračune lahko uporabimo program Microsoft Office Excel. V preglednici 2 imamo v prvem stolpcu prikazane datume, v drugem dnevne pretoke, ki predstavljajo MAM_1 , ter v tretjem stolpcu izračunane 7-dnevne povprečne pretoke (MAM_7), za izračun katerih uporabimo postopek drsečega povprečja (ang. *moving average*).

Preglednica 2: Primer izračuna 7-dnevnih povprečnih pretokov

Datum	MAM_1	MAM_7
	Q [m^3/s]	Q [m^3/s]
01.01.1982	33,9	
02.01.1982	19,3	
03.01.1982	10,4	
04.01.1982	7,61	
05.01.1982	6,03	
06.01.1982	5,48	

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 2

07.01.1982	4,77	12,50
08.01.1982	4,07	8,24
09.01.1982	3,91	6,04
10.01.1982	3,6	5,07
11.01.1982	3,28	4,45
12.01.1982	3,28	4,06
:	:	:
:	:	:
26.12.1982	7,61	4,44
27.12.1982	6,82	5,25
28.12.1982	6,42	6,03
29.12.1982	6,03	6,72
30.12.1982	5,48	6,47
31.12.1982	5,13	6,25

b) Rezultati

1. Selekcija letnih minimumov. Za vsako hidrološko leto poiščemo letni minimum.
2. Izračun *MAM* (n-dan). Izračunamo povprečje vseh letnih minimumov.
3. Tabeliranje rezultatov.

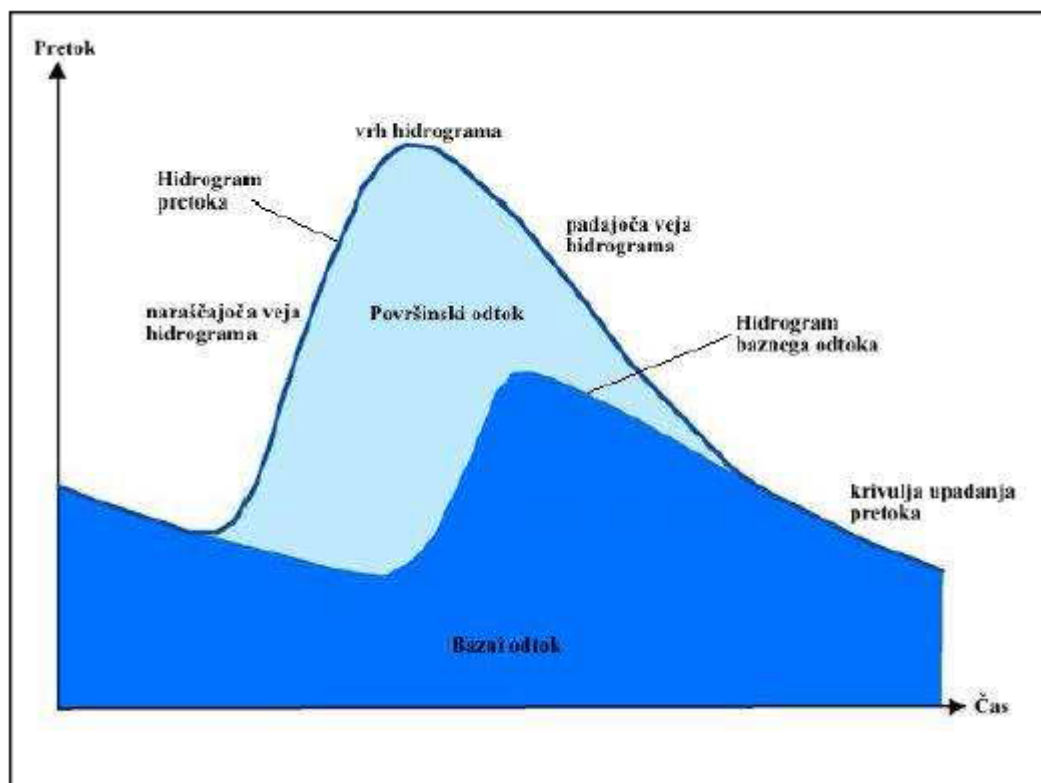
2.2 Bazni odtok

Bazni odtok (ang. *base flow*) je pomemben del pretoka nekega vodotoka, ki izvira iz zalog podzemne vode ali drugih zakasnelih virov (taljenje ledenikov, jezera, močvirja, itd.) (Smakhtin, 2001; Petek, 2014). Površinski pretok je v sušnem obdobju leta v večji meri sestavljen le iz baznega odtoka, v preostalem času leta pa površinski pretok sestavljata tako bazni odtok kot hitri odtok (Smakhtin, 2001).

Poznavanje baznega odtoka je pomembno za določanje pretoka v sušnih obdobjih ter minimalnega pretoka, energetske izrabo, določanje količin pretoka in njegovega trajanja, izpuste odpadnih voda, namakanje, za uporabo vodotokov kot vira za pitno vodo itd. (Kovačič, 2012).

Bazni odtok lahko določimo iz njegovega hidrograma, ki pa ga dobimo iz hidrograma pretoka z različnimi metodami (Smakhtin, 2001). Hidrogram predstavlja spremembo pretokov v času in ga lahko s posebnimi tehnikami razdelimo na več delov, in sicer se celotni merjeni pretok razdeli na hitro

in zakasnelo komponento. Zakasnela komponenta je povezana s baznim odtokom (Q_b) in predstavlja del pretoka, ki izhaja iz podzemnih zalog vode (WMO, 2008).



Slika 1: Deli hidrograma pretoka in hidrogram baznega odtoka (Povzeto po Kovačič, 2012: str. 5)

Na sliki 1 so prikazani deli hidrograma. Naraščajoča veja hidrograma (ang. *rising limb*) je del tistega hidrograma, v katerem pretok narašča do viška (Mikoš in sod., 2002). Vrh hidrograma označuje točko, v kateri je dosežen največji pretok. Padajoča veja hidrograma (ang. *falling limb*) je del hidrograma, ki kaže upadanje pretoka vode po doseženem vrhu hidrograma (Mikoš in sod., 2002). Krivulja upadanja baznega odtoka oz. recesijska krivulja (ang. *baseflow recession curve*) pa je krivulja, ki nadaljuje padajočo vejo hidrograma in predstavlja upadanje celotnega pretoka, hkrati pa še upadanje baznega odtoka.

2.2.1 Indeks baznega odtoka *BFI*

Indeks baznega odtoka ali *BFI* (ang. *base flow index*) predstavlja razmerje med volumnom baznega odtoka in volumnom celotnega pretoka (Smakhtin, 2001).

Postopek izračuna *BFI* (WMO, 2008):

- a) Serije dnevni pretokov Q (m^3/s) razdelimo na skupine po pet dni skupaj, tako da se med seboj ne prekrivajo;
- b) Določimo minimum (Q_m) za vsako petdnevno obdobje;
- c) Definiramo prevojne točke v zaporedju minimumov (Q_m) ter dve sosednji minimalni vrednosti. Q_{mi} je prevojna točka, če velja:

$$0,9 \cdot Q_{mi} \leq Q_{mi\pm 1},$$
 sredinska vrednost postane prevojna točka Q_t , to je točka, v kateri se graf obrne;
- d) Z ravnimi črtami povežemo prevojne točke Q_t , da dobimo hidrogram baznega odtoka;
- e) Z linearno interpolacijo med prevojnimi točkami za vsak dan določimo vrednosti baznega odtoka;
- f) S postopkom nadaljujemo toliko časa, dokler ni analiziran celoten časovni niz;
- g) Volumen vode (m^3) pod ločevalno črto (V_{bazni}), za izbrano časovno periodo, je preprosto določen kot vsota vrednosti dnevni bazni odtokov, pomnožena s časom v sekundah na dan. Volumen vode celotnega hidrograma (V_{celoten}) je izračunan na podoben način;
- h) Na koncu *BFI* izračunamo po enačbi:

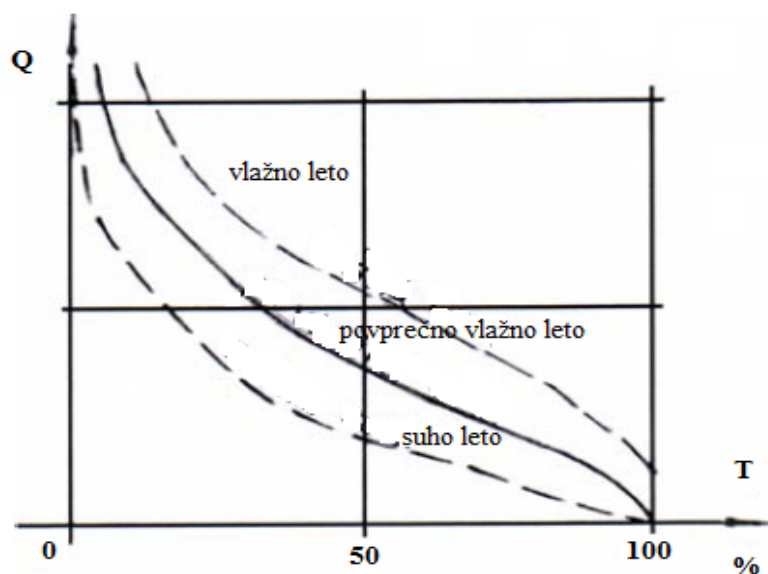
$$BFI = V_{\text{bazni}}/V_{\text{celotni}}. \quad (2)$$

Visok indeks baznega odtoka pomeni, da je porečje zmožno vzdrževati rečni pretok tudi med daljšim sušnim obdobjem. Vrednosti indeksa od 0,15 do 0,2 so značilne za površine, ki imajo neprepustna tla, vrednosti, večje od 0,95, pa so značilne za površine, ki imajo veliko vodnih zalog ter stabilne rečne režime. Indeks baznega odtoka je v splošnem zelo povezan z lastnostmi zemljine, z geologijo in ostalimi značilnostmi glede vodnih zalog, kot je delež jezer (WMO, 2008; Kovačič, 2012).

2.3 Krivulja trajanja pretoka

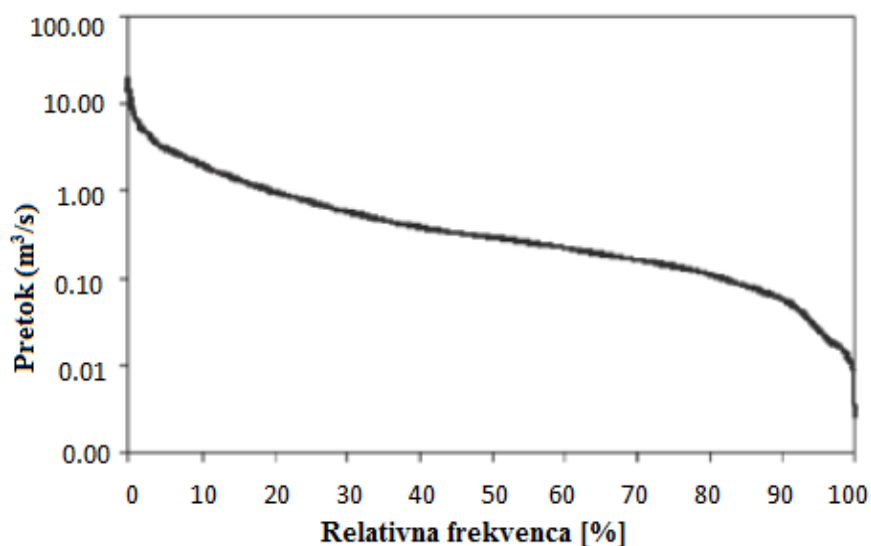
2.3.1 Definicija in izdelava krivulje trajanja

Krivulja trajanja pretokov (ang. *flow duration curve, FDC*) je krivulja, ki prikazuje odstotek časa, v katerem je pretok vode v vodotoku enak ali večji od izbrane velikosti ne glede na kronološko zaporedje opazovanj (Mikoš in sod., 2002). Izdelava krivulje je enostavna in temelji na empirični razporeditvi podatkov, običajno dnevni pretokov (WMO, 2008). Slika 2 prikazuje teoretične krivulje trajanja za posamezna karakteristična leta (Žugaj in sod., 2011).



Slika 2: Teoretične krivulje trajanja pretoka za vlažno, povprečno vlažno in suho leto (Prirejeno po Žugaj in sod., 2011)

Pogosto se uporabi krivuljo trajanja za primerjavo režimov različnih porečij. Da bi bila primerjava enostavnejša, standardiziramo pretoke z razmerjem povprečnega pretoka ali mediane ali pretoka na prostorninsko enoto (WMO, 2008).



Slika 3: Krivulja trajanja za reko Drammenselv v Fiskumu na Norveškem (Prirejeno po WMO, 2008: str. 50)

Postopek za izračun krivulje trajanja pretoka podan, na konkretnem primeru reke Drammenselv v Fiskumu na Norveškem (slika 3) (WMO, 2008):

- a) Uporabljeni so podatki o dnevni pretokih za obdobje desetih let, to pomeni, da imamo 3653 dni in Q pretokov. Preglednica 3 v prvem stolpcu prikazuje prvih sedem dni, v drugem stolpcu pa pripadajoče vrednosti pretokov;
- b) Izračuni za izdelavo krivulje trajanja pretokov:
 - (i) Za vsako vrednost je izračunan rang (i) (tretji stolpec), in sicer tako, da so vsi podatki razvrščeni od največjega do najmanjšega. To pomeni, da ima največji pretok rang 1, najmanjši pa 3653;
 - (ii) Relativno frekvenco EF_{Q_i} izračunamo po enačbi 3:

$$EF_{Q_i} = i/N \quad (3)$$

Tako dobimo oceno relativne frekvence i -tega dogodka EF_{Q_i} (četrti stolpec), ko je pretok Q večji kot vrednost pretoka z rangom i oz. Q_i ;

- c) Tabeliranje krivulje trajanja pretoka:
 - (i) Tabeliramo pripadajoče vrednosti pretokov Q v m^3/s (drugi stolpec) in relativno frekvenco EF_{Q_i} v odstotkih (četrti stolpec);
 - (ii) Stolpca sta razvrščena po EF_{Q_i} (uporabimo avtomatično funkcijo v Excelu);
- d) Razvrščena stolpca nato izrišemo (slika 3). Na ordinatni osi imamo razporejene pretoke in je v logaritmskem merilu, kar omogoča prikaz širokega razpona pretokov, s tem pa tudi jasen prikaz pretokov na grafu. Na abscisni osi pa imamo relativno frekvenco v odstotkih;
- e) Oceno iskanega pretoka, na primer Q_{90} , lahko odčitamo iz grafa (slika 3) ali iz preglednic. Če v preglednici ni izračunane frekvence, lahko uporabimo linearno interpolacijo.

Preglednica 3: Izračun krivulje trajanja pretoka reke Drammenselv v Fiskumu na Norveškem (Prirejeno po WMO, 2008: str. 51).

Datum	Q [m^3/s]	Rang, i	Relativna frekvence EF_{Q_i} [%]
1.1.1991	0,0083	3641	0,9967
2.1.1991	0,0095	3637	0,9956
3.1.1991	0,0081	3642	0,997
4.1.1991	0,0056	3644	0,9975
5.1.1991	0,0039	3646	0,9981
6.1.1991	0,0019	3650	0,9992
7.1.1991	0,0027	3649	0,9989

2.3.2 Trajanje

Običajno se izdelava krivuljo trajanja pretokov iz podatkov o dnevni pretokih. V določenih primerih pa nas lahko zanima delež npr. 10-dnevnih obdobij, ko je povprečni pretok večji od določene vrednosti. Pred izdelavo takih krivulj je treba serijo podatkov najprej obdelati z metodo drsečega povprečja izbranega trajanja. Trajanja, ki jih lahko uporabimo, so npr. 7-, 10-, 30-, ali 60-dnevna. Daljše ko je povprečno obdobje, bolj gladka in manj strma bo krivulja pretokov. Čeprav krivulje trajanja najpogosteje temeljijo na povprečnih dnevni pretokih, jih je možno izdelati tudi iz mesečnih ali letnih srednjih pretokov. Za potrebe raziskav nizkih pretokov so krivulje trajanja, ki temeljijo na povprečnih dnevni pretokih bolj uporabne kot krivulje mesečnih ali letnih srednjih pretokov, saj se pri teh ekstremne vrednosti pretoka izgubijo zaradi uporabe povprečij (WMO, 2008).

2.3.3 Percentili

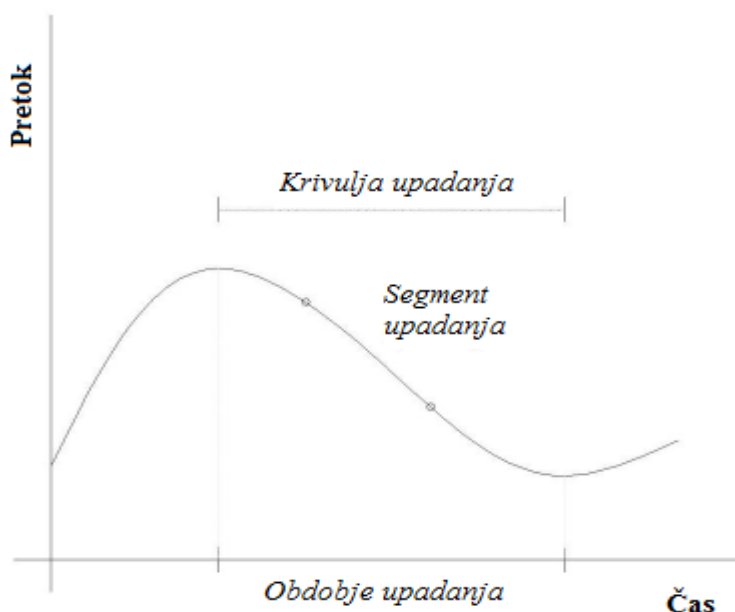
Odstotki nizkega pretoka, ki jih odčitamo na abscisni osi pri krivulji trajanja, so pogosto uporabljeni kot eden glavnih kazalnikov nizkega pretoka. Na primer 95-odstotni pretok ali Q_{95} je pretok, ki je enak ali presežen v 95 % časa vseh zabeleženih pretokov. Tak pretok bo v povprečju enak ali presežen 18 dni na leto in je koristen podatek pri analizah nizkih pretokov. Na izbiro percentilov vpliva predvsem vodni režim vodotoka, ki ga proučujemo (WMO, 2008).

Običajno se za vodotoke s stalnim pretokom uporablja Q_{90} ali Q_{95} . Pogosto se zgodi, da imajo vodni režimi v polsuhem in polarnem podnebju večje število dni brez pretoka. Na primer, če ima reka v 50 % časa pretok enak nič, so takrat bolj uporabni percentili, kot sta npr. Q_{40} ali Q_{30} . Položna krivulja je tipična za reke z majhnimi variacijami v pretoku, strma krivulja pa je tipična za vodotoke z večjimi variacijami dnevni pretokov (značilno za vodotoke z neprepustno podlago) (WMO, 2008).

Prav tako je za analizo nizkih pretokov pomemben del krivulje, ki določa pretoke, ki so enaki ali preseženi v 50 % časa. Ta del krivulje je dober pokazatelj, če podzemni viri vode veliko prispevajo k površinskemu pretoku. Položna krivulja na tem delu kaže na to, da imajo podzemni viri velik doprinos k površinskemu pretoku. Strma krivulja pa nakazuje na majhen oziroma spremenljiv prispevek baznega odtoka k površinskemu pretoku (Smakhtin, 2001).

2.4 Analize recesijskih krivulj

Postopno izčrpavanje vodnih zalog na prispevni površini, ko imamo malo ali nič padavin, je izraženo v obliki recesijske krivulje oziroma krivulje upadanja, to je padajoče veje hidrograma (slika 4). Krivulja upadanja opisuje vpliv različnih faktorjev in vodnih zalog na proces odtoka. Na vodotoke, ki imajo počasno stopnjo upadanja, imajo velik vpliv jezera in podzemne vode, medtem ko je hitro upadanje značilno za vodotoke, ki so na neprepustni podlagi z omejenimi vodnimi zalogami (WMO, 2008).



Slika 4: Krivulja upadanja (Povzeto po Petek, 2014: str. 13)

Krivulja upadanja v splošnem prikazuje vodne zaloge na prispevni površini, ki napaja vodotoke. Skladno s tem vsebuje pomembne informacije o lastnostih vodonosnikov in vodnih zalogah ter je uporabna na več področjih urejanja in upravljanja z vodnimi viri. Analize krivulj upadanj so uporabne pri napovedovanju nizkih pretokov ter s tem pomagajo pri oskrbi s pitno vodo, namakanju, hidroelektrarnah, v povezavi z redčenjem odpadnih voda, ipd. Prav tako jih lahko uporabimo pri matematičnih modelih za kalibracijo, pri analizi hidrogramov za grafično ločitev različnih sestavnih delov toka ter analizah pogostosti za oceno statistik nizkih pretokov (Tallaksen, 1995).

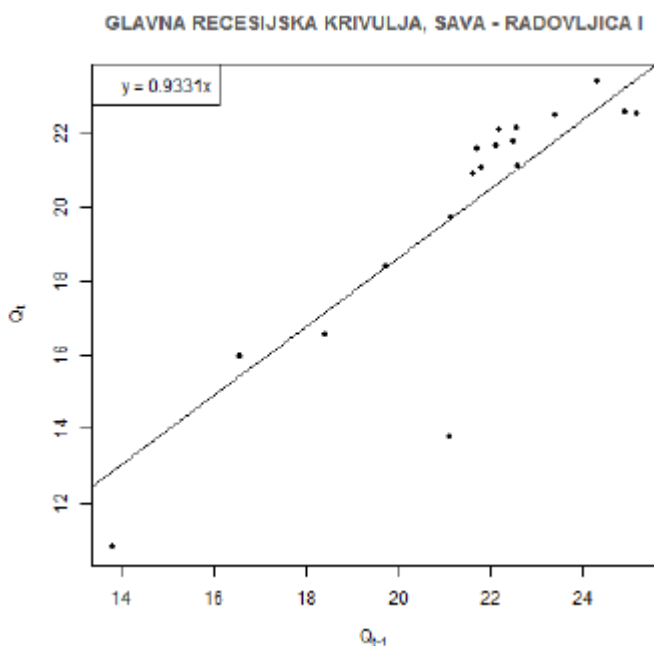
Krivulja upadanja je oblikovana tako, da določimo različne analitične izraze funkcij odtoka Q_t . Časovni interval Δt je običajno v zaporedju dni. Če je Q_t modeliran kot odtok z linearno funkcijo prvega reda brez dotoka, bo krivulja upadanja imela obliko enostavne eksponentne enačbe (4):

$$Q_t = Q_0 \exp(-t/C) \quad (4)$$

kjer je Q_t pretok v času t . Q_0 je pretok na začetku recesijske periode ($t = 0$) in C je recesijska konstanta oz. konstanta upadanja. Krivulja se prikaže kot ravna črta z nagibom $-1/C$ na pollogaritemskem merilu t proti $\ln Q_t$ (WMO, 2008).

V vlažnem podnebjju padavine pogosto prekinjajo recesijsko obdobje, in tako nastane niz recesijskih segmentov različnih trajanj. Segmenti predstavljajo različne faze v procesih odtoka. Strmejšje krivulje upadanja se običajno pojavijo v času visoke evapotranspiracije, v času vegetacijske rasti, in so sorazmerne z zmanjšanjem baznega odtoka. Visoka spremenljivost stopenj upadanja je otežila izbiro segmentov iz niza merjenih podatkov, zato so bile razvite različne metode za recesijsko analizo vodotokov. Te metode lahko razvrstimo v dve skupini: tiste, ki so osnovane na konstrukciji glavne recesijske krivulje (ang. *master recession curve*, MRC) (slika 5), in tiste, ki izvajajo izračune za parametre posameznih segmentov upadanja (ang. *individual recession segments*, IRS) (WMO, 2008; Petek, 2014).

Recesijske analize v obeh primerih začnemo z določitvijo kriterijev za izbor segmentov upadanja iz niza podatkov pretokov. Da izključimo vpliv hitrega odziva vodotoka na padavine, je običajno, da ne upoštevamo prvega dela obdobja upadanja. Konstantna začetna vrednost omeji recesijo tako, da se obdobje upadanja prične, ko pretok pade pod definirano vrednost. Sprejemljiva vrednost začetka obdobja upadanja pa je lahko definirana s pretokom, ki se prične ob danem času po padavinah ali konicah pretoka (WMO, 2008).



Slika 5: Glavna recesijska krivulja za vodomerno postajo Radovljica I (vodotok Sava) (Povzeto po Petek, 2014: str. 15)

Z izdelavo srednje recesijske krivulje glavna recesijska krivulja zaobide problem variabilnosti v posameznih segmentih. Podatke združimo in na abscisno os izrišemo pretok Q_{t-1} v prvem časovnem intervalu, na ordinatno os izrišemo pretok Q_t v kasnejšem časovnem intervalu ter izdelamo krivuljo, ki se prileže k izrisanim točkam. Če recesijska premica seka graf v izhodišču, lahko odčitamo recesijski parameter k (Tallaksen, 1995):

$$k = Q_t/Q_{t-1} \quad (5)$$

Recesijska konstanta C je povezana s parametrom k kot (WMO, 2008):

$$C = -\Delta t/\ln(k) \quad (6)$$

Recesijsko konstanto izražamo v dnevih in ponazarja mero recesije oz. upadanja. Določimo jo lahko po metodi MRC in IRS.

2.5 Deficit vodnega toka

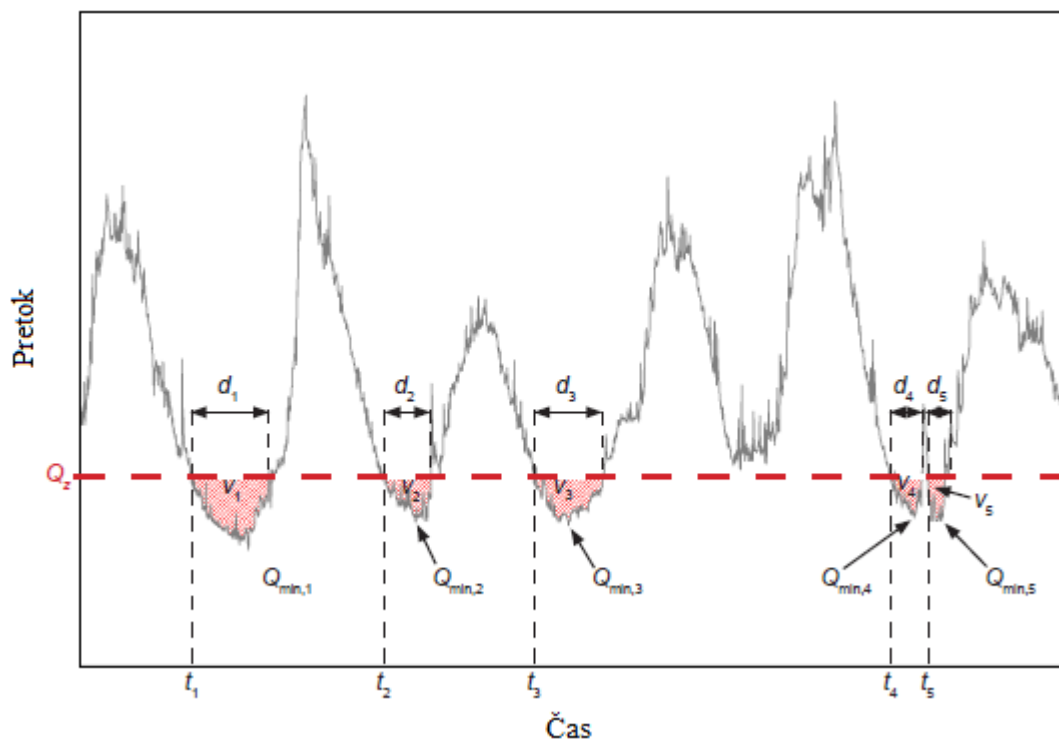
Deficit vodnega toka (ang. *streamflow deficit*) označuje obdobje, ko je pretok v vodotoku pod določeno mejno vrednostjo, ki opredeljuje sušo ali kritični deficit toka (WMO, 2008).

Za določanje deficita vodnega toka je najpogosteje v uporabi metoda mejne vrednosti (ang. *threshold level method*), s katero določimo in karakteriziramo deficite (WMO, 2008). Metodo se lahko uporabi pri oskrbi z vodo, namakanju, upravljanju z vodami in energetski izrabi (Hisdal in Tallaksen, 2000 cit. po Petek, 2014).

Mejna vrednost Q_z določa prag, pri katerem je pretok vodotoka v deficitu. Deficit oz. obdobje suše se prične, ko je pretok pod pragom, in se konča takoj, ko se pretok dvigne nad prag. Na višino praga vplivajo namen in območje raziskav ter razpoložljivi podatki (WMO, 2008). Višina praga lahko predstavlja zahteve po vodi npr. za hidroelektrarne ali oskrbo s pitno vodo, lahko pa tudi predstavlja mejo med običajnimi in nenavadno nizkimi pretočnimi razmerami v vodotoku. Če prag predstavlja mejo med običajnimi in nenavadno nizkimi pretočnimi razmerami v vodotoku, lahko njegovo višino določimo na podlagi značilnosti pretočnega režima. V takem primeru se pogostokrat uporablja različne indekse nizkih pretokov, kot so percentili (npr. 95-odstotni pretok ali Q_{95} pretok, ki je enak ali presežen v 95 % časa vseh zabeleženih pretokov) izbrani iz krivulje trajanja (Fleig in sod., 2006). Za vodotoke s stalnim tokom se priporoča izbira pretokov Q_{70} in Q_{90} (Fleig in sod., 2006), za vodotoke s presihajočim tokom pa pretoke med Q_5 in Q_{20} , odvisno od števila dni z ničelnim pretokom (WMO, 2008). Višina praga je fiksna ali pa se spreminja skozi leto (npr. zaradi različnih potreb po vodi skozi leto) (Fleig in sod., 2006).

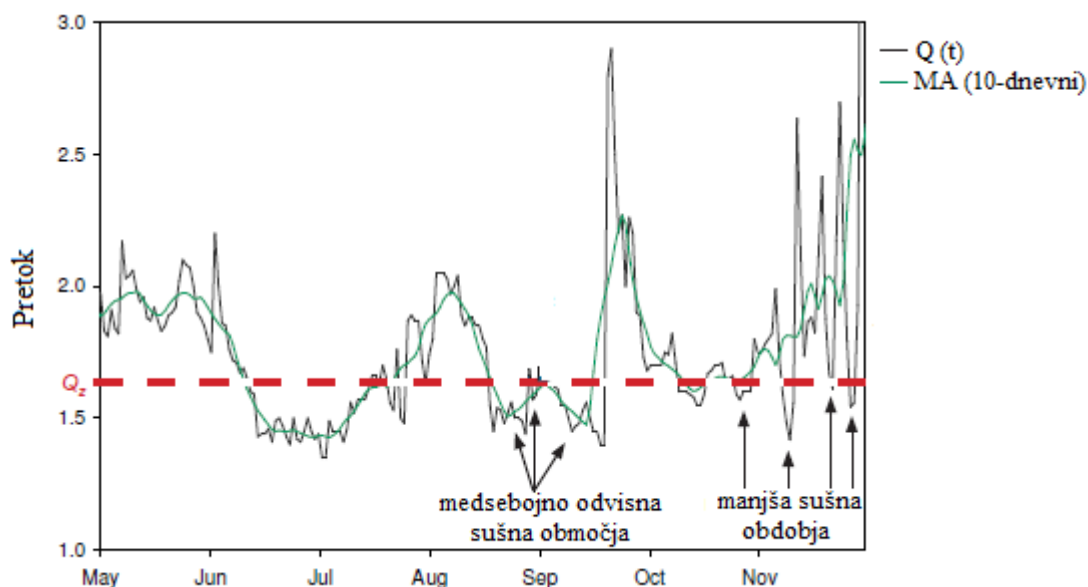
Poleg praga lahko za deficit določimo še naslednje kazalnike (slika 6) (WMO, 2008):

- Trajanje (d_i), ki predstavlja čas, ko je pretok pod pragom (trajanje suše);
- Volumen oz. jakost deficita (v_i);
- Intenziteta ali sušna magnituda (mi), ki je razmerje med volumnom in trajanjem deficita;
- Minimalni pretok ($Q_{\min,i}$), ki se pojavi med sušo;
- Čas začetka suše (t_i).



