

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:

Kovačič, T. 2012. Analiza vpliva lastnosti
porečja na indeks baznega odtoka.
Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v
Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in
geodezijo. (mentor Šraj, J., somentor
Brilly, M.): 105 str.

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:

Kovačič, T. 2012. Analiza vpliva lastnosti
porečja na indeks baznega odtoka. B.Sc.
Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana,
Faculty of civil and geodetic engineering.
(supervisor Šraj, M., co-supervisor Brilly,
M.): 105 pp.

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 ŠTUDIJ
VODARSTVA IN
KOMUNALNEGA
INŽENIRSTVA

Kandidat:

TADEJ KOVAČIČ

**ANALIZA VPLIVA LASTNOSTI POREČJA NA INDEKS
BAZNEGA ODTOKA**

Diplomska naloga št.: 191/VKI

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CATCHMENT
CHARACTERISTICS ON BASE FLOW INDEX**

Graduation thesis No.: 191/VKI

Mentorica:

doc. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:

doc. dr. Dušan Žagar

Somentor:

prof. dr. Mitja Brilly

Član komisije:

izr. prof. dr. Viktor Grilc

Ljubljana, 25. 09. 2012

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Skladno s 27. členom Pravilnika o diplomskem delu UL Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, podpisani TADEJ KOVAČIČ izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom

»ANALIZA VPLIVA LASTNOSTI POREČJA NA INDEKS BAZNEGA ODTOKA«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, september 2012

TADEJ KOVAČIČ

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	556.51:556.16(043.2)
Avtor:	Tadej Kovačič
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Somentor:	prof. dr. Mitja Brilly
Naslov:	Analiza vpliva lastnosti porečja na indeks baznega odtoka
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	105 str., 11 pregl., 74 sl.
Ključne besede:	bazni odtok, hidrogram odtoka, določanje baznega odtoka, indeks baznega odtoka (BFI), lastnosti porečja, vpliv na BFI, <i>BFI for Windows</i>

Izvleček

Bazni odtok je pomemben del celotnega pretoka vodotoka, predstavlja minimalni pretok v obdobjih brez padavin ali pa podaljšuje poplavni val, ko je površinski odtok že končan. Zatorej ga je potrebno upoštevati pri hidrološkem modeliranju. Bazni odtok je težko določljiv, v naravi ga lahko merimo zgolj posredno. Lahko ga ocenimo iz podatkov o pretoku vodotoka oz. s pomočjo hidrograma pretoka. Za izračun baznega odtoka ali indeksa baznega odtoka (BFI) potrebujemo podatke o dnevni pretokih. Kako pa lahko ocenimo BFI za porečje, na katerem nimamo podatkov o dnevni pretokih?

V prvem delu diplomske naloge je opisan bazni odtok, principi po katerih deluje in faktorji, ki vplivajo na količino in lastnosti baznega odtoka. Predstavljeni in opisani so trije glavni postopki določevanja baznega odtoka iz podatkov o pretoku (neposredno določanje baznega odtoka, analize pogostosti in analize krivulje upadanja baznega odtoka) ter določanje baznega odtoka s pomočjo merjenja v naravi (merjenje električne prevodnosti, sledenje kemičnim spojinam ali elementom, merjenje višine podtalnice). Pri vseh načinih je podrobno opisanih nekaj najpogostejše uporabljenih metod. Opisan je tudi program *BFI for Windows*, s katerim smo izračunali vrednosti BFI za izbrana porečja.

V drugem delu diplomske naloge je narejena analiza vpliva različnih lastnosti porečja na BFI. V analizi je vključenih 20 porečij Slovenije. Analiziran je bil vpliv geografskih in klimatskih lastnosti, pokrovnosti tal, geološke sestave tal, hidrogeoloških tipov tal ter pedološke sestave tal. Ugotovili smo, da imajo največji vpliv na BFI naklon porečja, površina, delež kmetijskih površin in izhlapevanje. Na podlagi ugotovitev iz takih analiz lahko izdelamo matematične modele za določitev oz. oceno BFI za porečja, na katerih nimamo podatkov o dnevni pretokih.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 556.51:556.16(043.2)
Author: Tadej Kovačič
Supervisor: Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph. D.
Cosupervisor: Prof. Mitja Brilly, Ph. D.
Title: Analysis of the influence of catchment characteristics on base flow index
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 105 p., 11 tab., 74 fig.
Key words: baseflow, hydrograph, determination of base flow, base flow index (BFI), catchment characteristics, influence on BFI, *BFI for Windows*

Abstract:

Base flow is an important segment of total runoff. It represents minimum flow during dry season and also prolongs flood wave after quick flow has already been ended. That is why it is very important to consider it at hydrological modeling. Base flow is difficult to define. It could not be directly gauged in nature, we can only use indirect methods. It could also be determined from streamflow data, from stream hydrograph. But how can we estimate BFI if we don't have streamflow data?

In the first part of this thesis base flow is defined and explained and influences on base flow are presented. Different methods for base flow determination and calculation are also presented. Three basic concepts for determination of base flow from streamflow data are introduced. These concepts are: direct determination from stream flow data, frequency analysis and base flow recession analysis. Methods that are used on field like electrical conductivity, tracer analysis or gauging of groundwater levels are also presented. For every concept of base flow determination a few methods are described. In this part is also a description of program *BFI of Windows*, which is used for BFI values calculation.

In the second part of this thesis the analysis of the influence of catchment characteristics on BFI are made. This analysis includes 20 catchments in Slovenia. We analysed influence of geographical and climate characteristics, land cover, geological structure, hydrogeological structure and pedological structure of catchments. Results showed that catchment slope, area, portion of agricultural land and evaporation have the most significant influence on BFI. Based on the results of such analysis we can create mathematical models for estimation of BFI for ungauged catchments.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in potrpežljivost pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Šraj in somentorju prof. dr. Mitji Brillyju.

Za podporo v času študija in v času pisanja diplomske naloge se močno zahvaljujem svoji družini ter svoji puncu.

Zahvaljujem se tudi Lojzetu Miklavčiču za pomoč pri obdelavi podatkov.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
2	BAZNI ODTOK.....	3
2.1	Osnove baznega odtoka in definicije	3
2.2	Vplivni faktorji.....	6
3	DOLOČANJE BAZNEGA ODTOKA.....	11
3.1	Analitični pristop	11
3.1.1	Neposredno določanje baznega odtoka	11
3.1.1.1	Grafične metode	12
3.1.1.2	Določanje baznega odtoka z digitalnimi in rekurzivnimi filtri ter drugimi matematičnimi modeli	13
3.1.2	Določanje baznega odtoka z analizami pogostosti.....	20
3.1.3	Analiza krivulje upadanja baznega odtoka.....	21
3.2	Merjenje baznega odtoka v naravi.....	27
3.2.1	Določanje baznega odtoka s pomočjo sledenja kemijskih elementov ali spojin.....	27
3.2.2	Določanje baznega odtoka z merjenjem višine podtalnice	29
3.3	Izračun indeksa baznega odtoka s programom BFI for Windows.....	30
3.3.1	Opis izračuna.....	32
3.3.2	Priprava podatkov	32
4	IZRAČUN INDEKSA BAZNEGA ODTOKA ZA IZBRANA POREČJA	37
4.1	Opis obravnavanih porečij.....	37
4.1.1	Porečje Dravinje – P1.....	38
4.1.2	Porečje Drete – P2.....	39
4.1.3	Porečje Gračnice – P3	40
4.1.4	Porečje Kamniške Bistrice – P4.....	41
4.1.5	Porečje Kokre – P5.....	41
4.1.6	Porečje Koritnice – P6	42
4.1.7	Porečje Ledave – P7.....	43
4.1.8	Porečje Meže – P8.....	44

4.1.9	Porečje Mostnice – P9	45
4.1.10	Porečje Oplotnice – P10	46
4.1.11	Porečje Radoljne – P11	47
4.1.12	Porečje Radovne – P12.....	48
4.1.13	Porečje Radulje – P13	49
4.1.14	Porečje Reke – P14.....	50
4.1.15	Porečje Rižane – P15.....	51
4.1.16	Porečje Ščavnice – P16	52
4.1.17	Porečje Šujice – P17.....	53
4.1.18	Porečje Temenice – P18.....	54
4.1.19	Porečje Tržiške Bistrice – P19	54
4.1.20	Porečje Vipave – P20	55
4.2	Geografske lastnosti	56
4.3	Klimatske lastnosti	58
4.4	Pokrovnost tal	59
4.5	Geološka sestava tal.....	61
4.6	Hidrogeološka sestava tal.....	64
4.7	Pedološka sestava tal	65
4.8	Izračun indeksa baznega odtoka.....	66
4.8.1	Določitev parametrov N in f	66
4.8.2	Izračunane vrednosti BFI.....	68
5	ANALIZA REZULTATOV.....	70
5.1	Vpliv geografskih lastnosti porečja na BFI.....	70
5.2	Vpliv klimatskih lastnosti porečja na BFI.....	73
5.3	Vpliv pokrovnosti tal na BFI	75
5.4	Vpliv geološke sestave tal na BFI	80
5.5	Vpliv hidrogeoloških tipov tal na BFI.....	82
5.6	Vpliv pedološke sestave tal na BFI.....	84

5.7	Ugotovitve	86
6	ZAKLJUČKI.....	88
	VIRI	91

KAZALO SLIK

Slika 1: Hidrogram pretoka s posameznimi deli, ki prispevajo k celotnem pretoku.....	2
Slika 2: Deli, ki prispevajo k celotnemu pretoku vodotoka (Povzeto po Hiscock, 2005).....	4
Slika 3: Deli hidrograma pretoka in hidrogram baznega odtoka (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005)	5
Slika 4: Vrednosti indeksa baznega odtoka glede na indeks odtoka (Povzeto po Lacey, 1996).....	8
Slika 5: Vrednosti indeksa baznega odtoka glede na indeks naklona (Povzeto po Lacey, 1996).....	9
Slika 6: Vrednosti indeksa baznega odtoka glede na razmerje ravnih površin (Povzeto po Lacey, 1996)	9
Slika 7: Vrednosti indeksa baznega odtoka glede na geološko-vegetacijske skupine (Povzeto po Lacey, 1996)	10
Slika 8: Vrednosti indeksa baznega odtoka glede na gozdnatost prispevnega območja (Povzeto po Lacey, 1996).....	10
Slika 9: Ponazoritev metod 1-4 na hidrogramu (Povzeto po Viessman in Lewis, 1977).....	12
Slika 10: Določanje baznega odtoka na pol-logaritmičnem hidrogramu (Povzeto po Szilagyi, 1999).	13
Slika 11: Metoda fiksnega intervala (Povzeto po Sloto in Crouse, 1996).....	15
Slika 12: Metoda drsečega intervala (Povzeto po Sloto in Crouse, 1996).....	16
Slika 13: Metoda lokalnega minimuma (Povzeto po Sloto in Crouse, 1996)	16
Slika 14: Različna naklona za dve različni rešitvi Boussinesq-ove enačbe (Povzeto po Szilagyi in Parlange, 1998)	19
Slika 15: Primerjava dveh krivulj pretok – verjetnost (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005).....	21
Slika 16: Sinteza krivulje upadanja baznega odtoka za izbrane dele hidrograma reke Buffalo River, Tenn (Povzeto po Riggs, 1964).....	23
Slika 17: Primerjava krivulj upadanja baznega odtoka za zimsko in poletno obdobje (Povzeto po Riggs, 1964)	23
Slika 18: Postopek metode premika krivulje upadanja pretoka (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005)	26
Slika 19: Grafikon glavne krivulje upadanja baznega odtoka pridobljen s programom Automated MRC (Povzeto po Arnold in sod., 1995)	27
Slika 20: Prikaz rezultatov treh metod določanja baznega odtoka s pomočjo sledenja kemijskim spojinam (Povzeto po Gonzales in sod., 2009)	29
Slika 21: Prikazno okno programa BFI for Windows.....	31
Slika 22: Prikaz vhodne datoteke v programu Notepad.....	34
Slika 23: Prikaz prve izhodne datoteke programa BFI.....	35
Slika 24: Prikaz druge izhodne datoteke programa BFI.....	36
Slika 25: Prikaz obravnavanih porečij (ARSO, 2012)	38

Slika 26: Porečje Dravinje (Atlas okolja, 2012).....	39
Slika 27: Porečje Drete (Atlas okolja, 2012).....	40
Slika 28: Porečje Gračnice (Atlas okolja, 2012)	40
Slika 29: Porečje Kamniške Bistrice (Atlas okolja, 2012)	41
Slika 30: Porečje Kokre (Atlas okolja, 2012).....	42
Slika 31: Porečje Koritnice (Atlas okolja, 2012).....	43
Slika 32: Porečje Ledave (Atlas okolja, 2012)	44
Slika 33: Porečje Meže (Atlas okolja, 2012).....	45
Slika 34: Porečje Mostnice (Atlas okolja, 2012).....	46
Slika 35: Porečje Oplotnice (Atlas okolja, 2012)	47
Slika 36: Porečje Radoljne (Atlas okolja, 2012)	48
Slika 37: Porečje Radovne (Atlas okolja, 2012).....	49
Slika 38: Porečje Radulje (Atlas okolja, 2012)	50
Slika 39: Porečje Reke (Atlas okolja, 2012).....	51
Slika 40: Porečje Rižane (Atlas okolja, 2012).....	52
Slika 41: Porečje Ščavnice (Atlas okolja, 2012)	53
Slika 42: Porečje Šujice (Atlas okolja, 2012).....	53
Slika 43: Porečje Temenice (Atlas okolja, 2012)	54
Slika 44: Porečje Tržiške Bistrice (Atlas okolja, 2012)	55
Slika 45: Porečje Vipave (Atlas okolja, 2012)	56
Slika 46: Pokrovnost tal na obravnavanih porečjih	59
Slika 47: Geološka sestava tal na obravnavanih porečjih.....	61
Slika 48: Grafikon odvisnosti BFI od spreminjanja parametra N	67
Slika 49: Grafikon odvisnosti BFI od spreminjanja parametra f.....	67
Slika 50: Grafikon odvisnosti BFI od površine porečja	70
Slika 51: Grafikon odvisnosti BFI od naklona porečja	71
Slika 52: Grafikon odvisnosti BFI od naklonskega indeksa.....	71
Slika 53: Grafikon odvisnosti BFI od dolžine hidrografske mreže	72
Slika 54: Grafikon odvisnosti BFI od gostote hidrografske mreže	72
Slika 55: Grafikon odvisnosti BFI od drenažnega indeksa	73
Slika 56: Grafikon odvisnosti BFI od količine povprečnih letnih padavin	74
Slika 57: Grafikon odvisnosti BFI od povprečnega letnega izhlapevanja.....	74
Slika 58: Grafikon odvisnosti BFI od količnika padavine/izhlapevanje	75
Slika 59: Grafikon odvisnosti BFI od deleža gozdnih površin.....	76
Slika 60: Grafikon odvisnosti BFI od deleža mešanih kmetijskih površin.....	76
Slika 61: Grafikon odvisnosti BFI od deleža pašnih površin	77
Slika 62: Grafikon odvisnosti BFI od deleža urbanih površin	77

Slika 63: Grafikon odvisnosti BFI od deleža površin poraščenih z grmovjem in/ali zeliščnim rastlinstvom	78
Slika 64: Grafikon odvisnosti BFI od deleža njivskih površin	79
Slika 65: Grafikon odvisnosti BFI od deleža neporaslih površin.....	79
Slika 66: Grafikon odvisnosti BFI od deleža dolomita z apnencem	80
Slika 67: Grafikon odvisnosti BFI od deleža klastičnih sedimentov s konglomeratom.....	81
Slika 68: Grafikon odvisnosti BFI od deleža apnenca s klastičnimi sedimenti	81
Slika 69: Grafikon odvisnosti BFI od deleža medrnskega tipa vodonosnikov	82
Slika 70: Grafikon odvisnosti BFI od deleža razpoklinskega tipa vodonosnikov.....	83
Slika 71: Grafikon odvisnosti BFI od deleža kraškega tipa vodonosnikov.....	83
Slika 72: Grafikon odvisnosti BFI od deleža mešanega tipa vodonosnikov	84
Slika 73: Grafikon odvisnosti BFI od deleža distričnih rjavih prsti.....	85
Slika 74: Grafikon odvisnosti BFI od deleža evtričnih rjavih prsti.....	85

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vrednosti baznega indeksa za različne geološke skupine (Lacey, 1996)	6
Preglednica 2: Primeri digitalnih rekurzivnih filtrov (Brodie in Hostetler, 2005)	14
Preglednica 3: Prikaz postopka izračuna baznega odtoka s programom BFI for Windows	33
Preglednica 4: Podatki o geografskih lastnostih porečij	56
Preglednica 5: Podatki o padavinah, izhlapevanju ter količniku padavine/izhlapevanje	58
Preglednica 6: Podatki o pokrovnosti tal	59
Preglednica 7: Podatki o geološki sestavi tal	62
Preglednica 8: Podatki o deležih hidrogeoloških tipov vodonosnikov	64
Preglednica 9: Podatki o pedološki sestavi tal	65
Preglednica 10: Izračunani BFI za izbrana porečja	68
Preglednica 11: Lastnosti z močnejšim vplivom na BFI	87

1 UVOD

Voda v naravi kroži. Za človeka so zelo pomembne celinske vode – reke, jezera. Reke dobijo vodo preko padavin, taljenja snega ali ledu in/ali iz podtalnice. Koliko vode bo v vodotoku, kolikšen del padavin bo prišel do vodotoka, koliko časa bo trajal poplavni val in kolikšen bo, vse to je mogoče približno oceniti. Za ocene uporabljamo hidrogram, ki je diagram sprememb pretoka vodotoka s časom. Hidrogram je torej zapis o tem, kako se spreminja pretok v vodotoku. Razdelimo ga na dva glavna dela:

1. površinski odtok, h kateremu prištevamo tudi medtok in
2. bazni odtok.

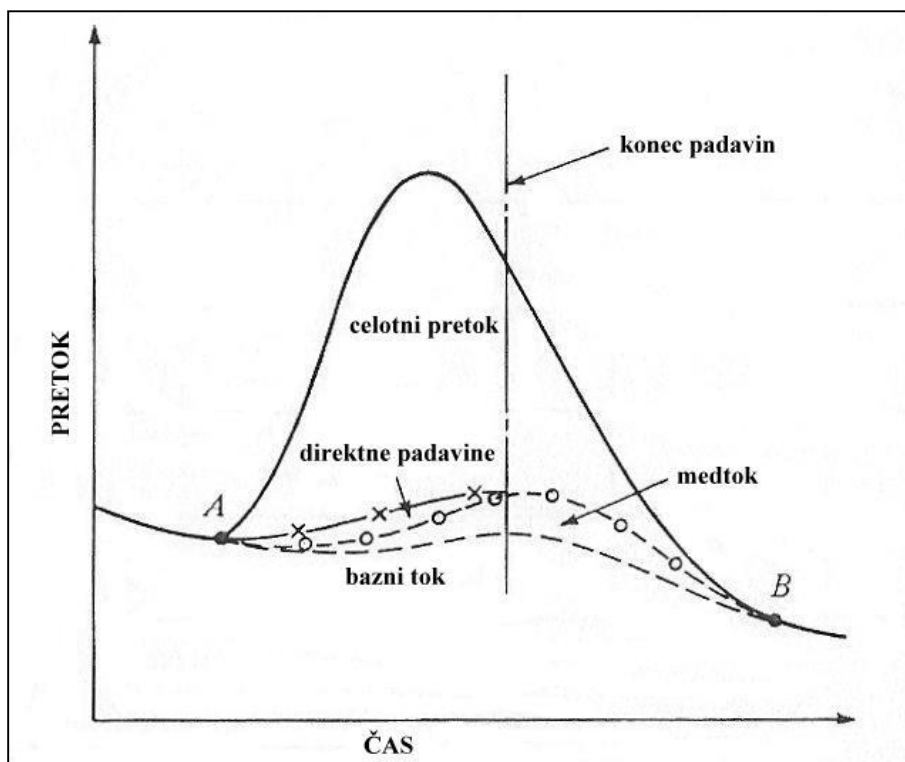
Površinski odtok je del padavin, ki priteče do vodotoka po površini ali skozi zemljino (Davie, 2008). Del padavin, ki se infiltrira v zemljino in tik pod površjem teče v vodotok imenujemo medtok (Brodie in Hostetler, 2005). Del infiltriranih padavin pa se izteče tudi v podtalnico. Tok, ki iz podtalnice napaja vodotok, imenujemo bazni odtok (slika 1).

Bazni odtok je lahko zelo pomemben delež pretoka nekega vodotoka. V daljših obdobjih brez padavin predstavlja bazni odtok celoten pretok vodotoka (Todd, 2004). Lahko pa predstavlja večinski del pretoka vodotoka skozi celo leto. Take hidrograme zasledimo predvsem v nižinskih območjih, npr. Nizozemska (Gonzales in sod., 2009).

Poznavanje količine baznega odtoka je pomembno za napovedovanje poplavnih valov, določanje količine pretoka in njegovega trajanja, določanje pretoka v obdobjih brez padavin, minimalnega pretoka, za uporabo vodotokov kot vira za pitno vodo, namakanje, energetska izraba, izpuste očiščene odpadne vode itd.

Bazni odtok lahko ocenimo na različne načine, pri katerih uporabimo podatke o pretoku vodotoka oz. hidrogram pretoka. Vendar pa hidrograma pretoka nimamo vedno na razpolago, saj za marsikatero vodotoke ni podatkov o meritvi pretoka. V tem primeru si lahko pomagamo s primerjavo porečij glede na njihove lastnosti ter na ta način določimo bazni odtok oz. pretok. To primerjavo opravimo s pomočjo indeksa baznega odtoka (BFI), ki predstavlja razmerje med volumnom baznega odtoka in volumnom celotnega pretoka vodotoka (Smakhtin, 2001).

Cilj diplomske naloge je ugotoviti, kako različne lastnosti in parametri porečja, npr. velikost porečja, hidrogeološke značilnosti vodonosnika, pokrovnost tal, naklon, padavine, izhlapevanje ipd. vplivajo na BFI, ter ali lahko za porečja, kjer nimamo meritev pretoka, določimo BFI glede na te lastnosti.



Slika 1: Hidrogram pretoka s posameznimi deli, ki prispevajo k celotnem pretoku (Povzeto po Vissman in sod., 1977)

2 BAZNI ODTOK

2.1 Osnove baznega odtoka in definicije

V literaturi je bazni odtok največkrat definiran kot prispevek podtalnice k pretoku vodotoka. Ta tok lahko pronica v strugo neposredno iz podtalnice skozi zemljino pod strugo ali pa se pojavi kot izvir podtalnice in teče v strugo po površini. Poleg podtalnice so vir baznega odtoka tudi zapoznili viri kot na primer jezera, taljenje snega ali ledu in pronicanja zaloge vode v zemljini (Smakhtin, 2001). Bazni tok zagotavlja pretok vodotoka v daljših obdobjih brez padavin, ki bi prispevale k pretoku.

Definicija baznega odtoka v slovarju Hidrološko izrazje, objavljenem v reviji Acta Hydrotechnica (Mikoš in sodelavci, 2002, str. 32) je sledeča: *“bazni odtok sin. sušni odtok je del pretoka vode, ki doteka v strugo v daljših obdobjih brez padavin ali brez taljenja snežne odeje, torej predvsem posledica izcejanja podzemnih voda ali tudi iztoka iz jezer ali taljenja ledenikov.”*

Določanje količine oz. deleža baznega odtoka v celotnem odtoku vodotoka je zelo težko. Fizično je namreč težko ugotoviti na kakšen način in po kateri poti je voda pod površjem prispela do vodotoka. Težko je določiti kolikšen del padavin dejansko pride do podtalnice in nato odteče v vodotok kot bazni odtok. Na količino baznega odtoka in njegov režim namreč vpliva mnogo faktorjev. Ko padavinska voda pade na površje, jo del odteče po površini do vodotoka, del se je zadrži na površini, del pa jo pronica v zemljo (slika 2). Voda, ki pronica v zemljino, se nato deloma izgubi z evaporacijo oz. evapotranspiracijo, deloma pa odteče v vodotok v plitvem sloju zemljine tik pod površino. Temu delu pravimo medtok. Del vode, tudi v globljih predelih, prestrežejo koreninski sistemi vegetacije. Tako lahko pride do podtalnice relativno zelo majhen delež padavinske vode. Na količino baznega odtoka vpliva tudi voda, shranjena v brežinah vodotoka, ki se kasneje sprošča kot površinski odtok (Brodie in Hostetler, 2005). Na režim baznega odtoka pa vpliva tudi taljenje snega ter delež akumulacij (jezera, kotanje, umetne akumulacije ipd.) na prispevnem območju (Brodie in Hostetler, 2005).

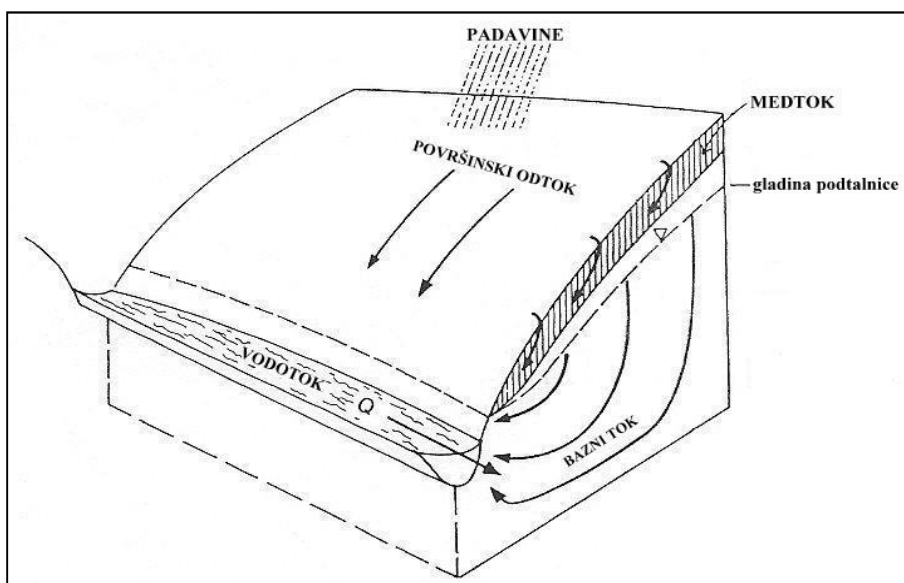
Na samo količino baznega odtoka in na režim njegovega delovanja tako vpliva veliko faktorjev. Nekatere od njih je lažje določiti in upoštevati pri samem določanju baznega odtoka, druge pa težje. Nekatere količine je mogoče dejansko izmeriti, kot na primer evapotranspiracijo, druge pa lahko le ocenimo.

Bazni odtok lahko karakteriziramo po njegovem hidrogramu, katerega pa pridobimo iz hidrograma pretoka z različnimi metodami (Smakhtin, 2001). Predpostavljamo, da je odzivni čas baznega odtoka daljši kot odzivni čas površinskega odtoka (dejanski površinski odtok in medtok) (Smakhtin, 2001). Upošteva se to predpostavko, se vrh hidrograma baznega odtoka, glede na vrh hidrograma

površinskega odtoka oz. celotnega pretoka vodotoka, pojavi kasneje. Kdaj se pojavi ta vrh oz. kdaj se konča površinski odtok in s tem bazni odtok predstavlja celoten pretok, pa lahko določimo na različne načine, z različnimi metodami.

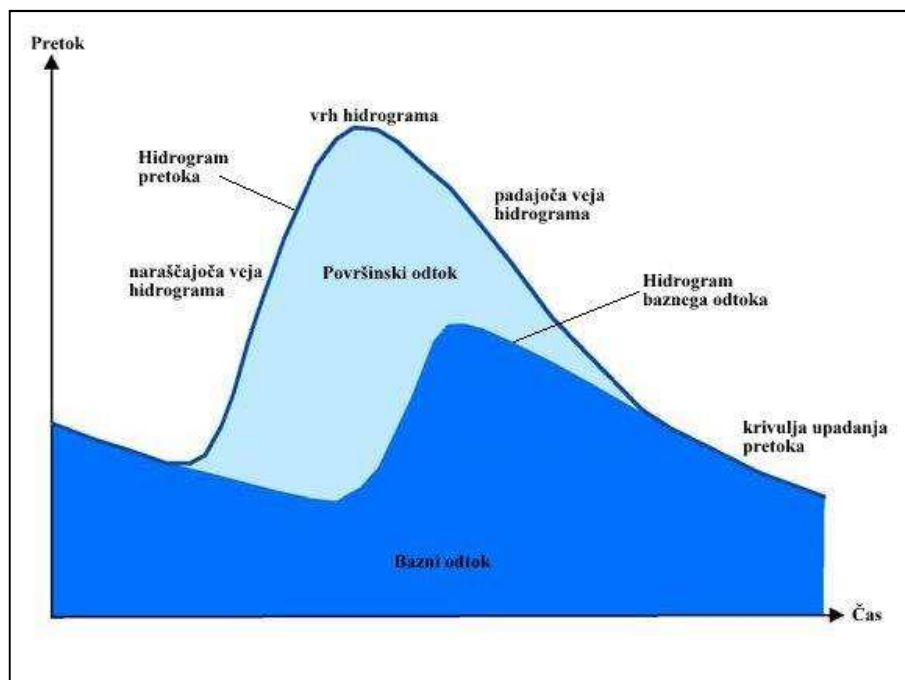
Metode za določanje baznega odtoka lahko v grobem razdelimo na dva pristopa:

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



Slika 2: Deli, ki prispevajo k celotnemu pretoku vodotoka (Povzeto po Hiscock, 2005)

Pomembni pojmi v povezavi s hidrogramom in baznim odtokom so tudi vrh hidrograma, naraščajoča in padajoča veja hidrograma ter krivulja upadanja pretoka, prikazani na sliki 3.



Slika 3: Deli hidrograma pretoka in hidrogram baznega odtoka (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005)

Vrh hidrograma je točka, v kateri je dosežen največji pretok. Naraščajoča veja hidrograma (ang. *rising limb*) je del hidrograma, v katerem pretok narašča do viška (Mikoš in sod., 2002). Padajoča veja hidrograma (ang. *falling limb*) je del hidrograma, ki kaže zmanjševanje pretoka vode po doseženem vrhu hidrograma (Mikoš in sod., 2002). Krivulja upadanja baznega odtoka, recesijska krivulja (ang. *baseflow recession curve*) pa je krivulja, ki nadaljuje padajočo vejo hidrograma in predstavlja upadanje baznega odtoka (hkrati pa tudi celotnega pretoka).

Pri analitičnem določanju baznega odtoka je pomemben tudi indeks baznega odtoka (ang. *base flow index* = BFI). Ta predstavlja razmerje med volumnom baznega odtoka in volumnom celotnega pretoka vodotoka (Smakhtin, 2001). Lahko se ga določa na letni ravni ali pa v daljšem časovnem obdobju (Smakhtin, 2001). Uporablja se kot kazalec za primerjavo lastnosti posameznih povodij ali pa določanje baznega odtoka na povodjih, kjer nimamo podatkov o pretoku (Lacey, 1996). Vrednost indeksa baznega odtoka je v veliki meri odvisna od geološko-vegetacijskih lastnosti prispevnega območja (Lacey, 1996). V preglednici 1 so podane vrednosti indeksa baznega odtoka glede na geološko zgradbo tal.

Preglednica 1: Vrednosti baznega indeksa za različne geološke skupine (Lacey, 1996)

Geološka skupina	Vrednost indeksa baznega odtoka [-]
A - devonski riodacit	0,79
B - terciarni bazalt	0,66
C - devonski granit	0,70
D - silurni ali devonski granit	0,42
E - terciarne nekonsolidirane kamnine	0,44
F - ordovitski sedimentni	0,54
G - ordovitske metamorfične kamnine	0,46
H - silurni ali devonski sedimenti	0,60
I - silurni ali devonski sedimenti	0,36
J - cambrijski ali ordovitski sedimenti	0,33
K - kredski sedimenti	0,57
L - kredski sedimenti	0,38

2.2 Vplivni faktorji

Na količino in režim baznega odtoka vplivajo tako različni naravni procesi kot tudi človeški posegi v naravo.

Naravni vplivi na bazni odtok so:

- Površina in oblika prispevnega območja, ki vplivata neposredno na količino vode, ter na čas, ko voda prispe do samega vodotoka.
- Naklon, ki vpliva na hitrost in količino površinskega odtoka.
- Delež ravnih površin, ki vpliva na možnosti površinskega zadrževanja vode, pri čemer lahko pride do večje infiltracije v tla oz. do kasnejšega odtoka vode v glavno strugo.
- Geološka sestava tal, ki na bazni odtok vpliva na dva načina. Prvi je kamninska podlaga, ki lahko zadržuje podtalnico ali pa ne omogoča njenega zadrževanja. Drugi pa je sestava tal, torej kakšne zemljine sestavljajo tla, kako globoka so tla, kakšno vegetacijo omogočajo ipd. (Lacey, 1996).
- Vegetacija, ki vpliva na padavinske izgube ter na evapotranspiracijo. Različna vegetacija ima različne zahteve po vodi. Na bazni odtok vpliva tudi faza rasti rastlin (na primer evapotranspiracija je višja v mladem kot v starem gozdu) (Lacey, 1996).
- Evapotranspiracija in evaporacija, kot procesa, ki zmanjšujeta količino vode. Pri procesu evaporacije voda izhlapeva neposredno s površine (iz rečne struge, drugih vodnih teles ali zemljine), pri evapotranspiraciji pa vodo iz tal porabljajo rastline za svojo rast. Količina evaporacije in evapotranspiracije lahko sezonsko niha. Višja je poleti zaradi višjih temperatur, vegetacijske dobe rastlin, ipd.

- Sneg, ki deluje kot zaloga vode in s taljenjem vpliva na količino pretoka. Staljena voda lahko odteka po površini ali pa pronica do podtalnice.

