

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Zupančič, N., 2013. Vpliv vegetacije na odtoke v urbanem okolju. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M., somentor Brilly, M.): 47 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Zupančič, N., 2013. Vpliv vegetacije na odtoke v urbanem okolju. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M., co-supervisor Brilly, M.): 47 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**PRVOSTOPENJSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
OKOLJSKO INŽENIRSTVO (UN)**

Kandidat/-ka:

Diplomska naloga št.: 17/B-VOI

Graduation thesis No.: 17/B-VOI

Mentorica:

Predsednik komisije:

(. dr.)

Somentor:

Ljubljana, 24. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Nejc zupančič izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »**Vpliv vegetacije na odtoke v urbanem okolju**«.

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

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

Ljubljana, september 2013

Nejc Zupančič

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	556.16(497.4)(043.2)
Avtor:	Nejc Zupančič
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Somentor:	prof. dr. Mitja Brilly
Naslov:	Vpliv vegetacije na odtoke v urbanem okolju
Tip dokumenta:	diplomsko delo
Obseg in oprema:	47 str., 30 pregl., 21 sl.
Ključne besede:	Padavine, površinski odtok, SCS metoda, racionalna metoda, vegetacija, urbano okolje

Izvleček

Mnogi avtorji so s svojimi raziskavami in analizami dokazali povečanje odтока ter onesnaževanje podtalnice in zraka zaradi pomanjkanja zelenih površin in prevelike količine neprepustnih površin v urbanem okolju. To lahko razložimo z manjšo stopnjo infiltracije v urbanem okolju, poleg tega pa vegetacija s procesom prestrezanja padavin uravnava zelo pomemben dejavnik, in sicer površinski odtok.

V teoretičnem delu naloge so predstavljeni osnovni pojmi, ki so pomembni za razumevanje vpliva spremembe rabe tal na odtoke. Podrobneje je predstavljena racionalna metoda, ki je ena izmed najpogosteje uporabljenih metod za določanje maksimalnega odтока. Empirična metoda se največkrat uporablja pri dimenzioniranju kanalizacije meteornih vod z urbaniziranih površin, primerna pa je tudi za določanje največjih pretokov z manjših ruralnih porečij.

V nalogi smo uporabili program Green Values™ National Stormwater Management Calculator, s pomočjo katerega smo ugotavljali vpliv zasaditve dreves na odtoke z izbranega parkirišča. Hkrati smo analizirali tudi stroške in koristi.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	556.16(497.4)(043.2)
Author:	Nejc Zupančič
Supervisor:	Assist. Prof. Mojca Šraj, PhD.
Cosupervisor:	Prof. Mitja Brilly, PhD.
Title:	Impact of vegetation on urban runoff
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	47 p., 30 tab., 21 fig.
Keywords:	Precipitation, runoff, SCS method, rational method, vegetation, urban environment

Abstract

Many authors have proven with their research and analyses that increase of flow and pollution of groundwater and air is linked with shortage of urban vegetation and increase of impervious areas in urban environment. The explanation lies in decreased infiltration in urban environment and decrease of intercepted precipitation by urban vegetation which balances runoff.

In theoretical part of the thesis we presented basic concepts which are important for understanding impact of surface type on runoff. We presented rational method in detail because it is one of the main methods for determining maximum peak discharge. This empirical method is mostly used when dimensioning the sewage system for runoff from urban areas. The method is also suitable for determining maximum peak discharge from smaller rural areas.

Green ValuesTM National Stormwater Management Calculator was used in this work. With help of this program we tried to determine impact of planted trees on runoff from parking lot. We used the same program to estimate costs and benefits of such development in this area.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Šraj za njeno strokovno pomoč in veliko njenega časa. Prav tako bi se rad zahvalil svoji družini za podporo in spodbujanje v času študija.