Slika 6: Prikaz značilnih kazalnikov za deficit vodnega toka: trajanje d_i , čas začetka t_i , volumen deficita v_i in minimalni pretok $Q_{\min,i}$ (Povzeto po Fleig in sod., 2006: str. 537)

Metoda mejne vrednosti je bila prvotno uporabljena za analizo podatkov, ki so obsegali daljše zaporedne časovne serije (en mesec ali več), uporabimo pa lahko tudi podatke o dnevni pretokih. Vendar s tem, ko uporabimo podatke o dnevni pretokih, pridemo do dveh problemov, in sicer se pojavijo manjša sušna obdobja in medsebojno odvisna sušna obdobja (slika 7). Manjša sušna obdobja so dogodki kratkega trajanja in majhnega volumna deficita. Problem nastane, ko se pojavi veliko število takih obdobj v vzorcu, s tem pa pride do možnih napak pri analizah. Medsebojno odvisna sušna obdobja pa so tista obdobja, ki se pojavijo takrat, ko padavine ali različni umetni vplivi med daljšimi sušnimi obdobji povzročijo, da pretok za kratek čas preseže prag, ki določa deficit. Tako pride do več manjših sušnih obdobj, ki so medsebojno odvisna (Fleig in sod., 2006).



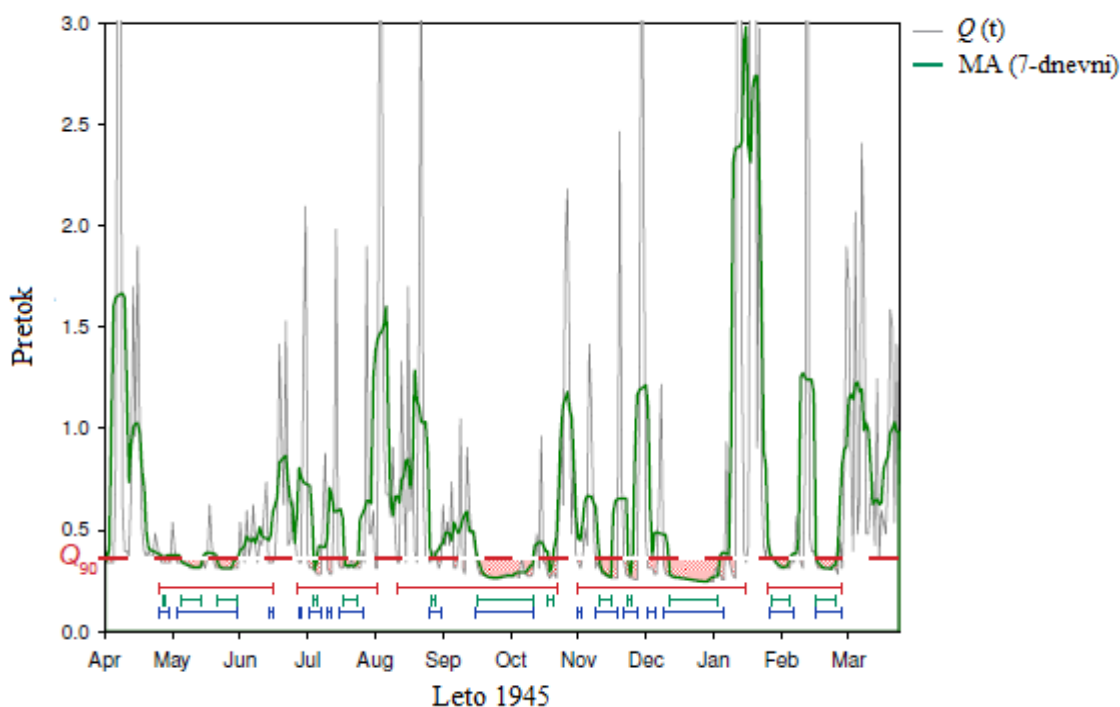
Slika 7: Prikaz manjših sušnih obdobj in medsebojno odvisnih sušnih obdobj (Prirejeno po Fleig in sod., 2006: str. 538)

Za analize ekstremnih vrednosti je priporočljivo, da taka obdobja združimo v večje neodvisne dogodke. To lahko dosežemo z uporabo različnih postopkov razvrščanja podatkov (ang. *pooling procedures*):

- Postopek drsečega povprečja (ang. *moving average procedure*, MA) izravna serije o dnevni pretokih z uporabo n-dnevnega filtra (priporočljivi časovni interval je 7 dni za večino hidroloških režimov (WMO, 2008)). S tem postopkom se manjša sušna obdobja samodejno izločijo (slika 7) (Fleig in sod., 2006);
- Algoritem zaporednih konic (ang. *sequent peak algorithm*, SPA) je bil razvit za projektiranje vodnih zbiralnikov. Postopek je narejen tako, da izpelje največji deficit volumna iz podatkov dnevni pretokov za celotno obdobje (Fleig in sod., 2006);
- Metoda medčasovnega dogodka (ang. *inter-event time method*, IT) združi dve medsebojno odvisni sušni obdobji v eno, v primeru, če se ta dva dogodka zgodita v naprej določenem številu dni t_{min} . Uporaba tega postopka se ne priporoča za hudournike (Fleig in sod., 2006).

Ko uporabljamo SPA ali IT, je treba manjša sušna obdobja izključiti z dodatnimi koraki.

Razlike med postopki razvrščanja so prikazane na hidrogramu za reko Honokohau na Havajih za leto 1945 (slika 8). Zgornje rdeče črte prikazujejo deficite, določene z metodo IT za $t_{min} = 5$ dni, zelene črte postopek MA s 7-dnevnim filtrom, modre črte pa metodo SPA. Osenčeni deli na hidrogramu pa prikazujejo obdobja deficita brez razvrščanja (Fleig in sod., 2006).



Slika 8: Prikaz razlik med različnimi postopki razvrščanja (Prirejeno po Fleig in sod., 2006: str. 548)

2.6 Določanje nizkih pretokov v Združenih državah Amerike

Trenutno sta v Združenih državah Amerike najpogosteje uporabljeni dve metodi za določanje nizkih pretokov. Prva metoda temelji na hidroloških podatkih, hkrati pa v svojih izračunih neposredno uporablja nacionalne kriterije za kakovost vode za zaščito vodnega življenja (v nadaljevanju: biološka metoda), postavljene s strani ameriške Agencije za varstvo okolja (U.S. Environmental Protection Agency, EPA). Druga metoda pa temelji samo na hidroloških podatkih in za svoje izračune uporablja porazdelitveno funkcijo (v nadaljevanju: hidrološka metoda). Izračun nizkih pretokov po obeh metodah omogoča program DFLOW (Poglavje 3) (EPA, 1986).

2.6.1 Biološka metoda

Biološka metoda je bila razvita s strani EPA za izračun nizkih bioloških pretokov xBy , ki jih uporabimo v stacionarnih modelih za določitev največjih dovoljenih izpustov za posamezne onesnaževalce. Metoda v svojih izračunih neposredno uporablja kriterije za kakovost vodnega življenja. Ti kriteriji so osnovani na povezavi »koncentracija-trajanje-pogostost«. Izraženi so v obliki dveh koncentracij namesto ene, da lahko bolj natančno odražajo toksikološka in dejanska stanja vodotoka,

in sicer kriterij stalne koncentracije (ang. *Criterion Continuous Concentration*, CCC) predstavlja zaščito pred kroničnimi (dolgotrajnimi) učinki in je 4-dnevna koncentracija onesnaževal v vodotoku, ki v povprečju ne sme biti presežena več kot enkrat vsake tri leta. Zaščito pred akutnimi (kratkotrajnimi) učinki pa predstavlja kriterij maksimalne koncentracije (ang. *Criterion Maximum Concentration*, CMC) in je enourna povprečna koncentracija onesnaževal v vodotoku, ki v povprečju ne sme biti presežena več kot enkrat vsake tri leta. Analogno pretok 1B3 tako predstavlja 1-urni povprečni 3-letni biološki pretok, ki upošteva pogostost kriterija maksimalne koncentracije, pretok 4B3 pa predstavlja 4-dnevni 3-letni biološki pretok, ki upošteva pogostost kriterija stalne koncentracije (EPA, 1986).

Ta metoda je empirična, ne statistična, saj se ukvarja z dejanskimi izmerjenimi pretoki, ne pa s statističnimi porazdelitvami, ki so namenjene za opis obdobja zapisa izmerjenih dnevnih pretokov.

Stacionarni modeli predvidevajo, da imajo izpusti odpadnih voda konstanto sestavo in tok, zato obravnavamo koncentracije onesnaževal v vodotoku kot obratno sorazmerne pretoku vodotoka. Če torej podatkom o dnevnih pretokih vodotoka dodamo še točno določeno povprečno obdobje in pogostost, lahko izračunamo nizki pretok, ki ne bo dopuščal večjega števila odstopanj, kot je dovoljeno (EPA, 1986).

2.6.1.1 Odstopanja

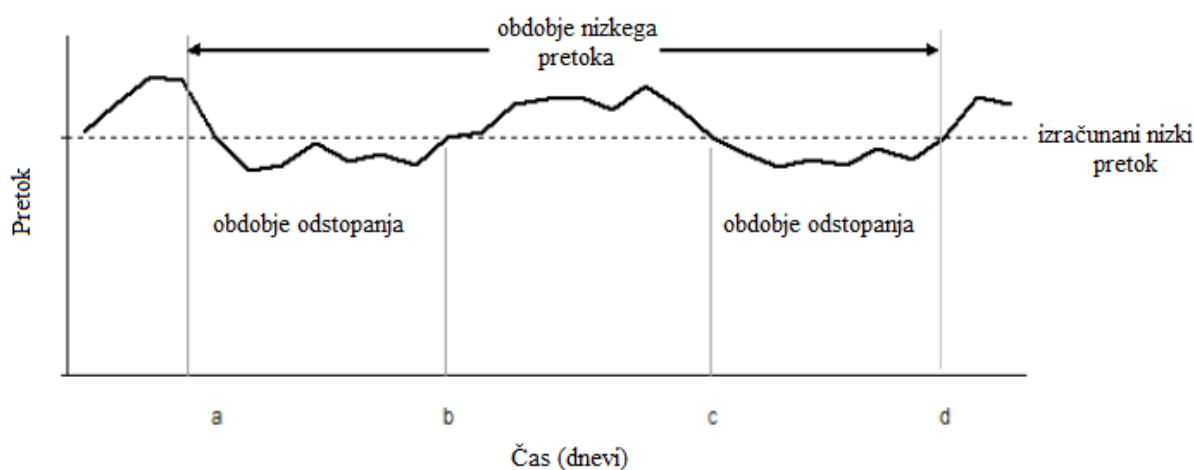
Odstopanja (ang. *excursions*) označujejo neugodne pogoje, npr. če je pretok ali koncentracija onesnaževal nad zgornjo ali pod spodnjo dovoljeno mejo. Če je R število izračunanih odstopanj, ki se zgodijo v S letih, potem bi morale biti S/R enako ali večje kot 3 leta. Večina odstopanj naj bi bila manjša in se predpostavlja, da si bo večina vodnih ekosistemov po takem dogodku opomogla v manj kot treh letih. Obdobje treh let je daljše, kot običajno traja povprečno okrevanje ekosistema, zato da ekosistemi niso v stalnem procesu okrevanja, tudi če so odstopanja enakomerno razporejena skozi čas (EPA, 1986).

Čeprav se zdi 3-letno obdobje primerno za manjša odstopanja, ki so nekoliko izolirana, se zdi to obdobje pretirano dolgo, ko se zgodi veliko takih odstopanj v kratkem času, npr. v obdobju suše. Suše so redki dogodki, za katere so značilna dolga obdobja nizkega pretoka in zato ne smemo dopustiti, da po nepotrebnem zmanjšujejo vrednosti nizkih pretokov. Kljub dejstvu, da suše zelo obremenijo vodne ekosisteme, tako posredno (povzročijo nizke pretoke) kot neposredno (v vodotokih omogočajo nastanek visokih koncentracij onesnaževal), veliko ekosistemov navidezno okreva po težkih obremenitvah v več kot 5 letih, ampak v manj kot 10 letih (EPA, 1986). Ker ni dobro, da bi bili ekosistemi v stalnem okrevanju po težkih obremenitvah, se zdi primerno, da vzamemo v povprečju 15-

letno obdobje kot obdobje brez obremenitev. In ker kriteriji v povprečju dovoljujejo eno odstopanje vsake tri leta, to pomeni ne več kot 5 odstopanj za katerokoli obdobje nizkega pretoka v obdobju 15 let. Zato za vsako obdobje nizkega pretoka število odstopanj ne more biti manj kot 1 ali več kot 5. Najdaljše trajanje obdobja nizkega pretoka je nastavljeno na 120 dni, ker ni nič neobičajnega za odstopanja, da se pojavijo znotraj teh 120 dni. Medtem ko pa je zelo redko, da se pojavijo odstopanja med 121. in 240. dnevom po začetku obdobja nizkega pretoka (EPA, 1986).

2.6.1.2 Izračun odstopanj

Obdobja odstopanj prikazujeta intervala a-b ter c-d na sliki 9 in vsak dan v teh intervalih je povprečni pretok pod ocenjenim nizkim pretokom. Število odstopanj je izračunano tako, da število dni v obdobju odstopanj delimo s trajanjem (izraženo v dnevih) povprečnih obdobj, določenih v kriterijih (npr. 1 dan za CMC in 4 dni za CCC). Obdobje nizkega pretoka je definirano kot eno ali več obdobj odstopanj, ki se zgodijo znotraj 120-dnevnega intervala. Če je izračunano število odstopanj, ki se pojavijo znotraj obdobja nizkega pretoka, večje kot 5, je število odstopanj nastavljeno na 5, za namen izračuna nizkega pretoka. Največje število odstopanj izračunamo tako, da delimo število let obdobja zapisa z dnevnimi pretoki s pogostostjo, določeno v kriterijih (npr. 3 leta za CCC in CMC) (EPA, 1986).



Slika 9: Ponazoritev obdobj pri biološki metodi (Prirejeno po EPA, 1986)

2.6.1.3 Izpeljava trajanja in pogostosti za CCC in CMC

Kriteriji za zaščito vodnega življenja so izraženi s povezavo »koncentracija-trajanje-pogostost« in naj bi upoštevali toksikološka in dejanska stanja vodotoka. Zaradi nihanj pretokov ter koncentracij v izpušnih odpadnih voda in vodotokih je izdelava preproste povezave, kot je določitev koncentracij, ki

ne smejo biti presežene kadarkoli in kjerkoli, nerealna. Poleg tega tak kriterij ne upošteva dejstva, da lahko vodni organizmi prenašajo za kratek čas tudi višje koncentracije onesnaževal. Povezava, uporabljena v kriterijih za zaščito vodnega življenja, sestoji iz priporočil v zvezi s koncentracijami, trajanjem povprečnih obdobij in povprečnih pogostosti dovoljenih odstopanj. Uporaba take povezave omogoča vzpostavitev kriterijev, ki so ravno dovolj zaščitniški do vodnega okolja. V kriterijih so priporočene koncentracije za posamezna onesnaževala in celotne izpuste odpadnih voda, CCC in CMC (EPA, 1991).

CCC naj bi bila najvišja dovoljena koncentracija v vodotoku, ki je lahko prisotna nedoločen čas, ne da bi povzročila nesprejemljive posledice na vodni živelj in njegovo delovanje. Torej se za vsako koncentracijo nad CCC pričakuje, da bo povzročila nesprejemljive posledice. Kot smo že omenili, zaradi nihanj pretokov ter koncentracij v izpustih odpadnih voda in vodotokih koncentracije onesnaževal v vodotokih niso konstantne. Vodni organizmi lahko prenašajo višje koncentracije onesnaževal za kratek čas (EPA, 1991). Zaradi tega je dovoljeno, da koncentracije onesnaževal v vodotoku lahko presežejo CCC, ne da bi povzročile nesprejemljive posledice, če ustrezno omejimo velikost in trajanje presežkov ter določimo obdobja, ko bodo koncentracije pod CCC. Ti dve zahtevi sta izpolnjeni, ko določimo trajanje povprečnega obdobja (Stephen in sod, 2010). To je obdobje, ko povprečna koncentracija onesnaževal ne bi smela preseči CCC. Na primer, če imamo koncentracijo, ki je dvakratnik CCC polovico časa določenega povprečnega obdobja, mora biti koncentracija preostanek povprečnega obdobja enaka nič, da skupna povprečna koncentracija ne preseže CCC (EPA, 1991).

Presežki in odstopanja so del običajnih nihanj koncentracij onesnaževal v vodotoku. Presežek je opredeljen kot dogodek, ki se pojavi takrat, ko je trenutna koncentracija onesnaževal nad CCC. Odstopanje pa je dogodek, ki se pojavi samo takrat, ko je povprečna koncentracija onesnaževal, določena v kriterijih s trajanjem povprečnih obdobij (npr. 4-dnevna povprečna koncentracija), nad CCC. Pričakovano je, da se odstopanja lahko zgodijo brez nesprejemljivih posledic za vodno okolje, če je pogostost takih odstopanj primerno omejena in če so vse ostale povprečne koncentracije pod CCC (EPA, 1991).

Priporočena trajanja povprečnih obdobij so pridobljena na podlagi laboratorijskih testov toksičnosti, medtem ko so priporočene pogostosti dovoljenih odstopanj pridobljene na podlagi podatkov na terenu. Koncentracije, trajanja in pogostosti lahko z ustrezno utemeljitvijo prilagodimo specifičnim območjem ali onesnaževalom in so lahko nižji ali višji kot tisti, ki so določeni v nacionalnih kriterijih (Stephen in sod, 2010).

2.6.1.4 Trajanje povprečnih obdobij

Če želimo, da so kriteriji za zaščito vodnega življenja ustrezno zaščitniški, a ne preveč zaščitniški, mora trajanje povprečnih obdobij dovoliti nekaj preseganj nad CCC, ki pa ne smejo negativno vplivati na vodno okolje. Zato morajo povprečna obdobja ustrezno omejiti velikost in trajanja preseganj in zagotoviti obdobja, ko je koncentracija pod CCC-jem (EPA, 1991). Trajanje povprečnih obdobij je 1 ura za CMC in 4 dni za CCC.

Razlogi za izbor 4-dnevnega povprečnega obdobja za CCC so (EPA, 1991):

- 4-dnevno trajanje je precej krajše kot trajanje kroničnih testov, ki so dolgi od 20 do 30 dni, ter je malo krajše kot 7-dnevno trajanje testa življenjskega ciklusa *Ceriodaphniae*.
- Rezultati nekaterih kroničnih testov so posledica akutnih učinkov na občutljivo življenjsko obdobje organizmov, ki se pojavijo v nekem trenutku med samim testom, namesto da bi rezultate povzročile dolgotrajne obremenitve ali dolgotrajna kopičenja testnega materiala v organizmih.
- Za endrin in fenvalerat so raziskave pokazale, da je 72-urna izpostavljenost povzročila približno enak učinek na rast *Pimephales promelas* v zgodnjem življenjskem obdobju kot 30-dnevna izpostavljenost istim koncentracijam.
- Za nekatere teste, ki so bili opravljeni za izpuste odpadnih voda s *Ceriodaphnijo*, se je izkazalo, da so koncentracije izpustov, ki so bile večje za faktor 1,8 od CCC, povzročile nesprejemljive učinke v štirih do petih dneh.

Tako kot za CCC določimo trajanje povprečnega obdobja tudi za CMC. Trajanje povprečnega obdobja za CMC mora biti bistveno krajše, kot so dolžine testov (od 48 do 96 ur), na katerih temelji CMC (EPA, 1991). Tudi ko organizmi ne umrejo v času ene ure, se ne ve, koliko organizmov je mogoče umrlo zaradi zapoznelih učinkov te kratke izpostavljenosti (Stephen in sod, 2010). Če 1-urno povprečje ne preseže CMC, je malo verjetno, da bodo koncentracije onesnaževal v vodotoku nihale tako hitro, da bi povzročile še dodatne neželene učinke. Zato se zdi neprimerno, da bi CMC označili kot trenutno koncentracijo (EPA, 1991).

Večina odstopanj bo imela manjši vpliv na vodne ekosisteme, razen, če so kritične vrste še posebej občutljive na določene strupene snovi. Kjer bodo odstopanja nad CCC, se bosta verjetno pojavila zmanjšana rast in razmnoževanje organizmov, odstopanja nad CMC pa bodo verjetno povzročila smrt in druge težke akutne učinke na vodne organizme (EPA, 1991). Poleg tega moramo posebno pozornost nameniti primeru, ko imamo veliko izpustov na majhnem odseku vodotoka. Kajti če nizek pretok povzroči odstopanje za en izpust, bo verjetno isti nizki pretok ob istem času povzročil odstopanja tudi pri ostalih izpustih. In tako lahko iz nekaj »malih« odstopanj nastane eno »veliko« (EPA, 1991).

2.6.1.5 Pogostost

Namen vzpostavitve povprečne pogostosti dovoljenih odstopanj v kriterijih je zagotovitev povprečnega obdobja, v katerem si lahko vodni ekosistemi opomorejo od negativnih učinkov, povzročenih zaradi odstopanj, in da v teh povprečnih obdobjih delujejo normalno vse do naslednjega odstopanja. Torej, povprečna pogostost zagotavlja, da vodni ekosistemi ne bodo v stalnem okrevanju zaradi negativnih učinkov, povzročenih z odstopanji (EPA, 1991).

Še ne dolgo nazaj je veljalo mnenje, da sta struktura in delovanje vodnih ekosistemov v ravnovesju predvsem zaradi medsebojnih interakcij med vrstami, npr. plenjenje in tekmovanje. Današnje razumevanje vodnih ekosistemov pa je tako, da imajo lahko zunanje motnje (poplave, suše, antropogeni dejavniki itd.) velik vpliv na samo strukturo teh ekosistemov. Pogostost teh motenj prizadene ekosisteme, ne le s tem, da zmanjša sposobnost delovanja vrst, ampak tudi tako, da povzroči naravno selekcijo vrst ali razvoj fenotipov (skupek vidnih in biokemičnih znakov, ki se razvijejo pri kakem organizmu zaradi njegovega genotipa in vpliva okolja), ki jim omogoča, da prenašajo ali celo uspevajo pod takimi pogoji. Tako se pojavi vprašanje, kako pogosto lahko ekosistemi doživijo take dodatne motnje (odstopanja), ne da bi povzročili nesprejemljive posledice (EPA, 1991).

Opravljen je bil obsežen pregled objavljene literature, iz katere je bilo izbranih več kot 150 študijskih primerov za sladkovodne sisteme (EPA, 1991). Uporabljeni so bili tisti študijski primeri, pri katerih se je izkazalo, da so motnje povzročile smrt ali premik organizmov. Motnje, ki so povzročale negativne učinke na organizme, so bile obstojne in neobstojne kemikalije, suše, poplave, izkopavanja, sečnja in gradnja kanalov. Približno 80 % izbranih primerov je bilo narejenih za vodotoke, ostali primeri pa za sladkovodne stoječe vode. Število objavljenih končnih točk (točke, ki označujejo konec nekega procesa) okrevanja je bilo redko za fitoplankton, perifiton in makrofite, številne pa so bile ugotovljene za vodne nevretenčarje in ribe. Ker je bilo objavljenih po več končnih točk okrevanj v posameznih študijskih primerih, je število končnih točk v veliki meri preseгло število študijskih primerov. Za kratkotrajne motnje je približno 85 % vseh končnih točk za vodne nevretenčarje pokazalo njihovo okrevanje v manj kot dveh letih (EPA, 1991). Biomasa, gostota in raznovrstnost vodnih nevretenčarjev pa so okrevale v manj kot enem letu v približno 95 % vseh objavljenih končnih točk. Najhitreje so okrevali dvokrilci (muhe, komarji, mušice itd.), ki imajo običajno kratek generacijski čas (zmožnost hitrega razmnoževanja) ali visoko zmožnost razpršenosti, najmanj hitro pa vrbnice in ločnice. Ribe so okrevale v dveh letih ali manj, v 85 % primerov vseh končnih točk (EPA, 1991).

Večina odstopanj, ki naj bi se zgodila, bo manjša, zato je njihov vpliv težko zaznati. Večina motenj v študijskih primerih je povzročila večje negativne učinke, kot je pričakovati, da jih bodo povzročila dovoljena odstopanja. Ti podatki kažejo, da bo namen povprečnih koncentracij dovoljenih odstopanj dosežen, če bo pogostost postavljena v povprečju enkrat na 3 leta. Odstopanja za CCC je težje oceniti,

saj iz podatkov v študijskih primerih ni bilo mogoče pridobiti ocene za odstopanja, ki ne povzročajo smrtnosti. Vendar je smiselno pričakovati, da bodo skupni negativni učinki pogostih odstopanj CCC povzročili nesprejemljivo degradacijo vodotokov (EPA, 1991).

2.6.1.6 Postopek za izračun nizkih projektnih pretokov po biološki metodi

Nizki pretoki za CCC in CMC so izračunani na skoraj enak način. Do razlik pride zaradi dejstva, da je CCC izražena kot 4-dnevno povprečje, medtem ko je CMC izražena kot 1-urno povprečje. Ker so obdobja zapisov o pretokih sestavljena iz 1-dnevnih povprečnih pretokov in ker so si pretoki v naravnih vodotokih zelo podobni iz ure v uro, lahko CMC izrazimo tudi kot 1-dnevno povprečje (EPA, 1986).

Biološka metoda je iterativni postopek konvergence, sestavljen iz petih delov (EPA, 1986):

- I) Izračun dovoljenega števila odstopanj
 - I-1) $Z = D / [Y (365.25/\text{leto})]$, (7)
kjer pomeni:
 - Z največje dovoljeno število odstopanj v obdobju zapisa,
 - D število dni v obdobju zapisa izmerjenih dnevnih pretokov,
 - Y povprečno število let, določenih v kriterijih.
- II) Izračun niza drsečih povprečij za X -dni (ang. *X-day running averages*) iz podatkov izmerjenih dnevnih pretokov. Ker je koncentracija onesnaževal v vodotoku obratno sorazmerna pretoku vodotoka, so ustrezna drseča povprečja dejansko drseče harmonične sredine. Zato naj bi bila drseča povprečja izračunana kot $X/\sum(1/F)$ in ne kot $(\sum F)/X$, kjer je F pretok za posamezni dan. V nadaljevanju bo izraz drseče povprečje pomenil drseča harmonična sredina.
 - II-1) X je izmerjeni povprečni dnevni pretok. Izračunamo niz drsečih povprečij za X -dni začenši s 1. dnevom, 2. dnevom, 3. dnevom itd. Vsako povprečje bo imelo $X - 1$ skupno z naslednjim povprečjem in število X -dni povprečij v celotnem obdobju zapisa bo $(D + 1 - X)$.
- III) Izračun števila odstopanj v nizih drsečih povprečij za več različnih pretokov, določenih v delih IV in V.
 - III-1) Pridobimo določeni pretok v delih IV ali V.
 - III-2) V nizu X -dni drsečega povprečja za celotno obdobje zapisa zapišemo dan, ko je prvo povprečje pod določenim pretokom. Prav tako zapišemo število zaporednih dni, ki so del vsaj enega ali več X -dnevnih povprečij, ki so pod določenim pretokom. (Opomba: da

je dan štet kot dan odstopanja, ni izključno odvisno samo od tega, da je X -dan povprečja za ta dan pod določenim pretokom. Namesto tega je v celoti odvisen od tega, da je ta dan del kateregakoli X -dnevnega povprečja, ki je pod določenim pretokom.)

III-3) Določimo začetek in število dni v vsakem obdobju odstopanja za celotno obdobje zapisa.

III-4) Poiščemo vsa obdobja odstopanj, ki se pričnejo znotraj 120-dnevnega obdobja nizkega pretoka, od začetka pojava prvega obdobja odstopanja. Čeprav je prvo obdobje odstopanj običajno tudi edino obdobje znotraj 120-dnevnega obdobja nizkega pretoka, se včasih zgodi pojav dveh ali treh obdobji odstopanj znotraj 120 dni. Redko kdaj pa se zgodi, da bi se obdobja odstopanj pojavila v dneh od 121 do 240. Štejemo, da so se vse obdobja zgodila v prvem obdobju nizkega pretoka. Nato seštejemo vse dneve v obdobju odstopanj in jih delimo z X -dnevnim povprečjem, da dobimo število odstopanj v prvem obdobju nizkega pretoka. Če je izračunano število odstopanj večje kot 5, nastavimo za nadaljnje računanje število odstopanj na 5.

III-5) Po prvem obdobju nizkega pretoka poiščemo začetek naslednjega obdobja odstopanja, ki pa tudi s svojim prvim dnevom označuje začetek naslednjega 120-dnevnega obdobja nizkega pretoka. Določimo število dni v obdobju odstopanj in izračunamo število odstopanj v drugem obdobju nizkega pretoka.

III-6) Določimo začetne dneve in število odstopanj za vsako naslednje 120-dnevno obdobje nizkega pretoka.

III-7) Seštejemo vsa odstopanja v vseh obdobjih nizkega pretoka in izračunamo N , to je vsota vseh odstopanj za določeni pretok.

IV) Izračun začetnih spodnjih in zgornjih mejnih vrednosti nizkega pretoka ter izračun poskusnega začetnega pretoka z interpolacijo med spodnjo in zgornjo mejno vrednostjo. Število odstopanj za vsako mejno vrednost se izračuna s pomočjo dela III.

IV-1) Vzamemo $L = 0$ za začetno spodnjo mejno vrednost.

IV-2) Za U vzamemo xQy pretok za začetno zgornjo mejno vrednost.

IV-3) Vzamemo $N_L = 0$ za število odstopanj za začetno spodnjo mejno vrednost.

IV-4) Izračunamo N_U , to je število odstopanj začetne zgornje mejne vrednosti.

IV-5) Izračunamo T (začetni poskusni pretok)

$$T = L + ((Z - N_L) (U - L) / (N_U - N_L)). \quad (8)$$

V) Z uporabo zaporednih iteracij izračunamo nizek pretok, ki predstavlja najvišji pretok, v katerem se ne bo pojavilo večje število odstopanj, kot smo jih izračunali v delu I.

V-1) Izračunamo število odstopanj poskusnega pretoka N_T .

V-2) Če je $-0,005 \leq ((N_T - Z) / Z) \leq +0,005$, vzamemo T kot nizki pretok in ustavimo izračun.

Če je $N_T > Z$, vzamemo, da je $U = T$ in $N_U = N_T$.

Če je $N_T < Z$, vzamemo, da je $L = T$ in $N_L = N_T$.

V-3) Če je $((U - L) / U) \leq 0,005$, vzamemo L kot nizki pretok in ustavimo izračun.

Drugače izračunamo nov poskusni pretok kot $T = L + ((Z - N_L) (U - L) / (N_U - N_L))$, in če je treba ponovimo korake V-1, V-2 in V-3.

2.6.2 Hidrološka metoda

Hidrološka metoda, ki je vgrajena v program DFLOW, je bila razvita s strani U.S. Geological Survey in jo trenutno uporablja večina zveznih držav v ZDA. Nizki pretoki pri tej metodi so izračunani tako, da uporabimo posamezni dogodek najnižjih pretokov iz vsakega leta in potem te pretoke analiziramo z verjetnostno analizo za serijo obravnavanih let (EPA, 1986). Zapisani so v obliki xQy . Ta metoda se uporablja za določitev ekstremnih vrednosti, kot je na primer povprečni 7-dnevni nizki pretok s povratno dobo 10 let ($7Q10$).

Ker še ni razvit postopek za izračun nizkih pretokov, ki bi temeljil na trajanjih in pogostosti po kriterijih za zaščito vodnega življenja kot pri biološki metodi, EPA začasno priporoča uporabo nizkih pretokov $1Q5$ in $1Q10$ za kriterije maksimalnih koncentracij ter $7Q5$ in $7Q10$ za kriterije stalne koncentracije, in sicer za obremenjene in neobremenjene sisteme (EPA, 1986).

Prednosti te metode so v tem, da se za izračun nizkih pretokov uporablja log-Pearson III porazdelitev, ki je skladna s preteklo inženirsko in statistično prakso v ZDA ter dobro tehnično podporo. Slabosti pa se pokažejo v tem, da je metoda neodvisna od bioloških dejavnikov, tako da nizki pretoki, izračunani s to metodo, lahko dopustijo več ali manj odstopanj kot je potrebno (EPA, 1991).

2.6.2.1 Postopek za izračun nizkih pretokov pri hidrološki metodi

Za izračun nizkih pretokov xQy program DFLOW uporablja poenostavljeno verzijo log-Pearsonove III porazdelitve. Enačba za izračun je (Jonaitis, 2002):

$$xQy = \exp (u + \sigma K (g , y)), \quad (9)$$

kjer pomeni:

- u povprečna vrednost logaritmov letnih nizkih pretokov
- σ standardna deviacija logaritmov letnih nizkih pretokov
- g koeficient asimetrije logaritmov letnih nizkih pretokov

K faktor frekvence za koeficient asimetrije g in povratno dobo y .

