

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:

ANDREJ GOLOB

**ANALIZA ČASOVNIH PARAMETROV HIDROGRAMA
ZA IZBRANA PODROČJA**

Diplomska naloga št.: **190/VKI**

**ANALYSIS OF HYDROGRAPH TIMING PARAMETERS
FOR SELECTED WATERSHEDS**

Graduation thesis No.: **190/VKI**

Mentorica:
doc. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:
doc. dr. Dušan Žagar

Somentor:
prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 22. 6. 2012

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Andrej Golob izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Analiza časovnih parametrov hidrograma za izbrana porečja«.

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

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

Ljubljana, dne 13. 6. 2012

Andrej Golob

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	UDK:556.3+556.5(043.2)
Avtor:	Andrej Golob
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Somentor:	prof. dr. Mitja Brilly
Naslov:	Analiza časovnih parametrov hidrograma za izbrana porečja
Obseg in oprema:	86 str., 30 pregl., 34 sl., 55 en., 3 pril.
Ključne besede:	hidrogram, površinski odtok, vpliv značilnosti porečja, časovni parametri, čas koncentracije, čas zakasnitve

Izvleček:

Namen diplomske naloge je predstaviti teoretične osnove hidrograma, časovnih parametrov hidrograma in njihovo določanje ter značilnosti porečja, ki nanj vplivajo. V praktičnem delu naloge pa predstaviti določevanje časovnih parametrov iz merjenih hidrogramov na izbranih porečjih in jih primerjati z rezultati empiričnih enačb.

V diplomskem delu so najprej so predstavljene osnove odtoka, kot dela hidrološkega kroga. Predstavljen je hidrogram, njegove komponente in značilnosti. Povzete so tudi značilnosti in uporaba hidrograma enote. Sledi poglavje o geografskih in meteoroloških značilnostih porečja in njihovem vplivu na obliko, velikost konice in trajanje hidrograma. Predstavljeni so časovni parametri hidrograma in njihove definicije. Pri parametrih, kjer so v uporabi različne definicije, so le-te napisane tako, da so razvidne razlike med njimi. V naslednjem delu so predstavljene metode in enačbe za določanje časovnih parametrov. Določanje parametrov lahko razdelimo na tri glavne pristope: z analizo obstoječih hidrogramov, s hitrostnimi metodami in z empiričnimi enačbami. Nanizane so številne enačbe za določanje časovnih parametrov. V praktičnem delu je predstavljeno določanje časovnih parametrov iz merjenih pretokov in padavin. Za izbrana porečja smo iz daljšega obdobja meritev izbrali več hidrogramov in odčitali časovne parametre. Z uporabo geografskih informacijskih sistemov smo določili potrebne lastnosti porečij za izračun empiričnih enačb časovnih parametrov. Rezultate, pridobljene po obeh metodah, smo analizirali in primerjali.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: UDK:556.3+556.5(043.2)
Author: Andrej Golob
Supervisor: Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph.D
Cosupervisor: Prof. Mitja Brilly, Ph.D.
Title: Analysis of hydrograph timing parameters for selected watersheds
Notes: 86 p., 30 tab., 34 fig., 55 eq., 3 ann.
Key words: hydrograph, surface runoff, the influence of timing parameters, time of concentration, lag time, watershed characteristics

Abstract:

The purpose of the graduation thesis is to present the theoretical basics of runoff hydrograph, timing parameters and their estimations and also the affecting watershed characteristics. The practical part is composed of defining timing parameters from gauged hydrographs of selected basins and comparing to the results of empirical equations.

In the first part the graduation thesis presents the runoff basics, as part of the hydrologic circle, are presented. There is also the description of the hydrograph, its components and characteristics. The use and characteristics of the unit hydrograph are given. Furthermore, there is a chapter about the geographical and meteorological characteristics of the watershed and their affect on the shape, duration and maximum runoff volume of the hydrograph. Timing parameters and their definitions are described. In case of parameters with multiple definitions, all of them are described and their differences are submitted. The following part contains the methods and equations for calculating the values of these parameters. The methods are divided into three approaches: the analysis of gauged hydrographs, the velocity method and the empirical equations. Numerous equations are listed with details. The process of defining timing parameters from gauged hydrographs and rainfall is presented. For the selected basins multiple hydrographs were defined from measured data. Timing parameters were then gathered from the hydrographs. The watershed characteristics for empirical equation calculation were obtained by geographic information systems. The results were examined and compared.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Mojci Šraj za njen čas, nasvete in strokovno pomoč pri pisanju diplomskega dela.

Dr. Miri Kobold z Agencije Republike Slovenije za okolje se zahvaljujem za posredovane podatke o meritvah.

Najbolj se zahvaljujem družini in dekletu, ki so me v času študija podpirali in spodbujali.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 PADAVINE IN ODTOK.....	2
2.1 Padavine, učinkovite padavine in padavinske izgube.....	2
2.2 Histogram padavin.....	3
2.3 SCS (Soil Conservation Service) model padavinskih izgub.....	4
2.4 Površinski in bazni odtok	7
2.4.1 Izločanje baznega odtoka	9
2.5 Osnove hidrograma odtoka.....	10
2.6 Hidrogram enote.....	12
3 VPLIVNI DEJAVNIKI NA HIDROGRAM.....	14
3.1 Geografski dejavniki	14
3.1.1 Velikost porečja.....	14
3.1.2 Dolžina glavne struge	15
3.1.3 Naklon porečja in vodotoka.....	16
3.1.4 Oblika porečja	17
3.1.5 Gostota mreže vodotokov.....	19
3.1.6 Raba tal, pedologija in geologija	19
3.1.7 Orientacija, lega.....	22
3.2 Meteorološki dejavniki	22
3.2.1 Intenziteta padavin.....	22
3.2.2 Trajanje padavin	23
3.2.3 Gibanje padavin.....	23
3.2.4 Taljenje snega.....	24
3.2.5 Letni časi	24
3.3 Vpliv različnih dejavnikov na čas zakasnitve.....	24
4 ČASOVNI PARAMETRI HIDROGRAMA	26
4.1 Čas potovanja (T_t).....	26
4.2 Čas rasti hidrograma (T_{gr}).....	27
4.3 Čas upadanja hidrograma (T_{des}).....	27
4.4 Celotni čas (T_t , T_b)	27
4.5 Čas trajanja padavin (T_r).....	27
4.6 Trajanje učinkovite padavin (D)	27
4.7 Čas do konice pretoka (T_p)	28

4.8 Čas koncentracije (T_c)	28
4.9 Čas odtoka efektivnih padavin (T_e)	28
4.10 Čas zakasnitve (T_p)	29
5 METODE ZA OCENO ČASOVNIH PARAMETROV	30
5.1. Čas koncentracije T_c – hitrostna metoda	31
5.1.1 Metoda NRCS	31
5.1.2 Kerby-jeva metoda (za površinski tok)	33
5.1.3 Kirpichova metoda (za površinski tok)	33
5.1.4 Ramserjeva metoda (za tok v strugah in kanalih)	34
5.2 Čas koncentracije T_c – empirične enačbe	35
5.2.1 Clarkova metoda	35
5.2.2 Carterjeva metoda	35
5.2.3 Egelsonova metoda	36
5.2.4 Metoda Federal Aviation Administration	36
5.2.5 Metoda Van Sickle	37
5.2.6 Metoda USBR	38
5.2.7 Metoda McCuen	38
5.2.8 NRCS enačba zakasnitve	38
5.2.9 Metoda Bransby-Williams	39
5.3 Čas zakasnitve T_p	39
5.3.1 Metoda Snyder	39
5.3.2 Metoda Tulsa District	40
5.3.3 Metoda Riverside County	41
5.3.4 Metoda Denver	41
5.3.5 Espey-jeva metoda	42
5.3.6 Putnamova metoda	44
5.3.7 Metoda Simas in Hawkins	45
5.3.8 Metoda SCS	45
5.3.9 Metoda Jamesa in sodelavcev	46
5.4 Celotni čas hidrograma T_b	46
5.5 Povezava med časom zakasnitve in časom koncentracije	47
6 OPIS IN ZNAČILNOSTI IZBRANIH POREČIJ	48
6.1 Lega porečij	49
6.1.1 Porečje Koritnice	49
6.1.2 Porečje Tržiške Bistrice	49

6.1.3 Porečje Kamniške Bistrice	50
6.1.4 Porečje Meže	50
6.1.5 Porečje Sevnične	51
6.1.6 Porečje Mestinjščice	51
6.1.7 Porečje Drnice	51
6.2 Osnovne značilnosti porečij	52
6.2.1 Šifrant hidrografskih območij	55
6.2.2 Geometrijske značilnosti	56
6.2.3. Topografija in nakloni	57
6.3 Geologija in pedološka sestava tal	59
6.4 Pokrovnost tal	61
6.5 Padavinski podatki	66
6.6 Merjeni pretoki	67
7 ANALIZA MERJENIH HIDROGRAMOV IN HISTOGRAMOV	68
8 PRIMERJAVA REZULTATOV EMPIRIČNIH ENAČB IN MERJENIH PODATKOV	77
8.1 Čas zakasnitve	77
8.2 Čas koncentracije	79
9 ZAKLJUČKI	81
VIRI	83

KAZALO SLIK

Slika 1: Osnove površinskega in podpovršinskega odtoka vode.....	8
Slika 2: Izločanje baznega odtoka z ravno črto.....	9
Slika 3: Ločevanje baznega odtoka z lomljeno in krivo črto.....	10
Slika 4: Osnovne lastnosti hidrograma odtoka.....	11
Slika 5: Štirje osnovni tipi hidrogramov.....	11
Slika 6: Vpliv velikosti porečja na površinski odtok.....	15
Slika 7: Vpliv dolžine glavnega kanala na površinski odtok.....	15
Slika 8: Vpliv naklona porečja na površinski odtok.....	16
Slika 9: Hipotetične oblike povodij z izohronami.....	17
Slika 10: Gravelius-ov faktor oblike za porečja.....	18
Slika 11: Vpliv gostote hidrološke mreže na obliko hidrograma.....	19
Slika 12: Infiltracijska sposobnost različnih vrst zemljin.....	20
Slika 13: Vpliv prepustnih in neprepustnih površin na odtok padavinske vode.....	21
Slika 14: Vpliv temeljnih tal na površinski odtok.....	21
Slika 15: Vpliv intenzitete padavin na hidrogram.....	23
Slika 16: Vpliv gibanja padavin na hidrogram.....	24
Slika 17: Hidrogram odtoka s tipičnimi časovnimi parametri.....	26
Slika 18: Različne definicije časa zakasnitve.....	29
Slika 19: Hitrosti površinskega toka za oceno T_c	31
Slika 20: Koeficient efektivnosti prenosa.....	44
Slika 21: Analizirana porečja prikazana na reliefni karti Slovenije.....	49
Slika 22: Porečja Koritnice, Tržiške Bistrice, Kamniške Bistrice in Meže ter hidrološke in meteorološke merilne postaje.....	53
Slika 23: Porečja Sevnice, Mestinjščice in Drnice ter hidrološke in meteorološke merilne postaje.....	54
Slika 25: Pokrovnost tal porečij Koritnice, Tržiške Bistrice, Kamniške Bistrice in Meže po CORINE 2006.....	64
Slika 26: Pokrovnost tal porečij Sevnice, Mestinjščice in Drnice po CORINE 2006.....	65
Slika 27: Hidrogram z označenimi časovnimi parametri.....	69
Slika 28: Hidrogrami porečja Koritnice.....	70
Slika 29: Hidrogrami porečja Tržiške Bistrice do Preske.....	71
Slika 30: Hidrogrami porečja Kamniške Bistrice do Kamnika.....	72
Slika 31: Hidrogrami porečja Meže do Črne.....	73
Slika 32: Hidrogrami porečja Sevnice.....	74
Slika 33: Hidrogrami porečja Mestinjščice.....	75
Slika 34: Hidrogrami porečja Drnice.....	76

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Koeficienti CN za urbanizirane površine	4
Preglednica 2: Koeficienti CN za obdelane kmetijske površine	5
Preglednica 3: Koeficienti CN za ostale kmetijske površine.....	6
Preglednica 4: Vpliv oblike porečja na parametre hidrograma	18
Preglednica 5: Pregled vplivov hidroloških dejavnikov na čas zakasnitve	25
Preglednica 6: Koeficient N za različne vrste površin.....	32
Preglednica 7: Popravni faktorji pri izračunu površinskega toka za različno rabo tal	34
Preglednica 8: Odtočni koeficienti za 2-10 letno povratno dobo	37
Preglednica 9: Izbrana porečja in merilne postaje.....	48
Preglednica 10: Hidrološki šifrant izbranih porečij.....	55
Preglednica 11: Hidrološki šifrant izbranih porečij.....	56
Preglednica 12: Značilnosti izbranih porečij in vodotkov	57
Preglednica 13: Nadmorske višine značilnih točk porečij.....	57
Preglednica 14: Odtočni potencial in hidravlična prevodnost tal za posamezno pedološko vrsto tal ...	60
Preglednica 15: Izbran odtočni potencial analiziranih porečij	61
Preglednica 16: Razredi pokrovnosti tal po CORINE 2006 na izbranih porečjih.....	62
Preglednica 17: CN števila izbranih porečij	66
Preglednica 18: Izbrane padavinske postaje.....	66
Preglednica 19: Hidrološke merilne postaje na izbranih porečjih.....	67
Preglednica 20: Časovni parametri hidrogramov porečja Koritnice	70
Preglednica 21: Časovni parametri hidrogramov porečja Tržiške Bistrice do Preske	71
Preglednica 22: Časovni parametri hidrogramov porečja Kamniške Bistrice do Kamnika	72
Preglednica 23: Časovni parametri hidrogramov porečja Meže do Črne.....	73
Preglednica 24: Časovni parametri hidrogramov porečja Sevnice.....	74
Preglednica 25: Časovni parametri hidrogramov porečja Mestinjščice	75
Preglednica 26: Časovni parametri hidrogramov porečja Drnice.....	76
Preglednica 27: Rezultati in odstopanja izračunov po metodi Snyder	77
Preglednica 28: Rezultati in odstopanja izračunov časa zakasnitve.....	78
Preglednica 29: Rezultati in odstopanja izračunov po metodi Federal Aviation.....	79
Preglednica 30: Rezultati in odstopanja izračunov časa koncentracije	80

Ta stran je namenoma prazna.

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Posegi v naravni prostor, upravljanje z vodami, načrtovanje hidrotehničnih objektov in poplavnih območij zahtevajo natančno poznavanje značilnosti vodotoka. Naravni procesi prepleteni s človeškimi dejavniki vplivajo na spremembe v vodotoku, med katerimi je v tej nalogi v ospredju pretok. Časovne spremembe pretoka, ki jih beležimo s hidrogrami, so posledica spremenljivih količin vode, ki se v strugo stekajo po površju, pronicajo iz podzemnih zbirališč in v majhnih količinah padejo neposredno v vodotok.

Hidrološko znanje sestoji iz temeljnih fizikalnih zakonitosti gibanja vode kot padavin, površinskega toka po različnih površinah in podzemnega toka. Vsak posamezen del tega procesa je relativno enostavno opisati in kvantificirati z meritvami, eksperimenti ali že obstoječimi enačbami. Hidrološko modeliranje pa se tu šele prične. Posamezno porečje, kot temeljna enota modelov, ima svoje značilnosti, ki jih želimo čim bolj celovito in natančno upoštevati pri predvidevanju realnega odziva. Naša naloga je izbira merodajnih podatkov in uporaba najbolj primerne metode, ki bo čim bolj zajele kompleksne naravne procese in nam podala uporabne rezultate.

Hidrogram odtoka je najbolj celovit podatek o lastnostih gibanja vode po porečju do iztoka na iztočnem profilu. Vendar je praktično nemogoče pridobivanje podatkov o padavinah in odtoku prav za vsako porečje, zato si pomagamo z razpoložljivimi podatki.

V diplomski nalogi so predstavljene lastnosti porečij, ki vplivajo na odtok in so potrebni kot vhodni podatki v model. Potrebno je razumevanje procesov, da lahko bolj kritično in natančno izbiramo podatke o porečjih, ki jih nato vnašamo v model.

Nekateri časovni parametri hidrogramov imajo različne definicije. Pri analizi oziroma izdelavi sintetičnih hidrogramov je potrebna pazljivost, da se vneseni časi, ne glede na isto poimenovanje, skladajo tudi po definiciji. Enako postopamo pri medsebojni primerjavi, saj so razlike lahko temeljne narave in ne posledica naših napak.

Glavni cilji diplomske naloge so: (1) predstaviti teoretične osnove hidrograma in njegove značilnosti, (2) predstaviti različne časovne parametre hidrograma in obstoječe definicije, (3) predstaviti vplivne dejavnike na hidrogram odtoka, (4) narediti pregled empiričnih enačb za izračun časovnih parametrov, (5) za izbrana porečja določiti časovne parametre hidrograma iz meritev in z empiričnimi enačbami ter (6) na podlagi analiz in primerjav rezultatov ovrednotiti uporabnost empiričnih enačb.

2 PADAVINE IN ODTOK

2.1 Padavine, efektivne padavine in padavinske izgube

Kroženje vode v atmosferi imenujemo hidrološki krog. Ta proces zajema gibanje, zmanjševanje in polnjenje posameznih delov zemlje in okolja, po katerem kroženje vode poteka. Hidrološki krog razdelimo na štiri glavne faze:

- padavine,
- evapotranspiracija,
- vodni tok,
- podtalna voda.

S prvima dvema fazama se ukvarja predvsem meteorologija v povezavi s hidrologijo, kajti padavine in evapotranspiracija sta odvisni od vplivov atmosfere. Naslednji dve fazi pa se nanašata na odtok in sta odvisni od prvih dveh faz.

Med najpogosteje uporabljenimi podatki v geofiziki so prav padavine. Tako so padavine osnova za številne analize in raziskave na področju oskrbe z vodo, poplav, namakanja in ostalih vodnih regulacijskih sistemih. Padavine so del hidrološkega kroga. Njihova količina je omejena in neenakomerno razporejena po zemeljski obli (Državna meteorološka služba, 2012). Padavine, ki padejo na površje in površinsko odtečejo, imenujemo efektivne ali neto padavine. Te padavine ne vključujejo prestreženih padavin na vegetaciji, padavin, ki se zadržijo na površju in infiltriranih padavin v zemljino. Efektivne padavine torej dobimo tako, da od izmerjenih padavin odštejemo padavinske izgube.

Padavinske izgube so torej preostali del padavin, ki se zadrži na vegetaciji, v površinskih depresijah ali se infiltrira v zemljino.

Količino padavin navadno izražamo kot debelino plasti vode, ki bi jo tvorile na ravnem in neprepustnem površju. Navadno jo izražamo v milimetrih, v uporabi je tudi enota liter na kvadratni meter. Običajno merimo dnevno količino padavin, ki jo izmerimo ob 7. uri zjutraj in zajamejo vse padavine v zadnjih 24 urah. Izmerjene padavine pripišemo dnevu meritve. Za posebne potrebe in analize spremljamo tudi padavine v krajših časovnih intervalih, običajno v petminutnih intervalih. Meritve v Sloveniji opravlja Državna meteorološka služba. Mrežo postaj sestavljajo po strukturi, velikosti in opremljenosti različne postaje (ARSO, 2012).

Samodejne (avtomatske) meteorološke postaje merijo padavine, temperaturo, veter in zračno vlažnost. Mnoge samodejne postaje imajo še dodatne senzorje; za merjenje energije sončnega obsevanja, vidnost, sedanje vreme, višino baze oblakov itn. Merilni interval na samodejnih postajah je 30 minut, za padavine pa 5 minut. V 30-minutnem intervalu postaja zabeleži, poleg terminskih vrednosti, še povprečja in ekstreme (najvišjo in najnižjo temperaturo, povprečno temperaturo, itn). Podatki z avtomatskih meteoroloških postaj so na voljo sproti.

Na sinoptični meteorološki postaji opazujejo in merijo meteorološke elemente v določenih glavnih in pomožnih sinoptičnih terminih. Atmosferske pojave opazujejo in beležijo neprekinjeno, tudi med opazovalnimi termini. Na sinoptični postaji opravlja opazovanja in merjenja poklicni opazovalec. Padavinska postaja je meteorološka postaja, kjer merimo enkrat dnevno, ob 7. uri po krajevnem času (ob 8. uri v poletnem času). Opazovalci vse meritve in opazovanja vnašajo v padavinsko poročilo, ki ga pošiljajo na Urad za meteorologijo.

Na padavinski meteorološki postaji opazujemo: pomembnejše atmosferske pojave (megla, slana, rosa, vrsta padavin (dež, toča, sneg, ...), viharni veter, nevihta, itn.), čas začetka in konca vseh vrst padavin in važnejših atmosferskih pojavov ter fenološka opazovanja (po potrebi); merimo višino padavin in višino snežne odeje ter novozapadlega snega. Pluviograf ali ombrograf je instrument, ki zapisuje množino, čas trajanja in jakost padavin. Pri nas uporabljamo Hellmannov pluviograf (Državna meteorološka služba, 2012).

2.2 Histogram padavin

Histogram padavin prikazuje časovno razporeditev padavin in se uporablja kot osnovni podatek za računanje površinskih odtokov. Dobimo ga z meritvami padavin, ki se izvajajo na padavinskih postajah. Za modeliranje odtokov večjih povratnih dob pogosto uporabljamo sintetične histograme, ki jih določimo na podlagi dobljenih verjetnostnih analiz podatkov o padavinah za daljša časovna obdobja. Sintetični histogrami se uporabljajo, ko nam primanjkuje meritev padavin ali pa so te meritve zabeležene prekratek čas, da bi lahko določili razmerje med količino in frekvenco padavin. Različni tipi sintetičnih padavin se uporabljajo za modeliranje poplav, dimenzioniranju kanalov, kanalizacij, obrežnih nasipov, zadrževalnikov in drugih objektov (USACE, 1982). Pri uporabi histogramov predpostavimo, da so padavine razporejene enakomerno znotraj časovnega intervala in enakomerno po celotni prispevni površini. Uporabljajo se pri umerjanju, napovedih ter ocenah hidroloških modelov (Brilly in Šraj, 2006).

2.3 SCS (Soil Conservation Service) model padavinskih izgub

S SCS modelom določamo padavinske izgube v času trajanja padavinskega dogodka. Trajanje padavin je razdeljeno na intervale, v katerih model izračuna infiltracijski volumen. Ta je določen kot razlika med infiltracijskim volumnom na začetku in koncu intervala. Agencija ameriškega ministrstva za kmetijstvo je izdelala razvrstitev zemljin in ostalih površin, ki so značilne za pokrovnost tal, glede na njihovo prepustnost in jim pripisala koeficient CN, ki zajema vplive pedologije, rabe tal in predhodne vlažnosti zemljine.

Zemljina lahko sprejme samo določeno količino vode, nato pride do nasičenosti zemljine in površinskega odtoka vode. Vrednost skupne infiltracijske sposobnosti ni enaka začetnim izgubam padavin, vpliva pa na zmožnost kasnejše infiltracije znotraj poteka padavin. Koeficient S predstavlja maksimalno potencialno zadrževanje in je odvisen od koeficienta CN. Vrednost koeficienta CN je v razponu med 30 (visoka infiltracijska zmogljivost) in 100 (vodna telesa) in ga določimo s pomočjo preglednic 1-3 (USACE, 2008).

Preglednica 1: Koeficienti CN za urbanizirane površine (Povzeto po Brilly in Šraj, 2006)

Raba tal	% neprep. površin	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
Odprte površine (parki, nasadi, golf igrišča, pokopališča itd.)					
slabi pogoji (pokritost s travo < 50 %)		68	79	86	89
povprečni pogoji (pokritost s travo 50 - 75 %)		49	69	79	84
dobri pogoji (pokritost s travo > 75 %)		39	61	74	80
Neprepustne površine					
tlakovane površine, strehe, ceste		98	98	98	98
tlakovane ulice in ceste z robniki in kanaliziranimi odtoki		98	98	98	98
tlakovane ulice in ceste z odprtimi kanali		83	89	92	93
makadamske ceste (pesek)		76	85	89	91
neobdelane poti (zemlja)		72	82	87	89
Urbana območja					
komercialna in poslovna območja	85	89	92	94	95
industrijska območja	72	81	88	91	93
Stanovanjske površine					
povprečna velikost parcele do 500 m ²	65	77	85	90	92
povprečna velikost parcele 1000 m ²	38	61	75	83	87
povprečna velikost parcele do 1300 m ²	30	57	72	81	86
povprečna velikost parcele do 2000 m ²	25	54	70	80	85
povprečna velikost parcele do 4000 m ²	20	51	68	79	84
povprečna velikost parcele do 8000 m ²	12	46	65	77	82

Preglednica 2: Koefficienti CN za obdelane kmetijske površine (Povzeto po Brilly in Šraj, 2006)

Raba tal	Hidrol. pogoji	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
Ledina, neobdelan svet					
gola zemljina	-	77	86	91	94
delno poraščena zemljina (ostanki posevkov)	slabi	76	85	90	93
	dobri	74	83	88	90
Poljščine v vrsti					
v ravni vrsti	slabi	72	81	88	91
	dobri	67	78	85	89
v ravni vrsti, delna poraščenost	slabi	71	80	87	90
	dobri	64	75	82	85
po plastnicah	slabi	70	79	84	88
	dobri	65	75	82	86
po plastnicah, delna poraščenost	slabi	69	78	83	87
	dobri	64	74	81	85
po plastnicah in na terasah	slabi	66	74	80	82
	dobri	62	71	78	81
po plastnicah in na terasah, delna poraščenost	slabi	65	73	79	81
	dobri	61	70	77	80
Nizka žita					
v ravni vrsti	slabi	65	76	84	88
	dobri	63	75	83	87
v ravni vrsti, delna poraščenost	slabi	64	75	83	86
	dobri	60	72	80	84
po plastnicah	slabi	63	74	82	85
	dobri	61	73	81	84
po plastnicah, delna poraščenost	slabi	62	73	81	84
	dobri	60	72	80	83
po plastnicah in na terasah	slabi	61	72	79	82
	dobri	59	70	78	81
po plastnicah in na terasah, delna poraščenost	slabi	60	71	78	81
	dobri	58	69	77	80
Gosto sejane stročnice ali kolobarjen travnik					
v ravni vrsti	slabi	66	77	85	89
	dobri	58	72	81	85
po plastnicah	slabi	64	75	83	85
	dobri	55	69	78	83
po plastnicah in na terasah	slabi	63	73	80	83
	dobri	51	67	76	80

Preglednica 3: Koeficienti CN za ostale kmetijske površine (Povzeto po Brilly in Šraj, 2006)

Raba tal	Hidrol. pogoji	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
Pašnik, prerija	slabi	68	79	86	89
	povprečni	49	69	79	84
	dobri	39	61	74	80
Travnik, košen	-	30	58	71	78
Grmičevje	slabi	48	67	77	83
	povprečni	35	56	70	77
	dobri	30	48	65	73
Gozd v kombinaciji s travo (plantaže, sadovnjaki)	slabi	57	73	82	86
	povprečni	43	65	76	82
	dobri	32	58	72	79
Gozd	slabi	45	66	77	83
	povprečni	36	60	73	79
	dobri	30	55	70	77
Kmetija s poslopjem, podeželsko cesto in okoliškimi parcelami	-	59	74	82	86

Efektivne padavine so funkcija pokrovnosti tal, rabe tal, vlažnosti zemljine in celotnih padavin. Določimo jih z uporabo naslednje enačbe:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (1)$$

Kjer je:

- P_e akumulirane efektivne padavine v času t [mm],
- P višina padavin v času t [mm],
- I_a začetne izgube [mm],
- S maksimalno potencialno zadrževanje [mm].

SCS je na podlagi meritev na manjših povodjih razvil empirično povezavo med I_a in S .

$$I_a = 0.2 \cdot S \quad (2)$$

Enačba za izračun efektivnih padavin ima tako tudi obliko:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{P + 0.8 \cdot S} \quad (3)$$

Maksimalno zadrževanje S in karakteristike povodja so povezani s parametrom CN. Parameter nima enote, maksimalno zadrževanje S pa je podan v milimetrih.