KAZALO VSEBINE

KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	X
1 UVOD	1
2 PADAVINE IN PADAVINSKE IZGUBE.....	2
2.1 Padavine	2
2.2 ITP krivulje	3
2.2.1 Intenziteta.....	4
2.2.2 Trajanje	4
2.2.3 Povratna doba	5
2.3 Padavinske izgube	5
2.3.1 SCS model padavinskih izgub	6
3 POVRŠINSKI ODTOK	12
3.1 Racionalna metoda	13
3.1.1 Koeficient odtoka.....	14
3.1.2 Intenziteta padavin	15
3.1.3 Čas koncentracije	17
4 VPLIV VEGETACIJE NA POVRŠINSKI ODTOK	18
4.1 Vpliv prestrezanja padavin.....	18
4.2 Prednosti dreves v urbanem okolju	20
4.3 Vpliv dreves na upravljanje meteornih voda	22
5 PREDSTAVITEV PROGRAMA »GREEN VALUES™ NACIONAL STORMWATER MANAGEMENT CALCULATOR«.....	23
5.1 Potrebni vhodni podatki	24
5.1.1 Osnovni podatki.....	24
5.1.2 Lastnosti območja pred dodajanjem zelene infrastrukture	25
5.1.3 Cilji za zmanjšanje odtoka.....	25
5.1.4 Konvencionalni razvoj	25
5.1.5 Zelene izboljšave	25

5.1.6	Napredne možnosti.....	26
5.2	Rezultati	27
6	OPIS IN ZNAČILNOSTI OBRAVNAVANEGA OBMOČJA	28
6.1	Opis obravnavanega območja	28
6.2	Geologija	30
6.3	Padavine.....	31
7	REZULTATI	33
7.1	Varianta 1 – obstoječe stanje.....	33
7.2	Varianta 2	34
7.3	Varianta 3	36
8	ANALIZA IN PRIMERJAVA REZULTATOV	39
8.1	Primerjava obstoječega stanja in variante 2.....	39
8.2	Primerjava obstoječega stanja in variante 3.....	41
9	ZAKLJUČEK.....	44
	VIRI.....	45

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: SCS klasifikacija zemljin in infiltracijske izgube v odvisnosti od vrste zemljine (Brilly in Šraj, 2010: str 44).....	6
Preglednica 2: Koeficienti CN za urbanizirane površine (Brilly in Šraj, 2010: str 146).....	8
Preglednica 3: Koeficienti CN za obdelana kmetijska zemljišča (Brilly in Šraj, 2010: str 147).....	9
Preglednica 4: Koeficienti CN za ostala kmetijska zemljišča (Brilly in Šraj, 2010: str 148).....	10
Preglednica 5: Koeficient odtoka za različne rabe površin (Chow in sod., 1988: str. 498).....	15
Preglednica 6: Primer podatkov za višino padavin z določeno povratno dobo in trajanjem za obdobje od 1948 do 2005 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (ARSO, 2009).....	16
Preglednica 7: Prikaz prihrankov mest pri stroških za upravljanje meteorne vode (EPA, 2013).....	22
Preglednica 8: Intenzitete padavin za postajo Ljubljana-Bežigrad za obdobje 1948-2008 (ARSO, 2009).....	32
Preglednica 9: Dimenzioniranje cest in parkirišč (Lipar, 2013).....	32
Preglednica 10: Raba tal za obstoječe stanje.....	33
Preglednica 11: Odtok za obstoječe stanje.....	34
Preglednica 12: Stroški za obstoječe stanje.....	34
Preglednica 13: Raba tal za varianto 2.....	35
Preglednica 14: Odtok za varianto 2.....	35
Preglednica 15: Stroški za varianto 2.....	36
Preglednica 16: Prednosti zasaditve dreves variante 2.....	36
Preglednica 17: Raba tal za varianto 3.....	37
Preglednica 18: Odtok za varianto 3.....	37
Preglednica 19: Stroški variante 3.....	38
Preglednica 20: Prednosti variante 3.....	38
Preglednica 21: Primerjava rabe tal obstoječega stanja in variante 2.....	39
Preglednica 22: Primerjava odtoka obstoječega stanja in variante 2.....	39
Preglednica 23: Primerjava stroškov izgradnje [EUR] med obstoječim stanjem in varianto 2.....	40