V preglednici 4 je podanih nekaj faktorjev frekvenc K za povratno dobo petih in desetih let. Faktor frekvence log-Pearsonove porazdelitve pa lahko izračunamo tudi po naslednji enačbi (Jonaitis, 2002):

$$K = (2/g) \left[\left(1 + (gz)/6 - g^2/36 \right)^3 - 1 \right] \quad (10)$$

za $|g| \leq 3$, kjer je »z« standardna normalna spremenljivka s kumulativno verjetnostjo $1/y$.

Preglednica 4: Faktorji frekvence K za log-Pearsonovo III porazdelitev (EPA, 1986)

Koeficient asimetrije g	Faktor frekvence K	
	Za 5-letno povratno dobo	Za 10-letno povratno dobo
3	-0.636	-0.660
2,8	-0.666	-0.702
2,6	-0.696	-0.747
2,4	-0.725	-0.795
2,2	-0.752	-0.844
2	-0.777	-0.895
1,8	-0.799	-0.945
1,6	-0.817	-0.994
1,4	-0.832	-1.041
1,2	-0.844	-1.086
1	-0.852	-1.128
0,8	-0.856	-1.166
0,6	-0.857	-1.200
0,4	-0.855	-1.231
0,2	-0.850	-1.258
0	-0.842	-1.282
-0,2	-0.830	-1.301
-0,4	-0.816	-1.317
-0,6	-0.800	-1.328
-0,8	-0.758	-1.336
-1	-0.758	-1.340
-1,2	-0.732	-1.340
-1,4	-0.705	-1.337
-1,6	-0.675	-1.329
-1,8	-0.643	-1.318
-2	-0.609	-1.302
-2,2	-0.574	-1.284
-2,4	-0.537	-1.262
-2,6	-0.499	-1.238

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 4

-2,8	-0.460	-1.210
-3	-0.420	-1.180

Tabele za normalne spremenljivke najdemo v večini statističnih knjig. Primerno vrednost »z« pa lahko tudi izračunamo po naslednji enačbi (Jonaitis, 2002):

$$z = 4,91 [(1 / y)^{0,14} - (1 - 1 / y)^{0,14}]. \quad (11)$$

2.7 Ekološko sprejemljivi pretok v Sloveniji

Na podlagi 71. člena Zakona o vodah je Vlada Republike Slovenije izdala Uredbo o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka (Uradni list RS št. 97/2009). Uporaba uredbe se nanaša na posebno rabo površinske vode, ki lahko povzroči zmanjšanje pretoka vode, znižanje gladine vode ali poslabšanja stanja vode, za posebno rabo površinske vode iz izvirov, uporablja pa se tudi za rabo površinske vode za bogatenje podzemne vode zaradi posebne rabe podzemne vode za oskrbo prebivalcev s pitno vodo.

Eden izmed glavnih kriterijev za določitev ekološko sprejemljivega pretoka so hidrološka izhodišča. Ta izhodišča predstavljajo vrednosti srednjega malega in srednjega pretoka na mestu odvzema. Vrednosti slednjih se pridobijo iz podatkov državnega hidrološkega monitoringa, ki ga izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje.

Srednji mali pretok sQ_{np} je aritmetično povprečje najnižjih letnih vrednosti srednjega dnevnega pretoka v daljšem opazovalnem obdobju in se ga izraža v m^3/s . Izračuna se ga po enačbi (Ur. l. RS št. 97/2009):

$$sQ_{np} = \sum_{i=1}^{i=N} Q_{np,i} / N, \quad (12)$$

kjer je:

sQ_{np} srednji mali pretok

$Q_{np,i}$ najmanjši srednji dnevni pretok v i-tem koledarskem letu

N število let v opazovalnem obdobju, običajno zadnjih 30 let.

Srednji pretok sQ_s pa je aritmetično povprečje srednjih letnih vrednosti v daljšem opazovalnem obdobju in se ga izraža v m^3/s . Izračuna se ga po enačbi (Ur. l. RS št. 97/2009):

$$sQ_s = \sum_{i=1}^{i=N} Q_{s,i} / N \quad (13)$$

kjer je:

sQ_s	srednji pretok
$Q_{s,i}$	srednji letni pretok v i -tem koledarskem letu
N	število let v opazovalnem obdobju.

V primeru, da podatki državnega hidrološkega monitoringa na mestu odvzema ne obstajajo, se izdelava ocena vrednosti srednjega malega in srednjega pretoka na mestu odvzema. Oceno vrednosti pridobimo z izračuni na podlagi podatkov o razmerjih pretoka in velikostih prispevnih površin hidrološko podobnega povodja ali porečja. Če gre za hidrogeološko homogeni porečji in hidromorfološko podobni porečji iz iste skupine ekoloških tipov vodotokov, pa lahko izračune naredimo tudi na podlagi druge empirične metode (Ur. l. RS št. 97/2009).

Poleg hidroloških izhodišč se ekološko sprejemljivi pretok določi še na podlagi značilnosti odvzema vode, hidroloških, hidromorfoloških in bioloških značilnosti vodotoka ter podatkov o varstvenih režimih, na katere lahko vpliva nameravana posebna raba površinske vode (Ur. l. RS št. 97/2009).

Na podlagi hidroloških izhodišč se ekološko sprejemljivi pretok določi z naslednjo enačbo:

$$Q_{es} = f \cdot sQ_{np}, \quad (14)$$

kjer pomeni:

Q_{es}	ekološko sprejemljivi pretok
f	faktor, odvisen od ekološkega tipa vodotoka
sQ_{np}	srednji mali pretok.

Srednji mali pretok sQ_{np} izračunamo po zgoraj omenjeni enačbi (enačba 11), faktor f pa določimo po naslednjem postopku (Ur. l. RS št. 97/2009):

- Izbrani vodotok moramo najprej razvrstiti v skupino ekoloških tipov vodotokov. To so tipi, določeni s predpisom, ki ureja stanje površinskih voda. Skupine ekoloških tipov so del vodnega katastra, določene pa so na digitalnem podatkovnem sloju za raven merila 1:25000 v državnem koordinatnem sistemu. Skupine so predstavljene v preglednici 5 (Ur. l. RS št. 97/2009).

Preglednica 5: Skupine ekoloških tipov vodotokov (Ur. l. RS št. 97/2009)

Skupina ekoloških tipov	Ekoregija	Bioregija	Ekološki tip vodotoka
1	3	Spodnja Vipavska dolina in Brda	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Panonska gričevja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Krško-Brežiška kotlina	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Obalna gričevja	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Panonske ravnine z alpskim vplivnim območjem	vsi ekološki tipi v bioregiji
2	4	Predalpska hribovja-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Predalpska hribovja-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Preddinarska hribovja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Dinarski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Submediteranski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Submediteranska hribovja brez površinskega odtoka	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Submediteranska hribovja s površinskim odtokom	vsi ekološki tipi v bioregiji
3	4	Karbonatne Alpe-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Silikatne Alpe	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Karbonatne Alpe-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Dinarska hribovja	vsi ekološki tipi v bioregiji
4		Velike reke	vsi ekološki tipi v bioregiji

- V naslednjem koraku določimo vrednosti faktorja f za nepovratni in povratni odvzem. V preglednici 6 so prikazane vrednosti faktorja f za nepovratni odvzem, to je takšen odvzem, pri katerem se odvzeta voda ne vrača nazaj v isti vodotok.

Preglednica 6: Vrednosti faktorja f za nepovratni odvzem (Ur. l. RS št. 97/2009)

Skupina ekoloških tipov	Velikost prispevne površine				
	< 10 km ²	10–100 km ²	100–1000 km ²	1000–2500 km ² in s Q_s < 50 m ³ /s	> 2500 km ² ali s Q_s > 50 m ³ /s
Majhen odvzem celo leto ali velik odvzem v sušnem obdobju					
1	1,5	1,5	1,2	1,0	
2	1,5	1,2	1,0	1,0	
3	1,2	1,0	0,8		
4					0,8
Velik odvzem v vodnatem obdobju					
1	2,4	2,4	1,9	1,6	
2	2,4	1,9	1,6	1,6	
3	1,9	1,6	1,3		
4					1,3

Majhen odvzem vode predstavlja odvzem, pri katerem je količina odvzete vode enaka ali manjša od srednjega pretoka, velik odvzem pa odvzem, pri katerem je količina odvzete vode večja od srednjega pretoka na mestu odvzema.

Sušno obdobje predstavljajo meseci junij, julij, avgust in september za skupino ekoloških tipov 1 ter januar, februar, junij, julij, avgust, september in december za skupine ekoloških tipov 2, 3 in 4 iz preglednice 5. Ostalo obdobje koledarskega leta, ki ni opredeljeno kot sušno, pa je vodnato obdobje.

Preglednica 7 (Ur. l. RS št. 97/2009) pa prikazuje vrednosti faktorja f za povratni odvzem. To je odvzem, pri katerem se odvzeta voda vrača nazaj v isti vodotok. Povratni odvzem se deli na točkovni odvzem vode, pri katerem se odvzeta voda vrača v vodotok tik pod odvzemom oz. jezom, na dolgi odvzem vode, pri katerem se odvzeta voda vrača v vodotok na razdalji, ki je daljša kot pri kratkem odvzemu ter na kratki odvzem vode, pri katerem se odvzeta voda vrača v vodotok na razdalji, merjeni po liniji vodotoka. Pri kratkem odvzemu je linija:

- krajša ali enaka 100 m, če gre za odvzem na vodotoku, razvrščenem v ekološki tip s prispevno površino enako ali manjšo od 100 km²,
ali
- krajša ali enaka 500 m, če gre za odvzem na vodotoku, razvrščenem v ekološki tip s prispevno površino večjo od 100 km².

V primeru, če je dolvodno od odvzema na razdalji, enaki ali manjši od razdalje pri kratkem odvzemu, vsaj en pritok, ki ima prispevno površino istega velikostnega razreda, kot je pri ekološkem tipu vodotoka na mestu odvzema, uporabimo pri velikem nepovratnem odvzemu vode faktor f , določen za dolg odzem, pri majhnem nepovratnem odvzemu vode uporabimo faktor f , ki je določen za kratek odzem, pri dolgem odvzemu pa uporabimo faktor f , določen za kratek odzem (Ur. l. RS št. 97/2009).

Preglednica 7: Vrednosti faktorja f za povratni odzem (Ur. l. RS št.97/2009)

Skupina ekoloških tipov	Velikost prispevne površine				
	< 10 km ²	10–100 km ²	100–1000 km ²	1000–2500 km ² in sQs < 50 m ³ /s	> 2500 km ² ali sQs > 50 m ³ /s
Točkovni odzem					
1	0,7	0,7	0,5	0,4	
2	0,7	0,5	0,4	0,4	
3	0,5	0,4	0,3		
4					0,3
Kratek odzem celo leto ali dolg odzem v sušnem obdobju					
1	1,2	1,2	1,0	0,8	
2	1,2	1,0	0,8	0,8	
3	1,0	0,8	0,7		
4					0,7
Dolg odzem v vodnatem obdobju					
1	1,9	1,9	1,6	1,3	
2	1,9	1,6	1,3	1,3	
3	1,6	1,3	1,1		
4					1,1

Pri nepovratnem in povratnem odvzemu vode za skupine ekoloških tipov 1 in 2 se faktor f pomnoži (Ur. l. RS št. 97/2009):

- z 1,6, če je razmerje med srednjim pretokom in srednjim malim pretokom na mestu odvzema večje od 20 ter
- z 2, če je razmerje med srednjim pretokom in srednjim malim pretokom na mestu odvzema večje od 20 ter če gre za posebno rabo vode.

3 PROGRAM DFLOW

Program DFLOW je programsko orodje, razvito in izdelano s strani ameriške Agencije za varstvo okolja (United States Environmental Protection Agency) (EPA, 1986). Prve verzije programa je agencija začela uporabljati v 80. letih na svojih računalnikih, zadnja verzija programa (DFLOW 3.1) pa je dostopna na spletnih straneh U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2014) in jo lahko uporablja vsakdo, ki je zainteresiran za izračun statistik nizkih pretokov. Program je namenjen izračunu nizkih pretokov, ki jih lahko uporabimo pri različnih analizah nizkih pretokov, izračunih za največje dovoljene izpuste odpadnih voda ter pri postavljanju standardov za kakovost vode.

3.1 Priprava vhodne datoteke

Preden uporabimo program DFLOW, je treba pridobiti podatke dnevni pretokov iz vodomernih postaj, za katere želimo narediti izračune, ter prilagoditi vhodno datoteko tako, da ustreza zahtevam programa (slika 10). V Sloveniji podatke o dnevni pretokih pridobimo iz spletnega Arhiva površinskih voda Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2015).

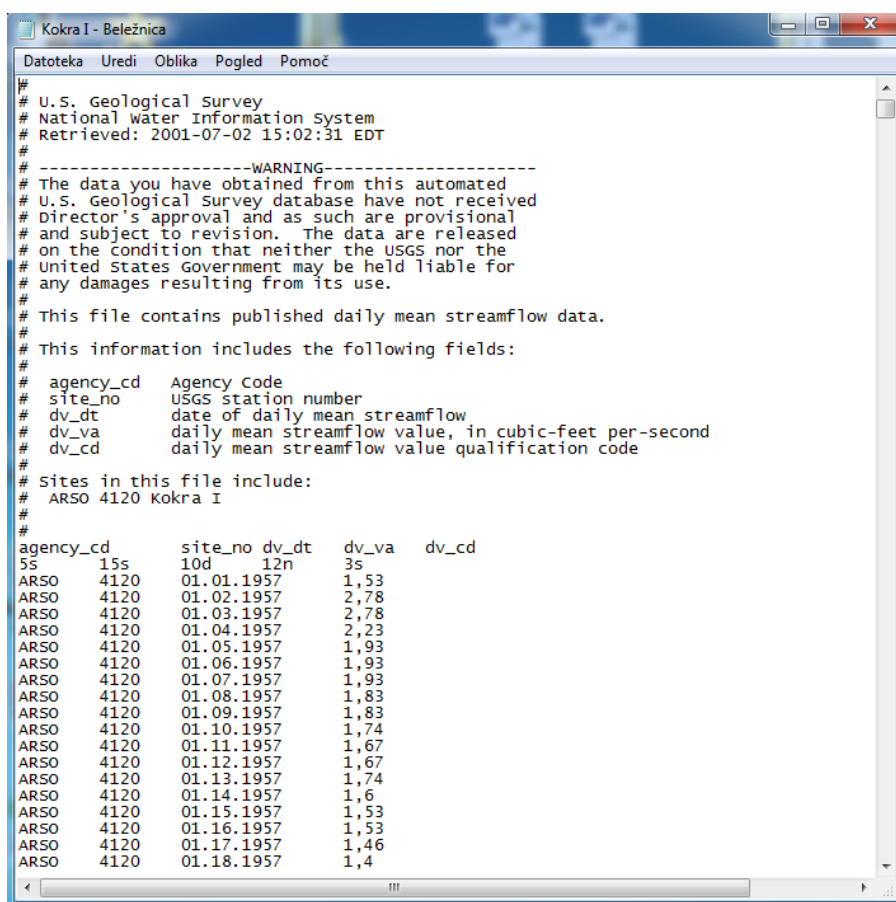
Vhodno datoteko pripravimo v programu Microsoft Office Excel. Glavo datoteke pridobimo v enem izmed treh primerov, ki so v datotekah programa DFLOW. Glava je sestavljena iz 28 vrstic, označenih s simbolom #. Spremenimo samo 26. vrstico, v katero napišemo ime agencije, pri kateri smo pridobili podatke o dnevni pretokih, ter ime in identifikacijsko številko vodomerne postaje. V našem primeru za ime agencije napišemo ARSO. Prav tako ne spreminjamo 29. in 30. vrstice, ki označujeta pet stolpcev, v katere je potrebno vnesti vhodne podatke za izračune. V prvi stolpec povsod napišemo ime agencije ter v drugi stolpec identifikacijsko številko vodomerne postaje. V tretji stolpec vstavimo datume dnevni pretokov. Datumi morajo biti pisani v določeni obliki in vrstnem redu, in sicer dve cifri za mesec, dve cifri za dan in štiri cifre za leto, med seboj pa jih ločimo s piko ali poševnico (npr.: 01.30.1985 ali 07/07/1982).

Datume oblikujemo po naslednjem postopku:

- a) V programu Microsoft Office Excel označimo vsa polja z datumi in izberemo zavihek »Podatki« in v skupini »Podatkovna orodja« kliknemo na »Besedilo v stolpce«.
- b) V razdelku »Besedilo v stolpce« izberemo »Fiksna širina« in »Datum (DML)«.
- c) Nato z desnim klikom izberemo »Oblikuj celice« in pod zavihkom »Številke« izberemo možnost »Po meri«. V polje »Vrsta« vpišemo iskano obliko datuma, in sicer mm.dd.yyyy.

V četrti stolpec vnesemo podatke o dnevni pretokih (slika 10). Peti stolpec je prazen, vendar mora biti viden v vhodni datoteki. To lahko dosežemo tako, da v Microsoft Office Excelu v peti stolpec povsod vpišemo npr. črko š in nato kopiramo v orodje Notepad, kjer izberemo možnost »Zamenjaj«, vpišemo pod »Najdi« črko š, pod »Zamenjaj z« pa pustimo prazno polje.

Po pripravi podatkov v Microsoft Office Excelu, jih prenesemo v tekstovni urejevalnik (npr. Notepad) in jih shranimo kot .txt datoteko (slika 10). Vhodno datoteko naredimo za vsako vodomerno postajo posebej.



```
#
# U.S. Geological Survey
# National Water Information System
# Retrieved: 2001-07-02 15:02:31 EDT
#
# -----WARNING-----
# The data you have obtained from this automated
# U.S. Geological Survey database have not received
# Director's approval and as such are provisional
# and subject to revision. The data are released
# on the condition that neither the USGS nor the
# United States Government may be held liable for
# any damages resulting from its use.
#
# This file contains published daily mean streamflow data.
#
# This information includes the following fields:
#
# agency_cd      Agency Code
# site_no        USGS station number
# dv_dt          date of daily mean streamflow
# dv_va          daily mean streamflow value, in cubic-feet per-second
# dv_cd          daily mean streamflow value qualification code
#
# Sites in this file include:
# ARSO 4120 Kokra I
#
agency_cd      site_no dv_dt   dv_va   dv_cd
5S      15s      10d      12n      3s
ARSO 4120 01.01.1957 1,53
ARSO 4120 01.02.1957 2,78
ARSO 4120 01.03.1957 2,78
ARSO 4120 01.04.1957 2,23
ARSO 4120 01.05.1957 1,93
ARSO 4120 01.06.1957 1,93
ARSO 4120 01.07.1957 1,93
ARSO 4120 01.08.1957 1,83
ARSO 4120 01.09.1957 1,83
ARSO 4120 01.10.1957 1,74
ARSO 4120 01.11.1957 1,67
ARSO 4120 01.12.1957 1,67
ARSO 4120 01.13.1957 1,74
ARSO 4120 01.14.1957 1,6
ARSO 4120 01.15.1957 1,53
ARSO 4120 01.16.1957 1,53
ARSO 4120 01.17.1957 1,46
ARSO 4120 01.18.1957 1,4
```

Slika 10: Prikaz vhodne datoteke za program DFLOW

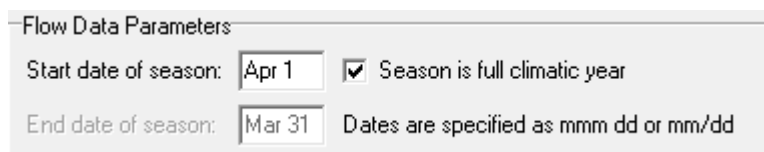
Za podatke dnevni pretokov, pridobljenih na strani U.S. Geological Survey, je možna izdelava vhodne datoteke s pomočjo programa MkDF 1.0 (Granato, 2008).

3.2 Možnosti programa DFLOW

V programu lahko izbiramo med različnimi nastavitvami parametrov, kot so izbira klimatološkega leta, časovnega obdobja ter določitev parametrov za izračun nizkih pretokov pri biološki in hidrološki metodi.

3.2.1 Določanje klimatološkega/hidrološkega leta

Klimatološko/hidrološko leto je definirano kot zvezno dvanajstmesečno obdobje, v katerem opazujemo celoten letni podnebni cikel in je izbrano tako, da omogoča dovolj zanesljivo primerjanje meteoroloških podatkov (Mikoš in sod., 2002). V programu določimo hidrološko leto tako, da zapišemo datum, s katerim želimo, da se nam začne. Lahko pa določimo tudi sezono, ki traja manj kot leto dni, z izklopom polja »Season is full climatic year«, in nato vnesemo datume za začetek in konec sezone (slika 11).



Flow Data Parameters

Start date of season: Apr 1 Season is full climatic year

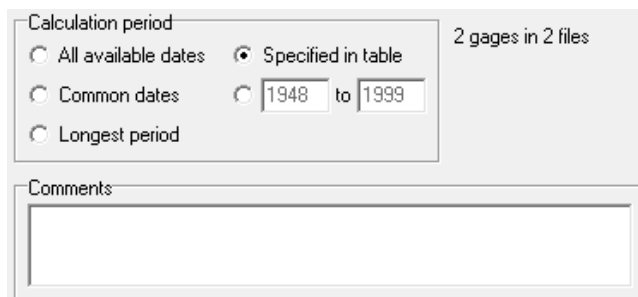
End date of season: Mar 31 Dates are specified as mmm dd or mm/dd

Slika 11: Določanje klimatološkega/hidrološkega leta

3.2.2 Določanje časovnega obdobja izračunov

V delu okna, označenem s »Calculation period«, izbiramo časovna obdobja, za katera želimo opraviti izračune (slika 12). Na voljo so različne možnosti, in sicer:

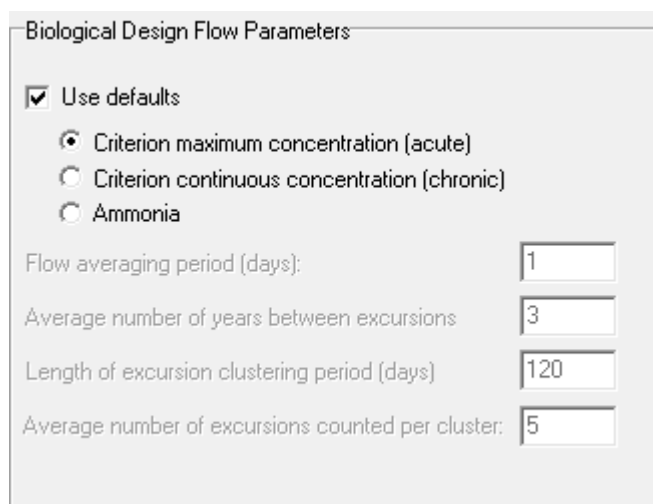
- Če izberemo »All available dates«, bo program uporabil celotno obdobje vodomerne postaje, ki je v vhodni datoteki.
- V primeru, ko delamo izračune za več vodomernih postaj naenkrat in želimo izračune za obdobja, ki so skupna vsem postajam, izberemo možnost »Common dates«.
- Možnost »Longest period« samodejno določi najdaljše obdobje vseh vodomernih postaj, za katere opravljamo izračune, in uporabi tista obdobja znotraj zapisa, ki so najpoznejša.
- Možnost »Specified in table« uporabi obdobja, ki so določena v stolpcih, označenih s »Start« in »End« pri tabelah s postajami.



Slika 12: Določanje časovnega obdobja izračunov

3.2.3 Določanje bioloških parametrov

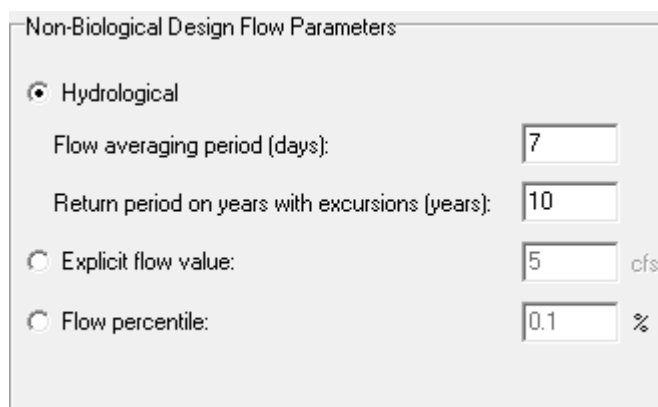
Kot smo že obravnavali v poglavju 2.6.1, izračunani nizki pretoki, ki temeljijo na bioloških kriterijih, v svojih izračunih neposredno uporabljajo kriterije za kakovost vode, postavljene s strani ameriške Agencije za varstvo okolja EPA (EPA, 1986). Ti pretoki so opredeljeni s parametri povprečnega obdobja pretoka (ang. *flow averaging period*), številom let med odstopanji (ang. *number of years between excursions*), dolžino obdobja nizkega pretoka, v katerem se zgodijo odstopanja (ang. *excursion clustering period*), in povprečnim številom odstopanj na dolžino obdobja nizkega pretoka (ang. *average number of excursions per cluster*). Program ponuja privzete vrednosti parametrov, in sicer za izračun nizkih pretokov, ki ustrezajo kriterijem maksimalne koncentracije in kriterijem stalne koncentracije, ter za izračun toksičnosti amonijaka. Uporabniku programa pa je omogočena tudi nastavitvev teh parametrov po lastnih željah (slika 13).



Slika 13: Določanje bioloških parametrov

3.2.4 Določanje hidroloških parametrov

Za izračun nizkih pretokov, ki temeljijo samo na hidroloških podatkih, program uporablja log-Pearsonovo III porazdelitev. Slika 14 prikazuje parametre, ki jih je možno določiti za izračune nizkih pretokov po hidrološki metodi. Uporabnik mora določiti povratno dobo (ang. *return period*) in povprečno obdobje nizkega pretoka v dnevih (ang. *flow averaging period*). Lahko pa se uporabnik odloči za možnosti, pri katerih sam izbere velikost pretoka (ang. *explicit flow value*) ali percentile pretoka (ang. *flow percentile*), za katere želi izračune (slika 14).



Non-Biological Design Flow Parameters

Hydrological

Flow averaging period (days):

Return period on years with excursions (years):

Explicit flow value: cfs

Flow percentile: %

Slika 14: Določanje hidroloških parametrov

3.3 Prikaz rezultatov v programu DFLOW

Ko so določeni vsi parametri, izberemo tipko »Calculate Design Flows« za izračun nizkih pretokov. Program prikaže rezultate v preglednicah, ki jih lahko z izbiro »Copy to Clipboard« prenesemo in shranimo v program Microsoft Office Excel ali njemu podobne programe.

Slika 15 prikazuje tabelo rezultatov, ki nam jo poda program. V vrsticah so izbrane vodomerne postaje, v stolpcih pa imamo zapisano obdobje izračuna, število dni v obdobju, število dni z manjkajočimi podatki ali ničelnim pretokom, izračunani nizek pretok po biološki metodi (xBy), percentile za xBy , število odstopanj pri pretoku xBy na tri leta, izračunani nizek pretok po hidrološki metodi (xQy), percentile za xQy , število odstopanj za xQy na tri leta, povratno dobo, velikost pretoka in percentile za pretok xQy , ki je najbližje izračunanemu pretoku xBy , harmonično sredino ter percentile harmonične sredine.

Gage	Period	Days in Record	Zero/missing	1B3	Percentile	Excur. per 3 Yrs	1Q10	Percentile	Excur. per 3 Yrs	1Qy Type	1Qy	Percentile	Harmonic	Percentile
120 Kokra I	1957-2012	20.453	None	0,93	0,14%	0,96	0,93	0,14%	0,55	1Q11	0,91	0,13%	2,78	44,87%
2072500 SMITH RIN	1940-1999	21.914	None	50,0	0,11%	1,00	48,9	0,09%	0,00	1Q7	50,0	0,11%	184	32,87%
2072000 SMITH RIN	1947-1998	18.992	None	30,0	0,19%	0,75	29,1	0,19%	0,00	1Q7	29,7	0,19%	119	29,90%

Slika 15: Prikaz rezultatov v programu DFLOW

Program omogoča še dodatne informacije o pretokih, ki so lahko uporabne pri bolj detajlnih analizah, in sicer izračune pretokov xQ_y za vrednosti y od 2 do števila let celotnega računskega obdobja ter opazovanih pretokov s povratnimi dobami, velikostmi pretokov in letom, ko se je pojavil pretok (slika 16).

4120 Kokra I										
Recurrence Period	1	2	3	4	...	...	53	54	55	56
Calculated		1,37	1,22	1,15	...	...	0,81	0,81	0,8	0
Recurrence Period	56	28	18,667	14	...	...	1,057	1,037	1,018	1
Observed	0,77	0,89	0,94	0,95	...	...	2,15	2,17	2,19	2,23
	1989	1985	1977	1968	...	...	1969	1960	1970	1965

Slika 16: Prikaz dodatnih izračunov za pretok xQ_y

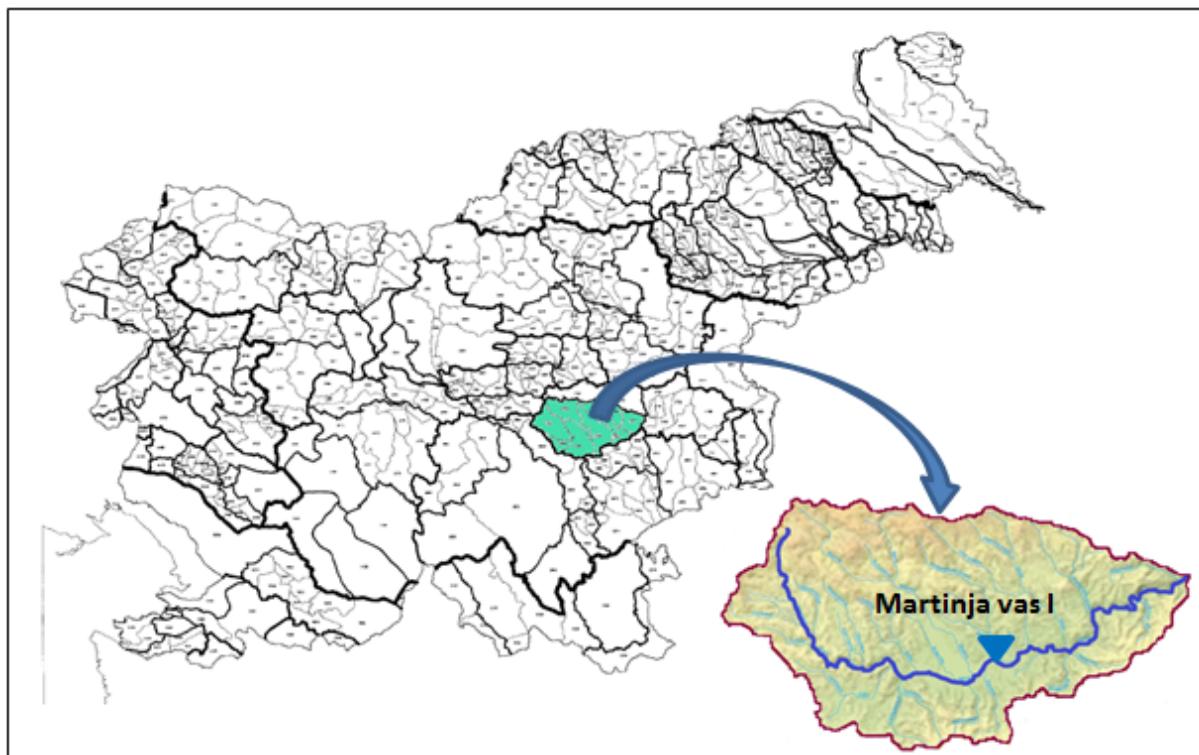
Prav tako program omogoča dodatne informacije o pretokih xB_y , in sicer z dvojnimi klikom na izračunan pretok xB_y nam program pokaže točne datume, trajanja in intenzivnosti odstopanj (slika 17).

