

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:

Kestnar, K. 2012. Določanje največjih pretokov na nemerjenih porečjih. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Brilly, M., somentorica Šraj, M.): 50 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:

Kestnar, K. 2012. Določanje največjih pretokov na nemerjenih porečjih. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Brilly, M., co-supervisor Šraj, M.): 50 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
PRVE STOPNJE VODARSTVA
IN KOMUNALNEGA
INŽENIRSTVA

Kandidat:

KLEMEN KESTNAR

**DOLOČANJE NAJVEČJIH PRETOKOV NA
NEMERJENIH POREČJIH**

Diplomska naloga št.: 3/B-VKI

**ESTIMATION OF MAXIMUM DISCHARGES FOR
UNGAUGED CATCHMENTS**

Graduation thesis No.: 3/B-VKI

Mentorica:
doc. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:
doc. dr. Dušan Žagar

Somentor:
prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 25. 09. 2012

STRAN ZA POPRAVKE

Strani z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Klemen Kestnar izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom
»DOLOČANJE NAJVEČJIH PRETOKOV NA NEMERJENIH POREČJIH«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka kot tiskana različica.

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

Ljubljana, _____ 2012

(Podpis)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	556.51(043.2)
Avtor:	Klemen Kestnar
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Somentor:	prof. dr. Mitja Brilly
Naslov:	Določanje največjih pretokov na nemerjenih porečjih
Tip dokumenta:	Diplomsko delo – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	50 str., 56 pregl., 25 sl., 49 en.
Ključne besede:	maksimalni pretoki, nemerjena porečja, racionalna enačba, empirične enačbe, povratna doba

Izveček

V današnjem času se vse pogosteje dogaja, da nam narava dokazuje svojo moč oz. človeško nemoč. To nam še posebej kaže ena najmočnejših sil tega sveta, voda. Z ustreznim načrtovanjem se da sile vode omejiti, vendar pa se ekstremnim nesrečam izognemo le z ustrezno gradnjo, ki mora upoštevati ustrezne varnostne elemente in faktorje. Problem neupoštevanja varnostnih načel se zelo pogosto pojavi pri manjših vodotokih, ki jih ljudje podcenjujejo, saj so pretoki le teh običajno majhni. Vendar pa se lahko vsakih nekaj desetletij, morda stoletij zgodi ekstremno visoka voda, ki povzroči veliko škode. Zato je opozarjanje pred nevarnostjo manjših vodotokov, ki jih je v Sloveniji veliko, zelo pomembno, saj te vode narastejo izjemno hitro in dajo, v primerjavi z velikimi porečji, prebivalcem ob teh vodotokih manj časa, ki omogoča reševanje imetja. Morda celo življenja.

V diplomskem delu smo podrobneje predstavili problematiko določevanja maksimalnih pretokov na nemerjenih porečjih, ki so večinoma manjša porečja, na katerih se ne izvajajo meritve.

V prvem delu naloge je narejen pregled empiričnih enačb za določanje največjih pretokov na nemerjenih porečjih, ki se najpogosteje uporabljajo pri nas in v svetu. Posebej je predstavljena racionalna metoda in različne empirične enačbe za določanje časa koncentracije.

V drugem delu naloge je predstavljen praktični primer izračuna največjega pretoka z manjšega porečja po različnih enačbah. Z enostavnimi meritvami in sklepanji smo poskušali izločiti najprimernejše enačbe za izbrano porečje.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	556.51(043.2)
Author:	Klemen Kestnar
Supervisor:	Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph. D.
Cosupervisor:	Prof. Mitja Brilly, Ph. D.
Title:	Estimation of maximum discharges for ungauged catchments
Document type:	Graduation Thesis - University studies
Notes:	50 p., 56 tab., 25 fig., 49 eq.
Key words:	maximum discharges, ungauged catchments, rational equation, empirical equations, return period

Abstract

In this days it seems that nature proves its power and human it's weakness. For proving this, there is the most powerful force in the world, water. With appropriate planning the force of the water could be limited. To avoid extreme disasters use of proper construction is necessary. Regarding this security elements and factors need to be taken into account. The problem of non-compliance of safety principles are very often found in small streams with low discharge at most time of the year. However, every few decades, centuries, extremely high water causes extensive damage. There is warning against the dangers of small streams, which is huge in Slovenia. Therefore warning against the danger of small streams is very important, because these waters rise very quickly and make compared to the large river basins, people at these watercourses less time to solve property. Maybe even life.

In the thesis we have studied the problem of estimation of maximum discharges for ungauged catchments. Most of ungauged catchments are small basines with no measurements.

The first part is an overview of empirical equations for determining maximum flows in ungaged basins, which are most commonly used in our country and around the world. The rational method and various empirical equations for the estimation of the time of concentration are presented.

The second part of the thesis includes practical examples of the calculation of the maximum flow from a small basin with different equations. With simple measurements and conclusions we are also trying to determine the most appropriate equations for the selected basin.

ZAHVALA

Na prvem mestu se najlepše zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Šraj in somentorju prof. dr. Mitji Brilly, za strokovno pomoč pri pisanju diplomskega dela, za potrpežljivost in spodbudo pri delu.

Hvala tudi vsem ostalim, ki so na kakršen koli način prispevali k nastanku. Še posebej zahvala domačim za podporo.

1	UVOD	1
1.1	Cilji diplomskega dela	1
2	METODE OCENJEVANJA PRETOKA ZA NEMERJENA POREČJA	2
2.1	Racionalna metoda	2
2.1.1	Koeficient odtoka	3
2.1.2	Intenziteta padavin	4
2.1.3	Metode ocenjevanja časa koncentracije	8
2.1.3.1	Morgali in Linsley-eva enačba	8
2.1.3.2	Kirpichova enačba	9
2.1.3.3	Kerbyeva-Hathewayeva enačba	9
2.1.3.4	Ramserjeva enačba	10
2.1.3.5	Clarkova enačba	10
2.1.3.6	Carterjeva enačba	11
2.1.3.7	Federal Aviation Administration enačba	11
2.1.3.8	USBR enačba	12
2.1.3.9	McCuenova enačba	12
2.1.3.10	Bransby-Williamsova enačba	12
2.2	Empirične enačbe za določanje maksimalnih pretokov	13
2.2.1	Dicken-ova enačba (1865)	13
2.2.2	Ryvesova enačba (1884)	13
2.2.3	Inglisheva in Desouzova enačba (1930)	13
2.2.4	Fullerjeva enačba (1914)	14
2.2.5	Bairelova in Meilwraithova enačba (1951)	14
2.2.6	Formula štirih koeficientov (1894)	14
2.2.7	Giandotti-Vissentinijeva enačba (1952)	15
2.2.8	Müllerjeva enačba (1943)	16
2.2.9	Srebnovičeva enačba za male vodotoke (1986)	16
2.2.10	Foersterjeva enačba	18
2.2.11	Deuerlingova enačba	19
2.2.12	Hofbauerjeva enačba	19
2.2.13	Kresnikova enačba (1886)	19
2.2.14	Hofmanova enačba (1921)	20
2.2.15	Odtok odvisen od dolžine glavne doline (avtor neznan)	20
2.2.16	Weyrauchova enačba (1930)	20
2.2.17	Mellijeva enačba	22
2.2.18	Enačba Isowski (1886)	22
2.2.19	Wundtova enačba (1959)	23
3	OPIS IN ZNAČILNOSTI OBRAVNAVANEGA POREČJA	24
3.1	Opis porečja	24
3.2	Geologija	25
3.3	Pedologija	26
3.4	Padavine	27
3.5	Terenske meritve	29

4	IZRAČUNI	34
4.1	Racionalna metoda	34
4.1.1	Izračun časa koncentracije	34
4.1.1.1	Enačba Morgali in Linsley	34
4.1.1.2	Enačba Kirpich	34
4.1.1.3	Enačba Kerby	34
4.1.1.4	Enačba Ramser	35
4.1.1.5	Enačba Clark	35
4.1.1.6	Enačba Carter	35
4.1.1.7	Enačba Federal Aviation Administration	36
4.1.1.8	Enačba USBR	36
4.1.1.9	Enačba McCuen	36
4.1.1.10	Enačba Bransby–Willimas	36
4.2	Izračun odtoka po ostalih empiričnih enačbah	37
4.2.1	Dickenova enačba	37
4.2.2	Ryvesova enačba	37
4.2.3	Inglish in Desouzova enačba	37
4.2.4	Fullerjeva enačba	37
4.2.5	Bairelova in Meilwraithova enačba	37
4.2.6	Enačba štirih koeficientov	38
4.2.7	Giandotti – Vissentinijeva enačba	38
4.2.8	Müllerjeva enačba	38
4.2.9	Srebrenovičeva enačba	39
4.2.10	Foersterjeva enačba	39
4.2.11	Deuerlingova enačba	39
4.2.12	Hofbauerjeva enačba	40
4.2.13	Kresnikova enačba	40
4.2.14	Hofmanova enačba	40
4.2.15	Odtok odvisen od dolžine glavne doline	40
4.2.16	Weyrauchova enačba	41
4.2.17	Mellijeva enačba	41
4.2.18	Enačba Isowski	41
4.2.19	Wundtova enačba	42
5	ANALIZA REZULTATOV	43
6	ZAKLJUČEK	47
7	VIRI	48

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Koeficient odtoka za različne tipe površine (Chow in sod., 1988: str 498)	4
Preglednica 2: Podatki za višino padavin z določeno povratno dobo in trajanjem padavin za obdobje od 1948 do 2008 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (ARSO, 2009)	4
Preglednica 3: IDF parametri IDF parametri (primer za Lubbock Country, Texas) (Thompson, 2007)	6
Preglednica 4: Manningovi koeficienti (Bennett, 2005)	9
Preglednica 5: Vrednosti Kerby-evega parametra hrapavosti (prirejeno po Rakhecha in sod., 2009)	10
Preglednica 6: Koeficienti odtoka za različne rabe tal (prirejeno po McCuen, 2004)	11
Preglednica 7: Dickenova konstanta (Jagadeesh, 2009)	13
Preglednica 8: Največji specifični pretok q (Žugaj, 2010)	14
Preglednica 9: Koeficienta φ_1 in φ_2 (prirejeno po Žugaj, 2010)	15
Preglednica 10: Koeficienta Ψ_1 in Ψ_2 (prirejeno po Žugaj, 2010)	15
Preglednica 11: Odtočni koeficient (prirejeno po Žugaj, 2010).....	16
Preglednica 12: Največji specifični pretok q (Brus, 1981)	18
Preglednica 13: Največji specifični pretok q (Brus, 1981)	19
Preglednica 14: Največji specifični pretok q (Brus, 1981)	20
Preglednica 15: Koeficient n_1 (Brus, 1981)	21
Preglednica 16: Koeficient n_2 (Brus, 1981)	21
Preglednica 17: Koeficient n_3 (Brus, 1981)	21
Preglednica 18: Koeficient n_4 (Brus, 1981)	21
Preglednica 19: koeficient φ_0 (Brus, 1981)	22
Preglednica 20: Koeficient C_h (Brus, 1981)	22
Preglednica 21: Faktor m za velikost vodozbirne površine A [km ²] (Brus, 1981)	23
Preglednica 22: Kritična višina padavin za posamezna trajanja z določenem času za Novo mesto za obdobje od leta 1970 do 2008 (ARSO, 2009).....	27
Preglednica 23: Izvedene meritve	29
Preglednica 24: Ocena pretoka po Manningu pri globini vode 11 cm	33
Preglednica 25: Ocena prevodnosti struge po Manningu.....	33
Preglednica 26: Največji pretok po racionalni metodi.....	34
Preglednica 27: Čas koncentracije po metodi Morgali in Linsley	34
Preglednica 28: Čas koncentracije po metodi Kirpichu	34
Preglednica 29: Čas koncentracije po enačbi Kerby	35
Preglednica 30: Čas koncentracije po Ramserjevi enačbi	35
Preglednica 31: Čas koncentracije po Clarkovi enačbi	35
Preglednica 32: Čas koncentracije po Carterjevi enačbi.....	35
Preglednica 33: Čas koncentracije po enačbi Aviation administration	36
Preglednica 34: Čas koncentracija po USBR enačbi	36
Preglednica 35: Čas koncentracije po enačbi McCuen	36
Preglednica 36: Čas koncentracija po enačbi Breansby - Williams.....	36
Preglednica 37: Največji pretok po Dickenovi enačbi.....	37
Preglednica 38: Največji pretok po Ryvesovi enačbi.....	37
Preglednica 39: Največji pretok po English in Desouzovi enačbi	37
Preglednica 40: Največji pretok po Fullerjevi enačbi	37
Preglednica 41: Največji pretok po Bairelovi in Meilwraithova enačba.....	38
Preglednica 42: Največji pretok po enačbi štirih koeficientov	38
Preglednica 43: Največji pretok po Giandotti - Vissentinijevi enačbi	38
Preglednica 44: Največji pretok po Müllerjevi enačbi	38
Preglednica 45: Največji pretok po Srebreničevi enačbi	39
Preglednica 46: Največji pretok po Foersterjevi enačbi.....	39
Preglednica 47: Največji pretok po Deuerllngovi enačbi	39
Preglednica 48: Največji pretok po Hofbauerjevi enačbi	40
Preglednica 49: Največji pretok po Kresnikovi enačbi.....	40

Preglednica 50: Največji pretok po Hofmanovi enačbi	40
Preglednica 51: Največji pretok odvisen od dolžine glavne doline	40
Preglednica 52: Največji pretok po Weyrauchovi enačbi	41
Preglednica 53: Največji pretok po Mellijevi enačbi	41
Preglednica 54: Največji pretok po enačbi Isowski	41
Preglednica 55: Največji pretok po Wundtovi enačbi	42
Preglednica 56: Rezultati ocenjenih pretokov po posameznih enačbah	43

KAZALO SLIK

Slika 1: ITP krivulje za obdobje od 1948 do 2008 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (ARSO, 2009)	5
Slika 2: Hidrogram, ko je trajanje padavin večje od časa koncentracije (Thompson in sod., 2003)	6
Slika 3: Hidrogram odtoka, ko je trajanje padavin enako času koncentracije (Thompson in sod., 2003).....	7
Slika 4: Hidrogram, ko je trajanje padavin manj kot čas koncentracije (Thompson in sod., 2003)	8
Slika 5: Izračun padca (Žugaj, 2010).....	17
Slika 6: Grafičen prikaz izračuna K (Žugaj, 2010)	18
Slika 7: Lokacija obravnavanega območja (Geopedia, 2012)	24
Slika 8: Prispevno območje obravnavanega območja (Geopedia, 2012).....	24
Slika 9: Ortofoto posnetek območja (Geopedia, 2012).....	25
Slika 10: Relief obravnavanega območja (Geopedia, 2012)	25
Slika 11: Hidrogeologija obravnavanega območja (Geopedia, 2012)	26
Slika 12: Geologija obravnavanega območja (Geopedia, 2012)	26
Slika 13: Pedologija obravnavanega območja (Geopedija, 2012).....	27
Slika 14: Intenziteta padavin v odvisnosti od trajanja in povratne dobe za Novo mesto z določeno povratno dobo za obdobje 38 let (podatki ARSO, 2009)	28
Slika 15: Padavinski postaji Novo mesto in Vinji vrh (ARSO, 2012).....	28
Slika 16: Vtok v prepust pred izlivom.....	30
Slika 17: Spodnji del toka	30
Slika 18: Zgornji del toka	30
Slika 19: Zgornji tok potoka	31
Slika 20: Izvir potoka Cigan	31
Slika 21: Prečni prerez merskega profila potoka Cigan (enote v cm).....	31
Slika 22: Opravljanje meritve dne 13.5.2012.....	32
Slika 23: Primerjava vseh rezultatov v m^3/s	44
Slika 24: Primerjava primernih rezultatov v m^3/s	45
Slika 25: Primerjava časov koncentracije za izbrano porečje v minutah	46

1 UVOD

Voda je osnovna dobrina, ki jo ljudje in pa tudi ostali organizmi potrebujemo za življenje. Brez nje le to ni mogoče. Hkrati pa voda lahko ljudi tudi ogroža. Ljudje vse prevečkrat posegamo v vodni prostor in s tem ogrožamo naše imetje in tudi življenja.