Preglednica 24: Primerjava letnih stroškov vzdrževanja [EUR] med obstoječim stanjem in varianto 2	40
Preglednica 25: Primerjava stroškov vzdrževanja celotnega življenjskega cikla [EUR] med obstoječim stanjem in varianto 2.....	41
Preglednica 26: Primerjava rabe tal obstoječega stanja in variante 3	41
Preglednica 27: Primerjava odтока obstoječega stanja in variante 3	42
Preglednica 28: Primerjava stroškov izgradnje [EUR] obstoječega stanja in variante 3	42
Preglednica 29: Primerjava letnih stroškov vzdrževanja [EUR] med obstoječim stanjem in varianto 3	43
Preglednica 30: Primerjava stroškov vzdrževanja celotnega življenjskega cikla med obstoječim stanjem in varianto 3.....	43

KAZALO SLIK

Slika 1: Totalizator, inštrument za merjenje padavin (US Army Corps of Engineers, 2000)	2
Slika 2: Prikaz ITP krivulj za različne povratne dobe za postajo Ljubljana-Bežigrad (vir podatkov: ARSO, 2009).....	3
Slika 3: Prikaz ITP krivulj v dvojnem logaritmskem merilu za postajo Ljubljana-Bežigrad (vir podatkov: ARSO, 2009).....	4
Slika 4: Grafična predstavitev parametra CN za določitev površinskega odtoka (Brilly in Šraj, 2010)	11
Slika 5: Površinski in podpovršinski odtok vode (Povzeto po MetED, 2011)	13
Slika 6: Primer ITP krivulj za obdobje od 1948 do 2005 za meteorološko postajo Maribor-Tabor	16
Slika 7: Hidrološki krog v gozdu in komponente procesa prestrezanja padavin.....	18
Slika 8: Primer dreves v urbanem okolju (EPA, 2013)	21
Slika 9: Program Green Values™ Stormwater Management Calculator (CNT, 2013).....	23
Slika 10: Primer vnosa vhodnih podatkov in pregleda rezultatov v programu Green Values™ Stormwater Management Calculator (CNT, 2013).....	24
Slika 11: Prikaz odvajanja meteornih vod pod zelenimi površinami (Povzeto po EPA, 2013)	26
Slika 12: Lokacija obravnavanega območja (Geopedia, 2012).....	28
Slika 13: Ortofoto posnetek obravnavanega območja (Geopedia, 2012).....	29
Slika 14: Dejansko stanje obravnavanega območja (foto: Nejc Zupančič).....	29
Slika 15: Obravnavano območje (foto: Nejc Zupančič).....	30
Slika 16: Geološka karta obravnavanega območja (Geopedia, 2012).....	30
Slika 17: Hidrogeološka karta obravnavanega območja (Geopedia, 2012).....	31
Slika 18: Povprečne mesečne padavine in temperatura v Ljubljani (1971-2000) (Diagrami meteoroloških postaj, 2012	31
Slika 19: Obstoječe stanje obravnavanega območja.....	33
Slika 20: Varianta 2.....	35
Slika 21: Varianta 3.....	37

1 UVOD

Hidrologija je veda, ki se ukvarja z gibanjem vode. Njena glavna naloga je preučevanje kroženja vode v naravi in preučevanje njenih lastnosti. Eden od glavnih delov hidrološkega kroga so padavine, ki zajemamo vso vodo, ki pade na zemeljska tla, ne glede na njihovo obliko: dež, sneg, rosenje, toča, sodra, ipd (Brilly in Šraj, 2005).

Drug pomemben člen hidrološkega kroga je površinski odtok, ki predstavlja del padavinskih voda, ki ne izhlapijo in se ne zadržijo na vegetaciji ali v depresijah. Površinski odtok nastane zaradi padavinskega dogodka na obravnavanem območju oziroma porečju. Količina odтока je odvisna od več dejavnikov kot so izhlapevanje, pokrovnost tal, velikost povodja, naklon terena, sposobnost infiltracije in zasičenosti tal ipd (Brilly in Šraj, 2005).