Cluster Start	Excursions	Period Start	Duration	Avg Excursion
Feb 16, 1968	1.50	Feb 16, 1968	6	11,3%
Nov 15, 1977	3.00	Nov 15, 1977	6	3,3%
		Nov 26, 1977	6	5,6%
Nov 5, 1985	4.25	Nov 5, 1985	17	4,1%
Feb 13, 1989	5.00	Feb 13, 1989	15	15,5%
		Mar 4, 1989	14	4,3%
Apr 10, 1992	1.00	Apr 10, 1992	4	0,1%
Jul 29, 1993	3.75	Jul 29, 1993	5	1,5%
		Aug 28, 1993	4	0,9%
		Sep 11, 1993	6	2,6%
Total	18.50			

Slika 17: Dodatna analiza odstopanj za pretok xB_y

4 PRIMER ANALIZE NIZKIH PRETOKOV REKE MIRNE NA VODOMERNI POSTAJI MARTINJA VAS I S PROGRAMOM DFLOW

Za primer izračuna nizkih pretokov smo uporabili podatke z vodomerne postaje Martinja vas I (slika 18) za obdobje 50 let od leta 1963 do 2012. Podatki so brez manjkajočih vrednosti pretoka in so pridobljeni v arhivu površinskih voda Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2015).



Slika 18: Lokacija obravnavane vodomerne postaje Martinja vas I

4.1 Opis porečja Mirne

V šifrantu hidrografskih območij Republike Slovenije (preglednica 8) so porečja razdeljena, glede na njihovo prispevno površino, v 4 nivoje. Porečje Mirne je razvrščeno v 3. nivo, ki spada v porečje Krške Save v 2. nivoju (obsega porečje Save od sotočja s Savinjo do sotočja s Krko), le-ta pa pripada porečju Save v 1. nivoju. Ostali vodotoki, ki spadajo pod porečje Mirne, pa spadajo v 4. nivo hidrografskih območij (Brilly in Šraj, 2006).

Preglednica 8: Šifrant hidrografskih območij (Povzeto po Brilly in Šraj, 2006: str. 7)

Šifra	Nivo območja in ime vodotoka				Hidrografsko območje	Površina (km ²)
	1. nivo	2. nivo	3. nivo	4. nivo		
1	POREČJE SAVE				Porečje Save v R Sloveniji	10686,3
17		Krška Sava			Porečje Save od sotočja s Savinjo do sotočja s Krko	756,88
172			Mirna		Porečje Mirne v porečju Save	294,98
1721				Mirna-Moravče	Povirje Mirne od izvira do sotočja z Vejarjem	48,41
1722				Vejar	Vodozbirna površina Vejarja	15,71
1723				Mirna-Mirna	Porečje Mirne od sotočja z Vejarjem do sotočja z Bistrico	47,97
1724				Bistrica	Vodozbirna površina Bistrice v porečju Mirne	44,21
1725				Mirna-Mokronog	Porečje Mirne od sotočja z Bistrico do sotočja s Hinjo	47,48
1726				Hinja	Vodozbirna površina Hinje	31,93
1727				Mirna-Dol	Porečje Mirne od sotočja s Hinjo do sotočja s Kameniškim potokom	13,67
1728				Kameniški potok	Vodozbirna površina Kameniškega potoka	19,5
1729				Mirna-Boštanj	Porečje Mirne od sotočja s Kameniškim potokom do vtoka v Savo	26,09

Porečje Mirne je 294,98 km² veliko porečje v osrednjem delu Slovenije (Topole, 1998). Je močno razgibano območje s povprečno nadmorsko višino 403 m, na katerem se stikajo kar tri makroregije, in sicer alpski, dinarski in panonski svet. Osrednji del porečja zavzema Mirnsko-Mokronoška kotlina s poplavno ravnico Mirne in njenimi pritoki. Kotlino obdaja zelo razčlenjeno gričevje, ki zavzema približno 44 % mirenskega porečja in je v povprečju visoko 350 m, z nakloni od 9° do 15°, neredko tudi nad 30° (Topole, 1998). Proti severu se gričevnati svet postopoma dvigne v do 850 m visoko hribovje, ki ga deloma štejemo k Posavskemu, deloma pa h Krškemu hribovju. Hribovje obsega 40 % porečja, s povprečno višino 500 m in povprečnim naklonom 17° (Topole, 1998). Tektonsko zastajanje je povzročilo, da je hribovje južno od Mirnsko-Mokronoške kotline za okrog 300 m nižje od tistega na severu, zaradi tega je hidrografsko težišče porečja pomaknjeno daleč proti jugu in levi pritoki so zato tudi precej daljši od desnih. Porečje je litološko izredno pestro, saj se v njem zvrstijo kamnine različnih starosti, vse od najstarejših permo-karbonskih do najmlajših holocenskih obdobj ter različnih prepustnosti in starosti, vse od mešanih karbonatno-silikatnih (zavzemajo tretjino porečja) do

prepustnih karbonatnih ter neprepustnih silikatnih, od kompaktnih do sipkih, od trdih do mehkih. Najbolj zastopan tip reliefa v porečju je fluviokraški (48 %), sledita mu rečno-denudacijski relief (36 %) ter rečno-akumulacijski relief, ki zavzema slabo desetino porečja in je omejen na kotlinske oz. ravninske dele Mirnsko-Mokronoške kotline. Najmanjši delež v porečju zavzema kraški relief, in sicer ga najdemo na 3 % površine. Povprečna letna temperatura porečja znaša 9 °C, z najvišjimi povprečnimi mesečnimi temperaturami v mesecu juliju (od 18 °C do 19 °C) in najnižjimi v mesecu januarju (okoli -1 °C). Porečje uvrščamo med območja z zmerno celinskim vlažnim podnebjem. Padavine ima razporejene skozi vse leto, z viškom v poletnih ter tudi v jesenskih mesecih (Topole, 1998). Višina povprečnih letnih padavin znaša 1272 mm (merjeno za obdobje od 1971 do 2000) (Frantar, 2008).

Reka Mirna (slika 19) je s svojimi 44 km najdaljši vodotok v porečju. Izvira v osrednjem delu Posavskega hribovja, natančneje v permo-karbonskih kamninah pod Presko nad Moravčami, na nadmorski višini 735 m (Topole, 1998). Od izvira svojo pot nadaljuje mimo Moravč v smeri jugovzhod in se pri Ravnah obrne skoraj proti vzhodu, kjer je v dvigajoče se površje vrezala do 90 m globoko ozko dolino s strmimi pobočji. Nato v Mirenskem gričevju napravi več zavojev ter pri naselju Mirna naredi oster ovinek za 90°, kjer se zopet obrne proti vzhodu. Tukaj začne teči po dnu Mirnsko-Mokronoške kotline, kjer teče po ravni umetni strugi. Pri naselju Puščava se usmeri proti severovzhodu in pri Pijavicah zapusti kotlinsko dno, kjer vstopi v vijugasto sotesko (Topole, 1998). Iz soteske vstopi v širšo dolino Save pri Dolenjem Boštanju nasproti Sevnice in se slab kilometer pozneje, na nadmorski višini 175 m, izlije v Savo. Reka Mirna ima dežno-snežni režim s primarnim pomladanskim viškom marca in aprila zaradi taljenja snega ter pomladanskega dežja in sekundarnim viškom novembra in decembra kot posledica jesenskih padavin ter zmanjšanega izhlapevanja (Mirna (reka), 2015). Minimalni pretoki pa se pojavijo v mesecih julij, avgust in september zaradi večje evapotranspiracije (Topole, 1998). Po poročilu Ocena stanja rek v Sloveniji v letih 2012 in 2013, izdanega s strani Agencije Republike Slovenije za okolje, je reka Mirna v dobrem kemijskem in ekološkem stanju (Cvitanič in sod., 2015).



Slika 19: Reka Mirna (Dolenjskilist.si, 2016)

4.2 Izračun nizkih pretokov za vodomerno postajo Martinja vas I s programom DFLOW

S programom DFLOW smo izračunali nizke pretoke za vodomerno postajo Martinja vas I. Nizki pretoki so bili izračunani tako s hidrološko metodo kot z biološko metodo. Za kriterij maksimalne koncentracije onesnaževal (CMC) smo uporabili 1-dnevno povprečno obdobje, za kriterij stalne koncentracije (CCC) pa 4-dnevno povprečno obdobje. Za oba kriterija smo uporabili pogostost dovoljenih odstopanj za obdobje treh let. Ker smo izbrali 50-letno obdobje podatkov, je največje dovoljeno število odstopanj za celotno obdobje 16,7.

Preglednica 9 prikazuje izračune nizkih pretokov 4B3 in 7Q10 po kriteriju stalne koncentracije (CCC). Izračunani nizki pretok 4B3 po biološki metodi je 0,43 m³/s, kar predstavlja pretok, ki je presežen v 99,47 % časa. Izračunano število odstopanj je 0,93 na tri leta, kar pomeni, da za celotno 50-letno obdobje pretok 4B3 dopusti 15,5 odstopanj. Torej biološka metoda vedno določi tak pretok in tako število odstopanj, da kar najboljše ustrezajo kriterijem. Izračunani nizki pretok 7Q10 po hidrološki metodi pa je 0,47 m³/s in predstavlja pretok, ki je presežen v 99,16 % časa. Število izračunanih odstopanj za pretok 7Q10 je 1,38 odstopanj na tri leta, torej za celotno obdobje 23 odstopanj, kar kaže na precejšnje prekoračitev dovoljenih odstopanj, in sicer za 37,7 %.

Kljub temu da sta si vrednosti pretokov podobni, pa lahko pride do veliko večjih razhajanj v številu odstopanj. V našem primeru je razlika med pretokoma 4B3 in 7Q10 le 8,5 %, razlika med odstopanji pa kar 32,6 %. Na podlagi izračunov bi bila boljša izbira za zaščito vodotoka nizki pretok 4B3, saj nizki pretok 7Q10 dopušča preveliko število odstopanj po kriteriju stalne koncentracije, s tem pa premajhno zaščito vodotoka. Pretok 7Qy, ki je v obravnavanem obdobju za vodomerno postajo Martinja vas I ekvivalenten pretoku 4B3, je 7Q17.

Preglednica 9: Izračunani nizki pretoki, percentili in število odstopanj po kriteriju stalne koncentracije (CCC) za vodomerno postajo Martinja vas I (1963-2012)

4B3 [m ³ /s]	Percentili [%]	Število odstopanj na tri leta	7Q10 [m ³ /s]	Percentili [%]	Število odstopanj na tri leta	Tip 7Qy	7Qy [m ³ /s]	Percentili [%]
0,43	0,53	0,93	0,47	0,84	1,38	7Q17	0,43	0,53

Po kriteriju maksimalne koncentracije (CMC) sta bila izračunana pretoka 1B3 in 1Q10 (preglednica 10). Vrednost nizkega pretoka 1B3 je 0,4 m³/s in dopušča 0,9 odstopanj na tri leta (15 odstopanj za celotno obdobje), pretok 1Q10 pa ima vrednost 0,43 m³/s in prav tako dopušča 0,9 odstopanj na tri leta (15 odstopanj za celotno obdobje). Iz rezultatov je razvidno, da sta si vrednosti pretokov različni, njuna odstopanja pa enaka. Tudi v primeru kriterija maksimalne koncentracije je boljša izbira za zaščito vodotoka pretok 1B3, izračunan po biološki metodi, saj poleg enake stopnje zaščite dopušča

večje odvzeme vode iz vodotoka in s tem omogoča večji izkoristek vodotoka. Pretok, ki je ekvivalenten pretoku 1B3, je 1Q15.

Preglednica 10: Izračunani nizki pretoki, percentili in število odstopanj po kriteriju maksimalne koncentracije (CMC) za vodomerno postajo Martinja vas I (1963–2012)

1B3 [m ³ /s]	Percentili [%]	Število odstopanj na tri leta	1Q10 [m ³ /s]	Percentili [%]	Število odstopanj na tri leta	Tip 1Qy	1Qy [m ³ /s]	Percentili [%]
0,4	0,21	0,9	0,43	0,42	0,9	1Q15	0,4	0,21

Preglednici 11 in 12 prikazujeta podrobnejši prikaz odstopanj po kriteriju stalne in maksimalne koncentracije za biološko metodo. Pri pretoku 4B3 smo zasledili prvo obdobje odstopanj avgusta 1993, ki je neprekinjeno trajalo 7, dni in tako dobimo 1,75 odstopanj. V obdobju nizkega pretoka (običajno traja 120 dni), ki se začne 28. avgusta 2003, smo naleteli na tri obdobja odstopanj, ki so trajala 13, 23 in 9 dni, skupaj 45 dni. Dobimo 11,25 (45 deljeno s 4) odstopanj, vendar ker je zgornja meja 5 odstopanj, program izpiše 5. Tak primer imamo tudi pri obdobju nizkega pretoka z začetkom avgusta 2012, v katerem imamo skupno 34 dni trajajoče obdobje odstopanj, dobimo 8,5 odstopanj v obdobju, vendar program izpiše 5. Septembra 2011 imamo še eno obdobje nizkega pretoka, v katerem smo zasledili 3,75 odstopanj.

Preglednica 11: Podrobnejši prikaz odstopanj po kriteriju stalne koncentracije (CCC) za vodomerno postajo Martinja vas I (1963–2012)

Začetek obdobja nizkega pretoka	Število odstopanj	Začetek obdobja odstopanj	Trajanje obdobja odstopanj [dni]	Povprečne vrednosti odstopanj [%]
20. avgust 1993	1,75	20. avgust 1993	7	2,40
28. avgust 2003	5	28. avgust 2003	13	5,00
		12. september 2003	23	5,80
		9. oktober 2003	9	6,70
25. september 2011	3,75	25. september 2011	5	1,90
		6. oktober 2011	10	12,10
31. avgust 2012	5	31. avgust 2012	30	18,90
		7. oktober 2012	4	7,20
Skupaj	15,5			

Pri pretoku 1B3 imamo dve obdobji nizkega pretoka, ki se pričneta julija 1993 in septembra 2003, v katerih se je zgodilo pet 1-dnevnih odstopanj, kar nanese skupno 5 odstopanj. V naslednjem obdobju nizkega pretoka s pričetkom oktobra 2011 smo zasledili 6-dnevno neprekinjeno obdobje odstopanj.

Ker je zgornja meja 5 odstopanj, v našem primeru se jih je zgodilo 6 (6 deljeno z 1), program izpiše 5. V zadnjem obdobju nizkega pretoka, ki se začne 3. septembra 2012, imamo tri obdobja odstopanj. Prvo se je zgodilo 3. septembra in je trajalo 21 dni, drugo 25. septembra in je trajalo 4 dni ter tretje 9. oktobra, ki je trajalo 2 dni. Skupaj dobimo 27 dni odstopanj znotraj obdobja nizkega pretoka, torej se je zgodilo 27 odstopanj, vendar jih zopet zapišemo 5.

Preglednica 12: Podrobnejši prikaz odstopanj po kriteriju maksimalne koncentracije (CMC) za vodomerno postajo Martinja vas I (1963–2012)

Začetek obdobja nizkega pretoka	Število odstopanj	Začetek obdobja odstopanj	Trajanje obdobja odstopanj [dni]	Povprečne vrednosti odstopanj [%]
29. julij 1993	1	29. julij 1993	1	7,70
17. september 2003	4	17. september 2003	1	3,30
		3. oktober 2003	1	3,30
		13. oktober 2003	1	3,30
		16. oktober 2003	1	3,30
10. oktober 2011	5	10. oktober 2011	6	9,10
3. september 2012	5	3. september 2012	21	13,80
		25. september 2012	4	22,00
		9. oktober 2012	2	4,90
Skupaj	15			

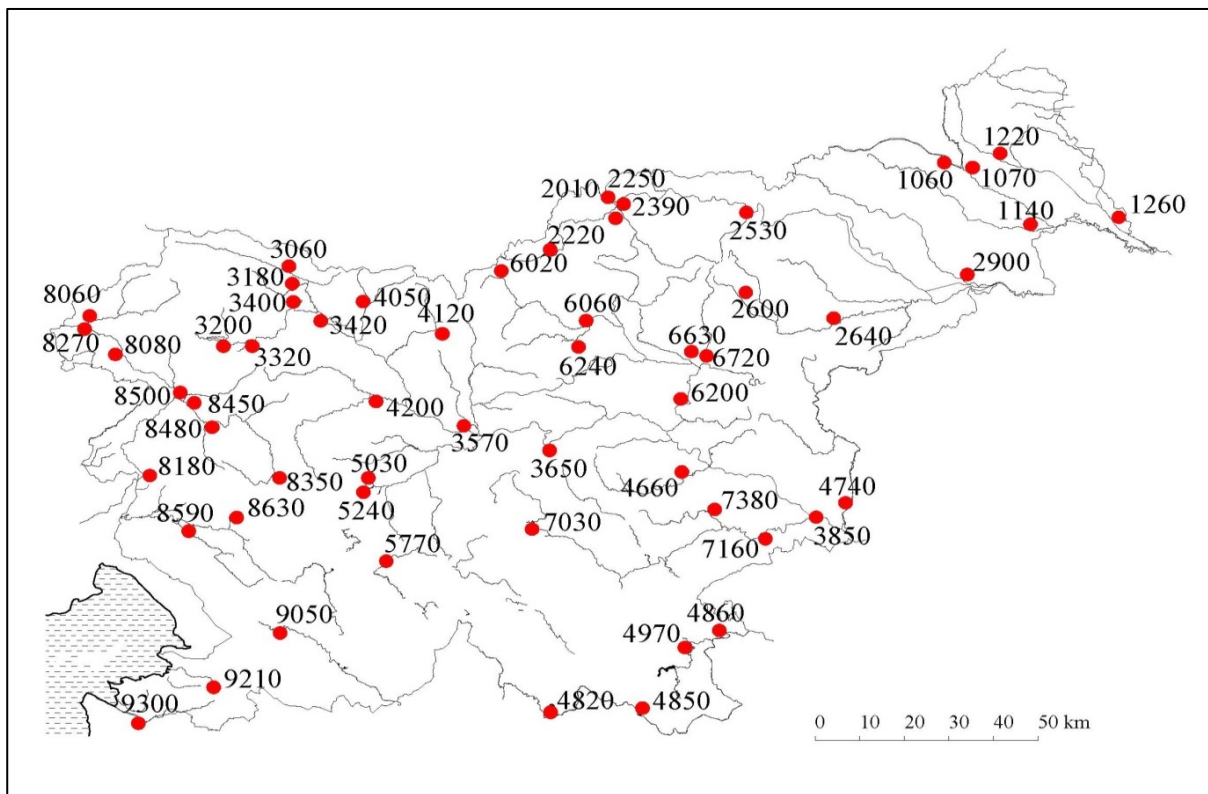
Iz preglednic 11 in 12 je razvidno, da so se odstopanja pojavila v letih 1993, 2003, 2011 in 2012, in sicer v mesecih avgust, september in oktober, kar je posledica manjših količin padavin in večjega izhlapevanja. To pa je značilno za panonski dežno-snežni režim, ki ga ima reka Mirna.

5 IZRAČUN NIZKIH PRETOKOV S PROGRAMOM DFLOW ZA IZBRANE VODOMERNE POSTAJE V SLOVENIJI

5.1 Splošni podatki o vodomernih postajah

Za izračun nizkih pretokov po biološki in hidrološki metodi s programom DFLOW smo izbrali 56 vodomernih postaj (slika 20), s katerimi je že Petkova (2014) v svoji diplomski nalogi analizirala različne druge kazalnike nizkih pretokov. Vodomerne postaje so bile izbrane na podlagi dolžine niza podatkov, ki so bili pridobljeni v arhivu površinskih voda Agencije Republike Slovenije za okolje, reprezentativnosti ter dejstva, da so še vedno delujoče (Petek, 2014).

Izbrane so bile različne dolžine nizov podatkov, od 33 let pa vse do 95 let. Neprekinjen niz podatkov ima 38 vodomernih postaj, prekinjen niz pa ima 18 postaj. Prekinitve so skupaj trajale od najmanj 3 (vodomerna postaja HE Dravograd) do največ 731 dni (vodomerna postaja Ruta). Na štirih vodomernih postajah so se pojavili tudi ničelni pretoki, in sicer na postajah Mlino I, Cerknica I, Kubed II in Kaštel I (preglednica 13).



Slika 20: Prikaz obravnavanih vodomernih postaj

Preglednica 13: Seznam obravnavanih vodomernih postaj in uporabljenih obdobj

Šifra vodomerne postaje	Ime vodomerne postaje	Vodotok	Obdobje	Število dni v nizu	Ničelni pretoki v nizu/ Manjkajoči podatki v nizu [v dnevih]
1060	Gornja Radgona I	Mura	1946-2012	24.471	0/0
1070	Petanjci	Mura	1956-2012	20.819	0/366
1140	Pristava I	Ščavnica	1975-2012	13.879	0/0
1220	Polana I	Ledava	1962-2012	18.627	0/0
1260	Čentiba	Ledava	1970-2012	15.705	0/0
2010	HE Dravograd	Drava	1965-2012	17.531	0/3
2220	Črna	Meža	1970-2012	15.705	0/90
2250	Otiški Vrh I	Meža	1953-2012	21.914	0/151
2390	Otiški Vrh I	Mislinja	1973-2012	14.609	0/0
2530	Ruta	Radoljna	1973-2012	14.609	0/731
2600	Zreče	Dravinja	1973-2012	14.609	0/0
2640	Makole	Dravinja	1973-2012	14.609	0/0
2900	Zamušani I	Pesnica	1961-2012	18.992	0/0
3060	Jesenice	Sava Dolinka	1918-2012	34.698	0/245
3180	Podhom	Radovna	1933-2012	29.219	0/0
3200	Sveti Janez	Sava Bohinjka	1951-2012	22.645	0/0
3320	Bohinjska Bistrica	Bistrica	1969-2012	16.070	0/0
3400	Mlino I	Jezernica	1956-2012	20.819	441/39
3420	Radovljica I	Sava	1953-2012	21.914	0/0
3570	Šentjakob	Sava	1946-2012	24.471	0/0
3650	Litija I	Sava	1953-2012	21.914	0/0
3850	Čatež I	Sava	1976-2012	13.514	0/0
4050	Preska	Tržiška Bistrica	1958-2012	20.088	0/464
4120	Kokra I	Kokra	1957-2012	20.453	0/0
4200	Suha I	Sora	1962-2012	18.627	0/365
4660	Martinja vas I	Mirna	1963-2012	18.262	0/0
4740	Rakovec I	Sotla	1965-2012	17.531	0/0
4820	Petrina	Kolpa	1952-2012	22.280	0/0
4850	Radenci II	Kolpa	1978-2012	12.783	0/0
4860	Metlika	Kolpa	1926-2012	31.776	0/0
4970	Gradac	Lahinja	1952-2012	22.280	0/0
5030	Vrhnika	Ljubljana	1961-2012	18.992	0/0
5240	Verd I	Ljubija	1960-2012	19.358	0/365
5770	Cerknica I	Cerkniščica	1962-2012	18.627	8/366
6020	Solčava I	Savinja	1960-2012	19.358	0/100
6060	Nazarje	Savinja	1926-2012	31.776	0/0
6200	Laško I	Savinja	1953-2012	21.914	0/0
6240	Kraše	Dreta	1959-2012	19.723	0/0

se nadaljuje ...

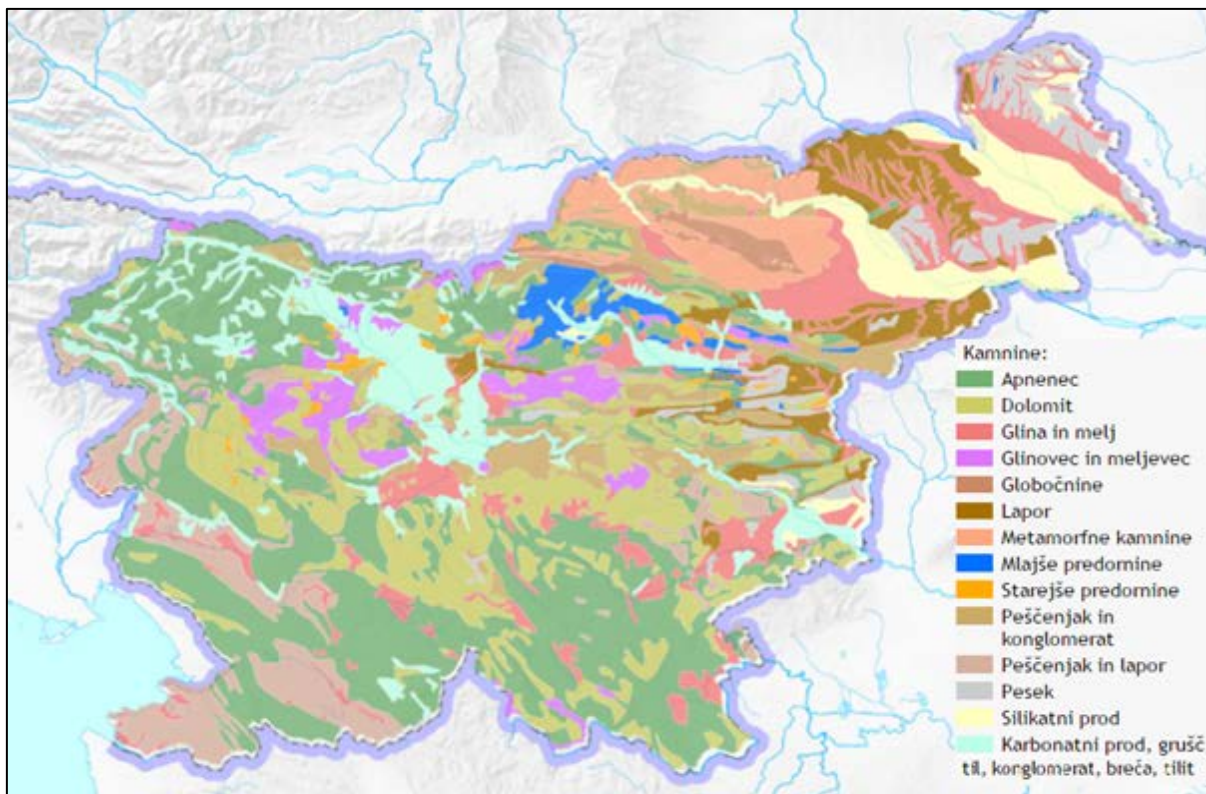
... nadaljevanje Preglednice 13

6630	Levec I	Ložnica	1967-2012	16.801	0/7
6720	Celje II	Vogljajna	1967-2012	16.801	0/0
7030	Podbukovje	Krka	1960-2012	19.358	0/0
7160	Podbočje	Krka	1926-2012	31.776	0/730
7380	Škocjan	Radulja	1961-2012	18.992	0/0
8060	Log Čezsoški	Soča	1948-2012	23.741	0/0
8080	Kobarid I	Soča	1947-2012	24.106	0/0
8180	Solkan I	Soča	1980-2012	12.053	0/366
8270	Žaga	Učja	1954-2012	21.549	0/0
8350	Podroteja I	Idrijca	1977-2012	13.148	0/0
8450	Hotešk	Idrijca	1949-2012	23.375	0/0
8480	Dolenja Trebuša	Trebuša	1954-2012	21.549	0/59
8500	Bača pri Modreju	Bača	1949-2012	23.375	0/0
8590	Dornberk	Vipava	1951-2012	22.645	0/365
8630	Ajdovščina I	Hubelj	1956-2012	20.819	0/0
9050	Cerkvenikov Mlin	Reka	1952-2012	22.280	0/0
9210	Kubed II	Rižana	1965-2012	17.531	6/120
9300	Podkaštel I	Dragonja	1979-2012	12.418	688/400

5.2 Opis obravnavanega območja

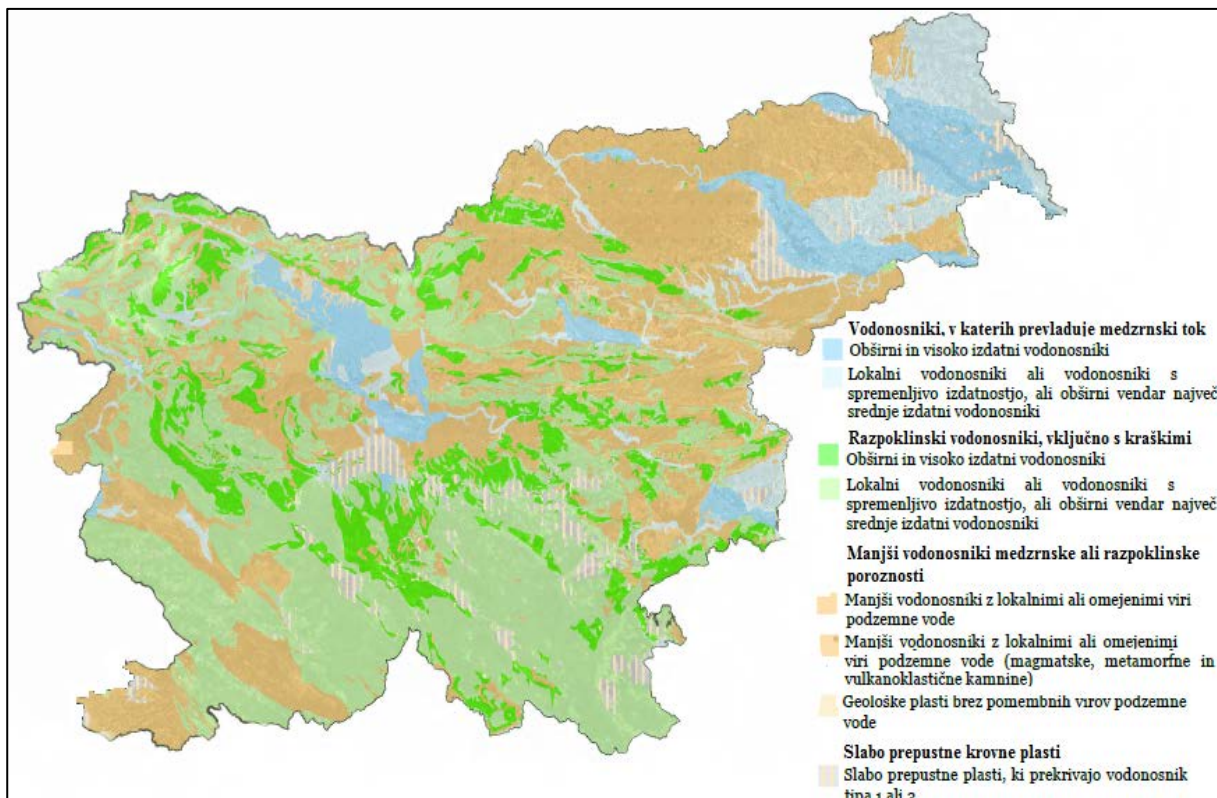
5.2.1 Geološka sestava tal in relief

Območje Slovenije je geološko zelo pestro (slika 21). Najbolj zastopane kamnine so sedimentnega izvora in prekrivajo 93 % površja (eGradiva, 2016). Med sedimentnimi kamninami prevladujejo apnenci in dolomiti, ki jih večinoma najdemo v alpskem in dinarskem svetu (Frantar, 2008). Dno kotlin in dolin pa sestavljajo predvsem sedimentne kamnine, ki nastanejo z rečnimi in ledeniškimi nanosi, med katere spadajo grušč, konglomerat, breča itd. Poleg sedimentnih kamnin najdemo še metamorfne kamnine (pokrivajo 4 % celotnega območja) in magmatske kamnine (pokrivajo 3 % celotnega območja), ki se nahajajo predvsem na vzhodnem delu alpskega sveta (eGradiva, 2016).