Človek s svojimi posegi v naravne procese prav tako vpliva na količino in režim baznega odtoka. Ti posegi so na primer:

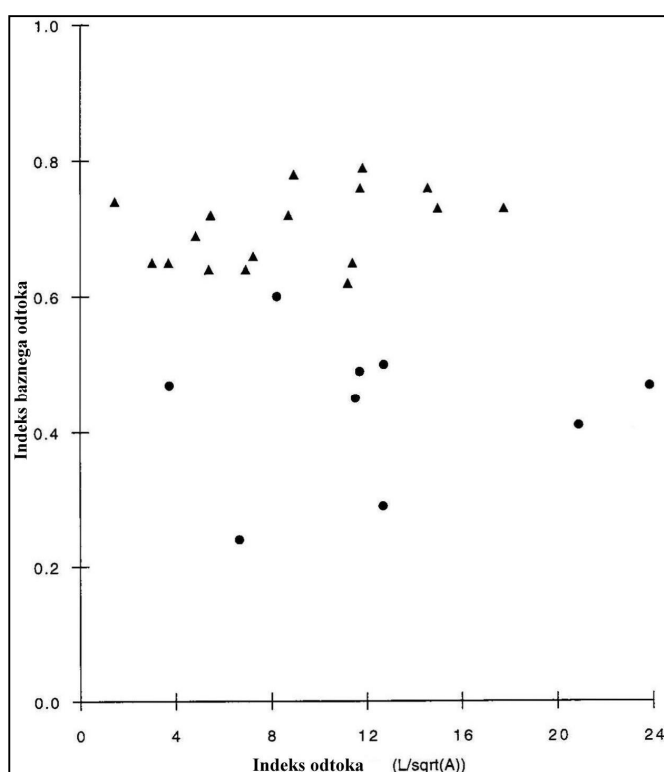
- Črpanje podtalnice, ki vpliva na njeno višino in na hidravlični gradient toka proti vodotoku. To vpliva na količino in režim toka podtalnice proti vodotoku še posebej, če se črpanje izvaja v bližini vodotoka. Lahko privede celo do napajanja podtalnice iz vodotoka (Smakhtin, 2001).
- Črpanje iz vodotoka, ki zmanjšuje količino pretoka v obdobjih brez padavin.
- Neposredni izpusti v vodotok npr. iz čistilnih naprav in industrije, ki vplivajo predvsem na količino nizkega pretoka v obdobju brez padavin (Smakhtin, 2001).
- Regulacije vodotokov kot so jezovi, zapornice, zadrževalniki, poplavne ravnice ipd., ki vplivajo predvsem na količino vode v času nizkih pretokov, saj z njimi lahko uravnavamo nivo pretoka tudi v sušnih obdobjih (Smakhtin, 2001).
- Spreminjanje rabe tal (kmetijska raba, sečnje gozdov, pogozdovanje ipd.), ki vpliva na količino evapotranspiracije. S spremembo namembnosti, kot npr. travno površino zamenjamo z njivsko, se poveča količina in spremeni režim evapotranspiracije. Z goloseki se evapotranspiracija zmanjša, hkrati pa se lahko poveča površinski odtok (Lacey, 1996).
- Namakanje kmetijskih površin, ki vpliva na režim vodotoka. Sprva vodo iz vodotoka odvezujemo, kar spremeni količino pretoka. Voda se infiltrira v zemljo, kjer jo porabijo rastline, del (lahko tudi do 40%) pa se je kot podpovršinski tok vrne v vodotok. Ta vpliv je pomemben predvsem, če vir namakalne vode ni v povodju vodotoka (Smakhtin, 2001).
- Odstranjevanje zemljin iz dna rečne doline (uporaba kot surovina v gradbeništvu ali za kmetijske namene), ki vpliva na količino zaloge podzemne vode. Z odstranjevanjem zemljine manjšamo velikost »zbiralnika« ali pa ga celo popolnoma odstranimo, torej podtalnice ni več (Smakhtin, 2001).
- Urbanizacija, ki vpliva na lastnosti površin. Pojavi se več površinskega odtoka, manj infiltracije ter evapotranspiracije. Pojavijo se neposredni izpusti v vodotok (kanalizirana voda, voda iz čistilnih naprav,...)

Za primerjavo posameznih vplivov na bazni odtok je smiselno, kot je to naredil Lacey (1996), določiti brezdimenzijske indekse za posamezne vplive in ugotoviti njihov vpliv na BFI. Lacey (1996) je tako določil:

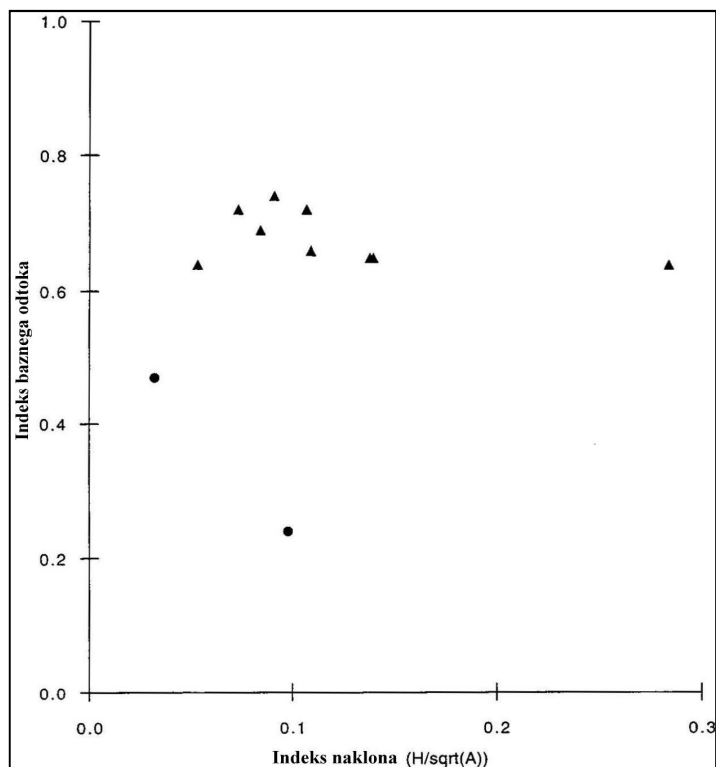
- tri topografske indekse (indeks odtoka (slika 4), indeks naklona (slika 5) ter razmerje ravnih površin (slika 6)),
- geološko-vegetacijski indeks (slika 7),

- dva klimatska indeksa (razmerje evapotranspiracija in padavine ter razmerje padavine in potencialna evapotranspiracija),
- indeks gozdne pokritosti (slika 8) in
- indeks faze rasti gozda ter sezonske značilnosti padavin.

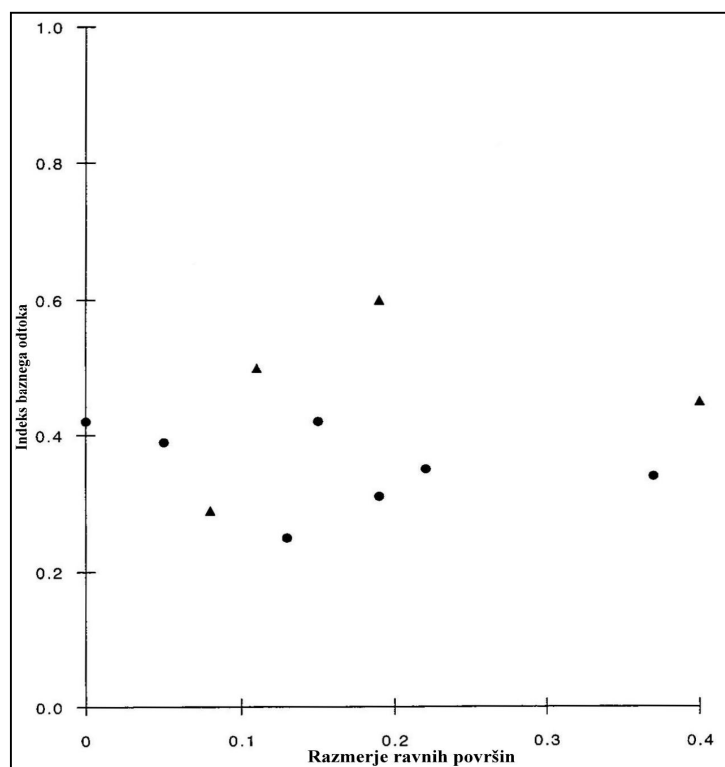
V raziskavi je Lacey (1996) ugotovil, da je BFI močno odvisen od topografskih ter geološko-vegetacijskih lastnosti povodja, manj pa nanj vplivata površina povodja ter evapotranspiracija.



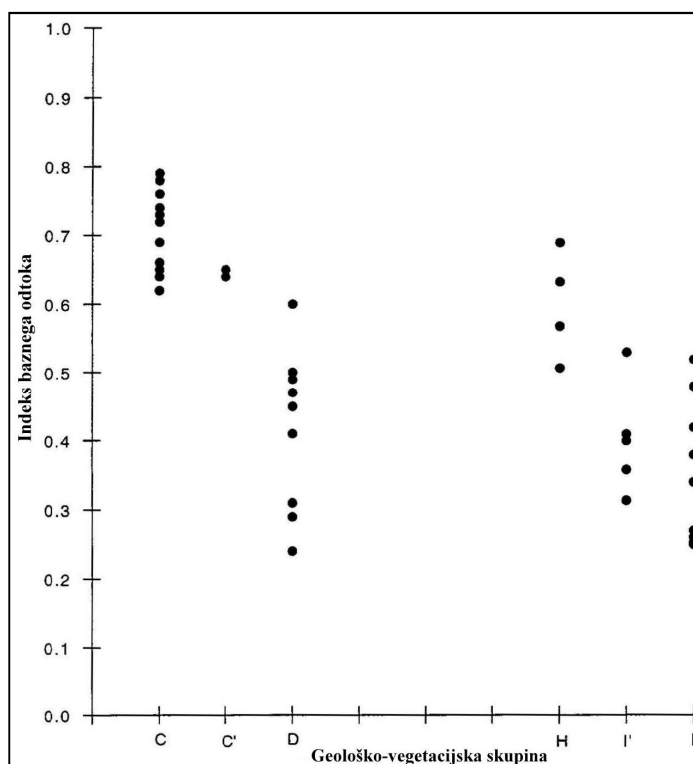
Slika 4: Vrednosti indeksa baznega odtoka glede na indeks odtoka (Povzeto po Lacey, 1996)



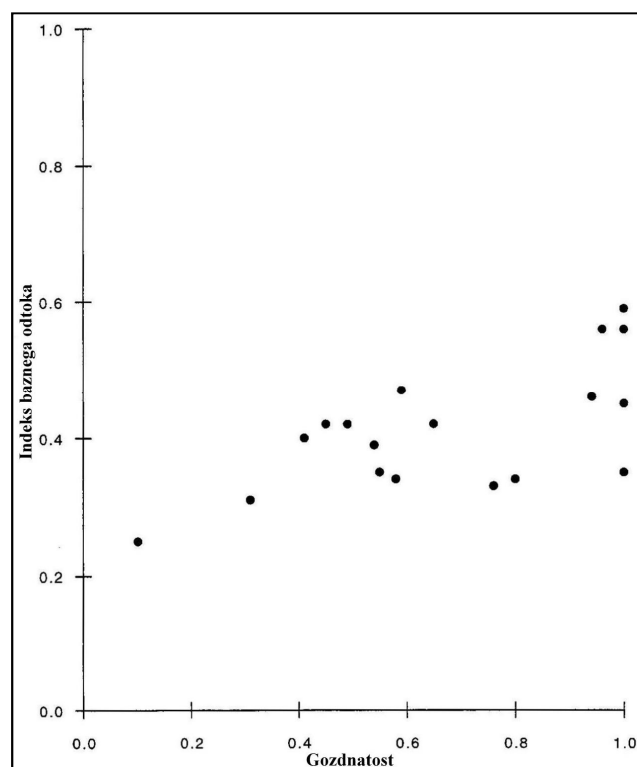
Slika 5: Vrednosti indeksa baznega odtoka glede na indeks naklona (Povzeto po Lacey, 1996)



Slika 6: Vrednosti indeksa baznega odtoka glede na razmerje ravnih površin (Povzeto po Lacey, 1996)



Slika 7: Vrednosti indeksa baznega odtoka glede na geološko-vegetacijske skupine (Povzeto po Lacey, 1996)



Slika 8: Vrednosti indeksa baznega odtoka glede na gozdnatost prispevnega območja (Povzeto po Lacey, 1996)

3 DOLOČANJE BAZNEGA ODTOKA

3.1 Analitični pristop

Pri analitičnem pristopu določanja baznega odtoka gre za metode, ki uporabljajo podatke o pretoku vodotoka ali o višini podtalnice ter z njihovo analizo privedejo do rezultata. Te metode lahko razdelimo v tri skupine:

- neposredno določanje baznega odtoka,
- analize pogostosti (ang. *frequency analysis*) in
- analize krivulje upadanja baznega odtoka (ang. *baseflow recession curve analysis*) (Brodie in Hostetler, 2005).

Pri neposrednem določanju baznega odtoka se največkrat uporabljajo grafične metode, pri katerih na hidrogramu določamo presečišči površinskega odtoka z baznim odtokom in nato na različne načine določimo potek hidrograma baznega odtoka. Uporabljajo se tudi metode digitalnih filtrov in rekurzivnih filtrov, ki iz celotnega hidrograma izluščijo delež baznega odtoka (Brodie in Hostetler, 2005).

Analize pogostosti uporabljajo razmerje med velikostjo in pogostostjo pretokov oz. odtokov. Določi se krivulja trajanja pretoka (ang. *Flow Duration Curve*), ki prikazuje v koliko odstotkih je dosežen ali presežen nek pretok. Lastnosti baznega odtoka pa poleg oblike krivulje določajo tudi nekateri drugi kazalci (Brodie in Hostetler, 2005).

Analiza krivulje upadanja baznega odtoka temelji na primerjavi krivulj hidrogramov preteklih dogodkov z aktualnim hidrogramom. To lahko izvedemo na grafičen način ali pa za krivulje generiramo enačbe in jih uporabimo v računalniškem modelu (Brodie in Hostetler, 2005).

3.1.1 Neposredno določanje baznega odtoka

Pri neposrednem določanju baznega odtoka uporabljamo hidrogram pretoka, ki predstavlja spremembo pretoka s časom. Hidrogram se deli na dva dela in sicer na tako imenovan hitri tok, kamor spadata površinski odtok in medtok, ter na bazni odtok, to je tok iz podtalnice v vodotok. Določitev začetka površinskega odtoka je enostavna, saj se začne hidrogram takrat strmo vzpenjati. Konec površinskega odtoka oz. točka, ko celoten pretok vodotoka predstavlja bazni odtok, pa je težje določljiva. Obe točki, tako začetek kot konec površinskega odtoka, sta presečišči hidrogramov površinskega in baznega odtoka.

3.1.1.1 Grafične metode

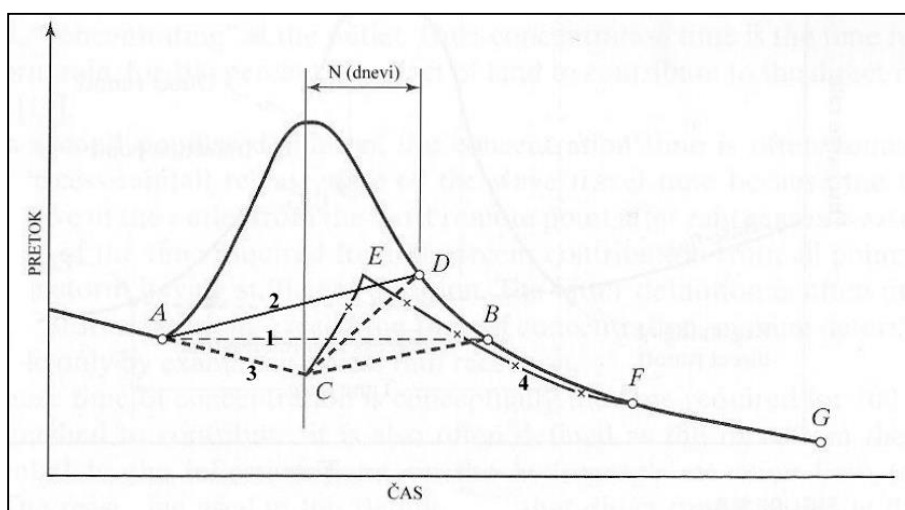
Grafične metode določajo drugo presečišče, to je konce površinskega odtoka, po enačbi

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

kjer je N čas v dnevih od vrha hidrograma (največji površinski odtok) do konca površinskega odtoka, A pa je prispevna površina v km^2 .

Potek hidrograma baznega odtoka lahko določimo na več načinov. Najpogostejši so (slika 9):

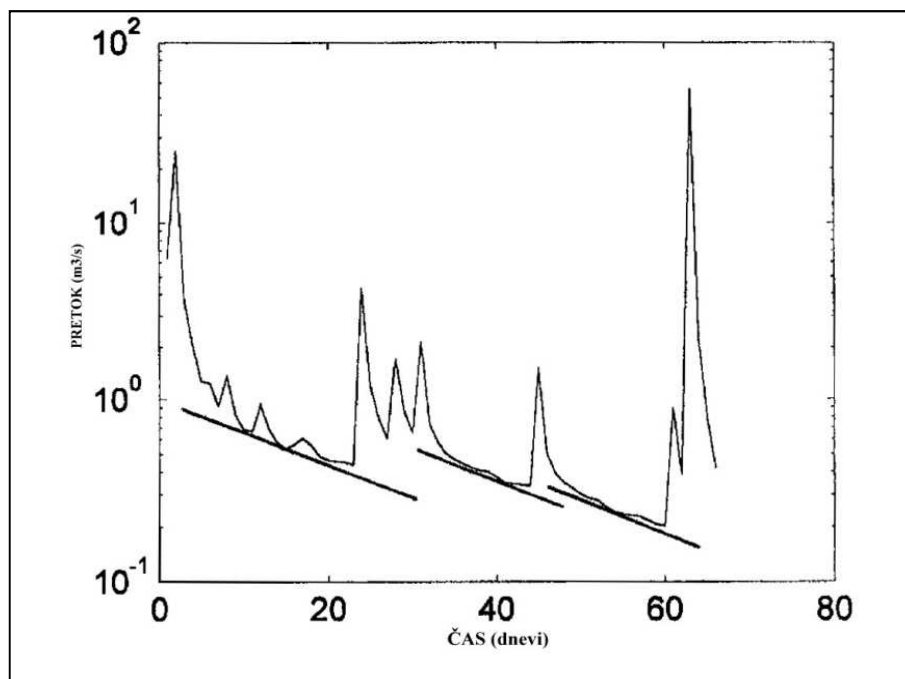
- 1) Bazni odtok je konstanten. Od točke A, kjer se začne površinski odtok, potegnemo ravno črto do presečišča s hidrogramom (točka B) (Brodie in Hostetler, 2005).
- 2) Bazni odtok ima konstanten naklon. Od začetka površinskega odtoka (točka A) potegnemo ravno črto do točke D, ko se konča površinski odtok. D izračunamo z enačbo $N = A^{0,2}$ (Brodie in Hostetler, 2005).
- 3) Bazni odtok ima konkavno obliko. Povežemo točki A in C z enakim naklonom, kot ga je imel hidrogram pred pojavom površinskega odtoka. Točka C leži navpično pod vrhom hidrograma. Nato pa povežemo točko C s točko D, ki predstavlja konec površinskega odtoka ali pa s točko B, ki predstavlja konec površinskega odtoka pri konstantnem baznem odtoku (Brodie in Hostetler, 2005).
- 4) Z enačbami recesijskih krivulj $q_t = q_0 K^t$ ali $q_t = q_0 e^{-Kt}$ in podatki na delu med točko F in G izračunamo krivuljo padanja in jo preračunamo do točke E, ki jo določimo po lastni presoji. Prav tako po lastni presoji določimo krivuljo med točkama C in E (Viessman in Lewis, 1977).



Slika 9: Ponazoritev metod 1-4 na hidrogramu (Povzeto po Viessman in Lewis, 1977)

Vse štiri metode, prav tako kot izbor katere metode uporabimo, temeljijo na izkušnjah in subjektivni presoji, zato lahko pride pri istem obravnavanem hidrogramu do zelo različnih rezultatov.

Bazni odtok lahko določimo tudi na pol-logaritmičnem grafu hidrograma pretoka, tako da izrišemo premice pod deli, kjer predvidevamo bazni odtok (slika 10). Vendar ta metoda sama zase ni zanesljiva zaradi spreminjanja naklona premic, do česar pride zaradi sprememb v količini podtalnice (Szilagyi, 1999). Lahko pa jo uporabimo v kombinaciji z drugimi metodami.



Slika 10: Določanje baznega odtoka na pol-logaritmičnem hidrogramu (Povzeto po Szilagyi, 1999)

3.1.1.2 Določanje baznega odtoka z digitalnimi in rekurzivnimi filtri ter drugimi matematičnimi modeli

Pri uporabi digitalnih filtrov gre za filtriranje podatkov o pretoku v času. »Te metode ne temeljijo na hidroloških načelih ampak poskušajo na objektivni, ponovljiv in enostavno avtomatiziran način generirati indeks, ki ponazarja povezavo baznega odtoka in prispevnega območja« (Brodie in Hostetler, 2005, str.4).

Veliko avtorjev podaja svoje enačbe digitalnih rekurzivnih filtrov, ki se med seboj le nekoliko razlikujejo (preglednica 2).

Preglednica 2: Primeri digitalnih rekurzivnih filtrov (Brodie in Hostetler, 2005)

Ime filtra	Enačba	Vir	Opomba
Eno-parametrični algoritem	$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_{(i)}$	Chapman in Maxwell (1996)	$q_{b(i)} \leq q_{(i)}$ Podatke filtriramo enkrat.
Boughtonov dvo-parametrični algoritem	$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} q_{(i)}$	Boughton (1993), Chapman in Maxwell (1996)	$q_{b(i)} \leq q_{(i)}$ Podatke filtriramo enkrat, možne so kalibracije z drugimi metodami.
IHACRES tri-parametrični algoritem	$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} (q_{(i)} + \alpha_q q_{(i-1)})$	Jakeman in Hornberger (1993)	Razširitev Boughtonovega dvo-parametričnega algoritma
Lyne-Hollick-ov algoritem	$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_{(i)} - q_{f(i-1)}) \frac{1+\alpha}{2}$	Lyne in Hollick (1979), Nathan in McMahon (1990)	$q_{f(i)} \geq 0$ Vrednost α za dnevne podatke o pretoku je 0,925. Podatke filtriramo trikrat. Bazni odtok $q_b = q - q_f$
Chapman-ov algoritem	$q_{f(i)} = q_{f(i-1)} + \frac{2}{3-\alpha} (q_{(i)} - \alpha q_{f(i-1)})$	Chapman (1991), Mau in Winter (1997)	Bazni odtok $q_b = q - q_f$
Filter Furey in Gupta	$q_{b(i)} = (1-\gamma) q_{b(i-1)} + \gamma \frac{C_3}{C_1} (q_{(i-d-1)} - q_{b(i-d-1)})$	Furey in Gupta (2001)	Filter uporablja enačbo masne bilance baznega odtoka

$q_{(i)}$ je pretok vodotoka, $q_{b(i)}$ je bazni odtok dobljen s filtriranjem, $q_{f(i)}$ je površinski odtok dobljen s filtriranjem, k je parameter dobljen iz konstante upadanja pretoka, α, α_q sta parametra filtra, C je parameter filtra, γ, C_1, C_3 so parametri, ki temeljijo na fizikalnih osnovah (Brodie in Hostetler, 2005).

3.1.1.2.1 Program HYSEP

Program HYSEP (Sloto in Crouse, 1996) uporablja tri vrste digitalnih filtrov:

- metoda fiksnega intervala,
- metoda drsečega intervala in

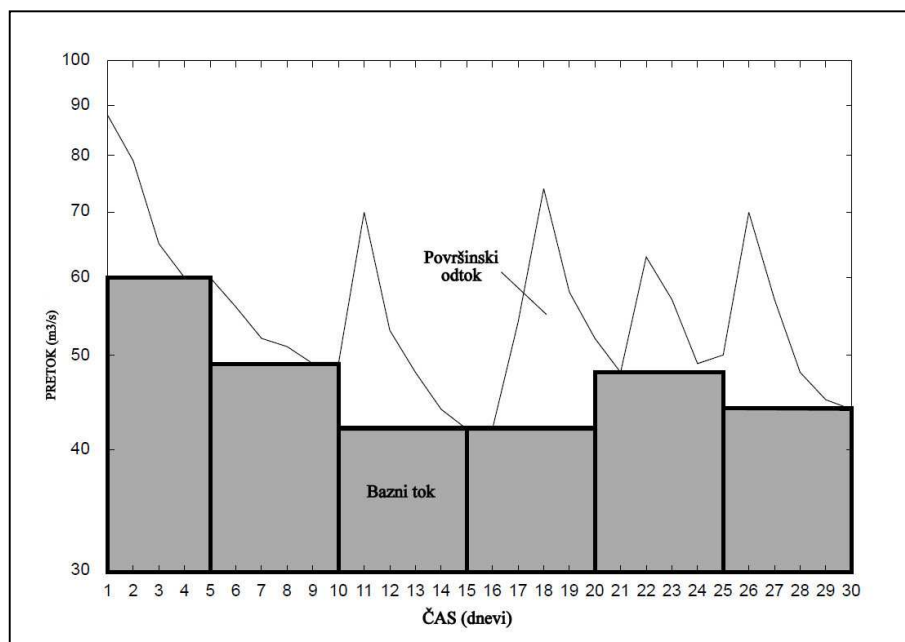
- metoda lokalnega minimuma.

Tako kot pri grafičnih metodah določimo začetek površinskega odtoka na hidrogramu (začetek vzpenjanja hidrograma), konec pa se izračuna po enačbi:

$$N = A^{0,2},$$

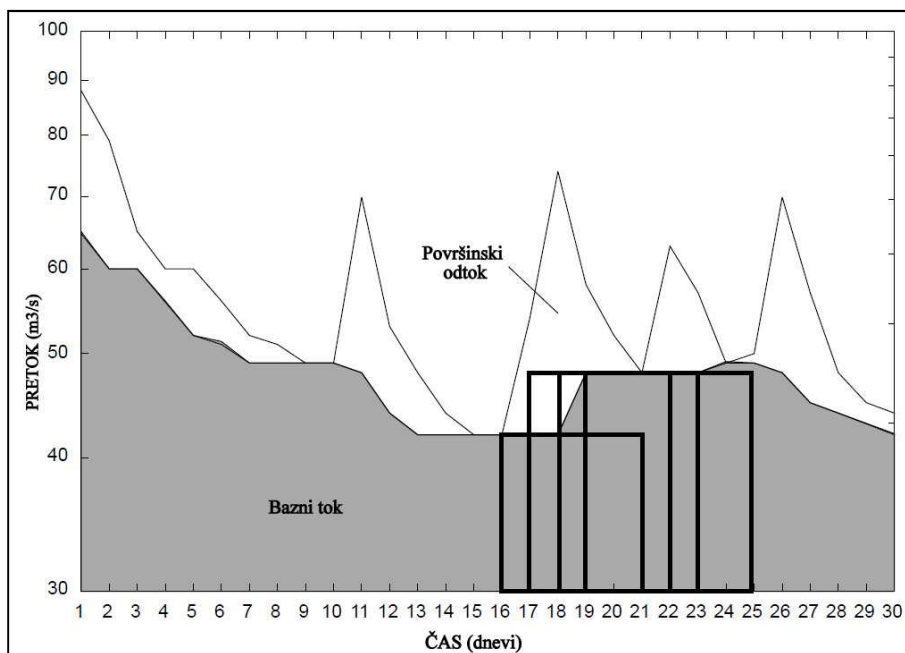
kjer je A prispevna površina, N pa število dni, po katerih preneha površinski odtok. Rezultat filtriranja je potek hidrograma baznega odtoka med začetno in končno točko. Dolžina intervala ($2N^*$) se določi kot število med 3 in 11, ki je najbližje produktu $2N$. Določanje baznega odtoka se začne za interval $2N^*$ pred nastopom površinskega odtoka in traja za $2N^*$ dlje kot konec površinskega odtoka (Sloto in Crouse, 1996).

Pri metodi fiksnega intervala program na hidrogramu ugotovi najmanjšo vrednost pretoka za interval $2N^*$ in to vrednost dodeli vsem dnevom v tem intervalu (slika 11). Nato ta proces ponovi za naslednje intervale $2N^*$ ter rezultate poveže in ustvari hidrogram baznega odtoka (Sloto in Crouse, 1996).



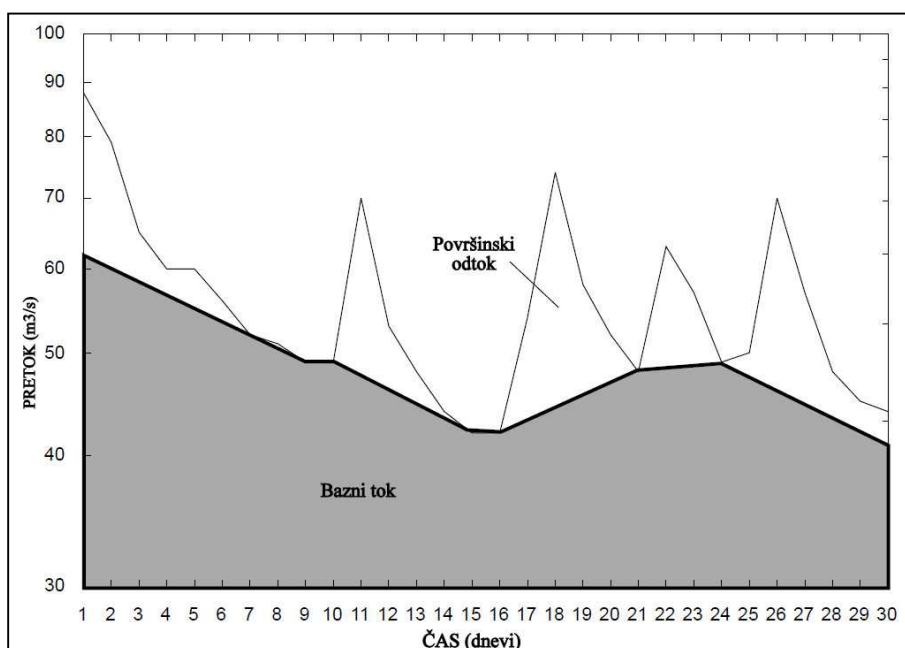
Slika 11: Metoda fiksnega intervala (Povzeto po Sloto in Crouse, 1996)

Pri metodi drsečega intervala program poišče najmanjšo vrednost pretoka v intervalu $[0,5(2N^* - 1)$ dni] pred in po obravnavanem dnevu in jo dodeli za ta dan (slika 12). Nato se postopek ponovi za vsak naslednji dan. Krivulja, ki povezuje vrednosti za vse dni, predstavlja hidrogram baznega odtoka (Sloto in Crouse, 1996).



Slika 12: Metoda drsečega intervala (Povzeto po Sloto in Crouse, 1996)

Pri metodi lokalnega minimuma program preveri ali ima pretok v obravnavanem dnevu, glede na interval $[0,5(2N^* - 1)$ dni pred in po njem, minimalno vrednost ali ne (slika 13). Če je ta vrednost minimalna, mu jo dodeli. Nato poveže dneve z minimalnimi vrednostmi z ravnimi črtami. Te predstavljajo hidrogram baznega odtoka. Za vmesne dneve med lokalnimi minimumi, se količina baznega odtoka izračuna z linearno interpolacijo (Sloto in Crouse, 1996).



Slika 13: Metoda lokalnega minimuma (Povzeto po Sloto in Crouse, 1996)

3.1.1.2.2 Rekurzivni digitalni filtri

Rekurzivni digitalni filtri, kot sta jih opisala Lyne in Hollick (1979, cit. po Echartd, 2004) izhajajo iz analize signalov in, tako kot običajni digitalni filtri, nimajo hidrološke podlage. Izhajajo iz predpostavke, da visoke frekvence (visoki valovi na hidrogramu) predstavljajo površinski odtok, nizke frekvence (nizki valovi na hidrogramu) pa bazni odtok. Predpostavka za ta algoritem je, da je bazni odtok iz podtalnice linearno proporcionalen zalogi podtalnice. Eno-parameterski filter uporablja enačbe:

$$y_k = f_k + b_k, \quad (3.2)$$

$$f_k = a f_{k-1} + (1 - a)/2 (y_k - y_{k-1}) \quad (3.3)$$

in

$$b_k = a b_{k-1} + (1 - a)/2 (y_k - y_{k-1}), \quad (3.4)$$

kjer je y_k celotni pretok, f_k površinski odtok, b_k bazni odtok in a parameter filtra. Ker enačba 3.4 slabo opisuje pretok y_k in bazni odtok b_k , ko se površinski odtok f_k približuje 0, je Chapman (1991, cit. po Echartd, 2004) razvil nov algoritem:

$$b_k = [(3a - 1)/(3 - a)] b_{k-1} + [(1 - a)/(3 - a)] (y_k + y_{k-1}) \quad (3.5)$$

oz.

$$b_k = a b_{k-1} + (1 - a)/2 (f_k + f_{k-1}), \quad (3.6)$$

pri čemer b_k ni več 0, kadar gre f_k proti 0, ampak je $b_k = a b_{k-1}$ (Echartd, 2004). Če enačbo 3.5 poenostavimo, dobimo (Echartd, 2004):

$$b_k = [a/(2 - a)] b_{k-1} + [(1 - a)/(2 - a)] y_k \quad (3.7a)$$

oz.

$$b_k = A b_{k-1} + B y_k. \quad (3.7b)$$

Iz enačb 3.3 in 3.8b dobimo enačbo (Echartd, 2004):

$$b_k = [A b_{k-1} + B f_k] / (1 - B), \quad (3.8)$$

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

$$b_k = [A / (1-B)] b_{k-1}, \quad (3.9)$$

kjer je $[A / (1-B)] = a$, $0 < a < 1$, ki je konstanta upadanja podtalnice. Iz tega pa razvijemo še indeks baznega odtoka $BFI_{max} = [B / (1-A)]$, $0 < BFI_{max} < 1$. Dobimo končno enačbo digitalnega rekurzivnega filtra dvema parametroma (Echartd, 2004):

$$b_k = [(1-BFI_{max}) a b_{k-1} + (1-a) BFI_{max} y_k] / (1-aBFI_{max}) \quad (3.10)$$

3.1.1.2.3 Modeli eksponentnega glajenja

Kot alternativa digitalnim in rekurzivnim filtrom, pri katerih nastopajo zapleteni faktorji, ki jih včasih težko določimo, lahko uporabimo tudi modele eksponentnega glajenja. Pri teh modelih gre, tako kot pri digitalnih filtri, za obdelavo podatkov, vendar so v primerjavi z digitalnimi filtri preprostejši.

Model eksponentno obteženega premikajočega povprečja (ang. *exponentially weighted moving average*) temelji na enačbi:

$$S_i = \alpha y_{i-1} + (1-\alpha) S_{i-1}, \quad (3.11)$$

za $0 < \alpha \leq 1$ in $t \geq 3$. V enačbi 3.11 je α konstanta glajenja, S je glajena vrednost, y je merjena oz. opazovana vrednost, t pa je časovna perioda (Tularam in Ilahee, 2008).

3.1.1.2.4 Uporaba Boussinesq-ove enačbe

Za določitev baznega odtoka lahko uporabimo eno-dimenzionalno Boussinesq-ovo enačbo, pri kateri zanemarimo vpliv kapilarnega efekta, ter Dupuit-Forcheimerjevo predpostavko o višini podtalnice, ki napolnjuje vodotok:

$$\partial h / \partial t = k / \alpha * \partial / \partial x * (h * \partial h / \partial x), \quad (3.12)$$

kjer je h višina gladine, t čas, k hidravlična prevodnost, α poroznost zemljine in x horizontalna oddaljenost od vodotoka (Szilagyi in Parlange, 1998).

Iz te predpostavke izhajata dve enačbi za tok podtalnice v vodotok in sicer:

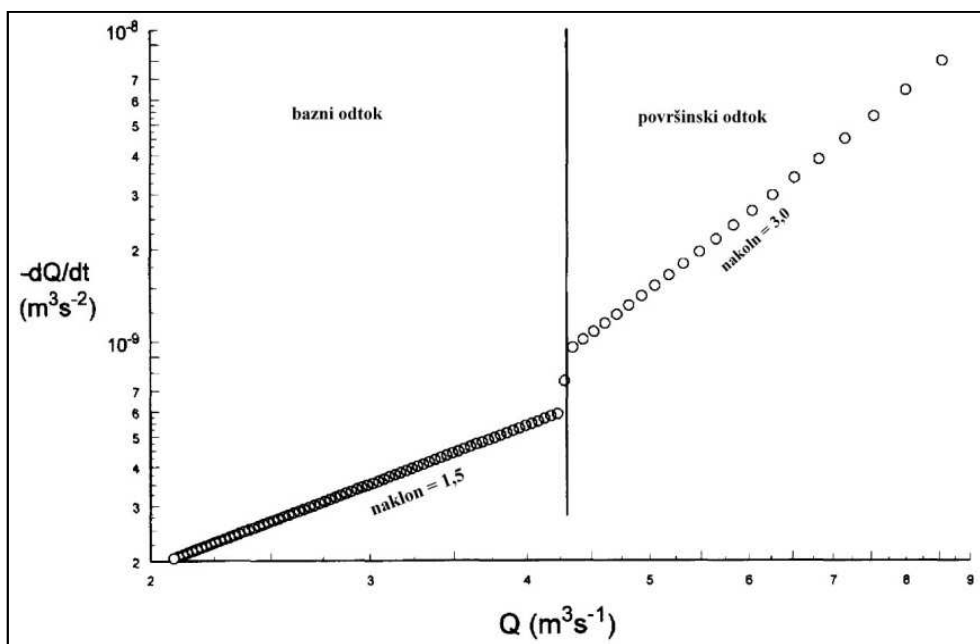
$$q(t)=0,332(k\alpha)^{1/2}D^{3/2}t^{-1/2}, \quad (3.13)$$

za $h(0,t)=0$ in $h(x,0)=D$, kjer je D globina vodonosnika in q pretok na dolžino. Ta enačba predstavlja površinski odtok, ter

$$q(t')=0,862kD^2/(B[1+1,115(kD/\alpha B^2)t']^2) \quad (3.14)$$

za $h(x,t)<D$. To je enačba za bazni odtok (Szilagyi in Parlange, 1998).