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad (4)$$

Površina in pedološka plast porečij je praviloma heterogena. Pri uporabi modela je potrebno vnesti eno vrednost koeficienta CN, zato najprej določimo posamezne vrednosti za dele porečja z različnimi tipi zemljin in rabe zemljišč, potem pa izračunamo skupno vrednost s sledečo enačbo:

$$CN_{skupen} = \frac{\sum A_i \cdot CN_i}{A} \quad (5)$$

Kjer je:

- CN_{skupen} koeficient CN porečja [–],
- CN_i koeficient CN posameznega dela porečja [–],
- A_i površina posameznega dela porečja [km^2],
- A skupna površina porečja [km^2].

2.4 Površinski in bazni odtok

Površinski odtok imenujemo del padavin, ki prispejo na površino zemlje in se ne zadržijo na rastlinah ali v tleh ali izhlapijo, temveč odtečejo površinsko in podpovršinsko v mrežo vodotokov (slika 1). Voda odteka pod vplivom gravitacije proti najnižji točki določene prispevne površine ali padavinskega območja opredeljenega s topografskimi in geološkimi lastnostmi. Skozi to točko se steka površinski odtok celotnega porečja in je kritična točka pri dimenzioniranju hidrološke infrastrukture.

Začetek površinskega odtoka se pojavi ob padavinskih dogodkih, ko se v vodotoku, poleg podzemnega napajanja z vodo, pretok poveča na račun:

1. padavin neposredno v strugo,
2. površinskega odtoka,
3. medtoka.

Količinsko največji je površinski odtok.

Bazni odtok nastane kot posledica izcejanja podzemnih voda v strugo vodotoka, kadar določen čas ni padavin ter odtoka površinskih voda (slika 1). Voda se ob večjih padavinah zbira na površini potem, ko je izkoriščena infiltracijska sposobnost zemljine ali takoj, če je ta površina neprepustna.

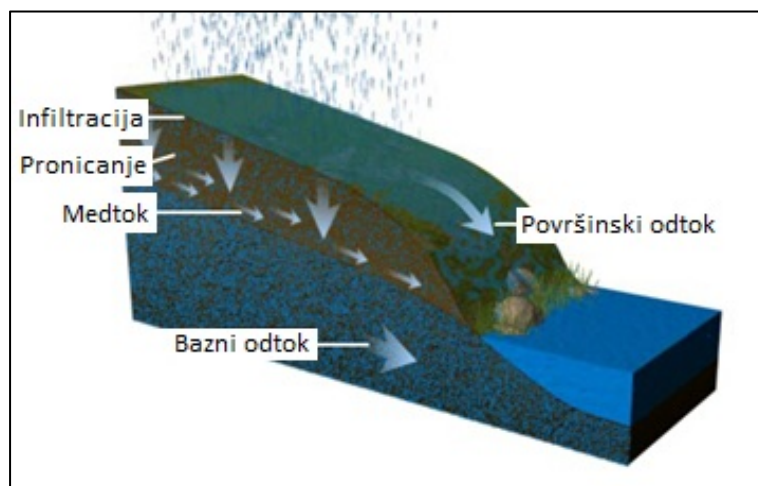
Z različnimi hitrostmi se steka v struge hidrografske mreže in doteka do merskega profila po določenem času, ki je funkcija oblike porečja, nagiba in drugih lastnosti prispevne površine ter gostote hidrografske mreže. Pri manjših porečjih pri tem prevladuje čas stekanja vode po površini do hidrografske mreže, pri večjih pa čas odtoka po sami strugi (Chow et al., 1988).

Različni avtorji navajajo različne začetke površinskega odtoka na hidrogramu (Fang, 2005):

1. ob začetku padavinskega dogodka,
2. ob začetku učinkovitih padavin,
3. v težišču učinkovitih padavin hietografa.

Glede na to, da že na začetku padavin nekaj vode, ki je količinsko sicer zanemarljiva, pade v vodotok in takoj prispeva k površinskemu odtoku, bi se lahko strinjali s prvo definicijo. Če pa pogledamo količinsko znatno večji del vode, ki površinsko priteče šele po začetnih padavinskih izgubah, bi lahko upoštevali 2. definicijo. Ob tem poudarimo, da lahko ta dva časa sovpadata, če nimamo začetnih izgub ali pa so te zelo majhne in se infiltracijska sposobnost tal hitro konča.

Konec površinskega odtoka se pojavi, ko imamo v vodotoku ponovno samo bazni odtok. Ugotovitev tega parametra je dejansko temelj hidrološke analize, ker so z njim povezani nadaljnji časovni faktorji, prav tako pa količina površinsko odtekle vode. Določitev tega časa je zahtevnejše opravilo in zahteva nekaj neposrednih izkušenj in analiz.



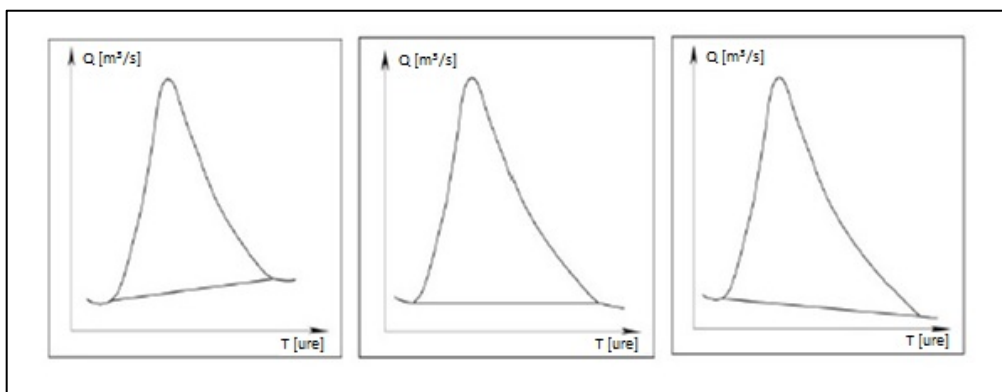
Slika 1: Osnove površinskega in podpovršinskega odtoka vode (Povzeto po MetED, 2010)

2.4.1 Izločanje baznega odtoka

Različni avtorji so razvili določene postopke izločanja baznega odtoka iz hidrograma, ki se med seboj precej razlikujejo. Zanesljiva izbira določene metode torej zahteva nekaj dodatnih raziskav o režimu podzemnega oz. baznega odtoka s porečja (Yue et al., 2002). Najbolj pogoste so grafične metode izločanja baznega odtoka, kjer imamo na voljo več različnih metod (sliki 2 in 3).

Dvo-točkovna metoda z ravno črto:

- Črta narašča proti krivulji upadanja. Pogosta metoda, saj se količina podtalne vode s trajanjem padavinskega dogodka in infiltracijo vode v globlje plasti povečuje.
- Črta je vzporedna abscisni osi. V nekaterih porečjih v določenem času padavin ni odziva v smislu povečanega baznega odtoka.
- Črta pada proti krivulji upadanja. Tak pojav je značilen za malo porečij.



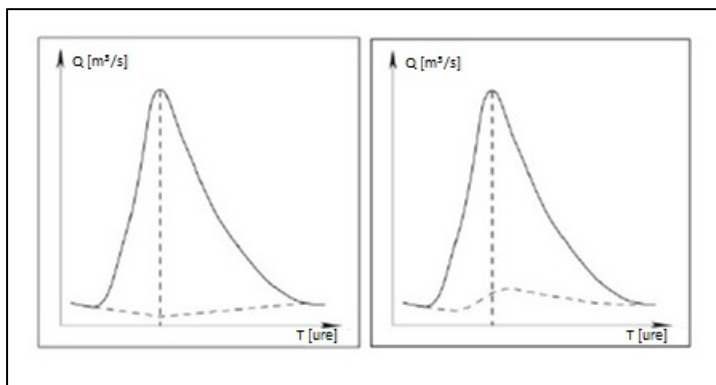
Slika 2: Izločanje baznega odtoka z ravno črto (Povzeto po Pandi, 2010)

Tro-točkovna metoda:

- Konkavna metoda. Bazni odtok upada v času naraščanja površinskega odtoka. Minimum baznega odtoka se pojavi v času konice pretoka. Bazni odtok povežemo s prevojno točko in prikažemo zakasnelo povečanje baznega odtoka (Brodie et al., 2005).
- Konveksna metoda. To metodo pogosto uporabimo takrat, ko je bazni odtok relativno velik in hitro doseže strugo vodotoka.

Krivuljna metoda:

V primeru, kadar imamo na voljo raziskavo oziroma natančno znanje o gibanju podzemne vode in medsebojnem vplivu infiltriranih padavin ter baznega odtoka, lahko le-tega ločimo s krivuljo. Ta metoda je najbolj natančna, seveda pa za njeno uporabo potrebujemo največ podatkov in znanja (Pugelj, 2012).

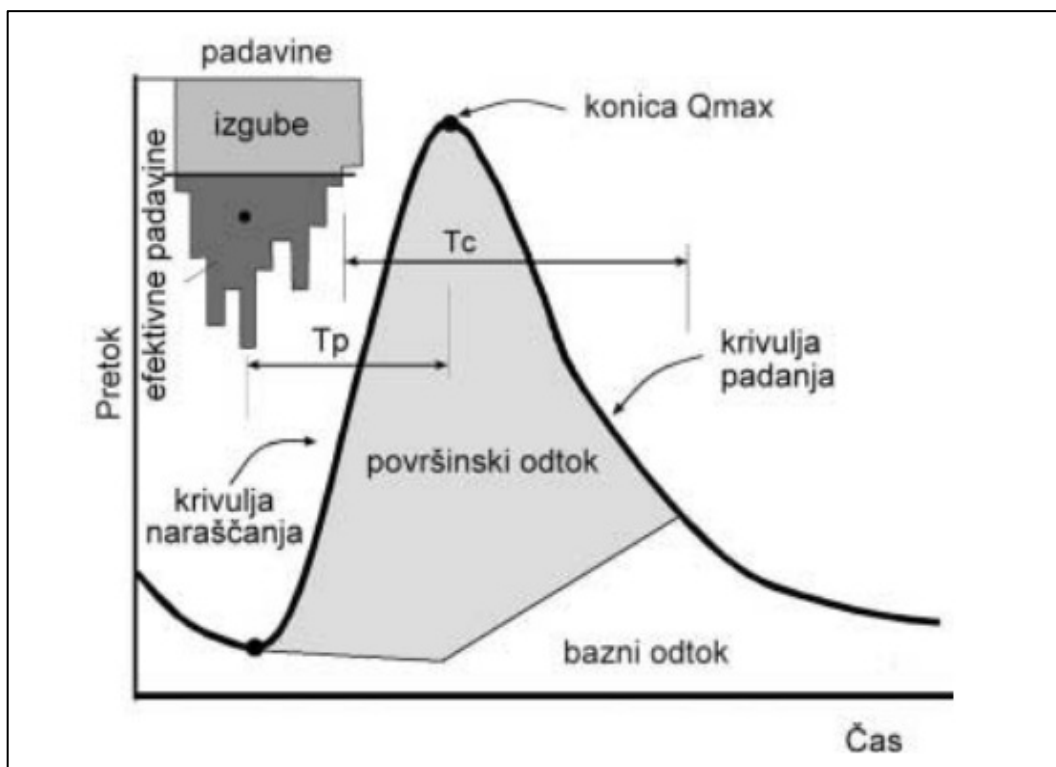


Slika 3: Ločevanje baznega odtoka z lomljeno in krivo črto (Povzeto po Pandi, 2010)

2.5 Osnove hidrograma odtoka

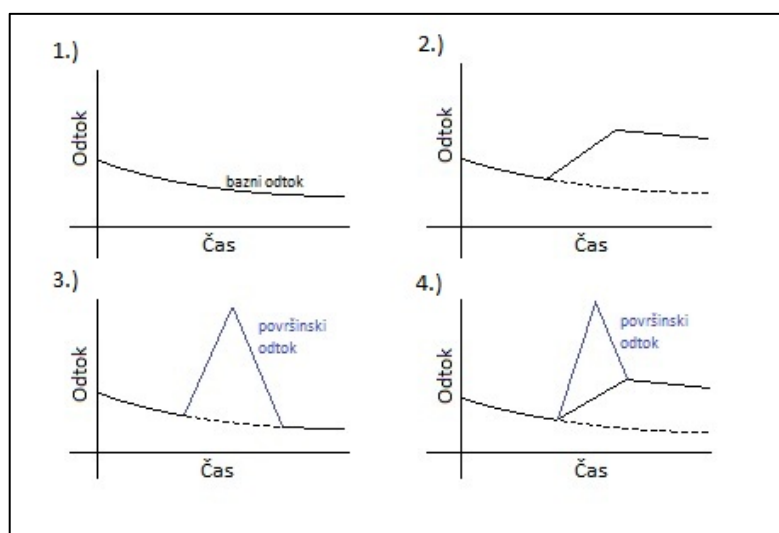
Pri ocenjevanju in uporabi hidroloških podatkov nas največkrat zanima volumen površinskega odtoka in konica pretoka, poleg tega pa tudi časovna razporeditev odtoka. Diagram časovnih sprememb pretoka v vodotoku imenujemo hidrogram. Na sliki 4 je grafično prikazan odziv vodotoka na določeni lokaciji med in po padavinskem dogodku ali taljenju snega. Taka meritev nam o značilnostih posameznega dela porečja pove več kot katera koli druga meritev.

V večini primerov imamo v strugi vodni tok že pred pojavom padavin. Temu pretoku rečemo bazni odtok. Po pojavu padavin ali taljenja snega se v strugi vodotoka pretok poveča zaradi površinskega dela odtoka (slika 4). Če je za porečje značilen medtok ali zakasnen odtok zaradi topografskih in geoloških lastnosti, je krivulja upadanja bolj položna in je včasih težko določiti kdaj se površinski odtok dejansko konča. Površinski odtok predstavlja odtok učinkovitih padavin. Učinkovne padavine predstavljajo preostanek padavin, ki površinsko odteče, ko odštejemo izgube kot so prestrežene padavine, infiltracija, evaporacija, akumulacija v depresijah in ostale (Shaw, 1994).



Slika 4: Osnovne lastnosti hidrograma odtoka (Povzeto po Brilly in Šraj, 2006: str.35)

Obstajajo različni tipi hidrogramov, ki so prikazani na sliki 5, glede na odziv pretoka na merskem profilu pri različnih padavinskih pojavih (trajanje in intenziteta), predhodni vlažnosti in infiltracijski sposobnosti površin (Ward, 2004).



Slika 5: Štirje osnovni tipi hidrogramov (Povzeto po Ward, 2004)

Tip 1: Brez odziva. Pri nizki količini in intenziteti padavin ter nizki vlažnosti zemljine se absorbira celotna količina padavin.

Tip 2: Pri nizki intenziteti padavin in veliki infiltracijski sposobnosti se poveča samo bazni pretok.

Tip 3: Pri kratkih in intenzivnih padavinah ali nepropustnih površinah večina vode odteče kot površinski tok.

Tip 4: Kombinacija tipa 1 in 2. Pri pojavih, ko se del vode infiltrira in del površinsko odteče imamo najprej povečan površinski pretok. Po upadu le tega pa se izceja še večja količina podzemne vode, kar ima za posledico povečan bazni pretok.

2.6 Hidrogram enote

Hidrogram enote je hidrogram odtoka, ki ga povzroči enota efektivnih padavin v določenem časovnem intervalu. Pri tem moramo upoštevati predpostavko, da so padavine enakomerno razporejene po porečju. Teorijo hidrograma je prvi predstavil Sherman (1932). Je preprost linearni model, uporaben za določanje hidrograma odtoka iz katerega koli hietografa padavin. Osnovne predpostavke so:

- Efektivne padavine imajo enakomerno intenziteto med trajanjem.
- Efektivne padavine so enakomerno prostorsko porazdeljene po porečju.
- Trajanje odtoka, kot posledica padavin z enakim trajanjem, je konstantno.
- Za isto porečje je velikost hidrogramov odtoka v enakem razmerju z velikostjo padavinskih dogodkov.

V resničnih primerih te predpostavke ne držijo v celoti, predvsem ne pri večjih porečjih. Kljub temu je ta pristop običajno dovolj natančen za inženirske ocene pri projektiranju.

Metoda hidrograma enote je uporabna na porečjih manjših od 5100 km². Da se bolj približamo predpostavkam in posledično dobimo natančnejše izračune, večja porečja razdelimo na podporečja, ki jih nato hidrološko analiziramo.

Obstajata dva pristopa za določanje hidrograma enote na posameznem porečju. Kadar imamo na voljo podatke o padavinah in odtoku, potem lahko z različnimi metodami formiramo hidrograme enote iz teh podatkov. V primeru pomanjkanja podatkov pa je potrebno uporabiti metode sintetičnih hidrogramov. V Ameriški literaturi je poudarek na regionalizaciji hidrogramov enote, ki pomeni, da se primerja različne geografske in meteorološke parametre in določi območja z podobnimi lastnostmi. Ta pristop lahko precej olajša hidrološke analize, vendar je da je zaradi velike površine in naravnih značilnosti tak pristop za ZDA primernejši.

V praksi se pojavi problem stanja porečja pred padavinami. Hidrogram enote imamo narejen za določeno stanje, ki pa se časovno spreminja (temperatura, vlažnost zraka, vlažnost zemljin). Ti faktorji povzročijo določeno predvidljivo odstopanje (McCuen, 1998). Za oceno odtoka lahko uporabimo različne hidrograme enote, ki smo jih ustvarili na osnovi različnih predpogojev.

3 VPLIVNI DEJAVNIKI NA HIDROGRAM

Preden podrobneje predstavimo posamezne časovne parametre hidrograma pogledimo še dejavnike, ki vplivajo na komponente hidrograma, kot sta oblika in čas pojava ter količina največjega pretoka. Vplivne dejavnike lahko razdelimo na stalne in spremenljive. Pri modeliranju je potrebno biti posebej pozoren na slednje, saj je potrebno predvideti najbolj kritične naravne pogoje, ki lahko vplivajo na povečanje konice oziroma na čas njenega nastanka. Pri dejavnikih na katere vpliva človek, moramo upoštevati še spremembe in razvoj v prihodnosti, saj imajo hidrološki objekti dolgo amortizacijsko dobo, v kateri morajo biti funkcionalni tudi pri morebitnih povečanih pretokih.

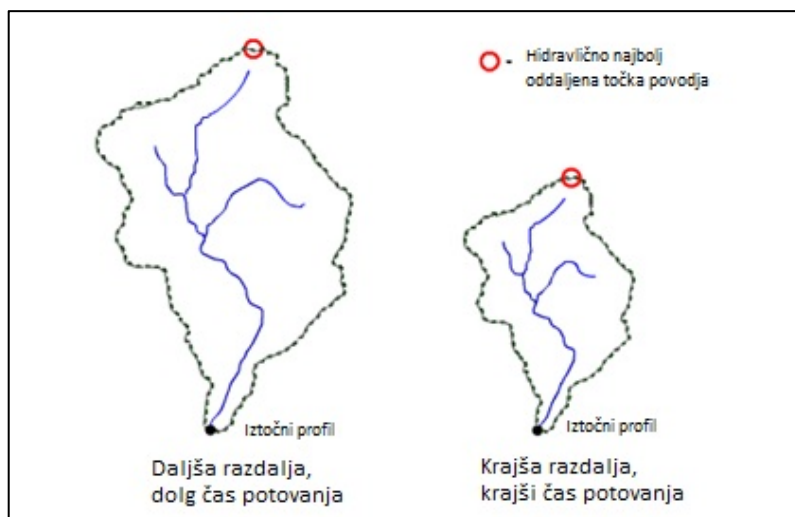
3.1 Geografski dejavniki

3.1.1 Velikost porečja

Večja površina pomeni večjo količino vode, ki delno odteče površinsko, delno pa pronica v podtalnico. Če imamo prostorsko enakomerno razporejene padavine in meritve le-teh, lahko s preprostim izračunom ugotovimo količino vode, ki pade na porečje. Ko odštejemo padavinske izgube, dobimo količino, ki v času trajanja površinskega odtoka odteče s porečja. Večja površina pomeni večji odtok, manjša porečja pa imajo krajše časa zakasnitve in koncentracije.

Razlika je v relativnosti vpliva posamezne faze odtoka. Pri manjših porečjih ima na odtok večji vpliv površinski tok, kjer so hitrosti vodnega toka manjše. Pri stekanju v strugo ima voda potem krajšo pot do iztočnega profila. Pri večjih porečjih je čas potovanja po strugi daljši in ima zato večji vpliv na obliko hidrograma (slika 6).

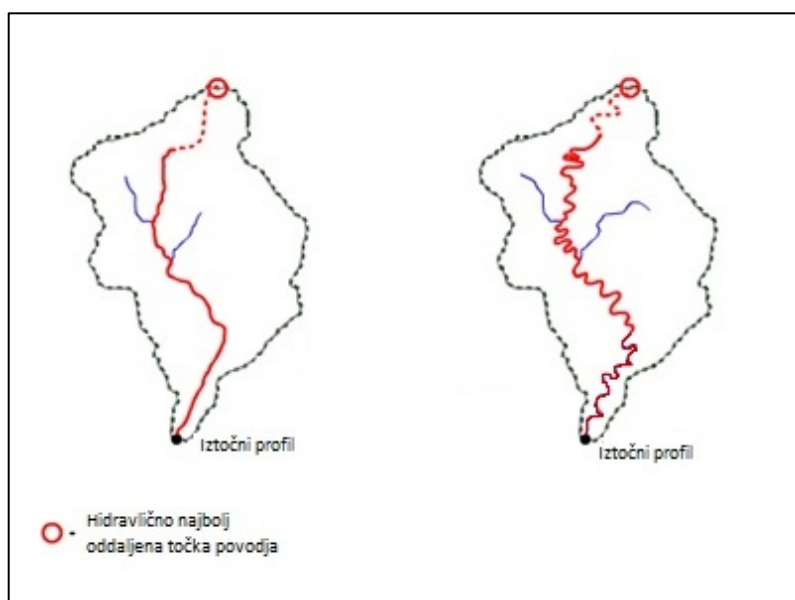
Trditve veljajo za primere, kjer imamo podobno razvejanost mreže vodotokov. Pri bolj razvejanih mrežah bo vsekakor večji vpliv toka v strugi in bo odtok hitrejši, velikost hidrograma pa je kljub temu odvisna od velikosti porečja.



Slika 6: Vpliv velikosti porečja na površinski odtok (Povzeto po MetED, 2009)

3.1.2 Dolžina glavne struge

Predvsem pri velikih porečjih ima čas, ki ga vodni delec potrebuje za pot po glavni strugi, ključen vpliv na časovne faktorje hidrograma. Posebej se to opazi pri naravnih strugah, ki so podvržene procesu meandriranja. Dolžina in večje hidravlične izgube zaradi zavitega toka, vrtinčenja, večje poraščenosti naravnih strug povzročijo manjši pretok na izhodnem profilu porečja (WMO, 1994).



Slika 7: Vpliv dolžine glavnega kanala na površinski odtok (Povzeto po MetED, 2009)

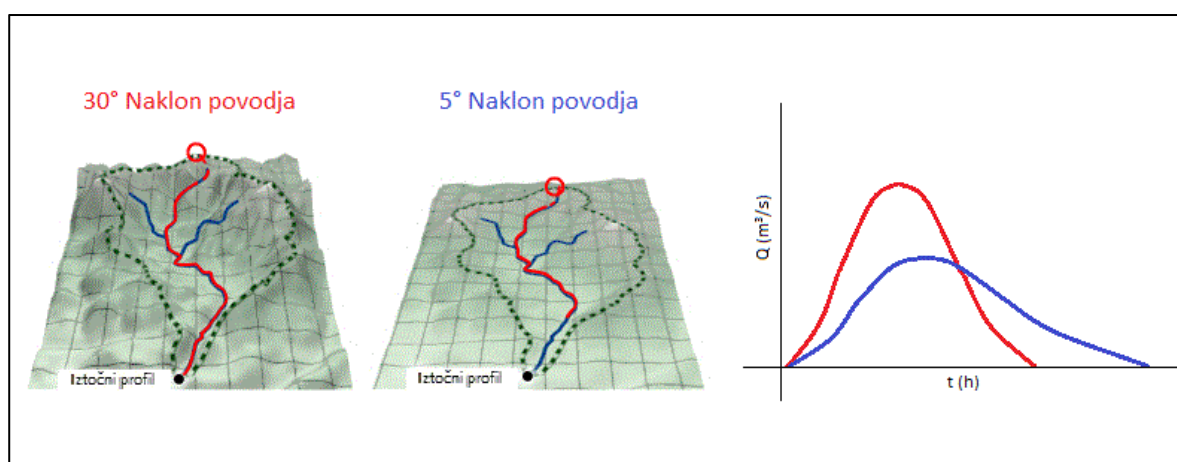
Tukaj lahko predstavimo še enačbo, ki jo je podal Hack (1957). Začetne raziskave na vodotokih v Pensilvaniji in Virginiji je kasneje razširil na vodotoke celega sveta. Analiziral je porečja z naravnimi strugami za katera lahko uporabljamo to enačbo, ki povezuje dolžino glavne struge in drenažno površino (Rigon, 1996).

$$0.6214 \cdot L = k \cdot (0.3861 \cdot A)^n \quad (6)$$

Kjer je:

- L dolžina najdaljše struge [km],
- k koeficient porečja; v razponu med 1 in 2.5 s povprečjem 1.4 [–],
- A drenažno območje porečja [km^2],
- n eksponent; razpon med 0.6 in 0.7 s povprečjem 0.6.

3.1.3 Naklon porečja in vodotoka



Slika 8: Vpliv naklona porečja na površinski odtok

Večji nakloni površine in struge povzročajo hitrejši odtok vode s porečja (slika 8). Pri tem so časi trajanja odtoka, časa zakasnitve in koncentracije krajši, ker voda hitreje prepotuje razdalje do iztočnega profila. Maksimalni pretok v tem profilu pa je večji. Določanje teh količin je najlažje z merjenjem pravokotnih razdalj med posameznimi izohipsami, kjer poteka gibanje vode. Pristop je sicer zamuden, če se opravlja ročno in lahko da nepravilne rezultate, če upoštevamo premajhno število podatkov oz. izmerjenih dolžin.

V današnjem času pogosteje uporabljamo računalniški način, kjer programi geografskih informacijskih sistemov z algoritmi določijo ustrezne padce porečij, uporabne za nadaljnje izračune.

McCuen (1998) definira naklon porečja kot spremembo nadmorske višine na najdaljši poti vodnega delca proti iztoku. Ta pot poteka od meje porečja, ki je lahko na strmih hribovitem terenu, po najdaljši strugi. Preprosta enačba za izračun naklona je:

$$S = H/L \quad (7)$$

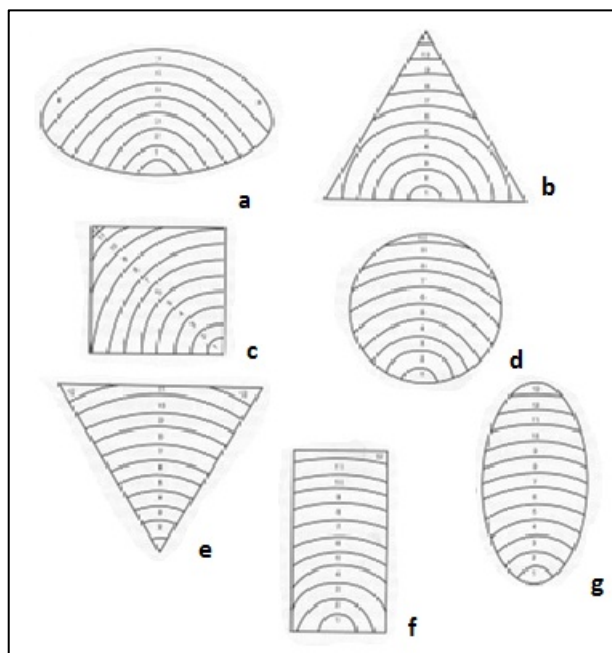
Različni avtorji navajajo, da tak izračun lahko zavaja in je netočen. Prevelik vpliv daje strmim pobočjem na robu porečja, ki so najbolj oddaljeni od izliva, zato računski padec ne odraža stanja na terenu (Schultz in Lopez, 1974).