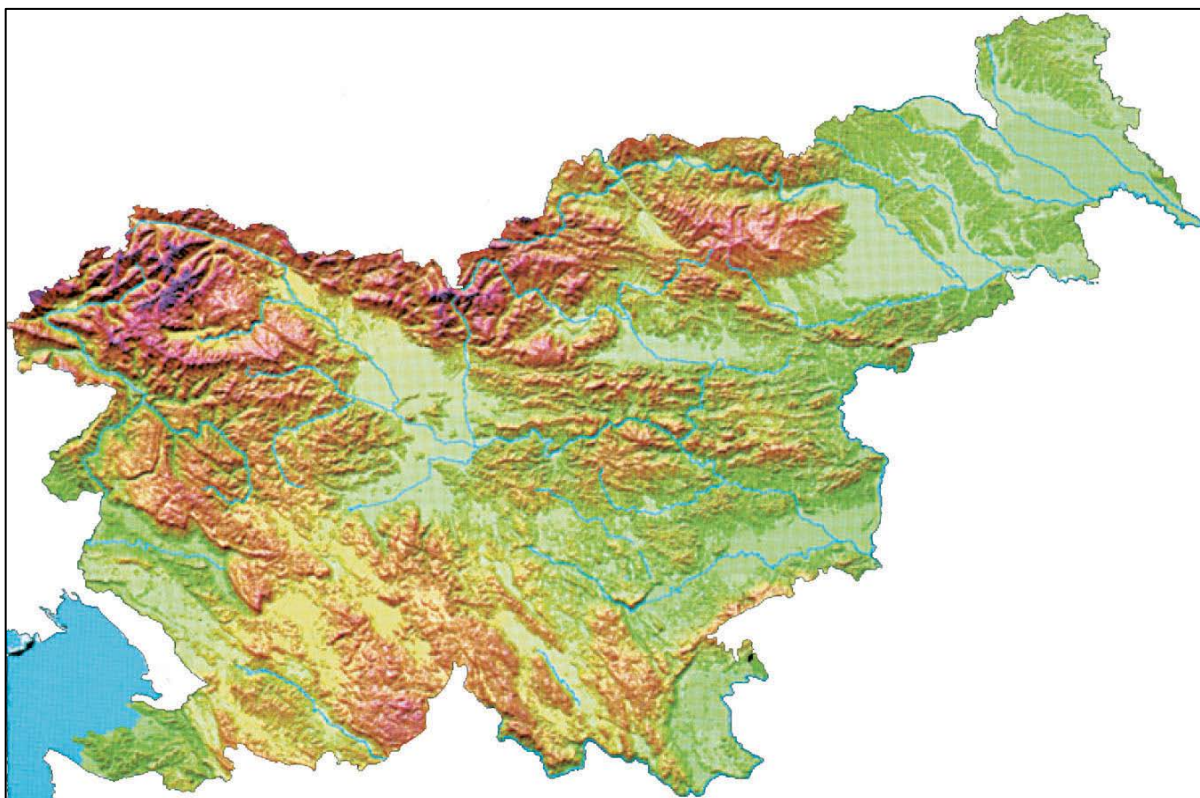
Slika 21: Geološka sestava tal Slovenije (eGradiva, 2016)

Različne vrste kamnin in njihova poroznost oz. prepustnost vplivajo na pronicanje padavinskih voda, odtekanje površinskih voda in pretakanje vode po kamninskih plasteh (vodonosnikih). Na območju Slovenije imamo več različnih tipov vodonosnikov (slika 22). Najbolj pogosti so vodonosniki z razpoklinsko in kraško razpoklinsko poroznostjo, ki jih večino najdemo na zahodnem ter južnem delu Slovenije in prekrivajo 47 % celotne površine. V dolinah z rečnimi nanosi, predvsem pri večjih rekah, so vodonosniki z medzrnsko poroznostjo in prekrivajo skoraj 20 % površja. Preostanek površja pa gradijo vodonosniki z medzrnsko ali razpoklinsko poroznostjo manjše izdatnosti in kamnine s slabšo poroznostjo (Bat in sod., 2004).



Slika 22: Hidrogeološka zgradba Slovenije (Atlas voda, 2016)

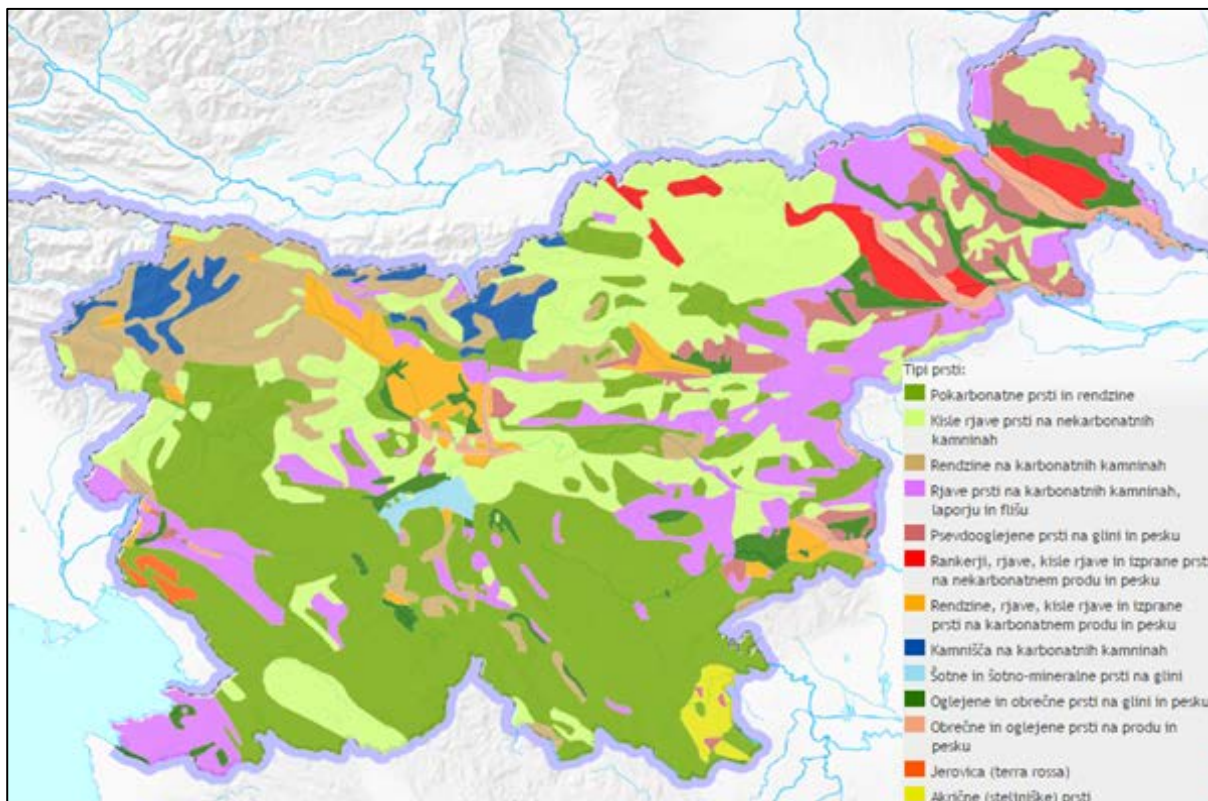
Geološka zgradba ima pomembno vlogo tudi pri razvoju reliefa (slika 23). Relief neposredno ali posredno vpliva na rastlinstvo, prst, podnebne značilnosti in hidrografske omrežje (Bat in sod., 2004). Z nadmorsko višino je povezan tudi naklon površja, saj v večini primerov velja, da se z nadmorsko višino veča tudi naklon. Povprečni naklon na območju Slovenije je 13° . Pri pokrajinskih tipih ima najvišjo nadmorsko višino in naklon alpski svet, po povprečnih višinah in naklonih pa mu po vrstnem redu sledijo dinarski svet, sredozemski svet in panonski svet (Frantar, 2008).



Slika 23: Relief Slovenije (ZRC SAZU, 2016)

5.2.2 Pedološka sestava tal in pokrovnost tal

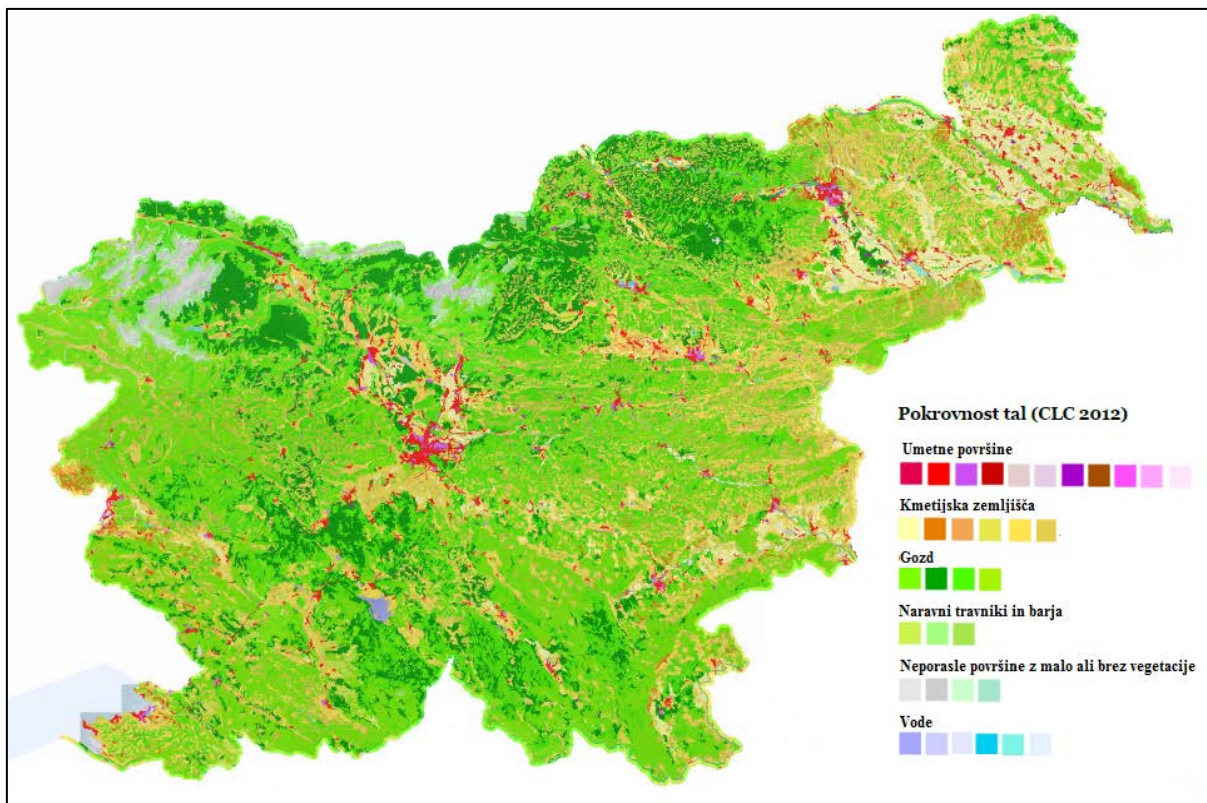
Eden od pomembnih dejavnikov v vodnem krogu so tudi prsti (slika 24), še posebej njihova infiltracijska kapaciteta oz. sposobnost. Infiltracijska sposobnost je odvisna od mnogih dejavnikov, npr. od debeline ter tipa prsti, in je pomembna predvsem na območjih z veliko količino padavin. Vpliv prsti se v večji meri opazi pri kratkoročnih vodnih bilancah kot pa pri obdobjnih bilancah (Frantar, 2008). V gorovjih in hribovjih alpskega in dinarskega sveta prevladujejo rendzine s surovim humusom in prhninaste rendzine na apnencih in dolomitih, rankerji, rjave pokarbonatne prsti ter različne vrste izpranih tal. V kotlinah in dolinah na rečnih in ledeniških nanosih prevladujejo evtrična rjava tla (Bat in sod., 2004), prav tako najdemo evtrična rjava tla v nižinskih predelih sredozemskega sveta (Frantar, 2008). Panonski svet ima velike nanose nekarbonatnega proda, na katerem so distrične rjave prsti. Povsod po Sloveniji pa najdemo obrečne, oglejene ter psevdoglejene prsti, ki so nastale na drobnozrnatih nanosih manjših vodotokov (Frantar, 2008).



Slika 24: Pedološka sestava tal Slovenije (eGradiva, 2016)

Prav tako kot pedološka sestava tal je za vodni krog pomembna tudi pokrovnost tal (slika 25). Pokrovnost tal vpliva na zadrževanje vode, odtočne značilnosti ter evapotranspiracijo in tako neposredno vpliva na višino pretokov. S spreminjanjem pokrovnosti tal lahko pride do sprememb v vodnem krogu, saj se npr. s krčenjem gozdov in večanjem urbanih površin zmanjšuje izhlapevanje, s tem pa se povečuje vodni odtok (Frantar, 2008).

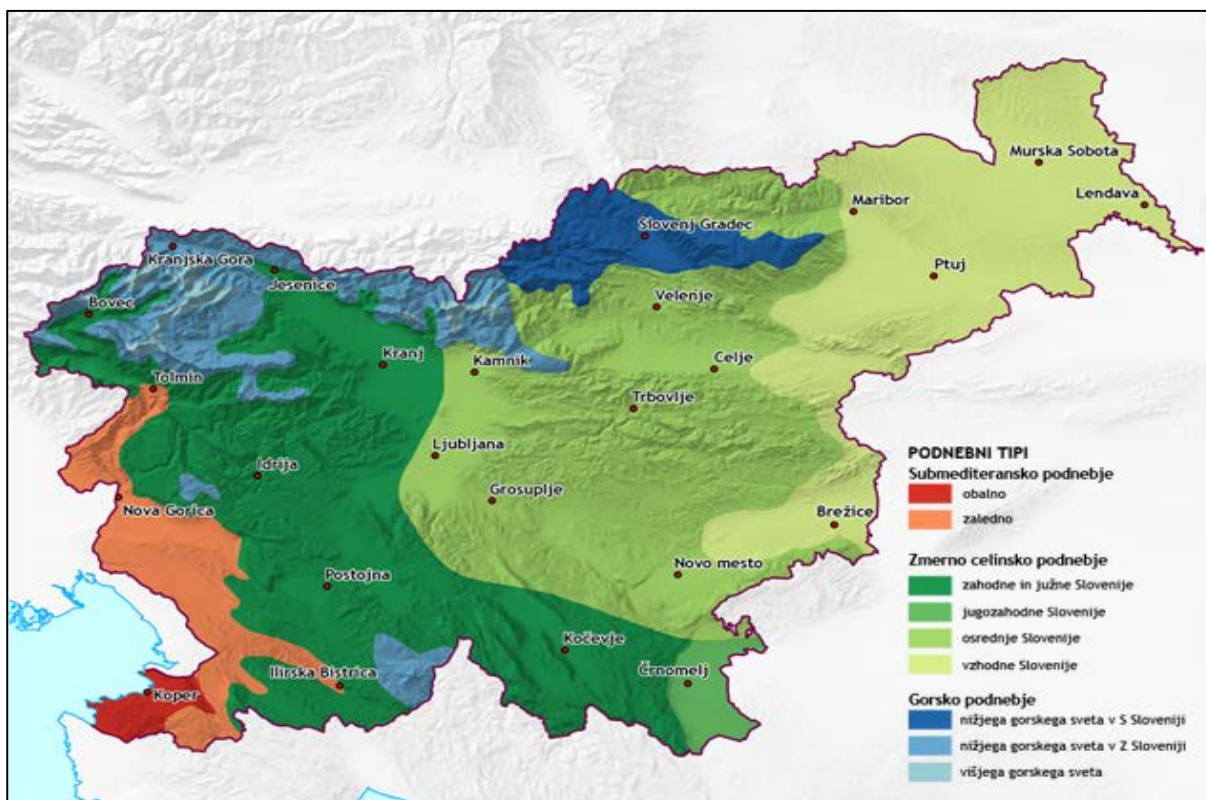
Po metodologiji CLC so gozdovi leta 2012 pokrivali 58 % površja Slovenije, kmetijska zemljišča 35 %, umetne površine 3 %, naravni travniki in barja 2 %, neporasle površine z malo ali brez vegetacije nekaj več kot 1 % in vode 0,5 % (ARSO, 2016).



Slika 25: Pokrovnost tal Slovenije (Atlas okolja, 2016)

5.2.3 Podnebje in njegove značilnosti

Najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na vodni krog, je podnebje (Frantar, 2008). Na območju Slovenije se zaradi lege v zmernih zemljepisnih širinah, reliefa in velike razčlenjenosti površja stikajo in prepletajo trije glavni tipi podnebja z devetimi podtipi (slika 26). Tako imamo submediteransko podnebje na jugozahodu Slovenije, gorsko podnebje imamo nad 1500 m nadmorske višine v Julijskih Alpah, Karavankah, Kamniško-Savinjskih Alpah, Pohorju, Trnovskem gozdu ter Snežniku in zmerno celinsko podnebje v preostalem delu Slovenije (Ogrin, 1996).



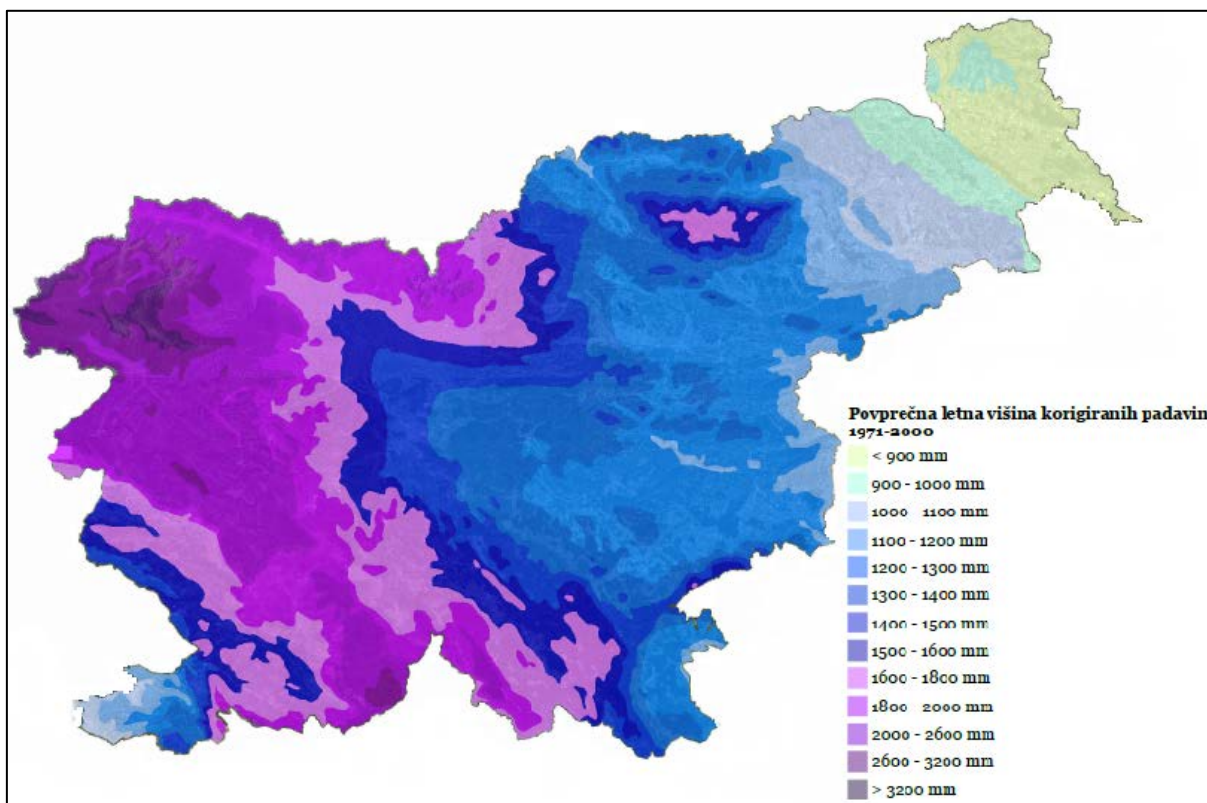
Slika 26: Podnebni tipi in podtipi Slovenije (Geodetski inštitut Slovenije, 2016)

5.2.3.1 Padavine

Slovenija spada med najbolj namočene države v Evropi, saj v povprečju pade okoli 1500 mm padavin na leto. Največja količina padavin pade ob gorskih pregradah, še posebej ob alpsko-dinarski pregradi, ki poteka v smeri severozahod–jugovzhod. Količina padavin se nato zmanjšuje proti jugozahodu in severovzhodu države. Tako imamo največ padavin v zahodnih Julijskih Alpah (v povprečju več kot 3000 mm padavin letno) in nekoliko manj v Karavankah in Kamniško-Savinjskih Alpah (v povprečju od 1800 mm do 2500 mm). Najmanj padavin pa se pojavi na severovzhodu države, in sicer v povprečju manj kot 900 mm (slika 27) (Bat in sod., 2004).

Ker so padavine v Sloveniji razmeroma enakomerno razporejene skozi celo leto, ni izrazitega suhega ali mokrega obdobja. Vendar kljub temu, zaradi vpliva submediteranskega in celinskega podnebja, prihaja do razlik v količinah padavin med meseci oziroma letnimi časi (Dolinar in sod., 2008). Tako imajo območja, ki so pod vplivom submediteranskega podnebja (sredozemski, alpski in dinarski svet), primarni maksimum padavin jeseni in sekundarni maksimum na koncu pomladi ali na začetku poletja, primarni minimum padavin pa v mesecih januar, februar in marec ter sekundarni minimum v mesecih julij in avgust. Vpliv celinskega podnebja pa se najbolj občuti na vzhodu in severovzhodu države

(panonski svet), kjer pade največ padavin med poletnimi meseci, najmanj pa med zimskimi meseci (Dolinar in sod., 2008).



Slika 27: Povprečna letna višina korigiranih padavin Slovenije (Atlas okolja, 2016)

5.2.3.2 Snežna odeja

Snežna odeja je eden izmed pomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na vodne zaloge in posledično tudi na pretoke (ARSO, 2006). Na trajanje snežne odeje vplivajo različni dejavniki, in sicer tip in oblika reliefa, orientacija terena, bližina morja ter nadmorska višina. Z nadmorsko višino se temperatura zraka znižuje in tako imamo v višjih legah zaradi nižjih temperatur več snežnih padavin in počasnejše taljenje snežne odeje kot v nižinah (Trajanje snežne odeje, 2000).

V Sloveniji se v določenem obdobju leta pojavi snežna odeja skoraj na celotnem območju države, z izjemo obalnega predela, kjer je sneženje redek pojav. Največja snežna odeja se pojavlja v visokogorju, kjer v povprečju na sezono zapade več kot 4 m snega in se obdrži dlje kot 200 dni. V gorah se lahko snežna odeja pojavlja skozi celo leto, nepretrgoma se pojavlja v obdobju od decembra do maja, najmanjkrat pa v mesecu avgustu (ARSO, 2006). Zadržane padavine v obliki snega, ki se v visokogorju pojavljajo v poznih jesenskih mesecih, tako blažijo pretočne konice, v manj vodnatih mesecih pa s taljenjem napajajo vodotoke (Frantar, 2008). V nižjih legah Slovenije je snežna odeja

praviloma omejena na zimske mesece in je najbolj pogosta v mesecu januarju, malo manj pa v mesecih december in februar. Osrednji in vzhodni del Slovenije je pokrit s snežno odejo v povprečju od 20 do 60 dni, s povprečno debelino od 60 do 100 cm (ARSO, 2006).

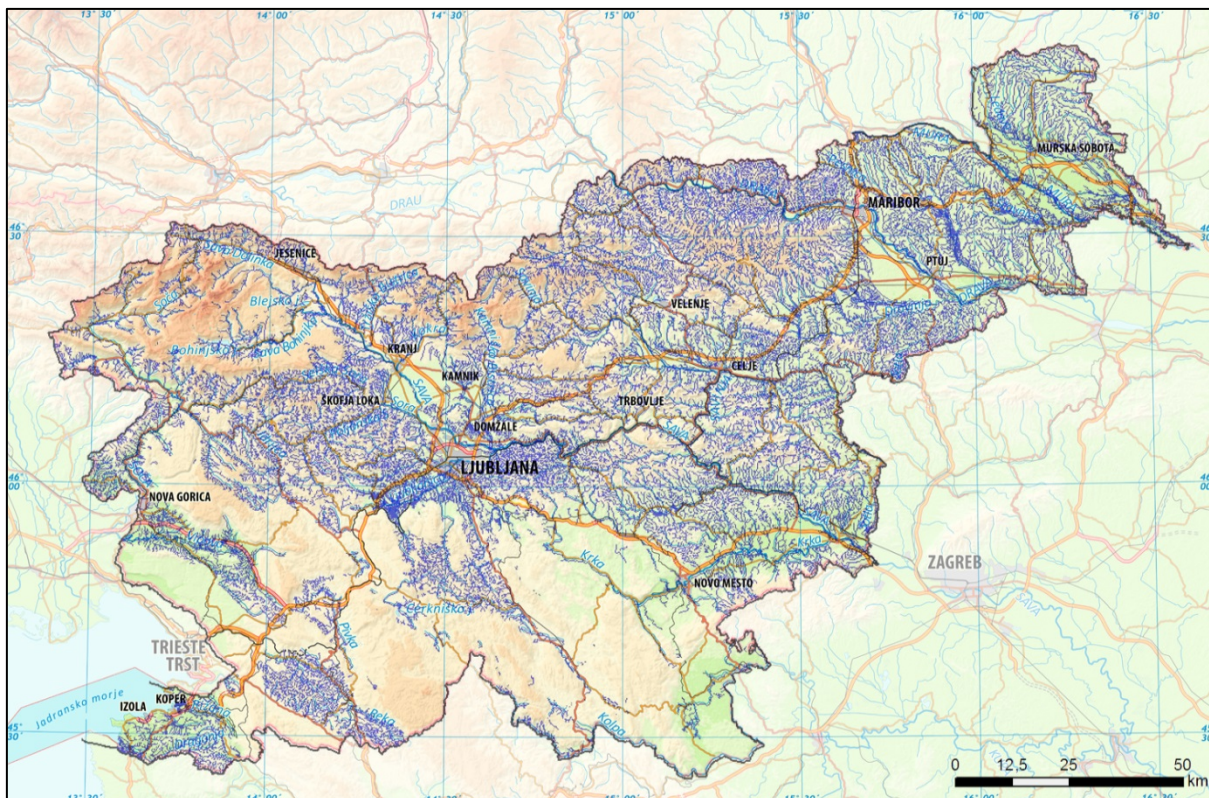
5.2.3.3 Temperatura

Temperatura zraka je odvisna od tipa podnebja (ARSO, 2006), reliefnih dejavnikov (višinska struktura, konkavnost površja, naklon in ekspozicija površja), vpliva morja in rabe površja (predvsem urbaniziranost površja) (Bat in sod., 2004). Na temperaturo zraka najbolj vpliva nadmorska višina, saj običajno z naraščanjem le-te temperature padajo, z izjemo temperaturnih obratov, ki se pojavijo v hladni polovici leta v dolinah in kotlinah (ARSO, 2006). Visoke temperature povzročajo izhlapevanje, temperature pod lediščem pa zadržujejo padavine v trdni obliki in tako neposredno vplivajo na višino pretokov (Frantar, 2008).

V Sloveniji so najvišje povprečne letne temperature zraka (12 °C in več) na območju Obale in Vipavske doline. V preostali Primorski regiji in nižinah vzhodne Slovenije se povprečne letne temperature gibljejo od 10 do 12 °C, v nižinah osrednje Slovenije od 8 do 10 °C. Najnižje povprečne letne temperature, ki se gibljejo okoli ledišča, pa beležimo v visokogorju. V vzhodni Sloveniji imamo izrazitejša dnevna in letna temperaturna nihanja zaradi vpliva celinskega podnebja, manjša nihanja pa se pojavijo v jugozahodni Sloveniji zaradi vpliva morja in v visokogorju, kjer so razmere že podobne prosti atmosferi (ARSO, 2006).

5.2.4 Vode

Celotno območje Slovenije prejema s padavinami in odtoki več vode, kot jo porabi. Tak presežek vode nato odteče po površju in se sčasoma izoblikuje v vodotoke, ki so v Sloveniji večinoma hudourniškega značaja in precej vodnate. Dolžina vodotokov, kopanih kanalov in melioracijskih jarkov v Sloveniji je okoli 28000 km z gostoto 1,4 km/km², od tega je približno 16000 km takih, ki so vsaj občasno brez vode. Vodotoki tvorijo rečno mrežo, ki pa je predvsem zaradi hidrogeoloških dejavnikov različno gosta. Redka rečna mreža se pojavlja v dinarski Sloveniji, v kraškem alpskem svetu in osrednjih delih prodnih polj z globoko podtalnico, gosta pa na neprepustnih in slabo prepustnih kamninah (slika 28) (Uhan in Bat, 2003).



Slika 28: Rečna mreža obravnavanega območja (i-Učbeniki, 2016)

5.2.4.1 Pretočni režimi

Pretočni režim kaže sezonsko nihanje pretokov preko leta (Dolinar in sod., 2008). Na pretočni režim vplivajo številni dejavniki: podnebje, relief, kamninska sestava, pedološka sestava tal, pokrovnost tal in človek. Od teh dejavnikov ima v Sloveniji največji vpliv podnebje, saj so pretočni režimi še posebej odvisni od razporeditev temperatur, trajanja snežne odeje ter razporeditve in oblike padavin. Glede na vir napajanja vodotokov lahko pretočne režime v Sloveniji razdelimo v štiri širše skupine, in sicer v dežni, dežno-snežni, snežno-dežni in snežni režim (Hrvatina, 1998).

Dežni režim je enostavni tip režima, ki ima na leto eno obdobje visokih pretokov (maksimum) in eno obdobje nizkih pretokov (minimum). Maksimum se pojavi v pozni jeseni in traja vse do aprila, minimum pa se pojavi poleti. Za dežni režim je snežni zadržek nepomemben. V Sloveniji pod to skupino spada:

- Sredozemski dežni režim: značilen za jugozahodni del Slovenije, kjer prevladuje submediteransko podnebje (Hrvatina, 1998). Sredozemski dežni režim ima nadpovprečno količino vode običajno med oktobrom in aprilom, podpovprečno pa med majem in

septembrom. Skupina rek, ki imajo sredozemski dežni režim, je najmanjša in najbolj homogena (Frantar in Hrvatin, 2005).

Dežno-snežni režim je sestavljeni tip režima, ki se na slovenskih rekah pojavi najpogosteje in je tudi najbolj heterogen (Uhan in Bat, 2003). Pri njem se pojavita dva maksimuma in dva minimuma. Glavni maksimum se pojavi v zgodnji pomladi, drugi pa jeseni. Primarni minimum nastopi vedno poleti in izrazito presega sekundarni minimum, ki se pojavi pozimi (Hrvatin, 1998). Vpliv snežnega zadržka na dežno-snežni režim je odvisen predvsem od nadmorske višine porečja (Uhan in Bat, 2003) in običajno traja od enega do treh mesecev (Hrvatin, 1998). Po zadnjih raziskavah Frantarja in Hrvatina (2005) imamo v Sloveniji naslednje dežno-snežne režime:

- Alpski dežno-snežni režim: predvsem značilen za reke iz alpskega hribovja (deli nekaterih rek deloma segajo tudi v visokogorje) in ima nadpovprečno količino vode običajno od aprila do junija ter od oktobra do decembra in podpovprečne od januarja do marca ter od julija do septembra.
- Dinarski dežno-snežni režim: značilen za reke dinarskega sveta in ima nadpovprečno količino vode običajno med oktobrom in decembrom ter marca in aprila, podpovprečno pa med majem in septembrom. V mesecih januar in februar so pretoki blizu letnemu povprečju.
- Panonski dežno-snežni režim: predvsem značilen za reke, ki tečejo po hribovjih in gričevjih panonskega sveta. Nadpovprečna količina vode se običajno pojavi med februarjem in aprilom ter med oktobrom in decembrom, podpovprečna količina vode pa med majem in septembrom. Pretoki, ki nastopijo v mesecu januar, se zelo približajo letnemu povprečju.

Snežno-dežni režim je prav tako sestavljeni režim in ima tudi dva maksimuma in minimuma. Primarni maksimum nastopi v pozni pomladi, sekundarni pa jeseni. Glavni minimum se pojavi pozimi, nanj pa zelo vpliva snežni zadržek, ki običajno traja približno od štiri do pet mesecev. Drugi minimum pa se pojavi poleti (Hrvatin, 1998). Po Frantarju in Hrvatinu (2005) v Sloveniji spada pod to skupino:

- Alpski snežno-dežni režim: značilen za reke, katerih porečja segajo v visokogorje in pri katerih se nadpovprečna količina vode običajno pojavi med aprilom in julijem ter oktobra in novembra. Podpovprečna količina vode pa se pojavi avgusta in septembra ter od decembra do marca.

Snežni režim je enostavni režim z enim maksimumom ob prehodu pomladi v poletje (maj, junij) in enim minimumom, ki se pojavi pozimi (januar, februar). Snežni zadržek traja pet ali več mesecev (Hrvatin, 1998).

V Sloveniji se razlike med pretočnimi režimi postopoma zmanjšujejo, po zadnjih raziskavah se je število pretočnih režimov zmanjšalo z 8 na 5 (preglednica 14). Do takega zmanjšanja je prišlo

predvsem zaradi višjih povprečnih temperatur, ki povzročajo izdatnejša izhlapevanja, spremenljivih količin padavin in krajšega trajanja snežne odeje v sredogorju in nižinah (Frantar in Hrvatin, 2005).