Vzrok povečane količine vode v vodotokih so padavine. V zadnjem času beležimo vse več ekstremnih dogodkov z močnimi nalivi. Ravno te padavine povzročajo zelo hitro zbiranje vode v vodotokih, ki s svojo močjo povzročajo težave in škodo. Nepoznavanje velikosti vode je še toliko večje na manjših, nemerjenih porečjih, kjer se ne izvaja monitoring pretokov.

Za ta porečja poskušamo visoke vode v praksi čim bolje oceniti s pomočjo različnih empiričnih enačb ali s hidrološkimi modeli. Najpogosteje uporabljena enačba, ki se uporablja za določevanje maksimalnih odtokov na nemerjenih porečjih, je racionalna enačba, ki je bila razvita že leta 1880. Poleg nje pa so različni raziskovalci razvili še mnogo drugih empiričnih enačb za oceno največjih pretokov. Pri uporabi teh enačb moramo biti zelo previdni, saj so bile razvite za točno določena porečja s svojimi značilnostmi in v zelo različnih klimatskih območjih. Zato je priporočljivo, da izračune izvedemo po več različnih metodah in enačbah, poleg tega pa poskušamo z enostavnimi meritvami na terenu ugotoviti realno stanje.

Z pravnimi ocenami maksimalnih pretokov želimo zagotoviti varnost ljudi in imetja. Ocene pretokov različnih povratnih dob uporabljamo za dimenzioniranje hidrotehničnih objektov, cest, mostov, prepustov ipd. Zato je zelo pomembna čim boljša ocena pretoka.

1.1 Cilji diplomskega dela

Cilji diplomskega dela je pripraviti pregled empiričnih enačb za določanje maksimalnih pretokov na manjših, nemerjenih porečjih, ki se najpogosteje uporabljajo doma in po svetu. Podrobneje je potrebno predstaviti racionalno metodo, ki se pogosto uporablja za oceno visokih vod. Vse metode je potem potrebno preizkusiti na praktičnem primeru. Izbrano je bilo manjše porečje potoka Cigan, ki leži v okolici Novega mesta. S pomočjo terenskega ogleda in enostavnih meritev je na koncu potrebno narediti še analizo in oceno najprimernejših enačb za oceno visokih vod na izbranem porečju.

2 METODE OCENJEVANJA PRETOKA ZA NEMERJENA POREČJA

2.1 Racionalna metoda

Racionalna metoda je bila razvita leta 1880 za določanje največjih odtokov različnih povratnih dob z manjših območij. Pogosto so jo kritizirali zaradi njenega poenostavljenega pristopa, vendar pa je ravno ta preprostost vplivala na to, da je racionalna metoda ena izmed najbolj razširjenih tehnik določanja največjega odtoka danes (Thompson, 2007). Največkrat se uporablja pri dimenzioniranju kanalizacije meteornih vod z urbaniziranih površin, lahko pa se uporablja tudi za določanje največjega odtoka z manjših ruralnih porečij (Brilly in Šraj, 2006).

Racionalna metoda ocenjevanja največjega pretoka temelji na fizičnih in hidravličnih lastnostih porečij. Uporablja pa se na manjših porečjih (Rakhecha in sod., 2009; Žugaj, 2010). Največji pretok z izbrano povratno dobo ocenimo z enačbo:

$$Q_{max} = 0.278 * C * i * A \quad (1)$$

kjer je:

Q_{max}	največji pretok [m ³ /s],
C	koeficient odtoka,
i	intenziteta padavin z določeno povratno dobo in trajanjem, ki je enako času koncentracije (t_c) [mm/h],
A	vodozbirna površina [km ²].

Čas koncentracije je opredeljen kot čas, ki ga potrebuje voda, da odteče iz najbolj oddaljenega dela porečja, do iztočnega profila. Čas koncentracije je odvisen predvsem od naklona, dolžine vodnih poti in lastnosti zemeljske površine. Metoda je primerna za manjša območja do 0,5 km².

Pri uporabi racionalne metode predpostavljamo, da maksimalni pretok povzročijo enakomerne padavine v času, ki je enak času koncentracije porečja. (Institute for transportation Iowa, 2008). Pri uporabi racionalne enačbe so upoštevane tudi nekatere druge predpostavke, ki se jih moramo kot inženirji zavedati, saj obstajajo tudi izjeme in izjemne okoliščine, ki lahko vplivajo na rezultate. Dodatne predpostavke so:

- Povratna doba pretoka je enaka povratni dobi povprečne intenzitete padavin.
- Padavine so enakomerno prostorsko porazdeljene.
- Intenziteta padavin je nespremenjena v časovnem obdobju, ki je enako trajanju povprečne intenzitete padavin.
- Trajanje nevihte, ki povzroči konico pretoka je enako povprečnemu trajanju intenzitete padavin do določene točke.
- Frekvenčna krivulja odtoka je vzporedna s frekvenčno krivuljo padavin. To pomeni, da je za vse povratne dobe uporabljen enak koeficient odtoka. V praksi se koeficient odtoka prilagaja za različne povratne dobe (od 25-letne do 100-letne).
- Drenažna površina je skupna prispevna površina vseh pritokov do končne točke obravnavanega območja.
- Povprečno trajanje intenzitete padavin je čas, ki je potreben, da odtočna voda priteče iz hidravlično najbolj oddaljene točke prispevnega območja do iztoka oz. izbrane točke.

Pri uporabi racionalne metoda pa velja tudi več omejitev:

- Najpomembnejša omejitev je, da je edini rezultat, ki ga poda metoda, maksimalni pretok (ocena ene točke na hidrogramu).

- Povprečna intenziteta padavin, ki se uporablja v enačbi, nima časovne povezave z dejansko razporeditvijo padavin.
- Pri ocenjevanju časa koncentracije moramo upoštevati čas površinskega dela odtoka in čas odtoka po strugi.
- Koeficient odtoka C se ponavadi odčita iz preglednic. Potrebna je dobra presoja pri oceni vrednosti. 20 odstotno povečanje ali zmanjšanje vrednosti C ima enak učinek, kot spreminjanje 5-letne povratne dobe v 15-letno povratno dobo.
- Pri določanju velikosti prispevnega območja moramo biti pozorni na prepustna in neprepustna območja, ki vplivajo na velikost maksimalnega odtoka (Institute for transportation Iowa, 2008).

2.1.1 Koeficient odtoka

Koeficient odtoka C predstavlja razmerje med odteklo in padlo vodo. C je spremenljivi del racionalne enačbe, zato najbolj vpliva na natančnost izračuna in zahteva presojo. Predstavlja celotne značilnosti in parametre porečja. Koeficient odtoka za nemerjena porečja ponavadi odčitamo iz preglednic različnih avtorjev v odvisnosti od rabe tal, lahko pa tudi v odvisnosti od vrste zemljine, naklona in povratne dobe (preglednica 1).

Dobro poznavanje lastnosti obravnavanega območja ali porečja je bistvenega pomena pri izbiri ustreznega koeficienta odtoka. Koeficient odtoka dobimo s sestavljanjem koeficientov odtoka, ki temeljijo na odstotkih različnih vrst površin območja, ki ga obravnavamo. Koeficient odtoka se določi na podlagi odstotkov namenske rabe zemljišč, različnih vrst površin, kot so strehe, asfalt, beton. Odvisen je tudi od prepustnosti podlage (drenaže, neprepustni bloki...). Ne smemo pozabiti, da je pri racionalni metodi predpostavljeno, da je raba zemljišča na porečju enakomerno razporejena po celotnem območju (Goranc, 2011).

Za območja, ki imajo veliko neprepustnih površin in zato ustrezno visok koeficient odtoka in kratek čas koncentracije, lahko dobimo precej večjo vrednost odtoka, kot pa je realno. Po drugi strani pa enačba lahko podceni največji pretok na območjih, kjer je prevladujoč delež podlage travnik (prinaša daljše T_c) (Institute for transportation Iowa, 2008).

Preglednica 1: Koeficient odtoka za različne tipe površine (Chow in sod., 1988: str 498)

površina	povratna doba (leta)						
	2	5	10	25	50	100	500
razvita							
asfalt	0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95	1
beton/streha	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1
travnate površine (trate, parki, itd.)							
Slaba pokritost							
ravno, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.58
povprečno, 2-7%	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
strmo, več kot 7%	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Povprečna pokritost							
ravno, 0-2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
povprečno, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
strmo, več kot 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Dobra pokritost							
ravno, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
povprečno, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
strmo, več kot 7%	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.58
nerazvita							
obdelovalne površine							
ravno, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.57
povprečno, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.49	0.6
strmo, več kot 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.53	0.61
pašniki							
ravno, 0-2%	0.252	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
povprečno, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
strmo, več kot 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
gozdna površina							
ravno, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
povprečno, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56
strmo, več kot 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

2.1.2 Intenziteta padavin

Intenziteta padavin predstavlja povprečno intenziteto padavin v mm/h z določeno povratno dobo in trajanjem, ki je enako času koncentracije (t_c). Odvisna je od geografskega položaja in pogostosti pojava močnih padavin (Thompson, 2006). Razmerje med intenziteto padavin, trajanjem padavin in povratno dobo predstavimo z družino krivulj, ki jih imenujemo krivulje intenziteta-trajanje-povratna doba ali ITP krivulje (angl. *intensity-duration-frequency curves* ali *IDF*). S pomočjo ITP krivulj karakteriziramo padavinski vzorec za določeno območje. ITP krivulja je grafična ponazoritev intenzitete padavin v odvisnosti od podanega časovnega intervala, pri čemer horizontalna os prestavlja trajanje, vertikalna os pa intenziteto padavin (Goranc, 2011). Statistične analize padavin za dolgoletna obdobja pri nas izdelala ARSO (preglednica 2).

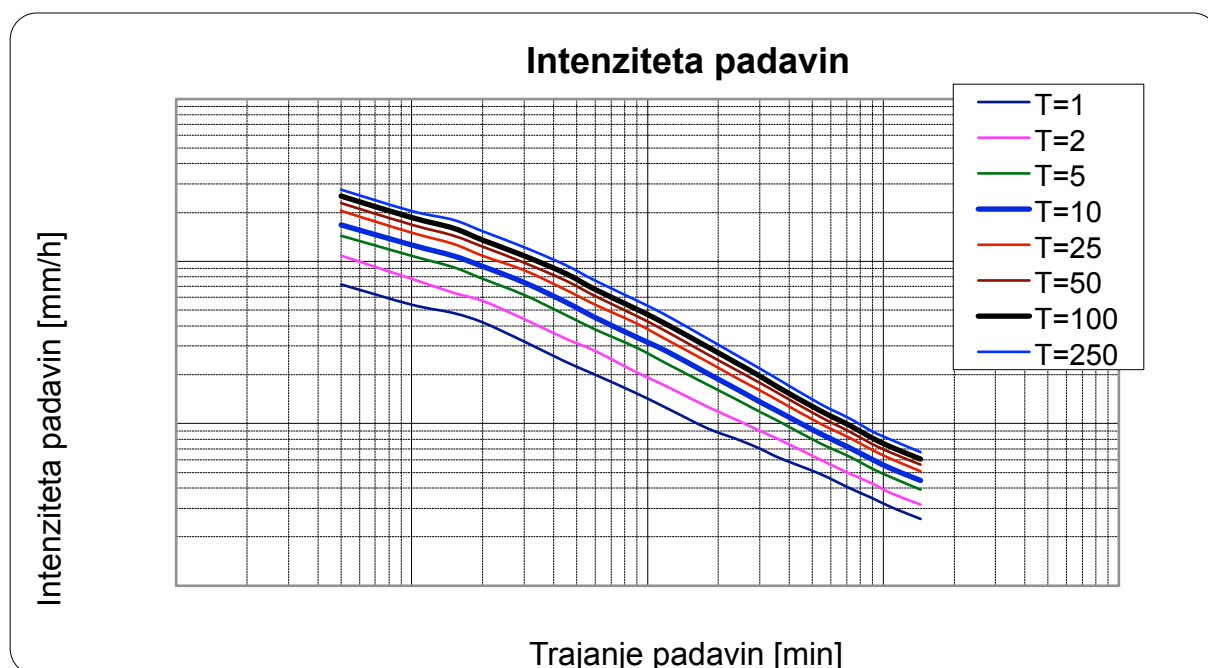
Preglednica 2: Podatki za višino padavin z določeno povratno dobo in trajanjem padavin za obdobje od 1948 do 2008 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (ARSO, 2009)

TRAJANJE PADAVIN	POVRATNA DOBA								
	1 leto	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let	
5 min	6	9	12	14	17	19	21	23	mm
10 min	9	13	18	21	25	28	31	34	mm
15 min	12	16	23	27	32	36	40	45	mm
20 min	14	19	26	31	36	41	45	51	mm
30 min	16	22	31	37	44	49	54	61	mm
45 min	18	25	35	42	50	57	63	71	mm

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 2

60 min	20	28	38	45	54	61	67	76	mm
90 min	23	31	44	51	62	69	76	86	mm
120 min	25	34	47	56	66	74	82	93	mm
180 min	28	38	52	61	72	80	89	100	mm
240 min	32	42	56	65	76	85	94	105	mm
300 min	35	45	59	68	80	89	98	109	mm
360 min	37	48	62	71	83	92	100	112	mm
540 min	44	54	68	78	90	99	108	119	mm
720 min	48	59	75	85	98	107	117	129	mm
900 min	52	64	79	90	103	112	122	134	mm
1080 min	55	67	84	95	109	119	129	143	mm
1440 min	62	76	94	107	122	134	145	160	mm



Slika 1: ITP krivulje za obdobje od 1948 do 2008 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (ARSO, 2009)

V posameznih državah, npr. v ZDA, uporabljajo za izračune tudi empirične ITP enačbe, ki so prilagojene za specifična območja (Goranc, 2011). Tako se npr. po TxDOT navodilih (Thompson in sod., 2003) kot približek uporablja empirična enačba:

$$i = \frac{b}{(t_c + d)^e} \quad (2)$$

kjer je:

- i povprečna intenziteta padavin v času koncentracije [mm/h],
- t_c čas koncentracije [min],
- b, d, e parametri, ocenjeni za posamezna območja (preglednica 3).