Laurenson et al. (1963) je razvil svojo enačbo na osnovi trditve, da je najbolj merodajnih 75 % glavne struge in da na tem območju večina porečij zbere največ površinskega odtoka.

$$S = \frac{\text{nadm. višina pri } 0.85 \cdot L - \text{nadm. višina pri } 0.1 \cdot L}{0.75 \cdot L} \quad (8)$$

3.1.4 Oblika porečja

Oblika porečja vpliva na časovno razporeditev odtoka oz. čas, potreben, da voda priteče s celotnega porečja do iztoka. S tem vpliva na obliko hidrograma in čas pojava maksimalnega pretoka. Običajno imajo polkrožna oz. ovalna porečja ožje hidrograme z visoko konico, ker voda bolj koncentrirano priteče do iztoka, medtem ko so za podolgovata porečja značilni hidrogrami z nizko konico pretoka.



Slika 9: Hipotetične oblike povodij z izohronami (Povzeto po Fang, 2005)

Preglednica 4: Vpliv oblike porečja na parametre hidrograma

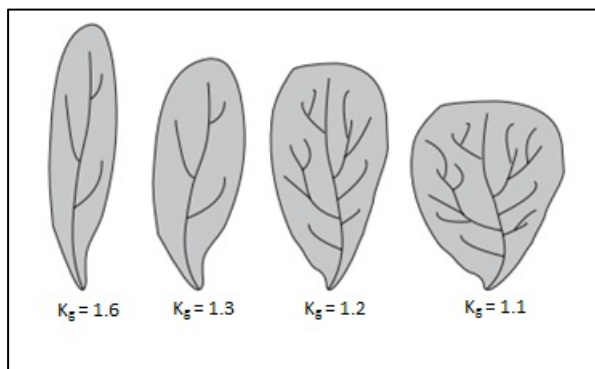
Porečje	a	b	c	d	e	f	g
Čas trajanja odtoka	8	11	12	10	12	12	13
Čas pojava konice [h]	8	5	8	6	10	7	6
Maksimalni pretok [visok/srednji/ majhen]	visok	visok	srednji	srednji	visok	majhen	majhen

Na sliki 9 so prikazana in oštevilčena posamezna območja ločena z izohronami. Pri predpostavki, da pade na celotno območje enaka količina padavin, imamo neposredno povezavo med velikostjo in količino površinskega odtoka. Volumen odtoka je tako enak za vsa porečja, ki imajo enako površino, a se bistveno razlikuje razporeditev le-tega, kar je razvidno iz preglednice 4. Območje med dvema izohronama pomeni, da vse učinkovite padavine s tega območja pritečejo do izhodnega profila v enakem času. Kadar imamo za porečje določeno tako časovno razporeditev odtoka, lahko neposredno iz deleža učinkovitih padavin glede na trajanje določimo volumne odtoka.

Za karakterizacijo in primerjavo oblik porečij se uporablja tudi Gravelius-ov oblikovni indeks K_g (Fang, 2005). Definiran je kot razmerje med obsegom porečja in obsegom kroga, ki zavzema enako površino kot porečje.

$$K_g = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \cong 0.282 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (9)$$

Indeks določimo iz topografskih načrtov z merjenjem dolžine razvodnice. Indeks se približuje 1 za porečja bolj okrogle oblike in se povečuje za bolj podolgovata porečja.



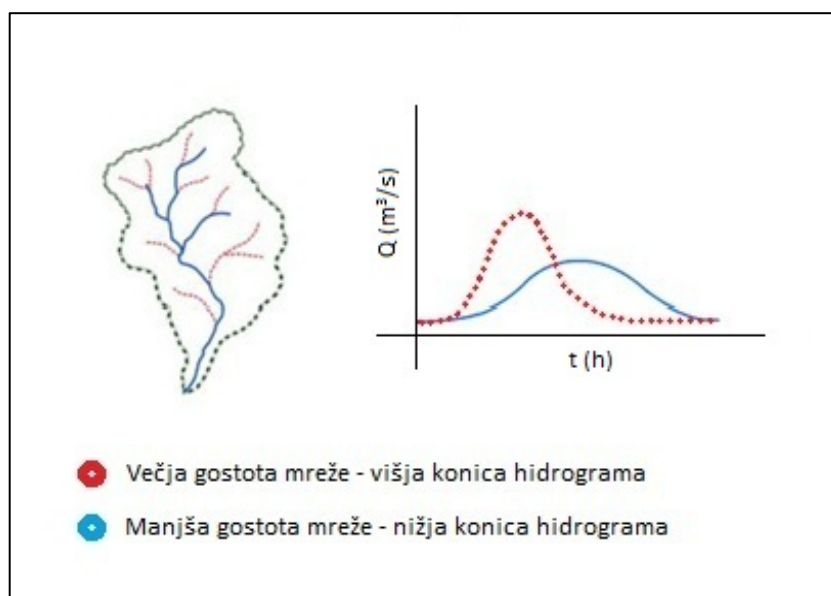
Slika 10: Gravelius-ov faktor oblike za porečja (Povzeto po Musy, 2004)

3.1.5 Gostota mreže vodotokov

Gostota hidrološke mreže je določena kot razmerje med skupno dolžino vodotokov na porečju in površino porečja.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (10)$$

V praksi se gostota giblje od 3 za centralizirana porečja, pa vse do 1000 za porečja, kjer je tok zelo razvejan, kar je značilno za površine z majhno infiltracijo. Večja gostota povzroči hitrejši odtok padavin, saj je tok v strugi navadno hitrejši od površinskega, nestrnjenelega toka (slika 11).



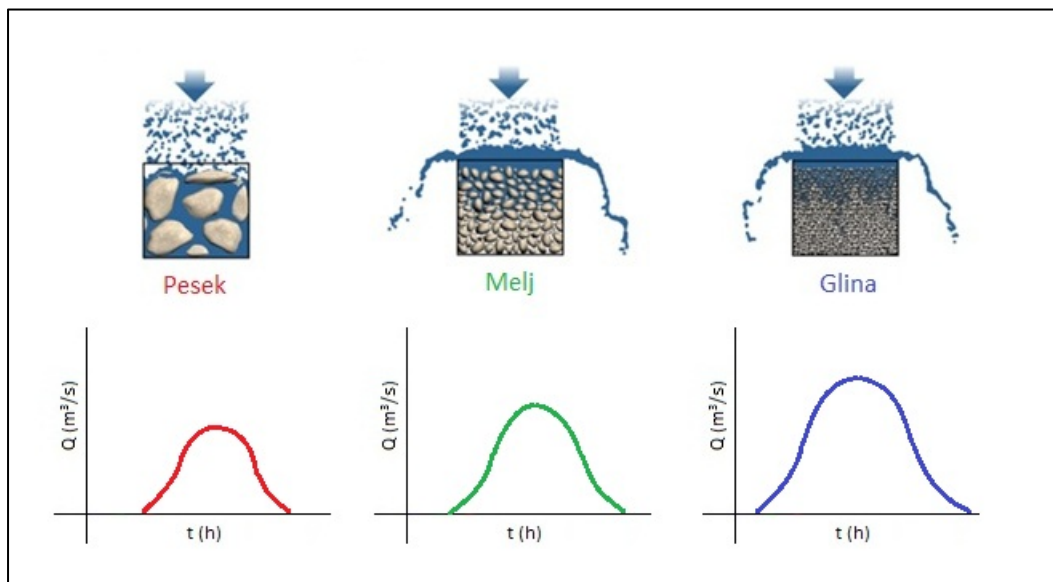
Slika 11: Vpliv gostote hidrološke mreže na obliko hidrograma (Povzeto po MetEd, 2010)

3.1.6 Raba tal, pedologija in geologija

Vpliv rabe tal na površini, na katero pade dež in po kateri se steka v struge oz. kanale vodotokov, ima zelo velik vpliv na hidrogram in je zato pomemben tudi pri modeliranju. Gre za vrsto dejavnikov, ki so med seboj povezani, vendar šele natančna analiza površine porečja in trenutnega stanja lahko da dobre rezultate. Infiltracijska sposobnost zemljine je lastnost, ki pove, kolikšna količina vode in v kolikšnem času se lahko akumulira v zemljini in se preceja navzdol. Proces poteka z različno hitrostjo, dokler voda ne izpodrine vsega zraka v prostoru med zrni in postane zemljina zasičena. Infiltracijo običajno ocenimo z eno izmed metod računanja padavinskih izgub, ki jo izberemo na osnovi lastnosti zemljin, ki vplivajo na infiltracijo:

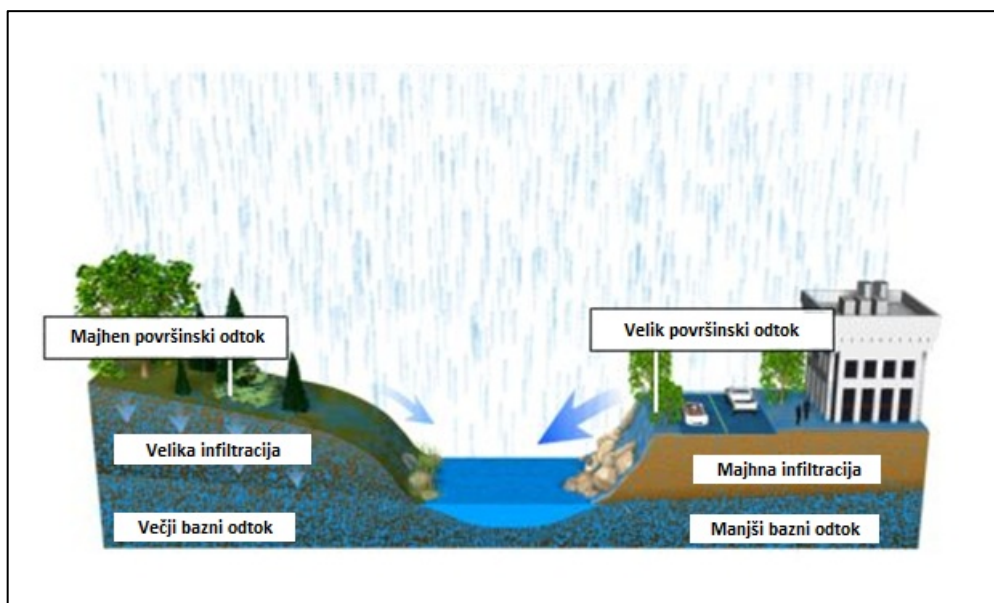
- stopnja vlažnosti,
- tekstura,
- gostota,
- vsebnost organskih snovi,
- hidravlična konduktivnost,
- poroznost.

Večja sposobnost infiltracije padavin pomeni zmanjšan površinski odtok in povečan čas zakasnitve. Poudarimo lahko, da se pri veliki intenziteti padavin lahko zemljina hitro zasiči samo v zgornji plasti. To začasno prepreči pronicanje v globino in poveča površinski odtok.



Slika 12: Infiltracijska sposobnost različnih vrst zemljin

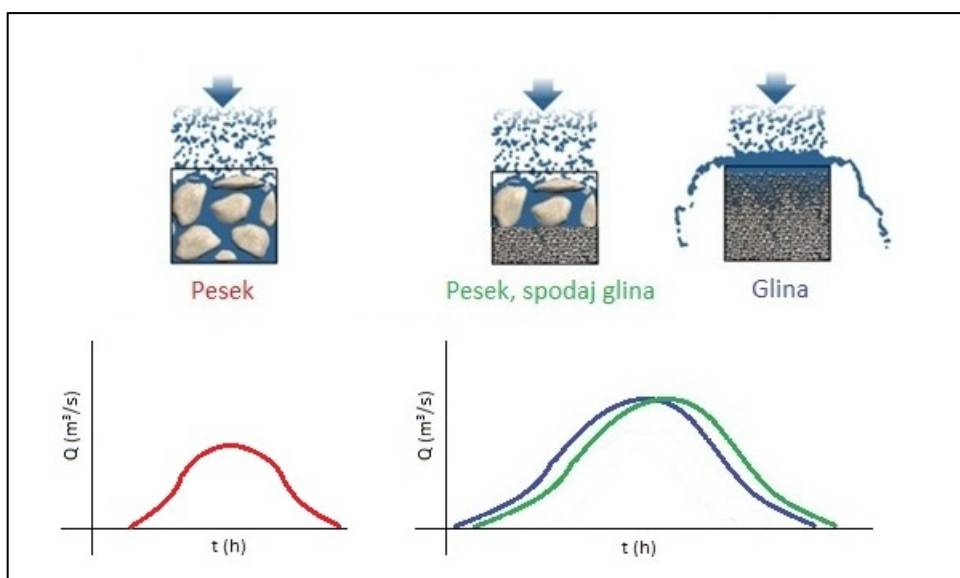
Iz slike 12 vidimo, da se površinski odtok prične kasneje zaradi začetnega časa, ko se vsa padavinska voda infiltrira v zemljino. Ta količina ne prispeva k odtoku, torej se celoten hidrogram zmanjša.



Slika 13: Vpliv prepustnih in neprepustnih površin na odtok padavinske vode (Povzeto po MetED, 2010)

Urbanizirane površine predstavljajo v hidrološkem smislu ekstremen primer. Neprepustne površine onemogočajo infiltracijo vode, kar povzroča hiter odtok celotne padavinske vode (slika 13). Na takih površinah je, za nemoteno obratovanje mesta in preprečevanja škode, nujno potrebna redno vzdrževana meteorna kanalizacijska infrastruktura ustreznih dimenzij.

Tudi geološka sestava tal v globljih plasteh lahko vpliva na hidrogram. Predvsem v primeru, ko prepustnim slojem zemljine na majhni globini sledijo neprepustna temeljna tla. Takrat infiltracija sicer poteka, vendar voda ne odteka globlje, temveč kot medtok odteka pod površjem.



Slika 14: Vpliv temeljnih tal na površinski odtok

Iz slike 14 je razvidno, da imata hidrograma za primera z neprepustno spodnjo plastjo enak volumen in konico, le čas začetka površinskega odtoka je zamaknjen za čas infiltracije skozi zgornjo tanko prepustno plast.

Vegetacija na hidrogram vpliva predvsem zaradi procesov evaporacije in transpiracije, ki jih običajno združimo pod pojem evapotranspiracija. Del padavin ostane na listih rastlin in se kot para vrne v atmosfero. Proces se poveča ob višji temperaturi zraka in vode, vetru in sončnem sevanju. Pri poviševanju relativne vlažnosti zraka pa se proces upočasnjuje. Vodo v zgornji plasti zemljine s koreninami vsrkavajo rastline za rast in fotosintezo. Proces imenujemo transpiracija. Odvečno vodo rastline izločijo skozi liste v obliki vodne pare. Več kot polovica vode, ki pronica v zemljino, se vrne v atmosfero preko evapotranspiracije (Ward, 2004).

3.1.7 Orientacija, lega

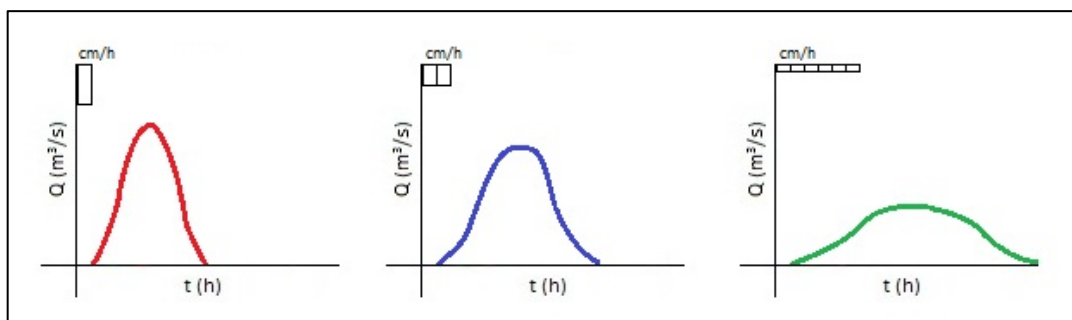
Geografska lega in orientacija porečja tudi vplivata na površinski odtok. Za površine na osovni legi (severna stran hribovij in gora) je značilna manjša količina sončnega obsevanja, kar povzroči manjšo vegetacijo in globlje ter dolgotrajnejše zmrzovanje tal (Ward, 2004). Ostale naravne procese povezane z rabo in značilnostmi tal smo obravnavali v prejšnjem podpoglavju tako, da so nam njihovi vplivi na hidrogram znani. Posledica je večji površinski odtok.

3.2 Meteorološki dejavniki

3.2.1 Intenziteta padavin

Intenziteta padavin ima zelo velik vpliv na površinski odtok in lahko povzroči poplavne volumne odtoka zaradi številnih faktorjev. Večja intenziteta pomeni povečan volumen v določenem časovnem obdobju, tako je odtok padavin krajši, vendar se lahko konica močno poveča in povzroči kratkotrajno poplavljanje. Pri malo prepustnih tleh je značilen tudi pojav zablantenja zgornje tanke plasti zemljine (Shaw, 1994). Rezultat je začasna neprepustnost. Povečajo se tako hitrost in velikost pojava konice kot tudi velikost celotnega volumna vala.

Poglejmo še grafični primer vpliva intenzitete (slika 15). Količina efektivnih padavin je pri vseh treh primerih enaka, le da je njihovo trajanje 1h, 2h in 6h. Ker je količina efektivnih padavin enaka, to velja tudi za celoten volumen odtekle vode oziroma površino pod grafom, spreminjata pa se konica in oblika grafa.



Slika 15: Vpliv intenzitete padavin na hidrogram

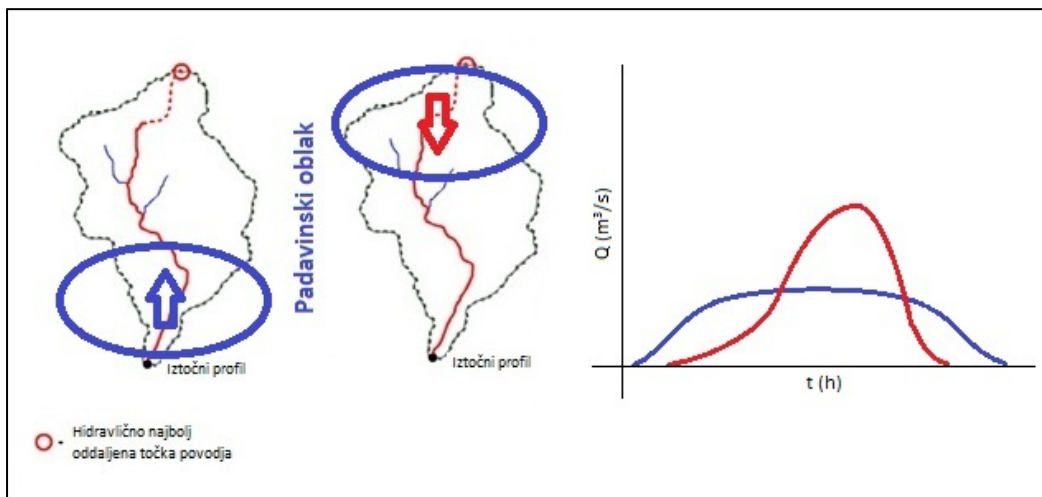
3.2.2 Trajanje padavin

Pri enaki intenziteti daljše trajanje dežja povzroča daljši odtok z večjim skupnim volumnom. Infiltracijska sposobnost zemljine s časom in večanjem vlažnosti upada (Chow et al., 1988). Pri zelo prepustnih površinah se lahko podzemne kapacitete pri dolgotrajnem deževju zapolnijo, kar prepreči nadaljnjo infiltracijo.

Določen delež padavin, ki prispe do tal, površinsko ne odteče do vodotokov in naprej do iztočnega profila, temveč ostane ujet v depresijah, od koder počasi pronica v tla in hlapi. Voda, ujeta v depresijah, vpliva na hidrogram kot zmanjšan volumen odtoka potem, ko smo že izračunali količino učinkovitih padavin. Nastanek in velikost depresij je odvisen od geološke strukture in morebitnih človeških posegov prostor. Zaradi velike raznolikosti pojava nimamo nobenih parametrov ali metod za natančen izračun, ampak ga določamo za vsako porečje posebej (Viessman in Lewis, 2003).

3.2.3 Gibanje padavin

Pomikanje padavinskega oblaka proti iztoku porečja povzroča večji maksimalni pretok in obratno. Gre za sočasno gibanje vode po površju in strugah proti iztoku ter gibanje padavin na območje blizu iztoka. Za tak pojav je značilna visoka konica, ki pa se pojavi relativno pozno in zato lahko tudi nepričakovano v smislu varstva pred poplavami. Nasprotno gibanje padavin pa povzroča dolg odtok brez izrazite konice, kar je razvidno iz slike 16.



Slika 16: Vpliv gibanja padavin na hidrogram

3.2.4 Taljenje snega

Proces taljenja snega je bolj izrazit čim višja je temperatura zraka, ki tali snežno odejo. Od nje je odvisna intenzivnost taljenja in količina vode pri dogodku (Ward, 2004). Gostota snežne plasti je v novo zapadlem snegu majhna in se s časom veča, saj se sneg poseda in zgošča. Taljenje se začne na površini, kaplje vode pronicajo globlje ter ponovno zamrznejo zaradi nizkih temperatur. Intenzivnejše taljenje tanjše in zgoščene snežne plasti ima enak vpliv na hidrogram kot ekvivalentna količina dežja, intenziteta taljenja pa je analogna tisti od padavinskega dogodka. Najbolj opazen je vpliv taljenja ob prihodu tople fronte z dežjem, ko imamo večje količine površinsko odtekajoče vode.

3.2.5 Letni časi

Nekateri naravni procesi so značilni ali izrazitejši v posameznem delu leta. Spomladi in poleti so značilne višje temperature, večja suhost zemljin ter nižji pretoki rek z dežnim režimom. Zaradi zelenja pa se poveča evapotranspiracija. Jeseni in pozimi se zaradi mraza pojavlja zmrzal na površju, kar onemogoča pronicanje v zemljinu. Zaradi golega rastlinja je malo prestreženih padavin in procesa transpiracije. Tudi količina padavin in drugi pojavi so prav tako sezonsko značilni (Shaw, 1994).

3.3 Vpliv različnih dejavnikov na čas zakasnitve

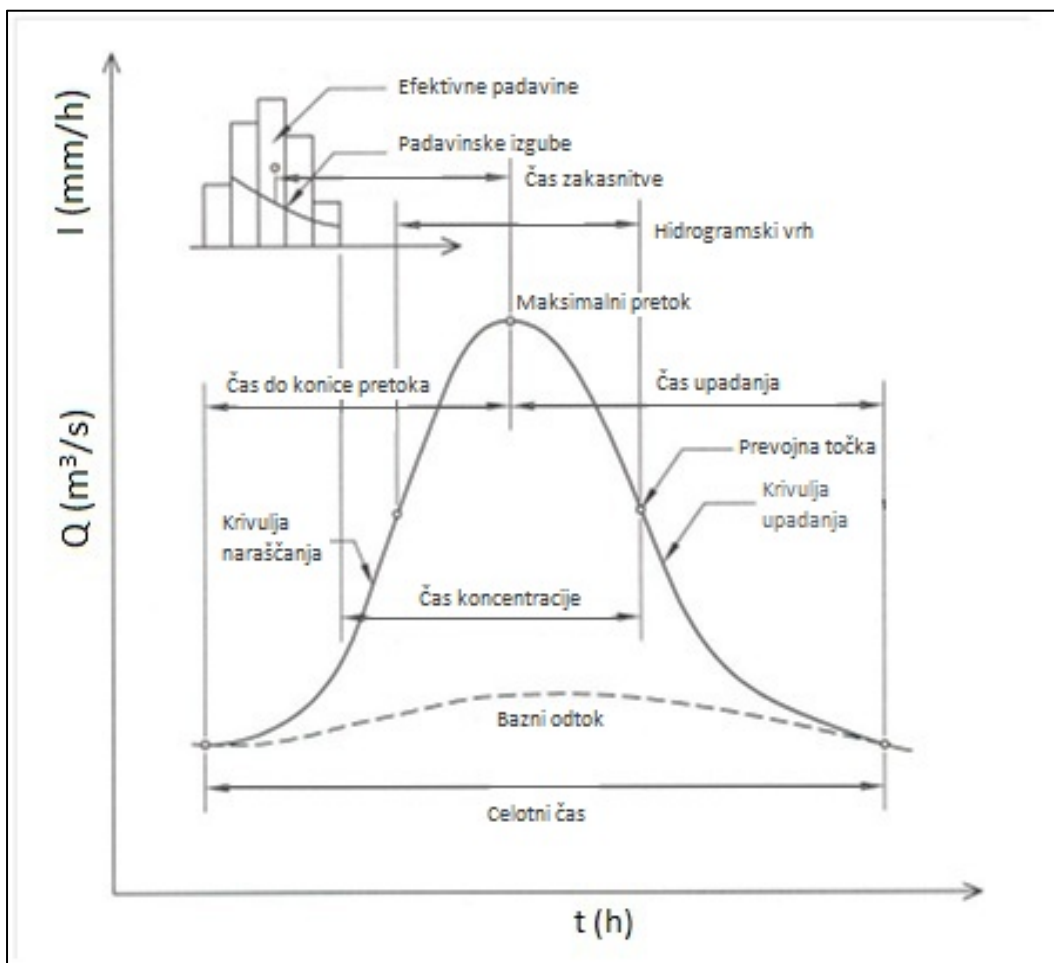
Oblika hidrograma je določena s časom, ki ga padavinska voda potrebuje, da priteče do vodotoka oziroma do iztočnega profila (preglednica 5). Različne lastnosti porečja imajo velik vpliv na odziv vodotoka, saj določajo hitrost odtoka (Geo Factsheet, 2000).

Preglednica 5: Pregled vplivov hidroloških dejavnikov na čas zakasnitve (Povzeto po Geo Factsheet, 2000)

Hidrološki dejavnik	Vpliv na obliko hidrograma	Razlaga vpliva
Velikost porečja	Čas zakasnitve je krajši in konica je večja pri majhnih povodjih, v primerjavi z velikimi.	Pri manjših povodjih voda hitreje doseže vodotok, ker ima krajšo pot potovanja.
Oblika porečja	Čas zakasnitve je krajši in konica je večja pri ovalnih porečjih, v primerjavi z podolgovatimi.	Vodni delci ima pri ovalnih porečjih krajše in bolj enakomerne poti do iztoka.
Relief	Čas zakasnitve je krajši in konica je večja pri strmejšem reliefu.	Voda potuje hitreje navzdol po terenu z večjim naklonom.
Trajanje padavinskega dogodka	Čas zakasnitve je krajši in konica je večja pri daljšem trajanju padavin.	Tla so zasičena z vodo, tako da voda odteka samo površinsko.
Intenziteta padavin	Čas zakasnitve je krajši in konica je izrazitejša pri intenzivnejših padavinah.	Intenziteta padavin je večja kot sposobnost infiltracije, kar poveča površinski odtok.
Tip padavin	Čas zakasnitve je daljši in konica je nižja po snežnih padavinah.	Sneg se zadrži na površini in prispeva k odtoku postopoma s taljenjem.
Prepustnost tal	Čas zakasnitve je krajši in konica je večja pri neprepustnih površinah.	Tla niso sposobna prepuščati padavin, tako vse padavine odtečejo površinsko.
Vegetacija	Čas zakasnitve je daljši in konica je nižja na gozdnatih območjih.	Zaradi vegetacije se povečajo prestrežene padavine ter evapotranspiracija.
Sestava tal	Čas zakasnitve je daljši in konica je nižja pri peščenih zemljinah.	Peščene zemljine imajo več prostora med zrnji kot glinene. Infiltracijska sposobnost je večja in hitrejša.
Urbanizacija	Čas zakasnitve je krajši in konica je večja na urbaniziranih površinah.	Neprepustne in gladke površine ter kanalizacija povzročijo hiter odtok vode.

4 ČASOVNI PARAMETRI HIDROGRAMA

Pri inženirski uporabi hidroloških modelov imamo že pri določanju posameznih težko izmerljivih količin pogosto težave, poleg tega imajo tudi posamezni parametri različne definicije, kar nam otežuje delo. V tem poglavju so predstavljene različne definicije značilnih časovnih parametrov hidrograma odtoka (slika 17).



Slika 17: Hidrogram odtoka s tipičnimi časovnimi parametri (Povzeto po Fang, 2005)

4.1 Čas potovanja (T_p)

Čas potovanja je čas, ki ga posamezen delec vode potrebuje za pot od določene točke do druge hidravlično povezane točke dolvodno (NRCS, 1972). Potovanje vode je lahko površinsko, podtalno ali pa kombinacija obeh. Je funkcija lokacije dveh točk na porečju.