Preglednica 14: Primerjava pretočnih režimov v obdobjih 1961–1990 in 1971–2000 (Povzeto po Frantar in Hrvatin, 2005: str. 124)

Pretočni režimi 1961–1990	Pretočni režimi 1971–2000
alpski snežni režim alpski visokogorski snežno-dežni režim	alpski snežno-dežni režim
alpski sredogorski snežno-dežni režim alpski dežno-snežni režim	alpski dežno-snežni režim
dinarsko-alpski dežno-snežni režim dinarski dežno-snežni režim	dinarski dežno-snežni režim
panonski dežno-snežni režim	panonski dežno-snežni režim
sredozemski dežni režim	sredozemski dežni režim

5.3 Izračun nizkih pretokov s programom DFLOW

Za izbranih 56 vodomernih postaj smo s programom DFLOW izračunali nizke pretoke po biološki metodi (4B3 in 1B3) in hidrološki metodi (7Q10 in 1Q10) ter njihova odstopanja z upoštevanjem kriterija stalne koncentracije (CCC) in kriterija maksimalne koncentracije (CMC). Rezultate smo analizirali in primerjali tabelarično in grafično, pri čemer smo poskušali ugotoviti predvsem povezanost ter porazdelitev števila odstopanj izračunanih nizkih pretokov.

5.3.1 Primerjava in analiza rezultatov

V preglednici 15 so prikazani izračun nizkih pretokov 4B3 in 7Q10 po kriteriju stalne koncentracije in 1B3 in 1Q10 po kriteriju maksimalne koncentracije ter njihova medsebojna razlika v odstotkih.

Za vodomerno postajo Podkaštel I na vodotoku Dragonja so vsi izračuni, dobljeni s programom DFLOW enaki 0, zato je ta postaja izvzeta iz nadaljnjih primerjav in analiz. Podkaštel I je imel izmed vseh obravnavanih postaj največje število izmerjenih ničelnih pretokov v izbranem obdobju.

Preglednica 15: Izračunani nizki pretoki po kriterijih CCC in CMC ter njihova primerjava za izbrane vodomerne postaje

Ime vodomerne postaje	Vodotok	4B3 [m ³ /s]	7Q10 [m ³ /s]	Razlika med 4B3 in 7Q10 [%]	1B3 [m ³ /s]	1Q10 [m ³ /s]	Razlika med 1B3 in 1Q10 [%]
Gornja Radgona I	Mura	47,40	50,10	-5,70	46,00	47,20	-2,61
Petanjci	Mura	53,20	54,10	-1,69	52,00	51,20	1,54
Pristava I	Ščavnica	0,06	0,09	-50,00	0,05	0,07	-40,00
Polana I	Ledava	0,07	0,02	71,43	0,06	0,02	66,67
Čentiba	Ledava	0,45	0,45	0,00	0,40	0,41	-2,50
HE Dravograd	Drava	83,30	87,60	-5,16	73,80	70,20	4,88
Črna	Meža	0,39	0,41	-5,13	0,35	0,38	-8,57
Otiški Vrh I	Meža	3,09	3,10	-0,32	2,84	2,85	-0,35
Otiški Vrh I	Mislinja	0,91	0,97	-6,59	0,78	0,89	-14,10
Ruta	Radoljna	0,37	0,39	-5,41	0,35	0,35	0,00
Zreče	Dravinja	0,12	0,17	-41,67	0,10	0,13	-30,00
Makole	Dravinja	0,57	0,72	-26,32	0,52	0,66	-26,92
Zamušani I	Pesnica	0,20	0,26	-30,00	0,18	0,23	-27,78
Jesenice	Sava Dolinka	2,99	2,93	2,01	2,97	2,85	4,04
Podhom	Radovna	1,40	1,42	-1,43	1,34	1,37	-2,24
Sveti Janez	Sava Bohinjka	0,64	0,62	3,13	0,55	0,58	-5,45
Bohinjska Bistrica	Bistrica	0,12	0,15	-25,00	0,10	0,08	20,00
Mlino I	Jezernica	0,04	0,00	100,00	0,04	0,00	100,00
Radovljica I	Sava	7,75	8,37	-8,00	6,55	6,47	1,22
Šentjakob	Sava	22,50	23,40	-4,00	20,70	21,20	-2,42
Litija I	Sava	37,90	38,70	-2,11	36,70	36,40	0,82
Čatež I	Sava	54,50	57,50	-5,50	52,50	55,60	-5,90
Preska	Tržiška Bistrica	1,91	1,88	1,57	1,85	1,77	4,32
Kokra I	Kokra	0,96	0,99	-3,13	0,93	0,93	0,00
Suha I	Sora	2,76	2,83	-2,54	2,65	2,65	0,00
Martinja vas I	Mirna	0,43	0,47	-9,30	0,40	0,43	-7,50
Rakovec I	Sotla	0,56	0,57	-1,79	0,49	0,52	-6,12
Petrina	Kolpa	1,95	2,01	-3,08	1,80	1,87	-3,89
Radenci II	Kolpa	4,06	4,11	-1,23	3,81	3,66	3,94
Metlika	Kolpa	6,10	6,52	-6,89	5,99	6,11	-2,00
Gradac	Lahinja	0,20	0,25	-25,00	0,16	0,17	-6,25
Vrhnika	Ljubljana	1,34	1,53	-14,18	1,32	1,43	-8,33
Verd I	Ljubija	0,61	0,53	13,11	0,56	0,49	12,50
Cerknica I	Cerkniščica	0,06	0,02	66,67	0,05	/	/
Solčava I	Savinja	0,19	0,23	-21,05	0,19	0,20	-5,26
Nazarje	Savinja	2,21	2,42	-9,50	1,97	2,26	-14,72
Laško I	Savinja	5,84	5,92	-1,37	5,50	5,42	1,45

se nadaljuje ...

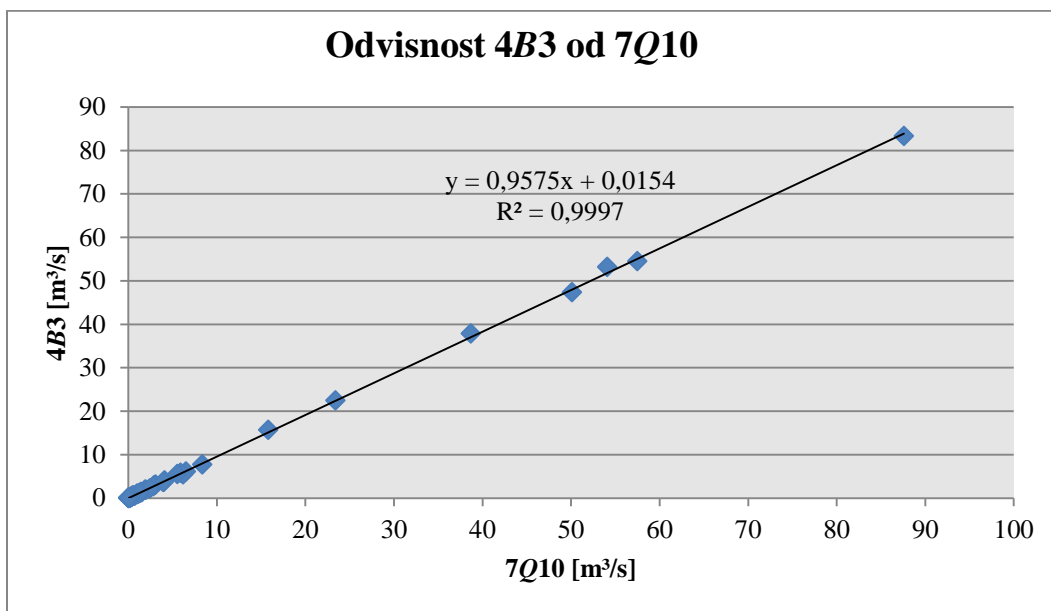
... nadaljevanje Preglednice 15

Kraše	Dreta	0,48	0,49	-2,08	0,40	0,41	-2,50
Levec I	Ložnica	0,04	0,04	0,00	0,02	0,04	-100,00
Celje II	Vogljajna	0,13	0,16	-23,08	0,12	0,14	-16,67
Podbukovje	Krka	1,07	1,15	-7,48	1,01	1,08	-6,93
Podbočje	Krka	5,50	6,19	-12,55	5,06	5,76	-13,83
Škocjan	Radulja	0,12	0,16	-33,33	0,11	0,13	-18,18
Log Čezsoški	Soča	3,80	4,01	-5,53	3,80	3,83	-0,79
Kobarid I	Soča	5,51	5,55	-0,73	5,35	5,31	0,75
Solkan I	Soča	15,70	15,80	-0,64	14,20	13,20	7,04
Žaga	Učja	0,43	0,42	2,33	0,38	0,38	0,00
Podroteja I	Idrijca	1,03	1,12	-8,74	1,03	1,09	-5,83
Hotešk	Idrijca	3,69	3,94	-6,78	3,67	3,77	-2,72
Dolenja Trebuša	Trebuša	0,39	0,40	-2,56	0,36	0,37	-2,78
Bača pri Modreju	Bača	1,00	0,97	3,00	0,87	0,86	1,15
Dornberk	Vipava	1,19	1,31	-10,08	1,23	1,20	2,44
Ajdovščina I	Hubelj	0,21	0,23	-9,52	0,20	0,22	-10,00
Cerkvenikov Mlin	Reka	0,29	0,33	-13,79	0,25	0,27	-8,00
Kubed II	Rižana	0,03	0,08	-166,67	0,02	0,08	-300,00
Podkaštel I	Dragonja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Pri 44 vodomernih postajah je pretok $7Q_{10}$ večji od $4B_3$, pri devetih postajah je manjši, pri dveh postajah (Čentiba in Levec I) pa so vrednosti pretokov enake. Razlike med vrednostmi $4B_3$ in $7Q_{10}$ se gibljejo med -166,7 % in 100 %. Največje razlike se pojavljajo predvsem pri vodotokih, katerih izračunane vrednosti nizkih pretokov so blizu 0. Tako smo na vodotoku Rižana (vodomerna postaja Kubed II), ki ima $4B_3$ enak $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ in $7Q_{10}$ enak $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$, dobili najvišjo razliko -166,7 % (preglednica 15). Izračunani $7Q_{10}$ je enak 0 le pri vodomerni postaji Mlino I (Jezernica), ki ima v nizu podatkov visoko število ničelnih pretokov. V povprečju je za vse obravnavane postaje pretok $7Q_{10}$ večji od $4B_3$ za 7 %.

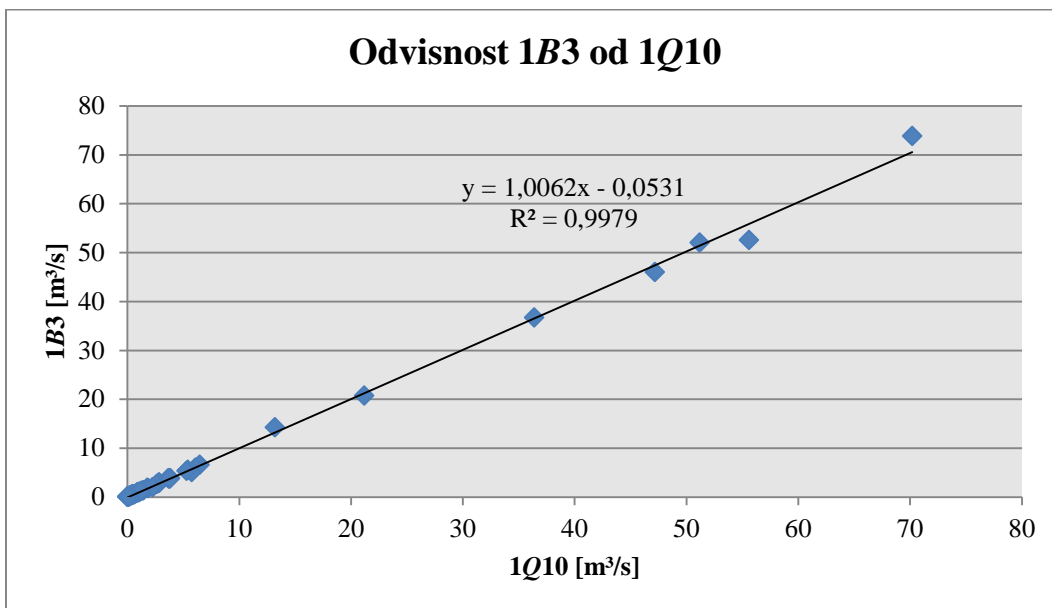
$1B_3$ je v primerjavi z $1Q_{10}$ manjši pri 34 vodomernih postajah, za 16 postaj je večji, pri postajah Ruta, Kokra I, Suha I in Žaga pa je enak. Pri vodotoku Cerkniščica (vodomerna postaja Cerknica I) za pretok $1Q_{10}$ ni izračuna, ker program DFLOW javlja nezadostnost podatkov. Razlike med vrednostmi $1B_3$ in $1Q_{10}$ se gibljejo med -300 % in 100 %. Tako kot pri pretokih, izračunanih po kriteriju CCC, se tudi pri pretokih, izračunanih po kriteriju CMC, največje razlike pojavljajo na vodotokih, kjer se izračunani nizki pretoki gibljejo blizu 0. Tudi v tem primeru pride do največje razlike na vodomerni postaji Kubed II (Rižana), kjer je $1B_3$ enak $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ in $1Q_{10}$ enak $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$, tako da njuna medsebojna razlika znaša -300 % (preglednica 15). Pretok $1Q_{10}$ pri vodomerni postaji Mlino I, izračunan po hidrološki metodi z upoštevanjem CMC, je prav tako kot pri pretoku $7Q_{10}$ enak 0. Pretok $1Q_{10}$ je v povprečju za vse obravnavane postaje za 7 % večji od $1B_3$.

Iz slike 29 je razvidno, da sta $4B3$ in $7Q10$ zelo močno povezana, saj koeficient korelacije R znaša kar 0,999. Vrednost $4B3$ narašča z naraščanjem vrednosti $7Q10$, kar pomeni, da sta pozitivno odvisna.



Slika 29: Graf odvisnosti $4B3$ od $7Q10$

Vrednosti $1B3$ in $1Q10$ so pozitivno odvisne (slika 30). Koeficient korelacije R je 0,999, kar kaže na zelo močno povezanost.



Slika 30: Graf odvisnosti $1B3$ od $1Q10$

5.3.2 Primerjava in analiza odstopanj

S programom DFLOW smo med drugim izračunali tudi število odstopanj na tri leta pri pretoku x_{B3} in x_{Q10} ter število odstopanj za celotno obdobje pri x_{B3} . Dovoljeno število odstopanj za celotno obdobje smo izračunali tako, da smo delili celotno obdobje, izraženo v letih, s tri, saj je po kriterijih CCC in CMC dovoljeno eno odstopanje na tri leta. Število odstopanj za celotno obdobje pri pretoku x_{Q10} smo dobili tako, da smo pomnožili število odstopanj na tri leta pri x_{Q10} s številom dovoljenih odstopanj za celotno obdobje. Zadnji stolpec pa prikazuje razlike med odstopanji x_{B3} in x_{Q10} (preglednici 16 in 17).

5.3.2.1 Odstopanja po kriteriju stalne koncentracije (CCC)

Preglednica 16: Izračunana odstopanja po kriteriju CCC ter njihova primerjava za izbrane vodomerne postaje

Ime vodomerne postaje	Vodotok	Št. odstopanj na tri leta pri pretoku $4B3$	Št. odstopanj za celotno obdobje pri pretoku $4B3$	Št. odstopanj na tri leta pri pretoku $7Q10$	Št. odstopanj za celotno obdobje pri pretoku $7Q10$	Dovoljeno število odstopanj za celotno obdobje	Razlika med odstopanji $4B3$ in $7Q10$ [%]
Gornja Radgona I	Mura	0,96	21,50	1,60	35,73	22,33	-66,67
Petanjci	Mura	0,91	17,50	1,32	25,08	19,00	-45,05
Pristava I	Ščavnica	0,91	11,50	1,24	15,71	12,67	-36,26
Polana I	Ledava	5,24	89,00	1,07	18,19	17,00	79,58
Čentiba	Ledava	0,99	14,25	1,01	14,48	14,33	-2,02
HE Dravograd	Drava	1,00	16,00	1,47	23,52	16,00	-47,00
Črna	Meža	0,91	13,00	1,59	22,79	14,33	-74,73
Otiški Vrh I	Meža	1,00	20,00	1,05	21,00	20,00	-5,00
Otiški Vrh I	Mislinja	0,73	9,75	1,18	15,73	13,33	-61,64
Ruta	Radoljna	0,92	12,25	0,92	12,27	13,33	0,00
Zreče	Dravinja	0,45	6,00	1,46	19,47	13,33	-224,44
Makole	Dravinja	0,96	12,75	1,74	23,20	13,33	-81,25
Zamušani I	Pesnica	0,98	17,00	1,93	33,45	17,33	-96,94
Jesenice	Sava Dolinka	0,39	12,50	0,55	17,42	31,67	-41,03
Podhom	Radovna	0,95	25,25	1,10	29,33	26,67	-15,79
Sveti Janez	Sava Bohinjka	0,98	20,25	0,94	19,43	20,67	4,08
Bohinjska Bistrica	Bistrica	0,90	13,25	2,15	31,53	14,67	-138,89
Mlino I	Jezernica	5,80	110,25	0,00	0,00	19,00	100,00
Radovljica I	Sava	1,00	20,00	1,75	35,00	20,00	-75,00
Šentjakob	Sava	0,99	22,00	1,48	33,05	22,33	-49,49

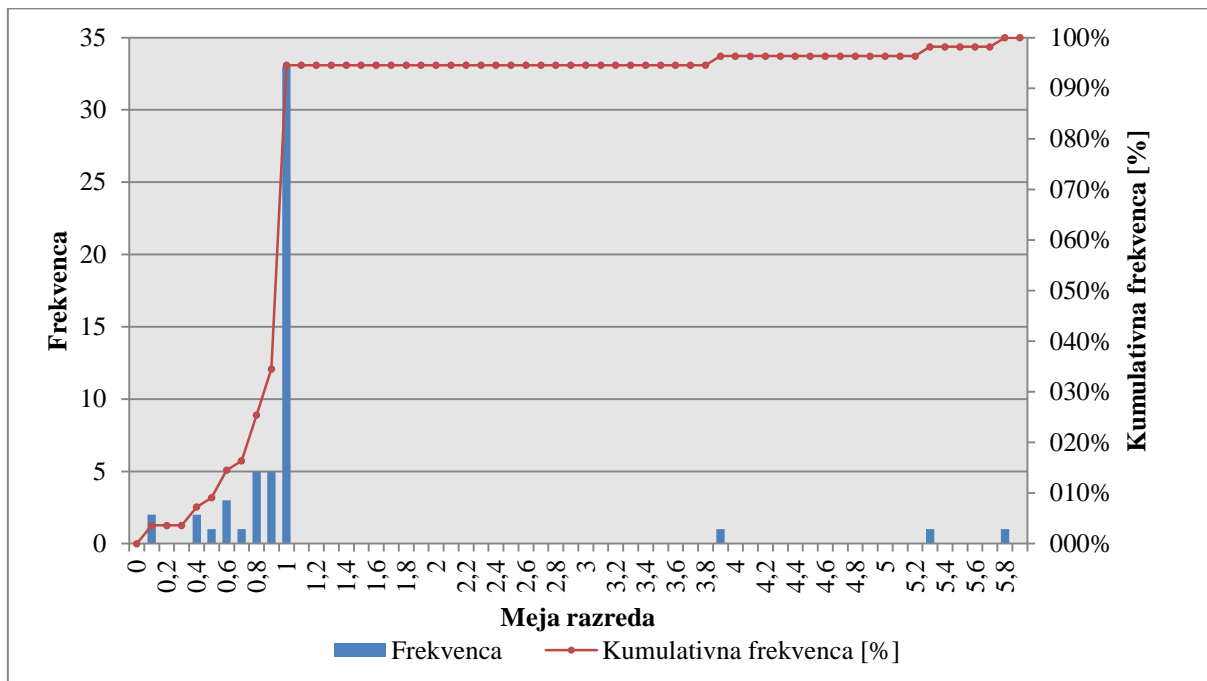
se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 16

Litija I	Sava	0,96	19,25	1,23	24,60	20,00	-28,13
Čatež I	Sava	0,99	12,25	1,74	21,46	12,33	-75,76
Preska	Tržiška Bistrica	0,97	17,75	0,85	15,58	18,33	12,37
Kokra I	Kokra	0,99	18,50	1,26	23,52	18,67	-27,27
Suha I	Sora	0,96	16,25	1,09	18,53	17,00	-13,54
Martinja vas I	Mirna	0,93	15,50	1,38	23,00	16,67	-48,39
Rakovec I	Sotla	1,00	16,00	1,05	16,80	16,00	-5,00
Petrina	Kolpa	1,00	20,25	1,18	23,99	20,33	-18,00
Radenci II	Kolpa	0,92	10,75	1,18	13,77	11,67	-28,26
Metlika	Kolpa	0,99	28,75	1,52	44,08	29,00	-53,54
Gradac	Lahinja	0,76	15,50	1,70	34,57	20,33	-123,68
Vrhnika	Ljubljana	0,56	9,75	1,79	31,03	17,33	-219,64
Verd I	Ljubija	0,98	17,25	0,65	11,48	17,67	33,67
Cerknica I	Cerkniščica	3,88	66,00	1,18	20,06	17,00	69,59
Solčava I	Savinja	0,07	1,25	1,51	26,68	17,67	-2057,14
Nazarje	Savinja	0,98	28,50	1,34	38,86	29,00	-36,73
Laško I	Savinja	1,00	20,00	1,10	22,00	20,00	-10,00
Kraše	Dreta	0,88	15,75	1,08	19,44	18,00	-22,73
Levec I	Ložnica	0,72	11,00	0,86	13,19	15,33	-19,44
Celje II	Voglajna	0,55	8,50	1,71	26,22	15,33	-210,91
Podbukovje	Krka	0,98	17,25	1,37	24,20	17,67	-39,80
Podbočje	Krka	0,92	26,75	2,06	59,74	29,00	-123,91
Škocjan	Radulja	0,74	12,75	2,34	40,56	17,33	-216,22
Log Čezsoški	Soča	0,87	18,75	1,21	26,22	21,67	-39,08
Kobarid I	Soča	1,00	22,00	1,24	27,28	22,00	-24,00
Solkan I	Soča	0,93	10,25	1,11	12,21	11,00	-19,35
Žaga	Učja	0,86	17,00	0,80	15,73	19,67	6,98
Podroteja I	Idrijca	0,83	10,00	1,19	14,28	12,00	-43,37
Hotešk	Idrijca	0,38	8,00	1,65	35,20	21,33	-334,21
Dolenja Trebuša	Trebuša	0,99	19,50	1,16	22,81	19,67	-17,17
Bača pri Modreju	Bača	0,98	21,00	0,96	20,48	21,33	2,04
Dornberk	Vipava	0,58	12,00	1,22	25,21	20,67	-110,34
Ajdovščina I	Hubelj	0,62	11,75	1,20	22,80	19,00	-93,55
Cerkvenikov Mlin	Reka	0,80	16,25	1,45	29,48	20,33	-81,25
Kubed II	Rižana	0,06	1,00	0,23	3,68	16,00	-283,33

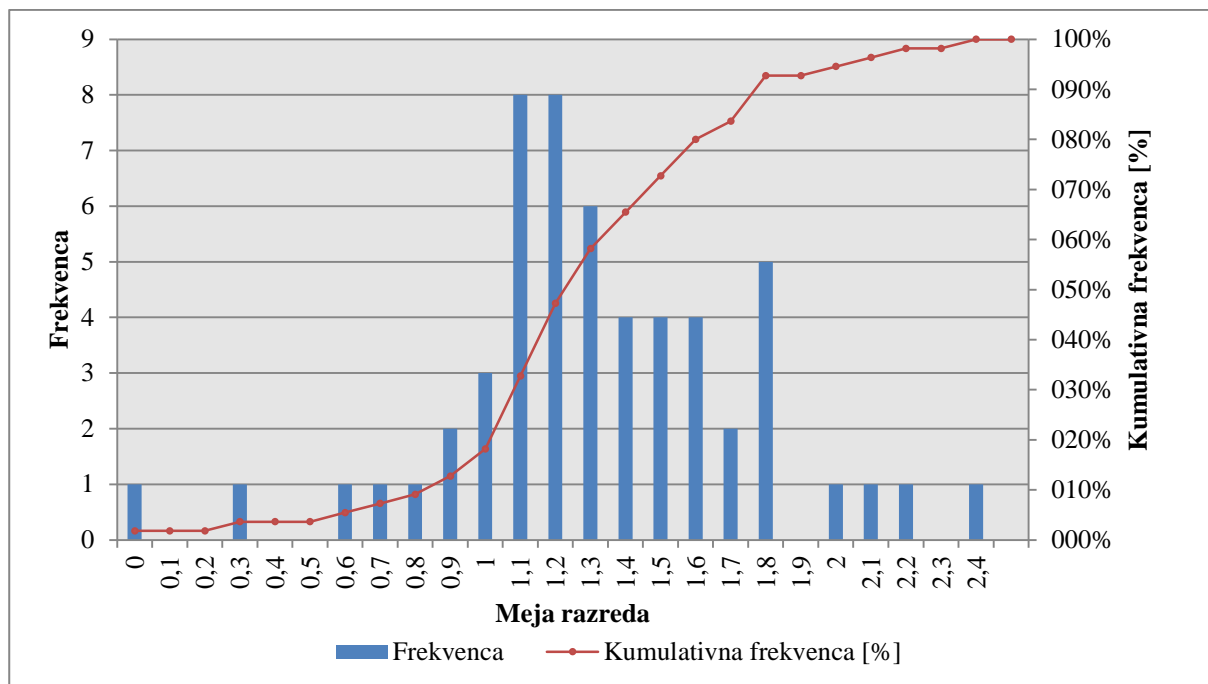
Število odstopanj na tri leta pri pretoku 4B3 se giblje med 0,06 in 1, kar predstavlja 95 % vseh izbranih vodomernih postaj (slika 31). Ostalih 5 % predstavljajo vodomerne postaje Polana I (vodotok Ledava), Mlino I (vodotok Jezernica) in Cerknica I (vodotok Cerkniščica), pri katerih se vrednosti odstopanj na tri leta gibljejo od 3,88 do 5,8. Ta odstopanja niso v skladu z biološko metodo ter

programom DFLOW, ki dopušča največ eno odstopanje na tri leta. Tem trem postajam je skupno to, da imajo v izbranem obdobju veliko število izmerjenih dnevnih pretokov z ekstremno nizkimi vrednostmi, blizu 0.



Slika 31: Histogram odstopanj na tri leta za 4B3

Pri pretoku 7Q10 je prišlo do prekoračitve odstopanj kar pri 45 (82 %) vodomernih postajah. Največje prekoračitve odstopanj na tri leta se pojavijo na vodomernih postajah Podbočje (Krka), Škocjan (Radulja) in Bohinjska Bistrica (Bistrica) in znašajo od 2,06 do 2,34. Pri 9 postajah se število odstopanj na tri leta giblje od 0,23 do 1, pri postaji Mlino I (Jezernica) pa je število odstopanj 0, saj je tudi izračunan pretok enak 0 (preglednica 16 in slika 32).



Slika 32: Histogram odstopanj na tri leta za 7Q10

Izračun je pokazal, da je dovoljeno število odstopanj na tri leta v 46 primerih večje pri pretoku 7Q10, v 8 primerih je večje pri pretoku 4B3. Pri vodomerni postaji Ruta (Radoljna) pa razlike med odstopanji ni. Razlike med odstopanji se gibljejo med 100 % in $-2057,1$ %. Izkazalo se je, da povezava med razliko v pretokih (preglednica 15) in razliko v odstopanjih (preglednica 16) ni premosorazmerna. Kot primer lahko vzamemo vodomerno postajo Vrhnika na vodotoku Ljubljana, kjer je razlika med pretokoma 4B3 ($1,34 \text{ m}^3/\text{s}$) in 7Q10 ($1,53 \text{ m}^3/\text{s}$) 14,2 %, razlika med odstopanji na tri leta pri 4B3 (0,56) in 7Q10 (1,79) pa 219,6 %. V podobni raziskavi, narejeni za 60 vodotokov v ZDA (EPA, 1986), so ugotovili, da višji pretok povzroči enako ali večje število odstopanj kot nižji pretok. V našem primeru se je na 52 vodomernih postajah pri višjem pretoku pojavilo enako oziroma višje odstopanje, le na eni postaji (Jesenice) pa se je izkazalo, da je višji pretok povzročil manjše odstopanje. V dveh primerih (Čentiba in Levec I) smo dobili enake pretoke, vendar je pri 7Q10 izračunano večje odstopanje.