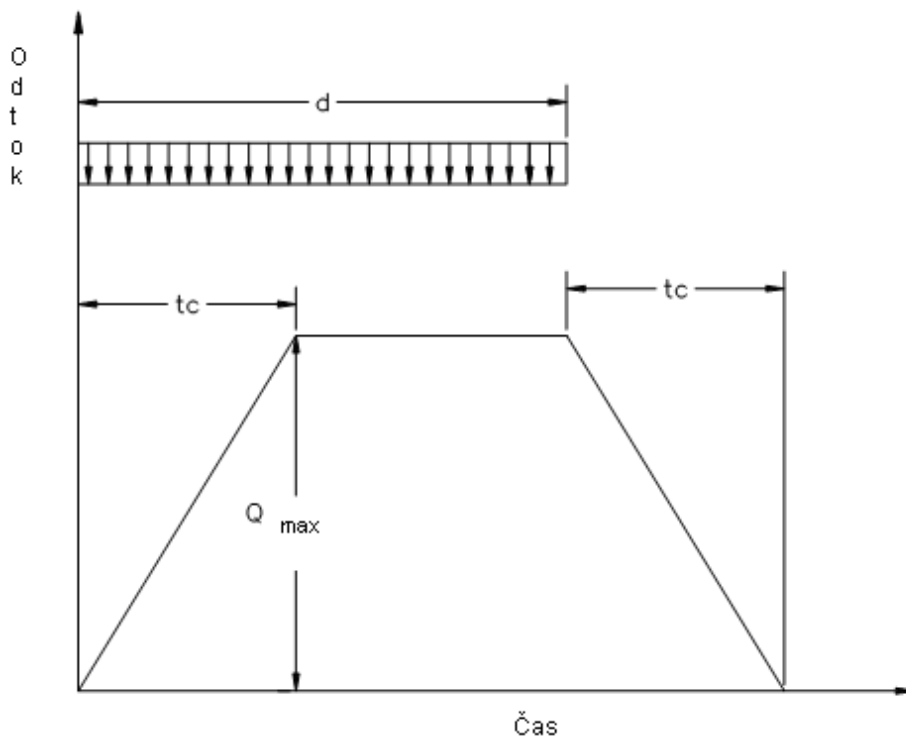
Preglednica 3: IDF parametri IDF parametri (primer za Lubbock Country, Texas) (Thompson, 2007)

PARAMETER	POVRATNA DOBA [leta]					
	2	5	10	25	50	100
e	0.830	0.821	0.813	0.816	0.808	0.810
b	47	60	69	82	88	101
d	10.0	10.1	10.1	10.1	10.1	10.0

Teorija hidrograma predvideva, da se lahko hidrogram pri padavinskem odtoku po nevihti oblikovno približa trikotniku ali trapezu. Naraščanju in padanju črte sledi linearna odvisnost med časom in površino za podpovodja. To velja za porečja, kjer je prispevnost linearna (Thompson, 2003).

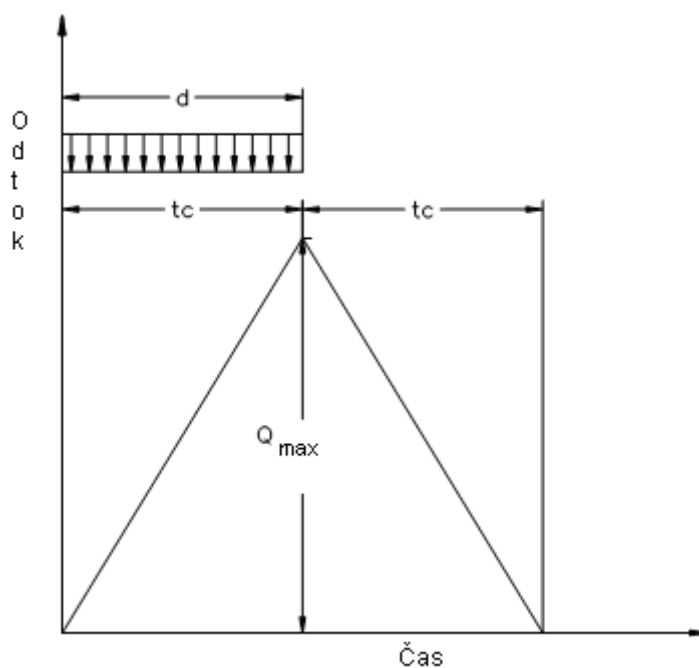
Na določenem porečju se teoretično lahko zgodijo trije tipi hidrograma (slike 2 do 4). Vrsta hidrograma je odvisna od trajanja padavin d , glede na čas koncentracije t_c . Možne so naslednje tri kombinacije (Walesh, 1989):

1. Če je trajanje nevihte (d) daljše od časa koncentracije padavin t_c , je hidrogram trapezne oblike z enakomernim največjim pretokom. Naraščajo in padajoči del hidrograma imata enako trajanje t_c , kot je prikazano na sliki 2.



Slika 2: Hidrogram, ko je trajanje padavin večje od časa koncentracije (Thompson in sod., 2003)

2. Če je trajanje padavin (d) enako času koncentracije t_c , naraščanju hidrograma v času koncentracije t_c do največjega pretoka, takoj sledi padanje nazaj na nič v enakem času. Nastali hidrogram je trikotne oblike, kot je prikazano na sliki 3.

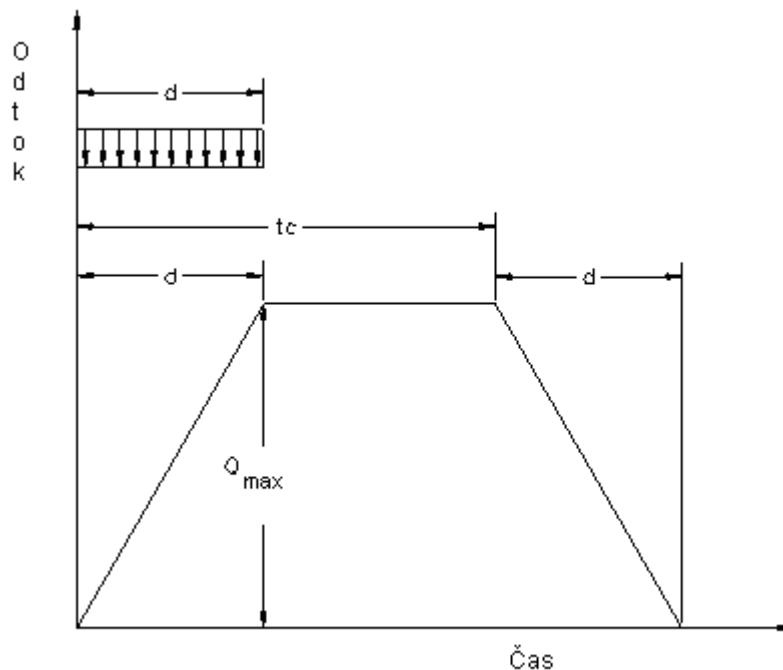


Slika 3: Hidrogram odtoka, ko je trajanje padavin enako času koncentracije (Thompson in sod., 2003)

3. Če je trajanje padavin d krajše kot čas koncentracije t_c , potem je hidrogram trapezne oblike z največjim pretokom:

$$Q = 0.278 * C * i * A * \left(\frac{d}{t}\right) \quad (3)$$

ki se pojavi po koncu trajanja padavin d do časa koncentracije t_c . Naraščajoči in padajoči del hidrograma pa sta enaka trajanju nevihte d .



Slika 4: Hidrogram, ko je trajanje padavin manj kot čas koncentracije (Thompson in sod., 2003)

2.1.3 Metode ocenjevanja časa koncentracije

V nadaljevanju sledi pregled empiričnih enačb za oceno časa koncentracije. Vse metode so empirične, vsaka metoda pa je določena na podlagi analize enega ali več nizov meritev na točno določenih porečjih. Uporabljamo jih na nemerjenih porečjih ali v primeru, ko nimamo dovolj natančnih in sistematičnih podatkov (Golob, 2012). Na splošno pri uporabi enačb velja inženirska presoja. Vsekakor pa moramo pri vsaki posamezni enačbi upoštevati omejitve, ki so jih določili avtorji. Po TxDOT (Thompson in sod., 2003) je priporočeno, da je t_c manjši od 300 minut, ter večji od 10 minut. Nekatere druge agencije zahtevajo, da je t_c večji od 5 minut. Za trajanje manjše od 5 ali 10 minut ocene postanejo nespremenljivo velike. Za daljše trajanje (več kot 300 minut) pa postane vprašljiva predpostavka o relativno enakomernih padavinah (Thompson, 2007).

2.1.3.1 Morgali in Linsley-eva enačba

Na manjših ravninskih, urbanih območjih s površino manjšo kot 0.2 km^2 lahko uporabimo metodo Morgan in Linsley (1965) (Thompson in sod., 2007).

$$t_c = \frac{469.38 \cdot (nL)^{0.6}}{i^{0.4} S^{0.3}}, \quad (4)$$

kjer je:

- t_c čas koncentracije [min],
- i povprečna intenziteta padavin v času koncentracije s 100 letno povratno dobo [mm/h],
- n Manningov koeficient hrapavosti (preglednica 4),
- L dolžina toka [m],
- S padec toka [%].

Preglednica 4: Manningovi koeficienti (Bennett, 2005)

TIPI TAL	Manningov koeficient <i>n</i>
Odprt kanal, zemlja, enotna sestava:	
s kratko travo	0,022 - 0,027
prodnati del	0,022 - 0,025
Odprt kanal, zemlja, delno enotna sestava:	
brez vegetacije	0,022 - 0,025
trava, nekaj plevela	0,025 - 0,030
gost plevel ali vodne rastline v globokih kanalih:	0,030 - 0,035
brežine čiste, gramozno dno	0,025 - 0,030
brežine čiste, prodnato dno	0,030 - 0,040
Odprt kanal, strojno izkopan:	
brez vegetacije	0,028 - 0,033
manjše grmovje na robovih	0,035 - 0,050
Odprt kanal, kamnit:	
umeten	0,035
naraven	0,035 - 0,045
Nevzdrževan odprt kanal:	
gost plevel, velika globina struge	0,08 - 0,12
čisto dno, zaraščena brežina	0,05 - 0,08
čisto dno, zaraščena brežina, velik pretok	0,07 - 0,11
velika zaraščenost, velik pretok	0,10 - 0,14

2.1.3.2 Kirpichova enačba

Kirpich je razvil formulo za napovedovanje časov koncentracije, ki temelji na podatkih s sedmih podeželskih vodotkov v Tennesseeju. Porečja so bila definirana kot strma (več kot 3 % nagiba) (Civil Engineering Department New York, 2012). Uporablja se za manjša porečja.

$$t_c = 0.066 * L^{0.77} S^{-0.385} \quad (5)$$

kjer je:

- t_c čas koncentracije [h],
- L dolžina glavnega toka [km],
- S padec glavnega toka [‰].

Metoda Kirpich je omejena na porečja s prispevno površino približno 2 km² (Rakhecha in sod., 2009).

2.1.3.3 Kerbyeva-Hathewayeva enačba

Za majhna porečja, kjer je površinski tok pomemben del odtoka, vendar predpostavke, ki izhajajo iz Morgali in Linsley-jevega pristopa niso ustrezne, lahko uporabimo metodo Kerby (1959). Enačbo Kerby-Hatheway zapišemo kot (Thompson, 2007):

$$t_c = 0.024 \left[\frac{NL}{\sqrt{S}} \right]^{0.467} \quad (6)$$

kjer je:

t_c	čas koncentracije [h],
L	dolžina glavnega toka [m],
S	padec glavnega toka [‰],
N	Kerby-ev parameter hrapavosti (preglednica 5).

Dolžina površinskega toka ne sme presegati dolžine 400 metrov. V primeru večjih razdalj pa uporabimo kombinacijo Kerbyjeve in Kirpicheve metode. Vsekakor je kombinacija časa koncentracije površinskega toka in toka po strugi pravilen pristop (Thompson, 2007). Vrednosti parametra N so podane v preglednici 5.

Preglednica 5: Vrednosti Kerby-evega parametra hrapavosti (prirejeno po Rakhecha in sod., 2009)

POVRŠINE	N
pločnik	0.02
gladka, gola zemlja	0.1
redka trava, gojene rastlinske vrste ali zmerno težki gole površine	0.2
Pašnik, travnik	0.4
listnat gozd	0.6
gosta trava, iglasti gozd, listnati gozd z globoko steljo	0.8

2.1.3.4 Ramserjeva enačba

Enačba, ki jo je izpeljal Ramser (1927), se uporablja predvsem za umetne kanale (Soil Conservation Service, 1966).

$$t_c = \frac{0.01997 * L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (7)$$

kjer je:

t_c	čas koncentracije [min],
S	padec toka [‰].
L	dolžina struge [m].

2.1.3.5 Clarkova enačba

Metoda se pogosto uporablja za določevanje pretoka s pomočjo računalniških programov (Straub, 2000). Za razliko od drugih Clarkova enačba uporablja najdaljšo pot, ki jo opravi vodni delec na določenem porečju.

$$t_c = 19.22 * \frac{\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.57}}{S^{0.11} 10^I} * (\log S + \log 5.28) \quad (8)$$

kjer je:

t_c	čas koncentracije [min],
S	padec toka [‰],
L	dolžina najdaljše vodne poti [km],

I odstotek neprepustne površine porečja [l].

Omejitve, ki veljajo:

- površina porečja med 0.34 in 1060 km²,
- dolžina najdaljše vodne poti vodnega delca med 1 in 84 km,
- dolžina toka do centroida porečja med 0.4 in 43 km,
- padec porečja med 0.38 in 6.25 %.

2.1.3.6 Carterjeva enačba

Carter (1961) je metodo razvil za urbanizirana porečja, kjer je upošteval Manningov koeficient med 0.013 in 0.025 (Fang, 2005). Carter je odvisnost zapisal kot:

$$t_c = 45.63 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.6} \quad (9)$$

kjer je:

t_c čas koncentracije [min],
 S povprečni naklon vodotoka [m/km],
 L dolžina struge [km].

Omejitve, ki veljajo:

- površina porečja do 20.7 km²,
- dolžina najdaljše poti vodnega delca med 1 in 11.3 km,
- naklon do 2%.

2.1.3.7 Federal Aviation Administration enačba

Metoda je namenjena predvsem za manjša porečja, s prevladujočim površinskim tokom. (Viessman in Lewis, 2003)

$$t_c = 22.73 * (1.1 - C) * (L)^{1/2} * S^{-1/3} \quad (10)$$

kjer je:

t_c čas koncentracije [min],
 S povprečni naklon vodotoka [m/m],
 L najdaljša pot vodnega delca [km],
 C koeficienta odtoka (preglednica 6).