4.2 Čas rasti hidrograma (T_{gr})

Čas rasti hidrograma predstavlja obdobje rasti pretoka. Traja od točke začetnega pretoka, kjer se v strugi poleg baznega odtoka pojavi še površinski odtok, do točke največjega pretoka (Fang, 2005). Oblika naraščajoče krivulje hidrograma je odvisna od značilnosti padavin ali taljenja snega ter od značilnosti prispevnega območja. Slednje, še posebej naklon in tip pobočij ter razvejanost pritokov, vplivajo na koncentracijo pretoka v rečnem koritu vse do prenehanja padavin.

4.3 Čas upadanja hidrograma (T_{des})

Čas upadanja predstavlja obdobje upadanja pretoka, od točke največjega pretoka do točke končnega površinskega pretoka (Fang, 2005). Pri določanju uporabimo metode iz poglavja 4.1 za ločitev baznega pretoka.

4.4 Celotni čas (T_t , T_b)

Celotni čas hidrograma predstavlja obdobje od točke začetka do točke konca površinskega odtoka. Uporablja se tudi izraz »čas poplave« ali »čas trajanja« (Snyder, 1938). Celotni čas je vsota časa rasti in časa upadanja:

$$T_t = T_{gr} + T_{des} \quad (11)$$

4.5 Čas trajanja padavin (T_r)

Trajanje padavin običajno prikažemo skupaj z intenziteto v stolpnem diagramu - hietogramu. Prikažemo ga skupaj s hidrogramom. Merjenemu padavinskemu dogodku določimo še padavinske izgube. Obstajajo različne metode določanja izgub, ki jih običajno izberemo glede na razpoložljive podatke. Pri določanju časovnih parametrov moramo biti pozorni pri ločevanju med časom trajanja celotnih in efektivnih padavin.

4.6 Trajanje efektivnih padavin (D)

Trajanje efektivnih padavin je čas od začetka do konca efektivnih padavin. Je krajši od celotnega časa padavin, zaradi padavinskih izgub, ki so največje ob začetku pojava (Fang, 2005).

4.7 Čas do konice pretoka (T_p)

Čas do konice pretoka je definiran kot:

1. Čas od začetka učinkovitih padavin do konice pretoka (NRCS, 1972, McCuen, 1984)
2. Čas od težišča učinkovitih padavin do konice pretoka (Eagelson, 1962).

4.8 Čas koncentracije (T_c)

Za čas koncentracije obstaja več definicij:

1. Čas potovanja delca vode od hidravlično najbolj oddaljenega dela porečja do iztoka iz porečja. Drugače napisano je to čas od konca učinkovitih padavin do konca površinskega odtoka. To definicijo so uporabili mnogi avtorji pri svojih raziskavah (Kirpich, 1940; USACE, 1966; NRCS, 1972; Schultz in Lopez, 1974; McCuen, 1998).
2. Čas od konca učinkovitih padavin do prevojne točke na krivulji upadanja hidrograma (Bell in Kar, 1969; NRCS, 1972).
3. Čas od težišča učinkovitih padavin do prevojne točke na krivulja upadanja hidrograma (Subramanya, 1984; McCuen, 1998).

Glavna razlika med definicijami je, da prvo uporabljamo za izdelavo konceptualnih hidroloških modelov, kadar nimamo na voljo podatkov iz meritev. Drugi dve se uporabljata, ko imamo že izdelan hidrogram iz meritev in lahko čas koncentracije odčitamo (Fang, 2005).

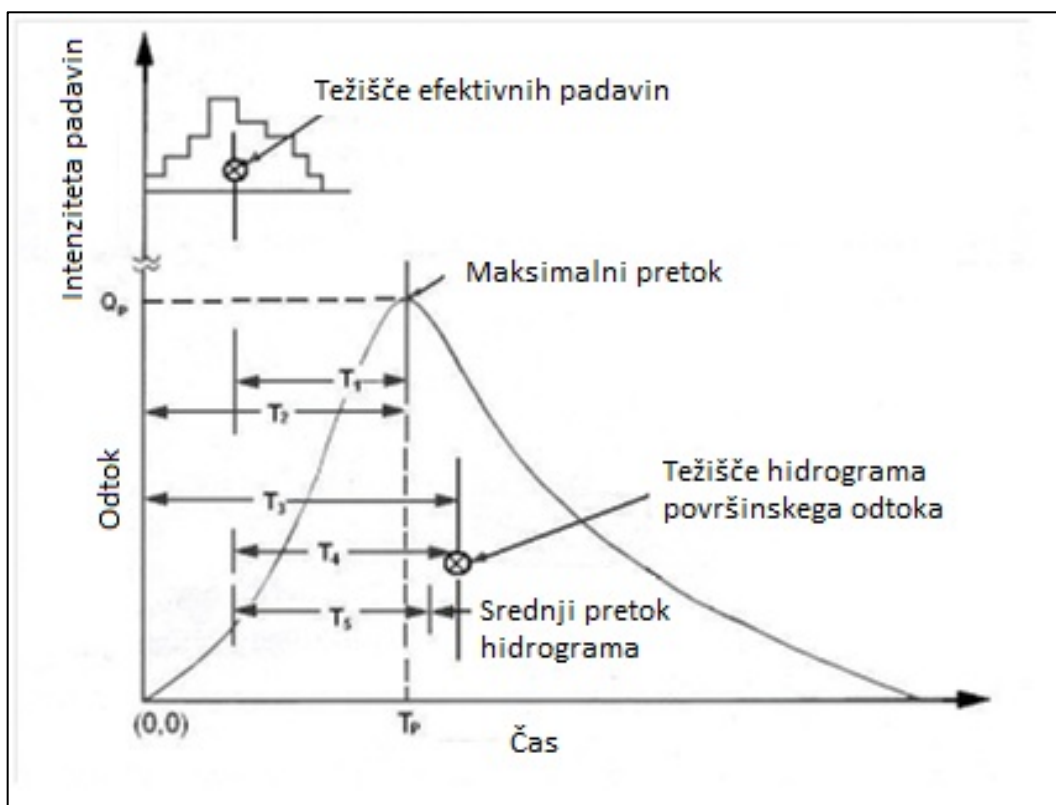
Viessman in Lewis (2002) trdita, da je najbolj logična in naravna definicija, ki se nanaša na površinski tok: Kadar enakomerno razporejene padavine prispejo na površino, območje blizu iztoka prispeva k površinskemu odtoku skoraj takoj. Ko se padavine nadaljujejo in kasneje prenehajo, voda priteka iz bolj oddaljenih točk porečja. Nazadnje voda priteče iz vseh, tudi najbolj oddaljenih točk, in se koncentrira v iztoku s porečja. Čas, ki je potreben, da 100 odstotkov površine porečja prispeva k neposrednemu odtoku s porečja, imenujemo čas koncentracije.

4.9 Čas odtoka učinkovitih padavin (T_e)

Čas odtoka učinkovitih padavin je čas potovanja delca vode od hidravlično najbolj oddaljenega dela porečja do iztoka s porečja. Drugače napisano je to čas od konca učinkovitih padavin do konca površinskega odtoka (Viessman in Lewis, 2003). V primeru, da uporabljamo 1. definicijo iz podpoglavja 4.8, je enak času koncentracije, saj definicija predstavlja čas, v katerem zagotovo površinsko odteče vsa količina učinkovitih padavin. Pri drugih dveh pa je ta čas vedno daljši.

4.10 Čas zakasnitve (T_p)

Površinski odtok se začne sočasno z začetkom učinkovitih padavin, vendar največja količina vode zakasni za čas, potreben, da priteče do iztoka. Čas zakasnitve se uporablja v mnogih študijah in metodah, vendar so v uporabi različne definicije in postopki (Rao in Delleur, 1973), ki so prikazani na sliki 18.



Slika 18: Različne definicije časa zakasnitve (Povzeto po Fang, 2005)

1. Čas od začetka učinkovitih padavin do konice pretoka;
2. Čas od težišča učinkovitih padavin do konice pretoka;
3. Čas od začetka učinkovitih padavin do težišča hidrograma odtoka;
4. Čas od težišča učinkovitih padavin do težišča hidrograma odtoka;
5. Čas od težišča učinkovitih padavin do časa, ko odteče 50% površinskega odtoka.

5 METODE ZA OCENO ČASOVNIH PARAMETROV

V nadaljevanju sledi pregled enačb, ki so jih razvijali posamezni avtorji za oceno časovnih parametrov, kjer nimamo meritev ali pa le-te niso natančne, sistematične ali merjene na pravem mestu. Metode omogočajo izračun na podlagi značilnosti porečja. Zaradi malo vhodnih podatkov in brez upoštevanja nekaterih pomembnih dejavnikov, ki jih je nujno potrebno vključiti v izračune pri pomembnejših posegih v porečje, se lahko pojavljajo odstopanja. Pri natančnejših izračunih je pomembna tudi intenziteta padavin, upoštevanje številnih različnih padavinskih dogodkov ter razvoj in spremembe rabe tal (Fang, 2005).

Na splošno za uporabo enačb velja inženirska presoja in izkušnje. Pomembno je upoštevati omejitve, ki so značilne za posamezne enačbe, kar pomeni, da jih uporabimo samo na porečjih s podobnimi značilnostmi.

Tok vode od trenutka, ko padavine dosežejo površje do iztoka s porečja delimo na tri dele:

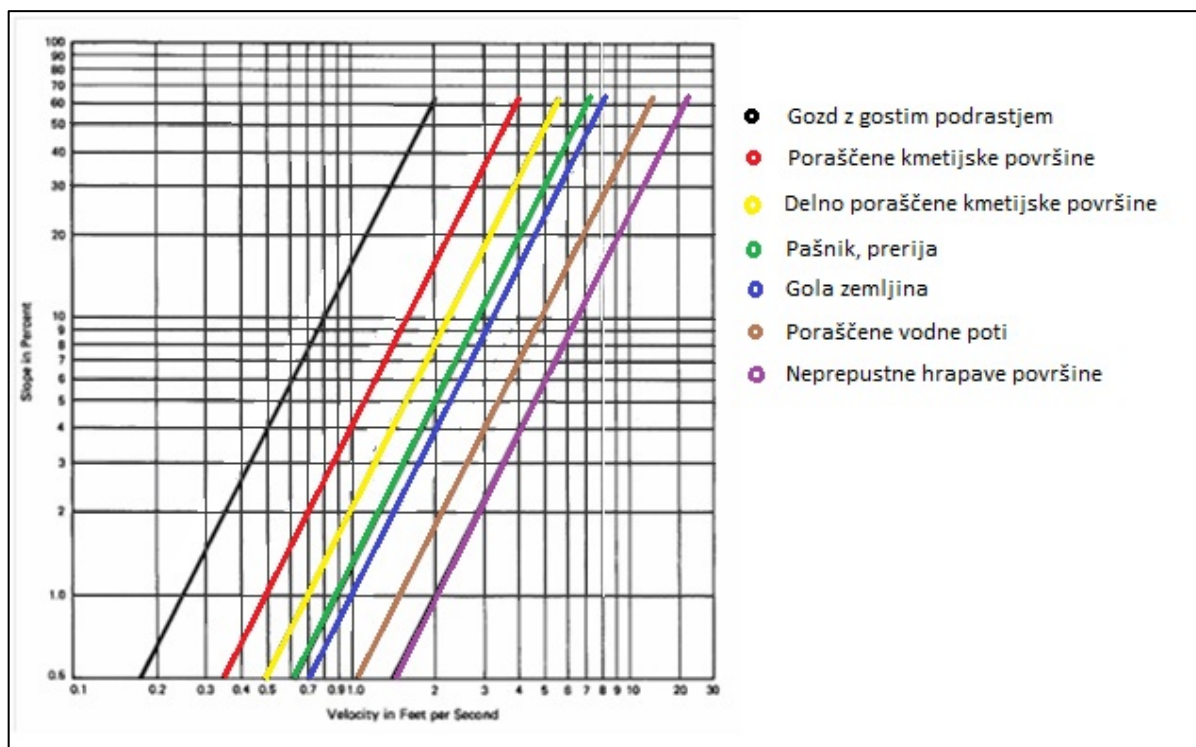
- površinski oz. ploskovni tok,
- plitev koncentriran tok,
- tok v strugi ali kanalu.

$$T_c = t_{površinski} + t_{plitev} + t_{kanal} \quad (12)$$

Vsak tip odtoka vode ima svoje fizikalne značilnosti, zato je za čim bolj natančno določanje potrebno izračunati vsak del ločeno. V zgornjem delu porečja voda potuje po površju razpršeno po večji površini ali ploskvi in se šele kasneje koncentrira v posamezne majhne kanale ali brazde. Dolžina takega toka je običajno okoli 100 m, v primeru velikih naklonov in neprepustne površine pa ja ta razdalja lahko nekajkrat daljša (Ward, 2005).

Ko se tok koncentrira, za izračun hitrosti in posledično časa koncentracije najpogosteje uporabimo Manningovo enačbo in koeficient v različnih oblikah. Zelo pomembna je izbira koeficienta, ki ga glede na površje določimo s pomočjo preglednic navedenih v mnogih hidroloških knjigah in priročnikih.

Hitrost toka je odvisna tudi od hidravličnega radija, ki je hidravlično bolj neugoden pri majhnih razvejanih kanalih (plitev koncentriran tok). V takih kanalih je odpor toku večji in hitrosti so manjše (SCS, 1966). Za poenostavljeno uporabo imamo tudi grafičen prikaz hitrosti površinskega toka glede na tip in naklon površine (slika 19).



Slika 19: Hitrosti površinskega toka za oceno T_c (Povzeto po McCuen, 1998)

Kadar imamo na voljo natančne podatke, lahko ugotovimo, da se zaradi značilnosti porečja določena vrsta toka ne pojavi. Potem ga v enačbi izpustimo.

Empirične enačbe so razvite za oceno raznih časovnih parametrov hidrograma. Osnovane so na razmerju med značilnostmi porečja, padavinami in časovnimi parametri. Dodatne enačbe pri posameznih metodah določajo korelacije med posameznimi časovnimi parametri.

5.1. Čas koncentracije T_c – hitrostna metoda

5.1.1 Metoda NRCS

Površinski tok teče po površju porečja preden doseže strugo. Pri hitrostni metodi zaradi natančnosti določimo najdaljšo pot vodnega delca na porečju in njegovo pot, glede na značilnosti terena razdelimo na odseke. Natančnost izračuna je tako sorazmerna z analizo značilnosti porečja in razdelitvijo poti na značilne odseke (Fang, 2005).

$$T_c = \sum_{i=1}^M T_{oi} = \sum_{i=1}^M \frac{L_i}{60 \cdot V_i} = t_{površinski} + t_{kanal} \quad (13)$$

$$t_{površinski} = \frac{L}{3600 \cdot v} \quad (14)$$

$$v = 4.918 \cdot \sqrt{S} \quad \text{za neasfaltirane površine} \quad (15)$$

$$v = 9.196 \cdot \sqrt{S} \quad \text{za asfaltirane površine} \quad (16)$$

Kjer je:

- $t_{površinski}$ čas potovanja po površini porečja [h],
- v hitrost potovanja plitvega koncentriranega toka [m/s],
- L dolžina površinskega plitvega toka [m].

Naslednja enačba ima empirično obliko. Hitrost vode je opisana kot funkcija površinske hrapavosti, dolžine toka, naklona in količine padavin.

$$t_{površinski} = \frac{0.091 \cdot (N \cdot L)^{0.8}}{P_2^{0.5} \cdot S^{0.4}} \quad (17)$$

Kjer je:

- $t_{površinski}$ čas potovanja po površini porečja [h],
- N koeficient površinske hrapavosti porečja [-],
- L dolžina površinskega toka [m],
- P_2 dvoletna, 24-urna višina padavin [mm],
- S hidravlični padec terena [m/m].

Preglednica 6: Koeficient N za različne vrste površin (NRCS, 1972)

Vrsta površine	Koeficient N
Gladke površine (beton, asfalt, pesek, gola zemljina)	0.011
Ledina, neobdelane površine	0.05
Obdelana zemljina: pokritost manj kot 20 %	0.06
Obdelana zemljina: pokritost več kot 20%	0.17
Kratka trava	0.15
Gosta trava	0.24
Gozd z malo podrasti	0.40
Gozd z gosto podrastjo	0.80

Za račun hitrosti v strugi metoda določa uporabo Manningove enačbe. Enačba je namenjena računanju za tok s prosto gladino.

$$t_{kanal} = \frac{L}{3600 \cdot v} \quad (18)$$

$$v = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n_g} \quad (19)$$

Kjer je:

- t_{kanal} čas potovanja strnjenege toka [h],
- v hitrost potovanja strnjenege toka [m/s],
- L dolžina toka v strugi [m],
- R hidravlični radij [m],
- S padec energijske črte [m/m],
- n_g koeficient hrapavosti po Manningu [$-$].

5.1.2 Kerby-jeva metoda (za površinski tok)

Metoda je bila razvita leta 1959 in je priporočljiva za izračun na razdaljah, ki ne presegajo od 100 do 150 metrov (Abustan et al., 2008).

$$t_{površinski} = 0.024 \cdot \left(\frac{N \cdot L}{\sqrt{S}} \right)^{0.467} \quad (20)$$

Kjer je:

- $t_{površinski}$ čas potovanja po površini porečja [h],
- L dolžina površinskega toka [m],
- S hidravlični padec terena [m/m],
- N koeficient površinske hrapavosti porečja [$-$] (v zgornji tabeli).

5.1.3 Kirpichova metoda (za površinski tok)

Kirpich je leta 1940 razvil enačbo na majhnih porečjih, kjer prevladuje kmetijska raba tal. Enačba je izpeljana na osnovi raziskav mnogih merjenih hidrogramov (Daniil et al., 2005).

$$t_{površinski} = \frac{0.066 \cdot L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (21)$$

Kjer je:

- $t_{površinski}$ čas potovanja po površini porečja [h],
- L dolžina površinskega toka [km],
- S hidravlični padec terena [m/m].

Uporaba Kirpichove enačbe je priporočljiva v omenjeni obliki za površinski tok po neporaščeni površini. Za ostale so podani popravni faktorji v preglednici 7.

Preglednica 7: Popravni faktorji pri izračunu površinskega toka za različno rabo tal

Vrsta površine	Popravni faktor [$* t_{površinski}$]
Beton, asfalt	4
Travnate površine	2
Planinska območja, gozd (CN = 50)	2.2
Planinska območja, gozd (CN = 60)	1.8
Planinska območja, gozd (CN = 70)	1.4
Planinska območja, gozd (CN = 80)	1

5.1.4 Ramserjeva metoda (za tok v strugah in kanalih)

Enačbo za določanje časa koncentracije v strugah in umetnih kanalih je izpeljal Ramser leta 1927. Ta enačba določa čas koncentracije v odvisnosti od dolžine struge in povprečnega vzdolžnega padca (Soil conservation service, 1966).

$$t_{kanal} = \frac{0.01997 \cdot L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (22)$$

Kjer je:

- t_{kanal} čas potovanja po strugi [min],
- L dolžina struge [m],
- S hidravlični padec struge [m/m].

Za tok v betonskih kanalih množimo t_{kanal} z 0.2.

5.2 Čas koncentracije T_c – empirične enačbe

5.2.1 Clarkova metoda

Izračun parametra s pomočjo Clarkove metode se uporablja kot vhodni podatek v Clarkov hidrogram enote. Metoda se pogosto uporablja za modeliranje pretoka s pomočjo računalniških programov npr. HEC-HMS (Straub, 2000).

$$T_c = 19.22 \cdot \frac{\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.57}}{S_p^{0.11} \cdot 10^I} \cdot (\log S_p + \log 5.28) \quad (23)$$

Kjer je:

- T_c čas koncentracije [h],
- L dolžina najdaljše vodne poti porečja [km],
- S povprečen padec vodne poti [$\%$],
- S_p povprečen padec porečja [$\%$],
- I odstotek neprepustne površine porečja [$-$].

Meje hidroloških lastnosti, za katere velja enačba so:

- površina porečja od 0.34 do 1060 km^2 ,
- dolžina najdaljše vodne poti od 1 do 84 km ,
- dolžina toka do centroida porečja (L_c) od 0.4 do 43 km ,
- padec porečja od 0.38 do 6.25 $\%$.

5.2.2 Carterjeva metoda

Leta 1961 je Carter umeril enačbo za računanje na urbaniziranih porečjih . V izračunih je upošteval Manningov koeficient med 0.013 in 0.025 (Fang, 2005).

$$T_c = 100 \cdot \left(\frac{L \cdot 0.6214}{\sqrt{S \cdot 0.1894}}\right)^{0.6} \quad (24)$$

Kjer je:

- T_c čas koncentracije [min],
- L najdaljša pot vodnega delca [km],
- S povprečen naklon najdaljšega vodotoka [m/km].

Uporabnost enačbe je v mejah:

- površina porečja do 20.7 km^2 ,
- dolžina najdaljše poti od 1 do 11.3 km ,
- naklon do 2%.

5.2.3 Egelsonova metoda

Egelsonova metoda je namenjena računanju na urbaniziranih porečjih s kanalizacijskim sistemom. Porečja, na katerih je bila testirana, so manjša od 13 km^2 (Fang, 2005).

$$T_c = 0.03642 \cdot L \cdot n_g \cdot (3.2808 \cdot R)^{-2/3} \cdot S^{-1/2} \quad (25)$$

Kjer je:

- T_c čas koncentracije [min],
- L najdaljša pot vodnega delca [m],
- R hidravlični radij glavnega vodotoka (polni pretok) [m],
- S povprečen naklon glavne kanalizacijske poti [m/m],
- n_g Manningov koeficient glavne kanalizacijske poti [$-$].

5.2.4 Metoda Federal Aviation Administration

Namenjena je za računanje na majhnih porečjih, kjer prevladuje površinski tok (Viessman in Lewis, 2003).

$$T_c = 1.8 \cdot (1.1 - C) \cdot (3.2808 \cdot L)^{1/2} \cdot S^{-1/3} \quad (26)$$

Kjer je:

- T_c čas koncentracije [min],
- L najdaljša pot vodnega delca [m],
- S povprečen naklon porečja [m/m],
- C racionalni odtočni koeficient (podan v preglednici 8).

Preglednica 8: Odtočni koeficienti za 2-10 letno povratno dobo

Raba tal	Odtočni koeficient
Poslovna območja: center	0.70 – 0.95
Poslovna območja: obrobje	0.50 – 0.70
Stanovanjska območja: enodružinske hiše	0.30 – 0.50
Stanovanjska območja: več-družinske hiše	0.40 – 0.60
Stanovanjska območja: bloki	0.60 – 0.75
Predmestja	0.25 – 0.40
Težka industrija	0.60 – 0.90
Lahka industrija	0.50 – 0.80
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

5.2.5 Metoda Van Sickle

Enačba Van Sickle je osnovana na porečjih v Houstonu s površino manjšo od 93 km². Zajema tako tok v ceveh, kakor tudi v odprtih kanalih in je tako imenovana kombinirana metoda. Uporabna je za porečja z različnimi stopnjami urbanizacije (Fang, 2005).

$$T_c = 0.55 \cdot \left(\frac{0.3861 \cdot L_1 \cdot L_2}{\sqrt{S}} \right)^{0.13} \quad (27)$$

Kjer je:

- T_c čas koncentracije [*min*],
- L_1 skupna dolžina drenaž in kanalizacijskih cevi s premerom večjim od 90 *cm* [*km*],
- L_2 skupna dolžina odprtih kanalov porečja [*km*],
- S povprečen naklon glavne vodne poti porečja [*m/m*].

5.2.6 Metoda USBR

Empirična enačba USBR je razvita za gorata porečja. Metoda je nastala na ameriškem uradu za kultiviranje zemljin (U.S. Bureau of Reclamation) leta 1973 v Kaliforniji (Viessman in Lewis, 2003).

$$T_c = 60 \cdot \left(11.9 \cdot \frac{(0.6214 \cdot L)^3}{3.2808 \cdot H} \right)^{0.385} \quad (28)$$

Kjer je:

- T_c čas koncentracije [*min*],
- L najdaljša pot vodnega delca [*km*],
- H višinska razlika med najvišjo točko in iztokom porečja [*m*].

5.2.7 Metoda McCuen

Pri primerjavi in analizi že opisanih metod je McCuen s sodelavci (1984) pridobil veliko število podatkov, ki jih je nato uporabil tudi pri razvijanju svojih enačb. Ugotovil je, da je pričakovano najbolj natančna metoda NRCS, ki upošteva največ različnih faktorjev in zahteva tudi največ podatkov. Na podlagi analize 48 urbanih povodij s 30% neprepustnih površin in večinoma manjših od 8 km^2 , je podal še svojo enačbo, ki je umerjena na omenjene lastnosti porečij (Fang, 2005).

$$T_c = 0.01462 \cdot (0.3937 \cdot i_2)^{-0.7164} (3.2808 \cdot L)^{0.552} (5.2798 \cdot S)^{0.207} \quad (29)$$

- T_c čas koncentracije [*h*],
- i_2 dve-letna intenziteta padavin [*cm/h*],
- L najdaljša pot vodnega delca [*m*],
- S povprečen naklon najdaljšega vodotoka [*m/km*].

5.2.8 NRCS enačba zakasnitve

Enačba je bila napisana leta 1972 na osnovi podatkov s porečij s pretežno kmetijsko rabo tal. Spremenjena in umerjena je bila za uporabo na pretežno urbaniziranih porečjih do velikosti 8 km^2 (Fang, 2005).

$$T_c = \frac{1.67 \cdot (3.2808 \cdot L)^{0.8} \cdot [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900 \cdot S^{0.5}} \quad (30)$$

Kjer je:

- T_c čas zakasnitve [*min*],
- L dolžina glavne vodne poti [*m*],
- CN koeficient rabe tal [–],
- S povprečen naklon porečja [%].

5.2.9 Metoda Bransby-Williams

Enačbo sta avtorja podala leta 1977. Gre za preprosto enačbo v primeru pomanjkanja podatkov, ki je namenjena izračunom na porečjih s pretežno neprepustnimi površinami (Abustan et al., 2008).

$$T_c = \frac{91 \cdot L}{A^{0.1} \cdot S^{0.2}} \quad (31)$$

Kjer je:

- T_c čas zakasnitve [*min*],
- L dolžina glavne vodne poti [*km*],
- A površina porečja [*km*²],
- S povprečen naklon porečja [%].

5.3 Čas zakasnitve T_p

5.3.1 Metoda Snyder

Snyder je analizo odtoka je naredil na porečjih v visokogorju ZDA, kjer ni imel na voljo meritev. Podal je zveze za določitev časa zakasnitve iz drugih parametrov in značilnosti porečij (McEnroe in Zhao, 1999).

$$T_p = 5.5 \cdot T_r \quad (32)$$

$$T_p = 0.7516 \cdot C_t \cdot (L \cdot L_c)^{0.3} \quad (33)$$

Kjer je:

- T_r čas trajanja padavin [*h*],
- T_p čas zakasnitve od težišča efektivnih padavin do konice pretoka [*h*],
- C_t koeficient porečja [1.8 – 2.2],

- L dolžina glavnega toka od iztočnega profila do razvodnice [km],
- L_c dolžina glavnega toka od iztočnega profila do prereza na vodotoku, ki je najbližje centroidu porečja [km].

5.3.2 Metoda Tulsa District

Razvita je bila na osnovi poskusov, ki jih je izvedla enota Tulsa District USACE v Oklahomi v ZDA in velja predvsem za naravna porečja v podeželskih krajih (McEnroe in Zhao, 1999).

$$T_p = 0.708 \cdot \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0.39} \quad (34)$$

Kjer je:

- T_p čas zakasnitve [h],
- L dolžina glavnega toka od iztočnega profila do razvodnice [km],
- L_c dolžina glavnega toka od iztočnega profila do prereza na vodotoku, ki je najbližje centroidu porečja [km],
- S povprečen padec porečja [%o].

Priporočljivo je, da se pri računanju s to enačbo upoštevajo naslednje omejitve:

- Površina porečja naj bo med 2.3 in 1300 km^2 ;
- Padec porečja naj znaša med 0.8 in 15.5 %o;
- Dolžina porečja naj bo med 2.2 in 100 km ;
- Dolžina toka do centroida (L_c) pa med 1 in 50 km .