Čas t , ko se začne odtok podtalnice v vodotok, določimo iz naklonom grafa $-dQ(t)/dt / Qb(t)$. Za površinski odtok dobimo naklon $b_1=3,0$, za bazni odtok pa $b_2=1,5$ (slika 14).



Slika 14: Različna naklona za dve različni rešitvi Boussinesq-ove enačbe (Povzeto po Szilagyi in Parlange, 1998)

Splošna rešitev za $Q(t)$ je (Szilagyi in Parlange, 1998):

$$Q(t)=(Q_0 1-b-(1-b)at)^{1/1-b} \quad (3.15)$$

za $b=1$,

$$Q(t)=Q_0 e^{-at} \quad (3.16)$$

za $b=1$.

3.1.2 Določanje baznega odtoka z analizami pogostosti

Analize pogostosti uporabljajo razmerje med velikostjo in pogostostjo pretokov iz podatkov o pretokih (Brodie in Hostetler, 2005).

Uporabljajo se krivulje trajanja pretoka (ang. *Flow Duration Curve*), ki prikazujejo v koliko odstotkih je dosežen ali presežen določen pretok (Brodie in Hostetler, 2005). Krivuljo pridobimo z naslednjim postopkom (Brodie in Hostetler, 2005):

1. Podatke o pretoku razporedimo po velikosti od največjega do najmanjšega.
2. Vsakemu pretoku določimo število m ($1 < m < n$), pri čemer dobi največji pretok $m=1$, $m=n$ pa najmanjši; n je število vseh pretokov.
3. Verjetnost, da bo nek pretok dosežen ali presežen, določimo z enačbo

$$P = 100[m/(n+1)] \quad (3.17)$$

4. Razmerje pretok - verjetnost prikažemo na logaritmično-normalnem grafu.

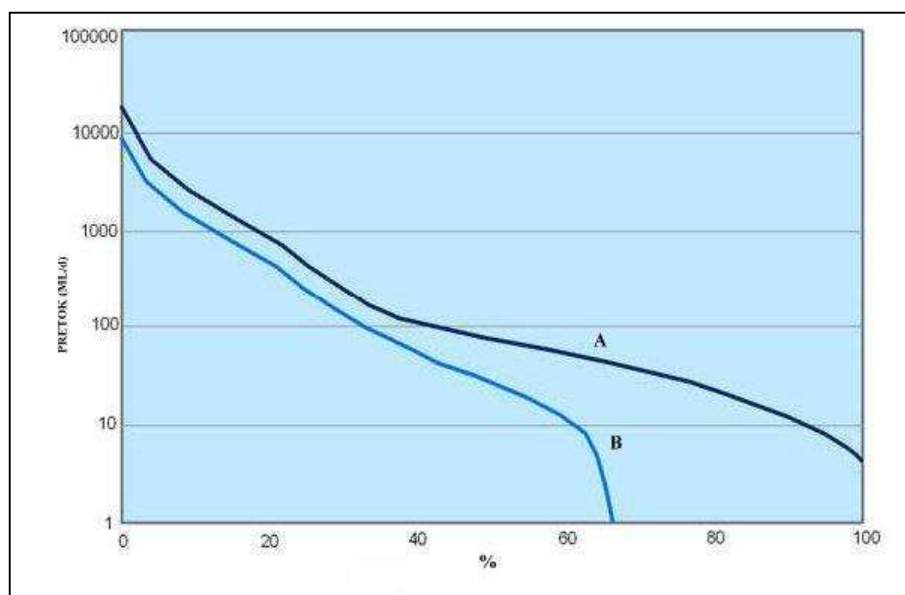
Krivulje trajanja pretoka konstruiramo za določene časovne intervale npr. za dan, mesec, letni čas (Brodie in Hostetler, 2005).

Določanje količine baznega odtoka iz krivulje trajanja pretoka temelji bolj na statistični analizi kot na hidrološkem modelu.

Pretok lahko izrazimo v m^3/s , lahko kot odstotek letnega ali dnevnega povprečja ali pa kot specifični pretok glede na prispevno območje. S tem dosežemo primerjavo različnih prispevnih območij med seboj (Smakhtin, 2001).

Srednji pretok (Q50) je pretok, ki je dosežen 50 odstotkov obravnavanega časa. Pretok, ki je nižji od Q50, smatramo kot nizki pretok. Če ima krivulja nizkega pretoka majhen naklon sklepamo, da je delež baznega odtoka velik (slika 15, krivulja A), če pa je naklon strm je delež baznega odtoka manjši (slika 15, krivulja B).

Določamo tudi druge kazalce, kot na primer razmerje med Q90 in Q50, ki določa delež podtalnice v celotnem odtoku (Nathan in McMahon, 1990, cit. po Brodie in Hostetler, 2005, str. 6)



Slika 15: Primerjava dveh krivulj pretok – verjetnost (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005)

Določimo lahko tudi druge nizke pretoke. Najpogostejši so eno ali n -dnevni pretoki preseženi 75, 90 ali 95 odstotkov časa (Smakhtin, 2001). Označimo jih $Q\%(n\text{-dni})$, npr. sedem-dnevni pretok presežen v 75 odstotkih časa zapišemo kot $Q75(7)$. Določimo lahko tudi koliko odstotkov časa je vodotok brez pretoka (Smakhtin, 2001). Ti kazalci nam opisujejo različne lastnosti baznega odtoka in celotnega pretoka.

Krivulja pogostosti nizkih pretokov (ang. *low-flow frequency curve*) prikazuje delež let, ko je bil presežen nizki pretok. Pridobimo jo iz letnih minimalnih pretokov. Tudi tu lahko pridobimo določene kazalnike, npr. (Smakhtin, 2001):

- Strm naklon krivulje pomeni večjo spremenljivost nizkih pretokov.
- Povprečje minimalnih sedem-dnevnih povprečnih pretokov predstavlja pretok ob suhem vremenu.
- Kazalci za sezonske nizke pretoke, npr. 30-dnevni poletni pretok.
- Prelom krivulje v bližini srednje vrednosti pomeni napajanje vodotoka izključno iz podtalnice.

3.1.3 Analiza krivulje upadanja baznega odtoka

Upadanje baznega odtoka se začne v točki, kjer se sekata hidrograma celotnega pretoka in hidrogram baznega odtoka, torej v točki, ko bazni odtok predstavlja edini vir pretoka vodotoka. Traja pa vse dokler se ne pojavijo nove padavine, ki zopet povečajo pretok.

Krivulja upadanja baznega odtoka (ali recesijska krivulja) predstavlja povprečje posameznih upadanj baznega odtoka za določen vodotok (Riggs, 1964), npr. glede na hidrogram za obdobje enega leta.

Na obliko krivulje upadanja pretoka vplivajo predvsem geološke lastnosti porečja ter oddaljenosti mej porečja (razvodnice) od vodotoka (Smakhtin, 2001).

Krivulja upadanja pretoka lahko služi za mnoge analize. Načeloma nam pove na kakšen način se nek vodotok napaja iz svojega zaledja, opisuje lastnosti vodonosnikov in zalog vode v porečju. Uporablja se lahko za napovedovanje minimalnih pretokov, kar je pomembno pri energetski izrabi vodotoka, pri namakanju ipd. Lahko služi tudi kot vhodni podatek za modeliranje odtoka ali pa za kalibracijo modelov, saj lahko enačbo krivulje vstavimo v matematične modele. Uporablja se tudi pri grafični metodi določanja posameznih komponent odtoka in pri analizah pogostosti (Tallaksen, 1995).

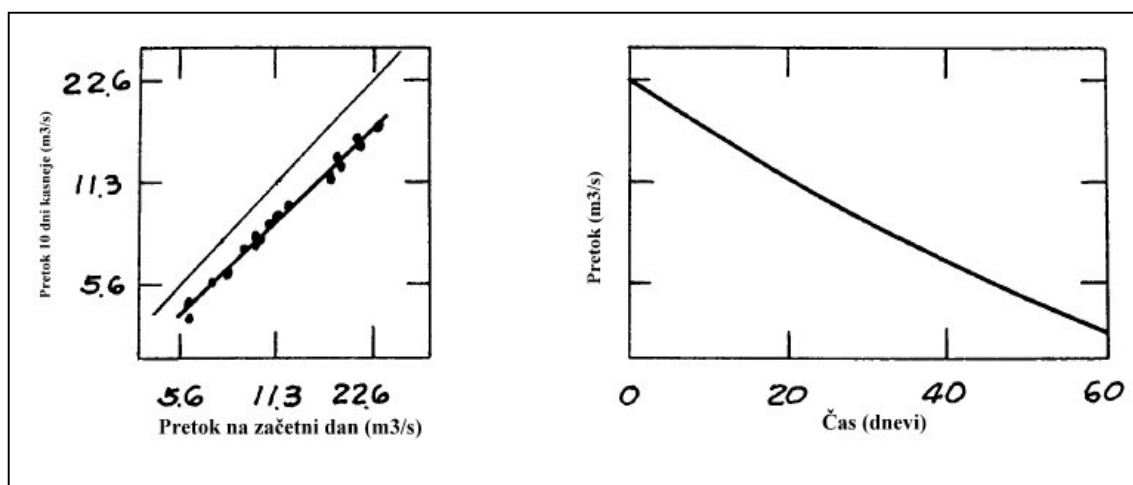
Krivulje upadanja baznega odtoka pridobimo iz podatkov o pretoku vodotoka po daljšem času brez padavin oz. površinskega odtoka (Riggs, 1964).

Pri grafični metodi (ang. *matching stripe*) za določitev krivulje rišemo posamezne krivulje upadanja in tako dobimo krivuljo, ki je njihovo povprečje. Pri tem je pomembno, da celotno obdobje razdelimo na posamezne dele, periode, na primer glede na letni čas, saj se lahko nakloni posameznih krivulj med seboj močno razlikujejo (Riggs, 1964).

Idealni pogoji za takšno določanje krivulje upadanja baznega odtoka so (Riggs, 1964):

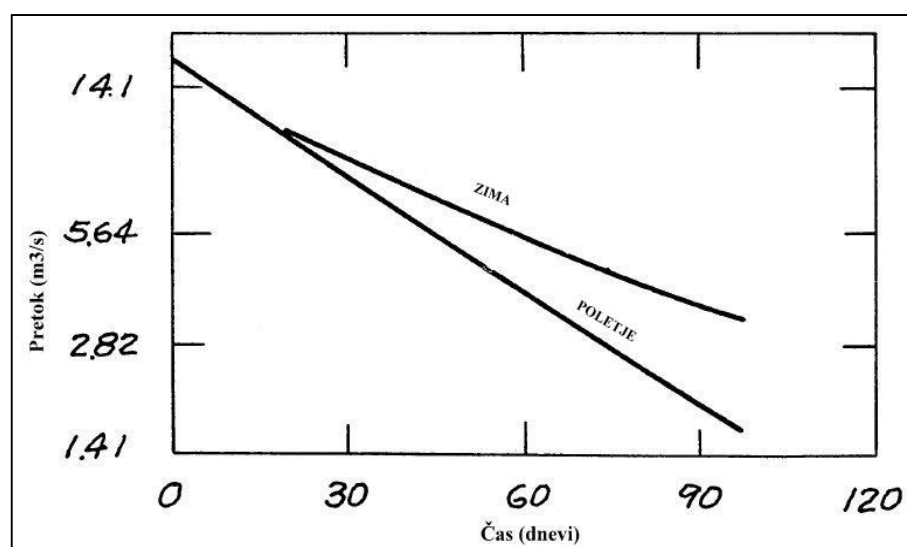
- V obravnavanem obdobju ni bilo večjih padavinskih dogodkov;
- Naklon upadanja baznega odtoka na obravnavanem delu je dovolj velik, da se kasnejši padavinski dogodki ali drugi viri pretoka na grafu manifestirajo, torej ne padejo pod krivuljo;
- Obravnavan del krivulje nastopi po določenem času od vrha hidrograma; čas je odvisen od lastnosti vodotoka in povodja;
- Če je obravnavani del hidrograma večji kot bazni odtok izpred dveh do treh tednov, potem ga ne upoštevamo kot bazni odtok, razen, če so za to utemeljeni razlogi;
- Obravnavan del hidrograma mora trajati najmanj 10 dni.

Podatke posameznih segmentov hidrograma tabeliramo, nato pa izrišemo graf (slika 16). V idealnih pogojih bi moral biti graf pretoka v odvisnosti od časa ravna premica z določenim naklonom. V resnici pa krivulja pretoka ne upada enakomerno, ker poleg baznega odtoka v vodotok prispevajo še drugi viri, kot na primer voda v brežinah, zadržana voda na površju, večje akumulacije, taljenje snega v visokogorju ipd. Poleg tega lahko vodotok napajata dva ali več podtalnih vodotokov, ki imajo različne režime. Pomembno je tudi upoštevanje evapotranspiracije (Riggs, 1964).



Slika 16: Sinteza krivulje upadanja baznega odtoka za izbrane dele hidrograma reke Buffalo River, Tenn (Povzeto po Riggs, 1964)

Na obliko krivulje upadanja baznega odtoka vplivajo tudi izgube zaradi izhlapevanja in evapotranspiracije. Te lahko zelo nihajo glede na letni čas, zato je priporočljivo, da se izdela krivulje upadanja baznega odtoka posebej za poletno in zimsko obdobje (slika17) (Riggs, 1964). Seveda je to odvisno tudi od podnebnih pogojev na obravnavanem območju.



Slika 17: Primerjava krivulj upadanja baznega odtoka za zimsko in poletno obdobje (Povzeto po Riggs, 1964)

Tudi zadržana voda v brežinah, na poplavnih ravnicah, v akumulacijah ipd. lahko močno vpliva na obliko in določanje krivulje upadanja baznega odtoka. Zadržana voda se v obdobju brez padavin počasi sprošča v vodotok in tako preprečuje, da bi lahko natančno določili količino baznega odtoka iz

podtalnice. Količine te zaloge so močno odvisne od površine prispevnega območja, saj lahko pri velikih površinah že majhna količina padavin generira veliko količino teh zalog. Krivulja upadanja baznega odtoka je zato težko določljiva (Riggs, 1964).

Krivuljo upadanja pretoka (imenovano tudi recesijska krivulja) teoretično opišemo z eksponentno funkcijo

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (3.18a)$$

ali

$$Q_t = Q_0 K^{-t}, \quad (3.18b)$$

kjer je Q_t pretok v času t , Q_0 začetni pretok, α konstanta, t pa časovni interval (Brodie in Hostetler, 2005). V enačbi 3.9b pa K predstavlja brezdimenzijsko konstanto upadanja pretoka in je odvisen predvsem od geohidroloških lastnosti porečja (Vogel in Kroll, 1996). Graf te enačbe v pol-logaritmičnem merilu je premica. Horton (1933) pa je za opis krivulje upadanja pretoka predlagal nelinearen odnos med časom in pretokom, z dvojno eksponentno enačbo:

$$Q_t = Q_0 \exp(-at^m), \quad (3.19)$$

kjer sta a in m konstanti. Nelinearno diferencialno enačbo je razvil tudi Boussineq. Razvite so tudi mnoge empirične enačbe, kot na primer enačba:

$$Q_t = (Q_0 - b) \exp(-t/C) + b, \quad (3.20)$$

ki sta jo razvila Toebeš in Strang (1964), pri kateri je b konstanta, ki predstavlja vpliv taljenja snega ali ledu. Upadanje pretoka pa lahko modeliramo tudi kot iztok iz rezervoarja, ki nima dotoka. Dobimo enačbo:

$$Q = KS^p, \quad (3.21)$$

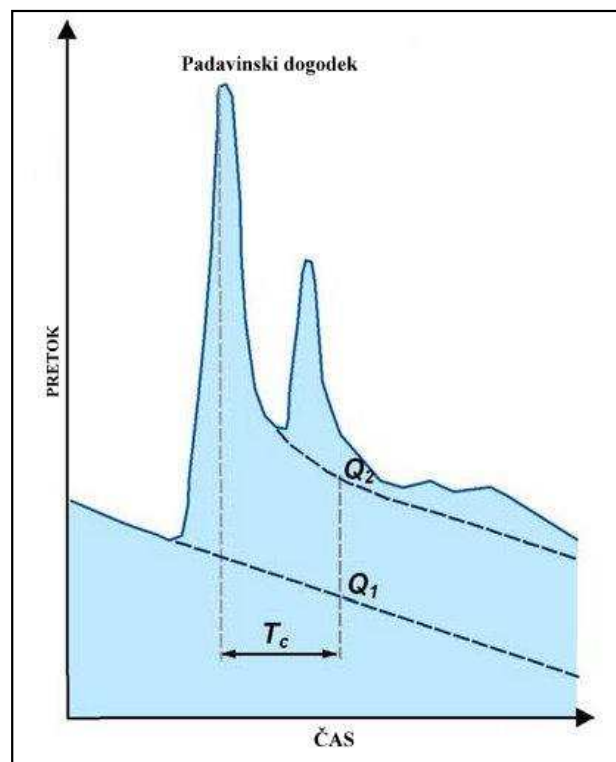
kjer sta K in p konstanti, S pa predstavlja zalogo vode v rezervoarju. Tako dobimo linearen odnos med pretokom in zalogo vode (Tallaksen, 1995). Graf krivulje upadanja pretoka v pol-logaritmičnem merilu je torej ravna premica, ravno tako kot pri osnovni Boussinesqovi enačbi. Pri določevanju krivulje upadanja baznega odtoka iz podatkov pa se zgodi, da graf ni ravna premica ampak krivulja, kar pomeni, da bazni odtok ni več linearno povezan s pretokom. V naravi namreč potekajo sočasno

tudi drugi procesi, ki vplivajo na količino baznega odtoka, kot na primer evapotranspiracija, dotok v podtalnico, odtok vode iz brežin, sprememba režima podtalnice na različnih globinah itd. Nelinearen odnos baznega odtoka in pretoka lahko zajamemo z različnimi metodami določevanja krivulje upadanja pretoka, npr. (Brodie in Hostetler, 2005):

- Opis krivulje upadanja s tremi premicami, ki imajo različne naklone.
- Namesto Q_t na grafu lahko uporabimo razmerja Q_0/Q_t .
- Metoda korelacije med trenutnim pretokom in pretokom pred n dnevi (n je običajno 1-5 dni). Tako dobimo graf, iz katerega lahko določimo naklon in nato izračunamo K .
- Določitev razmerja med trenutnim pretokom in pretokom n dni pred tem, kadar je trenutni pretok manjši od srednjega pretoka. Iz grafa pogostosti posameznih razmerij lahko določimo faktor srednjega razmerja, REC50 ali pa čas razpolovne dobe baznega odtoka, ki nam opišeta lastnosti baznega odtoka in njegovega upadanja.
- Metoda ujemačih se trakov, pri kateri na graf izrišemo več krivulj in jih razporedimo tako, da se v največji meri ujemajo. S tem dobimo skupno krivuljo upadanja pretoka.
- Metoda premika krivulje upadanja (slika 18), pri kateri med padavinskim dogodkom premaknemo krivuljo za kritični čas T_c navzgor in tako ekstrapoliramo količino pretoka med padavinskim dogodkom iz krivulje upadanja pred njim. Dobimo enačbo:

$$R = \frac{[2(Q_2 - Q_1)K]}{2,3026}, \quad (3.22)$$

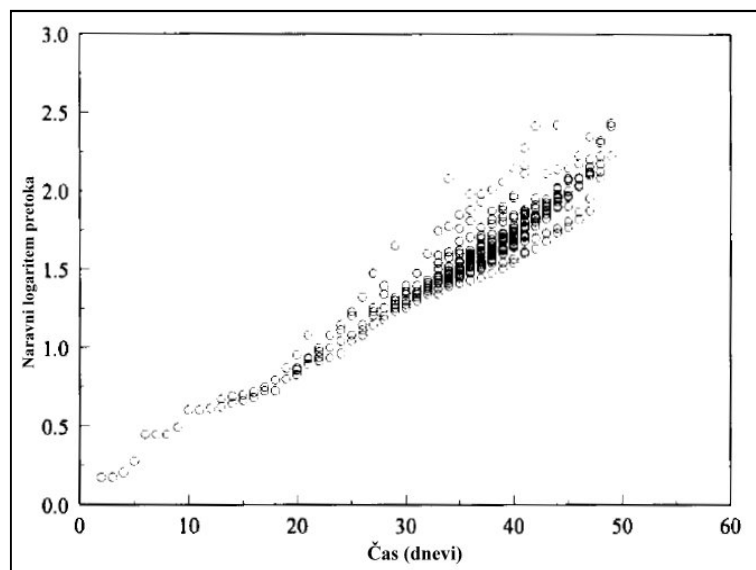
kjer je R dotok v podtalnico, Q_1 bazni odtok v času T_c , ki je ekstrapoliran iz krivulje pred padavinskim dogodkom, Q_2 bazni odtok, ki je ekstrapoliran iz krivulje po padavinskem dogodku, K pa je indeks upadanja. Vidimo, da je dotok v podtalnico približno dvakrat večji kot možen bazni tok v času padavin (Brodie in Hostetler, 2005).



Slika 18: Postopek metode premika krivulje upadanja pretoka (Povzeto po Brodie in Hostetler, 2005)

Krivuljo upadanja baznega odtoka (slika19) lahko določimo tudi s pomočjo računalniškega programa kot je program Automated Master Recession Curve (MRC) (Arnold in sod., 1995). Ta program iz podatkov o pretoku najprej s pomočjo digitalnega filtra določi količino baznega odtoka. Nato določi točke, kjer se filtrirani podatki stikajo s podatki o pretoku. Na ta način določi krivulje upadanja baznega odtoka za posamezen odsek. Program nato določi deset-dnevne odseke dobljenih krivulj in jih razvrsti glede na velikost pretoka od najmanjšega do največjega. Na ta način program določi glavno krivuljo upadanja baznega odtoka, iz katere nato, z uporabo njenega naklona, določi faktor upadanja baznega odtoka (Arnold in sod., 1995).

Krivuljo upadanja lahko uporabimo tudi za oceno količine zaloge podtalnice. Krivulja upadanja v splošnem ponazarja količino podtalnice na prispevnem območju ter čas, v katerem se ta vir izčrpa (Riggs, 1964). Pri tem je potrebno biti pozoren na že znane vplive, kot na primer zadrževanje vode v brežinah ali napajanje vodotoka iz več podtalnih virov.



Slika 19: Grafikon glavne krivulje upadanja baznega odtoka pridobljen s programom Automated MRC
(Povzeto po Arnold in sod., 1995)

3.2 Merjenje baznega odtoka v naravi

Bazni odtok, kot tok podtalne vode v rečno strugo, lahko določimo tudi z meritvami v naravi. Z meritvami določamo predvsem izvor baznega odtoka in njegov režim. Ne moremo ga meriti neposredno, lahko pa ga določimo prek meritev drugih količin kot so višina podtalnice, količina evapotranspiracije in količina padavin, ki pronicaajo v podtalnico.

Neposredno lahko merimo koncentracijo posameznih kemijskih spojin ali elementov, ki so raztopljeni v vodi na primer: kalcij (Ca), magnezij (Mg), raztopljen silicij (SiO_2), stroncij (Sr), kisik (O_2). Merimo lahko tudi električno prevodnost vode, ki se spreminja glede na to, katere snovi in koliko je raztopljenih v vodi, ter pH vode (Gonzales in sod., 2009). S sledenjem kemijskih elementov ali spojin ter merjenjem električne prevodnosti vode, lahko določimo posamezne komponente celotnega odtoka in njihovo količino.

3.2.1 Določanje baznega odtoka s pomočjo sledenja kemijskih elementov ali spojin

S pomočjo sledenja določenih naravnih, v vodi raztopljenih snovi ali posameznih kemijskih elementov oz. njihovih ionov, lahko določamo kolikšen delež v celotnem odtoku predstavljajo posamezne komponente oz. viri odtoka (površinski odtok, bazni odtok, padavine,...). Za to moramo poznati kemijsko sestavo vode posameznega vira.

Če predpostavimo, da je kemijska sestava vode posameznega vira konstantna in se očitno razlikuje od drugih virov, lahko s pomočjo masne bilance izpeljemo enačbo:

$$c_{i,1}q_1 + c_{i,2}q_2 + \dots + c_{i,j}q_j + \dots + c_{i,n}q_n = c_{i,T}q_T, \quad (3.23)$$

kjer je $c_{i,j}$ (ppm) koncentracija i -te raztopine v j -ti komponenti celotnega odtoka, $c_{i,T}$ koncentracija i -te raztopine v celotnem pretoku q_T (m^3/s), q_j pa je pretok posamezne komponente celotnega odtoka (Gonzales in sod., 2009).

Za sledenje lahko uporabimo medsebojno razmerje določenih kemijskih elementov, ki so že prisotni v naravi, na primer izotopa kisika ^{18}O (Dewalle in sod., 1997), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kot sta ga uporabila Rose in Fullgar (2005), ali pa Ca, Mg (slika 20, metoda *a*), SiO_2 (slika 20, metoda *b*), ki so jih uporabili Gonzales in sod. (2009). Uporabimo kemijske elemente, ki so značilni za neko območje in so vedno prisotni v vodi. Njihova prisotnost je odvisna od geološke sestave prispevnega območja. Težava, ki se lahko pri tem pojavi je, da na to razmerje vplivajo, poleg samih hidroloških procesov, tudi drugi naravni procesi, na primer preperevanje kamenin. Zato je za boljše rezultate dobro uporabiti tudi masno bilanco in tako izboljšati sledenje tem elementom (Rose in Fullgar, 2005).

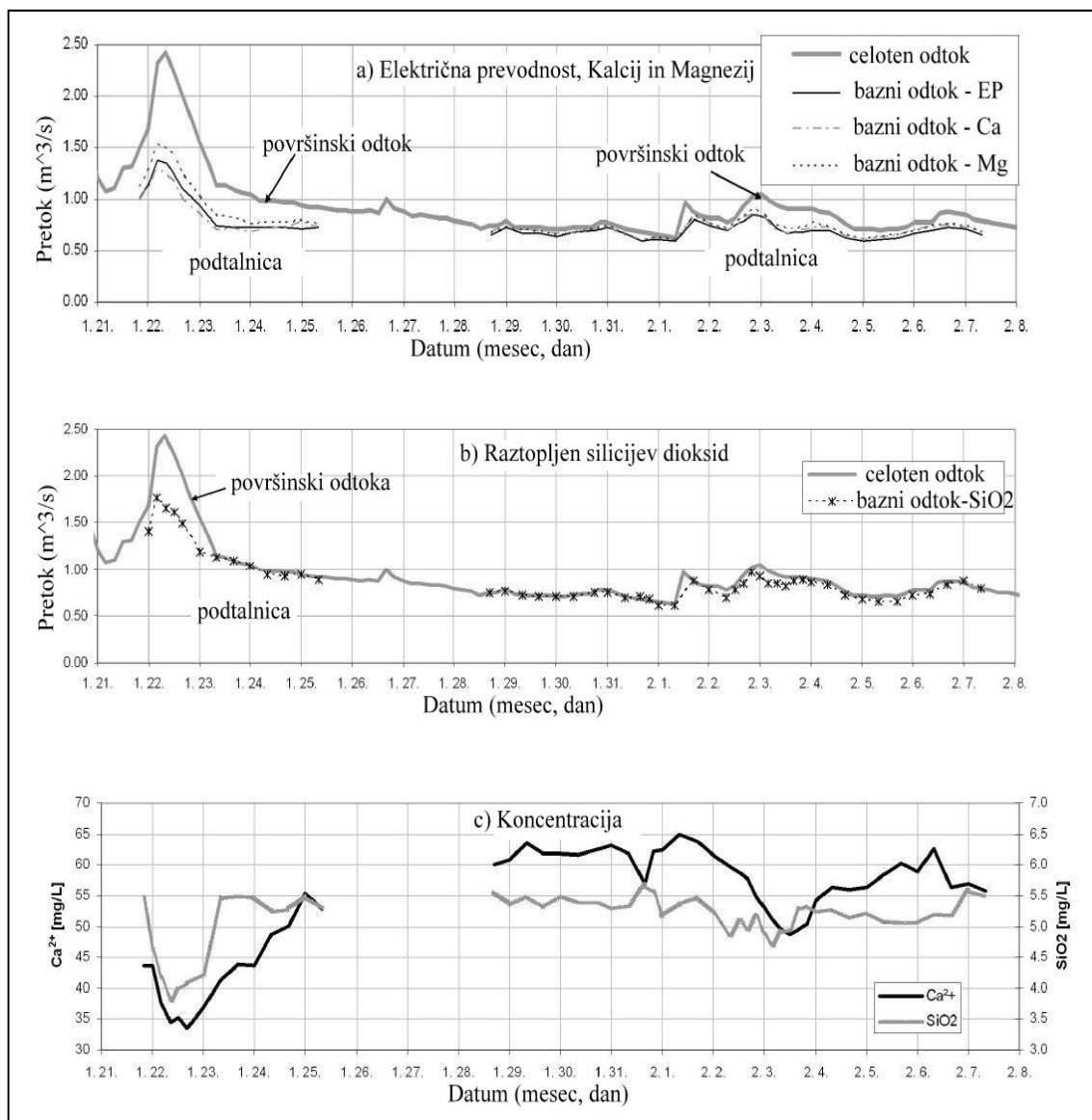
Za določanje posameznih deležev celotnega odtoka ali določanja virov za posamezne deleže odtoka se pogosto uporablja sledenje izotopa kisika ^{18}O . S spektrometrom določimo koncentracijo ^{18}O v vzorcih. Z analizo upadanja določimo sezonsko nihanje ^{18}O glede na posamezne dele celotnega odtoka: padavine, medtok, površinski odtok, bazni odtok (Dewalle in sod., 1997). Izotop kisika ^{18}O lahko uporabimo tudi za določevanje vira odtoka. Delež padavin in snega v odtoku določimo z modelom:

$$Q(t) = Q(t) * f_{sneg}(t) + Q(t) * f_{padavine}(t) \quad (3.24)$$

in

$$\delta_{reka}(t) = f_{sneg}(t) * \delta_{sneg} + f_{padavine}(t) * \delta_{padavine}, \quad (3.25)$$

kjer je Q celoten pretok reke, f_{sneg} in $f_{padavine}$ deleži snega in padavin v odtoku reke, δ_{reka} , δ_{sneg} , $\delta_{padavine}$ koncentracije ^{18}O v posameznih delih, t pa je čas (Welp in sod., 2005).



Slika 20: Prikaz rezultatov treh metod določanja baznega odtoka s pomočjo sledenja kemijskim spojinam (Povzeto po Gonzales in sod., 2009)

3.2.2 Določanje baznega odtoka z merjenjem višine podtalnice

Metoda za določanje baznega odtoka s pomočjo meritev višine podtalnice je uporabna ob predpostavki, da voda, ki pride v podtalnico, odteče v strugo kot bazni odtok. Tako lahko z merjenjem višine podtalnice izračunamo količino pretoka podtalnice v vodotok. Tok podtalnice lahko izračunamo po enačbi (Risser in sod, 2005):

$$R = \Delta h \times S_y, \quad (3.26),$$

kjer je R dotok, Δh sprememba višine podtalnice, S_y pa specifična poroznost (Risser in sod, 2005).

Za merjenje višine podtalnice lahko uporabljamo dve metodi in sicer:

- Uporaba piezometra. Piezometer je na dnu perforirana tanka cev, ki sega do dna podtalnice ali samo do določene globine. S piezometrom merimo tlak, ki ga ustvarja voda na določeni globini (Davie, 2008).
- Uporaba vodnjaka. Vodnjak je cev, ki je perforirana po vsej višini, tako da lahko voda priteče ali odteče iz njega v kateri koli smeri. V vodnjakih zato merimo dejansko višino podtalnice (Davie, 2008).

3.3 Izračun indeksa baznega odtoka s programom BFI for Windows

Pri analitičnem določanju baznega odtoka je pomemben indeks baznega odtoka (BFI). Ta predstavlja razmerje med volumnom baznega odtoka in volumnom celotnega pretoka vodotoka. Za določitev BFI smo uporabili program BFI for Windows (Wahl in Wahl, 2007), katerega smo pridobili na spletnih straneh U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation. Program deluje na osnovi metode za določevanje BFI, ki so jo v letu 1980 razvili na Inštitutu za hidrologijo v Veliki Britaniji (British Institute of Hydrology).

Program določi bazni odtok z digitalnim filtriranjem po metodi fiksnih intervalov. Podatke razdeli na N -dnevne odseke, intervale, in v vsakem odseku določi minimalni pretok – lokalni minimum. Nato lokalne minimume med seboj poveže in tako določi hidrogram baznega odtoka. Za določanje prevojnih točk hidrograma baznega odtoka program ponuja dve metodi:

1. Standardna metoda (metoda Hidrološkega inštituta Velike Britanije) primerja lokalni minimum Q_1 z lokalnim minimumom pred (Q_0) in po njem (Q_2). Q_1 je prevojna točka, če velja:

$$Q_1 * f \leq Q_0 \text{ in } Q_1 * f \leq Q_2, \quad (3.27a \text{ in } 3.27b)$$

kjer je f prevojni faktor, katerega vrednost mora biti med 0 in 1. N in f lahko sami določimo oz. ju je potrebno umeriti. Predvsem na hidrogram baznega toka, in posledično na BFI, vpliva velikost N . Z večanjem velikosti intervala se izključujejo večji pretoki, ki bi lahko bili lokalni minimumi, kar povzroči, da je izračunani bazni odtok manjši, kot bi bil v resnici. Zato je priporočljivo N določiti za posamezne primere.

2. Modificirana metoda, ki prav tako primerja tri zaporedne lokalne minimume Q_0 , Q_1 in Q_2 , ki so se zgodili na N_0 -ti, N_1 -ti ter N_2 -ti dan v letu. Nato program s formulami:

$$N_{01} = N_1 - N_0 \quad (3.28a)$$

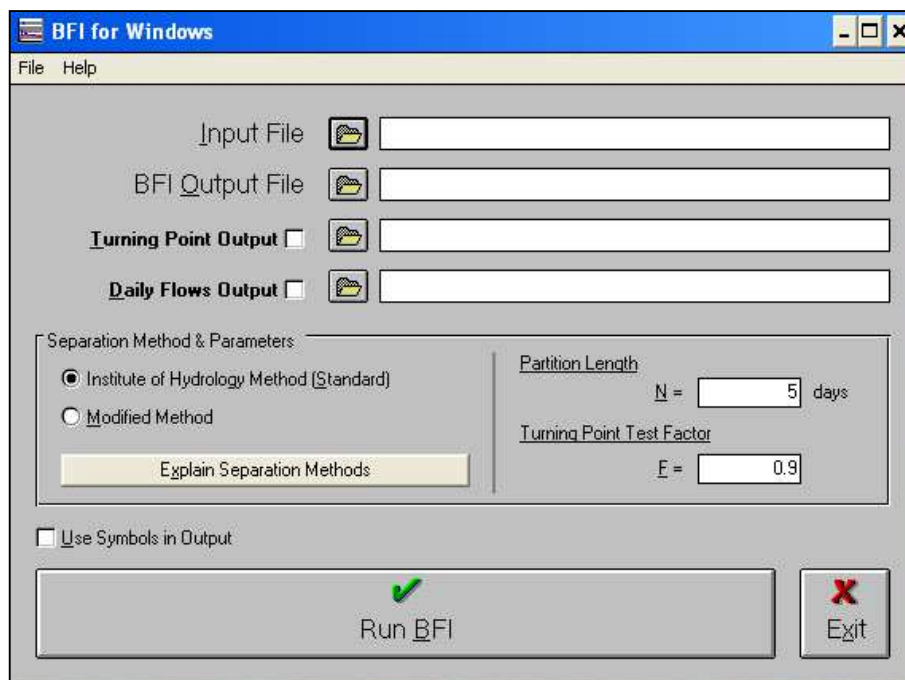
ter

$$N_{12} = N_2 - N_1 \quad (3.28b)$$

izračuna, koliko dni je med posameznimi lokalnimi minimumi, pri čemer je N_{01} število dni med pojavom Q_0 in Q_1 , N_{12} pa število dni med pojavom Q_1 in Q_2 . Q_1 je prevojna točka, če velja:

$$Q_1 * K^{N_{01}} \leq Q_0 \text{ in } Q_1 * K^{N_{12}} \leq Q_2, \quad (3.29a \text{ in } 3.29b)$$

kjer je K enodnevna recesijska konstanta z vrednostjo med 0 in 1 in jo določimo s pomočjo recesijske krivulje. N določimo kot pri standardni metodi.