Preglednica 6: Koeficienti odtoka za različne rabe tal (prirejeno po McCuen, 2004)

RABA TAL	KOEFICIENT ODTOKA C
poslovna območja: center	0.70 - 0.095
poslovna območja: obrobje	0.50 - 0.70
stanovanjska območja: enodružinske hiše	0.30 - 0.50
stanovanjska območja: večdružinske hiše	0.40 - 0.60
stanovanjska območja: bloki	0.60 - 0.75
predmestje	0.25 - 0.40
težka industrija	0.60 - 0.90
lahka industrija	0.50 - 0.80

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 6

parki in pokopališča	0.10 - 0.25
kmetijske površine	0.10 - 0.30
strehe, ceste, parkirišča	0.75 - 0.95
peščene zemljine: naklon do 2%	0.05 - 0.10
peščene zemljine: naklon 2-7%	0.10 - 0.15
peščene zemljine: naklon nad 7%	0.15 - 0.20
grobe zemljine: naklon do 2%	0.13 - 0.17
grobe zemljine: naklon 2-7%	0.18 - 0.22
grobe zemljine: naklon nad 7%	0.25 - 0.35

2.1.3.8 USBR enačba

Ameriški urad za kultiviranje zemljine je (1973) razvil enačbo za gorata porečja (American Society of Civil Engineers, 1996).

$$t_c = 14.433 * \left(62.83 * \frac{L^3}{H}\right)^{0.385} \quad (11)$$

kjer je:

t_c	čas koncentracije [min]
H	višinska razlika med najvišjo točko in iztokom porečja [m]
L	najdaljša pot vodnega delca [km]

2.1.3.9 McCuenova enačba

Enačba po metodi McCuen (1984) je bila podana na podlagi analize 48 urbanih povodij s 30% neprepustnih površin, ki so bila večinoma manjša od 8 km² (American Society of Civil Engineers, 1996).

$$t_c = 135 * (i_2)^{-0.7164} (L)^{0.552} (S)^{-0.207} \quad (12)$$

kjer je:

t_c	čas koncentracije [min],
S	povprečni naklon vodotoka [m/m],
L	najdaljša pot vodnega delca [km],
i_2	dvo-letna intenziteta padavin [mm/h].

2.1.3.10 Bransby-Williamsova enačba

Pri Bransby-Williams enačbi (1977) gre za preprosto enačbo, ki se jo uporablja v primeru pomanjkanja podatkov, za pretežno neprepustna porečja (Abustan, 2008).

$$t_c = \frac{0.01456 * L}{A^{0.1} * S^{0.2}} \quad (13)$$

kjer je:

t_c	čas koncentracije [min],
S	povprečni naklon porečja [m/m],
L	dolžina glavne vodne poti [m],
A	površina porečja [km ²].

2.2 Empirične enačbe za določanje maksimalnih pretokov

Za določitev visokih vod se v praksi pri nas in po svetu uporablja več empiričnih enačb različnih avtorjev. Razvite so bile v različnih delih sveta (Rakhecha, 2009; Chow, 1964). V nadaljevanju je narejen pregled najpogosteje uporabljenih enačb. Večina enačb vključuje površino porečja, kot eno glavnih spremenljivk, ki vpliva na velikost konice pretoka, hkrati pa zanemarija pogostost pojava visokih vod. Empirične enačbe se morajo praviloma uporabljati le za območja, kjer so bile razvite oz. za območja s podobnimi lastnostmi.

2.2.1 Dicken-ova enačba (1865)

Dicken je prvi v Indiji poskušal izpeljati splošno formulo za ocenjevanje največjega pretoka Q v odvisnosti od prispevnega območja A na podlagi študije, izvedene za določanje plovnih zmogljivosti pod mostovi (Rakhecha in sod., 2009). Njegova enačba se glasi:

$$Q = CA^{3/4} \quad (14)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m^3/s],
- C Dickenova konstanta [6 - 30] (preglednica 7),
- A vodozbirna površina [km^2].

Preglednica 7: Dickenova konstanta (Jagadeesh, 2009)

TIPI POREČJA	C
hribovita gola porečja	19.6 - 28
porečja z hribovitimi pritoki	14 - 16.8
gričevnato porečje z neprepustno glino	11.2 - 14
peščena, obdelana tla	2.8 - 7.0

2.2.2 Ryvesova enačba (1884)

Ryves nemodificirana Dickenova formula se uporablja za porečja v južni Indiji (Rakhecha in sod., 2009). Ryves je odvisnost pretoka zapisal kot:

$$Q = CA^{2/3} \quad (15)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m^3/s],
- C Ryvesova konstanta [6 - 30],
- A vodozbirna površina [km^2].

Konstanta C za hribovita območja je 10.2 (Rakhecha in sod., 2009).

2.2.3 Inglisheva in Desouzova enačba (1930)

Na podlagi podatkov o poplavnih površinah na zahodnem Ghatsu v Maharashtrasu, sta English in Desouza leta 1930 razvila enačbo za oceno poplavnih valov (Rakhecha in sod., 2009):

$$Q = 124A/(A + 10.4)^{1/2} \quad (16)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m³/s],
A vodozbirna površina [km²].

2.2.4 Fullerjeva enačba (1914)

Fullerjeva enačba je ena redkih, ki pri izračunu največjega pretoka upošteva tudi pogostost pojava. Fuller (1914) je razvil enačbo za porečja v ZDA:

$$Q = CA^{0.8}(1 + 0.8 \log T) \quad (17)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m³/s],
C konstanta [0.18 - 1.88],
A vodozbirna površina [km²],
T povratna doba [leta].

Fuller predlaga uporabo povratne dobe 1000 let.

2.2.5 Bairelova in Meilwraithova enačba (1951)

Na podlagi najvišjih zabeleženih poplav na različnih koncih sveta, sta Bairel in Meilwraith (1951) razvila enačbo za ocenjevanje največjih pretokov (Rakhecha in sod., 2009):

$$Q = 3025A/(278 + A)^{0.78} \quad (18)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m³/s],
A vodozbirna površina [km²].

2.2.6 Formula štirih koeficientov (1894)

Formula štirih koeficientov ali formula Bavarsko-Ržihov je bila objavljena leta 1894 (Žugaj, 2010) in se glasi:

$$Q = Aq\varphi_1\varphi_2\psi_1\psi_2 \quad (19)$$

kjer je:

- A vodozbirna površina [km²],
Q največji pretok [m³/s],
q največji specifični pretok [m³/s/km²] (preglednica 8),
 φ_1 koeficient pogođenosti terena (preglednica 9),
 φ_2 koeficient vodoprepustnosti terena (preglednica 9),
 ψ_1 koeficient vpliva na dolžino glavnega toka vodotoka (preglednica 10),
 ψ_2 koeficient oblike terena (preglednica 10).

Preglednica 8: Največji specifični pretok q (Žugaj, 2010)

L [km]	<3	3 - 5	5 - 8	8 - 12	12 - 15	15 - 18
q [m ³ /s/km ²]	25	16	14	10	7	5

Preglednica 9: Koeficienta φ_1 in φ_2 (prirejeno po Žugaj, 2010)

POGOZDENOST POREČJA	φ_1	VODOPREPUSTNOST POREČJA	φ_2
brez gozda	1.0	neprepustno	1.0
1/4 gozda	0.9	slabo prepustno	0.9
1/2 gozda	0.8	srednje prepustno	0.8
3/4 gozda	0.7	zelo prepustno	0.7
porečje je pogozeno	0.6		

Preglednica 10: Koeficienta ψ_1 in ψ_2 (prirejeno po Žugaj, 2010)

DOLŽINA L [km]	ψ_1	OBLIKA TERENA	ψ_2
0.10 - 2.0	1.0	zelo hribovit	1.0
2.0 - 3.0	0.9	hribovit	0.95
3.0 - 4.0	0.83	manj hribovit in gričevnat	0.9
4.0 - 5.0	0.75	gričevnat in ravninski	0.85
5.0 - 6.0	0.68	raven teren	0.80
6.0 - 7.0	0.63		
7.0 - 8.0	0.58		
8.0 - 9.0	0.53		
9.0 - 10.0	0.50		
10.0 - 12.0	0.43		
12.0 - 15.0	0.35		

2.2.7 Giandotti–Vissentinijeva enačba (1952)

Giandotti in Vissentini sta leta 1952 (Žugaj, 2010) predstavila sledečo enačbo:

$$Q = \frac{nAh\sqrt{\Delta H}}{4\sqrt{A}+1.5L} \quad (20)$$

kjer je:

- A vodozbirna površina [km²],
- Q največji pretok [m³/s],
- h povprečne količine naliva, ki traja enako ali dlje od časa koncentracije [m],
- L dolžina vodotoka [km],
- n koeficient razvejanosti vodotoka (za manjše vodotoke $n=166$, za večje $n=160$).

Čas koncentracije :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A}+1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}} \quad (21)$$

kjer je:

- T_c čas koncentracije [h],
- ΔH povprečna višinska razlika struge vodotoka [m].

$$\Delta H = H_0 - H \quad (22)$$

kjer je:

- H_0 srednja nadmorska višina struge [m],
- H nadmorska višina pretočnega profila [m].

2.2.8 Müllerjeva enačba (1943)

Müllerjeva enačba se glasi:

$$Q = 40\varphi_0 A^3 \quad (23)$$

kjer je:

- A vodozbirna površina [km²],
Q največji pretok [m³/s],
 φ_0 odtočni koeficient (preglednica 11).

Preglednica 11: Odtočni koeficient (prirejeno po Žugaj, 2010)

LASTNOSTI POREČJA	VELIKOST KOEFICIENTA φ_0 V ODVISNOSTI OD NAGIBA POREČJA		
	majhen nagib	srednji nagib	velik nagib
področje nad gozdno mejo	0.40	0.60	0.80
področje gozda	0.20	0.40	0.60
ravnine, travniki, njive, gozd	0.10	0.30	0.50
navaden gozd	0.05	0.20	0.40

Povratna doba tako izračunanega pretoka je 100 let (Žugaj, 2010).

2.2.9 Srebnovičeva enačba za male vodotoke (1986)

Temelji na racionalni enačbi, koeficienti pa so prirejeni za porečje Save. Ker so odnosi med parametri, ki vplivajo na visoko vodo zelo dobro opredeljeni, je primerna za praktično uporabo.

$$Q = 0.48 \frac{\alpha}{(\beta\omega)^{3/4}} A^{0.96} \psi_p S^{1/2} \quad (24)$$

kjer je:

- A vodozbirna površina [km²],
Q največji pretok [m³/s],
 α odtočni koeficient, ki se za povprečne letne padavine $1000 < P < 2000$ mm izračuna po enačbi:

$$\alpha = 0.80[1 + 0.075(\log p - \beta)] \quad (25)$$

kjer je:

- p povratna doba [leta],
 β faktor, odvisen od prepustnosti (za gozdna območja $\beta=1-3$, pri čemer je za slabo prepustna in poraščena tla β bližje 1, za prepustna in poraščena tla pa bližje 3),
 ψ_p koeficient definiran z izrazom:

$$\Psi_p = [P(1 + 1.5 \log p)]^{1.43} \quad (26)$$

kjer je:

- p količina povprečnih letnih padavin [m],
S vzdolžni padec struge [m/km],

$$S = \frac{2\Delta H}{L} \quad (27)$$

ΔH razlika med srednjo nadmorsko višino vodotoka H_0 in koto pretočnega profila [m],

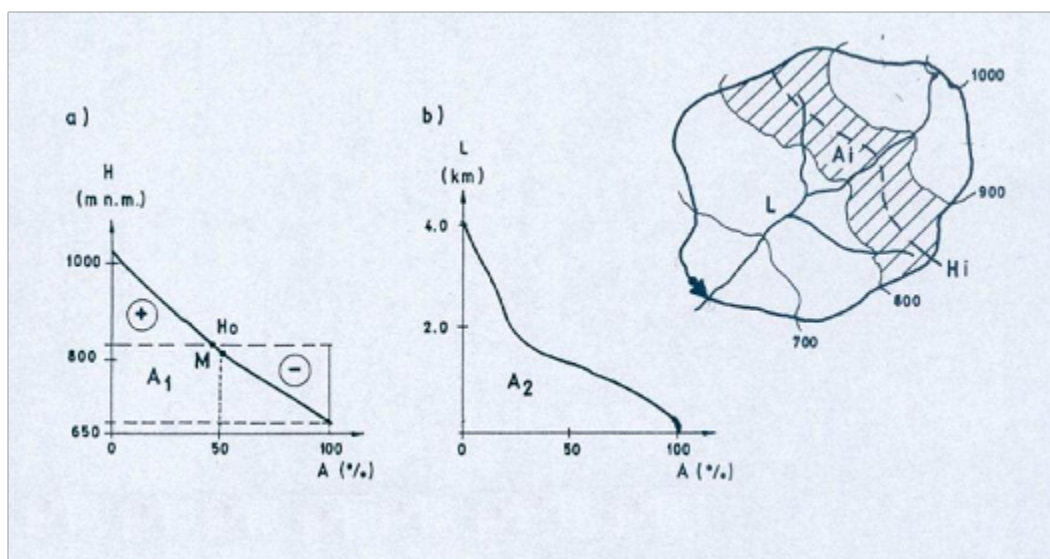
$$\Delta H = H_0 - H \quad (28)$$

L daljša stranica nadomestnega pravokotnika, katerega površina je enaka površini vodotoka [km],

$$l = \sqrt{\frac{A(2-K)}{K}} \quad (29)$$

l krajša stranica nadomestnega pravokotnika [km],

$$l = \sqrt{\frac{AK}{2-K}} \quad (30)$$



Slika 5: Izračun padca (Žugaj, 2010)

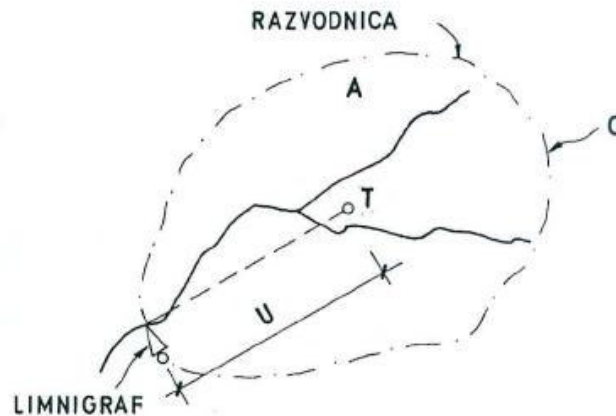
K koeficient koncentriranosti vodotoka (slika 6),

$$K = \frac{2A}{OU} \quad (31)$$

kjer je:

O obseg porečja [km],

U oddaljenost težišča porečja od pretočnega profila [km],

Slika 6: Grafičen prikaz izračuna K (Žugaj, 2010)

ω koeficient, definiran z izrazom:

$$\omega = 1 + \frac{\tau_2}{\tau_1} \quad (32)$$

kjer je:

τ_1 čas površinskega zbiranja vode [h],
 τ_2 čas toka vzdolž vodotoka [h].

$$\tau_1 = \frac{20\beta}{[P(1+1.5 \log p)]^{0.57} S^{0.43}} \quad (33)$$

$$\tau_2 = 2.6 \left(\frac{A}{S}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (34)$$

Torej je čas vodnega vala τ :

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 \quad (35)$$

2.2.10 Foersterjeva enačba

Po Foersterju se v Sloveniji določajo visoke vode predvsem na kraških območjih, ter v Prekmurju in na Primorskem, kjer so večje izgube zaradi odtekanja v kraško podlago (Brus, 1981).

$$Q = q * A \quad (36)$$

kjer je:

Q največji pretok [m^3/s],
 q največji specifični pretok [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$] (preglednica 12),
 A vodozbirna površina [km^2].

Preglednica 12: Največji specifični pretok q (Brus, 1981)

A [km^2]	1	1-10	10 - 40	40 - 100
q [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$]	5 - 3	3 - 1.5	1.5 - 1	1 - 0.5

2.2.11 Deuerlingova enačba

Ta metoda se uporablja predvsem za slabo porasla, hribovita in gorska področja in to predvsem z znatnim nagibom terena (Brus, 1981).

$$Q = q * A \quad (37)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m³/s],
- q največji specifični pretok [m³/s/km²] (preglednica 13),
- A vodozbirna površina [km²].