Za urbanizirane površine sta bili razviti dve enačbi. Za urbana naselja s 50% urbanizacijo velja:

$$T_p = 0.4589 \cdot \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0.39} \quad (35)$$

Za področja s 100% urbanizacijo pa:

$$T_p = 0.2943 \cdot \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0.39} \quad (36)$$

Obe enačbi temeljita na 50-odstotnem deležu neprepustne površine na urbaniziranih območjih. Pri izdelavi teh enačb so bile ugotovljene tudi omejitve za določene lastnosti porečij:

- Površina porečja naj bo od 1.2 do 280 km^2 ;
- Padec porečja od 1.95 do 11.9 %o ;

- Dolžina porečja od 2.3 do 41.5 km;
- Dolžina toka do centroida porečja (L_c) od 1.1 do 16 km.

5.3.3 Metoda Riverside County

Metodo je razvila Riverside County Food Control and Water Conservation District iz Kalifornije leta 1963. Za izračun časa zakasnitve je bila izpeljana enačba na osnovi povodij podeželskih območij Riverside v Kaliforniji. Ta enačba se zelo malo razlikuje od enačb Tulsa District.

$$T_p = 0.5077 \cdot C \cdot \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0.38} \quad (37)$$

Kjer je:

- T_p čas zakasnitve od začetka padavin do časa, ko odteče 50% površinskega odtoka [h],
- C koeficient, ki je odvisen od strmine terena:
 - 1.2 za strm teren,
 - 0.72 za srednje strm teren,
 - 0.38 za ravninski teren.
- L_c dolžina glavnega toka od iztočnega profila do prereza na vodotoku, ki je najbližje centroidu porečja [km],
- L dolžina vodotoka [km],
- S povprečen padec porečja [$\%$].

Pri uporabi te enačbe naj bo površina porečja med 6 in 1670 km^2 .

5.3.4 Metoda Denver

V Denver Area Urban Drainage and Flood Control District so leta 1975 razvili enačbo za določanje časa zakasnitve:

$$T_p = 0.6333 \cdot C_t \cdot \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0.48} \quad (38)$$

Kjer je:

- T_p čas zakasnitve od težišča histograma efektivnih padavin do pojava maksimalnega pretoka [h],
- L dolžina glavnega toka od iztočnega profila do konca roba porečja [km],

- L_c dolžina glavnega toka od iztočnega profila do prereza na vodotoku, ki je najbližje centroidu porečja [km],
- S ocenjen vzdolžni padec celotnega vodotoka [m/m],
- C_t koeficient refleksijskega časa pojava maksimalnega pretoka [–].

Vrednosti za C_t , ki se uporabljajo pri postopku, so odvisne od odstotka neprepustne površine I in jih določamo z enačbami:

$$C_t = -0.00371 \cdot I + 0.163 \quad 0 \leq I \leq 10 \quad (39)$$

$$C_t = 0.000023 \cdot I^2 - 0.00224 \cdot I + 0.146 \quad 10 \leq I \leq 40 \quad (40)$$

$$C_t = 0.0000033 \cdot I^2 - 0.000801 \cdot I + 0.120 \quad 40 \leq I \leq 100 \quad (41)$$

Lastnosti porečij za katere veljajo enačbe, se gibljejo za površino porečja od 0.39 do 7.98 km^2 in za nagib porečja od 0.005 do 0.037 m/m .

5.3.5 Espey-jeva metoda

Espey-jeva metoda se razlikuje za podeželje in urbanizirana območja:

$$T_p = 7.001 \cdot L_f^{0.12} \cdot S_f^{-0.52} \quad \text{za podeželje} \quad (42)$$

$$T_p = 217.62 \cdot U \cdot L_f^{0.29} \cdot S_f^{0.29} \cdot I^{-0.61} \quad \text{za urbana območja} \quad (43)$$

Kjer je:

- T_p čas zakasnitve od začetka učinkovitih padavin do pojava konice [min],
- L_f dolžina vodotoka [km],
- S_f naklon vodotoka [m/m],
- I odstotek neprepustne površine porečja [%],
- U koeficient rabe tal [–].

Omejitve pri uporabi teh enačb imajo naslednje vrednosti (Rao in Delleur, 1973):

Za podeželje:

- L_f od 0.99 do 16.7 km ,
- S_f od 0.008 do 0.015 m/m ,
- T_p od 30 do 150 min ,
- A od 0.347 do 18.156 km^2 .

Za urbana področja:

- L_f od 0.061 do 54.8 km,
- S_f od 0.0064 do 0.0104 m/m,
- I od 25 do 40%,
- T_p od 30 do 720 min,
- A od 0.0332 do 238.28 km².

Espey je kasneje razvil še naslednjo enačbo za čas od začetka površinskega odtoka do pojava konice:

$$T_p = 19.954 \cdot L^{0.23} \cdot S^{-0.25} \cdot I^{-0.18} \cdot \Phi^{1.57} \quad (44)$$

Kjer je:

- T_p čas zakasnitve od začetka učinkovitih padavin do pojava konice [min],
- L celotna dolžina vodotoka [km],
- S nagib glavnega vodotoka med iztočnim profilom in točko, ki je za 0.2 L dolvodno od zgornje meje porečja [m/m],
- I odstotek neprepustne površine porečja [%],
- Φ koeficient učinkovitosti prenosa [–] (slika 20).

Enačba je bila izpeljana na osnovi meritev na 41 vodotokih v Teksasu na rekah Tennessee, in Misisipi, v Pensilvaniji, Severni Karolini, Koloradu, Kentuckyju in Indiani. Omejitve za urbana območja pri uporabi enačbe so naslednje:

- A od 0.033 do 38.85 km²,
- L od 0.169 do 10.85 km,
- S od 0.0005 do 0.0295 m/m,
- I od 2 do 100 %,
- Φ od 0.6 do 1.3.



Slika 20: Koeficient efektivnosti prenosa (Povzeto po Brilly in Šraj, 2006)

5.3.6 Putnamova metoda

Enačbo za čas zakasnitve za urbana območja je Putnam izdelal leta 1972. Enačba je bila preverjena na vodotokih okraja Wichita v Kansasu, poizkuse pa je izvajal U.S. Geological Survey (Brilly in Šraj, 2006).

$$T_p = 0.2548 \cdot \sqrt{\frac{L}{\sqrt{S}}} \cdot I^{-0.57} \quad (45)$$

Kjer je:

- T_p čas zakasnitve [h],
- L dolžina vodotoka [km],
- S nagib vodotoka [%],
- I delež neprepustne površine [-].

Veljavnost enačbe se giblje:

- A od 0.77 do 388.5 km²,
- L/\sqrt{S} od 370 do 33278,
- I od 0 do 30 %.

5.3.7 Metoda Simas in Hawkins

Enačba je nastala na osnovi meritev 3100 padavinskih dogodkov na 168 manjših porečjih velikosti do 14.1 km^2 na različnih lokacijah v ZDA (Simas, 1996).

$$T_p = 0.0051 \cdot (3.2808 \cdot W)^{0.594} \cdot S^{-0.15} \cdot (0.03937 \cdot S_r)^{0.313} \quad (46)$$

Kjer je:

- T_p čas zakasnitve od težišča histograma efektivnih padavin do težišča hidrograma [h],
- W širina porečja – površina porečja / najdaljša hidravlična dolžina porečja [m],
- S_r maksimalna retenzija porečja [mm],
- S naklon glavne hidravlične poti porečja [m/m].

5.3.8 Metoda SCS

$$T_p = L^{0.8} \cdot \frac{(S_r + 25.4)^{0.7}}{28.14 \cdot \sqrt{S}} \quad (47)$$

Kjer je:

- T_p čas zakasnitve od težišča histograma efektivnih padavin do pojava maksimalnega pretoka [h],
- L hidravlična dolžina povodja [km],
- S_r maksimalna retenzija porečja [mm],
- S naklon porečja [%].

Vrednost retenzije S_r se izračuna neposredno na osnovi koeficienta CN (ang. *curve number*):

$$S_r = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad (48)$$

Enačba je namenjena za naravna območja, kjer prevladuje površinski tok. Umerjena je na homogenih porečjih, manjših od 8 km^2 .

Svoje metode za izračun časa zakasnitve je podalo še več avtorjev, vendar so poleg navedena natančno določena porečja, kjer so jih razvili in kjer so te enačbe uporabne (Davie, 2008).

5.3.9 Metoda Jamesa in sodelavcev

Enačba je nastala leta 1987. James s sodelavci je analiziral 283 padavinskih dogodkov iz 13 držav in določil korelacijo med fizičnimi karakteristikami porečja in časom zakasnitve. Podatki so bili zbrani iz 85 različnih povodij z razponom površine od 0.7 km^2 do 60 km^2 . Izbrali so porečja na različnih klimatskih območjih in z različnim tipom terena. Enačbe so postavili na osnovi korelacij podatkov med 48 porečji izmed vseh analiziranih (Fang, 2005).

$$T_p = 0.85 \cdot A^{0.9} \cdot (HT)^{-0.1} \cdot L^{-0.6} \text{ položen naklon } (< 5\%) \quad (49)$$

$$T_p = 0.92 \cdot A^{0.5} \cdot (HT)^{-0.2} \cdot L^{-0.2} \text{ srednji naklon } (5 - 10\%) \quad (50)$$

$$T_p = 0.91 \cdot A^{0.2} \cdot (HT)^{-0.3} \cdot L^{0.8} \text{ strm naklon } (> 10\%) \quad (51)$$

Kjer je:

- A površina porečja [km^2],
- HT razlika v nadmorski višini glavnega vodotoka [m],
- L dolžina glavnega vodotoka [km].

5.4 Celotni čas hidrograma T_b

Na področju določanja empiričnih enačb za čas trajanja hidrograma oziroma širino hidrograma je bilo narejenih malo raziskav. Matematične funkcije in modeli, ki se uporabljajo za sintetiziranje hidrogramov enote, večinoma ne potrebujejo vnosa tega parametra (Fang, 2005). Pri uporabi Gamma porazdelitve kot matematičnega orodja za določanje hidrograma enote, pa je potreben tudi ta vnos, saj model nima svojega algoritma za izračun časa trajanja hidrograma iz drugih časovnih faktorjev. Enačbi za določanje tega parametra je podal Espey:

$$T_b = 7.41 \cdot 10^3 \cdot (0.3861 \cdot A)^{0.64} \cdot (35.313 \cdot Q_p)^{-0.53} \text{ za ruralna porečja} \quad (52)$$

$$T_b = 4.44 \cdot 10^5 \cdot (0.3861 \cdot A)^{1.17} \cdot (35.313 \cdot Q_p)^{-1.19} \text{ za urbana porečja} \quad (53)$$

Kjer je:

- T_b celotni čas trajanja površinskega odtoka [*min*],
- A površina porečja [km^2],
- Q_p maksimalni pretok [m^3/s].

5.5 Povezava med časom zakasnitve in časom koncentracije

McCuen (Fang, 2005) je pri analizi empiričnih enačb za parametra časa zakasnitve in časa koncentracije ugotovil odvisnost, iz katere v večini primerov lahko izračunamo enega ali drugega. Pri raziskavi mnogih naravnih povodij je ugotovil povezave med najpogosteje uporabljenima parametroma hidroloških analiz. Pri pretvarjanju je potrebno poznati definicijo časa zakasnitve, ki ga uporabljamo pri določeni metodi, da izberemo pravi faktor pretvorbe.

$$T_c = 1.67 \cdot T_p \quad (54)$$

T_p je čas od težišča hietograma prepuščenih padavin do maksimalnega pretoka.

$$T_c = 1.417 \cdot T_p \quad (55)$$

T_p je čas od težišča hietograma prepuščenih padavin do težišča hidrograma površinskega odtoka.

6 OPIS IN ZNAČILNOSTI IZBRANIH POREČIJ

Analizirana porečja smo izbrali po različnih kriterijih. Izbirali smo porečja v Sloveniji glede na nadmorsko višino in razgibanost reliefa, razvejanost vodotokov oziroma rečne mreže ter različno rabo tal in geološke značilnosti (slika 21). S tako izbiro smo lahko določili odziv porečij z različnimi značilnostmi na padavine. Pri različnih značilnostih porečij smo lahko preverili tudi ustreznost posameznih empiričnih enačb.

Pregledali smo območje cele Slovenije z označenimi porečji na 4. nivoju hidrografskega šifranta. Kriterija sta bila, da so porečja manjša od 200 km² in da so hidrološka merilna mesta praviloma na meji med podporečji. Največ porečij, ki ustrezajo tem kriterijem je v goratem predelu Slovenije.

Izbira je temeljila tudi na mreži meteoroloških in predvsem hidroloških merilnih postaj. Izbrali smo porečja s čim manjšo površino, ki ustrezajo pogojem za uporabo empiričnih enačb za izračun časovnih parametrov, vendar le tista, ki imajo hidrološke postaje z avtomatskim merjenjem pretokov (preglednica 9). Urne podatke o pretokih smo potrebovali za natančno določanje časovnih parametrov hidrograma odtoka. Iz istega razloga smo porečja izbrali tudi glede na bližino meteoroloških postaj, ki merijo padavine s 5-minutnim časovnim korakom.

Preglednica 9: Izbrana porečja in merilne postaje

Porečje	Hidrološka merilna postaja	Meteorološka merilna postaja
Koritnica	Kal-Koritnica I	Log pod Mangartom
Tržiška Bistrica do Preske	Preska	Brnik - Letališče
Kamniška Bistrica do Kamnika	Kamnik I	Kamniška Bistrica
Meža do Črne	Črna	Šmartno pri Slovenj Gradcu
Sevnična	Orešje	Lisca
Mestinjščica	Sodna Vas II	Celje - Medlog
Drnica	Pišine I	Portorož - Letališče



Slika 21: Analizirana porečja prikazana na reliefni karti Slovenije

6.1 Lega porečij

6.1.1 Porečje Koritnice

Porečje Koritnice se nahaja v občini Bovec. To je gorata pokrajina v Julijskih Alpah. Vijugavi in ozki dolini Soče in Koritnice z Bavščico, Možnico in Loško Koritnico, se ob sotočju Soče in Koritnice razširita v Bovško kotlino, ki pa se potem spet stisne in preide v srpeniško-žagarsko kotanjo z dolino reke Učje. Bovška kotlina je v svojem dnu pokrita z dokaj obsežnimi in ravnimi obdelovalnimi površinami. Središče Bovške, Bovec, leži na nadmorski višini 483 m. Velik del Bovške leži v Triglavskem narodnem parku. Relief pokrajine je bil ponekod izrazito ledeniško preoblikovan, od tod raznovrstnost njegovih oblik. Dolgotrajno kemično in fizikalno delovanje na geološko podlago je s sodelovanjem tektonskih sil dalo značilno podobo tej gorski pokrajini (Občina Bovec, 2012).

6.1.2 Porečje Tržiške Bistrice

Porečje Tržiške Bistrice pripada občini Trzič. Občina Trzič zavzema 155,4 km² ali 0,8% ozemlja Republike Slovenije. Na severu, po gorskem grebenu osrednjih Karavank, meji z Republiko Avstrijo.

Severni del porečja zavzemajo osrednje Karavanke, proti jugu se pokrajina znižuje v hribovje, najjužnejši del občine pa predstavljajo uravnave, ki pripadajo severnemu delu ljubljanske kotline in jih imenujemo Dobrave. Gorati del porečja prekinjajo večje in manjše doline. Glavne tri so: dolina Tržiške Bistrice, dolina Mošenika in dolina Lomščice. Ostro alpsko podnebje, ki prevladuje v občini, je posledica opisane gorske pokrajine in se kaže v dokaj nizkih temperaturah in nadpovprečni količini padavin. 70% občine prekriva gozd, med drevesnimi vrstami pa izrazito prevladuje smreka (Občina Tržič, 2012).

6.1.3 Porečje Kamniške Bistrice

Porečje Kamniške Bistrice leži v severnem delu osrednje Slovenije, na prehodu med Gorenjsko ravnjo in Celjsko kotlino, ob vznožju Kamniško Savinjskih Alp in nedaleč od prestolnice Ljubljane. Mesto Kamnik je nastalo v naročju planin pod južnimi obronki Kamniško-Savinjskih Alp, katerih najvišji vrh je Grintovec (2558 m) ter na sotočju reke Kamniške Bistrice in Nevljice. Srednjeveško mesto predstavlja središče občine, ki po površini meri 265,6 km². Največja naselitev v občini je na območju mesta Kamnik, Mekinj, Duplice in ob Kamniški Bistrici med Stahovico in Kamnikom.

Kamniška Bistrica je levi pritok Save, ki se vanjo izliva pod Beričevim pri Ljubljani. Izvira na južnem vznožju Kamniško-Savinjskih Alp na višini 590 metrov in teče pretežno po apnenčastem ozemlju Bistriške ravnine. Dolga je 32,8 kilometra, njeno porečje pa obsega 535 km². Med naravnimi znamenitostmi izstopajo do 20 metrov globoka korita Malega in Velikega Predoslja, ki sta nastala zaradi hitrega vrezovanja reke v apnenec. Na Kamniški Bistrici in njenih Mlinščicah je bila nekdaj močno razvita obrt (kovaška, žebljarska in usnjarska ter mnogi mlini in žage). Danes obratuje le še Kraljev mlin v Radomljah in pa tri manjše vodne elektrarne. Bistrica je v zgornjem toku še bogata z ribami, v spodnje toku pa je zaradi onesnaženosti osiromašena (Občina Kamnik, 2012).

6.1.4 Porečje Meže

Mežiška dolina obsega pobočje ob avstrijski meji, razteza se med Peco in Uršljo goro pa vse do vrhov Olševe in Raduhe. Je najbolj gorato območje koroške regije. Visoki vrhovi Mežiške doline prinašajo na to območje alpsko podnebje, saj je vrh Pece 250 dni v letu prekrit s snegom. Dolina je zelo poraščena z gozdovi, ki pokrivajo kar 70 % njene celotne površine. Značilnost te doline so že od nekdaj rudarji (rudnik svinca in cinka) in železarji.

Po klasifikaciji, ki je prirejena za slovenske vodne razmere, spada Meža med srednje velike vodotoke. Izvira na nadmorski višini 1405 m na pobočju Olševe pod Maroldčevim vrhom (1490 m n. v.) ob državni meji z Avstrijo. Po približno 1,2 km toka priteče na slovensko ozemlje, kjer se po 42 km pri Dravogradu (362 m n. v.) izliva v Dravo. V bližini naselja Črna na Koroškem sprejme več pritokov iz

okoljskih planin (Koprivna, Topla, Repov potok, Helenski potok, največji med njimi pa je potok Bistra). V prvih 13 km toka, od izvira do Črne (573 m n.v.) ima Meža velik strmec, skoraj 1000 m. V tem delu je Meža tipična alpska reka. V gozdnata pobočja si je vrezala ozko, soteskasto dolino (Občina Črna na Koroškem, 2012).

6.1.5 Porečje Sevnice

Porečje Sevnice leži v Zasavskih hribih, ki zavzemajo severni in severozahodni del občine. Gre za skrajni, vzhodni del Posavskega hribovja, ki meji na Senovsko gričevje. Nadmorske višine dosežejo tudi čez 900 m. Najvišji vrh je Veliki Javornik s 1023 m, ki leži vzhodno od rečice Sevnice, zahodno od nje pa se teren dviguje proti Lisci in Velikem Kozjemu. Ti vrhovi so sestavljeni pretežno iz dolomita in apnenca, vmesni predeli pa iz skrilavega glinavca, kremenovega peščenjaka in konglomerata.

Območje je zaradi visokih nadmorskih višin, oddaljenosti in slabih cestnih povezav redko poseljeno in v večini poraslo z gozdom. Prevladujejo samotne kmetije na katerih sta glavni dejavnosti živinoreja in gozdarstvo, razvija pa se tudi kmečki turizem (Cizelj, 2006).

6.1.6 Porečje Mestinščice

Porečje Mestinščice leži na večjem delu občine Šmarje pri Jelšah, ki leži v vzhodnem delu Slovenije in spada v Savinjsko regijo. Območje spada pod Voglajnsko-Zgornjesotelsko gričevje. Je valovita terciarno gričevnata pokrajina z vmesnimi dolinami in osrednjim podoljem. Na severu je obdana s hrbtom Plešivca, Konjiške Gore, Boča in Donačke gore. Na vzhodu se Šmarsko-Rogaško podolje nadaljuje v občino Rogaška Slatina. Na tem območju leži tudi edino naselje z industrijsko dejavnostjo. Med gospodarskimi dejavnostmi je v ospredju kmetijstvo in sicer živinoreja ter vinogradništvo (Sekirnik, 2005).

6.1.7 Porečje Drnice

Porečje Drnice leži na skrajnem jugozahodu Slovenije. Struga vodotoka poteka po kmetijskem zaledju slovenske obale. Območje je zelo redko naseljeno, z značilnimi vasmi na vzpetinah in kmetijskimi površinami na pobočjih in terasah. Izteka se v Jadransko morje v Sečoveljskih solinah.

6.2 Osnovne značilnosti porečij

Časovni parametri hidrograma so odvisni od mnogih značilnosti porečja, ki imajo vpliv na površinski in podpovršinski tok vode proti iztoku. Za izračune časov zakasnitve in koncentracije po empiričnih enačbah smo določili potrebne lastnosti porečij, ki so podane v preglednicah 12, 13 in 17. Različne metode zahtevajo različne vhodne podatke, zato smo za vsako porečje določili potrebne vrednosti parametrov z uporabo programov AutoCAD, ArcMap in s spletnim pregledovalnikom geografskih podatkov Atlasom okolja, ki je dostopen na strani Agencije RS za okolje (MOP, 2012). Potrebne podatkovne sloje geografskih informacijskih sistemov smo pridobili iz prosto dostopnih portalov na ARSO, Geodetski upravi RS, Kmetijskem ministrstvu in na spletni strani EIONET.

Na slikah 22 in 23 so označena porečja na topografski karti Slovenije. Rdeče so označene vse meteorološke merilne postaje na območju. Z imenom je dodatno označeno merilno mesto, katerega meritve smo uporabili pri analizi merjenih podatkov. Enako so označena hidrološka merilna mesta, le da so označena z modrimi okroglimi oznakami.



Slika 22: Porečja Koritnice, Tržiške Bistrice, Kamniške Bistrice in Meže ter hidrološke in meteorološke merilne postaje



Slika 23: Porečja Sevnične, Mestinjščice in Drnice ter hidrološke in meteorološke merilne postaje

6.2.1 Šifrant hidrografskih območij

V preglednicah 10 in 11 so podana imena in šifre izbranih porečij po šifrantu porečij Republike Slovenije. Porečje Koritnice je sestavljeno iz vseh sedmih podporečij na 4. nivoju, kljub temu pa je tretje najmanjše izmed izbranih porečij. Razloga sta razgiban relief in veliki nakloni terena ter zato večje število pritokov. Porečij Tržiške in Kamniške Bistrice ter Meže nismo analizirali v celoti, temveč samo izbrana gorvodna podporečja do merilnih postaj. Porečja Sevnične, Mestinjščice in Drnice so samostojna območja na 4. nivoju. Za vsa izbrana območja so v preglednicah 10 in 11 podana tudi porečja višjih nivojev, v katera spadajo.

Preglednica 10: Hidrološki šifrant izbranih porečij

Vodotok	Koritnica		Tržiška Bistrica do Preske		Kamniška Bistrica do Kamnika		Meža do Črne	
Št. in ime Območja (4. Nivo)	6121	Mangart- ska Koritnica	1141	Tržiška Bistrica - Medvodje	1321	Bistrica- Mekinlje	3211	Koprivna Meža
	6122	Predelica	1142	Košutnik	1322	Nevljica	3212	Bistra
	6123	Rajbelska Koritnica	1143	Tržiška Bistrica - Jelendol			3213	Meža - Črna
	6124	Možnica	1144	Lomščica				
	6125	Klužka Koritnica	1145	Tržiška Bistrica - Trzič				
	6126	Šumnik	1146	Mošenik				
	6127	Bovška Koritnica						
Št. in ime območja (3. Nivo)	612	Koritnica	114	Tržiška Bistrica	132	Kamniška Bistrica	321	Porečje Drave

... se nadaljuje

... nadaljevanje preglednice 10

Št. in ime območja (2. Nivo)	61	Zgornja Soča	11	Zgornja Sava	13	Ljubljanska Sava	32	Meža
Št. in ime območja (1. Nivo)	6	Porečje Soče	1	Porečje Save	1	Porečje Save	3	Porečje Drave

Preglednica 11: Hidrološki šifrant izbranih porečij

Vodotok	Sevnična		Mestinjščica		Drnica	
Št. in ime območja (4. Nivo)	1732	Sevnična	1922	Mestinjščica	5132	Drnica
Št. in ime območja (3. Nivo)	173	Sava - Blanca	192	Sotla	513	Obala
Št. in ime območja (2. Nivo)	17	Krška Sava	19	Spodnja Sava	51	Slovenska obala
Št. in ime območja (1. Nivo)	1	Porečje Save	1	Porečje Save	5	Porečje Obale

6.2.2 Geometrijske značilnosti

V preglednici 12 so podane glavne značilnosti izbranih porečij, ki so potrebne za izračun empiričnih enačb. Določena je bila površina porečja A . Določili smo tudi različne dolžine vodnih poti po porečju in sicer: L_v je dolžina glavnega vodotoka porečja, L je dolžina glavne vodne poti porečja in je sestavljena iz glavnega vodotoka in toka po površju do razvodnice, L_c je dolžina glavnega toka od iztočnega profila do prereza na vodotoku, ki je najbližje centroidu porečja in L_n je dolžina poti vodnega delca od hidravlično najbolj oddaljene točke porečja do iztoka. Povprečen padec vodotoka je označen s S_v in povprečen naklon površine porečja s S_p .

Preglednica 12: Značilnosti izbranih porečij in vodotokov

Vodotok	$A [km^2]$	$L_v [km]$	$L [km]$	$L_c [km]$	$L_n [km]$	$S_p [%]$	$S_v [%]$
Koritnica	85,69	14,15	14,66	8,12	12,68	38,20	9,66
Tržiška Bistrica do Preske	120,31	13,50	13,50	6,35	15,43	27,69	7,63
Kamniška Bistrica do Kamnika	195,36	16,53	17,72	5,24	21,88	25,00	8,42
Meža do Črne	89,99	14,40	14,40	5,94	15,26	27,66	10,23
Sevnična	39,86	16,03	16,77	9,30	16,07	20,09	4,02
Mestinjščica	134,10	16,67	16,67	7,47	21,33	14,35	1,55
Drnica	29,82	10,40	10,72	6,12	10,61	13,51	2,00

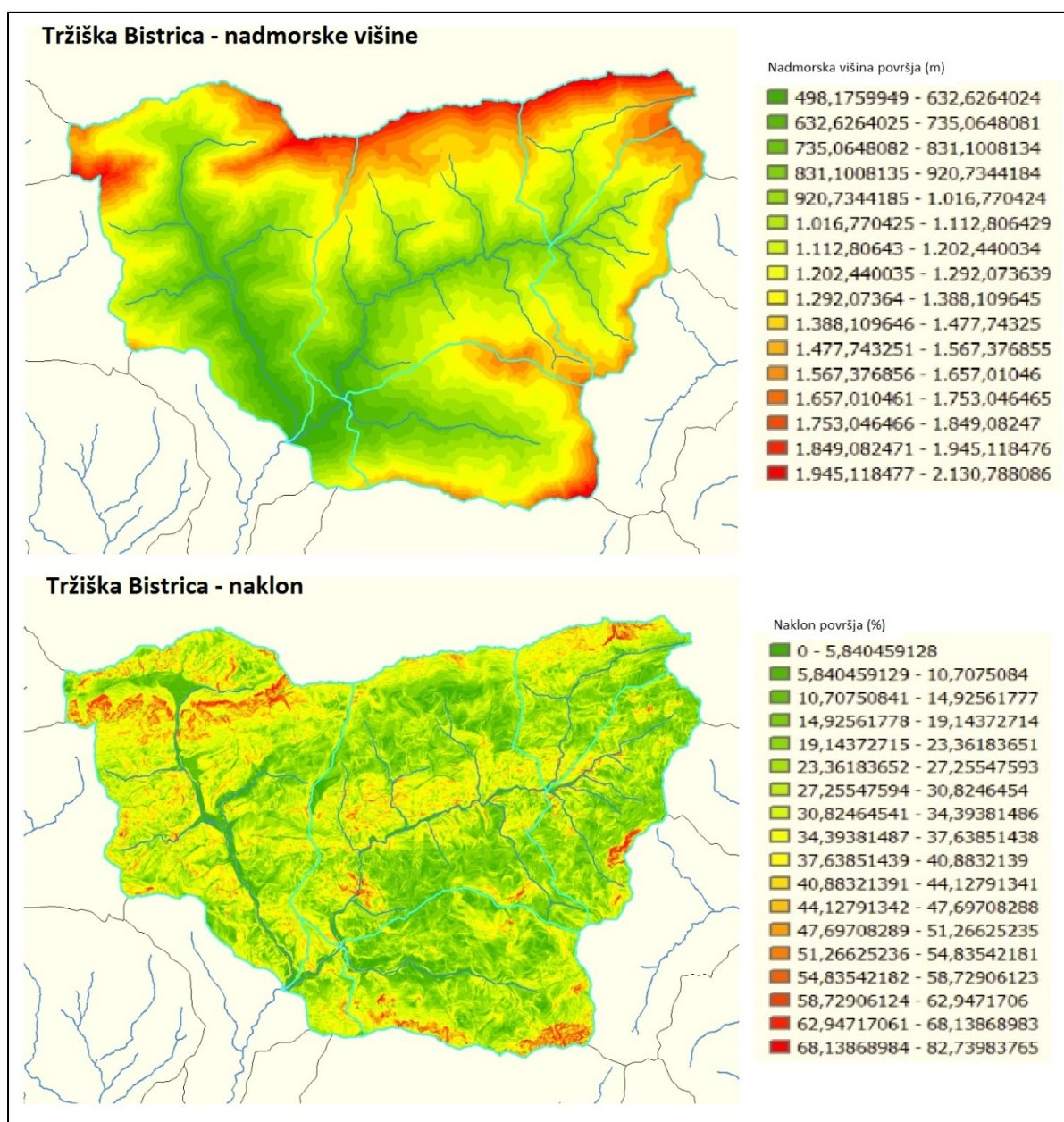
6.2.3. Topografija in nakloni

V preglednici 13 so navedene nadmorske višine posameznih značilnih točk porečja. H_{Iztok} pomeni nadmorsko višino točke iztoka vodotoka iz obravnavanega porečja. S $H_{Najvišji}$ je označena najvišja točka na porečju. Ostale nadmorske višine so začetne točke posameznih dolžin vodnih poti, ki so opisane v podpoglavju 6.2.2.