Slika 21: Prikazno okno programa BFI for Windows

Za izračun BFI smo uporabili standardno metodo (Institute of Hydrology Method), saj modificirana metoda potrebuje za vhodni podatek enodnevno recesijsko konstanto, ki je nismo imeli na razpolago.

3.3.1 Opis izračuna

Glede na izbrane parametre program razdeli podatke o pretoku na N velike odseke (preglednica 3) Na teh odsekih določi minimalno vrednost (preglednica 3, tretji stolpec). Nato minimalne pretoke pomnoži s prevojnimi faktorjem f (preglednica 3, četrty stolpec) in določi, kateri minimalni pretoki predstavljajo prevojne točke hidrograma baznega odtoka. Prevojne točke določi po algoritmu: če je $\min.Q * f$ za nek odsek manjši od $\min.Q$ sosednjih dveh odsekov, potem je $\min.Q$ obravnavanega odseka prevojna točka hidrograma. Prevojne točke poveže z linearno premico in v skladu s tem izračuna količino baznega odtoka (preglednica 3, peti stolpec).

3.3.2 Priprava podatkov

Podatke o dnevnih pretokih smo pridobili iz spletnega Arhiva površinskih voda Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2012).

Ker je program BFI for Windows narejen za uporabo v ZDA, je potrebno vhodno datoteko prilagoditi, vendar mora obdržati določeno obliko (slika 22). Datoteko prilagodimo v skladu s priloženimi navodili ter v njih navedenim primerom datoteke, po katerem se pripravijo želeni podatki.

Datoteko pripravimo tako, da ohranimo originalno glavo v angleščini. Spremenimo 13 vrstico, to je ime agencije, ki pridobiva podatke ter identifikacijsko številko vodomerne postaje. V našem primeru ime agencije »arso«. Identifikacijska številka vodomerne postaje mora ostati osem mestna, ker pa imajo v Sloveniji vodomerne postaje samo štirimestno identifikacijsko številko, smo pred vsako številko dodali 1000. Spremenimo tudi vseh pet stolpcev. V celotnem prvem stolpcu se zopet nahaja ime agencije. V celotnem drugem stolpcu se nahaja identifikacijska številka vodomerne postaje. V tretjem stolpcu so datumi dnevnih pretokov. Pomembno je, da datum napišemo v pravilni obliki in sicer dve cifri za mesec, dve cifri za dan in štiri cifre za leto, ki so med seboj ločene s poševnico (npr.: 14. maj 2012 => 05/14/2012). V četrtem stolpcu so podatki o dnevnih pretokih. V petem stolpcu, ki je rezerviran za posebne opise, zapišemo 0, saj v Sloveniji ne uporabljamo tega sistema.

Podatke smo pripravili v Microsoft Office Excel-u, jih prenesli v Notepad in shranili kot običajno .txt datoteko, ki jo program prepozna.

Preglednica 3: Prikaz postopka izračuna baznega odtoka s programom BFI for Windows

Datum	Podan pretok $Q \text{ [m}^3/\text{s]}$	Min, pretok v odseku $\min, Q \text{ [m}^3/\text{s]}$	$f * \min, Q \text{ [m}^3/\text{s]}$	Bazni odtok $Q_B \text{ [m}^3/\text{s]}$
01/01/1962	0,83	0,83	0,747	
01/02/1962	7,12			
01/03/1962	2,36			
01/04/1962	1,46			
01/05/1962	1,09			
01/06/1962	0,88			
01/07/1962	0,78			
01/08/1962	0,88			
01/09/1962	0,57	0,57	0,513	0,57
01/10/1962	0,67			0,57
01/11/1962	0,67	0,67	0,603	0,56
01/12/1962	11,5			0,56
01/13/1962	16,5			0,56
01/14/1962	16,1			0,56
01/15/1962	9,32			0,55
01/16/1962	3,16			0,55
01/17/1962	2,47			0,55
01/18/1962	1,64			0,54
01/19/1962	1,64			0,54
01/20/1962	1,09	1,09	0,981	0,54
01/21/1962	0,78	0,78	0,702	0,53
01/22/1962	0,88			0,53
01/23/1962	5,62			0,53
01/24/1962	2,7			0,53
01/25/1962	1,46			0,52
01/26/1962	1,27			0,52
01/27/1962	1,27			0,52
01/28/1962	1,09			0,52
01/29/1962	0,78			0,51
01/30/1962	0,51	0,51	0,459	0,51

...se nadaljuje

...nadaljevanje Preglednice 3

01/31/1962	0,67	0,67	0,603	0,52
02/01/1962	0,78			0,53
02/02/1962	0,78			0,54
02/03/1962	0,67			0,55
02/04/1962	0,78			0,56
02/05/1962	0,57	0,57	0,513	0,57
02/06/1962	0,78			0,57
02/07/1962	0,78			0,56
02/08/1962	0,99			0,56
02/09/1962	1,09			0,56
02/10/1962	0,67	0,67	0,603	0,56
02/11/1962	0,67			0,55
02/12/1962	0,67			0,55
02/13/1962	2,7			0,55
02/14/1962	3,82			0,54

```

# This file uses same format as U.S. Geological Survey
# National Water Information System
# This file contains published daily mean streamflow data.
# Further descriptions of the dv_cd column can be found at:
# http://waterdata.usgs.gov/nwis/help?codes_help#dv_cd
#
# sites in this file include:
# arso 10002600
#
# agency_cd      site_no dv_dt      dv_va      dv_cd
55      15s      10d      12n      3s
arso 10002600      01/01/1973      0.58      0
arso 10002600      01/02/1973      0.58      0
arso 10002600      01/03/1973      0.58      0
arso 10002600      01/04/1973      0.62      0
arso 10002600      01/05/1973      0.62      0
arso 10002600      01/06/1973      0.62      0
arso 10002600      01/07/1973      0.62      0
arso 10002600      01/08/1973      0.62      0
arso 10002600      01/09/1973      0.62      0
arso 10002600      01/10/1973      0.58      0
arso 10002600      01/11/1973      0.58      0
arso 10002600      01/12/1973      0.58      0
arso 10002600      01/13/1973      0.58      0
arso 10002600      01/14/1973      0.58      0
arso 10002600      01/15/1973      0.58      0
arso 10002600      01/16/1973      0.58      0
arso 10002600      01/17/1973      0.62      0
arso 10002600      01/18/1973      0.62      0
arso 10002600      01/19/1973      0.62      0
arso 10002600      01/20/1973      0.58      0
arso 10002600      01/21/1973      0.58      0
arso 10002600      01/22/1973      0.58      0
arso 10002600      01/23/1973      0.58      0
arso 10002600      01/24/1973      0.58      0
arso 10002600      01/25/1973      0.58      0
arso 10002600      01/26/1973      0.58      0
arso 10002600      01/27/1973      0.69      0
arso 10002600      01/28/1973      0.58      0
arso 10002600      01/29/1973      0.58      0
arso 10002600      01/30/1973      0.58      0
arso 10002600      01/31/1973      0.58      0
arso 10002600      02/01/1973      0.58      0

```

Slika 22: Prikaz vhodne datoteke v programu Notepad

Iz programa BFI for Windows smo dobili dve izhodni datoteki. V prvi datoteki (slika 23) so za vsako leto izračunani BFI, količina baznega odtoka (ang. *base flow*), količina celotnega odtoka (ang. *total*

runoff) ter dnevi prevojnih točk hidrograma baznega odtoka (ang. *day of turning point*). Za BFI, bazni odtok in celotni odtok so izračunane tudi srednje vrednosti, standardna deviacija in koeficient variance. Količine baznega odtoka in količine celotnega odtoka so podane v ameriških enotah acre-ft, zato bi morali, če bi hoteli uporabiti podatke o količinah baznega odtoka ter celotnega odtoka, vhodne podatke ustrezno preračunati. Za izračun BFI to ni potrebno, saj program določi bazni odtok na podlagi digitalnega filtriranja podanih podatkov in ne po fizikalnih zakonitostih.

```

Input file = c:\docume-1\tako\mydocu-1\tade
File format = web/rdb (NWIS-W)
Base-flow output file = c:\docume-1\tako\mydocu-1\tade
Turning point output file = c:\docume-1\tako\mydocu-1\tade
Daily base flow and total flow output file = c:\docume-1\tako\mydocu-1\tade

Program Version = BFI 4.14

AVAILABLE SEPARATION METHODS:
* 1 = STANDARD Institute of Hydrology method
  (N-day avg. recession test; uses "N" and "F")
  2 = MODIFIED method
  (1-day recession constant adjusted for number of days
   between points; uses "N" and "k")

BASE-FLOW SEPARATION PARAMETERS
METHOD = 1
N       = 5
F       = .900000

=====
Base-Flow Index for gage 10009280
arso 10009280
Calendar Year  Base-Flow Index  Base Flow (acre-ft)  Total Runoff (acre-ft)  Day of Turning Point [First] [Last]
-----
1995           .373           121.           325.           16           365
1996           .295           70.            237.           1           366
1997           .286           47.            166.           1           365
1998           .377           54.            144.           1           365
1999           .484           67.            139.           1           365
2000           .139           28.            198.           1           366
2001           .443           87.            196.           1           365
2002           .475           58.            121.           1           365
2003           .375           51.            135.           1           365
2004           .299           54.            179.           1           366
2005           .233           26.            111.           1           365
2006           .352           101.           287.           1           365
2007           .295           24.            80.            1           365
2008           .291           58.            201.           1           366
2009           .195           34.            176.           1           365
2010           .348           164.           471.           1           355

Statistics for 16 Calendar years at gage 10009280
-----
MEAN          STANDARD DEVIATION          COEFFICIENT OF VARIATION
-----
BASE FLOW (AC-FT)          65.3          37.6          .576
TOTAL RUNOFF (AC-FT)      198.0          96.5          .487
BASE-FLOW INDEX           .329          .095          .289

```

Slika 23: Prikaz prve izhodne datoteke programa BFI

Druga datoteka (slika 24) vsebuje dnevne izračune baznega odtoka in celotnega odtoka. Ti podatki so podani v enakih enotah kot so podani vhodni podatki (m^3/s).

```

drnica-1 - Notepad
File Edit Format View Help
Program version = BFI 4.14

AVAILABLE SEPARATION METHODS:
* 1 = STANDARD Institute of Hydrology method
  (N-day avg. recession test; uses "N" and "F")
  2 = MODIFIED method
    (1-day recession constant adjusted for number of days
     between points; uses "N" and "k")

BASE-FLOW SEPARATION PARAMETERS
METHOD = 1
N       = 5
F       = .900000

=====
Gage 10009280
<-- Calendar -->
Year Month Day Base Flow Total Flow
(cfs) (cfs)
-----
1995 1 16 .05 .05
1995 1 17 .05 .05
1995 1 18 .06 .06
1995 1 19 .06 .07
1995 1 20 .07 .07
1995 1 21 .07 .08
1995 1 22 .08 .26
1995 1 23 .08 .35
1995 1 24 .09 .35
1995 1 25 .09 .31
1995 1 26 .10 .28
1995 1 27 .11 .44
1995 1 28 .11 .74
1995 1 29 .12 1.37
1995 1 30 .13 1.18
1995 1 31 .14 .90
1995 2 1 .15 .74
1995 2 2 .16 .64
1995 2 3 .17 .54
1995 2 4 .18 .49
1995 2 5 .19 .40
1995 2 6 .21 .31
1995 2 7 .22 .28
1995 2 8 .24 .24
1995 2 9 .23 .24
1995 2 10 .22 .24
1995 2 11 .22 .22

```

Slika 24: Prikaz druge izhodne datoteke programa BFI

4 IZRAČUN INDEKSA BAZNEGA ODTOKA ZA IZBRANA POREČJA

Na količino baznega odtoka v vodotoku vplivajo različni dejavniki, od naravnih danosti, lastnosti porečja in lastnosti vodotoka, do človeških vplivov. Pri tej analizi smo ugotavljali, kako na bazni odtok vplivajo različne lastnosti porečja.

Baznih odtokov za posamezne vodotoke ne moremo primerjati neposredno med seboj, ker nanje vpliva veliko dejavnikov. Lahko pa primerjamo med seboj BFI za posamezne vodotoke, ker je to razmerje med baznim odtokom in celotnim pretokom vodotoka ter prikazuje razmerje med tem dvema količinama.

Pri analizi vplivov lastnosti porečij na bazni odtok smo dejansko analizirali, kako različne lastnosti porečij vplivajo na velikost BFI oz. v kakšni korelaciji je BFI z lastnostmi porečij.

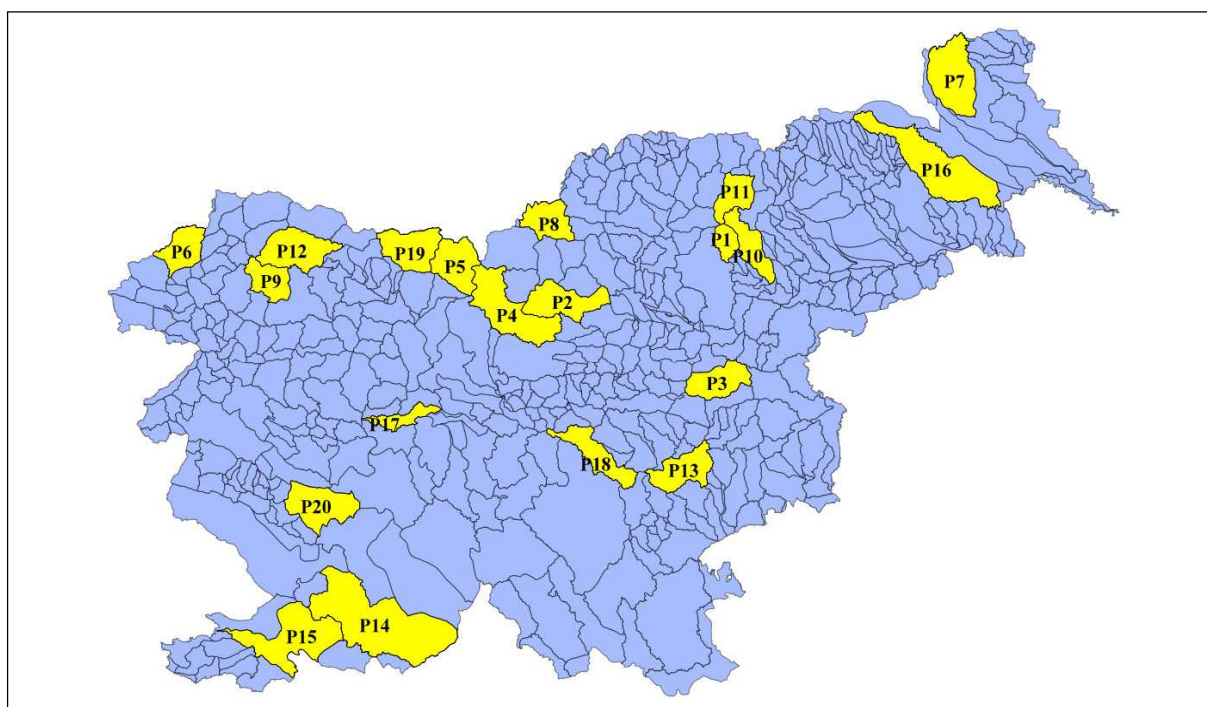
4.1 Opis obravnavanih porečij

Pri analizi je bilo uporabljenih 20 porečij v različnih delih Slovenije (slika 25). Zastopane so vse geografske regije, s čimer poskušamo zaobjeti raznolikost njihovih lastnosti. Sekundarni pogoj je bil razpoložljivost podatkov o dnevni pretoki za obdobje od leta 1971 do leta 2000, za katero je bila izdelana tudi vodna bilanca Slovenije. Za vsako porečje so določene naslednje lastnosti:

- površina (km^2),
- dolžina hidrografske mreže (km),
- gostota hidrografske mreže (km/km^2),
- naklon porečja (%),
- naklonski indeks,
- drenažni indeks,
- povprečna letna višina padavin za obdobje od leta 1971 do leta 2000 (mm),
- povprečno letno izhlapevanje za obdobje od leta 1971 do leta 2000 (mm),
- pokrovnost tal,
- hidrogeološki tip vodonosnikov,
- geološka sestava tal.

Podatki so pridobljeni iz različnih virov. Podatki o površini, povprečni letni višini padavin in povprečnem letnem izhlapevanju ter površini porečij so bili pridobljeni iz Vodne bilance Slovenije 1971-2000 (ur. Frantar P., 2008). Geološka sestava tal je bila pridobljena iz spletne aplikacije One Geology Europe. Pokrovnost tal (sloj CLC 1995) je bila pridobljena iz spletne aplikacije Geoportal (ARSO). Podatki o deležih so bili pridobljeni s pomočjo programov Quantum GIS 1.8.0-Lisboa in

FME (Save software). Hidrogeološki tipi vodonosnikov in pedološke lastnosti so bile pridobljene iz magistrske naloge Geografski informacijski sistem v hidrogeografskem proučevanju odtočnosti porečij (Uлага, 2003). Dolžina hidrogeološke mreže je bila izmerjena na sloju Hidrografija–os vodotoka (ARSO) s pomočjo programa Quantum GIS 1.7.4-Wroclaw. Povprečni naklon porečja ter maksimalne in minimalne nadmorske višine so bile izpeljane iz DMV25.



Slika 25: Prikaz obravnavanih porečij (ARSO, 2012)

4.1.1 Porečje Dravinje – P1

Reka Dravinja leži v severovzhodni Sloveniji na območju Pohorja (slika 26). Površina njenega porečja do vodomerne postaje Zreče obsega 41,43 km² in spada v porečje reke Drave. Reka Dravinja, s svojimi pritoki na tem območju, je dolga 42,256 km, gostota hidrografske mreže na njenem porečju pa je 1026 km/km². Povprečen naklon porečja je 37,09 %. Povprečne letne padavine za 30-letno obdobje, od leta 1971 do 2000, znašajo 1457 mm, količina povprečnega letnega izhlapevanja za enako obdobje, pa 686 mm. Pretežna pokrovnost tal so gozdovi, ki zavzemajo 69,96 odstotkov površine porečja ter pašniki, ki zavzemajo 26,86 odstotkov površine porečja. Pri geološki sestavi tal prevladujejo plastnate metamorfne kamnine (90,44 odstotkov). Podatki o hidrogeoloških in pedoloških značilnosti porečja niso bili pridobljeni.



Slika 26: Porečje Dravinje (Atlas okolja, 2012)

4.1.2 Porečje Drete – P2

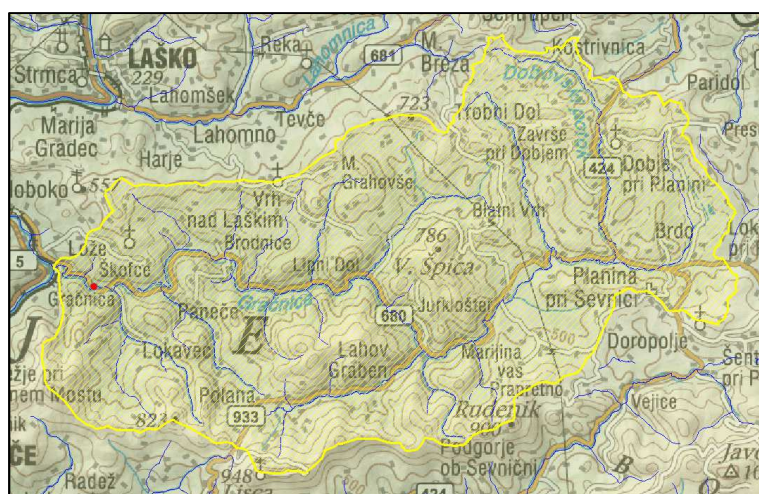
Porečje reke Drete z vodomerno postajo Kraše (slika 27) leži na vzhodnem delu Kamniško Savinjskih Alp. V njenem porečju je tudi Menina planina ter Golte. Porečje je del porečja zgornje Savinje. Površina porečja reke Drete obsega 100,84 km², njena dolžina je 40,244 km, gostota hidrografske mreže pa 0,399 km/km². Povprečen naklon porečja znaša 36,89 %. Povprečne letne padavine za obdobje od leta 1971 do 2000, znašajo 1640 mm, količina povprečnega letnega izhlapevanja pa 711 mm. Pri pokrovnosti tal na tem porečju prevladuje gozd, ki zavzema 72,02 odstotkov površine, sledijo mu mešane kmetijske površine z 17,21 odstotki površine ter pašniki z 8,15 odstotki površine. Pri geološki sestavi tal prevladuje dolomit z apnencem (42,34 odstotkov), sledijo piroklastične kamnine (18,42 odstotkov) ter apnenec s klastičnimi sedimenti (17,06 odstotkov). Podatki o hidrogeoloških in pedoloških značilnosti porečja niso bili pridobljeni.



Slika 27: Porečje Drete (Atlas okolja, 2012)

4.1.3 Porečje Gračnice – P3

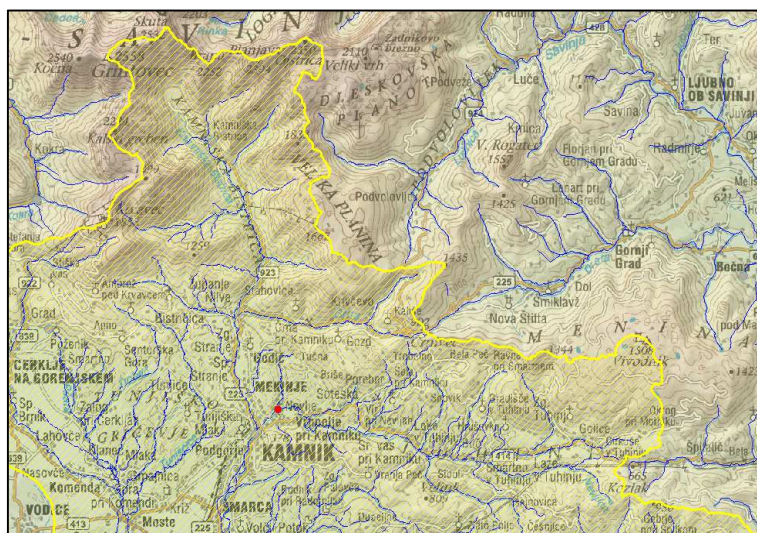
Porečje reke Gračnice z vodomerno postajo Vodiško (slika 28), leži na vzhodnem delu Posavskega hribovja, med Laškim in Radečami in je del porečja Savinje. Njegova površina meri 96,60 km². Dolžina hidrografske mreže je 26,571 km, gostota hidrografske mreže pa 0,275 km/km². Povprečen naklon porečja znaša 34,36 %. Povprečne letne padavine za obdobje od leta 1971 do 2000 znašajo 1306 mm, povprečna letna količina izhlapevanja pa 706 mm. Pri pokrovnosti tal prevladujejo gozdovi z 52,42 odstotki površine, sledijo mešane kmetijske površine z 39,22 odstotki površine ter pašniki z 8,02 odstotki površine porečja. Pri geološki sestavi tal prevladujejo klastični sedimenti s karbonati (39,72 odstotkov), apnenec s klastičnimi sedimenti (23,43 odstotkov), dolomit z apnencem (14,44 odstotkov) ter apnenec (13,03 odstotkov). Podatki o hidrogeoloških in pedoloških značilnosti porečja niso bili pridobljeni.



Slika 28: Porečje Gračnice (Atlas okolja, 2012)

4.1.4 Porečje Kamniške Bistrice – P4

Porečje Kamniške Bistrice do vodomerne postaje Kamnik 1 (slika 29), leži v osrednjem delu Kamniško Savinjskih Alp (Krvavec, Grintovec, Velika Planina), zajema pa tudi Tuhinjsko dolino z reko Nevljico. Celotna površina znaša 194,78 km² in je del porečja ljubljanske Save. Dolžina vseh vodotokov na tem območju znaša 85,05 km, gostota hidrografske mreže pa je 0,437 km/km². Višina povprečnih letnih padavin za obdobje od leta 1971 do 2000 je 1863 mm, povprečno letno izhlapevanje pa 694 mm. Povprečni naklon porečja je 49,0 %. Na območju prevladujejo gozdne površine z 62,61 odstotki površine porečja, sledijo mešane kmetijske površine z 15,5 odstotki površine ter grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo z 10,01 odstotki površine porečja. Pri hidrogeoloških tipih v porečju prevladuje kraški tip vodonosnika (78,04 odstotkov). Pri pedološki sestavi tal prevladujejo rendzine (56,05 odstotkov) ter rjave pokarbonatne prsti (32,75 odstotkov). V geološki sestavi tal prevladuje dolomit z apnencem (54,25 odstotkov), sledi apnenec s klastičnimi sedimenti (18,66 odstotkov), ter klastični sedimenti s karbonati (9,45 odstotkov).

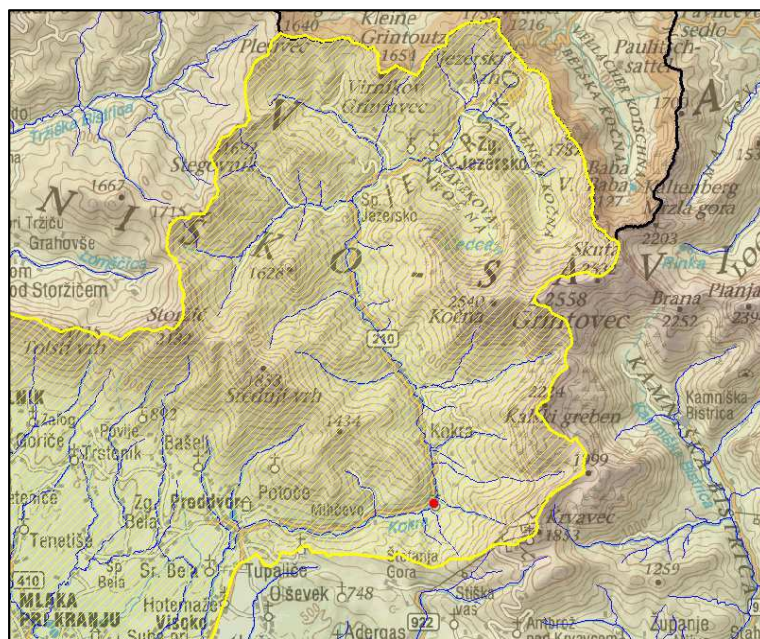


Slika 29: Porečje Kamniške Bistrice (Atlas okolja, 2012)

4.1.5 Porečje Kokre – P5

Porečje Kokre (slika 30) se nahaja zahodno od porečja Kamniške Bistrice. Območje do vodomerne postaje Kokra 1, ki je del porečja zgornje Save, obsega 112,34 km². Celotno porečje se nahaja na območju Kamniško Savinjskih Alp. Dolžina hidrografske mreže je 56,02 km, njena gostota pa 0,499 km/km². Višina povprečnih letnih padavin za obdobje 30 let (1971-2000) je 1931 mm, povprečno letno izhlapevanje pa 689 mm. Povprečni naklon porečja znaša 63,2 %. Prevladujoči tipi pokrovnosti tal so gozdne površine, ki zavzemajo 75,55 odstotkov površine porečja, ter neporasle površine, z malo ali brez vegetacije, ki zavzemajo 12,54 odstotkov površine porečja. 7,72 odstotkov površine zavzema

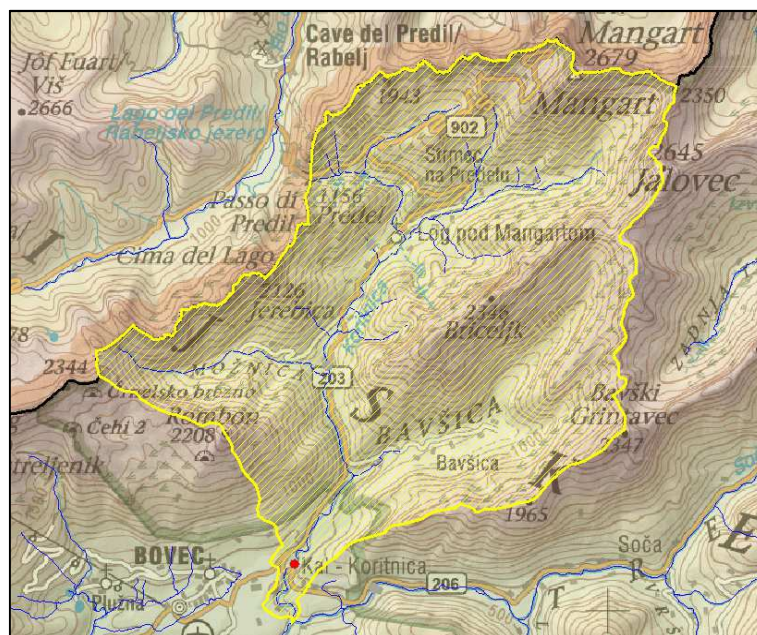
grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo. Na porečju Kokre so približno enakomerno zastopani štirje tipi vodonosnikov. Kraški tip (24,28 odstotkov), razpoklinski tip (27,16 odstotkov), medzrnski tip (25,75 odstotkov) ter mešani tip (22,81 odstotkov). Pri pedološki sestavi tal prevladujejo rendzine (56,39 odstotkov) ter distrične rjave prsti (41,95 odstotkov). Pri geološki sestavi tal je večinski dolomit z apnencem (46,66 odstotkov), sledijo klastični sedimenti s konglomeratom (17,9 odstotkov) in skrilavec s peščenjakom (10,51 odstotkov).



Slika 30: Porečje Kokre (Atlas okolja, 2012)

4.1.6 Porečje Koritnice – P6

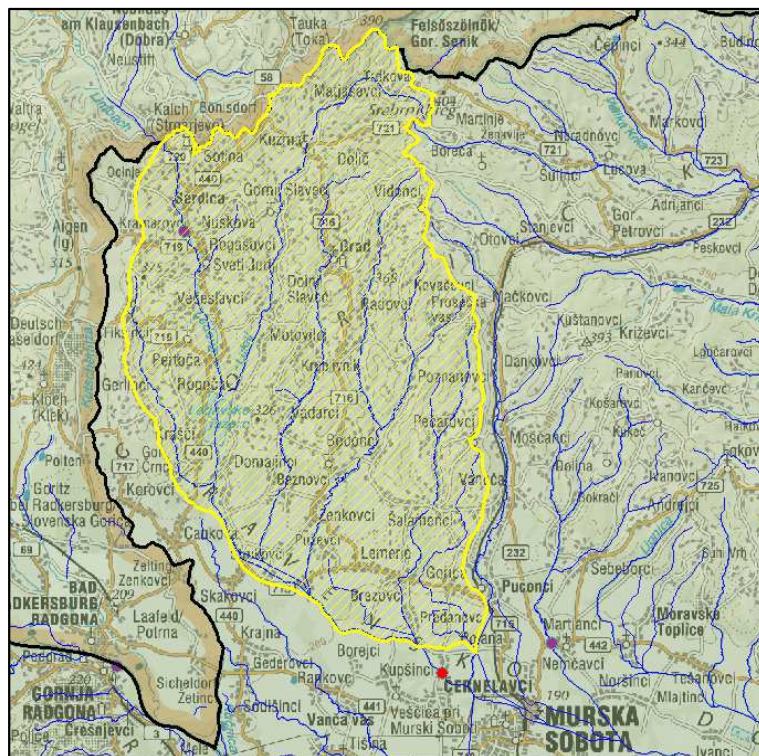
Reka Koritnica se nahaja na skrajnem severozahodu Slovenije. Njeno porečje z vodomerno postajo Kal-Koritnica leži severno od Bovca, na območju zahodnih Julijskih Alp (slika 31). Površina porečja do vodomerne postaje Kal Koritnica, ki je del porečja reke Soče, znaša 86,04 km². Dolžina hidrografske mreže na tem območju je 25,841 km, gostota hidrografske mreže pa 0,3 km/km². Višina povprečnih letnih padavin od leta 1971 do leta 2000 znaša 2769 mm, povprečna letna količina izhlapevanja pa 680 mm. Porečje je pretežno gorato, zato njegov povprečni naklon znaša 87,3 %. Tipi pokrovnosti tal, ki se večinoma pojavljajo so grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo s 40,92 odstotki površine, gozd s 34,46 odstotki površine ter neporasle površine, z malo ali brez vegetacije z 21,52 odstotki površine porečja. Na porečju so dokaj enakomerno zastopani kraški tip vodonosnikov (37,68 odstotkov), medzrnski tip vodonosnikov (33,15 odstotkov) ter razpoklinski tip vodonosnikov (28,35 odstotkov). Na celotnem porečju so distrične rjave prsti. Pri geološki zgradbi tal prevladujeta dva tipa, dolomit z apnencem (70,99 odstotkov) ter klastični sedimenti s konglomeratom (22,94 odstotkov).



Slika 31: Porečje Koritnice (Atlas okolja, 2012)

4.1.7 Porečje Ledave – P7

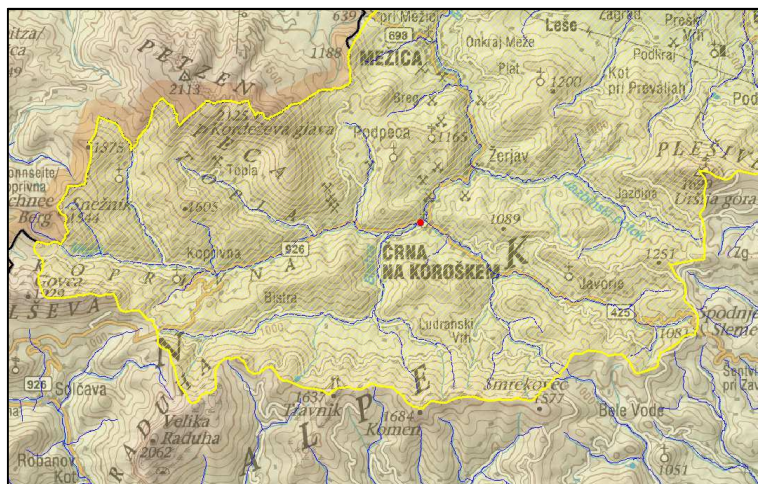
Porečje reke Ledave z vodomerno postajo Polane 1 (slika 32) je na skrajnem severovzhodu Slovenije, severozahodno od Murske Sobote, ter spada v porečje Mure. Njegova površina znaša 208,21 km², dolžina hidrografske mreže je 110,349 km, gostota hidrografske mreže pa 0,53 km/km². Povprečna letna višina padavin v obdobju tridesetih let, od leta 1971 do leta 2000, znaša 894 mm, povprečna letna količina izhlapevanja pa 691 mm. Povprečni naklon porečja znaša 11,82 %. Tipi pokrovnosti tal so v večini mešane kmetijske površine 46,69 odstotkov površine porečja, gozdne površine s 30,00 odstotki površine ter njivske površine z 19,17 odstotki površine porečja. Na porečju Ledave prevladuje medzrnski tip vodonosnikov (77,08 odstotkov), pomembnejši delež pa zavzema tudi razpoklinški tip vodonosnikov (20,52 odstotkov). Pri pedološki sestavi tal največji del zavzemajo psevdoglejne prsti (52,86 odstotkov). Pomemben delež zavzemajo še distrične rjave prsti (26,35 odstotkov) in evtrične rjave prsti (11,06 odstotkov). Tla so zgrajena predvsem iz klastičnih sedimentov s karbonatnimi sedimenti (50,58 odstotkov) ter klastičnih sedimentov s konglomeratom (46,72 odstotkov).