Vegetacija je najpomembnejši dejavnik za reguliranje prehajanja vode iz atmosfere na zemeljska tla. Vegetacija je prva, ki pride v stik s pojavom, ki je za odtoke zelo pomemben in se imenuje prestrezanje padavin (Kozakiv, 2013). Od vegetacije je v veliki meri odvisno koliko padavin bo padlo na tla in koliko jih bo izhlapelo nazaj v ozračje. Iz mnogih raziskav v zadnjem desetletju je znano, da gozd zaradi prestrezanja padavin povečuje izhlapevanje in s tem zmanjšujejo površinski odtok (Šraj, 2003; Kozakiv, 2013). Pomembno vlogo pa ima tudi velikost in vrsta vegetacije, saj vplivata na količino prispele vode do tal.

Prestrežene padavine so vse tiste padavine, ki ostanejo na drevesih (krošnja, deblo, veje, listje) in ne padejo neposredno na tla. Na njih vpliva veliko dejavnikov kot so vrsta padavin, pogostost in trajanje padavin, intenziteta padavin, vrsta dreves, kapaciteta krošenj, klimatski pogoji letnega časa ipd. (Šraj, 2003).

Cilj diplomske naloge je ugotoviti vpliv vegetacije na količino površinskega odтока in s tem povezanimi stroški in koristmi. V teoretičnem delu je predstavljen program Nacional Green Values™ Calculator in vse metode, s pomočjo katerih program izračuna površinski odtok, analizo koristi in stroškov življenjskega cikla infrastrukture in koristi zelenih površin na območjih z veliko neprepustnih in tlakovanih površin (mesta, parkirišča). V praktičnem delu diplomske naloge smo na konkretnem primeru parkirišča s pomočjo programa Nacional Green Values™ Calculator ocenili koristi zasaditve dreves. Prikazano je dejansko stanje in količina odтока obravnavanega območja. Nato smo z dodajanjem zelene infrastrukture (drevesa) na obstoječe stanje obravnavanega območja, prikazali vpliv na odtoke ter materialne stroške. Naredili smo dve različici, ju medsebojno analizirali, naredili primerjave vplivov in koristi/stroškov, ter izbrali najugodnejšo rešitev za izboljšanje obravnavanega območja.

2 PADAVINE IN PADAVINSKE IZGUBE

2.1 Padavine

Padavine so tekoči ali trdni produkti utekočinjenja vodne pare, padli iz oblakov ali izločeni iz zraka na tla (Mikoš in sod., 2003). S pojmom padavine tako zajamemo vso vodo, ki pade na površino zemlje: dež, sneg, rosenje, toča, sodra ipd. Merimo jih z različnimi inštrumenti, ter se jih odčitavamo ročno ali avtomatsko (Brilly in Šraj, 2005). Oblika, v kateri prispejo padavine do zemeljskega površja pa je odvisno od temperature v plasteh zraka, skozi katere voda potuje. In padavine niso le voda, ki pada in nastaja visoko v atmosferi, ampak so vse oblike vodne pare v zemeljskem ozračju in tudi na njenem površju (npr. tudi megla). Padavine so del hidrološkega kroga, ki je razdeljen na štiri večje faze (Golob, 2012):

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

Prvi dve fazi preučuje predvsem meteorologija, medtem ko sta zadnji dve fazi, vodni tok in podtalna voda pomembni za odtok in seveda odvisni od prvih dveh (Gray, 1973).

Za mnoge raziskave in analize v povezavi z vodo, sušo in namakanjem so padavine osnovni podatek. Za merjenje padavin oziroma padavinskega vzorca uporabljamo različne inštrumente, ki jih v osnovi delimo na ročne in avtomatske merilne naprave. Zaradi kontrole in izključitve merskih napak je priporočljivo merjenje na obeh vrstah inštrumentov (Kozakiv, 2013).