Preglednica 13: Največji specifični pretok q (Brus, 1981)

A [km ²]	1	2	3	4	5	10	20	30	50	100	150
q [m ³ /s/km ²]	10	9	8	7	6	4	2.5	2	1.5	1.3	1.2

2.2.12 Hofbauerjeva enačba

Metoda se uporablja predvsem za gričevnata in gorska območja. Primerna je predvsem za hudournike (Brus, 1981).

$$Q = \beta \sqrt{A} \quad (38)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m³/s],
- β koeficient oblikovanosti terena,
- A vodozbirna površina [km²].

Avtor predlaga, da se koeficient oblikovanosti terena določi po naslednjih kriterijih:

- $\beta = 15 - 21$ za nižine,
- $\beta = 21 - 30$ za gričevje in sredogorje,
- $\beta = 30 - 42$ za gorovje.

2.2.13 Kresnikova enačba (1886)

Enačba je primerna za hudourniška območja. (Brus, 1981).

$$Q = \alpha * A^{\frac{30}{0.5 + \sqrt{A}}} \quad (39)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m³/s],
- α koeficient, ki zajema vse faktorje, ki vplivajo na odtočnost ($\alpha = 0.6 - 6$),
- A vodozbirna površina [km²].

Tako izračunan pretok je pretok s 100-letno povratno dobo. Dobljene vrednosti za celoten razpon $\alpha=0.6-6.0$ so previsoke in že najnižji privzeti koeficient $\alpha=0.6$ lahko služi le za določanje velikih vod v gornjih tokovih z neporaslimi, strmimi pobočji in neprepustno podlago (Brus, 1981).

2.2.14 Hofmanova enačba (1921)

Enačba je uporabna predvsem na območjih s padci manjšimi od 4% (Brus, 1981):

$$Q = m \frac{A}{\sqrt[3]{1+A}} \left(1 - 0.4 \frac{A_w}{A}\right) \quad (40)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m^3/s],
 m koeficient odtoka, ki je odvisen od povprečnega padca na 2/3 dolžine spodnjega dela doline in znaša:
 4.50 za povprečne padce > 2% poravnajte vse tri enako,
 3.75 za povprečne padce 2 - 0.5 %,
 3.00 za povprečne padce 0.5%,
 A vodozbirna površina [km^2],
 A_w del padavinskega območja, ki je porasel z gozdom [km^2].

2.2.15 Odtok odvisen od dolžine glavne doline (avtor neznan)

Enačba je bolj uporabna za ravninska območja, manj pa za gričevnata, še manj pa za gorata (Brus, 1981):

$$Q = q * A \quad (41)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m^3/s],
 q največji specifični pretok [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$] (preglednica 14),
 A vodozbirna površina [km^2].

Preglednica 14: Največji specifični pretok q (Brus, 1981)

DOLŽINA DOLINE	q ZA NEPORASLI SVET [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$]		
	gorat	gričevnat	ravninski
km			
do 1	8	6.6	4
do 2	7	5.8	3.5
do 4	6	4.5	3
do 8	4	3	2
do 12	3	2.3	1.5
do 16	2	1.5	1
nad 16	1	0.8	0.5

Pri poraslem svetu se q_{max} zmanjša za 50% (Brus, 1981).

2.2.16 Weyrauchova enačba (1930)

Weyrauch je leta 1930 podal sledečo enačbo:

$$Q = q_{max} * A \quad (42)$$

$$q_{max} = 4.2 * n_1 * n_2 * n_3 * n_4 \quad (43)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m^3/s],
- q_{max} največji specifični pretok [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$],
- A vodozbirna površina [km^2],
- n_1 koeficient, odvisen od dolžine doline (preglednica 15),
- n_2 koeficient, odvisen od deleža pogožitve (preglednica 16),
- n_3 koeficient, odvisen od nagiba terena (preglednica 17),
- n_4 koeficient, odvisen od prepustnosti površine (preglednica 18).

V enačbi konstanta 4.2 predstavlja odtočni modul za primer 60-minutnega naliva višine 30 mm in odtočnega koeficienta 0.5.

Preglednica 15: Koeficient n_1 (Brus, 1981)

L [km]	n_1
0 - 2	1
3	0.9
4	0.83
5	0.75
6	0.68
7	0.63
8	0.58
9	0.53
10	0.5

Preglednica 16: Koeficient n_2 (Brus, 1981)

POGOZDENOST	n_2
nepogozden teren	1
0.25 pogoženega	0.9
0.5 pogoženega	0.8
0.75 pogoženega	0.7
1.0 pogoženega	0.6

Preglednica 17: Koeficient n_3 (Brus, 1981)

OBLIKOVANOST TERENA	n_3
zelo kopast s strmim pobočjem	1
zelo gričevnat	0.95
srednje gričevnat	0.9
malo gričevnat	0.85
položen, skoraj raven	0.8

Preglednica 18: Koeficient n_4 (Brus, 1981)

PREPUSTNOST	n_4
neprepustno	1
slabo prepustno	0.9
srednje prepustno	0.8
zelo prepustno	0.7

2.2.17 Mellijeva enačba

Enačba je primerna za vsa območja ob primerni izbiri koeficienta φ (Brus, 1981):

$$Q = \frac{200 \cdot A}{\sqrt[3]{100 \cdot A}} \varphi_0 \quad (44)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m^3/s],
- A vodozbirna površina [km^2],
- φ_0 odtočni koeficient za različne višinske položaje, nagibe terena in poraslosti (preglednica 19).

Preglednica 19: koeficient φ_0 (Brus, 1981)

VIŠINSKI POLOŽAJ	TLA IN PORASLOST	NAGIB TERENA		
		mali	srednji	velik
nad gozdno mejo	neprepustni pašniki, goličave in skale	0.4	0.6	0.8
gozdno mejno področje	pašniki z grmičevjem in posameznimi drevesi	0.3	0.5	0.7
	redki gozd čez celotno območje	0.2	0.4	0.6
	manjši gozd, travniki in njive	0.1	0.3	0.5
nižje lege	samo gozd, srednje star	0.1	0.2	0.4
	stari gozd	0.05	0.15	0.3

2.2.18 Enačba Isowski (1886)

Enačba po Isowskem se glasi:

$$Q = C_h * m * h_N * A \quad (45)$$

kjer je:

- Q največji pretok [m^3/s],
- A vodozbirna površina [km^2],
- C_h koeficient, odvisen od oblikovanosti in sestave tal (preglednica 20),
- m faktor velikosti padavinskega področja A (preglednica 21),
- h_N povprečna letna višina padavin [m].

Preglednica 20: Koeficient C_h (Brus, 1981)

LASTNOSTI TAL	C_h
za barja in podore	0.0235
za nižine in planote	0.0325
za mešan nižinski in gričevnat svet	0.0425
za položna gričevja	0.0800

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednica 20

za mešano sredogorje in gričevje ali strmo gričevje za gorovje	0.0975
gorovje neprepustna tla	0.29
gorovje zelo neprepustna tla	0.55
gorovje normalna poraslost (mešana tla)	0.14
gorovje zelo prepustna tla	0.055

Preglednica 21: Faktor m za velikost vodozbirne površine A [km²] (Brus, 1981)

A [km ²]	m
1	10
10	9.5
20	9
30	8.5
50	7.95
100	7.40
150	7.10
200	6.87
300	6.55
400	6.22
500	5.90

2.2.19 Wundtova enačba (1959)

Enačba predstavlja srednjo veliko vodo povratne dobe 100 let. Uporabna je na območjih z večjimi letnimi padavinami in s strmejšo konfiguracijo terena (Brus, 1981).

$$Q = 13.8A^{0.6} \quad (46)$$

kjer je:

Q največji pretok [m³/s],
 A vodozbirna površina [km²].

3 OPIS IN ZNAČILNOSTI OBRAVNAVANEGA POREČJA

3.1 Opis porečja

Za preveritev empiričnih enačb smo izbrali majhno vodozbirno območje vodotoka Cigan v bližini Novega mesta. Porečje obsega območje Otoškega boršta v bližini gradu Otočec. Vodotok se izliva v Krko malo za Otočcem. Prispevno območje je veliko 1.04 km², os vodotoka je dolga 1.59 km. Najbližji padavinski postaji sta Novo mesto in Vinji vrh. Na območju Novega mesta pade na leto povprečno 1300 mm padavin. Območje je pokrito z mešanim gozdom, vendar prevladujejo listavci. Odstotek neprepustnih površin je zelo majhen (približno 1%). Višinska razlika med izvirom in izlivom je 47 metrov. Padec terena je manjši in sicer 3%. Potek same struge je vijugast in poteka po dnu manjše doline. Ima pa tudi več manjših pritokov, ki so večino časa suhi.



Slika 7: Lokacija obravnavanega območja (Geopedia, 2012)



Slika 8: Prispevno območje obravnavanega območja (Geopedia, 2012)



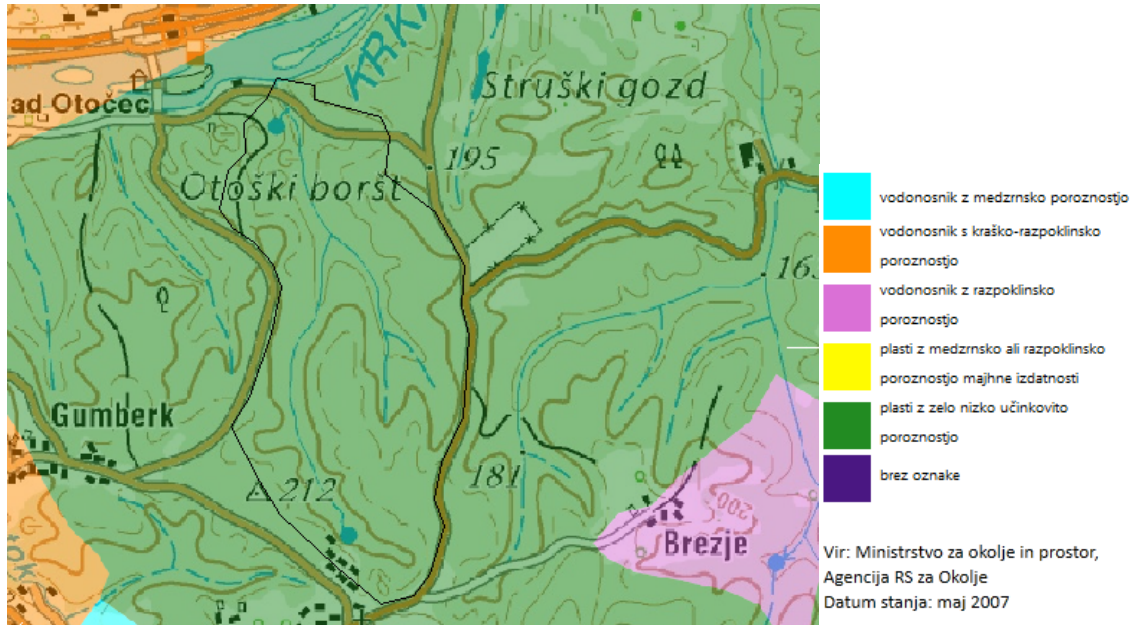
Slika 9: Ortofoto posnetek območja (Geopedia, 2012)



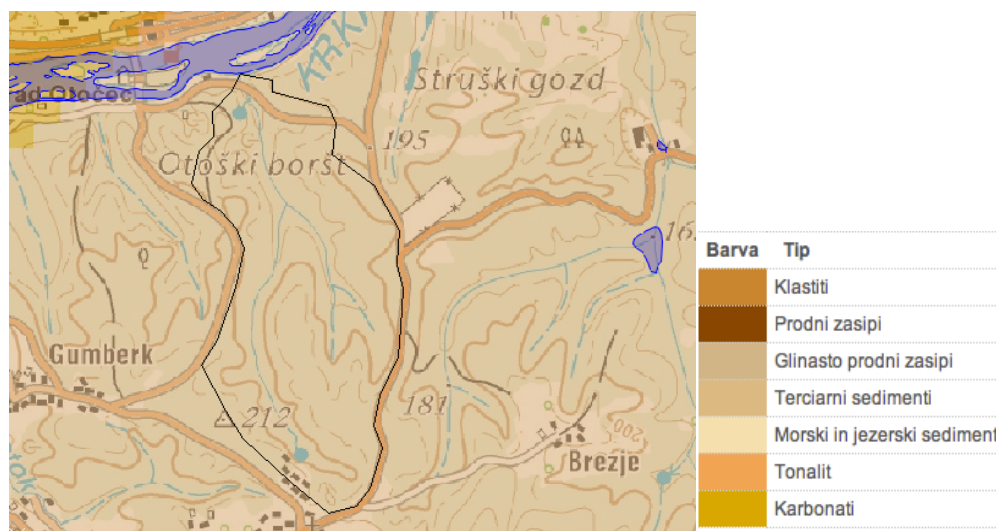
Slika 10: Relief obravnavanega območja (Geopedia, 2012)

3.2 Geologija

Ker je prispevno območje izbranega vodotoka majhno, tudi geološka sestava ni raznolika. Iz hidrogeološke karte območja lahko razberemo, da so na območju plasti z zelo nizko učinkovito poroznostjo (slika 11). Iz geološke karte pa je razvidno, da je podlaga sestavljena iz terciarnih sedimentov (slika 12).



Slika 11: Hidrogeologija obravnavanega območja (Geopedia, 2012)

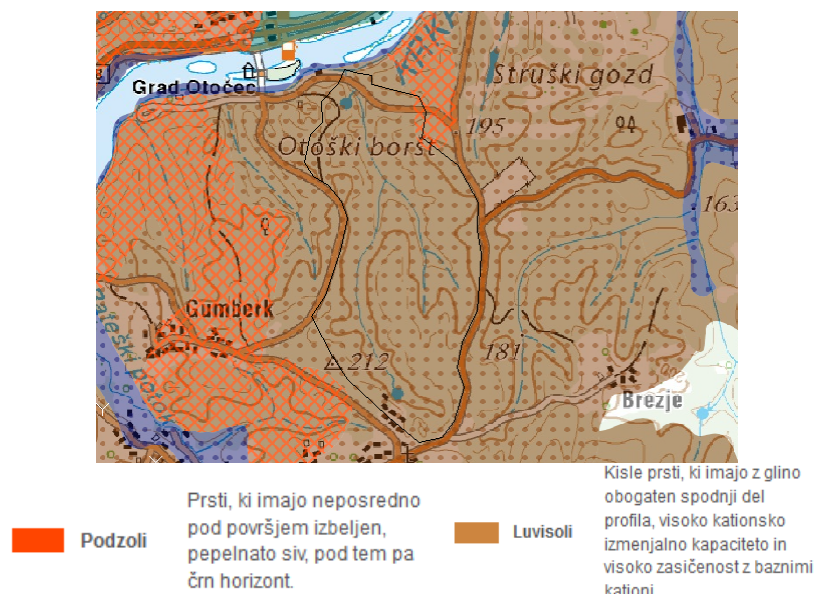


Slika 12: Geologija obravnavanega območja (Geopedia, 2012)

3.3 Pedologija

Iz pedološke karte je razvidno, da so tla večinoma evtrična rjava tla na ilovicah in glinah (slika 13). Na njih rastejo predvsem listavci, opaziti pa je tudi kar nekaj iglastih dreves. Na manjšem delu pa so tudi rjava pokarbonska tla na dolomitu, ki so tipična in globoka.