Slika 32: Porečje Ledave (Atlas okolja, 2012)

4.1.8 Porečje Meže – P8

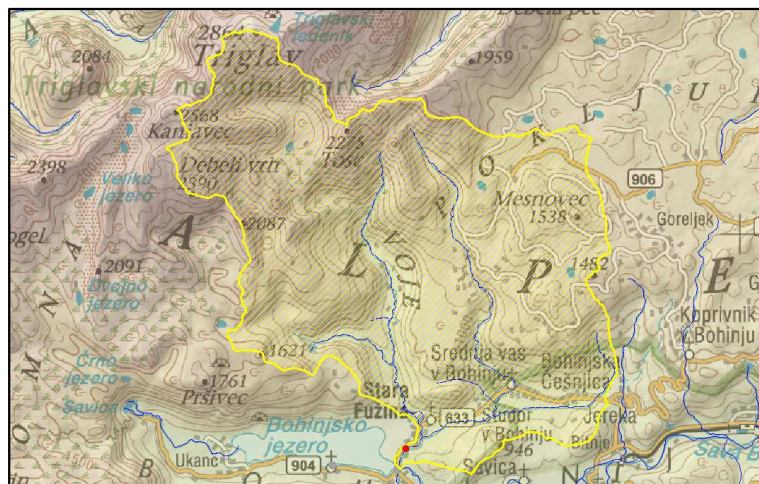
Porečje reke Meže do vodomerne postaje Črna (slika 33), se nahaja na severu Slovenije, na Koroškem in je del porečja Drave. Njegova površina je 94,77 km². Celotna hidrografska mreža je dolga 51,578 km, gostota hidrografske mreže pa je 0,544 km/km². Območje je gorato, njegov povprečen naklon je 52,59 %. Povprečne letne padavine v obdobju od leta 1971 do leta 2000, znašajo 1608 mm, povprečno letno izhlapevanje pa 692 mm. Pri pokrovnosti tal prevladuje gozdne površine, ki obsegajo 79,23 odstotkov površine porečja. Sledita še grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo z 9,77 odstotki in pašniki s 6,39 odstotki površine porečja. Geološka sestava tal na tem območju je zelo raznolika. Prevladujeta dolomit z apnencem (26,79 odstotkov) in plastnate metamorfne kamnine (21,87 odstotkov). Tla sestavljajo še granodiarit z dacitom (13,69 odstotkov), sienogranit z granodiaritom (11,91 odstotkov) ter piroklastične kamnine (10,02 odstotkov). Podatki o hidrogeoloških in pedoloških značilnostih za to porečje niso bili pridobljeni.



Slika 33: Porečje Meže (Atlas okolja, 2012)

4.1.9 Porečje Mostnice – P9

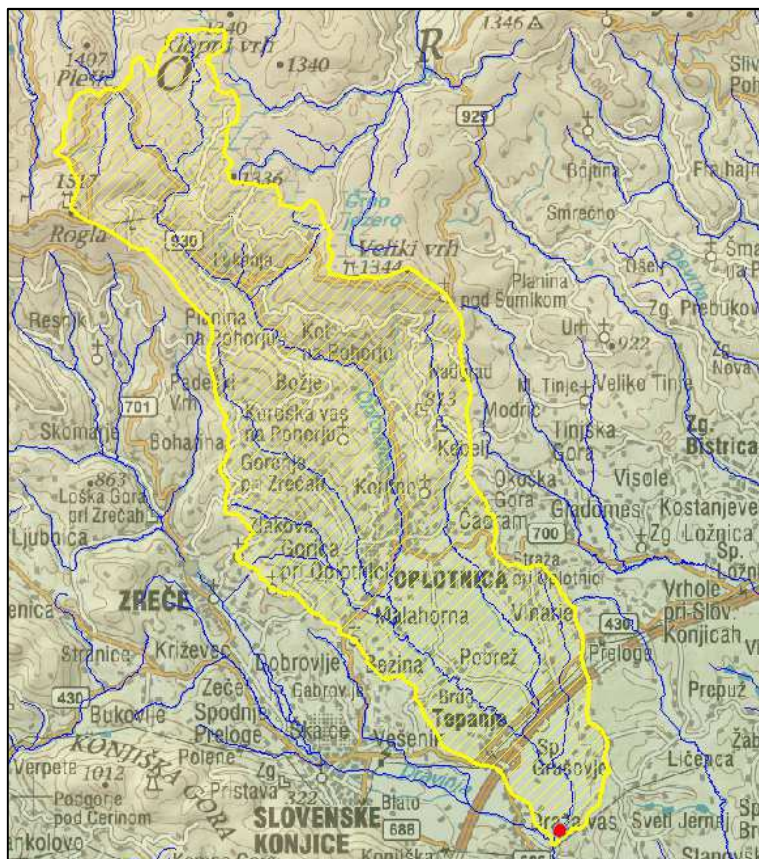
Porečje reke Mostnice z merilno postajo Stara Fužina 2 (slika 34), se nahaja v centralnem delu Julijskih Alp, severno od Bohinjskega jezera, v njegovi neposredni bližini, in je del porečja Save Bohinjke. Površina tega porečja znaša 74,26 km², dolžina hidrografske mreže meri 29,036 km, gostota hidrografske mreže pa 0,391 km/km². Povprečen naklon porečja znaša 47,67 %. Višina povprečnih letnih padavin za tridesetletno obdobje je 2955 mm, povprečna letna količina izhlapevanja pa znaša 615 mm. Večino površine porečja, 62,19 odstotkov, pokriva gozd. 21,74 odstotkov površine je neporaslih površin, z malo ali brez vegetacije, 8,41 odstotkov je kmetijskih površin. Na porečju prevladuje kraški tip vodonosnikov (70,45 odstotkov), pomembnejši del pa zavzema tudi medzrnski tip vodonosnikov (18,07 odstotkov). Pri pedološki sestavi prevladujejo rendzine (97,46 odstotkov). V sestavi tal prevladuje dolomit z apnencem (62,91 odstotkov) in klastični sedimenti s konglomeratom (22,21 odstotkov).



Slika 34: Porečje Mostnice (Atlas okolja, 2012)

4.1.10 Porečje Oplotnice – P10

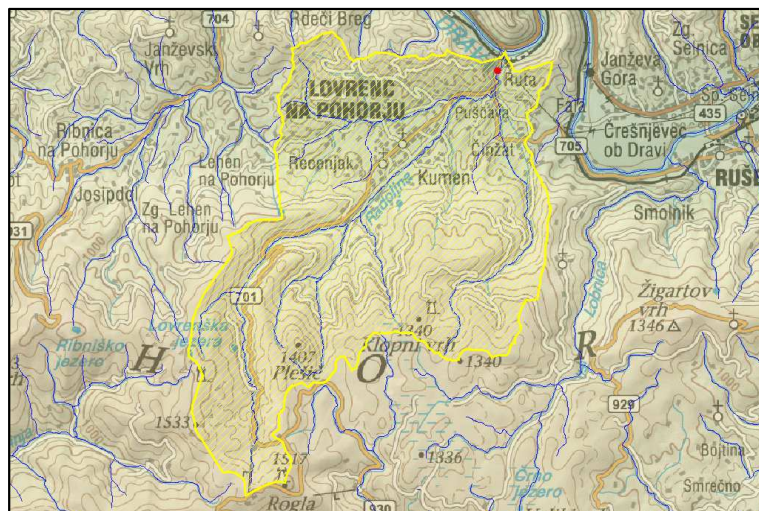
Reka Oplotnica in njeno porečje z vodomerno postajo Draža vas (slika 35), se nahajata na centralnem delu Pohorskega pogorja iz južne strani ter sta del porečja Dravinje. Porečje obsega 85,53 km², njegova hidrografska mreža je dolga 44,218 km, gostota hidrografske mreže pa je 0,517 km/km². Povprečen naklon porečja znaša 22,55 %. Na porečju je v obdobju od leta 1971 do leta 2000letno povprečno padlo 1402 mm padavin, povprečna letna količina izhlapevanja pa je bila 689 mm. Večinski tipi pokrovnosti tal na porečju so gozdne površine 59,04 odstotkov površine porečja, mešane kmetijske površine z 20,64 odstotki ter pašniki s 15,72 odstotki površine porečja. Pri hidrogeoloških značilnostih zavzema mešani tip vodonosnikov 64,25 odstotkov, medzrnski pa 35,09 odstotkov. Tla so v 60,77 odstotkih prekrita z distričnimi rjavimi prstmi, v 29,62 odstotkih pa z evtričnimi rjavimi prstmi. Tla večinoma sestavlja granodiorit z dacitom (36,13 odstotkov), plastnate metamorfne kamnine (27,9 odstotkov), blato (19,21 odstotkov) ter klastični sedimenti s karbonati (10,35 odstotkov).



Slika 35: Porečje Oplotnice (Atlas okolja, 2012)

4.1.11 Porečje Radoljne – P11

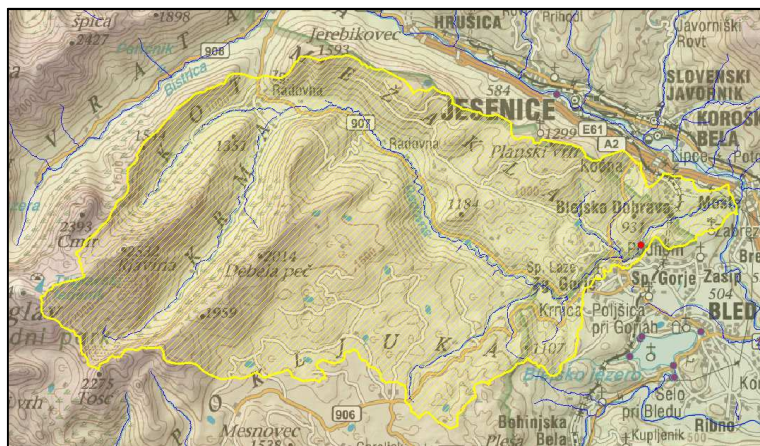
Reka Radoljna se s svojim porečjem in vodomerno postajo Ruta (slika 36) nahaja na severni strani centralnega Pohorja in se izliva v reko Dravo. Njeno porečje obsega 74,14 km². Dolžina njene hidrografske mreže je 46,73 km, gostota le te pa 0,63 km/km². Povprečen naklon porečja znaša 33,6 %. Višina povprečnih letnih padavin v obdobju od leta 1971 do leta 2000, je znašala 1490 mm, povprečna letna količina izhlapevanja v enakem obdobju je bila 716 mm. Porečje je večinoma pokrito z gozdom, ki zavzema 81,69 odstotkov površine porečja, sledijo mešane kmetijske površine z 9,08 odstotki površine in pašniki s 4,49 odstotki površine porečja. Glavni tip vodonosnikov je mešani tip (70,9 odstotkov), pojavlja pa se tudi medzrnski tip (20,1 odstotkov). Pri pedološki sestavi pa v celoti prevladujejo distrične rjave prsti (100 odstotkov). V geološki sestavi tal so prisotne predvsem plastnate metamorfne kamnine (47,02 odstotkov), granodiorit z dacitom (27 odstotkov) ter konglomerat s peščenjakom (18,15 odstotkov).



Slika 36: Porečje Radoljne (Atlas okolja, 2012)

4.1.12 Porečje Radovne – P12

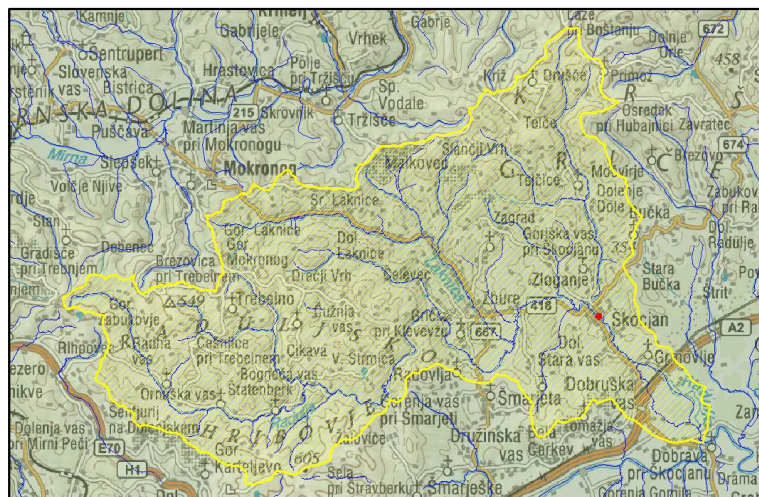
Porečje reke Radovne, do vodomerne postaje Podhom (slika 37), se nahaja na severnem delu centralnih Julijskih Alp in obsega večji del Pokljuke te Krmo. Površina porečja je 166,79 km² in je del porečja Save Dolinke. Dolžina hidrografske mreže je 33,096 km, gostota hidrografske mreže pa 0,198 km/km². Povprečen naklon porečja znaša 48,32 %. Povprečne letne padavine v obdobju od leta 1971 do leta 2000 so znašale 2329 mm, povprečna letna količina izhlapevanja pa je bila 687 mm. Na tem območju prevladujejo gozdne površine z 72,08 odstotki površine porečja ter neporasle površine, z malo ali brez vegetacije, ki zavzemajo 11,75 odstotkov površine porečja. Hidrogeološka tipa, ki prevladujeta na porečju sta kraški tip (65,86 odstotkov) in medzrnski tip (22,71 odstotkov). Pri pedološki sestavi prevladujejo rendzine (89,21 odstotkov) ter distrične rjave prsti (10, 79 odstotkov). Pri geološki sestavi tal prevladujejo dolomit z apnencem (54,54 odstotkov), klastični sedimenti konglomeratom (24,95 odstotkov) ter apnenec s klastičnimi sedimenti (17,2 odstotkov).



Slika 37: Porečje Radovne (Atlas okolja, 2012)

4.1.13 Porečje Radulje – P13

Porečje reke Radulje z vodomerno postajo Škocjan (slika 38) se nahaja severno od Novega mesta ter vzhodno od Trebnjega in zajema Raduljsko hribovje ter jugo-zahodni del Krškega gričevja. Površina porečja reke Radulje, ki spada v porečje reke Krke, znaša 107,96 km², povprečen naklon porečja pa je 25,62 %. Dolžina hidrografske mreže reke Radulje znaša 40,683 km, gostota hidrografske mreže pa 0,377 km/km². Količina povprečnih letnih padavin v obdobju od leta 1971 do leta 2000 je znašala 1247 mm, povprečna letna količina izhlapevanja pa je bila 719 mm. 52,64 odstotkov površine porečja prekriva gozd, mešanih kmetijskih površin je 37,12 odstotkov površine, pašniki pa zavzemajo 6,27 odstotkov površine porečja. Največji delež pri hidrogeoloških tipih na porečju zavzema razpokliniski tip vodonosnikov (52,22 odstotkov). Sledi medzrnski tip vodonosnikov (27,47 odstotkov). Na porečju so trije različni tipi prsti. Distrične rjave (45,93 odstotkov), rjave pokarbonatne (39,69 odstotkov) in evtrične rjave (14,38 odstotkov). Pri geološki sestavi tal prevladujejo nečisti karbonatni sedimenti z mulnjakom (38,13 odstotkov) in apnenec s klastičnimi sedimenti (29,77 odstotkov).



Slika 38: Porečje Radulje (Atlas okolja, 2012)

4.1.14 Porečje Reke – P14

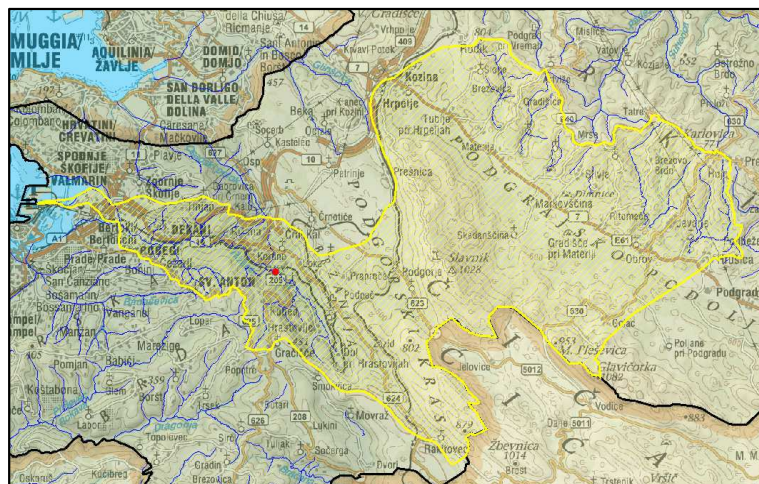
Porečje reke Reke z vodomerno postajo Cerkenikov mlin (slika 39) se nahaja v jugo-zahodnem delu Slovenije, na območju Brkinov, med Divačo in Ilirsko Bistrico. Zajema tudi del Snežnika. Velikost porečja znaša 377,89 km², povprečen naklon pa je 25,33 %. Hidrografska mreža reke Reke je dolga 110,237 km, njena gostota pa znaša 0,292 km/km². Na porečju je bila, v obdobju od leta 1971 do leta 2000, količina povprečnih letnih padavin 1677 mm, povprečno letno izhlapevanje pa 738 mm. Porečje je pretežno poraslo z gozdovi, ki zavzemajo 67,43 odstotkov površine porečja. 19,84 odstotkov porečja zasedajo mešane kmetijske površine, 9,41 odstotkov % površine pa prerašča grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo. Na porečju prevladujeta razpoklinski (45,16 odstotkov) ter kraški tip vodonosnikov (41,83 odstotkov), pojavlja pa se tudi medzrnski tip (13,01 odstotkov). Pri pedološki sestavi tal se pojavljajo distrične rjave prsti (57,43 odstotkov) in rjave pokarbonatne prsti (42,57 odstotkov). Tla večinoma sestavljajo nečisti karbonatni sedimenti s peščenjakom (44,66 odstotkov %) ter apnenec z dolomitom (36,56 odstotkov).



Slika 39: Porečje Reke (Atlas okolja, 2012)

4.1.15 Porečje Rižane – P15

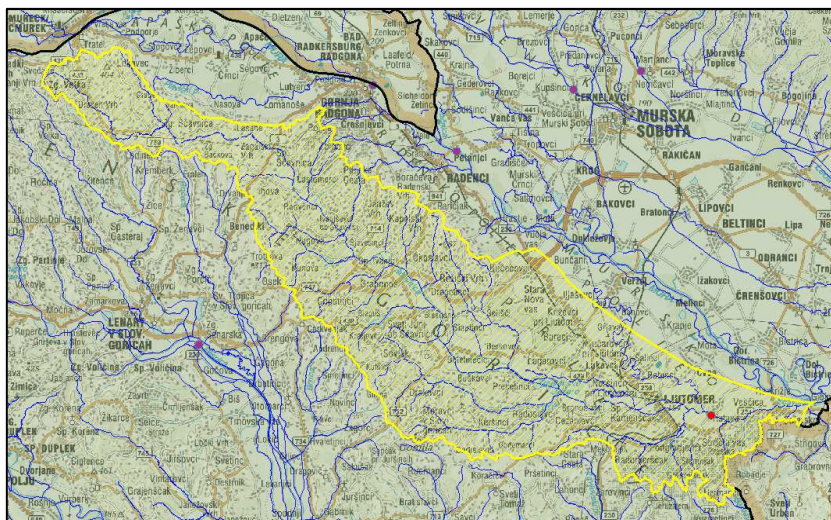
Porečje reke Rižane se nahaja v jugo-zahodni Sloveniji in je del porečja obale (slika 40). Zavzema del Brkinov, del Podgrajskega podolja in Podgrajskega krasa ter Bržanije. Površina porečja znaša 204,5 km², povprečen naklon porečja pa 21,58 %. Dolžina hidrografske mreže do vodomerne postaje Kubed 2, znaša 13,564 km, gostota hidrografske mreže pa 0,066 km/km². Količina povprečnih letnih padavin, izmerjenih v obdobju od leta 1971 do leta 2000, je znašala 1639 mm, količina povprečnega letnega izhlapevanja pa 749 mm. Porečje reke Rižane je v 58,48 odstotkih pokrito z gozdnimi površinami, 18,41 odstotkov površine zavzemajo mešane kmetijske površine, 17,25 odstotkov pa grmičevje in/ali zeliščno rastlinstvo. Hidrogeološka tipa vodonosnikov, ki na porečju prevladujeta sta kraški tip (68,84 odstotkov) in razpoklinjski tip (28,52 odstotkov). V pedološki sestavi pa so prevladujoče rjave pokarbonatne prsti (60,93 odstotkov) ter distrične rjave prsti (31,66 odstotkov). Prevladujoči pri geološki sestavi tal so dolomit z apnencem (36,9 odstotkov), nečisti karbonatni sedimenti s peščenjakom (33,37 odstotkov) ter apnenec s premogom (25,95 odstotkov).



Slika 40: Porečje Rižane (Atlas okolja, 2012)

4.1.16 Porečje Ščavnice – P16

Reka Ščavnica in njeno porečje, do vodomerne postaje Pristava (slika 41), se nahajata v vzhodni Sloveniji na območju Slovenskih Goric, zahodno od reke Mure. Porečje reke Ščavnice je del porečja spodnje Mure in obsega 272,54 km², dolžina hidrografske mreže je 186,638 km, gostota hidrografske mreže pa 0,685 km/km². Povprečen naklon porečja je 9,8 %. V obdobju od leta 1971 do leta 2000 je bila višina povprečnih letnih padavin 959 mm, povprečno letno izhlapevanje pa 691 mm. 36,75 odstotkov površine porečja zavzemajo mešane kmetijske površine, gozdovi zavzemajo 27,99 odstotkov, njivske površine pa zavzemajo 27,25 odstotkov površine porečja. Na porečju prevladuje medzrnski tip vodonosnikov (90,54 odstotkov). Pri pedološki sestavi se pojavljajo psevdoglejne prsti (38,71 odstotkov), distrične rjave prsti (22,69 odstotkov), oglejene prsti (18,94 odstotkov) ter evtrične rjave prsti (18,66 odstotkov). Tla sestavljajo dolomit z apnencem (34,88 odstotkov), skrilavec s peščenjakom (34,53 odstotkov) ter klastični sedimenti s konglomeratom (17,33 odstotkov).



Slika 41: Porečje Ščavnice (Atlas okolja, 2012)

4.1.17 Porečje Šujice – P17

Porečje Šujice z vodomerno postajo Razori (slika 42) se nahaja v osrednji Sloveniji, zahodno od Ljubljane in je del porečja Gradašnice. Njegova površina znaša 46,88 km², povprečen naklon porečja pa je 27,93 %. Hidrografska mreža Šujice je dolga 29,16 km, gostota hidrografske mreže pa je 0,622 km/km². Na porečju je bila, v obdobju od leta 1971 do leta 2000, količina povprečnih letnih padavin 1644 mm, povprečno letno izhlapevanje pa 734 mm. 59,99 odstotkov površine porečja Šujice prekriva gozd, 32,18 odstotkov pa je mešanih kmetijskih površin. Pri hidrogeološki sestavi na porečju se pojavljajo razpoklinski tip vodonosnikov (40,82 odstotkov), mešan tip vodonosnikov (27,16 odstotkov) ter medzrnski tip vodonosnikov (25,75 odstotkov). Pedološka sestava sestoji iz evtričnih rjavih prsti (44,73 odstotkov) ter oglejenih prsti (11,54 odstotkov). Pri geološki sestavi tal sta pomembnejša dolomit z apnencem (34,88 odstotkov) in skrilavec s peščenjakom (34,53 odstotkov). Klastični sedimenti s konglomeratom pa predstavljajo 17,33 odstotkov geološke podlage.



Slika 42: Porečje Šujice (Atlas okolja, 2012)

4.1.18 Porečje Temenice – P18

Reka Temenica, z vodomerno postajo Rožni vrh (slika 43), se nahaja na območju Dolenjske, severozahodno od Trebnjega. Njeno porečje znaša 80,87 km² in je del porečja reke Krke. Dolžina hidrografske mreže meri 38,901 km, gostota pa 0,481 km/km², povprečen naklon porečja je 23,02 %. Višina povprečnih letnih padavin, v obdobju od leta 1971 do leta 2000, je bila 1287 mm, povprečno letno izhlapevanje pa je znašalo 724 mm. Na porečju prevladujejo gozdovi, ki zavzemajo 52,92 odstotkov površine porečja. Mešane kmetijske površine zavzemajo 36,31 odstotkov, pašniki pa 7,49 odstotkov površine porečja. Tipi vodonosnikov, ki se pojavljajo na porečju so razpoklinski tip (45,09 odstotkov), mešani tip (25,05 odstotkov), kraški tip (19,18 odstotkov) ter medzrnski tip (10,68 odstotkov). Pri pedološki sestavi prevladujejo rjave karbonatne prsti (73,38 odstotkov), pojavljajo pa se še distrične rjave prsti (26,62 odstotkov). Pri geološki sestavi tal na porečju Temenice prevladuje dolomit z apnencem (52,78 odstotkov), sledijo pa blato (16,63 odstotkov), apnenec z dolomitom (11,79 odstotkov) in klastični sedimenti s konglomeratom (11,08 odstotkov).

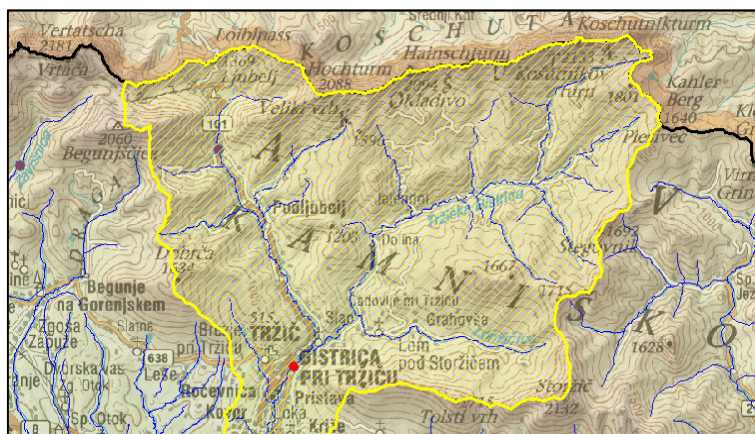


Slika 43: Porečje Temenice (Atlas okolja, 2012)

4.1.19 Porečje Tržiške Bistrice – P19

Tržiška Bistrica z vodomerno postajo Preska (slika 44) se s svojim porečjem nahaja severu Slovenije, severno in severovzhodno od Tržiča, na območju Kamniško-Savinjskih Alp in Karavank. Površina porečja, ki je del porečja zgornje Save, znaša 121 km. Hidrografska mreža je dolga 74,597 km, gostota hidrografske mreže pa je 0,617 km/km². Povprečen naklon porečja znaša 53,2 %. V obdobju med letom 1971 in letom 2000, je bila višina povprečnih letnih padavin 1951 mm, povprečno letno izhlapevanje pa 694 mm. Večina porečja je poraščena gozdom, ki zavzema 76,2 odstotkov površine.

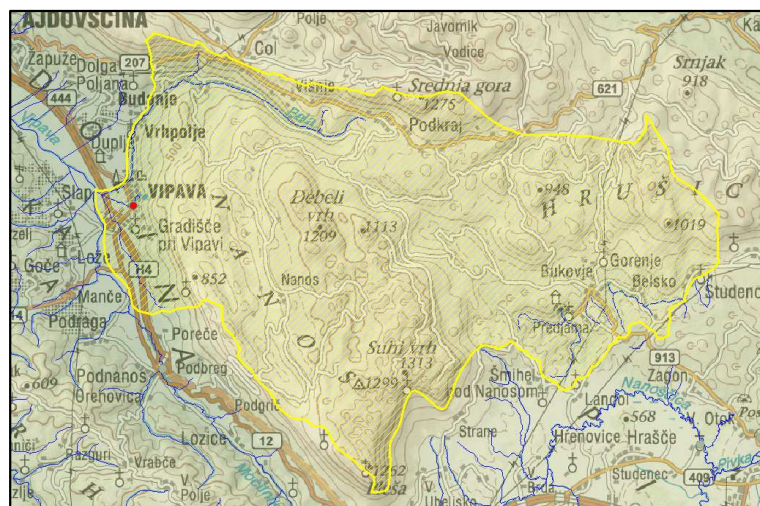
Le 9,77 odstotkov površine porečja je poraslega z grmovjem in/ali zeliščnim rastlinstvom, 8,08 odstotkov porečja pa je neporaslega, z malo ali brez vegetacije. Pri hidrogeoloških značilnostih porečja prevladuje mešani tip vodonosnikov (49,01 odstotkov), sledita kraški tip (24,6 odstotkov) in medzrnski tip (17,6 odstotkov). Na porečju se največ pojavljajo rendzine (69,71 odstotkov) pa tudi distrične rjave prsti (25,21 odstotkov). Pri geološki sestavi tal na tem območju prevladuje dolomit z apnencem (29,28 odstotkov) ter klastični sedimenti s konglomeratom (27,23 odstotkov). Pomembnejša sta še apnenec s klastičnimi sedimenti (13,18 odstotkov) ter skrilavec s peščenjakom (11,37 odstotkov).



Slika 44: Porečje Tržiške Bistrice (Atlas okolja, 2012)

4.1.20 Porečje Vipave – P20

Porečje reke Vipave z vodomerno postajo Vipava 1 (slika 45) se nahaja na območju pogorja Nanosa in Hrušice, vzhodno od mesta Vipava. Porečje je del porečja reke Soče, njegova površina pa znaša 131,9 km. Dolžina hidrografske mreže do vodomerne postaje Vipava 1 znaša 0,429 km, gostota pa 0,004 km/km². Povprečen naklon porečja znaša 27,9 %. Na tem območju je bila, v tridesetletnem obdobju med letom 1971 in letom 2000, višina povprečnih letnih padavin 2173 mm, povprečno letno izhlapevanje pa 734 mm. Glede pokrovnosti tal na območju prevladuje gozd, ki zavzema 78,83 odstotkov površine porečja. Sledijo mešane kmetijske površine, ki zavzemajo 9,26 odstotkov in grmovje in /ali zeliščno rastlinstvo, ki zavzema 8,98 odstotkov površine porečja. Na porečju prevladuje kraški tip vodonosnikov (80,85 odstotkov), pomembnejši pa je še razpoklinjski tip (17,64 odstotkov). Pri pedološki sestavi tal prevladujejo rjave pokarbovatne prsti (77,21 odstotkov) ter rendzine (16,67 odstotkov). Po geološki sestavi tla sestavlja predvsem dolomit z apnencem (80,95 odstotkov) pa tudi nečisti karbonatni sedimenti s peščenjakom (11,71 odstotkov).



Slika 45: Porečje Vipave (Atlas okolja, 2012)

4.2 Geografske lastnosti

Podatki o geografskih lastnostih porečij so zbrani v preglednici 4.

Preglednica 4: Podatki o geografskih lastnostih porečij

Porečje	Površina [km ²]	Naklon porečja [%]	Naklonski indeks [-]	Gostota hidrološke mreže [km/km ²]	Dolžina hidrološke mreže [km]	Drenažni indeks [-]
P1	41,43	37,090	0,168	1,026	42,526	6,607
P2	100,84	36,890	0,121	0,399	40,244	4,008
P3	96,60	34,360	0,081	0,275	26,571	2,704
P4	194,78	48,960	0,156	0,437	85,050	6,094
P5	112,34	63,210	0,191	0,499	56,020	5,285
P6	86,04	87,330	0,247	0,300	25,841	2,786
P7	208,21	11,820	0,015	0,530	110,349	7,647
P8	94,77	52,590	0,159	0,544	51,578	5,298
P9	74,26	47,670	0,271	0,391	29,036	3,369
P10	85,53	22,550	0,134	0,517	44,218	4,781
P11	74,14	33,600	0,145	0,630	46,730	5,427
P12	166,79	48,320	0,173	0,198	33,096	2,563
P13	107,96	25,620	0,042	0,377	40,683	3,915
P14	377,89	25,330	0,074	0,292	110,237	5,671
P15	204,5	21,580	0,075	0,066	13,564	0,949
P16	272,54	9,780	0,014	0,685	186,638	11,305
P17	46,88	27,930	0,086	0,622	29,160	4,259
P18	80,87	23,020	0,057	0,481	38,901	4,326
P19	121,00	53,200	0,148	0,617	74,597	6,782
P20	131,90	27,860	0,106	0,004	0,492	0,043

Površine obravnavanih porečij zavzemajo velikosti od najmanjšega porečja Dravinje, ki meri 41,43 km², do največjega porečja reke Reke, ki meri 377,89 km². Povprečna površina vseh porečij znaša 133,96 km².

Najmanjši naklon ima porečje reke Ščavnice in sicer 9,8 odstotkov, največjega pa porečje reke Koritnice s 87,3 odstotki. Povprečni naklon vseh obravnavanih porečij je 36,94 odstotkov.

Brezdimenzijski naklonski indeks je definiran kot:

$$NI = H/\sqrt{A}, \quad (4.1)$$

kjer je H razlika med najvišji in najnižjo nadmorsko višino, A pa površina porečja. Naklonski indeks nakazuje mero strmosti porečja (Lacey, 1996). Povprečna vrednost naklonskega indeksa znaša 0,123, najmanjša vrednost znaša 0,014 in sicer na porečju Ščavnice, največja vrednost pa je 0,271 na porečju Mostnice.

Dolžina hidrografske mreže je najkrajša na porečju Vipave, kjer meri le 0,492 km, najdaljšo hidrografsko mrežo pa ima reka Ščavnica in sicer 186,639 km. Povprečna dolžina hidrografske mreže znaša 54,277 km.

Gostota hidrografske mreže je najmanjša na porečju reke Vipave, kjer znaša 0,004 km/km², največja pa na porečju Dravinje, kjer znaša 1,026 km/km². Povprečna gostota hidrografske mreže vseh obravnavanih porečij meri 0,444 km/km².

Brezdimenzijski drenažni indeks je definiran kot:

$$DI = L/\sqrt{A}, \quad (4.2)$$

kjer je L dolžina hidrografske mreže, A pa površina porečja. Drenažni indeks nakazuje stopnjo razčlenjenosti porečja (Lacey, 1996). Povprečna vrednost drenažnega indeksa znaša 4,691, najmanjša vrednost je na porečju Vipave in znaša 0,043, največja vrednost pa je na porečju Ščavnice in sicer 11,305.

4.3 Klimatske lastnosti

Podatki o klimatskih lastnostih so zbrani v preglednici 5.