Preglednica 13: Nadmorske višine značilnih točk porečij

Porečje	$H_{Iztok} [m]$	$H_{L_v} [m]$	$H_L [m]$	$H_{L_n} [m]$	$H_{Najvišji} [m]$
Koritnica	414	1367	1651	1179	2679
Tržiška Bistrica do Preske	494	1030	1030	1455	2094
Kamniška Bistrica do Kamnika	374	1392	2394	1490	2558
Meža do Črne	577	1474	1474	1263	2125
Sevnična	227	645	737	584	1024
Mestinjščica	196	259	259	670	946
Drnica	7	208	251	259	396

Na sliki 24 sta predstavljena modela nadmorskih višin in naklonov površin za porečje Tržiške Bistrice do Preske. Modele smo izdelali na podlagi digitalnega modela višin z ločljivostjo 5 metrov (DMV5), ki je narejen za celo Slovenijo. Izbrali smo pravokotna območja, ki vključujejo izbrana porečja in s programom Global Mapper izdelali modele višin s triangulacijo rastra podatkov. V ArcMap-u smo nato za izbrana porečja z orodnim sklopom Spatial Analyst izdelali končne modele.



Slika 24: Prikaz modelov nadmorskih višin in naklonov za porečje Tržiške Bistrice

6.3 Geologija in pedološka sestava tal

Tla sestavljajo tri komponente, povezane v sistem, sestavljen iz trde (organske in mineralne snovi), tekoče (talna voda) in plinaste (talni zrak) snovi. Nastanek in razvoj tal je odvisen od geološke (matične) osnove, podnebnih razmer, reliefa, dejavnosti živih organizmov, vključno s človekom, in časovnimi spremembami v krajših in daljših obdobjih. Glede na to, da se v Sloveniji omenjeni dejavniki močno spreminjajo, je tudi talna plast zelo pestra. Podrobnejša opredelitev sloni na številnih morfoloških, fizikalnih, kemičnih, bioloških in drugih lastnostih. Tla so razdeljena na razrede, tipe, podtipe in različice.

V Sloveniji delimo tla na avtomorfna, hidromorfna in pogojno tudi tehnogena tla. V avtomorfna tla uvrščamo tista zemljišča za katera je značilno, da atmosferska voda lahko prosto pronica skozi talni profil. Glede na stopnjo razvitosti talnega profila (razvojna stopnja), delimo avtomorfna tla na sledeče razrede: nerazvita tla, humusno akumulativna tla, kambična tla, eluvialno – iluvialna tla in antropogena tla. Med hidromorfna tla uvrščamo zemljišča, ki so občasno ali trajno prekomerno vlažna, v delu profila ali v celotnem profilu. Glede na specifično delitev hidromorfnih tal je klasifikacija na razrede izvedena glede na tip vodnega režima, ob katerem so posebej pomembni štiri razredi: nerazvita in slabo razvita obrečna tla, psevdooglejena tla, oglejena tla in šotna tla (GURS, 2008).

V goratih alpskih predelih Slovenije prevladujejo plitva skeletna tla s slabo razgrajeno organsko snovjo. Taka tla uvrščamo v litosole in prhlinaste rendzine na apnencih in dolomitih, redko najdemo tudi rankerje na silikatnih kamninah. Po mednarodnih klasifikacijskih sistemih so to litični, umbrični in rendzični leptosoli (ARSO, 2012).

Nekoliko nižje, vendar še vedno v goratem predelu Alp, se poleg rendzin in nekoliko večjega deleža rankerjev, redkeje pojavljajo tudi različne vrste izpranih tal, kot so rjava izprana tla, na dobro propustnih silikatnih peščenih podlagah pa tudi podzoli. Na nepropustnih podlagah so nastala glejna in šotna tla.

V osrednji Sloveniji in Dolenjski z ravnim in gričevnatim reliefom so se razvila srednje globoka, dobro strukturna in mestoma tudi izprana tla. Na obsežnih območjih apnenca in dolomita se pojavi skupina rendzin in rjavih pokarbonatnih tal. Evtrična rjava tla so značilna za mehke karbonatne kamnine, medtem ko na nekarbonatnih najdemo distrična rjava tla. V dolinah na obsežnih nanosih fluvio-glacialnega proda prevladujejo evtrična rjava tla. Na nanosih s finejšo teksturo so razvite različne oblike hidromorfnih tal. V južni Primorski močno prevladuje karbonatni fliš, nastala tla pa so regosol, karbonatna rendzina in evtrična rjava tla (ARSO, 2012).

Nižine vzhodne Slovenije obsegajo nanose nekarbonatnega proda z distričnimi tlemi. Na finejših nanosih so se razvili psevdogleji in gleji (ARSO, 2012).

Z uporabo pedološke karte, ki smo jo pridobili od Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, smo določili delež posameznega tipa tal za vsako od izbranih porečij. Odtočni potencial in hidravlično prevodnost smo povzeli po diplomski nalogi Katje Sovre (2009) z naslovom Hidrološka študija visokih voda Bistrice v porečju Sotle. V preglednici 14 je prikazan odtočni potencial in hidravlična prevodnost za posamezne tipe tal, ki se nahajajo na izbranih porečjih.

Preglednica 14: Odtočni potencial in hidravlična prevodnost tal za posamezno pedološko vrsto tal

Tip tal	Odtočni potencial	Hidravlična prevodnost
Ni tal (golo skalovje)	D	Zelo nizka
Rendzina na apnencu in dolomitu	A	Visoka
Rendzina na moreni in pobočnem grušču	A	Visoka
Rendzina na mehkih karbonatnih kamninah	A	Visoka
Rjava pokarbonatna tla na apnencu in dolomitu	B	Srednja
Distrična rjava tla na mešanih karbonatnih in nekarbonatnih kamninah	B	Srednja
Distrična rjava tla na klastičnih zemljinah	B	Srednja
Distrična rjava tla na magmatskih kamninah	B	Srednja
Distrična rjava tla na skrilavcih in peščenjakih	B	Srednja
Distrična rjava tla na metamorfnih kamninah	B	Srednja
Distrična rjava tla na nekarbonatnem flišu in dekalificiranem laporju	B	Srednja
Evtrična rjava tla na klastičnih zemljinah	B	Srednja
Evtrična rjava tla na laporju	B	Srednja
Evtrična rjava tla na mešanih karbonatnih in nekarbonatnih kamninah	B	Srednja
Evtrična rjava tla in karbonatna rjava tla na flišu	B	Srednja
Evtrična rjava tla na peščeno prodnatih sedimentih	A	Visoka
Obrežna tla, evtrična	B	Srednja
Hipoglej, evtričen, mineralen	C	Nizka
Rigolana tla, evtrična	B	Srednja
Šotna tla visokega barja	C	Nizka
Obrežna tla, distrična, oglejena	B	Srednja
Ranker, distričen	A	Visoka
Urbane, vodne in nerodovitne površine	D	Zelo nizka

Površine in deleži posameznega tipa tal in določitev enotnega odtočnega potenciala za posamezna porečja so navedeni v prilogi A.2. V preglednici 15 pa so podani enotni odtočni potenciali porečij, ki smo jih uporabili v nadaljevanju za določanje števila CN, s katerim opišemo lastnosti zemljine in zajema vplive pedologije, pokrovnosti tal in predhodne vlažnosti tal.

Preglednica 15: Izbran odtočni potencial analiziranih porečij

Vodotok	Odtočni potencial porečja
Koritnica	B
Tržiška Bistrica do Preske	A
Kamniška Bistrica do Kamnika	B
Meža do Črne	A
Sevnična	B
Mestinjščica	B
Drnica	B

6.4 Pokrovnost tal

Raba tal je ena tistih prvin, ki najbolj prepoznavno zaznamuje pokrajino. Kaže se v zastopanosti in razširjenosti zemljiških kategorij. Odraža zapletena razmerja med naravnimi in družbeno-gospodarskimi dejavniki. Med prvimi je posebej pomembna izoblikovanost površja, kot je nadmorska višina, nagib in osončenost pobočij, med družbeno-gospodarskimi pa gospodarske razmere v preteklosti in sedanjosti (Kladnik in Gabrovec, 1998).

Pokrovnost tal na obravnavanih porečjih smo določili iz podatkov CORINE 2006, ki so dostopni v geografsko-informacijskem središču Agencije RS za okolje. Za določanje površin posameznih atributnih razredov na porečjih smo uporabili programsko orodje ArcMap 10. Posamezne rabe tal in pripadajoč delež površine posameznega porečja so predstavljene v prilogi A.1.

CORINE (COoRdinating of INformation on the Environment) je program za usklajevanje informacij o okolju, ki ga je leta 1985 sprejela Evropska unija z namenom določiti in smiselno razvrstiti pokrovnost tal ter izdelati kakovostno bazo podatkov. Podatki o pokrovnosti tal v kombinaciji z drugimi tematskimi podatki pomenijo nov kompleks informacij, ki so potrebne na področju kmetijstva, gozdarstva, regionalnega in prostorskega načrtovanje (EIONET, 2012).

V preglednici 16 so opisi posameznih vrst rabe tal, ki se pojavijo na izbranih analiziranih porečjih. Nomenklatura CORINE deli rabo tal na 1. stopnji na 5 razredov, ki so: umetne, kmetijske, močvirnate, vodne ter gozdne in deloma ohranjene površine. Vsak razred se deli na podrazrede še na dveh stopnjah.

Preglednica 16: Razredi pokrovnosti tal po CORINE 2006 na izbranih porečjih

Razred	Opis 1	Opis 2	Opis 3
311	Gozdne in deloma ohranjene naravne površine	Gozdovi	Listnati gozd
312	Gozdne in deloma ohranjene naravne površine	Gozdovi	Iglasti gozd
313	Gozdne in deloma ohranjene naravne površine	Gozdovi	Mešani gozd
321	Gozdne in deloma ohranjene naravne površine	Grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo	Naravni travniki
322	Gozdne in deloma ohranjene naravne površine	Grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo	Barja in resave
324	Gozdne in deloma ohranjene naravne površine	Grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo	Grmičast gozd
332	Gozdne in deloma ohranjene naravne površine	Neporasle površine z malo ali brez vegetacije	Golo skalovje
333	Gozdne in deloma ohranjene naravne površine	Neporasle površine z malo ali brez vegetacije	Redko porasle površine
211	Kmetijske površine	Njivske površine	Nenamakane njivske površine
221	Kmetijske površine	Trajni nasadi	Vinogradi
222	Kmetijske površine	Trajni nasadi	Sadovnjaki in nasadi jagodičja
231	Kmetijske površine	Pašniki	Pašniki

se nadaljuje ...

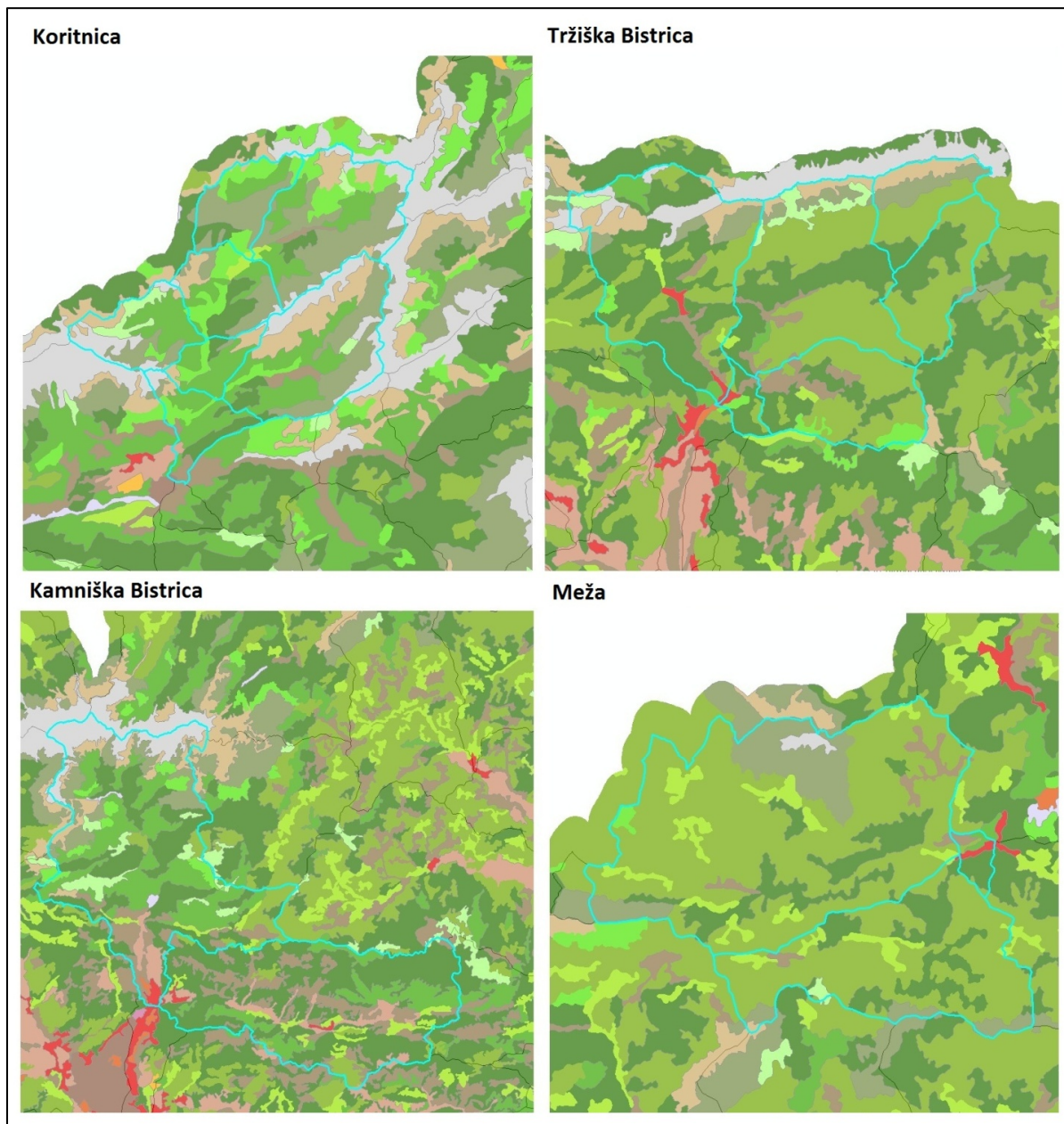
... nadaljevanje Preglednice 16

242	Kmetijske površine	Mešane kmetijske površine	Kmetijske površine drobnoposestniške strukture
243	Kmetijske površine	Mešane kmetijske površine	Pretežno kmetijske površine z večjimi območji vegetacije
112	Umetne površine	Urbane površine	Nesklenjene urbane površine
121	Umetne površine	Industrijske, trgovinske, transportne površine	Industrija, trgovina
142	Umetne površine	Umetno ozelenjene nekmetijske površine	Površine za šport in prosti čas

Na slikah 25 in 26 je predstavljena raba tal na posameznih porečjih. Razvidno je, da na hribovitih in goratih porečjih na severu države prevladuje gozdna pokrovnost tal, ki je pri vseh višja od 80 %. Kot je za tovrstna reliefna območja značilno, prevladuje iglast in mešan gozd. Na nižjem območju porečja Kamniške Bistrice, na podporečju Nevljice, je obsežnejše območje listnatega gozda. Na ostalih nižinskih porečjih je delež gozda manjši in znaša do 60 %. Tam so obsežnejša območja primerna in tudi izkoriščana za kmetijsko rabo.

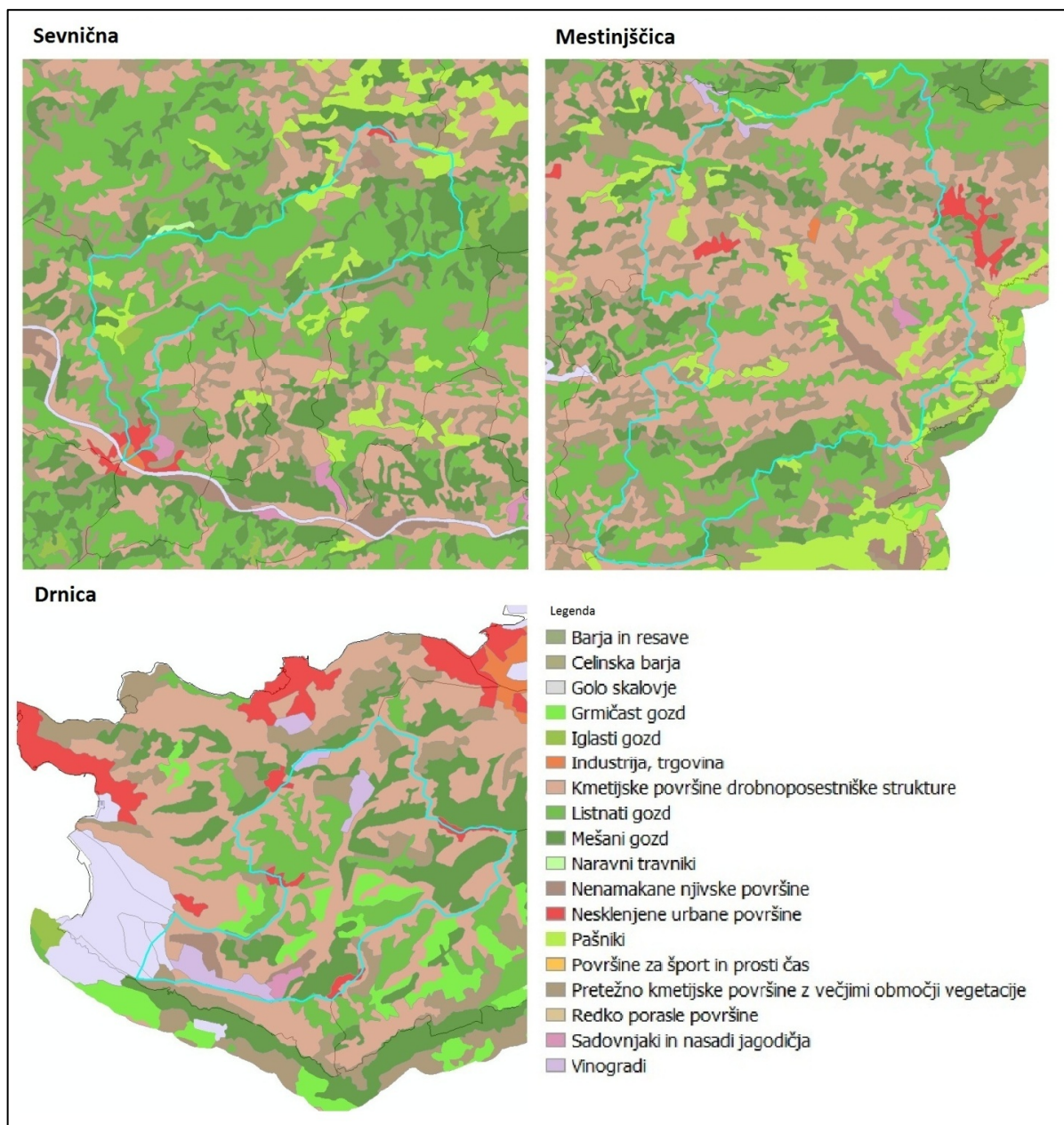
Umetnih površin je na analiziranih porečjih zelo malo in na nobenem ne presegajo treh odstotkov celotne površine. Vodnih površin, kot glavnega razreda pri razdelitvi rabe tal, nismo upoštevali, ker razen vodotokov in kanalov izbrana porečja nimajo večjih vodnih površin. Površina vodotokov je pri določanju števila CN izbranih porečij zanemarljiva.

Za vsa porečja smo določili površino posameznega razreda pokrovnosti tal. Prepustnost tal in povezane padavinske izgube so poleg pokrovnosti odvisne tudi od vrste pedološke in geološke sestave globljega podzemnega sloja. Za posamezne vrste pokrovnosti tal smo iz preglednic 1-3 v poglavju 2.3 (SCS padavinske izgube) in preglednice 15 v poglavju pedologija določili posamezna števila CN. Za porečja smo nato v sorazmerju z odstotkom posamezne pokrovnosti tal in pripadajočega števila CN izračunali enotna CN števila, ki so podana v preglednici 17.



Slika 25: Pokrovnost tal porečij Koritnice, Tržiške Bistrice, Kamniške Bistrice in Meže po CORINE

2006



Slika 26: Pokrovnost tal porečij Sevnice, Mestinjšice in Drnice po CORINE 2006

Preglednica 17: CN števila izbranih porečij

Vodotok	Enotno CN število porečja
Koritnica	62
Tržiška Bistrica do Preske	63
Kamniška Bistrica do Kamnika	66
Meža do Črne	62
Sevnična	63
Mestinjščica	70
Drnica	69

6.5 Padavinski podatki

V nalogi smo uporabili podatke o padavinah na območjih analiziranih porečij. S podatki o merilnih mestih padavin, dostopnih na straneh geografsko informacijskega sistema Agencije RS za okolje ter na straneh meteorološke službe, smo določili postaje z ustreznimi merilnimi instrumenti za registriranje količine padavin v pet-minutnih intervalih. Izbrali smo postaje, ki so najbolj merodajne za določeno porečje (preglednica 18). Podatke smo pridobili od meteorološke službe ARSO (2012). Padavine v posamezni uri so zabeležene, če je količina padavin vsaj 0,1 mm.

Preglednica 18: Izbrane padavinske postaje

Št. post.	Ime postaje	Tip	Podtip/ opremljenost	Oddaljenost od hidrološke merilne postaje [km]	Smer/ oddaljenost od hidrološke postaje	Nadmor. višina [m]
53	Log pod Mangartom	Padavinska postaja	Pluviograf	7	S	648
8	Brnik - Letališče	Glavna meteorološka postaja	Sinoptična, samodejna	20	JV	364
2	Kamniška Bistrica	Padavinska postaja	Pluviograf	12	S	601

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 18

231	Šmartno pri Slovenj Gradcu	Glavna meteorološka postaja	Pluviograf, sinoptična, samodejna meteorološka	20	V	444
452	Lisca	Glavna meteorološka postaja	Pluviograf, sinoptična, samodejna	3,5	S	947
268	Celje - Medlog	Glavna meteorološka postaja	Pluviograf, sinoptična, samodejna	29	V	242
464	Portorož - Letališče	Glavna meteorološka postaja	Pluviograf, sinoptična, samodejna	2	SZ	2

6.6 Merjeni pretoki

Za določitev časovnih parametrov hidrogramov smo potrebovali urne vrednosti pretokov. Zaradi tega razloga smo izbrali porečja, kjer meritve potekajo na avtomatskih postajah in smo lahko pridobili podatke z zadovoljivo natančnostjo. Za podatke smo zaprosili hidrološko službo ARSO (2012).

Merilne postaje so locirane na mejah oziroma iztokih iz porečij. Tako so časovni parametri merjenih hidrogramov neposredno primerljivi s tistimi, izračunanimi z empiričnimi enačbami, brez korekcije zaradi potovanja poplavnega vala.

Preglednica 19: Hidrološke merilne postaje na izbranih porečjih

Vodotok	Ime postaje	Številka postaje	Nadmorska višina [m]
Koritnica	Kal-Koritnica I	8242	400
Tržiška Bistrica do Preske	Preska	4050	489
Kamniška Bistrica do Kamnika	Kamnik I	4400	371
Meža do Črne	Črna	2220	577
Sevnična	Orešje	4705	227
Mestinjščica	Sodna Vas II	4770	196
Drnica	Pišine I	9280	7

7 ANALIZA MERJENIH HIDROGRAMOV IN HISTOGRAMOV

Za posamezne izbrane hidrološke merilne postaje smo na spletnih straneh ARSO pregledali grafe povprečnih dnevni vrednosti pretokov za obdobje med leti 1999–2010. Med njimi smo izbrali posamezna obdobja, dolga od enega do treh mesecev, kjer imajo hidrogrami izrazite konice z enim vrhom ter čim bolj konstantni odtok v času pred in po nastopu konic. Za izbrana obdobja smo pridobili urne vrednosti pretokov na posameznih postajah in pripadajoče meritve padavin s padavinskih postaj (ARSO, 2012).

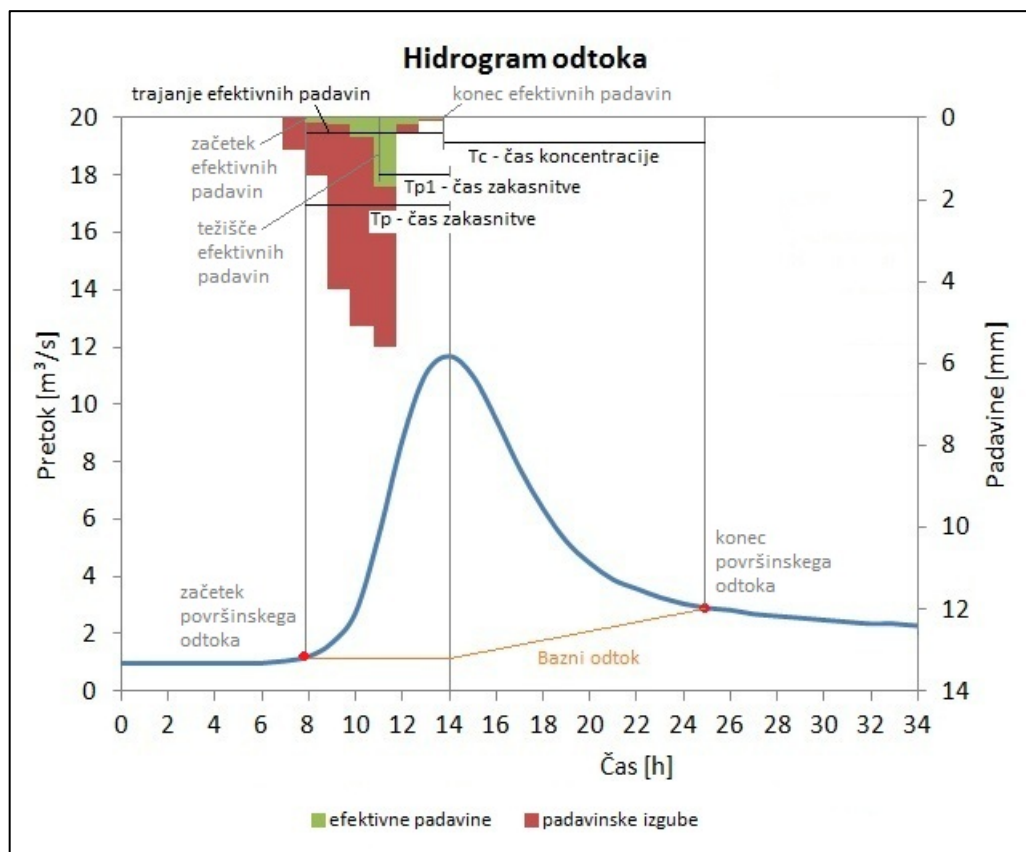
Po natančnejši analizi in pregledu urnih vrednosti pretokov in pripadajočih padavin smo izbirali dogodke s sledečimi značilnostmi:

- Konstanten bazni odtok pred pojavom naraščanja hidrograma.
- Trajanje padavinskega dogodka od 3 do 10 ur.
- Odtok z enim izrazitim maksimumom pretoka in konstantno padajočim delom.