Tla so nastala na pleistocenskem glinasto-ilovnatem aluvialnem nanosu. Ravna območja starih teras je v blaga pobočja preoblikovala erozija. To so zelo globoka, na površini dobro drobljiva in rahla, skozi celoten profil dobro propustna tla. V vrhnjih horizontih so ilovnata do meljasto ilovnata, v globljih pa težja, glinasto ilovnata tla (Protellus, 2011).



Slika 13: Pedologija obravnavanega območja (Geopedija, 2012)

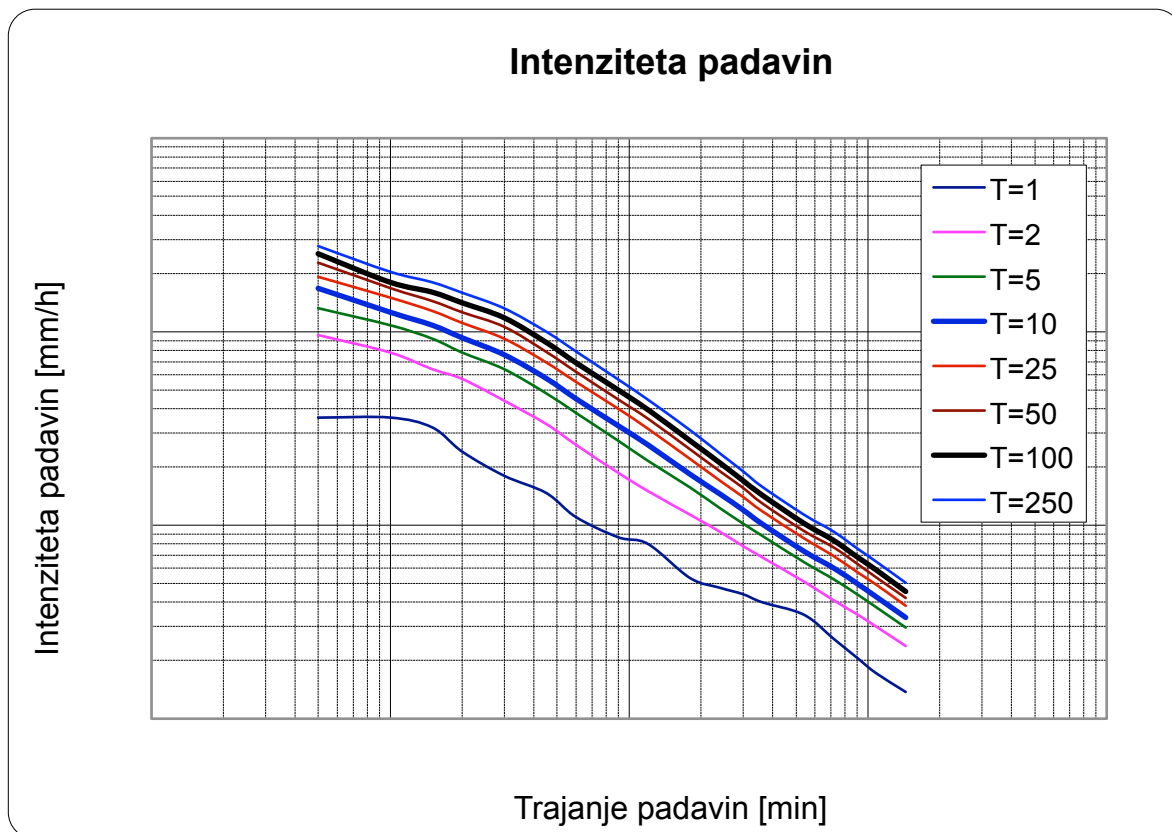
Tla se po globini zelo razlikujejo in segajo od 30 do preko 100 cm globine. Evtrična rjava tla so pretežno ilovnate, meljasto-ilovnate ali glinasto-ilovnate teksture, z običajno nekaj povečano količino gline (Protellus, 2011).

3.4 Padavine

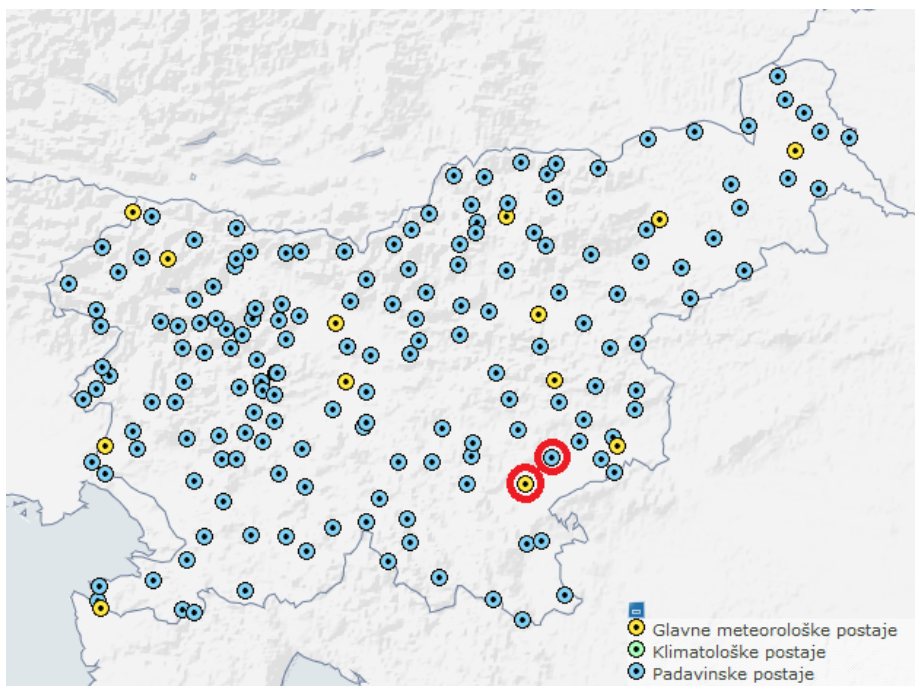
Prispevno območje potoka leži v bližini dveh padavinskih postaj in sicer v bližini postaje Novo mesto (220m) in Vinjega vrha (210m). Za izračun smo vzeli povprečne najvišje letne padavine v zadnjih 20 letih. Vzeli smo vrednost 1300 mm. Padavin je več spomladi in jeseni, manj pa predvsem v poletnih mesec.

Preglednica 22: Kritična višina padavin za posamezna trajanja z določenem času za Novo mesto za obdobje od leta 1970 do 2008 (ARSO, 2009)

TRAJANJE PADAVIN	POVRATNA DOBA								
	1 leto	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let	
5 min	3	8	11	14	16	19	21	23	mm
10 min	6	13	18	21	25	28	30	34	mm
15 min	8	16	23	27	32	36	40	45	mm
20 min	8	19	26	31	37	42	47	53	mm
30 min	9	22	32	38	46	53	59	66	mm
45 min	11	25	36	43	52	59	66	75	mm
60 min	11	26	38	45	55	62	69	79	mm
90 min	13	28	41	49	60	67	75	85	mm
120 min	16	30	43	52	63	71	79	89	mm
180 min	16	34	47	55	66	74	82	93	mm
240 min	19	37	49	58	68	76	84	94	mm
300 min	22	39	51	60	70	78	85	95	mm
360 min	24	41	53	61	71	78	86	95	mm
540 min	31	46	58	66	77	84	92	102	mm
720 min	31	49	63	72	83	92	100	111	mm
900 min	31	52	66	75	86	95	103	114	mm
1080 min	31	54	68	77	89	97	106	117	mm
1440 min	33	57	71	80	92	101	109	121	mm



Slika 14: Intenziteta padavin v odvisnosti od trajanja in povratne dobe za Novo mesto z določeno povratno dobo za obdobje 38 let (podatki ARSO, 2009)



Slika 15: Padavinski postaji Novo mesto in Vinji vrh (ARSO, 2012)

3.5 Terenske meritve

Terenske meritve smo izvajali v obdobju od 13.5. do 20.8.2012. Na izbranem vodotoku smo ob različnih vodostajih izmerili hitrost in globino na izbranem profilu, ki je 45 metrov oddaljen od izliva v prepust. Merski profil je prost profil struge, z umirjenim tokom in običajno širino vodotoka. Struga je bila na dnu prekrita z manjšim kamenjem in drobirjem, bregovi pa so bili poraščeni z redko travo. Na območju meritev ni bilo v strugi drugih večjih ovir, ki bi zmanjševale hitrost toka. Po padavinskem dogodku 21.6.2012 smo uspeli izmeriti tudi približen čas zakasnitve. Meritve so bile izvedene z enostavnimi pripomočki, kot so meter in štoparica. Vsako meritev smo ponovili trikrat in uporabili povprečen rezultat, kot odčitek meritve. Vrednosti meritev so podane v preglednici 24, fotografije s terena pa na slikah 16 do 20.

Preglednica 23: Izvedene meritve

MERITVE			
datum	v [m/s]	h [cm]	Tz [min]
13.5.2012	1.6	17	
21.5.2012	1.3	14	
7.6.2012	1	13	
21.6.2012	2.5	25	30
7.7.2012	1.6	18	
23.7.2012	1.5	16	
5.8.2012	1.5	15	
20.8.2012	0.8	11	



Slika 16: Vtok v prepust pred izlivom



Slika 17: Spodnji del toka



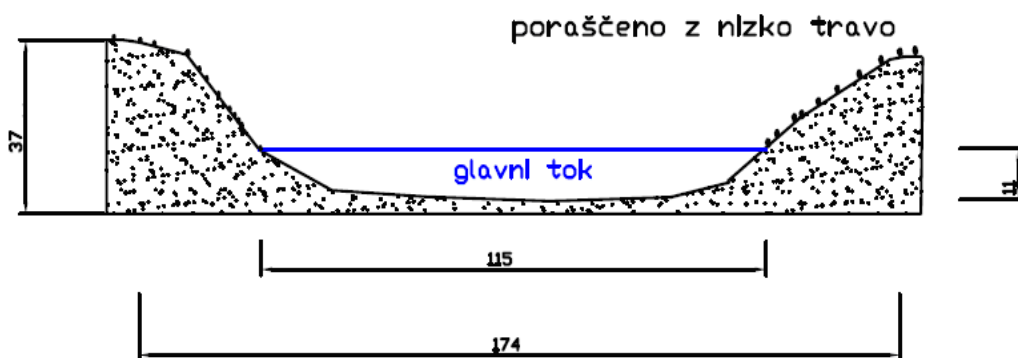
Slika 18: Zgornji del toka



Slika 19: Zgornji tok potoka



Slika 20: Izvir potoka Cigan



Slika 21: Prečni prerez merskega profila potoka Cigan (enote v cm)



Slika 22: Opravljanje meritve dne 13.5.2012

3.6 Ocena pretoka po Manningovi enačbi

Za oceno pretoka in prevodnosti struge smo uporabili Manningovo enačbo. Ocena povprečnega pretoka v obdobju meritev je predstavljena v preglednici 24, ocena prevodnosti struge pa v preglednici 25.

$$v = \frac{1}{n_g} * R^{2/3} * I^{1/2} \quad (47)$$

$$Q = S * v \quad (48)$$

$$R = \frac{S}{P} \quad (49)$$

kjer je:

- Q pretok [m³/s],
- v povprečna hitrost v profilu [m/s],
- P omočen obod [m],
- R hidravlični radij [m],
- I padec dna struge,
- S prečni prerez profila [m²],
- n_g koeficient hrapavosti po Manningu (preglednica 3).

Preglednica 24: Ocena pretoka po Manningu pri globini vode 11 cm

$S [m^2]$	0.2
$P [m]$	1.2
$R [m]$	0.17
I	0.009
n_g	0.03
$v [m/s]$	1.0
$Q [m^3/s]$	0.2

Preglednica 25: Ocena prevodnosti struge po Manningu

$S [m^2]$	0.53
$P [m]$	1.9
$R [m]$	0.28
I	0.009
n_g	0.03
$v [m/s]$	1.3
$Q [m^3/s]$	0.7

4 IZRAČUNI

4.1 Racionalna metoda

100-letni pretok za porečje po racionalni metodi znaša $7.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 26: Največji pretok po racionalni metodi

Q	100-letni pretok [m^3/s]	7.1
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
C	koeficient odtoka	0.52
i	povprečna intenziteta padavin v času koncentracije za 100-letno povratno dobo [mm/h]	47

Iz preglednice 1 določimo koeficient odtoka C , ki je za strmo gozdno površino s 100-letno povratno dobo 0.52. Čas koncentracije smo izračunali s pomočjo empiričnih enačb (poglavje 4.1.1). Končni ocenjeni čas koncentracije, ki smo ga privzeli za nadaljnje izračune, je znašal 20 minut. Povprečno intenziteto padavin v času koncentracije pa določimo s pomočjo ITP krivulj (preglednica 22).

4.1.1 Izračun časa koncentracije

4.1.1.1 Enačba Morgali in Linsley

Čas koncentracije za izbrano porečje po enačbi Morgali in Linsley znaša 21 minut (preglednica 27). Manningov koeficient hrapavosti ustreza listnatemu gozdu in je odčitán iz preglednice 4.

Preglednica 27: Čas koncentracije po metodi Morgali in Linsley

t_c	čas koncentracije [min]	21
L	dolžina toka [km]	1.6
S	padec toka [‰]	30
n	Manningov koeficient hrapavosti porečja	0.15
i	povprečna intenziteta padavin v času koncentracije [mm/h]	47

4.1.1.2 Enačba Kirpich

Čas koncentracije za porečje po enačbi Kirpich znaša 22 min (preglednica 28).

Preglednica 28: Čas koncentracije po metodi Kirpichu

t_c	čas koncentracije [h]	0.37
L	dolžina toka [km]	1.6
S	padec toka [‰]	30

4.1.1.3 Enačba Kerby

Čas koncentracije za porečje po enačbi Kerby znaša 81 minut.

Preglednica 29: Čas koncentracije po enačbi Kerby

t_c	čas koncentracije [h]	1.35
L	dolžina toka [m]	1590
S	padec toka [‰]	30
N	Kerby-ev parameter hrapavosti	0.6

Kerby-jev koeficient hrapavosti je določen z uporabo preglednice 5, kjer je vrednost za listnat gozd 0.6.

4.1.1.4 Enačba Ramser

Čas koncentracije po enačbi Ramser je 21 minut.

Preglednica 30: Čas koncentracije po Ramserjevi enačbi

t_c	čas koncentracije [min]	21
L	dolžina toka [m]	1590
S	padec toka [‰]	30

4.1.1.5 Enačba Clark

Čas koncentracije za porečje po enačbi Clark je 14 minut.

Preglednica 31: Čas koncentracije po Clarkovi enačbi

t_c	čas koncentracije [min]	14
L	dolžina toka [km]	1.59
S	padec toka [‰]	30
I	odstotek neprepustne površine porečja	0.01

Odstotek neprepustnosti smo določili s pomočjo terenskega ogleda območja, saj je del porečja skalnat in zato neprepusten.

4.1.1.6 Enačba Carter

Čas koncentracije za porečje po enačbi Carter je 21 minut.

Preglednica 32: Čas koncentracije po Carterjevi enačbi

t_c	čas koncentracije [min]	21
L	najdaljša pot vodnega delca [km]	1.82
S	padec toka [‰]	30

4.1.1.7 Enačba Federal Aviation Administration

Čas koncentracije za porečje po enačbi Federal Aviation Administration znaša 98 minut.