Slika 1: Totalizator, inštrument za merjenje padavin (Brilly in Šraj, 2010)

2.2 ITP krivulje

ITP krivulja je razmerje, ki ga lahko zapišemo kot (Minh Nhat in sod., 2006):

$$i = f(T, d) \quad (1)$$

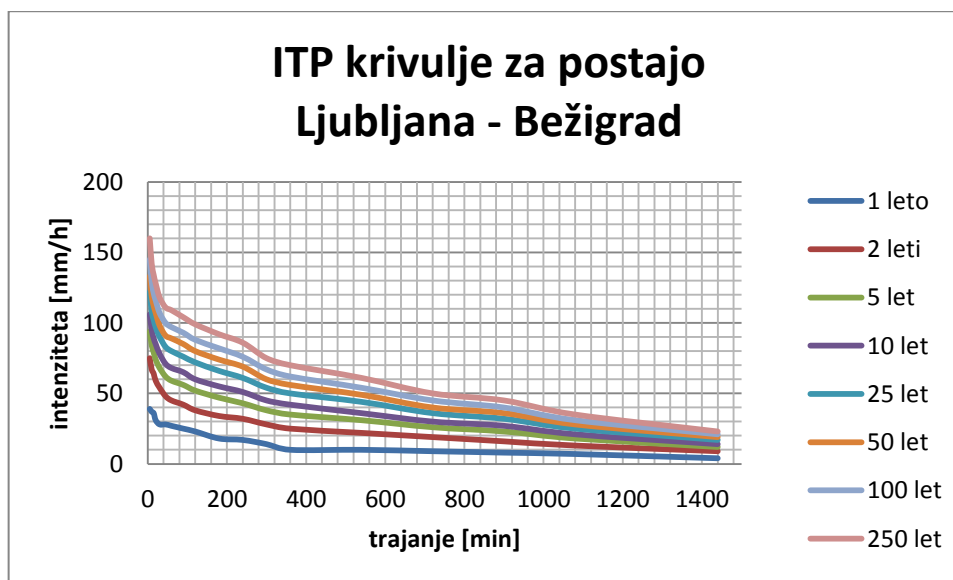
kjer je:

i intenzivnost padavin [mm/h],

T povratna doba [leta],

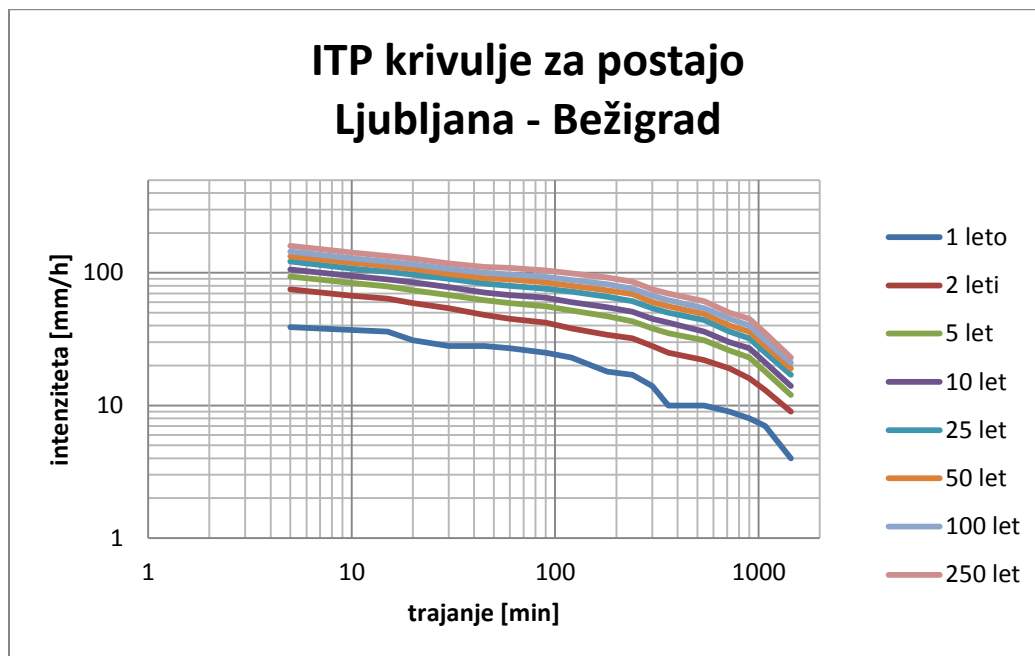
d trajanje padavin [min].