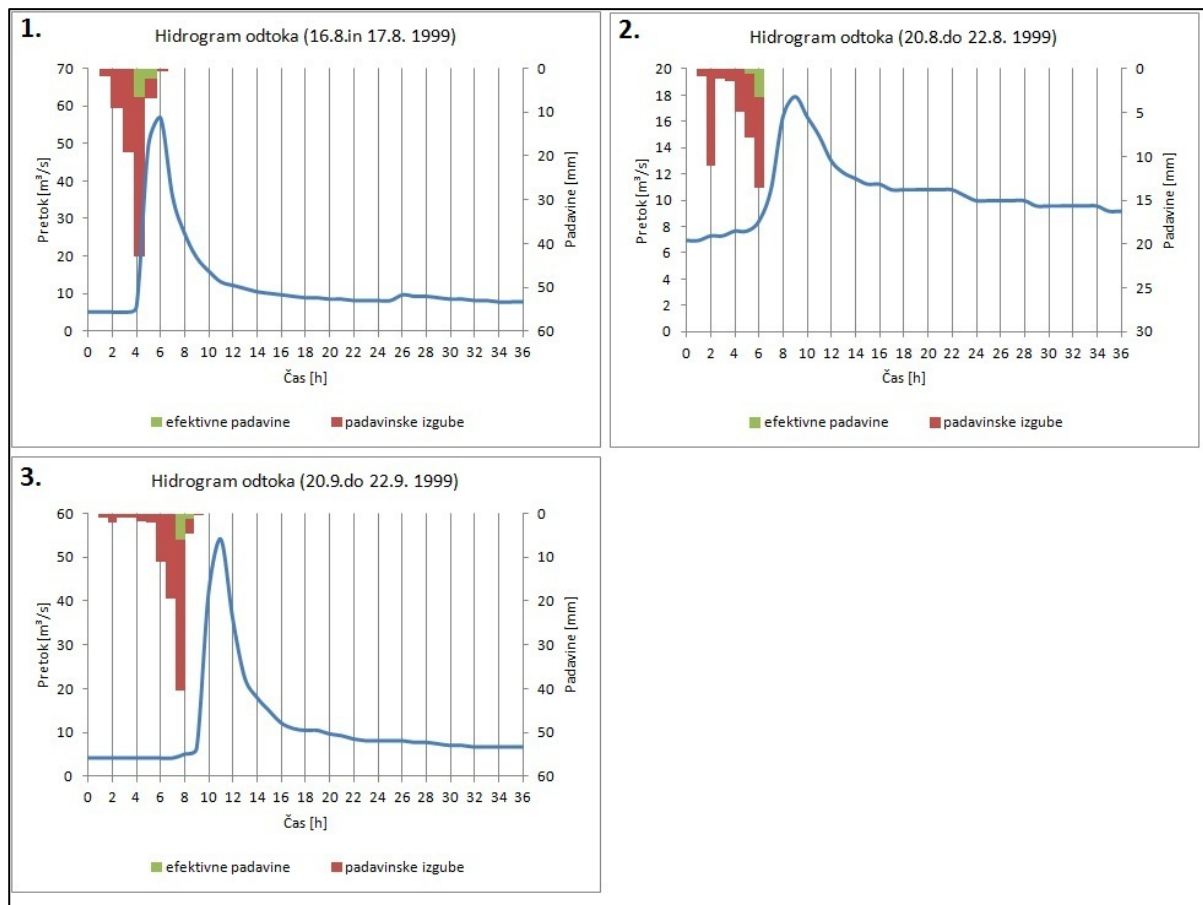
Zaradi različnih oddaljenosti meteoroloških postaj od porečij in neenakomernosti meteoroloških pojavov smo preverjali tudi časovno skladnost začetka padavin in pojava površinskega odtoka. Tako smo izbrali dogodke, kjer smo lahko padavinske podatke s posamezne postaje aplicirali k posameznemu merjenemu hidrogramu. Kljub temu se zaradi velikosti porečij pojavijo odstopanja zaradi različne razporeditve, smeri, količine in drugih parametrov padavinskega dogodka, kar se v rezultatih kaže pri odstopanju predvsem časa zakasnitve.

Padavinske podatke smo vnesli v program HEC-HMS in z izbrano metodo SCS izračunali padavinske izgube. Vhodna podatka pri vnosu sta število CN in delež neprepustne površine. Pri prvem izračunu smo vnesli število CN, ki smo ga dobili z analizo pokrovnosti in pedologije tal. Zaradi spreminjanja vrednosti CN v odvisnosti od spremenljivih vplivov na porečje smo z iteracijsko metodo vrednost CN korigirali. Izračunali smo skupni volumen površinskega odtoka iz merjenih hidrogramov. Bazni odtok smo izločili s tri-točkovno metodo. Volumen površinskega odtoka smo primerjali z volumnom učinkovitih padavin in korigirali vrednost CN-ja do ujemanja. Pri posameznem porečju so bila odstopanja največ 11%. Takšni rezultati so pričakovani zaradi zajema številnih spremenljivih, ki vplivajo na infiltracijsko sposobnost zemljin.

Iz tako obdelanih merjenih hidrogramov in histogramov smo odčitali čase, ki so prikazani na sliki 27. Čas zakasnitve smo določili po obeh najpogosteje uporabljenih definicijah. Za vsako porečje smo odčitali časovne parametre iz različnih merjenih padavinskih dogodkov, nato pa izračunali povprečno vrednost posameznega parametra. Zbrani podatki in rezultati so podani na slikah 28-34 in v preglednicah 20-26.



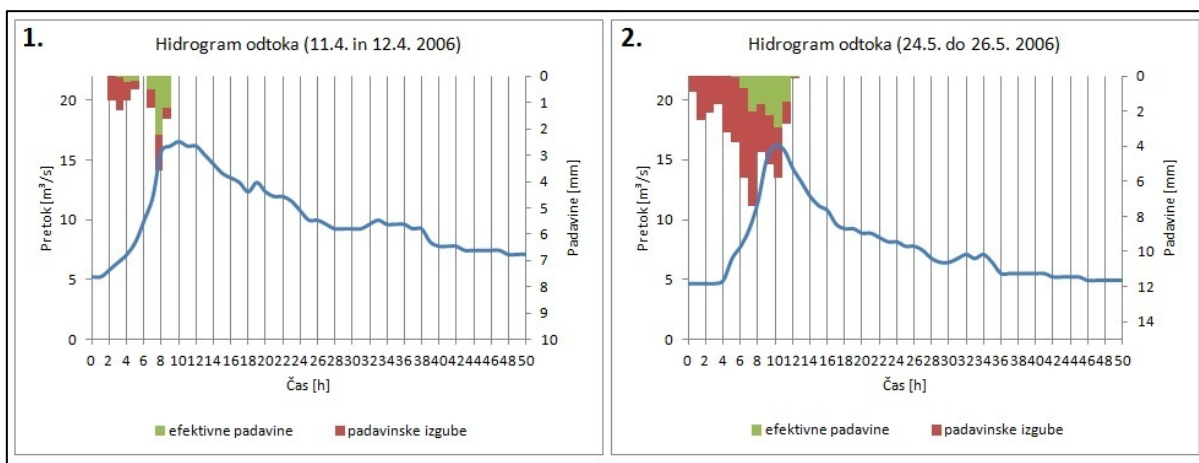
Slika 27: Hidrogram z označenimi časovnimi parametri



Slika 28: Hidrogrami porečja Koritnice

Preglednica 20: Časovni parametri hidrogramov porečja Koritnice

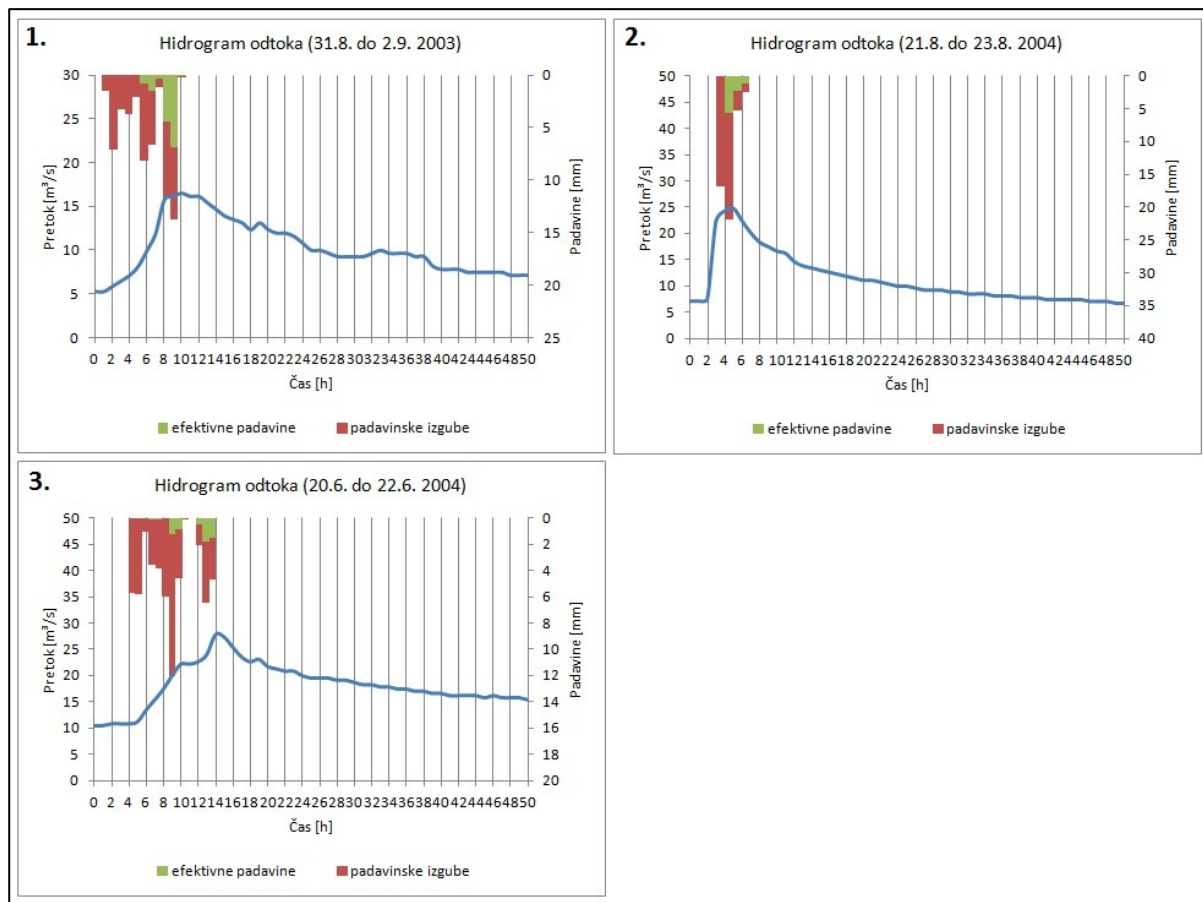
Vodotok	Koritnica			
Hidrogram	1.	2.	3.	Povprečje
T_{ef} [h: min]	3	2	3	2:40
T_p [h: min]	3	4	3	3:20
T_{p1} [h: min]	1:40	2:10	1:45	1:50
T_c [h: min]	10	16	12	12:40



Slika 29: Hidrogrami porečja Tržiške Bistrice do Preske

Preglednica 21: Časovni parametri hidrogramov porečja Tržiške Bistrice do Preske

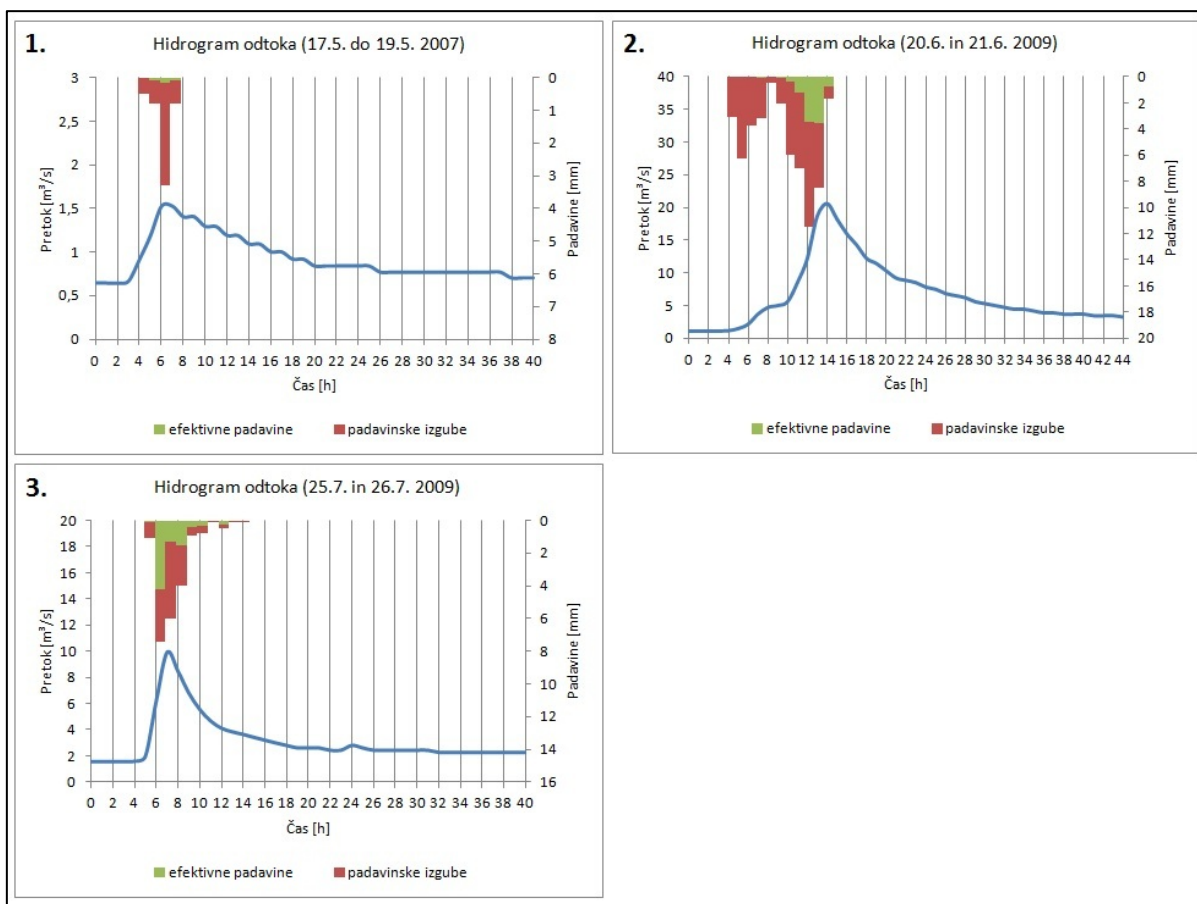
Vodotok	Tržiška Bistrica do Preske		
Hidrogram	1.	2.	Povprečje
T_{ef} [h: min]	7	7	7
T_p [h: min]	8	7	7:30
T_{p1} [h: min]	2:10	2:45	2:30
T_c [h: min]	31	25	28



Slika 30: Hidrogrami porečja Kamniške Bistrice do Kamnika

Preglednica 22: Časovni parametri hidrogramov porečja Kamniške Bistrice do Kamnika

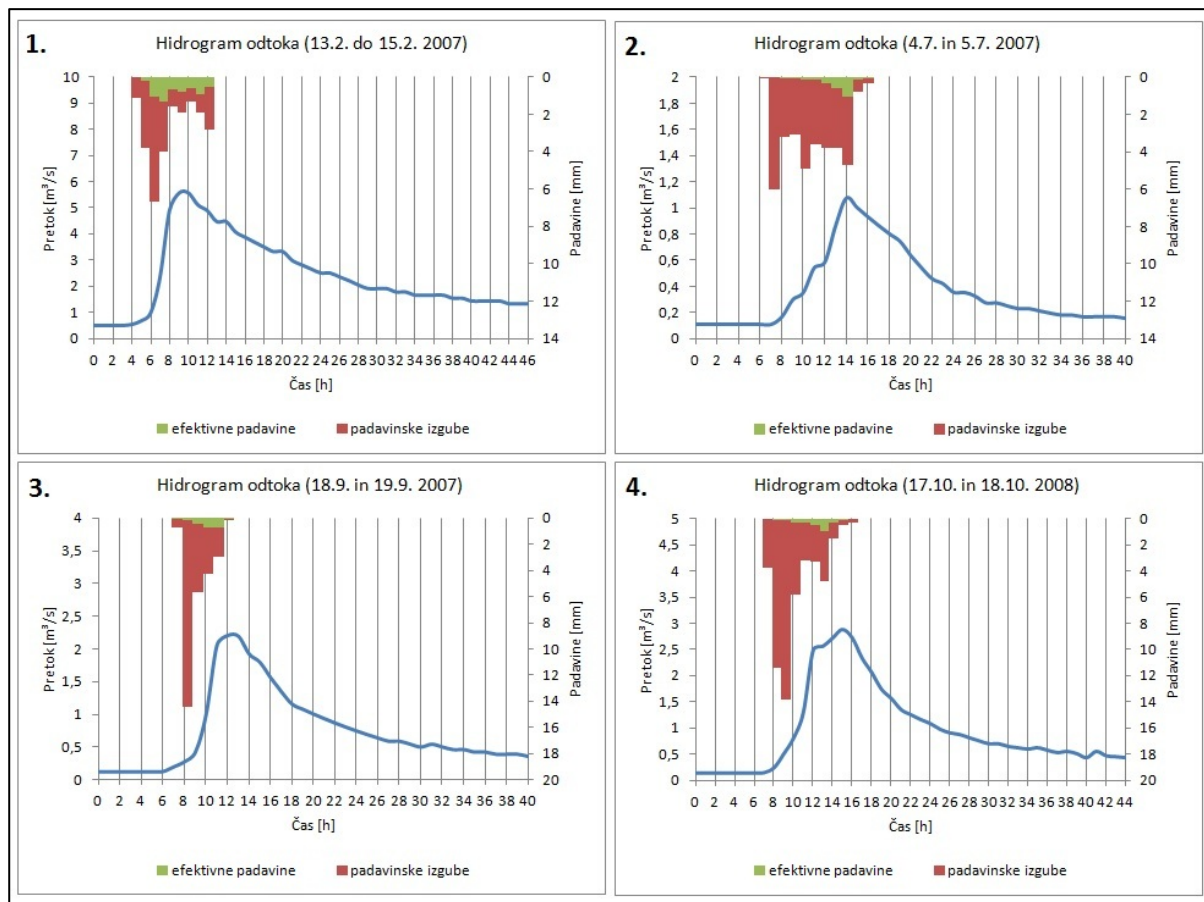
Vodotok	Kamniška Bistrica do Kamnika			
Hidrogram	1.	2.	3.	Povprečje
T_{ef} [h: min]	7	4	8	6:20
T_p [h: min]	5	3	7	5
T_{p1} [h: min]	0:30	0:30	0:20	0:25
T_c [h: min]	30	18	26	24:40



Slika 31: Hidrogrami porečja Meže do Črne

Preglednica 23: Časovni parametri hidrogramov porečja Meže do Črne

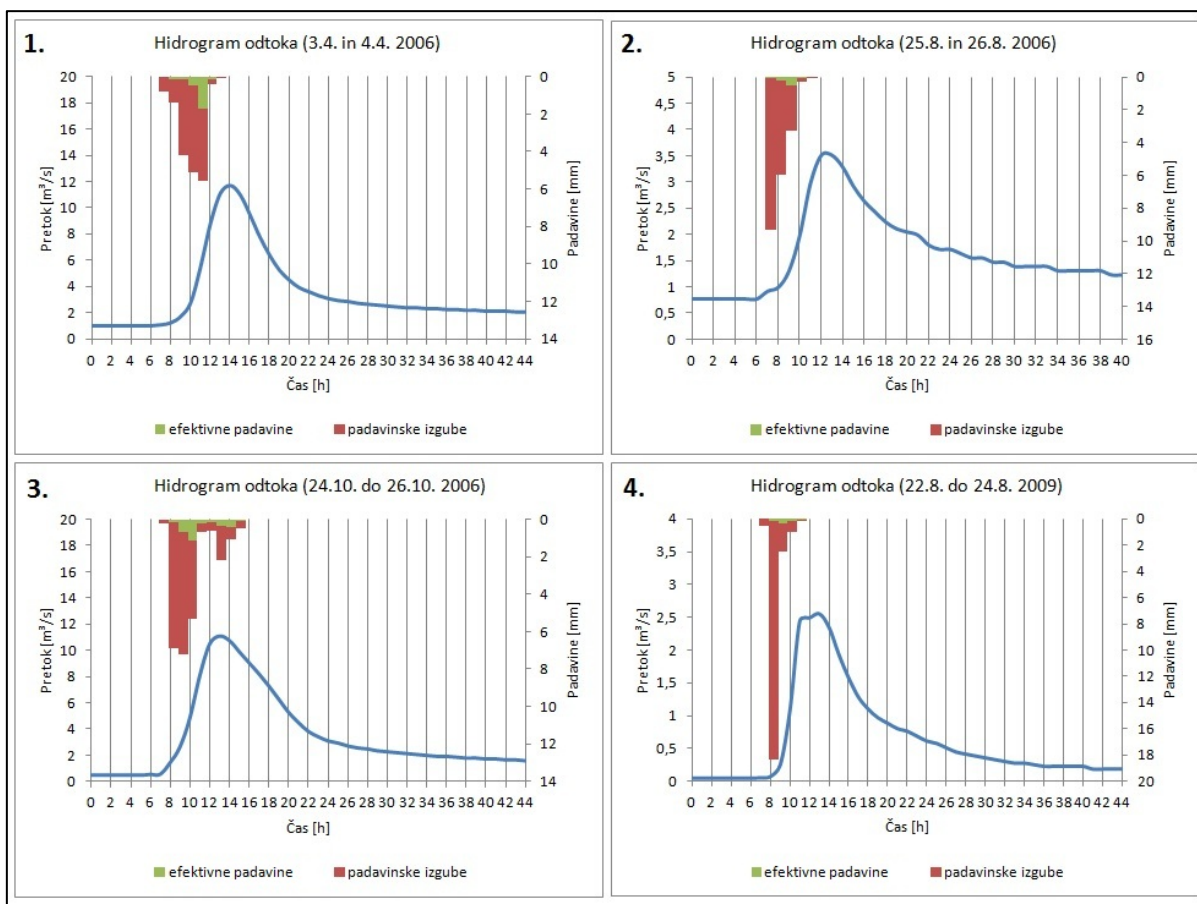
Vodotok	Meža do Črne			
	1.	2.	3.	Povprečje
Hidrogram	1.	2.	3.	Povprečje
T_{ef} [h: min]	4	7	8	6:20
T_p [h: min]	4	7	3	4:40
T_{p1} [h: min]	1	1:40	1:10	1:15
T_c [h: min]	19	17	9	15



Slika 32: Hidrogrami porečja Sevnične

Preglednica 24: Časovni parametri hidrogramov porečja Sevnične

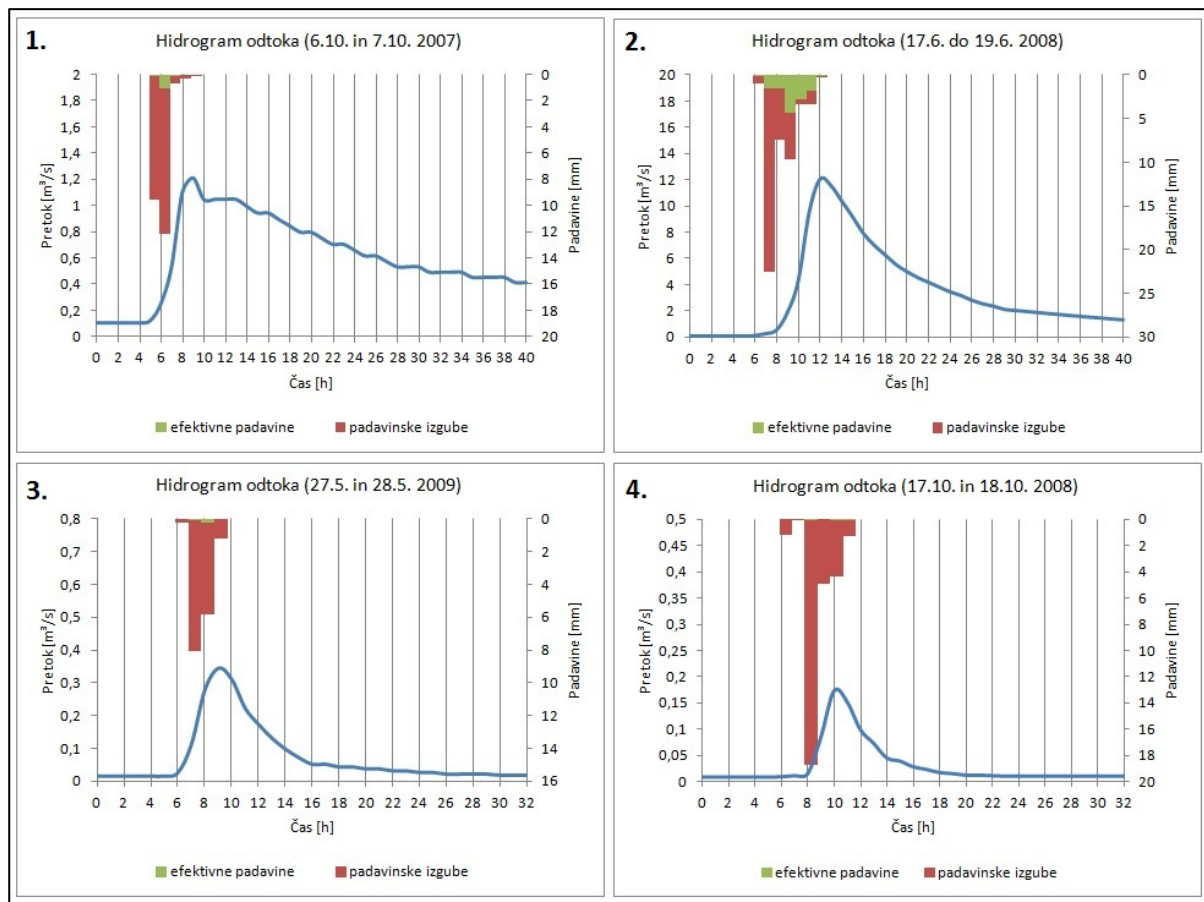
Vodotok	Sevnična				
Hidrogram	1.	2.	3.	4.	Povprečje
T_{ef} [h: min]	7	9	5	7	7
T_p [h: min]	5	6	5	7	6:15
T_{p1} [h: min]	1:30	1:05	1:50	2:50	1:45
T_c [h: min]	21	16	16	22	18:45



Slika 33: Hidrogrami porečja Mestinjšče

Preglednica 25: Časovni parametri hidrogramov porečja Mestinjšče

Vodotok	Mestinjšča				
Hidrogram	1.	2.	3.	4.	Povprečje
T_{ef} [h: min]	4	3	6	3	4
T_p [h: min]	6	5	5	5	5:15
T_{p1} [h: min]	3:20	3:15	2:15	3	3
T_c [h: min]	12	18	14	18	15:30



Slika 34: Hidrogrami porečja Drnice

Preglednica 26: Časovni parametri hidrogramov porečja Drnice

Vodotok	Drnica				
Hidrogram	1.	2.	3.	4.	Povprečje
T_{ef} [h: min]	4	5	2	4	3:45
T_p [h: min]	4	6	2	4	4
T_{p1} [h: min]	2:45	2:40	1:05	1:10	1:40
T_c [h: min]	18	16	11	14	14:45

8 PRIMERJAVA REZULTATOV EMPIRIČNIH ENAČB IN MERJENIH PODATKOV

Empirične enačbe za izračun časa zakasnitve in koncentracije so narejene in umerjene za porečja, ki imajo vrednosti določenih parametrov v natančno določenem razponu uporabnosti. Nekateri avtorji so poleg enačb natančno specificirali, v kakšnem razponu je enačba umerjena, v večini primerov pa so omejitve manj natančne. Primer tovrstnih nenatančnih omejitev je npr. delitev le na ravninska in hribovita porečja ali urbanizirana in ruralna. Izračune smo opravili z vsemi empiričnimi enačbami, kljub pričakovanim večjim odstopanjem pri nekaterih metodah. Pri predstavitvi rezultatov smo natančneje analizirali rezultate, ki kažejo ujemanje z merjenimi podatki in zapisali metode, ki niso primerne za porečja s podobnimi značilnostmi, kot jih imajo analizirana. Pri teh metodah se računski rezultati od merjenih vsaj pri dveh porečjih razlikujejo za več kot 3-kratno vrednost. Vsi izračuni časovnih parametrov z empiričnimi enačbami so podani v prilogi B.