Preglednica 5: Podatki o padavinah, izhlapevanju ter količniku padavine/izhlapevanje

Porečje	Padavine [mm]	Izhlapevanje [mm]	Padavine/Izhlapevanje [-]
P1	1457	686	2,12
P2	1641	711	2,31
P3	1306	703	1,86
P4	1863	694	2,68
P5	1931	689	2,80
P6	2769	680	4,07
P7	894	691	1,29
P8	1608	692	2,32
P9	2955	651	4,54
P10	1402	689	2,03
P11	1490	716	2,08
P12	2329	687	3,39
P13	1247	719	1,73
P14	1677	738	2,27
P15	1639	749	2,19
P16	959	691	1,39
P17	1644	734	2,24
P18	1287	724	1,78
P19	1951	694	2,81
P20	2173	743	2,92

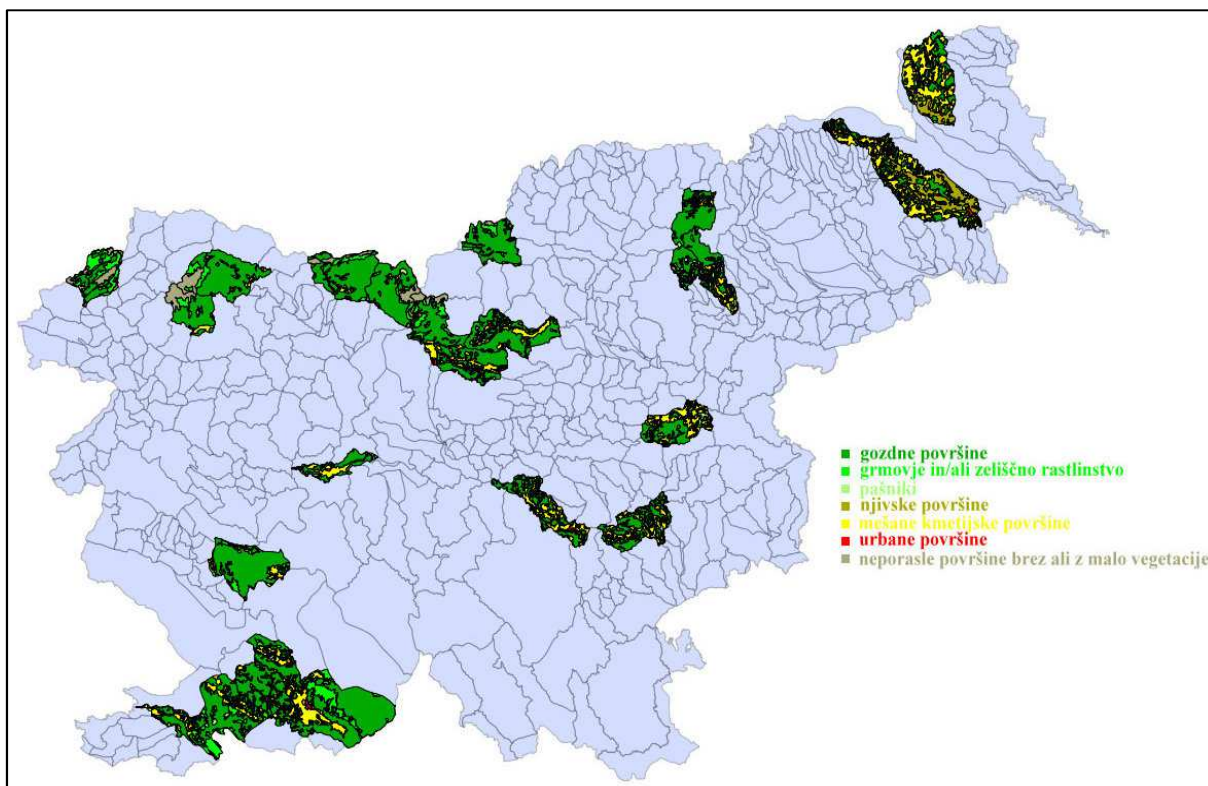
Klimatske lastosti obravnavanih porečij se med seboj precej razlikujejo. S tem namenom so bila tudi izbrana porečja. Povprečna količina padavin znaša 1711 mm. Največ padavin v obdobju 30 let je bilo na porečju Mostnice, kjer je padlo 2955 mm padavin, najmanj pa na porečju reke Ledave, kjer je padlo letno povprečno 894 mm.

Pri povprečnem letnem izhlapevanju ni tolikšnega razpona. Povprečno izhlapevanje za vsa obravnavana porečja znaša 704 mm. Največje izhlapevanja je bilo na porečju Rižane in sicer 749 mm, najmanjše pa na porečju Mostnice in sicer 651 mm.

Razmerje oz. količnik med padavinami in izhlapevanjem se giblje od minimalnega 1,29 za porečje Ledave, do maksimalnega 4,54 za porečje Mostnice. Povprečje količnika padavine/izhlapevanje znaša 2,44.

4.4 Pokrovnost tal

Podatki o pokrovnosti tal so zbrani v preglednici 6 in prikazani na sliki 46.



Slika 46: Pokrovnost tal na obravnavanih porečjih

Preglednica 6: Podatki o pokrovnosti tal

Porečje	Delež površine [%]							
	G	M	P	U	G/Z	N	NP	Ostalo
P1	69,96	2,40	26,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,78
P2	72,02	17,21	8,15	0,37	2,24	0,0	0,0	0,01
P3	52,42	39,22	8,02	0,07	0,27	0,0	0,0	0,0
P4	62,61	15,50	2,81	0,77	10,01	0,0	8,03	0,27
P5	75,55	1,26	2,92	0,0	7,72	0,0	12,54	0,01
P6	34,46	2,25	0,79	0,0	40,92	0,06	21,52	0,0
P7	30,00	46,69	2,36	0,91	0,22	19,17	0,00	0,65
P8	79,23	2,44	6,39	0,26	9,77	0,00	1,91	0,0
P9	62,19	8,41	1,22	0,24	6,20	0,00	21,74	0,0
P10	59,04	20,64	15,72	1,12	1,20	1,40	0,00	0,88
P11	81,68	9,08	4,49	1,60	1,40	0,57	0,00	1,18

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 6

P12	72,08	3,01	3,29	0,39	0,0	0,00	11,75	9,48
P13	52,64	37,12	6,27	0,01	0,0	2,08	0,0	1,88
P14	67,43	19,84	1,83	0,74	9,41	0,21	0,10	0,44
P15	58,48	18,41	4,69	0,67	17,25	0,14	0,02	0,34
P16	27,99	36,75	2,13	1,75	0,0	27,25	0,0	4,13
P17	59,99	32,18	6,28	1,55	0,0	0,00	0,0	0,0
P18	52,92	36,31	7,49	1,14	0,0	1,83	0,0	0,31
P19	76,20	4,34	0,87	0,73	9,77	0,0	8,08	0,01
P20	78,83	9,26	1,71	0,56	8,98	0,25	0,41	0,0

Kjer pomeni:

G – gozdne površine,

MKP – mešane kmetijske površine,

P – pašniki,

U – urbane površine,

G/Z – grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo,

N – njivske površine,

NP – neporasle površine brez ali z malo vegetacije.

Na sliki 46 je prikazana pokrovnost tal na obravnavanih porečjih. Gozdne površine, mešane kmetijske površine ter pašniki se pojavljajo na vseh porečjih. Povprečni delež gozdnih površin znaša 61,29 odstotkov. Največji delež gozdnih površin ima porečje Radoljne in sicer 81,68 odstotkov, najmanjši delež pa porečje Ščavnice in sicer 27,99 odstotkov. Srednja vrednost deleža gozdov je 61,29 odstotkov, standardni odklon pa znaša 16,0 odstotkov.

Povprečni delež mešanih kmetijskih površin znaša 18,12 odstotkov. Delež mešanih kmetijskih površin je največji na porečju Ledave in sicer 46,69 odstotkov, najmanjši pa na porečju Kokre, kjer znaša 1,26 odstotka.

Deleži pašnikov so povprečno nizki in sicer 5,71 odstotkov. Največji delež je na porečju Dravinje in sicer 26,86 odstotkov, najmanjši pa na porečju Koritnice in sicer 0,79 odstotka.

Urbane površine, grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo, njivske površine ter neporasle površine brez ali z malo vegetacije se ne pojavljajo na vseh porečjih. Urbane površine se pojavljajo na 17 porečjih. Njihov delež je povprečno 0,76 odstotka. Največji delež je na porečju Ščavnice in sicer 1,75 odstotka, najmanjši pa na porečju Radulje in sicer 0,01 odstotka.

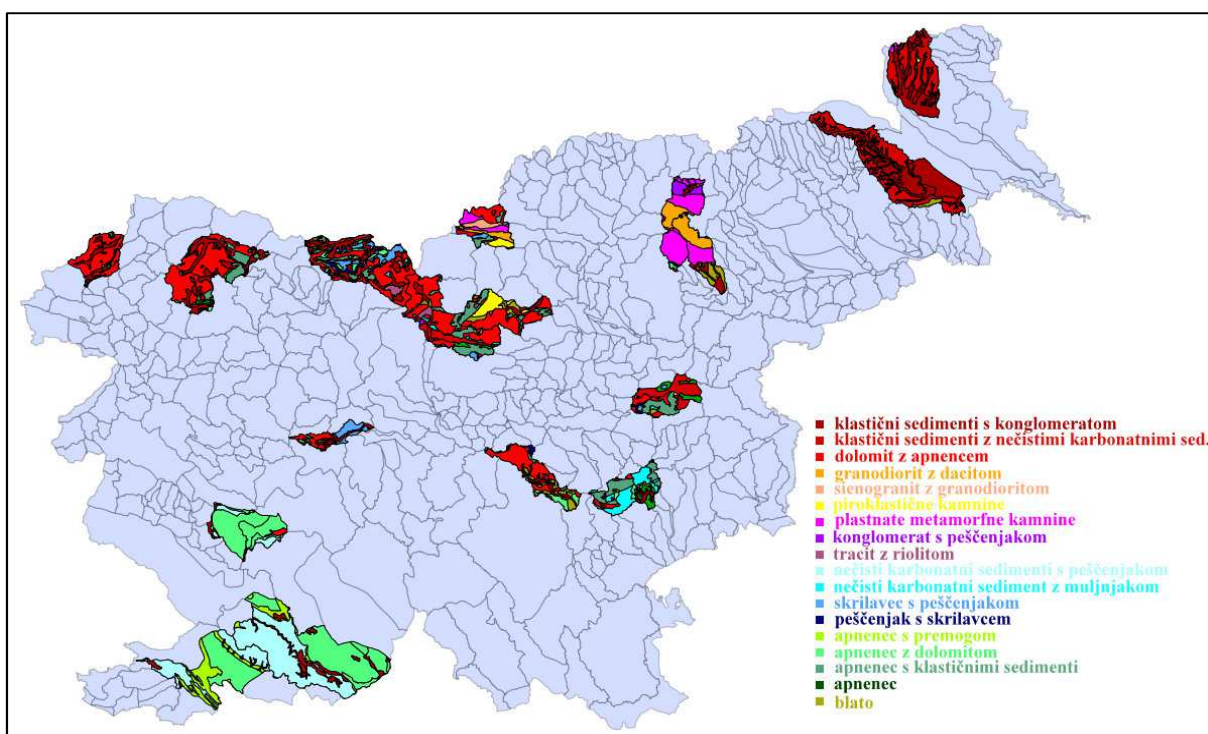
Površine, poraščene z grmovjem in/ali zeliščnim rastlinstvom, se pojavljajo na 14 porečjih. Njihov delež je povprečno 8,95 odstotkov. Največji delež je na porečju Koritnice in sicer 40,92 odstotkov, najmanjši pa na porečju Ledave in sicer 0,22 odstotka.

Njivske površine se pojavljajo na 10 porečjih, njihov povprečni delež znaša 5,30 odstotkov. Največji delež je na porečju Ščavnice in sicer 27,25 odstotkov, najmanjši pa na porečju Koritnice in sicer 0,06 odstotkov.

Neporasle površine brez ali z malo vegetacije se pojavljajo na 10 porečjih, njihov povprečni delež znaša 8,61 odstotkov. Največji delež je na porečju Mostnice in sicer 21,74 odstotkov, najmanjši pa na porečju Rižane in sicer 0,02 odstotka.

4.5 Geološka sestava tal

Podatki o geološki sestavi tal so zbrani v preglednici 7 in prikazani na sliki 47.



Slika 47: Geološka sestava tal na obravnavanih porečjih

Preglednica 7: Podatki o geološki sestavi tal

Porečje	Delež	kamnine [%]																		
		D	K1	A4	K2	A2	A1	A3	SP	PS	GD	SG	PMK	TR	KP	B	NKM	NKP	PK	Ostalo
P1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,44	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,56
P2	42,34	5,57	17,06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,19	0,0	5,33	0,0	0,0	18,42	6,09
P3	14,44	0,0	23,43	39,72	0,0	13,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,38	
P4	54,25	5,01	18,66	9,45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,63	
P5	46,66	17,9	6,29	0,0	0,0	0,0	0,0	10,51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,84	0,0	0,0	0,0	0,0	9,8	
P6	70,99	22,94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,07	
P7	0,0	46,72	0,0	50,58	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	
P8	26,79	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,69	11,91	21,87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,02	15,72	
P9	62,91	22,21	6,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,83	
P10	0,0	15,58	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,13	0,0	27,9	0,0	0,0	0,0	19,21	0,0	0,0	1,18	
P11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,00	0,0	47,02	0,0	0,0	18,15	0,0	0,0	0,0	7,83	
P12	54,54	24,95	17,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,31	
P13	7,13	6,8	29,77	0,0	0,0	0,0	9,99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,13	0,0	8,18	
P14	0,0	6,25	0,0	0,0	36,56	0,0	0,0	5,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,66	7,51	
P15	36,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,37	3,78	
P16	34,88	17,33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,53	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,26	
P17	34,88	17,33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,53	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,26	
P18	52,78	11,08	0,0	0,0	11,79	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,63	0,0	0,0	7,72	
P19	29,28	27,23	13,18	0,0	9,98	0,0	0,0	11,37	6,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,23	
P20	80,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,71	0,0	7,34	

Kjer je:

A1 – apnenec
A2 – apnenec z dolomitom
A3 – apnenec s premogom
A4 – apnenec s klastičnimi sedimenti
B – blato
D – dolomit z apnencem
GD – granodiorit z dacitom
K1 – klastični sedimenti s konglomeratom
K2 – klastični sedimenti z nečistimi karbonatnimi sedimenti
KP – konglomerat s peščenjakom
NKM – nečisti karbonatni sediment z muljnjakom
NKP – nečisti karbonatni sedimenti s peščenjakom
PK – piroklastične kamnine
PMK – plastnate metamorfne kamnine
PS – peščenjak s skrilavcem
SG – sienogranit z granodioritom
SP – skrilavec s peščenjakom
TR – trazit z riolitom

Pri geološki sestavi tal (slika 47) se noben tip kamnine ne pojavlja na vseh porečjih. Največkrat je zastopan dolomit z apnencem, ki se pojavi na 15 porečjih. Sledijo mu klastični sedimenti s konglomeratom, ki se pojavljajo na 14 porečjih ter apnenec s klastičnimi sedimenti, ki se pojavlja na 8 porečjih. Ostali tipi se pojavljajo na štirih oz. manj kot štirih porečjih.

Povprečen delež dolomita z apnencem je 43,31 odstotkov. Največji delež je na porečju Vipave in sicer 80,95 odstotkov, najmanjši pa na porečju Radulje in sicer 7,13 odstotkov.

Povprečni delež klastičnih sedimentov s konglomeratom znaša 17,64 odstotkov. Največji delež je na porečju Ledave in sicer 46,72 odstotkov, najmanjši pa na porečju Kamniške Bistrice in sicer 5,01 odstotkov.

Povprečni delež apnenca s klastičnimi sedimenti znaša 16,46 odstotkov. Največji delež je na porečju Radulje in sicer 29,77 odstotkov, najmanjši pa na porečju Mostnice in sicer 6,05 odstotkov.

Pomembnejši tipi kemnin, ki pa se ne pojavljajo zelo pogosto (na 4 ali manj porečjih), so še: plastnate metamorfne kamnine, ki zavzemajo na porečju Dravinje 90,44 odstotni delež, na porečju Radoljne pa 47,02 odstotni delež, in klastični sedimenti z nečistimi karbonatnimi sedimenti, ki zavzemajo 50,58 odstotni delež na porečju Ledave. Med tipi kamnin, ki zavzemajo med 50 in 25 odstotnim deležem so: nečisti karbonatni sedimenti s peščenjakom, ki zavzemajo 44,66 odstotni delež na porečju Reke, klastični sedimenti s karbonati, ki zavzemajo 39,72 odstotni delež na porečju Gračnice, nečisti karbonatni sedimenti s muljnjakom, ki zavzemajo 38,13 odstotni delež na porečju Radulje, apnenec z dolomitom, ki zavzema 36,56 odstotni delež na porečju Reke, granodiorit z dacitom, ki zavzema 36,13 odstotni delež na porečju Oplotnice, skrilavec s peščenjakom, ki zavzema 34,53 odstotni delež na porečju Šujice ter apnenec s premogom, ki zavzema 25,95 odstotni delež na porečju Rižane.

Ostali tipi zavzemajo deleže, ki so manjši od 20 odstotkov.

4.6 Hidrogeološka sestava tal

Preglednica 8: Podatki o deležih hidrogeoloških tipov vodonosnikov

Porečje	Delež tipa vodonosnika [%]			
	mešani	razpoklinski	medzrnski	kraški
P1	/	/	/	/
P2	/	/	/	/
P3	/	/	/	/
P4	9,42	5,47	7,07	78,04
P5	22,81	27,16	25,75	24,28
P6	0,82	28,35	33,15	37,68
P7	2,41	20,52	77,08	0,0
P8	/	/	/	/
P9	4,13	7,35	18,07	70,45
P10	64,25	0,66	35,09	0,0
P11	79,90	0,0	20,10	0,0
P12	1,80	9,62	22,71	65,86
P13	8,46	52,22	27,47	11,86
P14	0,0	45,16	13,01	41,83
P15	0,0	28,52	2,64	68,84
P16	0,70	8,76	90,54	0,0
P17	27,16	40,82	25,67	6,35
P18	25,05	45,09	10,68	19,18
P19	49,01	8,79	17,60	24,60
P20	0,0	17,64	1,51	80,85

Podatki o hidrogeološki sestavi tal (preglednica 8) so bili na razpolago le za 16 porečij, za porečja Meže, Dravinje, Drete in Gračnice pa podatkov ni bilo.

Medzrnski tip vodonosnikov se pojavlja v vseh 16 obravnavanih porečjih. Povprečen delež medzrnskega tipa znaša 26,8 odstotkov. Največji delež je na porečju Ščavnice in sicer 90,54 odstotkov, najmanjši delež pa na porečju Vipave in sicer 1,51 odstotkov.

Razpoklinski tip vodonosnikov se pojavlja na 15 porečjih. Povprečen delež razpoklinskega tipa znaša 23,1 odstotkov. Največji delež je na porečju Radulje in znaša 52,22 odstotkov, najmanjši pa na porečju Oplotnice in sicer 0,66 odstotka.

Mešani tip vodonosnikov se pojavlja na 13 porečjih in zavzema povprečno 22,8 odstotni delež. Največji delež je na porečju Radoljne in sicer 79,9 odstotkov, najmanjši pa na porečju Ščavnice in sicer 0,7 odstotka.

Kraški tip vodonosnikov se pojavlja na 12 porečjih in zavzema povprečno 44,2 odstotkov. Največji delež zavzema na porečju Vipave in sicer 80,85 odstotkov, najmanjšega pa na porečju Šujice in sicer 6,35 odstotkov.

4.7 Pedološka sestava tal

Preglednica 9: Podatki o pedološki sestavi tal

Porečje	Delež prsti [%]					
	Psevdo oglejene	Oglejene	Rjave pokarbonatne	Rendzine	Distrične rjave	Evtrične rjave
P1	/	/	/	/	/	/
P2	/	/	/	/	/	/
P3	/	/	/	/	/	/
P4	0,0	0,0	32,75	56,05	4,05	7,15
P5	0,0	0,0	0,0	53,39	41,95	4,67
P6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	0,0
P7	52,86	9,53	0,0	0,0	26,35	11,06
P8	/	/	/	/	/	/
P9	0,0	0,0	0,0	97,46	2,54	0,0
P10	9,61	0,0	0,0	0,0	60,77	29,62
P11	0,0	0,0	0,0	0,0	100,00	0,0
P12	0,0	0,0	0,0	89,21	10,79	0,0
P13	0,0	0,0	39,69	0,0	45,93	14,38
P14	0,0	0,0	42,57	0,0	57,43	0,0
P15	0,0	0,0	60,93	0,0	31,66	7,41
P16	38,71	18,94	0,0	0,0	22,69	18,66
P17	0,0	11,54	0,0	0,0	43,73	44,73
P18	0,0	0,0	73,38	0,0	26,62	0,0
P19	0,0	0,0	0,0	69,71	25,21	5,08
P20	0,0	0,0	77,21	16,67	4,47	1,65

Podatki o pedološki sestavi tal (preglednica 9) so bili na razpolago le za 16 porečij, za porečja Meže, Dravinje, Drete in Gračnice podatkov ni bilo.

Distrične rjave prsti se pojavljajo na vseh 16 obravnavanih porečjih. Njihov povprečni delež znaša 37,76 odstotkov. Največji delež zavzemajo na porečjih Radoljne in Koritnice in sicer 100 odstotkov, najmanjši delež pa na porečju Mostnice in sicer 2,54 odstotkov.

Drugi tip po pojavnosti so evtrične rjave prsti, ki se pojavljajo na 10 porečjih. Njihov povprečni delež znaša 12,03 odstotkov. Največji delež zavzemajo na porečju Šujice in sicer 44,73 odstotkov, najmanjši delež pa na porečju Vipave in sicer 1,65 odstotkov.

Rendzine se pojavljajo na 6 porečjih. Njihov povprečni delež znaša 23,91 odstotkov. Največji delež zavzemajo na porečju Mostnice in sicer 97,36 odstotkov, najmanjšega pa na porečju Koritnice in sicer 16,67 odstotkov.

Rjave pokarbonatne prsti se pojavljajo na 6 porečjih in povprečno zavzemajo 63,75 odstotni delež. Največji delež zavzemajo na porečju Vipave in sicer 77,21 odstotkov, najmanjšega pa na porečju Kamniške Bistrice in sicer 32,75 odstotkov.

Psevdoglejene prsti se pojavljajo na 3 porečjih. Njihov povprečni delež znaša 33,73 odstotkov. Največji delež zavzemajo na porečju Ledave in sicer 52,86 odstotkov, najmanjšega pa na porečju Oplotnice in sicer 9,61 odstotkov.

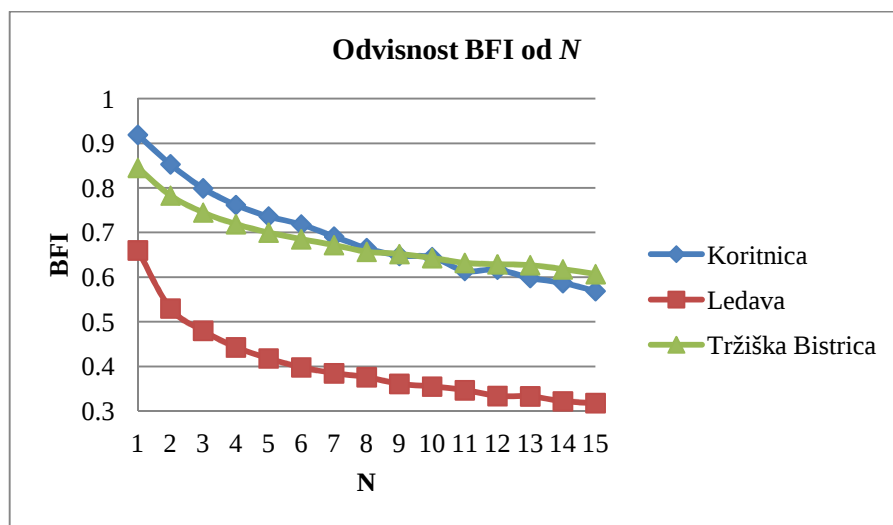
Oglejene prsti se pojavljajo na 3 porečjih in povprečno zavzemajo 13,34 odstotni delež. Največji delež zavzemajo na porečju Ščavnice in sicer 18,94 odstotkov, najmanjšega pa na porečju Ledave in sicer 9,53 odstotkov.

4.8 Izračun indeksa baznega odtoka

Za izračun BFI so bili uporabljeni podatki o dnevni pretokih izbranih rek na izbranih vodomernih postajah za obdobje 26 let od leta 1975 do leta 2000. Razlog za tako izbiro časovnega intervala je predvsem razpoložljivost podatkov o dnevni pretokih ter ujemanje z obdobjem od leta 1971 do leta 2000, v katerem je bila izvedena vodna bilanca Slovenije. Podatki o dnevni pretokih so bili pridobljeni v Arhivu površinskih voda ARSO (ARSO, 2012).

4.8.1 Določitev parametrov N in f

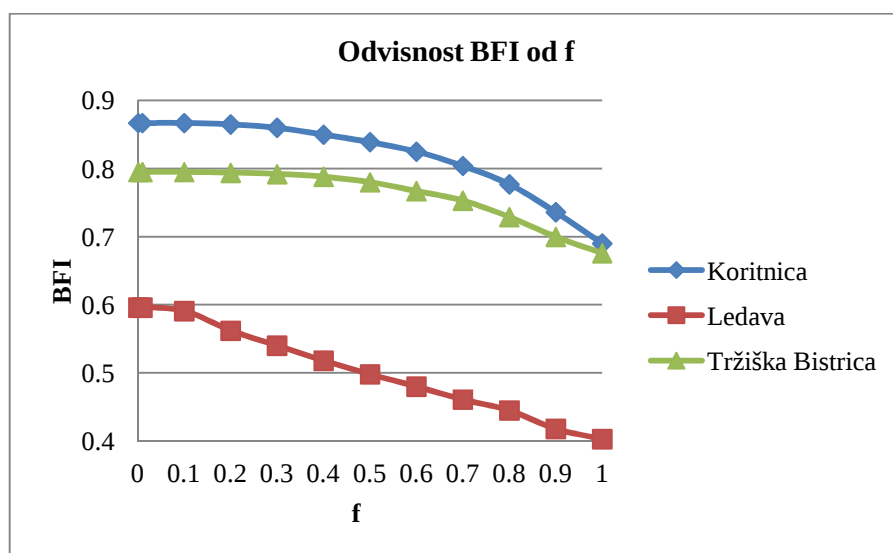
Za tri porečja, Koritnica (2769 mm), Ledava (894 mm) in Tržiška Bistrica (1951 mm), so bili narejeni tudi poskusni izračuni, pri katerih smo spreminjali parametra N in f . Parameter N , to je velikost intervala na katerega so razdeljeni podatki, je zavzemal vrednosti od 1 do 10, pri nespremenjenem $f = 0,9$.



Slika 48: Grafikon odvisnosti BFI od spreminjanja parametra N

Iz grafa odvisnosti BFI od N (slika 48) je razvidno, kako se BFI spreminja glede na spreminjanje velikosti intervala. Vidimo, da se od vrednosti $N > 5$ naklon grafa bistveno ne spreminja. Iz tega razloga je bil pri vseh izračunih izbran 5-dnevni interval.

Parameter f , to je prevojni faktor, je zavzemal vrednosti od 0,001 do 0,01 nato pa od 0,1 do 1,0 v korakih velikosti 0,1. Vrednost $N = 5$ pa je ostala nespremenjena.



Slika 49: Grafikon odvisnosti BFI od spreminjanja parametra f

Iz grafa spreminjanju BFI glede na spreminjane f (slika 49) opazimo, da spreminjanje parametra f bistveno manj vpliva na velikost BFI kot parameter N . V izračunih smo uporabili $f = 0,9$, ki je privzet tudi pri standardni metodi.

4.8.2 Izračunane vrednosti BFI

S programom BFI for Windows smo izračunali BFI za posamezna porečja za obdobje 1975-2000. Rezultati so prikazani v preglednici 10.

Preglednica 10: Izračunani BFI za izbrana porečja

Porečje	Reka	Vodomerna postaja	BFI (srednja vrednost)
P1	Dravinja	Zreče	0,686
P2	Dreta	Kraše	0,461
P3	Gračnica	Vodiško	0,434
P4	Kamniška Bistrica	Kamnik 1	0,626
P5	Kokra	Kokra 1	0,624
P6	Koritnica	Kal-Koritnica	0,736
P7	Ledava	Polane 1	0,418
P8	Meža	Črna	0,620
P9	Mostnica	Stara fužina 2	0,355
P10	Oplotnica	Draž vas	0,544
P11	Radoljna	Ruta	0,646
P12	Radovna	Podhom	0,611
P13	Radulja	Škocjan	0,418
P14	Reka	Cerkvenikov mlin	0,318
P15	Rižana	Kubed 2	0,284
P16	Ščavnica	Pristava	0,442
P17	Šujica	Razori	0,449
P18	Temenica	Rožni vrh	0,565
P19	Tržiška Bistrica	Preska	0,700
P20	Vipava	Vipava 1	0,403

Največjo vrednost BFI za obravnavano obdobje smo dobili za porečje Koritnice in znaša 0,736, najmanjšo vrednost pa za porečje Rižane in sicer 0,284. Srednja vrednost izračunanih BFI je 0,517, standardni odklon pa 0,135. Janža (2006) je v analizi 25 porečij Slovenije, za obdobje od leta 1990 do leta 2000, dobil podobne vrednosti in sicer za srednjo vrednost BFI 0,555, za standardni odklon pa 0,12. V naši analizi je devet porečij, ki so zajeta tudi v Janževi analizi. Ta porečja so: porečje Dravinje, Drete, Gračnice, Ledave, Oplotnice, Radoljne, Radulje, Radovne in porečje Vipave. Vrednosti BFI za teh devet porečij so v naši analizi povprečno nekoliko nižje (za 16 odstotkov) kot pri Janži (2006). Povprečna vrednost naših BFI znaša 0,513, povprečna vrednost BFI v Janževi analizi pa 0,593. Pri našem izračunu BFI je bila uporabljena metoda lokalnega minimuma, prav tako kot pri

Janži (2006). Razlog za razlike bi lahko bil predvsem v izbiri daljšega časovnega obdobja za katerega se je izvedel izračun ter uporaba drugega programa oz. drugačnih parametrov.

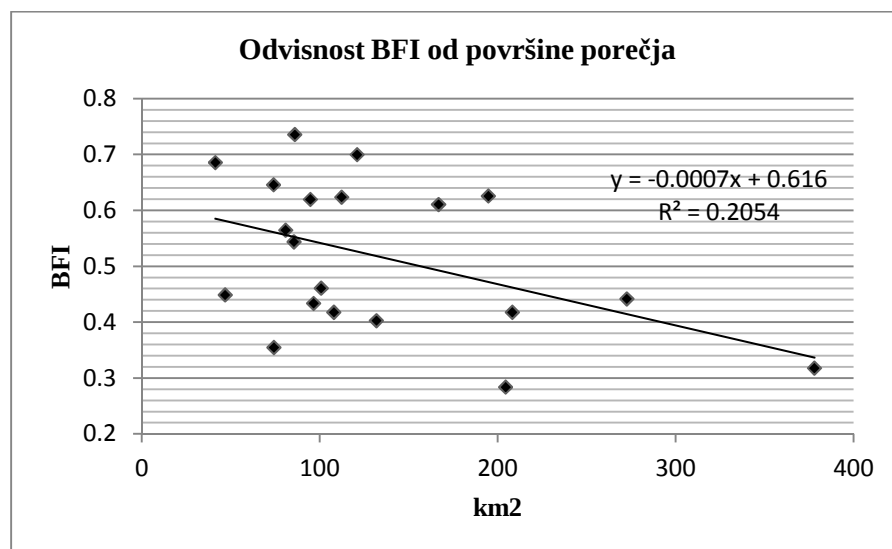
5 ANALIZA REZULTATOV

Pri analizi rezultatov smo poskušali ugotoviti, v kakšni povezavi je BFI z določenim parametrom oz. lastnostjo porečja. To je najlažje razvidno iz grafa ter z uporabo linearne korelacije. Poleg linearne korelacije smo uporabili tudi statistično analizo *ANOVA: single factor* (Microsoft Excell 2010) z izbrano stopnjo zaupanja 0,05. S tem testom smo hoteli še dodatno pokazati statistično značilno povezanost oz. nepovezanost spremenljivk. Če je izračunana vrednost parametra p večja od 0,05 lahko sklepamo, da sta spremenljivki statistično značilno neodvisni. Bolj kot je izračunana vrednost p manjša od 0,05, bolj sta spremenljivki statistično značilno odvisni.

5.1 Vpliv geografskih lastnosti porečja na BFI

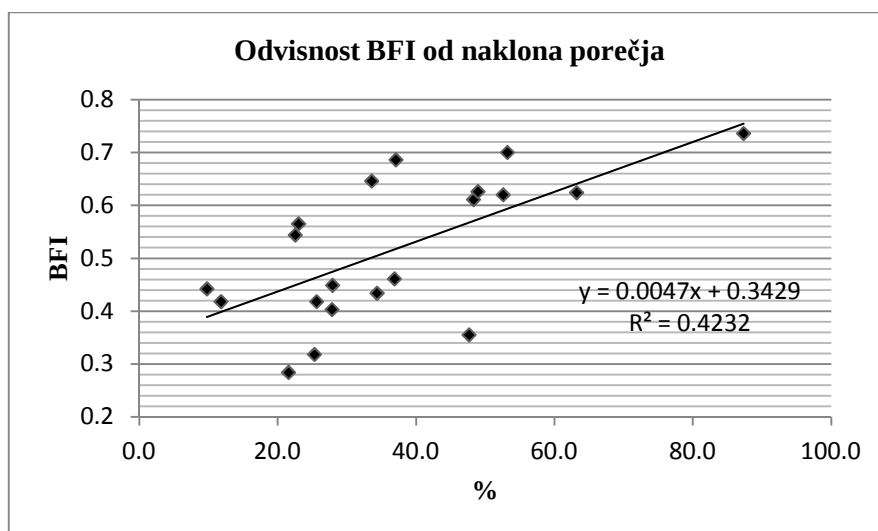
Pod geografske lastnosti so zajete površina porečja, povprečen naklon porečja, naklonski indeks, dolžina in gostota hidrografske mreže ter drenažni indeks.

Velikost porečja in BFI sta med seboj negativno odvisna, kar pomeni, da se indeks baznega odtoka z večanjem površine porečja manjša (slika 50). Koeficient korelacije R znaša 0,453 kar kaže, da sta spremenljivki med seboj srednje močno povezani. Dodatna statistična analiza nam pokaže, da spremenljivki sta statistično značilno močno odvisni, vrednost parametra $p = 1,269^{-8}$. Zelo podobno odvisnost so v svoji raziskavi ugotovili tudi Mazvimavi in sodelavci (2004). Njihov izračunani koeficient korelacije med BFI in površino porečja je znašal 0,4. Negativna odvisnost je verjetno posledica tega, da površina porečij ponavadi pada z naraščanjem nadmorske višine, medtem ko padavine, ki so pozitivno povezane z BFI, z večanjem nadmorske višine naraščajo (Mazvimavi in sod., 2004).



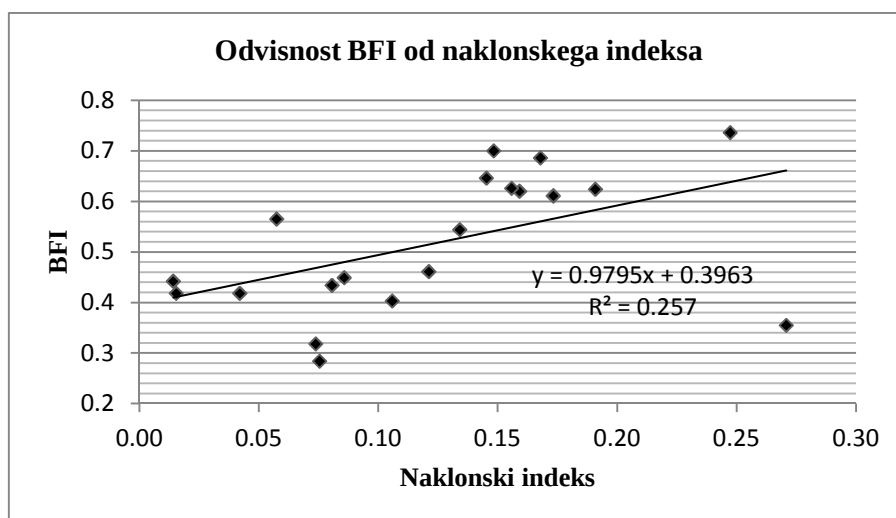
Slika 50: Grafikon odvisnosti BFI od površine porečja

Povprečen naklon porečja in velikost BFI sta med seboj pozitivno odvisna (slika 51), kar je primerljivo z odvisnostjo, ki jo je v svoji raziskavi dobil tudi Mazvimavi s sodelavci (2004). To je pričakovano, saj naklon vpliva na hidravlični gradient (Mazvimavi in sod., 2004). Koeficient korelacije R znaša 0,651 kar kaže na to, da sta faktorja dokaj močno povezana. Statistična analiza potrjuje, da je medsebojna odvisnost obeh spremenljivk statistično močno značilna. s p -vrednostjo $1,206^{-10}$.