5.3.2.2 Odstopanja po kriteriju maksimalne koncentracije (CMC)

Preglednica 17: Izračunana odstopanja po kriteriju CMC ter njihova primerjava za izbrane vodomerne postaje

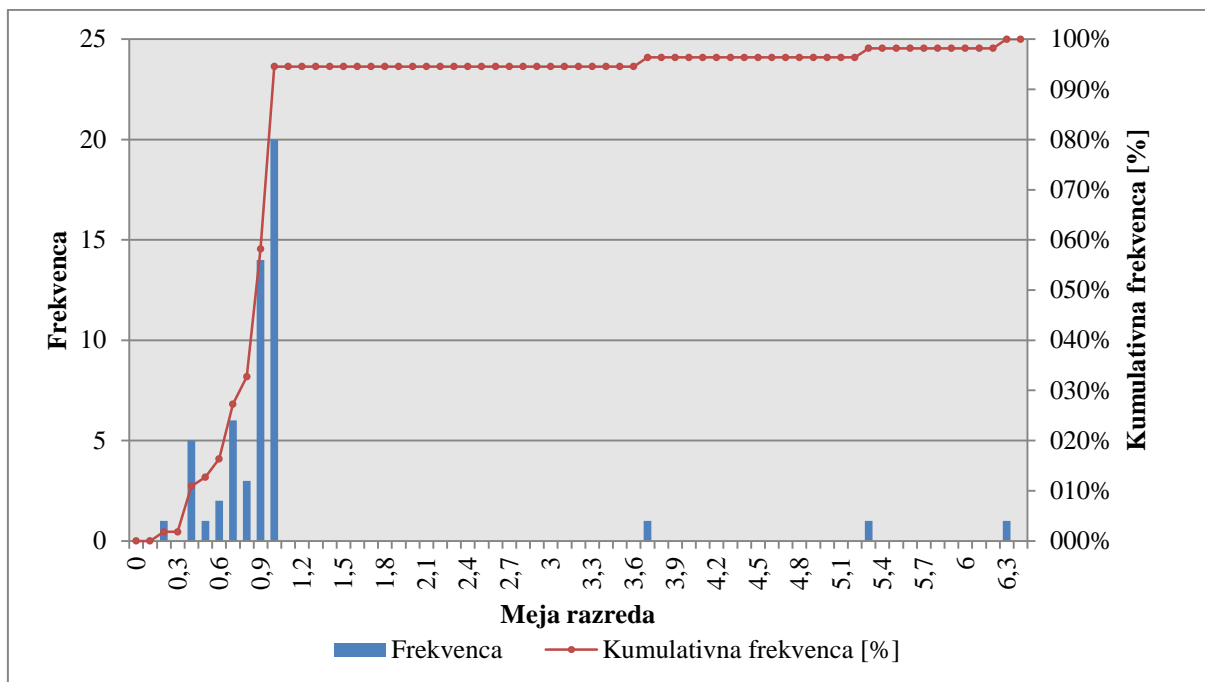
Ime vodomerne postaje	Vodotok	Št. odstopanj na tri leta pri pretoku 1B3	Št. odstopanj za celotno obdobje pri pretoku 1B3	Št. odstopanj na tri leta pri pretoku 1Q10	Št. odstopanj za celotno obdobje pri pretoku 1Q10	Dovoljeno število odstopanj za celotno obdobje	Razlika med odstopanji 1B3 in 1Q10 [%]
Gornja Radgona I	Mura	0,85	19,00	0,92	20,55	22,33	-8,24
Petanjci	Mura	1,00	19,00	0,43	8,17	19,00	57,00
Pristava I	Ščavnica	0,39	5,00	0,91	11,53	12,67	-133,33
Polana I	Ledava	5,29	90,00	1,00	17,00	17,00	81,10
Čentiba	Ledava	0,98	14,00	0,89	12,76	14,33	9,18
HE Dravograd	Drava	0,88	14,00	0,00	0,00	16,00	100,00
Črna	Meža	0,70	10,00	0,91	13,04	14,33	-30,00
Otiški Vrh I	Meža	0,95	19,00	0,75	15,00	20,00	21,05
Otiški Vrh I	Mislinja	0,15	2,00	0,58	7,73	13,33	-286,67
Ruta	Radoljna	0,98	13,00	0,69	9,20	13,33	29,59
Zreče	Dravinja	0,83	11,00	0,51	6,80	13,33	38,55
Makole	Dravinja	0,90	12,00	1,48	19,73	13,33	-64,44
Zamušani I	Pesnica	0,98	17,00	1,47	25,48	17,33	-50,00
Jesenice	Sava Dolinka	0,60	19,00	0,55	17,42	31,67	8,33
Podhom	Radovna	0,75	20,00	0,87	23,20	26,67	-16,00
Sveti Janez	Sava Bohinjka	0,48	10,00	0,68	14,05	20,67	-41,67
Bohinjska Bistrica	Bistrica	0,95	14,00	0,34	4,99	14,67	64,21
Mlino I	Jezernica	6,21	118,00	0,00	0,00	19,00	100,00
Radovljica I	Sava	1,00	20,00	0,23	4,60	20,00	77,00
Šentjakob	Sava	0,99	22,00	0,57	12,73	22,33	42,42
Litija I	Sava	0,80	16,00	0,49	9,80	20,00	38,75
Čatež I	Sava	0,89	11,00	1,24	15,29	12,33	-39,33
Preska	Tržiška Bistrica	0,93	17,00	0,27	4,95	18,33	70,97
Kokra I	Kokra	0,96	18,00	0,55	10,27	18,67	42,71
Suha I	Sora	0,94	16,00	0,59	10,03	17,00	37,23
Martinja vas I	Mirna	0,90	15,00	0,90	15,00	16,67	0,00
Rakovec I	Sotla	0,88	14,00	0,69	11,04	16,00	21,59
Petrina	Kolpa	0,98	20,00	0,82	16,67	20,33	16,33
Radenci II	Kolpa	0,69	8,00	0,00	0,00	11,67	100,00
Metlika	Kolpa	0,62	18,00	1,02	29,58	29,00	-64,52
Gradac	Lahinja	0,39	8,00	0,28	5,69	20,33	28,21
Vrhnika	Ljubljana	0,81	14,00	1,04	18,03	17,33	-28,40

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 17

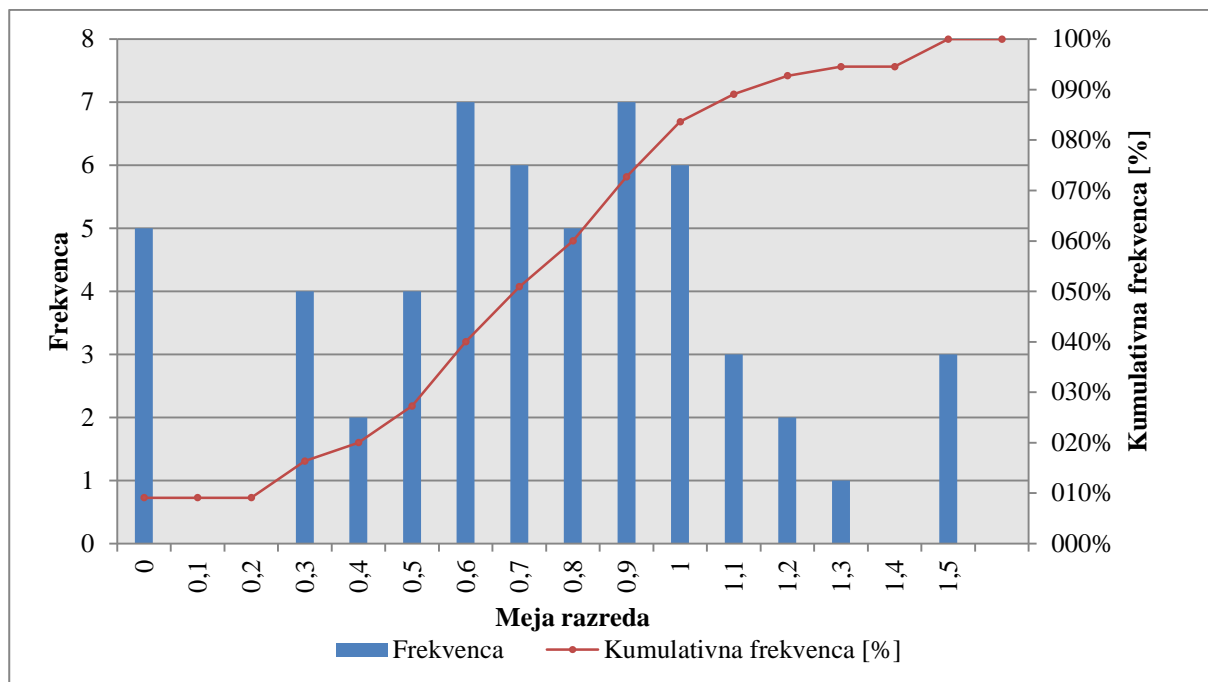
Verd I	Ljubija	0,96	17,00	0,48	8,48	17,67	50,00
Cerknica I	Cerkniščica	3,65	62,00	0,00	0,00	17,00	100,00
Solčava I	Savinja	0,62	11,00	0,34	6,01	17,67	45,16
Nazarje	Savinja	0,34	10,00	1,16	33,64	29,00	-241,18
Laško I	Savinja	1,00	20,00	0,59	11,80	20,00	41,00
Kraše	Dreta	0,89	16,00	0,47	8,46	18,00	47,19
Levec I	Ložnica	0,33	5,00	0,72	11,04	15,33	-118,18
Celje II	Vogljajna	0,65	10,00	0,90	13,80	15,33	-38,46
Podbukovje	Krka	0,85	15,00	1,08	19,08	17,67	-27,06
Podbočje	Krka	0,90	26,00	1,45	42,05	29,00	-61,11
Škocjan	Radulja	0,87	15,00	0,82	14,21	17,33	5,75
Log Čezsoški	Soča	0,97	21,00	0,97	21,02	21,67	0,00
Kobarid I	Soča	0,95	21,00	0,75	16,50	22,00	21,05
Solkan I	Soča	0,82	9,00	0,00	0,00	11,00	100,00
Žaga	Učja	0,97	19,00	0,70	13,77	19,67	27,84
Podroteja I	Idrijca	0,83	10,00	1,15	13,80	12,00	-38,55
Hotešk	Idrijca	0,80	17,00	1,00	21,33	21,33	-25,00
Dolenja Trebuša	Trebuša	0,97	19,00	0,76	14,95	19,67	21,65
Bača pri Modreju	Bača	0,98	21,00	0,69	14,72	21,33	29,59
Dornberk	Vipava	0,92	19,00	0,80	16,53	20,67	13,04
Ajdovščina I	Hubelj	0,58	11,00	0,89	16,91	19,00	-53,45
Cerkvenikov Mlin	Reka	0,64	13,00	0,61	12,40	20,33	4,69
Kubed II	Rižana	0,31	5,00	0,23	3,68	16,00	25,81

Pri pretoku 1B3 se število odstopanj na tri leta giblje od 0,15 do 1. To predstavlja približno 95 % vseh izbranih vodomernih postaj (slika 33). Enako kot pri pretoku 4B3 tudi v tem primeru ostalih 5 % predstavljajo tri vodomerne postaje (Polana I, Mlino I in Cerknica I), katerih vrednosti se gibljejo od 3,65 do 6,21 in močno presegajo dovoljeno število odstopanj na tri leta, ki ga dovoljujeta kriterija CCC in CMC (preglednica 17).



Slika 33: Histogram odstopanj na tri leta za 1B3

Na 41 vodomernih postajah se število odstopanj na tri leta pri pretoku $1Q_{10}$ giblje od 0,23 do 1. Pri petih postajah je izračunano število odstopanj enako 0: pri postaji Cerknica I ni izračuna pretoka zaradi nezadostnosti podatkov; pri postaji Mlino I je izračunani pretok 0; pri postajah HE Dravograd, Radenci II ter Solkan I dobimo 0 kljub izračunanemu pretoku. Pri pretoku $1Q_{10}$ 16 % oziroma 9 vodomernih postajah rahlo presega dovoljeno mejo odstopanj na tri leta po kriteriju CMC. Vrednosti se gibljejo od 1,02 do 1,48, pri čemer največje vrednosti dosegajo vodomerne postaje Makole (Dravinja), Zamušani I (Pesnica) in Podbočje (Krka) (preglednica 17 in slika 34).



Slika 34: Histogram odstopanj na tri leta za 1Q10

Po kriteriju maksimalne koncentracije (CMC) se je izkazalo, da je izračunano število odstopanj na tri leta v 34 primerih večje pri pretoku 1B3, v 19 primerih je večje pri pretoku 1Q10. Pri dveh vodomernih postajah razlik med odstopanji ni. Razlike med odstopanji se gibljejo med $-286,7\%$ in 100% (preglednica 17). Največja razlika med odstopanji je na vodomerni postaji Otiški Vrh I (Mislinja), kjer imamo pri pretoku 1B3 0,15 odstopanj na tri leta, pri pretoku 1Q10 pa 0,58. Na 38 vodomernih postajah se je pri višjem pretoku pojavilo enako oziroma višje odstopanje. Tokrat pa se je na 13 vodomernih postajah izkazalo, da je višji pretok povzročil manjše odstopanje:

- Čentiba (Ledava)
- Otiški Vrh I (Meža)
- Zreče (Dravinja)
- Šentjakob (Sava)
- Rakovec I (Sotla)
- Petrina (Kolpa)
- Gradac (Lahinja)
- Solčava I (Savinja)
- Kraše (Dreta)
- Škocjan (Radulja)
- Dolenja Trebuša (Trebuša)
- Cerkevnikov Mlin (Reka)
- Kubed II (Rižana)

Pri štirih vodomernih postajah smo dobili enake pretoke, vendar je pri 1B3 izračunano večje odstopanje, in sicer za postaje Ruta (Radoljna), Kokra I (Kokra), Suha I (Sora) in Žaga (Učja).

6 PRIMERJAVA IN ANALIZA Z OSTALIMI KAZALNIKI NIZKIH PRETOKOV

Poleg medsebojne primerjave izračunanih pretokov programa DFLOW smo se odločili še za primerjavo z nekaterimi drugimi kazalniki nizkih pretokov, in sicer s Q_{95} , ki velja za enega izmed najpogostejših kazalnikov nizkih pretokov, in z ekološko sprejemljivim pretokom Q_{es} , izračunanim po slovenski metodologiji ter po metodah iz izbranih evropskih držav.

6.1 Primerjava in analiza s Q_{95}

Za 55 vodomernih postaj smo izračunali nizki pretok Q_{95} . Dobljene rezultate smo nato primerjali z že prej izračunanimi nizkimi pretoki 4B3, 7Q10, 1B3 in 1Q10 (preglednica 18).

Preglednica 18: Vrednosti nizkih pretokov po kriterijih CCC in CMC (DFLOW) ter Q_{95}

Ime vodomerne postaje	Vodotok	4B3 [m ³ /s]	7Q10 [m ³ /s]	1B3 [m ³ /s]	1Q10 [m ³ /s]	Q_{95} [m ³ /s]
Gornja Radgona I	Mura	47,40	50,10	46,00	47,20	62,66
Petanjci	Mura	53,20	54,10	52,00	51,20	66,99
Pristava I	Ščavnica	0,06	0,09	0,05	0,07	0,21
Polana I	Ledava	0,07	0,02	0,06	0,02	0,08
Čentiba	Ledava	0,45	0,45	0,40	0,41	0,83
HE Dravograd	Drava	83,30	87,60	73,80	70,20	109,86
Črna	Meža	0,39	0,41	0,35	0,38	0,60
Otiški Vrh I	Meža	3,09	3,10	2,84	2,85	4,17
Otiški Vrh I	Mislinja	0,91	0,97	0,78	0,89	1,38
Ruta	Radoljna	0,37	0,39	0,35	0,35	0,57
Zreče	Dravinja	0,12	0,17	0,10	0,13	0,26
Makole	Dravinja	0,57	0,72	0,52	0,66	1,17
Zamušani I	Pesnica	0,20	0,26	0,18	0,23	0,50
Jesenice	Sava Dolinka	2,99	2,93	2,97	2,85	4,17
Podhom	Radovna	1,40	1,42	1,34	1,37	1,94
Sveti Janez	Sava Bohinjka	0,64	0,62	0,55	0,58	1,04
Bohinjska Bistrica	Bistrica	0,12	0,15	0,10	0,08	0,42
Mlino I	Jezernica	0,04	0,00	0,04	0,00	0,06
Radovljica I	Sava	7,75	8,37	6,55	6,47	12,60
Šentjakob	Sava	22,50	23,40	20,70	21,20	30,70
Litija I	Sava	37,90	38,70	36,70	36,40	50,40
Čatež I	Sava	54,50	57,50	52,50	55,60	76,21
Preska	Tržiška Bistrica	1,91	1,88	1,85	1,77	2,19

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 18

Kokra I	Kokra	0,96	0,99	0,93	0,93	1,35
Suha I	Sora	2,76	2,83	2,65	2,65	3,99
Martinja vas I	Mirna	0,43	0,47	0,40	0,43	0,64
Rakovec I	Sotla	0,56	0,57	0,49	0,52	1,01
Petrina	Kolpa	1,95	2,01	1,80	1,87	3,28
Radenci II	Kolpa	4,06	4,11	3,81	3,66	5,98
Metlika	Kolpa	6,10	6,52	5,99	6,11	9,87
Gradac	Lahinja	0,20	0,25	0,16	0,17	0,48
Vrhnika	Ljubljana	1,34	1,53	1,32	1,43	2,42
Verd I	Ljubija	0,61	0,53	0,56	0,49	1,00
Cerknica I	Cerkniščica	0,06	0,02	0,05	/	0,11
Solčava I	Savinja	0,19	0,23	0,19	0,20	0,40
Nazarje	Savinja	2,21	2,42	1,97	2,26	3,72
Laško I	Savinja	5,84	5,92	5,50	5,42	8,76
Kraše	Dreta	0,48	0,49	0,40	0,41	0,80
Levec I	Ložnica	0,04	0,04	0,02	0,04	0,15
Celje II	Voglajna	0,13	0,16	0,12	0,14	0,30
Podbukovje	Krka	1,07	1,15	1,01	1,08	1,63
Podbočje	Krka	5,50	6,19	5,06	5,76	9,30
Škocjan	Radulja	0,12	0,16	0,11	0,13	0,28
Log Čezsoški	Soča	3,80	4,01	3,80	3,83	5,81
Kobarid I	Soča	5,51	5,55	5,35	5,31	8,07
Solkan I	Soča	15,70	15,80	14,20	13,20	21,16
Žaga	Učja	0,43	0,42	0,38	0,38	0,64
Podroteja I	Idrijca	1,03	1,12	1,03	1,09	1,51
Hotešk	Idrijca	3,69	3,94	3,67	3,77	5,00
Dolenja Trebuša	Trebuša	0,39	0,40	0,36	0,37	0,60
Bača pri Modreju	Bača	1,00	0,97	0,87	0,86	1,63
Dornberk	Vipava	1,19	1,31	1,23	1,20	1,98
Ajdovščina I	Hubelj	0,21	0,23	0,20	0,22	0,37
Cerkvenikov Mlin	Reka	0,29	0,33	0,25	0,27	0,62
Kubed II	Rižana	0,03	0,08	0,02	0,08	0,16

Iz rezultatov je razvidno, da je pretok Q_{95} v povprečju večji od pretoka $4B3$ za 80 %. Najmanjša razlika med vrednostmi pretokov je na vodomerni postaji Polana I (Ledava), in sicer za faktor 1,07. Najvišja razlika, kar za faktor 5,25, pa se pojavi na vodomerni postaji Kubed II (Rižana). Kar pri 43 postajah se faktor giblje med 1,07 in 1,84, le pri ostalih dvanajstih je opaziti več kot 100-odstotne razlike.

Q_{95} je v povprečju večji od $7Q_{10}$ za 69 %. Pri vodomerni postaji Cerknica I (Cerkniščica) je izračunana največja razlika, ki znaša 450 %. Za 49 postaj razlike med pretokoma znašajo med 16 % in

97 %, od tega smo najmanjšo razliko 16 % dobili na vodotoku Tržiška Bistrica (postaja Preska). Primerjava ni bila mogoča le na postaji Mlino I, saj je tu vrednost pretoka $7Q_{10}$ enaka 0.

Pretok Q_{95} je v povprečju večji od pretoka $1B3$ kar za 107 %. Izjemno veliko razliko med pretokoma smo izračunali za postaji Kubed II (Rižana) –688 % in Levec I (Ložnica) –639 %. Najmanjšo izračunano razliko pa dobimo na vodotoku Tržiška Bistrica (postaja Preska), in sicer 18 %.

Zadnja primerjava je bila narejena med pretokoma $1Q_{10}$ in Q_{95} , pri čemer je Q_{95} v povprečju večji za 80 %. Pri dveh postajah primerjava ni bila možna, saj pri postaji Cerknica I ni izračunanega pretoka $1Q_{10}$, na postaji Mlino I pa je pretok enak 0. Za vodomerno postajo Bohinjska Bistrica (Bistrica) znaša pretok $1Q_{10}$ $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$, izračunani Q_{95} pa $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$, kar pomeni, da je Q_{95} za faktor 5,21 večji od $1Q_{10}$. To je tudi največja razlika med obravnavanimi pretoki. Zopet pa je bila najmanjša razlika izračunana na vodotoku Tržiška Bistrica (Preska), tokrat 24 %.

Iz rezultatov smo torej ugotovili, da je pretok Q_{95} v vseh primerih višji od primerjanega. Najmanjša povprečna razlika 69 % je pri primerjavi s pretokom $7Q_{10}$, z 80 % sledita primerjavi s $4B3$ in $1Q_{10}$, največja pa je razlika v primerjavi s pretokom $1B3$, in sicer 107 %.

Iz korelacijske matrike (preglednica 19) je razvidno, da je pretok Q_{95} zelo močno povezan z ostalimi primerjanimi kazalniki nizkih pretokov. Koeficienti korelacije se gibljejo med 0,9964 in 0,9995, kar kaže na visoko odvisnost med pretoki. Največja povezanost se pokaže pri primerjavi pretoka Q_{95} s $7Q_{10}$, najmanjša pa z $1Q_{10}$.

Preglednica 19: Korelacijska matrika primerjanih kazalnikov nizkih pretokov

	4B3	7Q10	1B3	1Q10	Q95
4B3	1,0000				
7Q10	0,9998	1,0000			
1B3	0,9988	0,9984	1,0000		
1Q10	0,9963	0,9960	0,9990	1,0000	
Q95	0,9992	0,9995	0,9979	0,9964	1,0000

6.1.1 Izračun in primerjava odstopanj po kriterijih CCC in CMC za Q_{95}

Program DFLOW med drugim omogoča tudi izračun odstopanj za vrednosti katerega koli pretoka. Zato smo se odločili, da bomo za dobljene vrednosti pretoka Q_{95} iz poglavja 6.1 izračunali odstopanja po kriteriju stalne koncentracije (CCC) in kriteriju maksimalne koncentracije (CMC) (preglednica 20) ter jih primerjali z odstopanji pretokov $4B3$, $7Q_{10}$, $1B3$ in $1Q_{10}$ iz poglavja 5.3.2.

Preglednica 20: Odstopanja po kriterijih CCC in CMC za Q_{95}

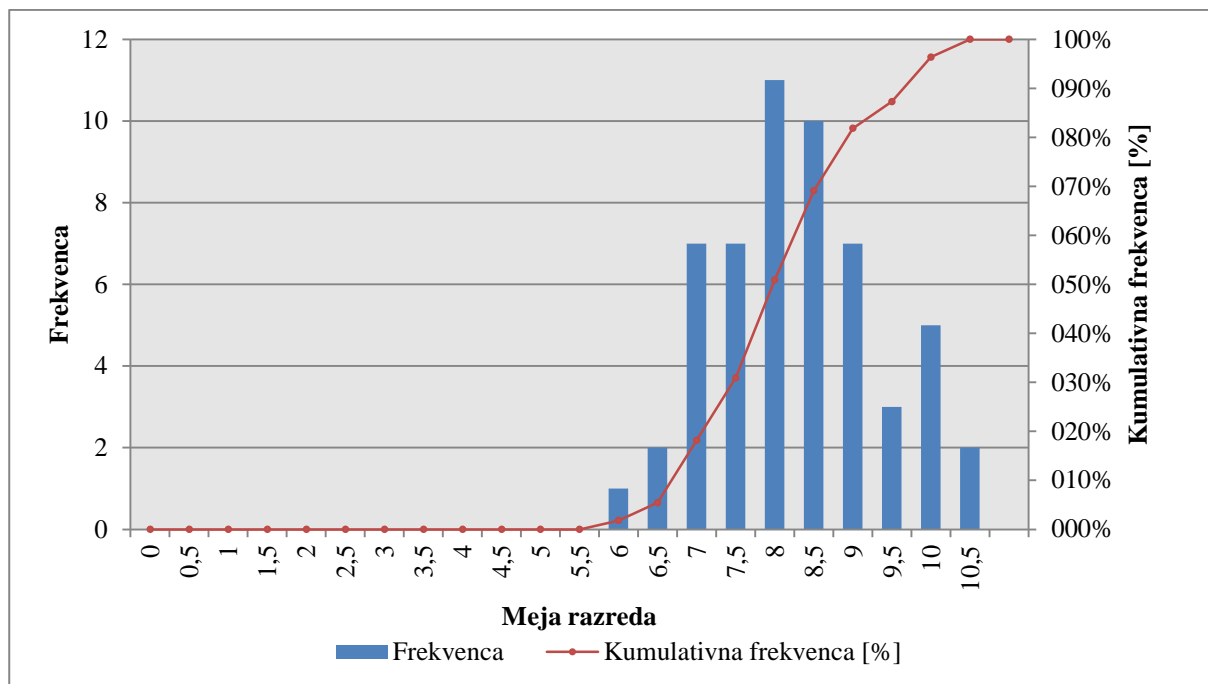
Ime vodomerne postaje	Vodotok	Odstopanja po CCC		Odstopanja po CMC		Dovoljeno število odstopanj za celotno obdobje
		Št. odstopanj na tri leta pri pretoku Q_{95}	Št. odstopanj za celotno obdobje pri pretoku Q_{95}	Št. odstopanj na tri leta pri pretoku Q_{95}	Št. odstopanj za celotno obdobje pri pretoku Q_{95}	
Gornja Radgona I	Mura	6,94	154,99	8,42	188,05	22,33
Petanjci	Mura	7,12	135,28	8,74	166,06	19,00
Pristava I	Ščavnica	7,78	98,55	11,21	141,99	12,67
Polana I	Ledava	6,46	109,82	7,71	131,07	17,00
Čentiba	Ledava	6,31	90,44	6,91	99,04	14,33
HE Dravograd	Drava	6,78	108,48	11,56	184,96	16,00
Črna	Meža	7,81	111,94	10,67	152,94	14,33
Otiški Vrh I	Meža	8,86	177,20	11,20	224,00	20,00
Otiški Vrh I	Mislinja	10,11	134,80	12,98	173,07	13,33
Ruta	Radoljna	8,55	114,00	10,58	141,07	13,33
Zreče	Dravinja	8,27	110,27	11,85	158,00	13,33
Makole	Dravinja	6,71	89,47	8,03	107,07	13,33
Zamušani I	Pesnica	5,78	100,19	7,04	122,03	17,33
Jesenice	Sava Dolinka	6,83	216,28	8,31	263,15	31,67
Podhom	Radovna	7,85	209,33	9,04	241,07	26,67
Sveti Janez	Sava Bohinjka	9,04	186,83	10,31	213,07	20,67
Bohinjska Bistrica	Bistrica	9,75	143,00	11,05	162,07	14,67
Mlino I	Jezernica	7,18	136,42	8,37	159,03	19,00
Radovljica I	Sava	10,01	200,20	17,00	340,00	20,00
Šentjakob	Sava	8,60	192,07	12,31	274,92	22,33
Litija I	Sava	8,85	177,00	10,85	217,00	20,00
Čatež I	Sava	7,40	91,27	9,41	116,06	12,33
Preska	Tržiška Bistrica	7,38	135,30	8,67	158,95	18,33
Kokra I	Kokra	7,78	145,23	9,80	182,93	18,67
Suha I	Sora	8,63	146,71	11,18	190,06	17,00
Martinja vas I	Mirna	6,51	108,50	8,52	142,00	16,67
Rakovec I	Sotla	7,81	124,96	9,69	155,04	16,00
Petrina	Kolpa	8,27	168,16	10,23	208,01	20,33
Radenci II	Kolpa	8,14	94,97	9,69	113,05	11,67
Metlika	Kolpa	7,81	226,49	9,38	272,02	29,00
Gradac	Lahinja	7,83	159,21	9,39	190,93	20,33
Vrhnika	Ljubljana	7,63	132,25	9,64	167,09	17,33
Verd I	Ljubija	7,87	139,04	9,57	169,07	17,67
Cerknica I	Cerkniščica	8,81	149,77	11,88	201,96	17,00
Solčava I	Savinja	9,42	166,42	12,40	219,07	17,67

se nadaljuje ...

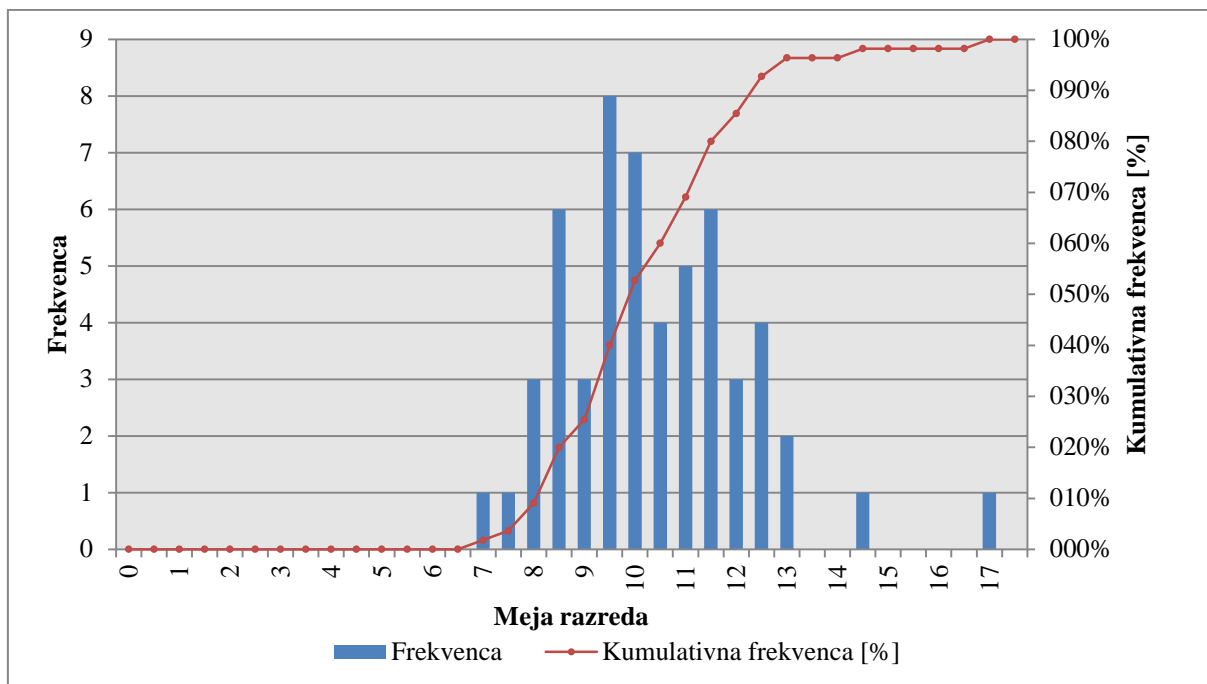
...nadaljevanje Preglednice 20

Nazarje	Savinja	8,87	257,23	12,21	354,09	29,00
Laško I	Savinja	9,58	191,60	11,45	229,00	20,00
Kraše	Dreta	8,11	145,98	10,89	196,02	18,00
Levec I	Ložnica	7,32	112,24	10,24	157,01	15,33
Celje II	Voglajna	8,43	129,26	10,96	168,05	15,33
Podbukovje	Krka	7,20	127,20	8,43	148,93	17,67
Podbočje	Krka	6,96	201,84	8,14	236,06	29,00
Škocjan	Radulja	7,67	132,95	9,35	162,07	17,33
Log Čezsoški	Soča	7,59	164,45	9,28	201,07	21,67
Kobarid I	Soča	6,86	150,92	7,59	166,98	22,00
Solkan I	Soča	9,57	105,27	14,18	155,98	11,00
Žaga	Učja	9,95	195,68	12,76	250,95	19,67
Podroteja I	Idrijca	9,60	115,20	12,08	144,96	12,00
Hotešk	Idrijca	8,20	174,93	9,47	202,03	21,33
Dolenja Trebuša	Trebuša	8,09	159,10	9,56	188,01	19,67
Bača pri Modreju	Bača	9,09	193,92	11,16	238,08	21,33
Dornberk	Vipava	8,08	166,99	9,48	195,92	20,67
Ajdovščina I	Hubelj	8,14	154,66	9,53	181,07	19,00
Cerkvenikov Mlin	Reka	8,18	166,33	10,28	209,03	20,33
Kubed II	Rižana	7,28	116,48	8,00	128,00	16,00

Po kriteriju CCC je pri pretoku Q_{95} prišlo do prekoračitve odstopanj pri vseh vodomernih postajah. Število odstopanj na tri leta se giblje od 5,78 do 10,11, to pomeni, da odstopanja pretoka Q_{95} presegajo 1 dovoljeno odstopanje na tri leta po kriteriju CCC. Več kot 10 odstopanj smo dobili na dveh vodomernih postajah, in sicer Radovljica I (Sava) in Otiški Vrh I (Mislinja), najmanj pa na vodomerni postaji Zamušani I (Pesnica). Po kriteriju CCC ima najmanjše število odstopanj pri pretoku Q_{95} postaja Zamušani I (Pesnica), ta znaša 5,78 odstopanj, kar je v primerjavi z odstopanji pretoka 4B3 večje za 490 %, v primerjavi s 7Q10 pa 199 %. Največje število odstopanj ima postaja Otiški Vrh I (Mislinja), ki znaša 10,11 odstopanj. V primerjavi z odstopanji pri 4B3 je večje za 1285 %, s 7Q10 pa 757 %. Pri skoraj polovici postaj so prekoračitve večje od 8 (preglednica 20 in slika 35).

Slika 35: Histogram odstopanj na tri leta po kriteriju CCC za Q_{95}

Število odstopanj na tri leta po kriteriju CMC za pretok Q_{95} se giblje med 6,91 in 17. Odstopanje pretoka Q_{95} po kriteriju CMC je še večje kot pri kriteriju CCC, saj vse postaje presegajo 1 dovoljeno odstopanje na tri leta, in sicer za skoraj 600 % in več. Po kriteriju CMC se je pri pretoku Q_{95} najmanjše število odstopanj pojavilo pri vodomerni postaji Čentiba (Ledava), in sicer 6,91. To je v primerjavi z odstopanji 1B3 večje za 605 %, v primerjavi z 1Q10 pa za 676 %. Na postaji Radovljica I (Sava) se je pojavilo največje število odstopanj, kar 17, pri 1Q10 pa izmed vseh postaj eno najmanjših odstopanj 0,23. Tako razlika med njima znaša kar 7291 %. V primerjavi z 1B3 pa je večje za 1600 %. Pri 41 postajah (skoraj 75 %) je število odstopanj večje od 9 (preglednica 20 in slika 36).



Slika 36: Histogram odstopanj na tri leta po kriteriju CMC za Q_{95}

6.2 Primerjava z ekološko sprejemljivim pretokom Q_{es}

Za primerjavo s kazalniki nizkih pretokov, izračunanih v programu DFLOW, in različnimi metodami za izračun ekološko sprejemljivega pretoka (Q_{es}) smo izbrali vodomerne postaje, za katere je že Majcnova (2013) v svoji diplomski nalogi izračunala Q_{es} . Izmed obravnavanih 26 postaj v njeni diplomski nalogi smo za našo analizo izbrali tistih 15, ki smo jih tudi mi obravnavali v svojih analizah (preglednica 21).

Vse izbrane vodomerne postaje so v SZ delu Slovenije in imajo niz podatkov za 31-letno obdobje, od leta 1981 do 2011 (Majcen, 2013). Dvanajst vodomernih postaj ima neprekinjen niz podatkov, pri ostalih treh postajah pa prekinitve trajajo od 59 do 464 dni.