8.1 Čas zakasnitve

Najboljše rezultate za čas zakasnitve smo v splošnem dobili z metodo Snyder. V enačbi je poleg dolžine glavnega toka in dolžine glavnega toka do profila, najbližje centroidu porečja, potrebno določiti še koeficient porečja C_t . Odvisen je od razgibanosti reliefa porečja in ima vrednosti med 1.8 in 2.2. Privzeta vrednost za izbrana porečja je bila 1.8. Primerjava med merjenimi podatki in rezultati je podana v preglednici 27.

Preglednica 27: Rezultati in odstopanja izračunov po metodi Snyder

Vodotok	T_p – povp. meritev [h]	T_p – metoda Snyder [h]	Odstopanje [%]
Koritnica	3,33	5,68	+70
Tržiška Bistrica do Preske	7,5	6,28	-16,3
Kamniška Bistrica do Kamnika	5	5,27	+5,4
Meža do Črne	4,66	5,14	+10,3
Sevnična	6	6,15	+2,5
Mestinjščica	5,25	5,75	+9,5
Drnica	4,5	4,75	+5,5

Rezultati kažejo, da je največje odstopanje časa zakasnitve pri porečju Koritnice. Relief porečja je izrazito bolj strm od ostalih, čas zakasnitve pri vseh meritvah pa je bil krajši od izračunanega. Povprečen naklon porečja je med najbolj vplivnimi faktorji na hitrost odtoka in s tem na čas zakasnitve. Izračunani časi pri porečjih z najmanjšimi povprečnimi nakloni so se od meritev razlikovali le do 10 odstotkov. Ker se porečje Koritnice od drugih porečij bistveno razlikuje le v

naklonu, lahko sklepamo, da je enačba uporabna pri porečjih z manjšim povprečnim naklonom. To niti ni presenetljivo, saj naklon v Snyderjevi enačbi ni neposredno upoštevan. Za Porečje Koritnice smo najboljše rezultate dobili po metodi SCS (preglednica 28), ki pri izračunu časa neposredno upošteva tudi naklon porečja. Prav tako je metoda SCS dala najboljšo oceno časa zakasnitve za porečje Tržiške Bistrice, ki ima prav tako velik naklon.

Preglednica 28: Rezultati in odstopanja izračunov časa zakasnitve

Vodotok	Povprečje meritev	Tulsa District		Denver		SCS		James	
	T_{p1} [h]	T_{p1} [h]	[%]	T_{p1} [h]	[%]	T_{p1} [h]	[%]	T_{p1} [h]	[%]
Koritnica	1,83	1,43	-21	1,55	-15	1,83	0	2,12	+15
Tržiška Bistrica do Preske	2,5	1,34	-46	1,51	-39	2,52	0	2,37	-5
Kamniška Bistrica do Kamnika	0,42	1,41	+335	1,46	+347	2,50	+594	2,81	+668
Meža do Črne	1,25	1,34	+7	1,47	+17	1,67	+33	2,12	+69
Sevnična	1,83	1,8	-1	2,46	+34	2,34	+27	2,51	+37
Mestinjščica	3	1,76	-41	2,78	-7	2,90	-3	4,35	+44
Drnica	1,66	1,39	-16	1,92	+15	1,78	+7	2,36	+41

Iz preglednice 28 je razvidno, da nobena empirična metoda ni tako univerzalna, da bi z njo dobili najboljše ocene časov zakasnitve za vsa porečja. Rezultati so pričakovani, saj smo želeli preveriti enačbe tudi na porečjih, za katera enačbe v osnovi niso namenjene. Pri metodah SCS in Denver ugotovimo, da se sicer rezultati za večino porečij z različnimi značilnostmi precej dobro ujemajo, z izjemo gorvodnih porečij Kamniške Bistrice, kjer je odstopanje absolutno preveliko.

Za zgornji del porečja Kamniške Bistrice se je kot edina uporabna metoda za izračun časa zakasnitve izkazala metoda Snyder. Vse ostale metode močno precenjujejo čas zakasnitve. Porečje ima veliko prispevno površino in hribovit relief, ki pripomore k izredno hitremu površinskemu odtoku. V empiričnih enačbah taki faktorji niso zajeti, zaradi velikosti porečja pa so izračunani časi zakasnitve precej daljši.

Metodi Putnama in Espeya sta izrazito neuporabni za vsa porečja, kar je bilo pričakovano, saj sta umerjeni za ravninska porečja z zelo majhnimi padci. Najmanjše odstopanje pri Espeyevi metodi smo dobili za porečje Drnice, pri katerem se značilnosti porečja najmanj razlikujejo od predpisanih.

Kljub vsemu pa je odstopanje znatno, saj znaša 30 %. Pri Putnamovi metodi so vsi izračunani časi zakasnitev do 8 krat krajši od merjenih.

8.2 Čas koncentracije

Čas koncentracije je v splošnem najbolje ocenila metoda Federal Aviation, ki je dala dobre rezultate za porečja Meže, Sevnične in Drnice (preglednica 29). Porečja imajo majhno površino, majhen naklon vodnih poti in relief brez izrazitih hribovitih in goratih področij, ki bi povzročale hitrejši površinski odtok. Za porečja z strmejšim naklonom je izračunan čas koncentracije prekratek.

Preglednica 29: Rezultati in odstopanja izračunov po metodi Federal Aviation

Vodotok	T_c – povp. meritev [h]	T_c – metoda Federal Aviation [h]	Odstopanje izračuna [%]
Koritnica	12,66	10,01	-21
Tržiška Bistrica do Preske	28	14,80	-48
Kamniška Bistrica do Kamnika	24,66	14,57	-40
Meža do Črne	15	13,34	-11
Sevnična	18,75	18,16	-4
Mestinjščica	15,5	26,08	+68
Drnica	14,75	15,65	+6

Čas koncentracije smo izračunali tudi s kombinacijo metod Kerbyja in Ramserja. Z metodo Kerby smo izračunali čas potovanja vode po površju do točke stekanja v strugo vodotoka. Z metodo Ramser pa smo izračunali preostali del poti v strugi do iztoka. Metoda Kerby je primerna za porečja, kjer prevladuje površinski tok in se uporablja za del površinskega toka vode (Thompson, 2007). Površinski tok lahko razdelimo na nekoncentriran in plitev tok. Za računanje hitrosti plitvega toka po površju se lahko uporablja tudi enačba SCS-TR55. Za izbrana porečja smo primerjali hitrosti toka s to metodo in odčitane hitrosti iz slike 34 (hitrosti površinskega toka za oceno T_c). Ker metoda TR55 ne upošteva hrapavosti površine, so se hitrosti toka zelo razlikovale, zato smo celoten površinski tok izračunali z metodo Kerby.

Iz preglednice 30 je razvidno, da so časi koncentracije, izračunani s kombinacijo metod Kerbyja in Ramserja, za približno 80 % manjši od merjenih. Pri izračunih smo ugotovili, da so predvsem vrednosti toka v strugi zelo majhne in da izračuni z metodo Ramserja niso ustrezni. Enačba določa čas koncentracije v odvisnosti od dolžine struge in povprečnega vzdolžnega padca.

Lahko trdimo, da enačba za povprečne padce na izbranih porečjih ni ustrezna in bi bilo potrebno korigirati konstantni faktor enačbe.

Rezultati po metodi Clarka so pričakovano podali predolge čase zakasnitve. Enačba je umerjena za ravninska porečja, kjer so nakloni vodotokov od 10 do 20 % velikosti naklonov na izbranih porečjih v Sloveniji. Presenetljivo pa smo za porečji Tržiške Bistrice in Kamniške Bistrice dobili s Clarkovo metodo razmeroma dobre rezultate. Razlog je verjetno v tem, da je površinski tok na porečju Kamniške Bistrice najdaljši in poteka po razmeroma ravnem delu sicer hribovitega območja na podporečju Nevljice. Porečje Tržiške Bistrice ima veliko površino in del porečja je manj strm z posameznimi depresijami. Zaradi tega površinski odtok traja dlje časa (slika 29) in je najbolj natančno izračunan s Clarkovo metodo.

Preglednica 30: Rezultati in odstopanja izračunov časa koncentracije

Vodotok	Povprečje meritev	Kerby + Ramser		Clark	
	T_c [h]	T_c [h]	[%]	T_c [h]	[%]
Koritnica	12,66	2,21	-83	26,03	+106
Tržiška Bistrica do Preske	28	2,33	-82	30,10	+7
Kamniška Bistrica do Kamnika	24,66	3,84	-85	32,25	+31
Meža do Črne	15	3,12	-80	30,84	+100
Sevnična	18,75	4,35	-77	38,62	+105
Mestinjščica	15,5	4,61	-71	44,20	+185
Drnica	14,75	3,37	-78	33,46	+126

Metode Carterja, USBR, NRCS in Bransby-Williams za porečja v Sloveniji očitno niso ustrezne. Ker so umerjene za ravninska območja, ki so značilna na večjem delu osrednjega ozemlja ZDA, za hribovitejši teren podajo prekratke čase zakasnitve. Izračunano trajanje zakasnitve z uporabo teh metod je v primerjavi z meritvami 4-krat do 6-krat krajše.

9 ZAKLJUČKI

Porečja so naravni sistemi in kot taki podvrženi nenehnim vplivom in spremembam. Med drugim nanje vpliva tudi človek s svojimi dejavnostmi. Zbiranje podatkov, ki jih vnašamo v hidrološke modele mora biti zato temu prilagojeno. Vplivni faktorji se spreminjajo kratkoročno, na primer pri spremembah vremena in ostalih meteoroloških pojavih, kot tudi srednje in dolgoročno ob menjavi letnih časov ali večjih posegih na urbanih in naravnih površinah.

Opisali smo osnovne spremembe na hidrogramih ob pojavu posameznega vpliva, hidrološko modeliranje pa od nas zahteva upoštevanje prepletenih in kompleksnih vplivov. Pri izdelavi modelov ima zato poleg zbiranja in določanja značilnosti porečja, velik pomen tudi njihovo obnavljanje.

Literatura, ki obravnava časovne parametre hidrogramov, je obsežna. Določene parametre in njihove definicije uporablja več različnih avtorjev, nekateri raziskovalci pa pri svojih raziskavah in analizah uporabljajo svoje parametre. V nalogi so ti parametri zbrani in pregledno predstavljeni, kar nam omogoča primerjavo z ostalimi časovnimi parametri. V primerih različnih definicij so le-te našteje. Pri uporabi enačb za določanje posameznih parametrov, imamo v večini primerov pripisan pomen posameznega vhodnega in izhodnega podatka skupaj z merskimi enotami. Pri času zakasnitve in času koncentracije, ki imata največje število različnih definicij, je potrebno pozorno upoštevati pomen posameznih vhodnih podatkov.

Določanje časa koncentracije s hitrostno metodo nam da natančne rezultate, kadar prevladuje tok po manj prepustnih in neprepustnih površinah brez medtoka, sicer je izračunan čas običajno prekratek.

Pri analizah obstoječih hidrogramov je potrebno izbrati eno izmed mnogih metod za izločanje baznega odtoka. Rezultati nam podajo različne hidrograme površinskega odtoka in tako tudi različne čase zakasnitve. Neustrezna izbira metode ločevanja baznega odtoka lahko skrajša ali podaljša trajanje površinskega odtoka in posledično časovnih parametrov.

Empirične enačbe za določanje časov zakasnitve ali koncentracije nastajajo s temeljito analizo značilnosti določene skupine porečij in za njih podajo precej natančne rezultate odtoka oziroma časovnih parametrov. Enačbe zajemajo vplivne faktorje porečij, katerih lastnosti so navadno opisane ob sklopu enačb. Rezultati naloge kažejo, da večji kot so odmiki značilnosti obravnavanega porečja, manj točni in zanesljivi bodo rezultati. Uporaba katere koli metode tako zahteva tehten razmislek o primernosti, za kar pa potrebujemo predznanje in poznavanje osnov, zadostno količino informacij in meritev ter potrpežljivost pri izdelavi izračunov in interpretaciji rezultatov.

Na območju Slovenije smo izbrali manjša porečja, ki imajo na vodotoku avtomatsko merilno postajo. Tako smo iz meritev za obdobje desetih let iz urnih podatkov o pretokih izbrali poplavne valove in skupaj z merjenimi padavinami določili hidrograme površinskega dela odtoka. Manjša porečja smo izbrali tudi zato, ker smo uporabili empirične enačbe, ki so umerjene predvsem za območja s površinami do 280 km^2 .

Pri analiziranju meritev smo ugotovili, da potrebujemo za določitev primernih hidrogramov obsežno bazo podatkov. Razlog so specifični padavinski dogodki, ki povzročijo površinski odtok, iz katerih lahko časovne parametre določimo dovolj natančno. Izbrali smo dogodke s sušnim obdobjem pred in po čim bolj enakomernim padavinskem dogodkom. Le iz takih hidrogramov smo lahko korektno odčitali karakteristične pojave na hidrogramih in histogramih in izračunali časovne parametre.

Vhodne podatke za izračun empiričnih enačb smo določili z uporabo GIS-ov in brez terenskih meritev in opazovanj. Potrebne lastnosti porečij smo dobili z analizo podatkovnih slojev, ki so brezplačno dostopni na straneh državnih ministrstev in agencij. Za natančnejše analize, ki sicer niso potrebne za uporabo empiričnih enačb, je potrebno pridobiti in analizirati plačljive podatke.

Empirične enačbe, ki so umerjene za porečja s podobnimi lastnostmi kot jih analiziramo, so lahko uporabno orodje za določanje časovnih parametrov na manjših porečjih. Na splošno za uporabo enačb velja inženirska presoja in izkušnje. Pomembno je upoštevati omejitve, ki so značilne za posamezne enačbe, kar pomeni, da jih uporabimo samo na porečjih s podobnimi značilnostmi, kot so jih imela porečja, za katera je bila enačba narejena. Za izbrana porečja v Sloveniji, ki smo jih obravnavali v nalogi in imajo primerljive lastnosti, so se izkazale kot najbolj uporabne: metodi Snyder in SCS za izračun časa zakasnitve in metoda Federal Aviation za izračun časa koncentracije. Kombinacija metod Kerby in Ramser pričakovano podcenjuje čase koncentracije, enačba Clarka pa precenjuje. Časi zakasnitve po metodah Tulsa District, Denver in James so za nekatera porečja zadovoljivi, pri nekaterih pa so pogoški veliki. Pri teh metodah tudi nismo ugotovili korelacije med lastnostmi porečij in natančnostjo izračuna, zato te enačbe za praktično uporabo na izbranih porečjih niso uporabne brez primerjave z meritvami in izločitve izračunov s prevelikim odstopanjem.

VIRI

Abustan, I., Sulaiman, A., Wahid, N.A., Baharudin, F. 2008. Determination of rainfall-runoff characteristics in an urban area: Sungai Kerayong catchment, Kuala Lumpur. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, 1-5 September 2008. Str. 1-10
http://eprints.usm.my/13533/1/determination_of_rainfall.pdf (Pridobljeno 10. 3. 2012.)

Agencija republike Slovenije za okolje (ARSO). 2012. Hidrološki podatki.
<http://www.arso.gov.si/> (Pridobljeno 28. 2. 2012.)

Atlas okolja. 2012.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (Pridobljeno 3. 3. 2012.)

Blue Marble Geographics. 2012. Global Mapper

<http://www.bluemarblegeo.com/global-mapper/> (Pridobljeno 22. 4. 2012.)

Brilly, M., Šraj, M. 2006. Modeliranje površinskega odtoka in navodila za program HEC-HMS. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 172 str.

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. 1988. Applied hydrology. Singapur, McGraw-Hill Book Company: 572 str.

Cizelj, M. 2006. Gospodarski razvojni cikli v občini Sevnica. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo (samozaložba M. Cizelj): 86 str.

Daniil, E.I., Michas, S.N., Lazaridis, L.S. 2005. Hydrologic modeling for the determination of design discharges in ungauged basins. Global Nest Journal 7, 3: 10.

http://www.gnest.org/journal/Vol7_No3/paper_10_DANIIL_381.pdf (Pridobljeno 26. 1. 2012.)

Davie, T. 2008. Fundamentals of hydrology. London, Taylor and Francis Group: 221 str.

Državna meteorološka služba. 2012.

<http://meteo.arso.gov.si/> (Pridobljeno 4. 3. 2012.)

EIONET. 2012.

<http://nfp-si.eionet.europa.eu/> (Pridobljeno 5. 4. 2012.)

ESRI. 2012. ArcGis for Desktop, ArcMap 10.

<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/index.html> (Pridobljeno 10. 3. 2012.)

Fang, X., Cleveland, T., Garcia, C.A., Thompson, D., Malla, R. 2005. Literature review on timing parameters for hydrographs. Texas, Lamar University, Department of Civil Engineering: 83 str.

Fang, X., Pradhan, P., Malla, R. 2006. Estimating time of concentration for Texas watersheds. Texas, Lamar University, Department of Civil Engineering: 14 str.

Geo Factsheet, 2000. Storm hydrographs. Geo Factsheet 83: 4.

http://www.geographypods.com/uploads/7/6/2/2/7622863/83_storm_hydrograph.pdf

(Pridobljeno 9. 1. 2012.)

Golob, A. 2012. Časovni parametri hidrograma. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba A. Golob): 68 str.

McEnroe, B.M., Zhao, H. 1999. Lag times and peak coefficients for rural watersheds in Kansas. Final report. University of Kansas and Kansas department of transportation: 45 str.

MetED. 2011. Runoff Processes. Understanding the Hydrologic Cycle.

https://www.meted.ucar.edu/training_detail.php?page=1&topic=9&language=1&orderBy=publishDateDesc (Pridobljeno dne 4. 1. 2012.)

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Muller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. Acta hydrotehnica 20, 32. Ljubljana, str. 144, 146, 167, 170, 181. ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a32_1.pdf (Pridobljeno 10. 11. 2011.)

Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. 2012. Pedološka karta.

<http://rkg.gov.si/GERK/> (Pridobljeno 20. 3. 2012.)

Musy, A., Higy, C. 2004. Hydrology: A science of nature. Enfield, Science publishers: 316 str.

Občina Bovec. 2012.

<http://obcina.bovec.si/> (Pridobljeno 2. 5. 2012.)

Občina Črna na Koroškem. 2012.

<http://www.crna.si/> (Pridobljeno 2. 5. 2012.)

Občina Kamnik. 2012.

<http://www.kamnik.si/> (Pridobljeno 3. 5. 2012.)

Občina Trzič. 2012.

<http://www.trzic.si/> (Pridobljeno 2. 5. 2012.)

Pandi, G. 2010. The Analysis of Flood Waves. Air and Water Components of the Environment Conference, "Babes-Bolyai" University Cluj Napoca Faculty of Geography: 10 str.

http://conference.ubbcluj.ro/aerapa/2010/pdf/PGabor_1.pdf (Pridobljeno 9. 11. 2011.)

Pugelj, A. 2012. Analizavisokovodnih valov Save v Šentjakobu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba A. Pugelj): 98 str.

Rao, R.A., Delleur, J.W., 1973. Instantaneous unit hydrographs, peak discharges and time lags in urban basins. Lafayette, Purdue University: 14 str.

Rigon, R., Rodriguez-Iturbe, I., Maritan, A., 1996. On Hack's law. Water resources research 32, 11: 367 - 374.

Sekirnik, J. 2005. Geografske zasnove lokalne agende občine Šmarje pri Jelšah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo (samozaložba J. Sekirnik): 91 str.

Shaw, E.M. 1994. Hydrology in practice. London, Taylor and Francis Group: 628 str.

Simas, M.J. C. 1996. Lag time characteristics in small watersheds in the United States. Phoenix, University of Arizona: 170 str.

Sovre, K. 2009. Hidrološka študija visokih voda Bistrice v porečju Sotle. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Sovre): 113 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 26. 11. 2011.)

The World Meteorological Organization (WMO). 1994. Guide to Hydrological Practises: 770 str.

<http://www.scribd.com/doc/18116781/WMO168-Guide-to-Hydro-Logical-Practices>

(Pridobljeno 16. 11. 2011.)

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 7. 3. 2012.)

Viessman, W., Lewis, G. 2003. Introduction to hydrology. London, Prentice hall: 612 str.

Ward, A.D., Trimble, S.W. 2004. Environmental hydrology. Boca Raton, Lewis Publishers: 475 str.

Yue, S., Ouard, T., Bobee, B., Legendre, P., Bruneau, P. 2002. Approach for describing statistical properties of flood hydrograph. A construction of annual typical flood hydrograph. DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:2(147): 7 str.

http://ascelibrary.org/heo/resource/1/jhyeff/v7/i2/p147_s1?isAuthorized=no (Pridobljeno 17. 11. 2011.)

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A1: POKROVNOST TAL IZBRANIH POREČIJ

PRILOGA A2: PEDOLOŠKA ZGRADBA IZBRANIH POREČIJ

PRILOGA B: REZULTATI EMPIRIČNIH ENAČB ZA ČASOVNE PARAMETRE

PRILOGA A.1: POKROVNOST TAL IZBRANIH POREČIJ

	Koritnica		Tržiška Bistrica do Preske		Kamniška Bistrica do Kamnika		Meža do Črne	
	A [km ²]	%	A [km ²]	%	A [km ²]	%	A [km ²]	%
Pokrovnost tal								
Listnati gozd	20,67	25,1	1,94	1,6	38,60	20,1	0,20	0,2
Iglasti gozd	0,00		51,25	42,9	6,74	3,5	57,21	63,6
Mešani gozd	6,69	8,1	38,44	32,2	74,41	38,8	14,08	15,6
Naravni travniki	1,77	2,1	2,82	2,4	5,50	2,9	0,25	0,3
Barja in resave	23,28	28,3	6,64	5,6	10,02	5,2	9,32	10,4
Grmičast gozd	12,60	15,3	2,17	1,8	4,04	2,1	0,31	0,3
Golo skalovje	5,41	6,6	3,19	2,7	9,52	5,0	0,60	0,7
Redko porasle površine	9,38	11,4	6,56	5,5	5,89	3,1	0,11	0,1
Nenamakane njivske površine	0,05	0,1						
Vinogradi								
Sadovnjaki in nasadi jagodičja								
Pašniki	0,68	0,8	0,76	0,6	5,49	2,9	5,48	6,1
Kmetijske površine drobnoposestniške strukture					8,29	4,3	0,00	
Pretežno kmetijske površine z večjimi območji vegetacije	1,80	2,2	4,76	4,0	21,80	11,4	2,20	2,4
Nesklenjene urbane površine			0,87	0,7	1,51	0,8	0,24	0,3
Industrija, trgovina			0,01	0,0				

	Sevnična		Mestinjščica		Drnica	
	<i>A [km²]</i>	%	<i>A [km²]</i>	%	<i>A [km²]</i>	%
Pokrovnost tal						
Listnati gozd	21,42	49,1	30,94	23,1	5,09	16,1
Iglasti gozd	0,32	0,7	0,23	0,2	0,00	
Mešani gozd	6,15	14,1	11,02	8,2	7,23	22,9
Naravni travniki	0,02	0,0				
Barja in resave						
Grmičast gozd					1,63	5,2
Golo skalovje						
Redko porasle površine						
Nenamakane njivske površine	0,27	0,6	1,94	1,4		
Vinogradi			0,33	0,2	2,07	6,6
Sadovnjaki in nasadi jagodičja			0,52	0,4	0,38	1,2
Pašniki	3,29	7,5	6,27	4,7	0,00	
Kmetijske površine drobnoposestniške strukture	4,16	9,5	58,11	43,3	12,47	39,5
Pretežno kmetijske površine z večjimi območji vegetacije	7,18	16,5	23,70	17,7	2,12	6,7
Nesklenjene urbane površine	0,66	1,5	0,76	0,6	0,60	1,9
Industrija, trgovina	0,12	0,3	0,27	0,2		

	Sevnična		Mestinjščica		Drnica	
	A [km ²]	%	A [km ²]	%	A [km ²]	%
Ni tal (golo skalovje)						
Rendzina na apnencu in dolomitu	15,40	35,3				
Rendzina na moreni in pobočnem grušču						
Rendzina na mehkih karbonatnih kamninah					1,20	3,6
Rjava pokarbonatna tla na apnencu in dolomitu			2,17	1,9		
Distrična rjava tla na mešanih karbonatnih in nekarbonatnih kamninah	2,67	6,1				
Distrična rjava tla na klastičnih zemljinah			41,64	37,4		
Distrična rjava tla na magmatskih kamninah						
Distrična rjava tla na skrilavcih in peščenjakih	17,04	39,1				
Distrična rjava tla na metamorfnih kamninah						
Evtrična rjava tla na klastičnih zemljinah	0,56	1,3	22,64	20,3		
Evtrična rjava tla na laporju	4,60	10,5	18,38	16,5		
Evtrična rjava tla na mešanih karbonatnih in nekarbonatnih kamninah	2,86	6,6	7,48	6,7		
Evtrična rjava tla in karbonatna rjava tla na flišu					25,96	78,0
Evtrična rjava tla na peščeno prodnatih sedimentih						
Obrežna tla, evtrična			2,50	2,2	3,83	11,6
Hipoglej, evtričen, mineralen			9,42	8,5	1,10	3,3
Rigolana tla, evtrična			7,11	6,4	0,97	2,9

PRILOGA B: REZULTATI EMPIRIČNIH ENAČB ZA ČASOVNE PARAMETRE

	Koritnica	Tržiška Bistrica do Preske	Kamniška Bistrica do Kamnika	Meža do Črne	Sevnična	Mestinjščica	Drnica
T_p [h]							
Snyder	5,68	6,28	5,27	5,14	6,15	5,75	4,75
Tulsa District	1,43	1,34	1,41	1,34	1,80	1,76	1,39
Riverside County	1,21	1,14	1,19	1,13	1,52	0,89	0,71
Denver	1,55	1,51	1,46	1,47	2,46	2,78	1,92
Espey	0,54	0,61	0,59	0,53	0,87	1,43	1,18
Putnam	0,11	0,17	0,14	0,30	0,41	0,52	0,39
Simas in Hawkins	4,40	6,60	6,20	4,43	2,79	6,54	3,04
SCS	1,83	2,52	2,50	1,67	2,34	2,90	1,78
James	2,12	2,37	2,81	2,12	2,51	4,35	2,36
T_c [h]							
Carter	2,57	2,68	2,94	2,55	3,60	4,90	3,42
Federal Aviation	10,01	14,80	14,57	13,34	18,16	26,08	15,65
USBR	1,11	1,55	2,06	1,33	1,94	3,82	1,86
NRCS	1,97	3,41	3,59	2,55	2,89	4,29	2,15
Bransby- Williams	6,88	6,53	8,33	7,17	9,66	9,09	6,88