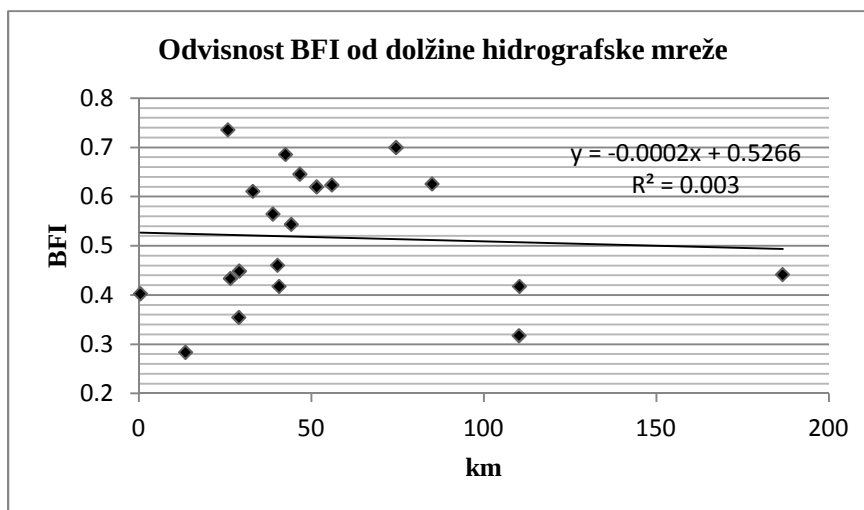
Slika 51: Grafikon odvisnosti BFI od naklona porečja

Vrednost BFI z večanjem vrednosti naklonskega indeksa narašča (slika 52). Koeficient korelacije R znaša 0,507, kar pomeni, da sta faktorja med seboj srednje močno povezana. To potrjuje tudi statistična analiza pri kateri smo dobili $p = 4,756^{-14}$, kar pomeni, da sta spremenljivki močno statistično značilno odvisni.



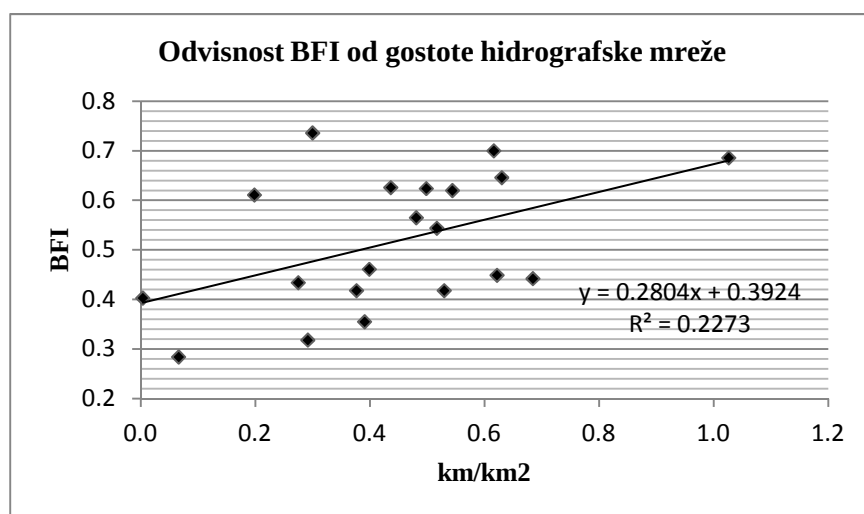
Slika 52: Grafikon odvisnosti BFI od naklonskega indeksa

Odvisnosti BFI od dolžine hidrografske mreže praktično skoraj ni zaznati (slike 53). Korelacija je sicer rahlo negativna, a koeficient korelacije R znaša le 0,055 kar pomeni, da med spremenljivkama praktično ne obstaja povezava (linearna). Statistična analiza pa kljub vsemu pokaže statistično značilno odvisnost ($p = 1,517^{-6}$).



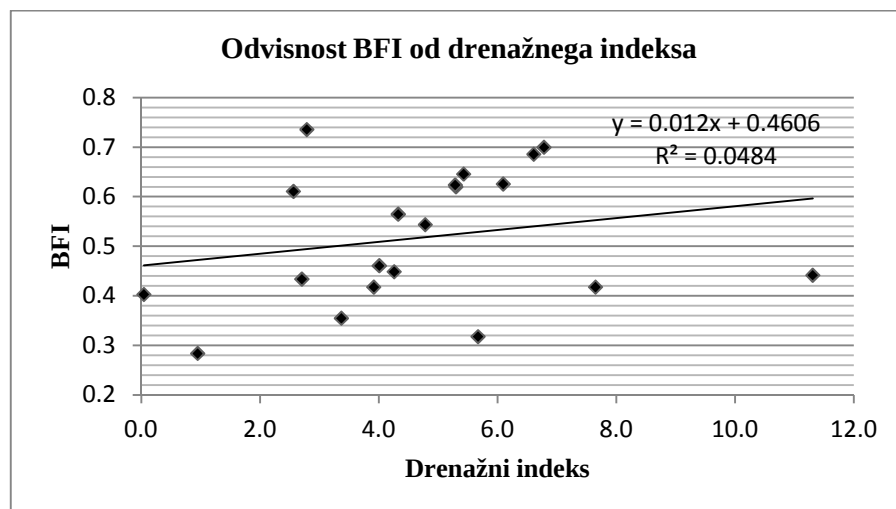
Slika 53: Grafikon odvisnosti BFI od dolžine hidrografske mreže

Vrednost BFI z gostoto hidrološke mreže narašča (slika 54). Koeficient korelacije R znaša 0,477 kar pomeni, da sta faktorja srednje močno povezana. Dodatna statistična analiza pa poda obratno ugotovitev, vrednost $p = 2,303^{-1}$, kar pomeni, da sta spremenljivki med seboj statistično značilno neodvisni. Šibko pozitivno odvisnost med spremenljivkama so v svoji raziskavi dobili tudi Mazvimavi in sodelavci (2004). Odvisnost je najverjetneje posledica posameznih odvisnosti obeh obravnavanih spremenljivk od naklona porečja.



Slika 54: Grafikon odvisnosti BFI od gostote hidrografske mreže

Vrednost BFI je pozitivno odvisna od drenažnega indeksa (slika 55). Vrednost korelacijskega indeksa R znaša 0,22, kar pomeni, da sta faktorja med seboj srednje močno povezana. Pri statistični analizi pa vrednost $p = 4,397^{-9}$ izkazuje močno statistično značilno odvisnost spremenljivk.



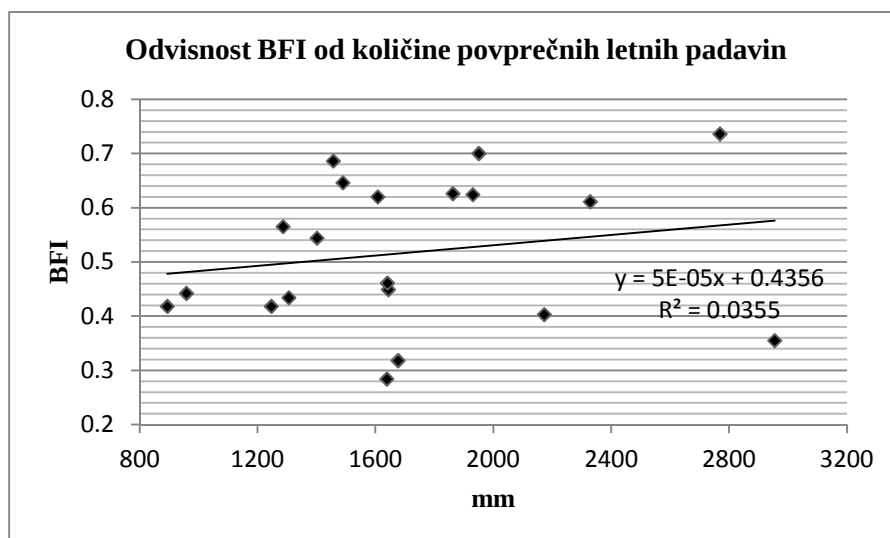
Slika 55: Grafikon odvisnosti BFI od drenažnega indeksa

Največji vpliv na BFI med geografskimi dejavniki ima naklona porečja ($R = 0,651$), pri čemer je njuna medsebojna odvisnost pozitivna. BFI je v veliki meri odvisen tudi od velikosti porečja in gostote hidrografske mreže. Pri obeh dejavnikih je odvisnost podobna ($R = 0,453$ za površino prečja ter $R = 0,477$ za gostoto hidrografske mreže) vendar pa je odvisnost BFI od površine porečja negativna, odvisnost od gostote hidrografske mreže pa pozitivna. Med BFI in dolžino hidrografske mreže odvisnosti skoraj ni oz. je komaj zaznana.

5.2 Vpliv klimatskih lastnosti porečja na BFI

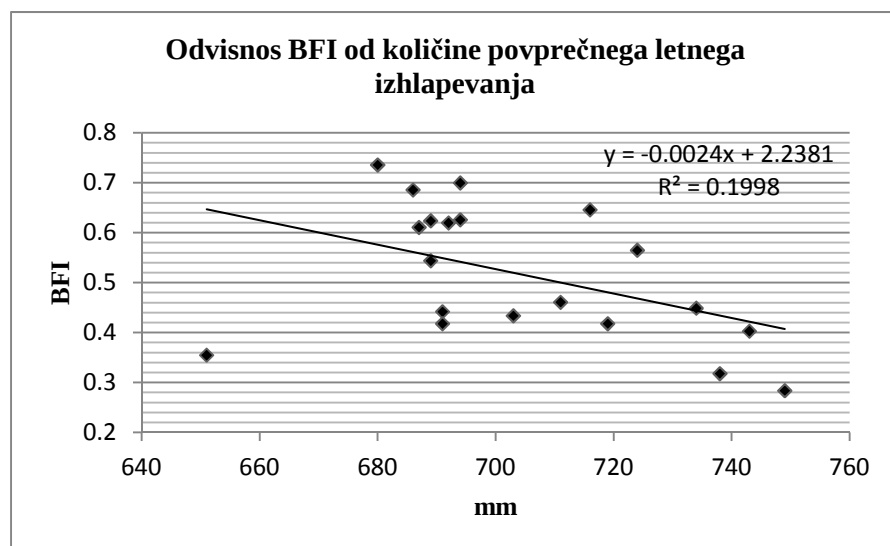
Pri klimatskih lastnostih porečja je bilo poleg povprečnih letnih padavin za obdobje od leta 1971 do leta 2000 obravnavano tudi povprečno letno izhlapevanje za enako obdobje ter količnik med padavinami in izhlapevanjem.

Analiza je pokazala, da BFI narašča z naraščanjem povprečnih letnih padavin oz. da je njuna soodvisnost pozitivna (slika 56). Do enake ugotovitve so v svojih raziskavah prišli tudi Lacey (1996) ter Mazvimavi in sodelavci (2004). Koeficient korelacije R sicer znaša le 0,188 kar pomeni slabo medsebojno povezanost. Dodatna statistična analiza, pa je pokazala, da sta spremenljivki statistično značilno močno povezani ($p = 6,708^{-17}$). Pozitivna odvisnost je logična, saj večje količine padavin (pri enakih ostalih lastnostih), pomenijo večje zaloge podpovršinske vode.



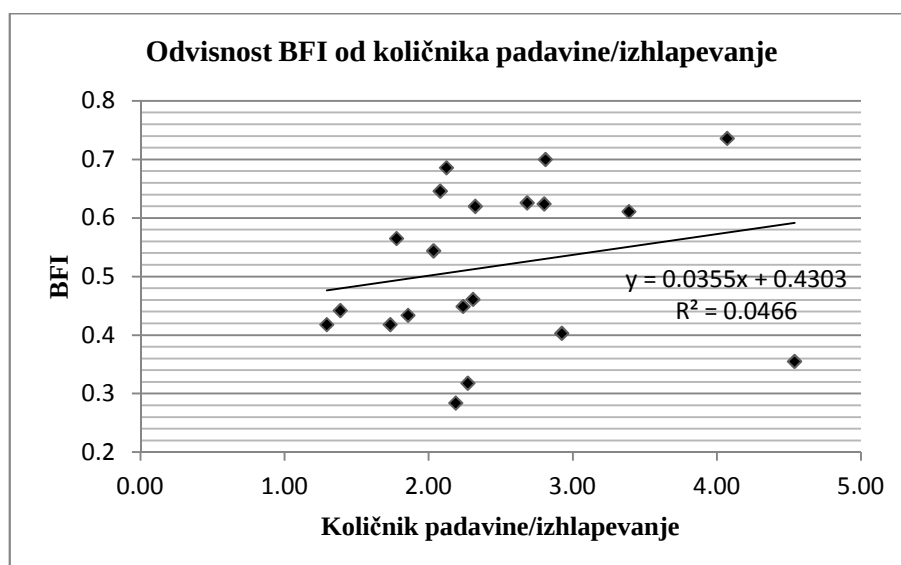
Slika 56: Grafikon odvisnosti BFI od količine povprečnih letnih padavin

Količina izhlapevanja in BFI sta medsebojno negativno odvisni (slika 57), kar je pričakovano, saj izhlapevanje pomeni izgubo pri količini efektivnih padavin. Njuna odvisnost je srednje močna, kar nakazuje koeficient korelacije R , ki ima vrednost 0,447. Dodatna statistična analiza to potrjuje. Vrednost parametra $p = 1,212^{-51}$ pomeni da sta spremenljivki statistično značilno zelo močno odvisni. Negativno odvisnost med spremenljivkama je v svoji raziskavi dobil tudi Mazvimavi s sodelavci (2004).



Slika 57: Grafikon odvisnosti BFI od povprečnega letnega izhlapevanja

BFI in količnik med padavinami in izhlapevanjem sta pozitivno odvisna (slika 58), kar se ujema z Laceyjevo (1996) raziskavo. Njuna povezanost je šibka, $R = 0,216$. Statistična analiza pa je pokazala, da sta spremenljivki statistično značilno močno odvisni ($p = 1,279^{-12}$).



Slika 58: Grafikon odvisnosti BFI od količnika padavine/izhlapevanje

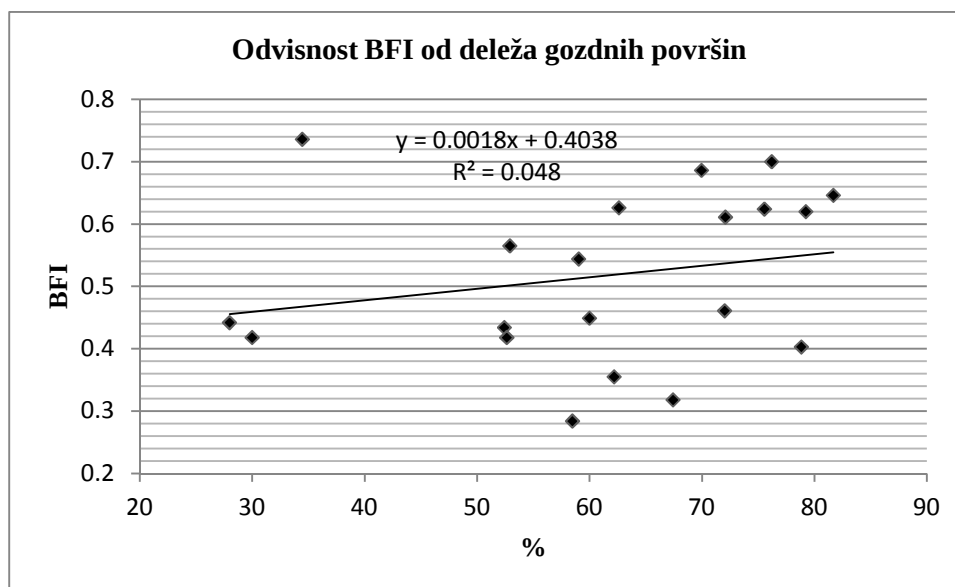
Med klimatskimi lastnostmi porečja ima na BFI največji vpliv količina izhlapevanja ($R = 0,477$ in $p = 1,212^{-51}$). Količina padavin pa ima majhen vpliv na BFI ($R = 0,188$ in $p = 6,708^{-17}$), čeprav sta spremenljivki statistično značilno močno odvisni. Ti dve ugotovitvi sta smiselni, saj izhlapevanje predstavlja izgube padavin in posledično manjšo količino učinkovitih padavin, ki lahko prispevajo h količini baznega odtoka.

5.3 Vpliv pokrovnosti tal na BFI

Pri pokrovnosti tal smo izoblikovali sedem kategorij:

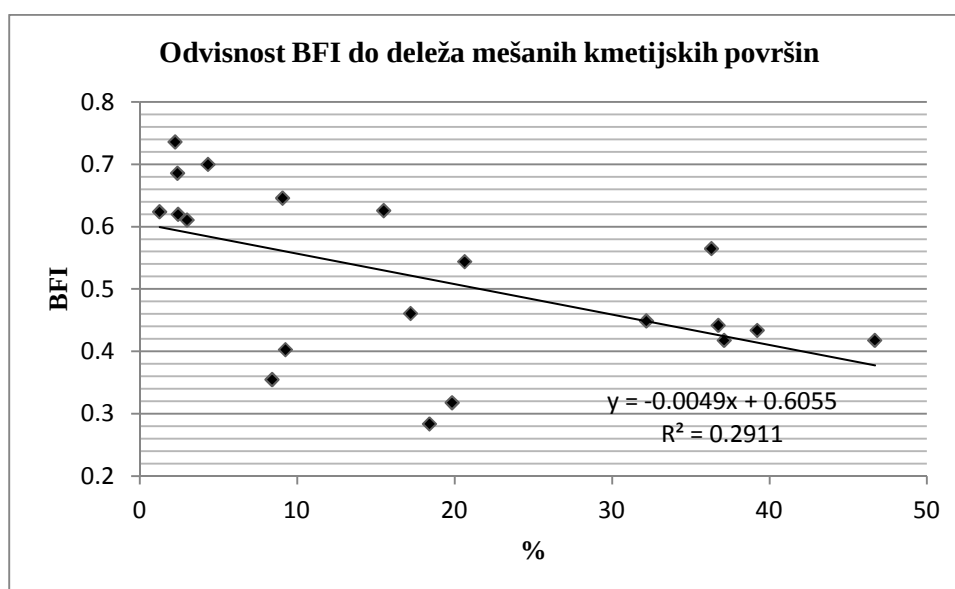
- gozd,
- mešane kmetijske površine,
- pašniki,
- urbane površine,
- grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo,
- njivske površine ter
- neporasle površine z malo ali brez vegetacije.

Gozdne površine se pojavljajo na vseh obravnavanih porečjih. Odvisnost BFI od deleža gozdnih površin (slika 59) je pozitivna, vendar šibka. Koeficient korelacije R znaša 0,219. Statistična analiza pa pokaže, da sta spremenljivki statistično značilno močno odvisni v vrednostjo parametra $p = 2,438^{-19}$. Pozitivno odvisnost je v raziskavi dobil tudi Lancey (1996).



Slika 59: Grafikon odvisnosti BFI od deleža gozdnih površin

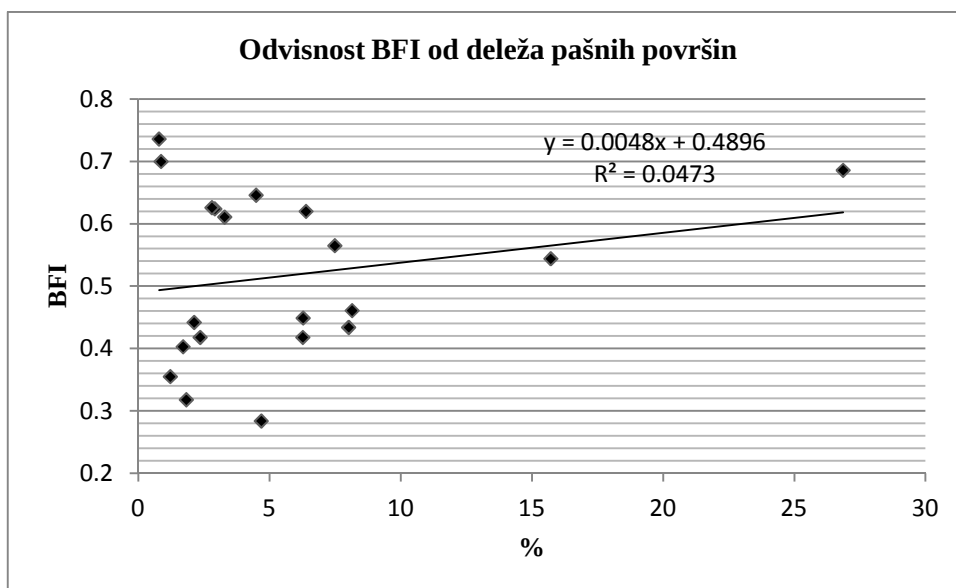
Tudi mešane kmetijske površine se pojavljajo na vseh obravnavanih porečjih. Odvisnost BFI od deleža mešanih kmetijskih površin je negativna (slika 60) in srednje močna. Koeficient korelacije R znaša 0,540. Statistična analiza pokaže, da sta spremenljivki statistično značilno močno odvisni z vrednostjo parametra $p = 5,472 \cdot 10^{-6}$.



Slika 60: Grafikon odvisnosti BFI od deleža mešanih kmetijskih površin

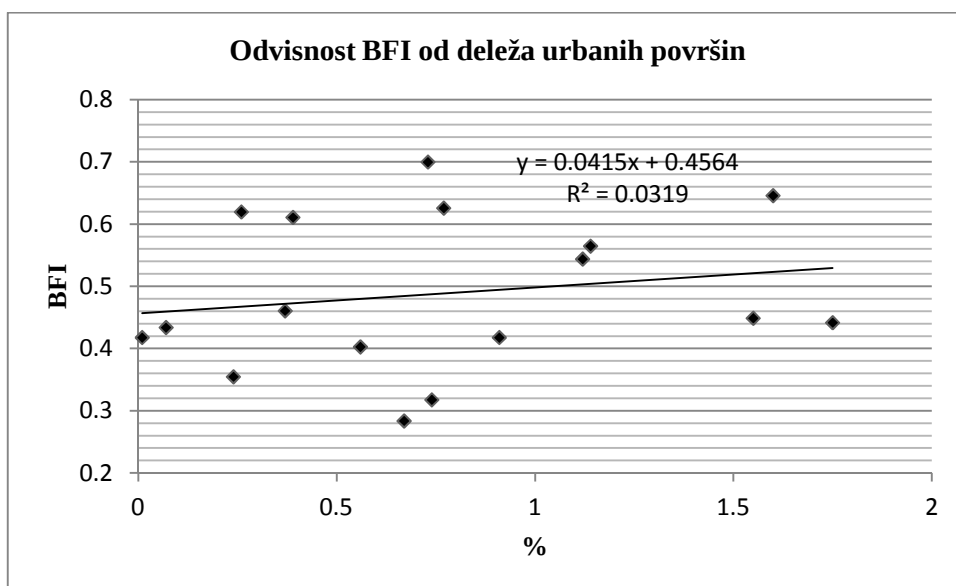
Tudi pašne površine se pojavljajo na vseh obravnavanih porečjih. Na grafu odvisnosti BFI od deleža pašnih površin je mogoče razbrati pozitivno odvisnost (slika 61). Koeficient korelacije R znaša 0,218

kar pomeni, da je ta odvisnost šibka. Iz dodatne statistične analize pa je razvidno, da sta spremenljivki statistično značilno odvisni z vrednostjo parametra $p = 5,087^{-4}$.



Slika 61: Grafikon odvisnosti BFI od deleža pašnih površin

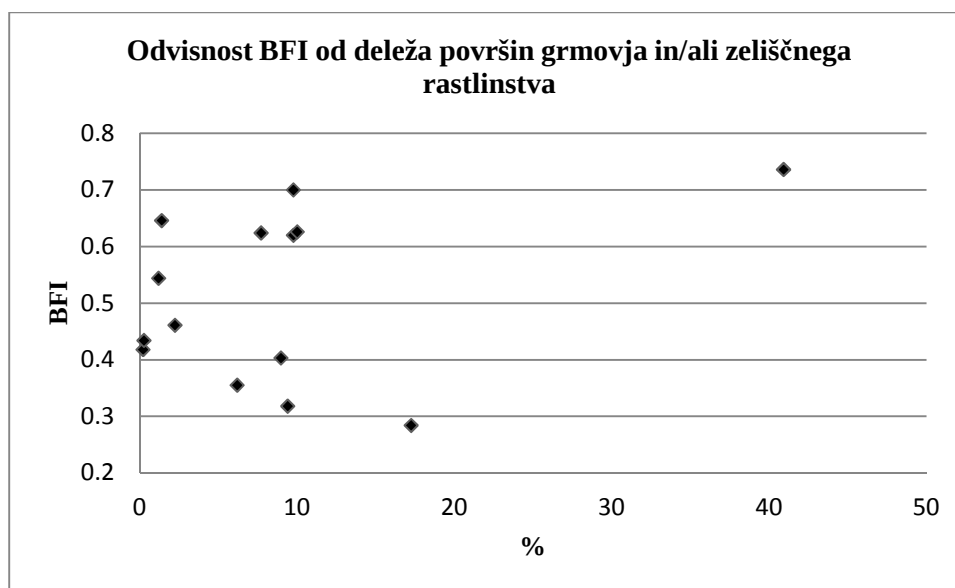
Urbane površine se pojavljajo na 17 porečjih. Odvisnost BFI od deleža urbanih površin (slika 62) je negativna in zelo šibka. Koeficient korelacije R znaša 0,179. Statistična analiza pa pokaže, da sta spremenljivki statistično značilno neodvisni ($p = 5,801^{-2}$). Ker je delež urbanih površin na vseh obravnavanih območjih zelo majhen (do 2 %), je rezultat seveda pričakovan.



Slika 62: Grafikon odvisnosti BFI od deleža urbanih površin

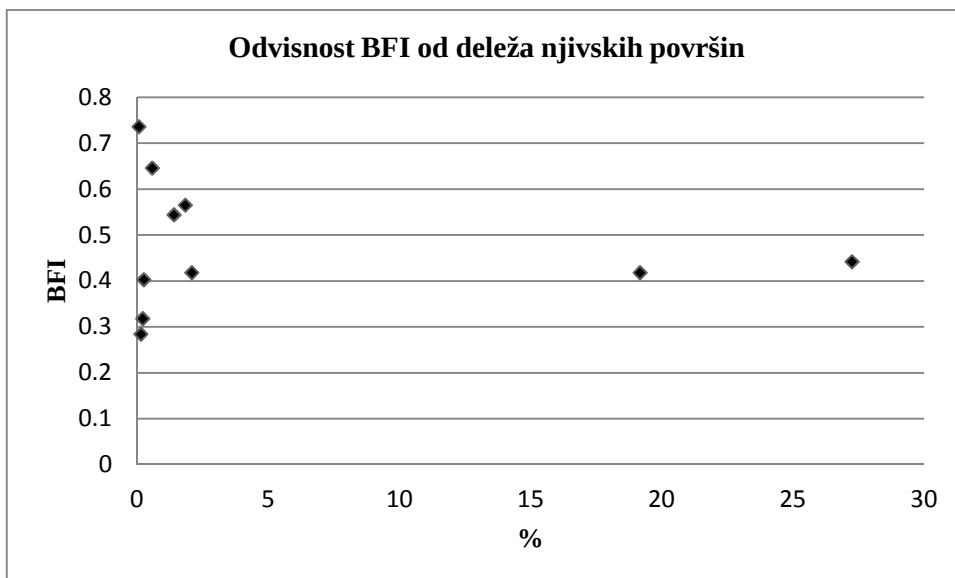
Za odvisnost BFI od deleža grmovja in/ali zeliščnega rastlinstva, deleža njivskih površin ter deleža neporaslih površin so bili narejeni grafi brez izračuna korelacije. Razlog za to je, da se ti tipi pokrovnosti ne pojavljajo na vseh porečjih.

Površine poraščene z grmovjem in/ali z zeliščnim rastlinstvom se pojavljajo na 14 porečjih. Iz grafa (slika 63) in statistične analize ($p = 9,542^{-4}$) je razvidna šibka statistično značilna odvisnost.



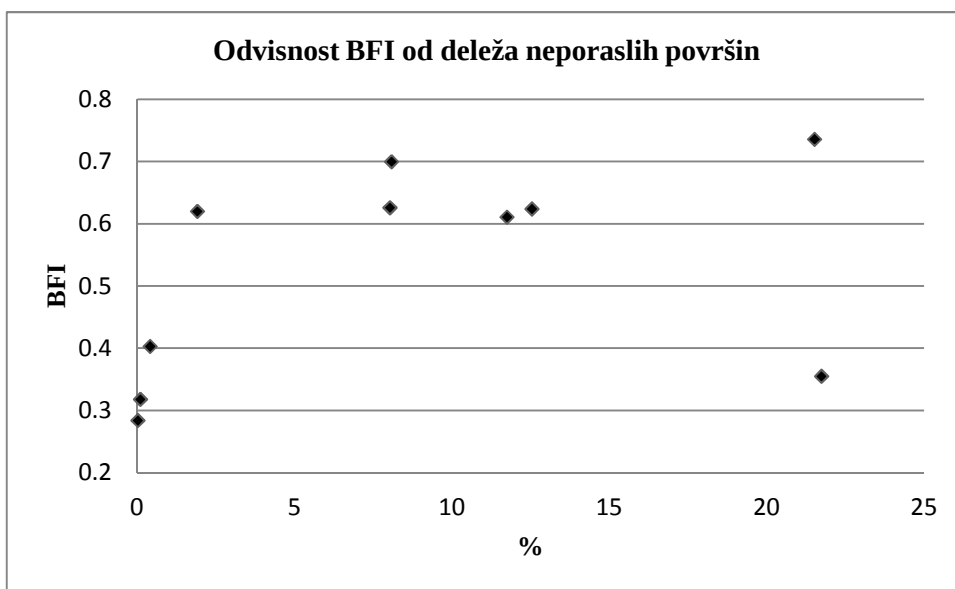
Slika 63: Grafikon odvisnosti BFI od deleža površin poraščenih z grmovjem in/ali zeliščnim rastlinstvom

Njivske površine se pojavljajo na 10 porečjih (slika 64). BFI in delež njivskih površin kažeta zelo šibko statistično značilno odvisnost, $p = 3,229^{-2}$.



Slika 64: Grafikon odvisnosti BFI od deleža njivskih površin

Neporasle površine z malo ali brez vegetacije se pojavljajo na 10 porečjih (slika 65). BFI ter delež neporaslih površin sta, glede na statistično analizo, statistično značilno šibko odvisna. Vrednost parametra p znaša $1,323^{-4}$.



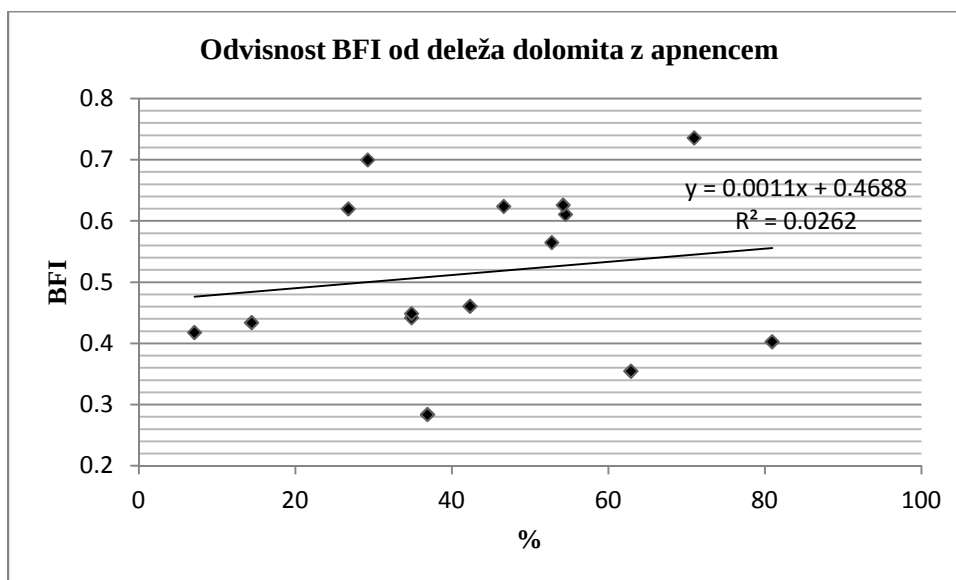
Slika 65: Grafikon odvisnosti BFI od deleža neporaslih površin

Največji vpliv na BFI med različnimi tipi pokrovnosti sta izkazala deleža mešanih kmetijskih površin in gozdnih površin. Ta dva tipa pokrovnosti sta tudi sicer prevladovala na večini izbranih porečjih, zato je rezultat pričakovan. Delež urbanih površin je na vseh izbranih porečjih zelo majhen, zato o odvisnosti težko govorimo.

5.4 Vpliv geološke sestave tal na BFI

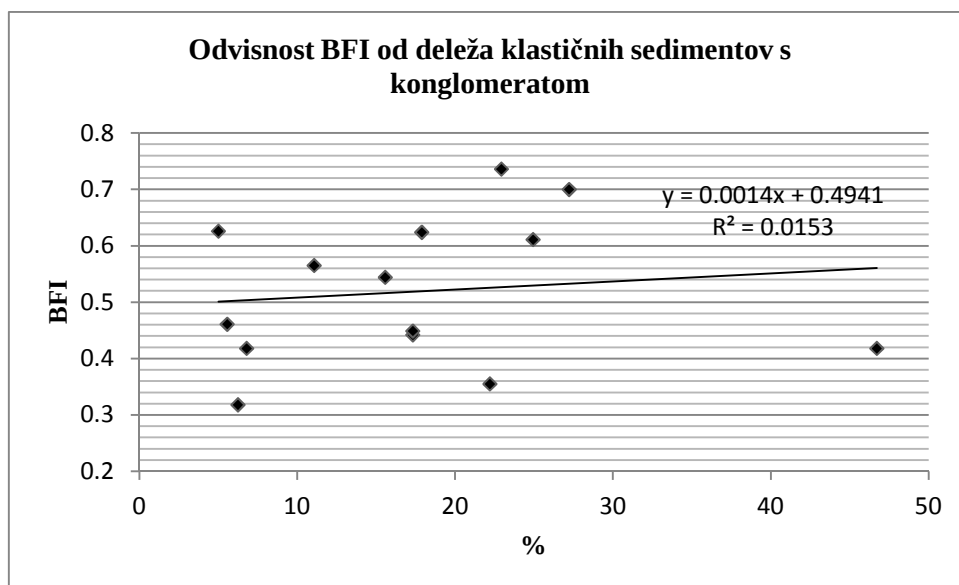
Pri geološki sestavi tal smo glede na vseh dvajset porečij, izoblikovali 18 pomembnejših tipov kamnin, ki se pojavljajo na enem od prvih treh mest glede na velikost deleža v posameznem porečju. Od tega se v največ porečjih pojavljajo trije tipi: dolomit z apnenecem (v 15 porečjih), klastični sedimenti s konglomeratom (v 14 porečjih) ter apnenec s klastičnimi sediment (v 8 porečjih). Ostali tipi se pojavljajo v štirih oz. manj kot štirih porečjih. Za najbolj pojavne tipe kamnin so bili izdelani grafi odvisnosti ter analiza korelacije.