Preglednica 21: Seznam izbranih vodomernih postaj za primerjavo s Q_{es}

Šifra vodomerne postaje	Ime vodomerne postaje	Vodotok	Obdobje	Število dni v nizu	Ničelni pretoki v nizu/ Manjkajoči podatki v nizu [v dnevih]
3060	Jesenice	Sava Dolinka	1981-2011	11.321	0/0
3180	Podhom	Radovna	1981-2011	11.321	0/0
3200	Sveti Janez	Sava Bohinjka	1981-2011	11.321	0/0
3320	Bohinjska Bistrica	Bistrica	1981-2011	11.321	0/0

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 21

4050	Preska	Tržiška Bistrica	1981-2011	11.321	0/464
4120	Kokra I	Kokra	1981-2011	11.321	0/0
4200	Suha I	Sora	1981-2011	11.321	0/365
8060	Log Čezsoški	Soča	1981-2011	11.321	0/0
8080	Kobarid I	Soča	1981-2011	11.321	0/0
8270	Žaga	Učja	1981-2011	11.321	0/0
8350	Podroteja I	Idrijca	1981-2011	11.321	0/0
8450	Hotešk	Idrijca	1981-2011	11.321	0/0
8480	Dolenja Trebuša	Trebuša	1981-2011	11.321	0/59
8500	Bača pri Modreju	Bača	1981-2011	11.321	0/0
8630	Ajdovščina	Hubelj	1981-2011	11.321	0/0

6.2.1 Primerjava in analiza s Q_{es} za izbrane postaje po slovenski metodologiji

V preglednici 22 so prikazani izračunani pretoki za 15 vodomernih postaj po hidrološki in biološki metodi (4B3, 7Q10, 1B3 in 1Q10) ter ekološko sprejemljivi pretoki po slovenski metodologiji, in sicer za nepovratni, povratni in točkovni odvzem.

Preglednica 22: Vrednosti kazalnikov nizkih pretokov DFLOW in Q_{es} za izbrane slovenske postaje

Ime vodomerne postaje	Vodotok	DFLOW (ZDA)				Slovenska metodologija		
		4B3 [m ³ /s]	7Q10 [m ³ /s]	1B3 [m ³ /s]	1Q10 [m ³ /s]	Nepovratni odvzem Q_{es} [m ³ /s]	Povratni odvzem Q_{es} [m ³ /s]	Točkovni odvzem Q_{es} [m ³ /s]
Jesenice	Sava Dolinka	3,69	3,87	3,71	3,74	3,70	3,20	1,40
Podhom	Radovna	1,32	1,33	1,28	1,28	1,40	1,20	0,51
Sveti Janez	Sava Bohinjka	0,60	0,59	0,55	0,56	0,85	0,68	0,34
Bohinjska Bistrica	Bistrica	0,11	0,13	0,08	0,06	0,28	0,25	0,11
Preska	Tržiška Bistrica	1,93	1,94	1,84	1,79	1,80	1,50	0,66
Kokra I	Kokra	0,94	0,95	0,93	0,91	1,00	0,88	0,34
Suha I	Sora	2,65	2,80	2,64	2,67	3,60	2,90	1,50
Log Čezsoški	Soča	4,02	4,30	3,87	4,20	4,40	3,90	1,70
Kobarid I	Soča	5,49	5,75	5,40	5,61	6,30	5,50	2,30
Žaga	Učja	0,39	0,42	0,37	0,40	0,54	0,43	0,22
Podroteja I	Idrijca	1,14	1,15	1,07	1,12	1,50	1,20	0,62
Hotešk	Idrijca	3,73	3,90	3,64	3,80	4,90	3,90	1,90
Dolenja Trebuša	Trebuša	0,38	0,39	0,35	0,37	0,67	0,56	0,28
Bača pri Modreju	Bača	0,76	0,78	0,73	0,67	1,00	0,92	0,39
Ajdovščina	Hubelj	0,17	0,22	0,17	0,20	0,31	0,25	0,12

Nepovratni odvzem je v primerjavi z vsemi štirimi pretoki, izračunanimi v programu DFLOW, v povprečju večji. Od 4B3 je v povprečju večji za 37 %, od 7Q10 za 28 %, od 1B3 za 48 % in največ od 1Q10 za 51 %. Nepovratni odvzem je izmed vseh primerjav le v dveh primerih manjši od ameriških kazalnikov, in sicer na vodomernih postajah Preska na vodotoku Tržiška Bistrica in Jesenice na vodotoku Sava Dolinka. Na teh dveh postajah pa so razlike med pretoki minimalne ali enake.

Prav tako kot nepovratni odvzem se je tudi povratni odvzem izkazal v povprečju za večjega od pretokov 4B3, 7Q10, 1B3 in 1Q10, vendar so razlike precej manjše kot pri nepovratnem odvzemu. Tako so pretoki pri povratnem odvzemu v povprečju večji od 1Q10 za 29 %, od 1B3 za 25 %, od 4B3 za 15 % in najmanj od 7Q10, in sicer za 8 %. Od petnajstih obravnavanih postaj imamo le pri štirih postajah (Jesenice, Podhom, Preska in Kokra I) vrednosti pretokov, izračunanih za povratni odvzem, manjše od pretokov, izračunanih s programom DFLOW. Najmanjše razlike so se pojavile na postajah Log Čezsoški in Kobarid I (obe na vodotoku Soča).

Pri točkovnem odvzemu pa imamo obratno situacijo, saj so vrednosti pretokov 4B3, 7Q10, 1B3 in 1Q10 v povprečju večje od vrednosti pretokov pri točkovnem odvzemu. Pretok 4B3 je tako v povprečju večji od točkovnega odvzema za 103 %, 7Q10 za 113 %, 1B3 za 95 % in 1Q10 za 99 %. Točkovni odvzem je bil v primerjavi z 1B3 in 1Q10 večji le na vodomerni postaji Bohinjska Bistrica (Bistrica).

Najmanjše razlike med vrednostmi pretokov so se pojavile pri primerjavi nepovratnega in povratnega odvzema s pretoki 4B3 in 7Q10, torej s pretoki, ki upoštevajo kriterij stalne koncentracije (CCC).

V preglednici 23 so v obliki matrike prikazani korelacijski koeficienti vseh obravnavanih pretokov. Iz matrike je razvidno, da so pretoki med seboj zelo močno povezani. Največja povezanost s pretoki 4B3, 7Q10, 1B3 in 1Q10 se pokaže pri povratnem odvzemu, kjer se korelacijski koeficienti gibljejo med 0,9916 do 0,9932. Sledi nepovratni odvzem, kjer so vrednosti koeficientov od 0,9867 do 0,9879, najmanjša povezanost med vsemi pa je pri točkovnem odvzemu, kjer se koeficienti gibljejo med 0,9782 in 0,9798.

Preglednica 23: Korelacijska matrika primerjanih kazalnikov nizkih pretokov s Q_{es}

	4B3	7Q10	1B3	1Q10	Nepovratni odvzem	Povratni odvzem	Točkovni odvzem
4B3	1,0000						
7Q10	0,9997	1,0000					
1B3	0,9997	0,9995	1,0000				
1Q10	0,9994	0,9998	0,9991	1,0000			
Nepovratni odvzem	0,9872	0,9876	0,9867	0,9879	1,0000		
Povratni odvzem	0,9922	0,9929	0,9916	0,9932	0,9979	1,0000	
Točkovni odvzem	0,9786	0,9796	0,9782	0,9798	0,9977	0,9930	1,0000

6.2.1.1 Izračun in primerjava odstopanj po kriterijih CCC in CMC za *Qes* v Sloveniji

Za izračun odstopanj po kriteriju stalne koncentracije (CCC) in kriteriju maksimalne koncentracije (CMC) v programu DFLOW smo uporabili vrednosti pretokov iz preglednice 22.

Preglednica 24: Število odstopanj na tri leta po kriteriju CCC

Ime vodomerne postaje	Vodotok	4B3	7Q10	Nepovratni odvzem	Povratni odvzem	Točkovni odvzem
Jesenice	Sava Dolinka	0,48	1,60	0,48	0,00	0,00
Podhom	Radovna	0,99	1,04	1,77	0,24	0,00
Sveti Janez	Sava Bohinjka	0,97	0,94	6,53	2,15	0,00
Bohinjska Bistrica	Bistrica	0,87	1,72	7,14	6,00	0,99
Preska	Tržiška Bistrica	0,87	1,36	0,48	0,00	0,00
Kokra I	Kokra	0,94	1,06	1,89	0,39	0,00
Suha I	Sora	0,97	1,23	5,18	1,48	0,00
Log Čezsoški	Soča	0,94	1,43	1,45	0,80	0,00
Kobarid I	Soča	0,80	1,79	2,64	0,80	0,00
Žaga	Učja	0,65	0,85	6,36	1,14	0,00
Podroteja I	Idrijca	0,90	1,06	5,95	1,77	0,00
Hotešk	Idrijca	0,99	1,69	8,28	1,69	0,00
Dolenja Trebuša	Trebuša	0,87	1,28	14,95	7,74	0,00
Bača pri Modreju	Bača	0,85	1,06	2,18	1,77	0,00
Ajdovščina	Hubelj	0,00	1,67	5,61	2,61	0,00

Število odstopanj na tri leta po kriteriju CCC pri pretoku 4B3 se pri 14 postajah giblje od 0,48 do 0,99, pri postaji Ajdovščina (Hubelj) pa je enako 0 (preglednica 24). Pri pretoku 7Q10 so števila odstopanj od 0,85 do 1,79, pri nepovratnem odvzemu pa od 0,48 do 14,95. Tako pri 7Q10 kot nepovratnem odvzemu je bilo dovoljeno število odstopanj na tri leta preseženo kar na 13 vodomernih postajah. Pri povratnem odvzemu se na 13 postajah število odstopanj giblje od 0,24 do 7,74, od tega jih je dovoljeno odstopanje preseglo 9, na dveh pa je enako 0. Za točkovni odvzem pa je program DFLOW kar za 14 postaj izračunal število odstopanj 0, le za postajo Bohinjska Bistrica je izračunano število odstopanj 0,99.

Preglednica 25: Število odstopanj na tri leta po kriteriju CMC

Ime vodomerne postaje	Vodotok	1B3	1Q10	Nepovratni odvzem	Povratni odvzem	Točkovni odvzem
Jesenice	Sava Dolinka	0,68	1,06	0,68	0,00	0,00
Podhom	Radovna	0,97	0,63	2,81	0,58	0,00
Sveti Janez	Sava Bohinjka	0,48	0,48	7,84	3,58	0,00

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 25

Bohinjska Bistrica	Bistrica	0,68	0,15	9,58	8,13	2,23
Preska	Tržiška Bistrica	0,87	0,48	0,87	0,00	0,00
Kokra I	Kokra	0,97	0,60	3,29	0,77	0,00
Suha I	Sora	0,97	1,19	6,58	2,13	0,00
Log Čezsoški	Soča	0,97	1,26	1,45	1,36	0,00
Kobarid I	Soča	0,97	1,31	2,90	1,06	0,00
Žaga	Učja	0,87	0,65	8,52	2,61	0,00
Podroteja I	Idrijca	0,97	0,90	7,65	2,90	0,00
Hotešk	Idrijca	0,58	1,38	9,68	2,52	0,00
Dolenja Trebuša	Trebuša	0,77	0,73	15,97	9,49	0,00
Bača pri Modreju	Bača	0,97	0,70	3,10	2,52	0,19
Ajdovščina	Hubelj	0,00	0,60	6,97	4,07	0,00

Po kriteriju CMC se pri pretoku 1B3 število odstopanj na 14 postajah giblje med 0,48 in 0,97, na eni postaji pa je enako 0 (preglednica 25). Število odstopanj se pri pretoku 1Q10 giblje od 0,15 do 1,38, pri čemer je na petih vodomernih postajah presežno dovoljeno eno odstopanje. Pri nepovratnem odvzemu imamo razpon odstopanj od 0,68 do 15,97, od tega kar 13 postaj preseže dovoljeno število odstopanj. Pri povratnem odvzemu se na 13 postajah število odstopanj giblje od 0,58 do 9,49, na dveh pa je enako 0. Od 13 postaj jih je kar 11 preseglo dovoljeno število odstopanj. Tako kot po kriteriju CCC je tudi za točkovni odvzem z upoštevanjem kriterija CMC za večino vodomernih postaj (13) izračunano število odstopanj enako 0, za preostali dve postaji pa sta izračunani odstopanji 0,19 in 2,23 (preglednica 25).

6.2.2 Primerjava in analiza s Q_{es} za izbrane postaje po metodologijah nekaterih evropskih držav

Majcnova (2013) je poleg izračunov Q_{es} po slovenski metodologiji izračunala tudi ekološko sprejemljive pretoke po metodologijah nekaterih evropskih držav, in sicer po švicarski metodi Matthey, po metodah, ki se uporabljajo v nemških zveznih deželah Baden-Württemberg, Hessen, Saška in Severno Porenje-Vestfalija, po Zakonu o vodah v Avstriji, avstrijskih metodah Jäger in Q_{361} , po Pravilniku o načinu določanja Q_{es} v Bosni in Hercegovini ter po Tennantovi metodi. Tem rezultatom smo v preglednici 26 dodali še naše vrednosti pretokov 4B3, 7Q10, 1B3 in 1Q10, izračunanih v programu DFLOW.

Preglednica 26: Vrednosti pretokov DFLOW in ekološko sprejemljivih pretokov za izbranih 15 vodomernih postaj

Ime vodomerne postaje	Vodotok	Združene države Amerike					Slovenija			Švica
		4B3 [m ³ /s]	7Q10 [m ³ /s]	1B3 [m ³ /s]	1Q10 [m ³ /s]	Nepovratni odvzem Qes [m ³ /s]	Povratni odvzem Qes [m ³ /s]	Točkovni odvzem Qes [m ³ /s]	Matthey Qes [m ³ /s]	
Jesenice	Sava Dolinka	3,69	3,87	3,71	3,74	3,70	3,20	1,40	1,10	
Podhom	Radovna	1,32	1,33	1,28	1,28	1,40	1,20	0,51	0,65	
Sveti Janez	Sava Bohinjka	0,60	0,59	0,55	0,56	0,85	0,68	0,34	0,45	
Bohinjska Bistrica	Bistrica	0,11	0,13	0,08	0,06	0,28	0,25	0,11	0,24	
Preska	Tržiška Bistrica	1,93	1,94	1,84	1,79	1,80	1,50	0,66	0,65	
Kokra I	Kokra	0,94	0,95	0,93	0,91	1,00	0,88	0,34	0,47	
Suha I	Sora	2,65	2,80	2,64	2,67	3,60	2,90	1,50	1,10	
Log Čezsoški	Soča	4,02	4,30	3,87	4,20	4,40	3,90	1,70	1,60	
Kobarid I	Soča	5,49	5,75	5,40	5,61	6,30	5,50	2,30	2,00	
Žaga	Učja	0,39	0,42	0,37	0,40	0,54	0,43	0,22	0,28	
Podroteja I	Idrijca	1,14	1,15	1,07	1,12	1,50	1,20	0,62	0,51	
Hotešk	Idrijca	3,73	3,90	3,64	3,80	4,90	3,90	1,90	1,20	
Dolenja Trebuša	Trebuša	0,38	0,39	0,35	0,37	0,67	0,56	0,28	0,26	
Bača pri Modreju	Bača	0,76	0,78	0,73	0,67	1,00	0,92	0,39	0,56	
Ajdovščina	Hubelj	0,17	0,22	0,17	0,20	0,31	0,25	0,12	0,21	

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 26

		Nemčija				Avstrija			Bosna in Hercegovina		
Baden- Württemberg [m ³ /s]	Severno Porenje- Vestfalija [m ³ /s]	Hessen [m ³ /s]	Saška [m ³ /s]	33 % sQnp [m ³ /s]	Jäger [m ³ /s]	Q ₃₆₁ [m ³ /s]	Q _{es} [m ³ /s]	maj–oktober	november–april		
1,50	0,77	1,50	1,50	1,50	1,50	3,90	4,60	0,99	1,50		
0,57	0,28	0,56	0,57	0,56	1,10	1,50	1,70	0,75	1,10		
0,28	0,14	0,28	0,28	0,28	1,10	0,69	1,30	0,76	1,10		
0,12	0,06	0,12	0,12	0,12	0,48	0,16	0,35	0,32	0,48		
0,73	0,37	0,73	0,73	0,73	0,72	2,00	3,30	0,48	0,72		
0,42	0,21	0,42	0,42	0,42	0,59	1,00	1,30	0,40	0,59		
1,20	0,61	1,20	1,20	1,20	2,80	2,90	3,60	1,80	2,70		
1,90	0,93	1,80	1,90	1,80	3,40	4,70	8,30	2,20	3,40		
2,60	1,30	2,60	2,60	2,60	4,80	5,90	7,80	3,20	4,80		
0,18	0,09	0,18	0,18	0,18	0,49	0,47	0,54	0,32	0,48		
0,51	0,26	0,51	0,51	0,51	1,20	1,20	1,50	0,81	1,20		
1,60	0,81	1,60	1,60	1,60	3,40	4,10	7,30	2,20	3,30		
0,19	0,09	0,19	0,19	0,19	0,38	0,43	0,56	0,26	0,38		
0,44	0,22	0,43	0,44	0,43	0,97	1,00	2,00	0,65	0,97		
0,10	0,05	0,10	0,10	0,10	0,41	0,25	0,47	0,28	0,41		

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 26

		Tennant												
		Qes (april–september)					Qes (oktober–marec)							
izvrstno	odlično	dobro	slabše	slabo	izvrstno	odlično	dobro	slabše	slabo	izvrstno	odlično	dobro	slabše	slabo
5,90	5,00	4,00	3,00	0,99	4,00	3,00	2,00	0,99	3,00	4,00	3,00	2,00	0,99	0,99
4,50	3,80	3,00	2,30	0,75	3,00	2,30	1,50	0,75	2,30	3,00	2,30	1,50	0,75	0,75
4,60	3,80	3,00	2,30	0,76	3,00	2,30	1,50	0,76	2,30	3,00	2,30	1,50	0,76	0,76
1,90	1,60	1,30	0,95	0,32	1,30	0,95	0,64	0,32	0,95	1,30	0,95	0,64	0,32	0,32
2,90	2,40	1,90	1,40	0,48	1,90	1,40	0,96	0,48	1,40	1,90	1,40	0,96	0,48	0,48
2,40	2,00	1,60	1,20	0,40	1,60	1,20	0,79	0,40	1,20	1,60	1,20	0,79	0,40	0,40
11,00	9,20	7,30	5,50	1,80	7,30	5,50	3,70	1,80	5,50	7,30	5,50	3,70	1,80	1,80
13,50	11,20	9,00	6,70	2,20	9,00	6,70	4,50	2,20	6,70	9,00	6,70	4,50	2,20	2,20
19,20	16,00	12,80	9,60	3,20	12,80	9,60	6,40	3,20	9,60	12,80	9,60	6,40	3,20	3,20
1,90	1,60	1,30	0,97	0,32	1,30	0,97	0,65	0,32	0,97	1,30	0,97	0,65	0,32	0,32
4,80	4,00	3,20	2,40	0,81	3,20	2,40	1,60	0,81	2,40	3,20	2,40	1,60	0,81	0,81
13,40	11,20	8,90	6,70	2,20	8,90	6,70	4,50	2,20	6,70	8,90	6,70	4,50	2,20	2,20
1,50	1,30	1,00	0,77	0,26	1,00	0,77	0,51	0,26	0,77	1,00	0,77	0,51	0,26	0,26
3,90	3,20	2,60	1,90	0,65	2,60	1,90	1,30	0,65	1,90	2,60	1,90	1,30	0,65	0,65
1,70	1,40	1,10	0,83	0,28	1,10	0,83	0,55	0,28	0,83	1,10	0,83	0,55	0,28	0,28

Kot je že ugotovila Majcnova (2013), pri večini vodomernih postaj najvišje vrednosti Q_{es} daje Tennantova metoda. Rezultati, dobljeni po Tennantovi metodi, ki ustrezajo izvrstnemu stanju vodotokov v poletnem obdobju, so tudi za več kot 100 % višji od vrednosti Q_{es} , dobljenih z drugimi metodami. Prav tako so vrednosti Q_{es} po metodi Tennant, ki ustrezajo slabemu stanju vodotokov in so enake za poletno in zimsko obdobje, še vedno višje od vrednosti Q_{es} , ki so izračunane po metodah, ki se uporabljajo v Avstriji in Nemčiji, na nekaterih postajah pa tudi višje od rezultatov po slovenski metodi točkovnega odvzema in švicarski metodi Matthey (preglednica 26).

Iz preglednice 26 je razvidno, da so pretoki 4B3, 7Q10, 1B3 in 1Q10 v primerjavi z rezultati ostalih metod povečini večji. Izjema so vrednosti Q_{es} , dobljene po metodi v Bosni in Hercegovini in avstrijski metodi Q_{361} , kjer so vrednosti prav na vseh vodomernih postajah večje od 4B3, 7Q10, 1B3 in 1Q10. Izjema je tudi Tennantova metoda za izvrstno, odlično in dobro stanje vodotokov tako za poletno kot tudi za zimsko obdobje. Tu so vrednosti pretokov 4B3, 7Q10, 1B3 in 1Q10 na skoraj vseh vodomernih postajah manjše, ponekod so vrednosti po Tennantovi metodi za izvrstno in slabo stanje večje tudi za 1500 % in več. Vrednosti pretokov 4B3, 7Q10, 1B3 in 1Q10 se v povprečju najbolj razlikujejo od vrednosti Q_{es} , izračunanimi po nemški metodi, ki se uporablja v Severnem Porenju-Vestfaliji, in sicer so večje za okoli 300 %. Najmanjše pa so razlike vrednosti pretokov 4B3, 7Q10, 1B3 in 1Q10 v primerjavi z vrednostmi Q_{es} , ki so izračunane po slovenski metodi za povratni odvzem in avstrijski metodi Q_{361} , kjer se razlike v povprečju gibljejo od 8 do 29 %.

7 ZAKLJUČKI

V diplomski nalogi smo najprej opisali nekatere najbolj pogosto uporabljene kazalnike nizkih pretokov, in sicer statistike nizkih pretokov (srednji pretok Q_{SR} , 95-odstotni pretok Q_{95} in srednji letni minimum MAM (n-dan)), bazni odtok, krivulje trajanja pretoka in deficit vodnega toka. Predstavljena sta tudi biološka in hidrološka metoda, ki se uporabljata v Združenih državah Amerike, ter ekološko sprejemljivi pretok po slovenski metodologiji.

Za izračune nizkih pretokov po biološki in hidrološki metodi smo uporabili program DFLOW 3.1, ki ga je razvila ameriška Agencija za varstvo okolja. Program pri izračunih upošteva dva kriterija, in sicer kriterij stalne koncentracije (CCC), ki predstavlja zaščito pred kroničnimi (dolgotrajnimi) učinki in kriterij maksimalne koncentracije (CMC), ki predstavlja zaščito pred akutnimi (kratkotrajnimi) učinki. Podrobnejše delovanje programa smo prikazali na primeru vodomerne postaje Martinja vas I na vodotoku Mirna za obdobje 50 let.

Izračun nizkih pretokov in odstopanj s programom DFLOW smo naredili na 56-ih vodomernih postajah po Sloveniji. Za vodomerno postajo Podkaštel I na vodotoku Dragonja so bile vse izračunane vrednosti pretokov enake 0, zato je bila izvzeta iz nadaljnjih analiz. Izmed vseh obravnavanih postaj je ta postaja imela tudi največ ničelnih pretokov v izbranem obdobju. Samo v primeru vodomerne postaje Cerknica I na vodotoku Cerknjščica za pretok $1Q_{10}$ program ni opravil izračuna zaradi domnevne nezadostnosti podatkov. Izračuni so pokazali, da se razlike med vrednostmi pretokov $4B3$ in $7Q_{10}$ gibljejo med $-166,7\%$ in 100% , razlike med vrednostmi $1B3$ in $1Q_{10}$ pa med -300% in 100% . V obeh primerih se največje razlike pojavljajo predvsem pri vodotokih, katerih izračunane vrednosti nizkih pretokov so blizu 0.

Za 55 vodomernih postaj smo naredili tudi primerjavo in analizo pretokov $4B3$, $7Q_{10}$, $1B3$ in $1Q_{10}$ s kazalnikom nizkega pretoka Q_{95} . Izkazalo se je, da je Q_{95} v povprečju večji od $4B3$ za 80% , od $7Q_{10}$ za 69% , od $1B3$ za 107% ter od $1Q_{10}$ za 80% . Pretok Q_{95} je z ostalimi primerjanimi pretoki v zelo močni povezanosti, in sicer najbolj s pretokom $7Q_{10}$. V programu so bila izračunana tudi odstopanja za vrednosti pretokov Q_{95} , ki pa so presegala eno dovoljeno odstopanje na tri leta po kriteriju CCC za 478% in več, za kriterij CMC pa 600% in več.

Dodatno je bila narejena še primerjava in analiza z ekološko sprejemljivi pretoki, izračunanimi po slovenski metodologiji in po metodah izbranih evropskih držav za 15 vodomernih postaj z 31-letnim obdobjem izmerjenih dnevnih pretokov. Največja podobnost je bila dobljena pri primerjavi z vrednostmi Q_{es} , izračunanimi po slovenski metodi za povratni odvzem in avstrijsko metodologijo Q_{361} (od 8% do 29%), največje razlike pa pri Tennantovi metodi ter pri nemški metodi, ki se jo uporablja v Severnem Porenju-Vestfaliji.

Za optimalno uporabo programa DFLOW na slovenskih vodotokih bi bilo potrebno prilagoditi kriterije, ki jih trenutno uporablja. Trenutni kriteriji, uporabljeni v programu, temeljijo na laboratorijskih in terenskih raziskavah, ki so bile narejene na ameriških vodotokih. Potreba po prilagoditvi kriterijev se je pokazala predvsem pri izračunih pretokov in odstopanj, katerih vrednosti dnevnih merjenih pretokov so bile blizu 0 ali celo 0. Poleg tega pa je pri takih postajah prihajalo tudi do prekoračitve dopuščene odstopanja na tri leta pri biološki metodi.

VIRI

Acreman, M., Dunbar, M. J. 2004. Defining environmental river flow requirements – a review. *Hydrology and Earth System Sciences* 8, 5: 861–876. <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/8/861/2004/hess-8-861-2004.pdf> (Pridobljeno 8. 1. 2016.)

ARSO. 2006. Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971-2000). Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 27 str. http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/podnebne_razmere_Slo71_00.pdf (Pridobljeno 25. 1. 2016.)

ARSO. 2015. Arhiv površinskih voda. Agencija Republike Slovenije za okolje. http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php (Pridobljeno 10. 12. 2015.)

ARSO. 2016. Pokrovnost in raba tal. http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=671 (Pridobljeno 19. 1. 2016.)

Atlas okolja. 2016. http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (Pridobljeno 16. 1. 2016.)

Atlas voda. 2016. http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda%40Arso&initialExtent=552388.26%2C147887.8%2C6.61458 (Pridobljeno 16. 1. 2016.)

Bat, M., Devetak, D., Grčman, H., idr. 2004. *Narava Slovenije*. Ljubljana, Mladinska knjiga: 231 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2006. Šifrant padavinskih območij R Slovenije. Gradivo iz spletne učilnice pri predmetu Hidrologija in vodarstvo v šolskem letu 2006/2007. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 23 str.

Cvitanič, I., Jesenovec, B., Kuhar, U., idr. 2015. Ocena stanja rek v Sloveniji v letih 2012 in 2013. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 42 str. http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Poro%C4%8Dilo%20REKE%202012%20in%202013_2.pdf (Pridobljeno 20. 12. 2015.)

Dolenjskolist.si. 2016. http://www.dolenjskolist.si/2009/05/21/15325/reportaze_in_zanimivosti/clanek/Reka_Mirna_spet_postaja_krasotica_bogata_z_ribami/ (Pridobljeno 22. 2. 2016.)

Dolar, M., Frantar, P., Hrvatin, M. 2008. Vpliv podnebne spremenljivosti na pretočne in padavinske režime v Sloveniji. <http://mvd20.com/LETO2008/R1.pdf> (Pridobljeno 28. 1. 2016.)

Dyson, M. (ur.), Bergkamp, G. (ur.), Scanlon, J. (ur.). 2008. Flow. The essentials of environmental flows. Gland, IUCN: 136 str. <http://www.waterandnature.org/sites/default/files/Flow.pdf> (Pridobljeno 8. 1. 2016.)

eGradiva. 2016. http://egradiva.gis.si/web/3.-letnik-geografija/slovenija-povrsje?p_p_id=GSS_T09_P06_WAR_GSS_T09_P06portlet_INSTANCE_Fl1p&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-3&p_p_col_pos=2&p_p_col_count=6 (Pridobljeno 16. 1. 2016.)

EPA. 1986. Technical Guidance Manual for Performing Wasteload Allocations. Book VI: Design Conditions – Chapter 1: Stream Design Flow for Steady-State Modeling. Washington, U.S. Environmental Protection Agency: 65 str.

EPA. 1991. Technical support document for water quality-based toxics control. Washington, U.S. Environmental Protection Agency: 335 str.

EPA. 2014. Water Quality Models and Tools – DFLOW 3.1.
<http://water.epa.gov/scitech/datait/models/dflow/> (Pridobljeno 10. 12. 2014.)

Fleig, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H., Demuth, S. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics. Hydrology and Earth System Sciences 10: 535-552. <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/535/2006/hess-10-535-2006.pdf> (Pridobljeno 3. 4. 2015.)

Frantar, P., Hrvatin, M. 2005. Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971 in 2000. Geografski vestnik 77, 2: 115–127.

Frantar, P. (ur.). 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 113 str.

Geodetski inštitut Slovenije. 2016. http://www.gis.si/egw/GOS_T12_P04/index.html (Pridobljeno 23. 1. 2016.)

Granato, G. E. 2008. Computer Programs for Obtaining and Analyzing Daily Mean Streamflow Data from the U.S. Geological Survey National Water Information System Web Site. Reston, U.S. Geological Survey. 113–123. http://pubs.usgs.gov/of/2008/1362/ofr2008-1362pdfs/ofr2008-1362_apx05-508w.pdf (Pridobljeno 10. 12. 2014.)

Hrvatin, M. 1998. Pretočni režimi v Sloveniji. Geografski zbornik 38: 59–87.

i-Učbeniki. 2016. <https://eucbeniki.sio.si/geo9/2649/index3.html> (Pridobljeno 16. 1. 2016.)

Jonaitis, G. 2002. Design Flow Analysis Project. Phase One: Low-Flow Analysis Case Study: 33 str. <http://water.epa.gov/scitech/datait/models/dflow/apps.cfm> (Pridobljeno 10. 12. 2014.)

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

Mikoš, M., Krajnc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. Acta Hydrotechnica. 20, 32. ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a32_1.pdf (Pridobljeno 24. 2. 2015.)

Mirna (reka). 2016. [https://sl.wikipedia.org/wiki/Mirna_\(reka\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Mirna_(reka)) (Pridobljeno 17. 12. 2015.)

Ogrin, D. 1996. Podnebni tipi v Sloveniji. Geografski vestnik 68: 39-56. <http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-NDDCHX2Y/> (Pridobljeno 20. 1. 2016.)

Petek, M. 2014. Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji. Diplomatska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Petek): 68 str.

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

Stephen, C.E., Mount, D.I., Hansen, D.J., Gentile, J.R., Chapman, G.A., Brungs, W.A. 2010. Guidelines for Deriving Numerical National Water Quality Criteria for the Protection Of Aquatic Organisms and Their Uses. Minnesota, Rhode Island, Oregon, U.S. Environmental protection Agency: 59 str.

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

Tharme, R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River Research and Applications 19: 397–441.

Topole, M. 1998. Mirnska dolina. Regionalna geografija porečja Mirne na Dolenjskem. Ljubljana, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti: 180 str. <http://giam.zrc-sazu.si/sites/default/files/9616182641.pdf> (Pridobljeno 15. 12. 2015.)

Trajanje snežne odeje. 2000. http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Zgibanka-trajanje_snezne_odeje.pdf (Pridobljeno 25. 1. 2016.)

Uhan, J. (ur.), Bat, M. (ur.). 2003. Vodno bogastvo Slovenije. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 131 str.

Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. Uradni list RS št. 97/2009.

World Meteorological Organization (WMO). 2008. Manual of Low-flow Estimation and Prediction. Operational Hydrology Report No. 50. (WMO-No. 1029). Ženeva: 136 str.

ZRC SAZU. 2016. <http://giam.zrc-sazu.si/sl/publikacije/relief-slovenije#v> (Pridobljeno 16. 1. 2016.)

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.

Žugaj, R., Andreić, Ž., Pavlič, K., Fuštar, L. 2011. Krivulje trajanja protoka. Građevinar, 63, 12: 1061–1068.