Preglednica 33: Čas koncentracije po enačbi Aviation administration

t_c	čas koncentracije [min]	98
L	najdaljša pot vodnega delca [km]	1.82
S	padec toka [‰]	30
C	racionalni odtočni koeficient	0.1

Vrednost racionalnega odtočnega koeficienta smo dobili s pomočjo preglednice 6. Izbrali smo vrednost za parke, ter uporabili najnižjo vrednost.

4.1.1.8 Enačba USBR

Čas koncentracije za porečje po enačbi USBR znaša 20 minut.

Preglednica 34: Čas koncentracija po USBR enačbi

t_c	čas koncentracije [min]	20
L	najdaljša pot vodnega delca [km]	1.82
H	višinska razlika med najvišjo točko in iztokom porečja [m]	47

4.1.1.9 Enačba McCuen

Čas koncentracije za porečje po enačbi McCuen je 21 minut.

Preglednica 35: Čas koncentracije po enačbi McCuen

t_c	čas koncentracije [min]	21
L	najdaljša pot vodnega delca [km]	1.82
S	padec toka [‰]	30
i_2	racionalni odtočni koeficient	19

Racionalni odtočni koeficient smo določili s pomočjo ITP krivulj iz preglednice 22 za 2-letno povratno dobo in čas trajanja 20 min.

4.1.1.10 Enačba Bransby–Willimas

Čas koncentracije za porečje po enačbi Breansby – Williams znaša 46 minut.

Preglednica 36: Čas koncentracija po enačbi Breansby - Williams

t_c	čas koncentracije [min]	46
L	dolžina toka [km]	1.6
S	padec toka [‰]	30
A	površina porečja [km ²]	0.93

4.2 Izračun odтока po ostalih empiričnih enačbah

4.2.1 Dickenova enačba

Največji pretok za porečje po Dickenovi enačbi znaša $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 37: Največji pretok po Dickenovi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	6
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
C	Dickenova konstanta [6 - 30]	11.45

Dickenovo konstanto smo privzeli po priporočilih Rakhecha (2009) 11.45.

4.2.2 Ryvesova enačba

Največji pretok za porečje po Ryvesovi enačbi znaša $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 38: Največji pretok po Ryvesovi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	5
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
C	Ryves konstanta [6 - 30]	10.2

Ryvesova konstanta za hribovit teren je 10.2.

4.2.3 English in Desouzova enačba

Največji pretok za porečje po English in Desouzovi enačbi znaša $38 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 39: Največji pretok po English in Desouzovi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	38
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93

4.2.4 Fullerjeva enačba

100-letni pretok za porečje po Fullerjevi enačbi je $4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 40: Največji pretok po Fullerjevi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	4
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
C	konstanta [0.18 - 1.88]	1.88
T	povratna doba [leta]	100

4.2.5 Bairelova in Meilwraithova enačba

Največji pretok za porečje po Bairelovi in Meilwraithovi enačbi znaša $37 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 41: Največji pretok po Bairelovi in Meilwraithova enačba

Q	največji pretok [m ³ /s]	37
A	vodozbirna površina [km ²]	0.93

4.2.6 Enačba štirih koeficientov

Največji pretok za porečje po enačbi štirih koeficientov je 11 m³/s.

Preglednica 42: Največji pretok po enačbi štirih koeficientov

Q	največji pretok [m ³ /s]	11
A	vodozbirna površina [km ²]	0.93
φ_1	koeficient pogozdenosti terena	0.6
φ_2	koeficient vodoprepustnosti terena	0.8
ψ_1	koeficient vpliva na dolžino glavnega toka vodotoka	1
ψ_2	koeficient oblike terena	0.9
q	največji specifični pretok [m ³ /s/km ²]	25

Koeficient pogozdenosti terena smo določili iz preglednice 8 in sicer za porečje pogozdeno z gozdom. Koeficient vodoneprepustnosti terena smo določili iz preglednice 9 za srednje prepustno območje. Koeficient vpliva na dolžino glavnega toka vodotoka smo določili iz preglednice 10 za dolžino vodotoka med 0.1-2.0 km. Koeficient oblike terena je določen s pomočjo preglednice 10 za manj hribovit in gričevnat teren. Največji specifični pretok pa je odčitano iz preglednice 8, pri čemer upoštevamo dolžino toka, manjšo od 3 km.

4.2.7 Giandotti – Vissentinijeva enačba

Največji pretok za porečje po Giandotti-Vissentinijevi enačbi znaša 7 m³/s.

Preglednica 43: Največji pretok po Giandotti - Vissentinijevi enačbi

Q	največji pretok [m ³ /s]	7
A	vodozbirna površina [km ²]	0.93
n	koeficient razvejanosti vodotoka	166
h	povprečne količine naliva, ki traja enako ali več od časa koncentracije [m]	0.04

Koeficient razvejanosti vodotoka za male vodotoke je izbran 166 (Žugaj, 2010).

4.2.8 Müllerjeva enačba

Največji pretok za porečje po Müllerjevi enačbi znaša 8 m³/s.

Preglednica 44: Največji pretok po Müllerjevi enačbi

Q	največji pretok [m ³ /s]	8
A	vodozbirna površina [km ²]	0.93
φ_0	odtočni koeficient	0.2

Odtočni koeficient je določen s pomočjo preglednice 11, za območja s srednjim nagibom in navadnim gozdom.

4.2.9 Srebrenovičeva enačba

Največji pretok za porečje po Srebrenovičevi enačbi znaša $9 \text{ m}^3/\text{s}$

Preglednica 45: Največji pretok po Srebrenovičevi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	9
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
α	odtočni koeficient	0.92
β	faktor odvisen od prepustnosti	2.00
P	količina povprečnih letnih padavin [m]	1.40
S	vzdolžni padec struge [m/km]	45.37
L	daljša stranica nadomestnega pravokotnika, katerega je površina enaka površini vodotoka [km]	2.07
K	koeficient koncentriranosti vodotoka	0.39
U	oddaljenost težišča vodotoka od pretočnega profila [km]	1.06
τ_1	čas površinskega zbiranja [h]	2.91
τ_2	čas toka vzdolž vodotoka [h]	0.74

Odtočni koeficient za povprečne letne padavine med 1000 in 2000 mm določimo s pomočjo enačbe 25. Faktor β je odvisen od prepustnosti. Za srednje propustna in obraščena območja smo izbrali vrednost 2. Koeficient koncentriranosti vodotoka dobimo po enačbi 31 s pomočjo obsega porečja in oddaljenosti težišča porečja od pretočnega profila. Prav tako dobimo čas površinskega zbiranja in čas toka vzdolž vodotoka po enačbah v teoretičnem delu naloge. S pomočjo njih lahko dobimo čas trajanje vodnega vala.

4.2.10 Foersterjeva enačba

Največji pretok za porečje po Foersterjevi enačbi znaša $3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 46: Največji pretok po Foersterjevi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	3
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
q_{max}	največji specifični pretok [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$]	3

Največji specifični pretok je določen s pomočjo preglednice 12 za površino veliko 1 km^2 .

4.2.11 Deuerlingova enačba

Največji pretok za porečje po Deuerlingovi enačbi znaša $9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 47: Največji pretok po Deuerlingovi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	9
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
q_{max}	največji specifični pretok [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$]	10

Največji specifični pretok je določen s pomočjo preglednice 13 za površino 1 km^2 .

4.2.12 Hofbauerjeva enačba

Največji pretok za porečje po Hofbauerjevi enačbi je $21 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 48: Največji pretok po Hofbauerjevi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	21
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
β	koeficient oblikovanosti terena	21

Koeficient oblikovanosti terena je določen za gričevje in sredogorje.

4.2.13 Kresnikova enačba

100-letni pretok za porečje po Kresnikovi enačbi znaša $12 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 49: Največji pretok po Kresnikovi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	12
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
α	faktorj, ki vpliva na odtočnost	0.6

Faktorji, ki vpliva na odtočnost smo po priporočilu Brusa (1981) izbrali 0.6.

4.2.14 Hofmanova enačba

Največji pretok za porečje po Hofmanovi enačbi je $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 50: Največji pretok po Hofmanovi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	2
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
m	faktor, ki vpliva na odtočnost	4.5
A_w	del padavinskega območja, ki je porasel z gozdom [km^2]	0.93

Vrednost faktorja, ki vpliva na odtočnost za povprečne padce večje od 2% je 4.5.

4.2.15 Odtok odvisen od dolžine glavne doline

Največji pretok za porečje, kjer je odtok odvisen od dolžine glavne doline znaša $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 51: Največji pretok odvisen od dolžine glavne doline

Q	največji pretok [m^3/s]	6
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
q_{max}	največji specifični pretok [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$]	6.6

Največji specifični pretok je določen iz preglednice 14, za gričevnata območja z dolžino doline do 1 km.

4.2.16 Weyrauchova enačba

Največji pretok za porečje po Weyrauchovi enačbi je $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 52: Največji pretok po Weyrauchovi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	6
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
q_{max}	največji specifični pretok [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$]	6.45
n_1	koeficient, odvisen od dolžine doline	1
n_2	koeficient, odvisen od pogožditve	0.6
n_3	koeficient, odvisen od nagiba terena	0.85
n_4	koeficient, odvisen od prepustnosti površine	0.8

Koeficient, odvisen od dolžine doline, določimo iz preglednice 15, za vodotoke dolžine med 0 in 2 km. Koeficient, odvisen od pogožditve, določimo iz preglednice 16 za 100% pogožditev območja. Koeficient, odvisen od nagiba terena, smo dobili s pomočjo preglednice 17 za malo gričevnata območja. Koeficient, odvisen od neprepustnosti površin, določimo iz preglednice 18 za srednje prepusten teren.

4.2.17 Mellijeva enačba

Največji pretok za porečje po Mellijevi enačbi znaša $8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 53: Največji pretok po Mellijevi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	8
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
φ_0	odtočni koeficient za razne višinske položaje, nagibe terena in poraslosti	0.2

Odtočni koeficient za razne višinske položaje, nagibe terena in poraslost določimo s pomočjo preglednice 19. Upoštevamo srednji nagib terena in nižje lege, porasle samo z srednje starim gozdom.

4.2.18 Enačba Isowski

Največji pretok za porečje po enačbi Isowski znaša $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 54: Največji pretok po enačbi Isowski

Q	največji pretok [m^3/s]	1
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93
C_h	koeficient, odvisen od oblikovanosti in sestave tal	0.08
m	faktor velikosti padavinskega območja A	10
h_N	povprečna letna višina padavin [m]	1.3

Koeficient, odvisen od oblikovanosti in sestave tal, določimo iz preglednice 20 za položna gričevja. Faktor velikosti padavinskega območja A določimo iz preglednice 21 za območje velikosti 1 km^2 .

4.2.19 Wundtova enačba

Največji pretok za porečje po Wundtovi enačbi je $14 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 55: Največji pretok po Wundtovi enačbi

Q	največji pretok [m^3/s]	14
A	vodozbirna površina [km^2]	0.93

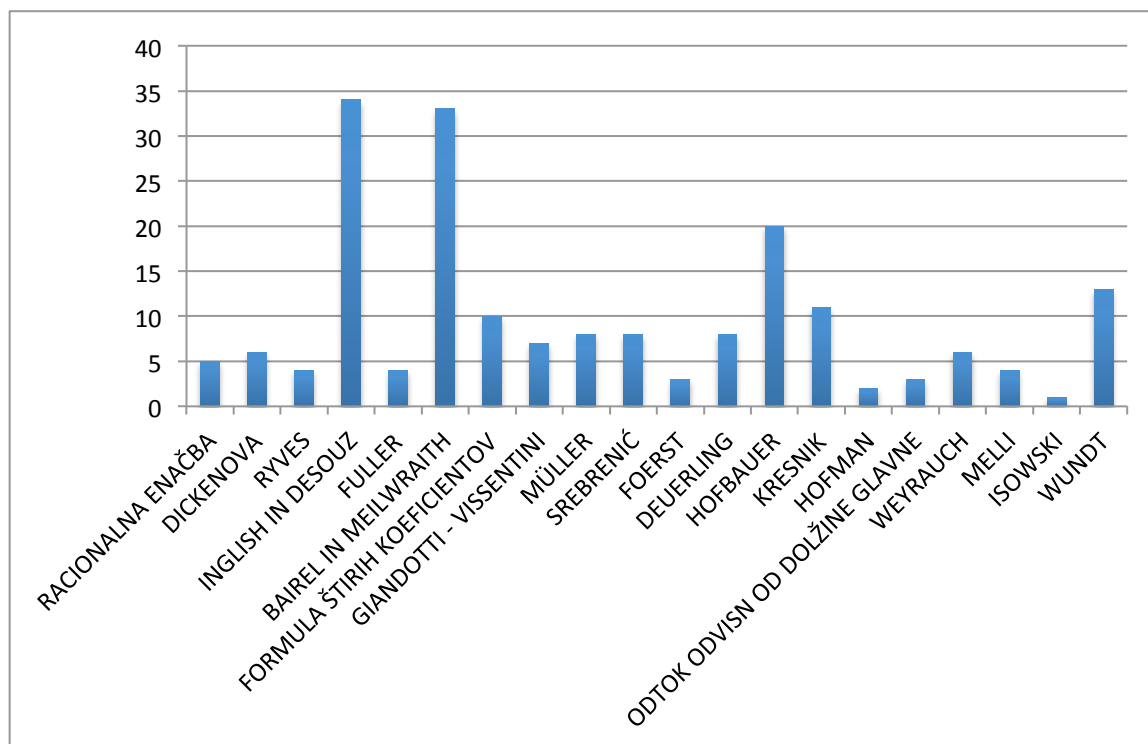
5 ANALIZA REZULTATOV

Rezultati posameznih enačb v nekaterih primerih precej odstopajo od povprečja. Kot smo že omenili, je potrebno biti pri uporabi empiričnih enačb previden, predvsem pa je potrebna pri ovrednotenju inženirska presoja. Pri analizi in izbiri uporabnih rezultatov za oceno največjega pretoka, smo upoštevali predvsem tiste, kjer so avtorji enačb definirali, kje so njihove enačbe bolj uporabne. Rezultati posameznih enačb so podani v preglednici 56.