Odvisnost BFI od deleža dolomita z apnenecem (slika 66) je rahlo pozitivna. Koeficient korelacije R znaša 0,162 iz česar lahko sklepamo, da je njuna medsebojna odvisnost šibka. Statistična analiza pa pokaže, da sta spremenljivki statistično značilno odvisni s p -vrednostjo $5,398^{-11}$.



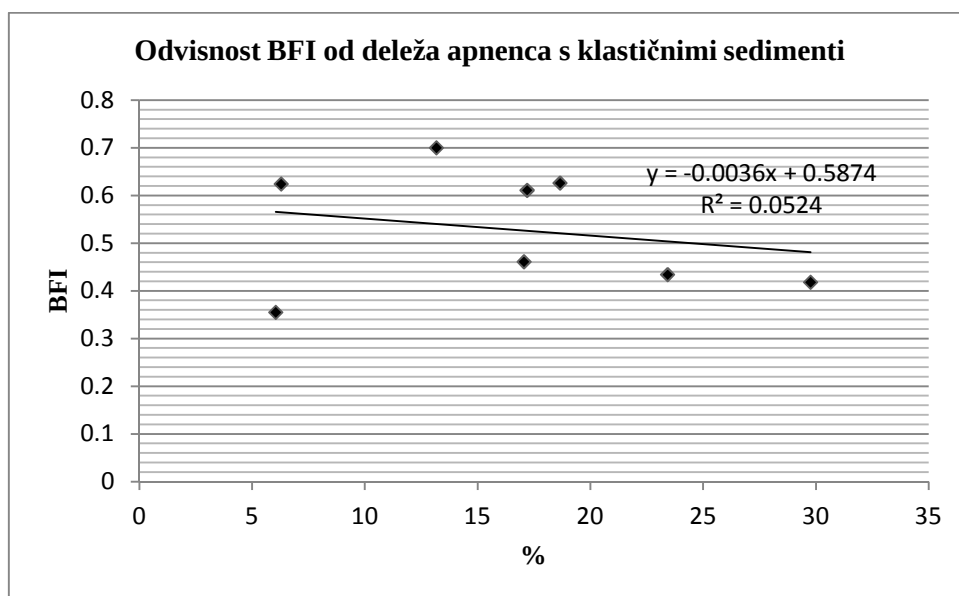
Slika 66: Grafikon odvisnosti BFI od deleža dolomita z apnenecem

Tudi odvisnost BFI od deleža klastičnih sedimentov s konglomeratom (slika 67) je pozitivna. Njuna medsebojna odvisnost je šibka, o čemer sklepamo iz vrednosti koeficienta korelacije R , ki znaša 0,124. Statistična analiza pokaže, da sta spremenljivki statistično značilno odvisni, p -vrednost znaša $9,196^{-9}$.



Slika 67: Grafikon odvisnosti BFI od deleža klastičnih sedimentov s konglomeratom

Odvisnost BFI od deleža apnenca s klastičnimi sedimenti je negativna, vrednosti koeficienta korelacije R znaša 0,229. Statistična analiza kaže, da sta spremenljivki statistično značilno odvisni. Vrednost parametra p znaša $1,412^{-9}$.



Slika 68: Grafikon odvisnosti BFI od deleža apnenca s klastičnimi sedimenti

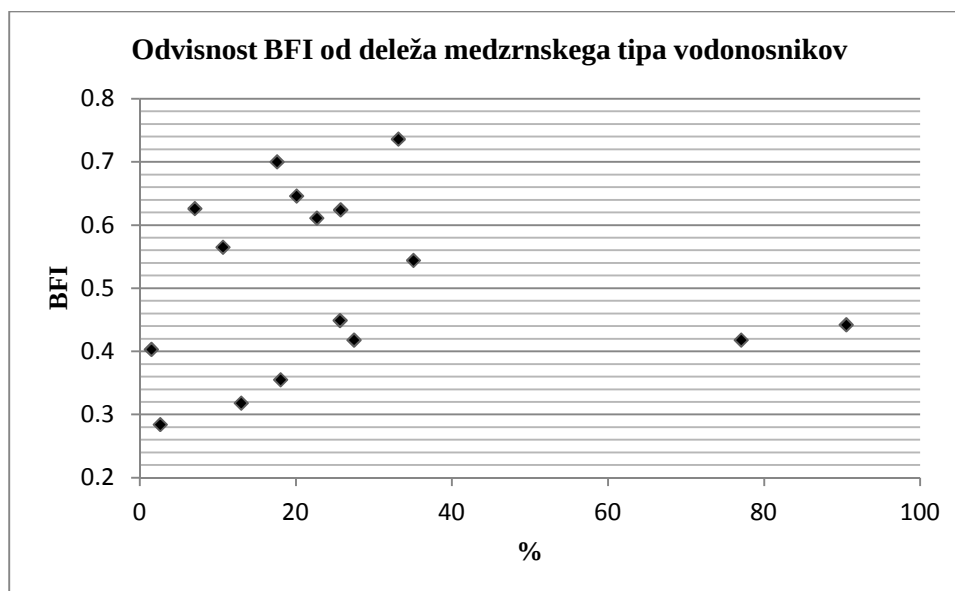
Za preostalih 16 tipov kamnin analize niso merodajne, saj se pojavljajo v štirih oz. manj kot štirih porečjih.

Pri analizi vpliva geološke sestave tal ugotovimo, da le ta nima bistvenega vpliva na velikost BFI. Vsi trije pomembnejši tipi kamnin izkazujejo šibko medsebojno odvisnost z BFI ($R = 0,162$ za dolomit z apnencem, $R = 0,124$ za klastične sedimente s konglomeratom in $R = 0,229$ za apnenec s klastičnimi sedimenti). Do podobnih ugotovitev je prišel tudi Mazvimavi s sodelavci (2004).

5.5 Vpliv hidrogeoloških tipov tal na BFI

Pri hidrogeoloških tipih vodonosnikov so bili na razpolago podatki le za 16 porečij. Ostala štiri porečja (porečja Meže, Dravinje, Gračnice in Drete) so bila izključena iz analize. Medzrnski tip se pojavlja v vseh 16 porečjih, razpoklinski tip se pojavlja v 15 porečjih, mešani tip se pojavlja v 13 porečjih, kraški tip pa se pojavlja v 12 porečjih.

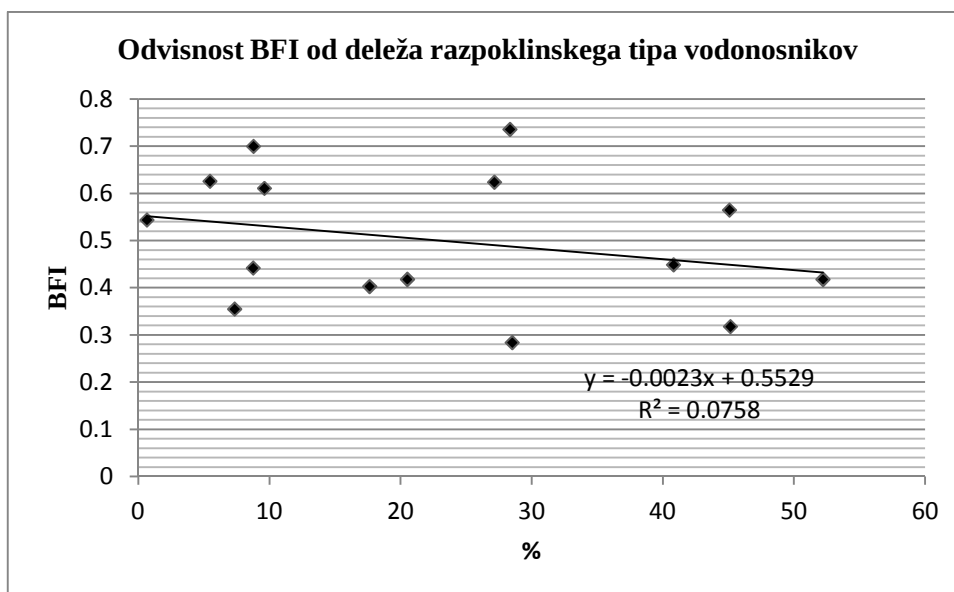
Odvisnost BFI od deleža medzrnskega tipa vodonosnikov (slika 69) je rahlo negativna, kar je predvsem posledica raztrosa podatkov. Koeficient korelacije R nakazuje, da odvisnosti praktični ni, njegova vrednost znaša 0,028. Statistična analiza pokaže, da sta spremenljivki med seboj statistično značilno odvisni. Vrednost parametra p znaša $1,714^{-4}$. Srednja vrednost deležev medzrnskega tipa je 26,8 odstotkov, standardni odklon pa znaša 24,5 odstotkov. Rezultati so podobni kot jih je dobil Janža (2006), ki je dobil za srednjo vrednost 26,0 odstotkov, za standardni odklon pa 31,0 odstotkov.



Slika 69: Grafikon odvisnosti BFI od deleža medzrnskega tipa vodonosnikov

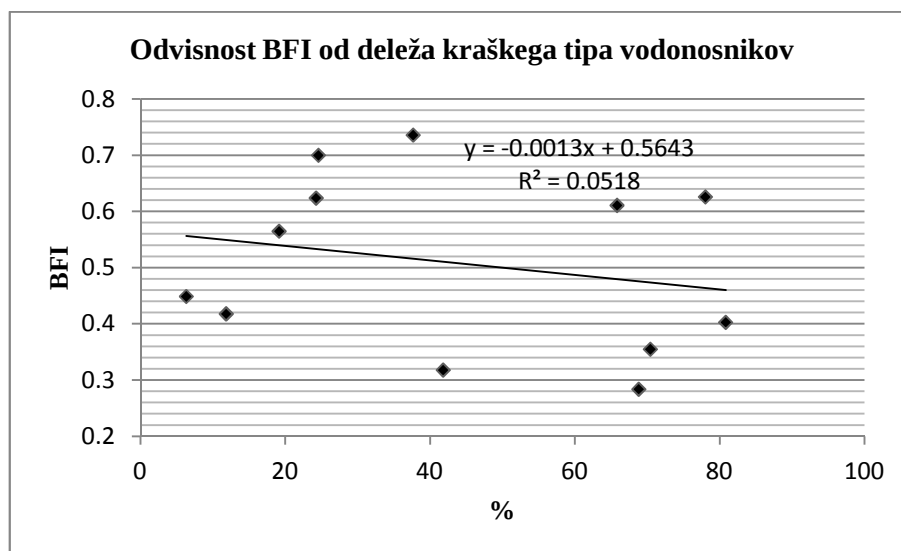
Odvisnost BFI od deleža razpoklinskega tipa vodonosnikov (slika 70) je negativna. Vrednost korelacijskega faktorja R znaša 0,275 kar pomeni, da je medsebojna odvisnost šibka. Statistična analiza kljub vsemu pokaže, da sta spremenljivki statistično značilno močno odvisni. Vrednost parametra p znaša $7,972^{-6}$. Srednja vrednost deležev razpoklinskega tipa je 23,1 odstotkov, standardni

odklon pa znaša 16,7 odstotkov. Rezultati so nižji kot jih je dobil Janža (2006) in sicer za srednjo vrednost 34,0 odstotkov, za standardni odklon pa 33,0 odstotkov.



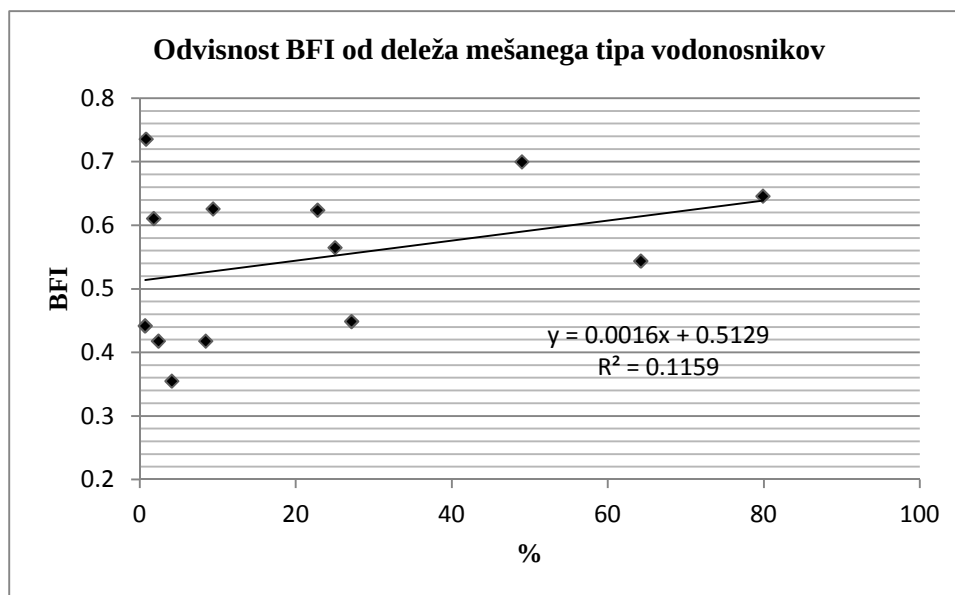
Slika 70: Grafikon odvisnosti BFI od deleža razpoklinskega tipa vodonosnikov

Odvisnost BFI od deleža kraškega tipa vodonosnikov (slika 71) je negativna. Koeficient korelacije R nakazuje, da je medsebojna odvisnost šibka, njegova vrednost znaša 0,228. Statistična analiza pokaže, da sta spremenljivki med seboj statistično značilno odvisni. Vrednost parametra p znaša $7,988^{-7}$. Srednja vrednost deležev kraškega tipa je 44,2 odstotkov, standardni odklon pa znaša 27,3 odstotkov. Rezultati so primerljivi z rezultati, ki jih je dobil Janža (2006) in sicer za srednjo vrednost 39 odstotkov, za standardni odklon pa 36 odstotkov.



Slika 71: Grafikon odvisnosti BFI od deleža kraškega tipa vodonosnikov

Odvisnost BFI od deleža mešanega tipa vodonosnikov (slika 72) je pozitivna. Vrednost korelacijskega faktorja R znaša 0,340 iz česar sklepamo, da je medsebojna odvisnost srednje močna. Statistična analiza pokaže, da sta spremenljivki statistično značilno šibko odvisni. Vrednost parametra p znaša $2,061^{-3}$.



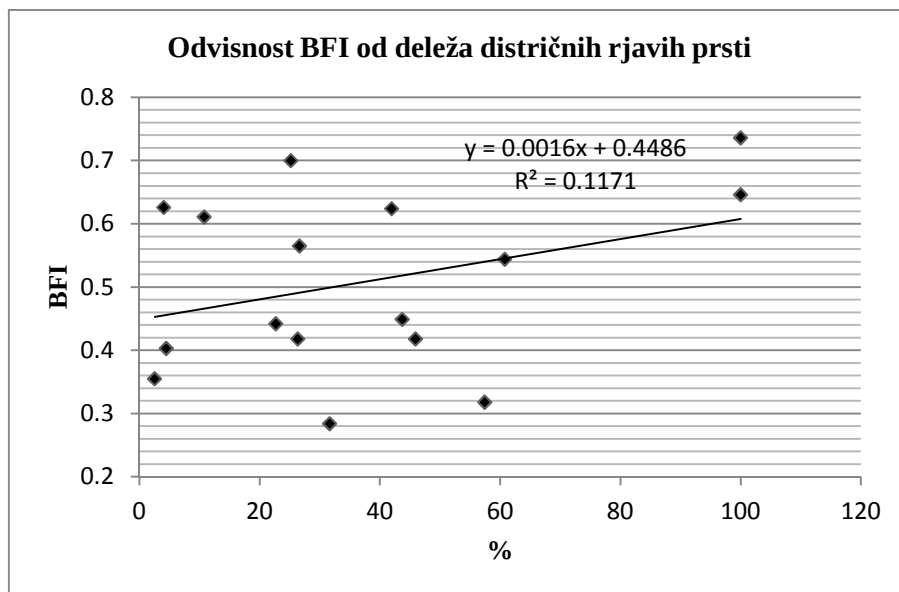
Slika 72: Grafikon odvisnosti BFI od deleža mešanega tipa vodonosnikov

Analize so torej pokazale, da ima največji vpliva na BFI mešani tip vodonosnikov ($R = 0,340$), najmanjši vpliv pa medzrnski tip ($R = 0,028$).

5.6 Vpliv pedološke sestave tal na BFI

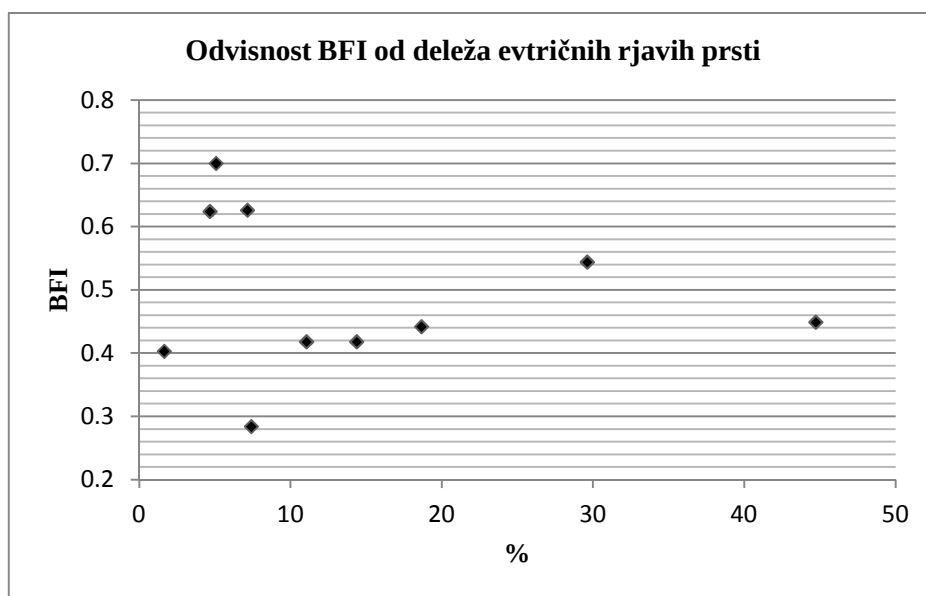
Pri pedološki sestavi tal so bili na razpolago podatki samo za 16 porečij. Ostala štiri porečja (porečja Meže, Dravinje, Gračnice in Drete) so bila izključena iz analize.

Distrične rjave prsti se pojavljajo na vseh 16 obravnavanih porečjih. Odvisnost BFI od deleža distričnih rjavih prsti (slika 73) je pozitivna. Koeficient korelacije R ima vrednost 0,342, kar pomeni da je ta odvisnost šibka. Statistična analiza potrjuje, da sta spremenljivki statistično značilno odvisni, vrednost parametra $p = 2,794^{-5}$.



Slika 73: Grafikon odvisnosti BFI od deleža distričnih rjavih prsti

Drugi najpogostejši tip prsti, evtrične rjave prsti, se pojavljajo na 10 porečjih. Odvisnost BFI od deleža evtričnih rjavih prsti (slika 74) je negativna in zelo šibka, koeficient korelacije R znaša 0,134. Statistična analiza potrjuje zgornjo ugotovitev. Vrednost parametra p znaša $3,190^{-4}$ kar pomeni, da sta spremenljivki statistično značilno odvisni.



Slika 74: Grafikon odvisnosti BFI od deleža evtričnih rjavih prsti

Rendzine in rjave karbonatne prsti se pojavijo na 6 porečjih, oglejene in psevdoglejne pa le na 3 porečjih, zato za te prsti analize niso bile narejene.

Graf in analiza odvisnosti sta bila izdelana le za dva tipa prsti, izmed katerih imajo na BFI večji vpliv distrične rjave prsti ($R = 0,342$). Odvisnost je pozitivna. Za evtrične rjave prsti smo dobili negativno in šibko odvisnost.

5.7 Ugotovitve

Glede na opravljene analize in primerjave smo prišli do naslednjih ugotovitev:

1. BFI je najbolj odvisen od povprečnega naklona porečja. Njuna odvisnost je pozitivna, kar je pričakovano, saj naklon vpliva na hidravlični gradient (Mazvimavi in sod., 2004). Koeficient korelacije R med BFI in naklonom znaša 0,651, vrednost parametra p pa znaša $1,206^{-10}$. Oboje potrjuje močno medsebojno odvisnost.
2. BFI je močno pozitivno odvisen tudi od naklonskega indeksa, kar je pričakovano, saj je le ta povezan z naklonom, pri čemer pa je izvzet vpliv površine porečja. Koeficient korelacije R znaša 0,507, vrednost parametra p pa je $4,756^{-14}$. Oboje potrjuje močno medsebojno odvisnost.
3. Tretja najpomembnejša lastnost porečij, ki je vplivala na BFI, je delež mešanih kmetijskih površin. Medsebojna odvisnost je negativna in srednje močna. Koeficient korelacije R znaša 0,534, vrednost parametra p pri statistični analizi pa $5,472^{-6}$. Negativna odvisnost BFI od deleža mešanih kmetijskih površin je razumljiva, saj kmetijska raba oz. obdelovanje tal porablja vodo za rast kulturnih rastlin. Ta voda je lahko del padlih padavin in tako zmanjšuje količino efektivnih padavin, lahko pa je tudi del rečnega pretoka, ki je vir za namakanje in tako zmanjšuje količino pretoka v reki, posledično pa količino pretoka iz struge v podtalnico. V obeh primerih to lahko vpliva na količino baznega odtoka.
4. BFI je srednje močno in pozitivno odvisen še od gostote hidrografske mreže, pri čemer je koeficient korelacije $R = 0,477$. Pozitivno in srednje močno je odvisen tudi od mešanega tipa vodonosnika, pri katerem znaša koeficient korelacije $R = 0,340$ ter od deleža distričnih rjavih prsti, pri katerih znaša $R = 0,342$.
5. BFI je srednje močno in negativno odvisen od površine porečja. Pri tej odvisnosti je koeficient korelacije $R = 0,453$. Negativno srednje močno je BFI odvisen tudi od povprečnega letnega izhlapevanja pri čemer je koeficient korelacije $R = 0,447$.
6. BFI je nekoliko odvisen tudi od razpokliskega tipa vodonosnika ($R = 0,275$), od deleža apnenca s klastičnimi sedimenti v geološki sestavi tal ($R = 0,229$) ter od deleža gozdnih površin ($R = 0,219$).

Ostale obravnavane lastnosti niso izkazale izrazitega vpliva na BFI oz. je BFI od njih v večji meri neodvisen.

V preglednici 11 so prikazane lastnosti porečij, ki so izkazale močnejši vpliv na BFI, ter vrednosti pripadajočega korelacijskega koeficienta R in p -vrednosti.

Preglednica 11: Lastnosti z močnejšim vplivom na BFI

	Lastnost porečja	Odvisnost	R	p
Geografske lastnosti	naklon	pozitivna	0,615	1,206E-10
	naklonski indeks	pozitivna	0,507	4,756E-14
	gostota hidrografske mreže	pozitivna	0,477	2,303E-01
	površina	negativna	0,453	1,269E-08
Klimatske lastnosti	izhlapevanje	negativna	0,447	1,212E-51
Pokrovnost tal	mešane kmetijske površine	negativna	0,540	5,472E-06
	gozdne površine	pozitivna	0,219	2,438E-19
Geološka sestava tal	apnenec s klastičnimi sedimenti	negativna	0,229	1,412E-09
Hidrogeološki tipi tal	mešani tip	pozitivna	0,340	2,061E-03
	razpoklinski tip	negativna	0,275	7,972E-06
Pedološka sestava tal	distrične rjave prsti	pozitivna	0,342	2,794E-05

Rezultati so dobljeni z analizo 20 oz. v dveh primerih (hidrogeološki tipi tal in pedološka sestava tal) 16 porečij. Za natančnejše rezultate bi bilo potrebno analizirati predvidoma med 50 in 100 porečij. S tem bi dosegli enakomernejši raztros podatkov in se izognili maksimalnim in minimalnim ekstremom, ki lahko močno vplivajo na koeficient korelacije.

6 ZAKLJUČKI

Bazni odtok ali sušni odtok predstavlja del pretoka, ki pronica v vodotok iz podtalnice ali jezer. Napaja vodotok v sušnih obdobjih brez padavin. Pomemben je za določevanje minimalnih pretokov ali pri napovedovanju poplavnih valov oz. časa trajanja le teh. Bazni odtok je delež celotnega pretoka, katerega vir je podtalnica ter drugi zapoznani viri (jezera, ledeniki, sneg, na površini zadržana voda ipd). Najlažje ga določimo kot pretok po daljšem obdobju brez padavin. Takrat naj bi celoten pretok predstavljal bazni odtok. Mikoš in sod. (2002) ga poimenujejo tudi sušni odtok. Na količino in na lastnosti baznega odtoka vpliva mnogo naravnih procesov in danosti kot na primer izhlapevanje, evapotranspiracija, taljenje snega ter ledenikov, naklon površin, geološka sestava tal, vegetacija ipd. Nanj pa s svojimi dejavnostmi vpliva tudi človek (urbanizacija, kmetijstvo, izraba vodotokov, izpusti v vodotoke ipd.).

Merjenje baznega odtoka v naravi je zelo zapleteno, zato se za določevanje baznega odtoka v praksi uporablja podatke o celotnem pretoku vodotoka ali pa hidrogram pretoka. S pomočjo hidrograma merjenih pretokov določamo bazni odtok na več načinov, ki jih delimo v tri glavne skupine: neposredno določanje s pomočjo grafičnih metod ali digitalnih filtrov, analiza pogostosti s pomočjo krivulj trajanja in analiza krivulj upadanja oz. recesijskih krivulj. Analize krivulje upadanja baznega odtoka se uporablja za napovedovanje minimalnih pretokov (pomembno pri energetski izrabi vodotoka, pri namakanju,...), lahko služi tudi kot vhodni podatek za modeliranje odtoka, za kalibracijo modelov in tudi pri grafični metodi določanja posameznih komponent odtoka. V naravi pa bazni odtok lahko merimo posredno s pomočjo sledenja različnim kemijskim spojinam, z merjenjem električne prevodnosti ali z uporabo meritev višine podtalnice. Te metode služijo predvsem kot vhodni podatki za hidrološke modele ter njihovo umerjanje.

Pri analitičnem določanju baznega odtoka je pomemben indeks baznega odtoka (BFI). Ta predstavlja razmerje med volumnom baznega odtoka in volumnom celotnega pretoka vodotoka. Uporablja se kot kazalec za primerjavo lastnosti posameznih povodij ali pa določanje baznega odtoka na povodjih, kjer nimamo podatkov o pretoku (Lacey, 1996). Za izračun baznega odtoka ali indeksa baznega odtoka (BFI) potrebujemo podatke o dnevni pretokih.

V diplomski nalogi smo ugotavljali, kako na BFI vplivajo različne lastnosti porečja. Preverjena je odvisnost BFI od geografskih lastnosti porečja (površine porečja, naklona porečja, naklonskega indeksa, dolžine in gostote hidrografske mreže ter drenažnega indeksa), klimatskih lastnosti porečja (količine povprečnih letnih padavin, povprečnega letnega izhlapevanja ter količnika padavine/izhlapevanje), pokrovnosti tal, geološke zgradbe tal, hidrogeoloških tipov vodonosnikov ter pedološke zgradbe tal.

Za analizo je bilo izbranih 20 porečij, ki so bila izbrana tako, da so zastopane vse geografske regije na območju Slovenije, s čimer je zajeta raznolikost posameznih lastnosti. BFI je izračunan glede na razpoložljivost podatkov za obdobje od leta 1975 do leta 2000 s programom *BFI for Windows*. Največjo vrednost BFI smo dobili na porečju Koritnice (0,736), najmanjšo vrednost pa na porečju Rižane in sicer 0,284. Srednja vrednost izračunanih BFI je 0,517, standardni odklon pa 0,135. Janža (2006) je v analizi 25 porečij dobil podobne vrednosti in sicer za srednjo vrednost BFI 0,555, za standardni odklon pa 0,12.

Z analizo rezultatov je bilo ugotovljeno, da je BFI najbolj odvisen od povprečnega naklona porečja. Njuna odvisnost je pozitivna, kar je pričakovano, saj naklon vpliva na hidravlični gradient (Mazvimavi in sod., 2004). Koeficient korelacije R med BFI in naklonom znaša 0,651, vrednost parametra p pa znaša $1,206^{-10}$. Oboje potrjuje močno medsebojno odvisnost.

BFI je močno pozitivno odvisen tudi od naklonskega indeksa, kar je pričakovano, saj je le ta povezan z naklonom. Koeficient korelacije R znaša 0,507, vrednost parametra p pa je $4,756^{-14}$. Oboje potrjuje močno medsebojno odvisnost.

Tretja najpomembnejša lastnost porečij, ki je vplivala na BFI, je bil delež mešanih kmetijskih površin. Medsebojna odvisnost je negativna in srednje močna. Koeficient korelacije R znaša 0,534, vrednost parametra p pri statistični analizi pa $5,472^{-6}$. Negativna odvisnost BFI od deleža mešanih kmetijskih površin je razumljiva, saj kmetijska raba oz. obdelovanje tal porablja vodo za rast kulturnih rastlin. Ta voda je lahko del padlih padavin in tako zmanjšuje količino efektivnih padavin, lahko pa je tudi del rečnega pretoka, ki je vir za namakanje in tako zmanjšuje količino pretoka v reki, posledično pa količino pretoka iz struge v podtalnico. V obeh primerih to lahko vpliva na količino baznega odtoka.

BFI je srednje močno in pozitivno odvisen še od gostote hidrografske mreže, pri čemer je koeficient korelacije $R = 0,477$. Pozitivno in srednje močno je odvisen tudi od hidrogeološkega tipa vodonosnika (predvsem deleža mešanega tipa), pri tem znaša koeficient korelacije $R = 0,340$.

BFI je srednje močno vendar negativno odvisen od površine porečja. Pri tej odvisnosti je koeficient korelacije $R = 0,453$. Negativno srednje močno je BFI odvisen tudi od povprečnega letnega izhlapevanja pri čemer je koeficient korelacije $R = 0,447$.

Analiza povprečne vrednosti korelacijskega koeficienta R za posamezne skupine lastnosti je pokazala, da imajo v splošnem največji vpliv ($R = 0,388$) na BFI geografske lastnosti porečja, najmanjši vpliv pa ima geološka sestava tal ($R = 0,172$). Klimatske lastnosti, pokrovnost tal, hidrogeološki tipi tal in pedološka sestava tal imajo zelo podoben vpliv na BFI (R zavzema vrednosti med 0,220 in 0,289).

Rezultati so dobljeni z analizo 20 oz. v dveh primerih (hidrogeološki tipi tal in pedološka sestava tal) 16 porečij. Za natančnejše rezultate bi bilo potrebno analizirati večje število porečij, predvidoma med 50 in 100. S tem bi dosegli enakomernejši raztros podatkov in se izognili maksimalnim in minimalnim ekstremom, ki lahko močno vplivajo na koeficient korelacije.

VIRI

Arnold, J. G., Allen, P. M., Muttiah, R., Bernhardt, G. 1995. Automated Base Flow Separation and Recession Analysis Techniques. *Ground Water* 33, 6: 1010–1018

ARSO. 2012. Arhiv površinskih voda. Agencija Republike Slovenije za okolje.
http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php (Pridobljeno 2. 4. 2012.)

Atlas okolja. 2012.
http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso

Brodie, R.S., Hostetler, S. 2004. A Review of Techniques for Analysing Baseflow from Stream Hydrographs: 13 str.
http://www.connectedwater.gov.au/documents/IAH05_Baseflow.pdf (Pridobljeno 31. 8. 2011.)

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

Dewalle, D. R., Edwards, P.J., Swistock, B. R., Aravena, R., Drimmie, R. J. 1997. Seasonal isotope hydrology of three Appalachian forest catchment. *Hydrological processes* 11: 1895–1906.

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

Fratnar P. (ur.). 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor – Agencija Republike Slovenije za okolje: 121 str.

Geoportal ARSO. 2012.
<http://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/main/home.page> (Pridobljeno 13. 6. 2012.)

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

Hiscock, K. M. 2005. Hydrology: principles and practice. Malden, Oxford, Carlton, Blacwell Science Ltd: 389 str.

Janža M. 2006. Analiza odvisnosti indeksa baznega odtoka od lastnosti povodja. Geografski informacijski sistemi 2005—2006. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika ter inštitut za antropološke in prostorske študije ZRCSAZU: 105–111

Lacey, G. C. 1996. Relating baseflow to catchment properties. A scaling approach. Report 96/8. Cooperative research centre for catchment hydrology: 60 str.

Maidment, D. R. 1993. Handbook of Hydrology. New York, McGraw-Hill Professional: 1424 str.

Mazvimavi, D., Meijerink, A. M. J., Stein, A. 2004. Prediction of base flows from basins characteristics: a case study from Zimbabwe. Hydrological Sciences Journal–des Sciences Hydrologiques 49, 4: 703–715

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, J., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. Acta Hydrotechnica 20, 32: 323 str.
<http://ksh.fgg.uni-lj.si/KSH/acta/index.htm> (Pridobljeno 29. 10. 2011.)

OneGeology-Europe. 2012.
<http://onegeology-europe.brgm.fr/geoportal/viewer.jsp> (Pridobljeno 13. 6. 2012.)

Riggs, H. C. 1964. The Base-flow Recession Curve as an Indicator of Ground Water. International Association of Scientific Hydrology 63: 352—363

Risser, D.W., Gburek, J., Folmar, G.J. 2005. Comparison of Methods for Estimating Ground-Water Recharge and Base Flow at a Small Watershed Underlain by Fractured Bedrock in the Eastern United States. Reston, U.S. Geological Survey: 31 str.

Rose, S., Fullgar, P. D. 2005. Stortium isotope ratios in stream base flow within the Georgia Piedmont Province. Proceedings of the 2005 Georgia Water Resource Conference: 4 str.

Sloto, R.A., Crouse, M. Y. 1996. HYSEP: A Computer Programe for Streamflow Hydrograph Separation and Analysis. Water-Resources Investigations Report 96–4040, Lemoyne. Lemoyne, U.S. Geological Survey: 54 str.

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

Szilagyi, J. 1999. On the Use of Semi-Logarithmic Plots for Baseflow Separation. *Ground Water* 37, 5: 660–662

Szilagyi, J., Parlange, M.B. 1998. Baseflow separation based on analytical solutions of Bussinesq equation. *Journal of Hydrology* 204: 251–260

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

Todd, D. K. 2004. *Groundwater Hydrology* (second edition). Hoboken, John Wiley & Sons, Inc.: 636 str.

Tularam, G. A., Ilahee, M. 2008. Exponential Smoothing Method of Base Flow Separation and Its Impact on Continuous Loss Estimates. *American Journal of Environmental Sciences* 4, 2: 136–144

Uлага, F. 2003. Geografski informacijski sistem v hidrogeografskem proučevanju odtočnosti porečij. Magistrsko delo. Ljubljana, F. Uлага: 145 f.

Viessman, W., Lewis, G.L., Knapp, J.W. 1977. *Introduction to hydrology*. New York, Harper and Row: 704 str.

Vogel, R. M., Kroll, C.N. 1996. Estimation of baseflow recession constants. *Water Resource Management* 10: 303–320.

Wahl, T.L., Wahl, K.L. 2007. BFI for Windows.

http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/twahl/bfi/ (Pridobljeno 7. 2. 2012.)

Welp, L. R., Randerson, J. T., Finlay, J. C., Davydov, S. P., Zimova, G. M., Davydova, A. I., Zimov, S. A. 2005. A high-resolution time series of oxygen isotopes from the Kolyma River: Implications for the seasonal dynamics of discharge and basin-scale water use. *Geophysical research letters* 32: 5 str.
doi:10.1029/2005GL022857