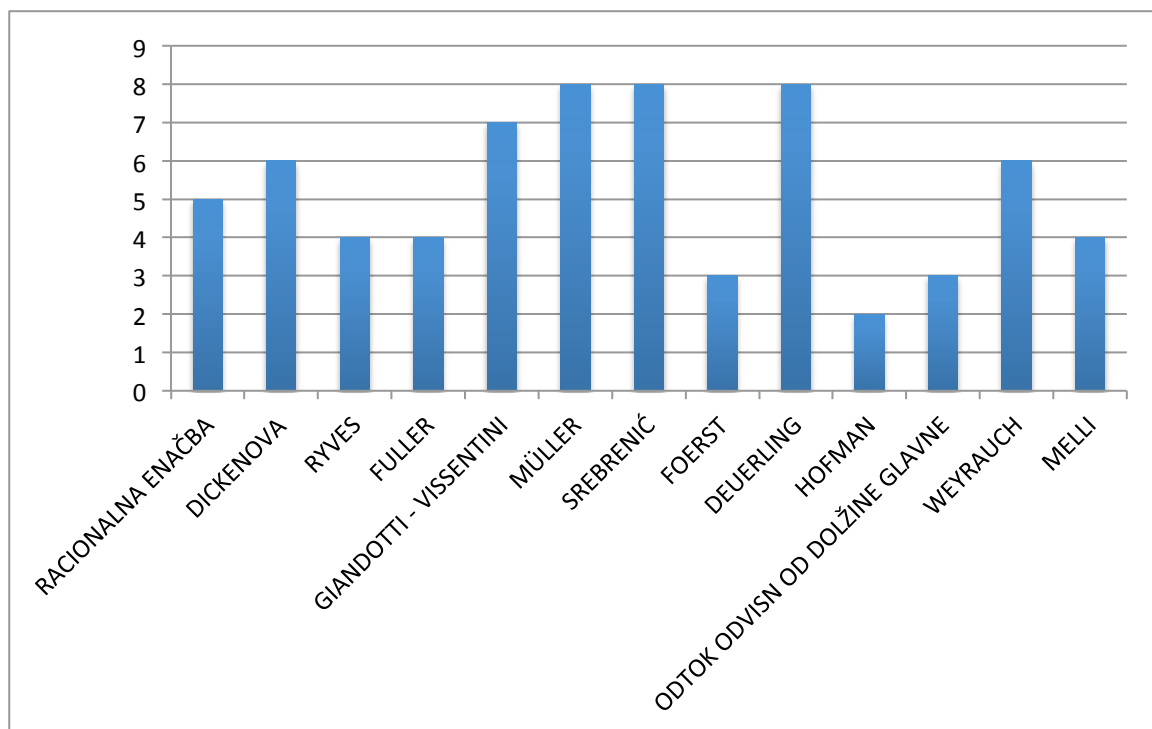
Preglednica 56: Rezultati ocenjenih pretokov po posameznih enačbah

METODE	Q [m ³ /s]
RACIONALNA ENAČBA	5
DICKENOVA	6
RYVES	4
ENGLISH IN DESOUZ	34
FULLER	4
BAIREL IN MEILWRAITH	33
FORMULA ŠTIRIH KOEFICIENTOV	10
GIANDOTTI - VISSENTINI	7
MÜLLER	8
SREBRENIĆ	8
FOERST	3
DEUERLING	8
HOFBAUER	20
KRESNIK	11
HOFMAN	2
ODTOK ODVISN OD DOLŽINE GLAVNE DOLINE	3
WEYRAUCH	6
MELLI	4
ISOWSKI	1
WUNDT	13

Pri izračunu dobimo vrednosti med 1 in 34 m³/s, kar je velik razpon in s tem tudi napaka. Standardni odklon oz. standardna deviacija je 9,3 m³/s, povprečna vrednost pa 9,5 m³/s.

Slika 23: Primerjava vseh rezultatov v m³/s

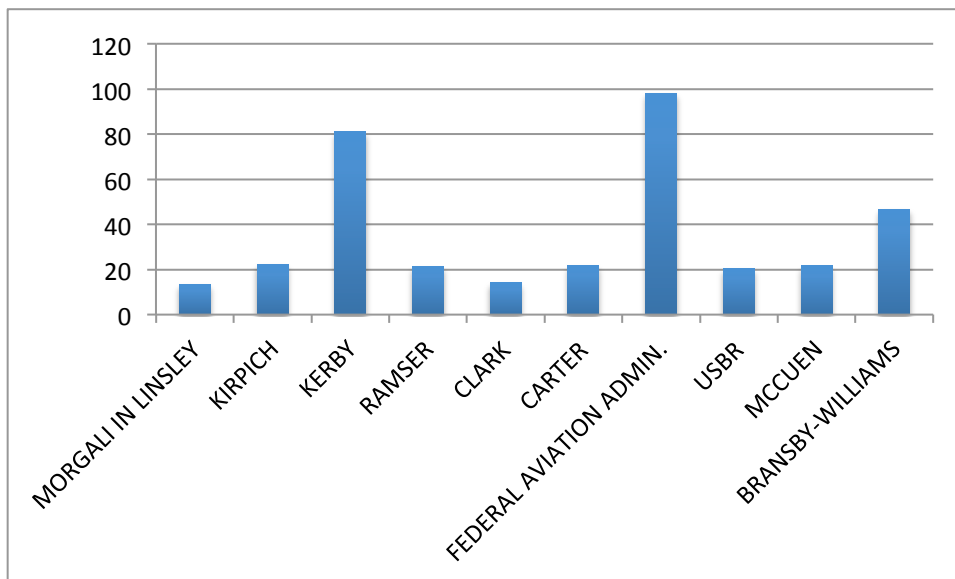
Enačbe, ki so po priporočilih avtorjev oz. uporabnikov, primerne za naše izbrano porečje, so v mejah med 1 in 8 m³/s. Večina vrednosti pa se giblje okoli 5 m³/s. Najboljše rezultate so poleg racionalne enačbe dale še enačbe po Dickenu, Ryvesu, Fullerju, Weyrauchu, in Melliju. Enačbe, ki jih avtorji niso priporočili, pa kljub vsemu dajo primerljive rezultate so: Dickenova, Ryves in Fullerjeva, ki so sicer naj bi bile namenjene za večje vodotoke. Sicer pa so enačbe, ki naj ne bi bile priporočljive za porečja, kot je naše izbrano, pokazale velika odstopanja in bistveno prevelike pretoke. Še posebej tukaj izstopajo enačbe: English in Desouz, Bairel in Meilwraith ter Hofbauer. Vrednosti, ki jih dobimo so do 7-krat višje, kot so povprečne vrednosti primernih enačb. Enačbi z največjim odstopanjem sta bili razviti za večje vodotoke, zato ju ni smiselno uporabljati na manjših porečjih.



Slika 24: Primerjava primernih rezultatov v m³/s

Če rezultate empiričnih enačb primerjamo s prevodnostjo struge, ki smo jo ocenili s pomočjo Manningove enačbe ugotovimo, da je prevodnost struge precej manjša kot so ocenjene 100-letne vode. Struga tako visokih vod seveda ne prevaja, saj vemo, da vodotok v spodnjem delu porečja poplavlja precej pogosto (enkrat do dvakrat na leto). Svoje pa doda tudi poddimenzioniran prepust pod cesto, ki je pred iztokom v reko Krko.

Tudi po racionalni enačbi smo dobili primerljivo in sprejemljivo oceno pretoka (preglednica 56). Pri racionalni metodi smo za izračun pretoka potrebovali tudi podatek o času koncentracije. Po analizi vseh rezultatov smo izbrali čas koncentracije 20 minut, saj je večina enačb podala vrednosti okrog 20 minut (slika 25), Poleg tega pa je tudi enačba po Kirpichu, ki je tudi v praksi najbolj uporabljena enačba za določanje časa koncentracije, podala isto vrednost. Nekaj enačb pa je precej odstopalo od povprečja oz. izbrane vrednosti. Kot lahko vidimo na sliki 25, bistveno odstopajo od povprečja enačbe, ki so jih izpeljali: Kerby, Federal aviation administration ter Bransby–Williams. Vse ostale enačbe pa so dale vrednosti, ki se gibljejo med 14 in 22 minut.



Slika 25: Primerjava časov koncentracije za izbrano porečje v minutah

6 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu je predstavljena uporabnost različnih enačb za računanje maksimalnega odtoka z manjših, nemerjenih porečij.

V prvem delu so predstavljene enačbe, s pomočjo katerih lahko računamo maksimalni odtok z nemerjenih porečij. Predstavljeni so tudi pogoji za uporabo enačb, če so jih avtorji podali.

V drugem delu naloge je predstavljeno obravnavano porečje potoka Cigan, na katerem smo preizkusili vse zbrane enačbe. Vse potrebne parametre in koeficiente enačb smo ocenili na podlagi lastnosti porečja. Te smo ocenili s pomočjo spletnih atlasov in s pomočjo terenskega ogleda. Poleg tega smo opravili občasne, enostavne terenske meritve globine in hitrosti vode. Uporabili smo 20 različnih empiričnih enačb.

Na podlagi analize rezultatov in meritev smo ugotovili, da različne enačbe podajo različne rezultate in da nekateri rezultati lahko kar precej odstopajo od povprečja. Zato moramo upoštevati navodila avtorjev, za kakšna območja se uporabljajo posamezne enačbe. Če pa teh priporočil ni, je potrebno ugotoviti, za kakšna porečja je bila posamezna enačba v osnovi razvita in to upoštevati pri uporabi enačbe. V obravnavanem primeru se je izkazalo, da ob upoštevanju priporočil avtorjev enačb, dobimo nabor enačb, ki so primerne in dajo tudi sprejemljive rezultate.

Zahteva po podatkih pri posameznih enačbah je zelo različna. Nekatere potrebujejo le površino, medtem ko druge zahtevajo še veliko drugih koeficientov, ki jih je potrebno ustrezno določiti. Za manjša porečja se koeficienti velikokrat pojavijo na meji vrednosti, ki jih podajajo avtorji, saj je zelo malo enačb, ki so dejansko razvite za zelo majhna porečja. Pri oceni parametrov v posameznih enačbah je potrebna previdnost in čim natančnejša ocena, saj imajo posamezni parametri v nekaterih enačbah velik vpliv na rezultat. Poleg tega je potrebno biti previden tudi pri uporabi ustreznih enot, ki se lahko za isti parameter razlikujejo od enačbe do enačbe. Najzahtevnejša oz. enačba, ki potrebuje največ podatkov, ki niso samo empirični, je prav gotovo racionalna enačba. Pri racionalni enačbi je pomembno, da pravilno določimo čas koncentracije. Za določevanja časa koncentracije obstaja veliko empiričnih enačb, ki se prav tako kot empirične enačbe pri določevanja največjega odtoka, med eboj lahko zelo razlikujejo. Tu je potrebna inženirska presoja, če je čas, pa je priporočljivo opazovanje na terenu samem. V našem primeru so se kot najboljše izkazale enačbe: Kirpichova enačba, Ramserjeva enačba, Clarkova enačba, Carterjeva enačba, USBR enačba in McCuenova enačba

Namen naloge ni bil izbrati enačbo, ki bi bila primerna za vsa manjša porečja v Sloveniji, temveč pripraviti pregled več možnih enačb z natančnim opisom zahtevanih vhodnih podatkov ter predlagati nabor enačb, ki so se izkazale kot najprimernejše. Za obravnavano porečje so se torej poleg racionalne metode, kot najprimernejše izkazale enačbe po Dickenu, Ryvesu, Fullerju, Weyrauchu in Melliju.

7 VIRI

Agrometeorološki podatki. 2012. Ljubljana, ARSO
http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/agro_podatki.html (Pridobljeno 4.5.2012.)

Amec Earth & Environmental. 2008. INC. Knox County. Tennessee Stormwater Management Manual. Technical guidance: 718 str.

Andrecs, P. 1999. Hydrologisches Nachschlagewerk mit Kommentaren. Wildbacheinzugsgebiet Graschnitzbach. FBVA-Berichte. Wien: 46 str.

Bennett, O. 2005. Chapter 2: Understanding Flow. National Bureau of Economic Research Working Paper Series.: 40 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2006. Modeliranje površinskega odtoka. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 41–45.

Brus, J. 1981. Grafikoni za določanje velikih voda in numerične tabele za določanje odtočnih koeficientov ter povprečnih letnih specifičnih pretokov po empiričnih obrazcih nekaterih poznanih tujih avtorjev. Ljubljana, Zavod vodnih skupnosti Slovenije: 72 str.

Davis, A.P., McCuen, R.H. 2005. Stormwater Management for Smart Growth: Springer science+Business Media, Inc.: 368 str.

Donald, L.W. 2006. Hydrology Manual. Los Angeles County Department of Public Works. Los Angeles: 160 str.

Engineering and asset management unit geo-environmental section 2005. Hydraulics manual. Oregon Department of Transportation Highway Division. Chapter 7. Appendix F: 24 str.

Geopedija 2012.
www.geopedia.si (pridobljeno dne 26.5.2012.)

Google 2012. Mannings roughness coefficient.
http://www.engineeringtoolbox.com/mannings-roughness-d_799.html (Pridobljeno dne 10.8.2012.)

Golob, A. 2012. Analiza časovnih parametrov hidrograma za izbrana porečja. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 86 str.

Goranc, N. 2011. Krivulje intenzitete - trajanja - povratna doba padavin. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 93 str.

HEC 22. 1996. Urban Drainage Design Manual, Metric Version. 3.2.4 SCS (NRCS) Peak Flow Method, 77 str.

Iowa Stormwater Management. 2008. Manual. 2C-4 Rational Method. Version 2: 8 str.

Jagadeesh, T.R., Jayaram, M.A. 2009. Design of Bridge Structures. PHI Learning Private Limited, New Delhi: 292 str.

Jakopič, B. 2010. Vpliv odtoka meteornih voda iz urbanih območij na spreminjanje poplavne varnosti. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 131 str.

McCuen, R.H. Hydrologic Analysis and Design. 2004. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey: 859 str.

New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual. 2004. Chapter 5: Computing Stormwater Runoff Rates and Volumes: 27 str.

Padavine v zadnjih 30-ih dneh. 2012. Ljubljana, ARSO
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/current/last-30-days/> (Pridobljeno dne 4.5.2012.)

Pestotnik, S. 2011. Hidrološki model Glinščice s programom Flo-2D. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 80 str.

Povratne dobe za ekstremne padavine po Gumbelovi metodi. 2009, Ljubljana, ARSO
http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/precip-return-periods_2008.pdf (Pridobljeno 21.5.2012.)

Protellus 2011. Protellus – rešitev za tla in okolje našega prostora.
<http://www.protellus.si/> (Pridobljeno 4.5.2012.)

Rakhecha, P., Singh, V.P. 2009. Floods Applied Hydrometeorology Springer. Jointly published with Capital Publishing Company: 350-355

Rittima, A. Lecture Notes EGEN 612 Applied Hydrology. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University, Powerpoint presentation: 17 str.

Sorrell, R.C. 2010. Computing Flood Discharges For Small Ungaged Watersheds. Michigan Department of Natural Resources and Environment. Land and Water Management Division: 31 str.

Straub, T.D., Melching, C.S., Kocher, K.E. 2000. Equations for estimating Clark unit hydrograph parameters for small rural watersheds in Illinois. Illinois, U.S. Geological Survey: 36 str.
http://smig.usgs.gov/SMIG/features_0301/clark.pdf (Pridobljeno 29. 08. 2011.)

Thompson, B.D., Xing, F., Gharty-Chhetri, O.B. 2003. Synthesis of TxDOT storm drain design. Center for Multidisciplinary Research in Transportation. Department of Civil Engineering, Texas Tech University: 157 str.

Thompson, B.D. 2006. The Rational Method, Civil Engineering Department, Texas Tech University: 7 str.

United States Department of Agriculture – Soil Conservation Service. 1966. Handbook of channel design for soil and water conservation. Oklahoma, United States Department of Agriculture: 44 str.
<ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/H&H/TRsTPs/TP61.pdf> (Pridobljeno 27. 8. 2012.)

United States Department of Agriculture. 2007. Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. Chapter 10: 73 str.

Virginia Department of Conservation and Recreation. 1998. Virginia stormwater management program. Chapter 4 - Hydrologic Methods: 51 str.

Žugaj, R. 2009. Hidrologija za agroekologe. Sveučilište v Zagrebu. Agronomska fakulteta Zagreb: 93 str.

Žugaj, R. 2010. Velike vode malih slivova. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Zagreb: 77 str.