ITP krivulja je pripomoček, ki ponazarja padavinski vzorec na izbranem območju in predstavlja razmerje med intenziteto i in trajanjem padavin d z določeno povratno dobo T . Krivulje temeljijo na diskretnem trajanju in povratni dobi. Zaradi drugačnega poimenovanja besed v angleškem jeziku poznamo ITP krivuljo tudi z drugačno okrajšavo in sicer IDF (intensity – duration – frequency) (IDF curve, 2010). Horizontalna os oziroma x-os predstavlja čas trajanja padavin, medtem ko vertikalna os oziroma y-os intenziteto padavin. Velikokrat je več krivulj z različno povratno dobo prikazano na istem grafu (slika 3).



Slika 2: Prikaz ITP krivulj za različne povratne dobe za postajo Ljubljana-Bežigrad (vir podatkov: ARSO, 2009)

Za lažji pregled in odčitavanje podatkov z grafa, je ITP krivulje najbolj primerno prikazati na dvojni logaritemski skali (slika 4). Izgled grafa se spremeni, s tem pa se izboljša tudi preglednost in posledično tudi natančnost odčitavanja.



Slika 3: Prikaz ITP krivulj v dvojnem logaritemskem merilu za postajo Ljubljana-Bežigrad (vir podatkov: ARSO, 2009)

Za razumevanje ITP krivulje je pomembno, da se zavedamo, da ne izhaja iz določene nevihte in ne prikazuje verjetnosti dogodka točno določene nevihte, temveč verjetnost intenzitete na podlagi statistične obdelave velikega števila podatkov o padavinah. Ob tem pa je potrebno določiti še določene spremenljivke, ki so vezane na lokalne in meteorološke pogoje (Goranc, 2012).

2.2.1 Intenziteta

Intenziteta padavin je količina padavin v časovni enoti (Mikos in sod., 2003), ki se spreminja prostorsko in časovno. Nizka intenziteta tako pomeni majhne padavine, visoka intenziteta padavin pa velike padavine v določenem časovnem obdobju. Razmerje intenzitete pri ITP krivuljah je določeno s povratno dobo in trajanjem padavin.

2.2.2 Trajanje

»Trajanje padavin je obdobje med začetkom in koncem padavin, celotnih ali tistih, ki presegajo določen prag« (Goranc, 2012). Pri daljšem trajanju in enaki intenziteti padavin dobimo daljši odtok z večjim volumnom (Chow in sod., 1988). Pri racionalni enačbi, ki se v praksi najpogosteje uporablja za oceno največjega odtoka, se upošteva trajanje padavin enako času koncentracije porečja.

2.2.3 Povratna doba

Povratna doba dogodka je povprečno obdobje let med padavinami z izbrano intenziteto in padavinami večje ali enake intenzitete (Mikos in sod., 2003). Pojem povratna doba označujemo z veliko črko » T « in je definirana kot inverzna funkcija verjetnosti:

$$T(x) = Px(X)^{-1} \quad (2)$$

Za primer vzemimo ITP krivuljo z 10-letno povratno dobo. Krivulja nam pove, da je 10 % verjetnosti v nekem letu, da se bo dogodek zgodil ali bil presežen oziroma v našem primeru, da bo dosežena ali presežena določena intenziteta padavin. V daljšem obdobju to pomeni, da se bo določena intenziteta padavin zgodila v povprečju enkrat v 10 letih oziroma desetkrat v 100 letih (Brilly in Šraj, 2005). Značilne povratne dobe za ITP krivulje so: 2, 5, 10, 25, 50 in 100 let (IDF curve, 2010)

ITP krivulje so zelo pomembne, saj jih uporabljamo pri izdelavi sintetičnega histograma padavin pri hidrološkem modeliranju, za načrtovanje in razvoj vodnih infrastruktur, dimenzioniranje kanalizacijskih omrežij, za določitev maksimalnega pretoka z racionalno metodo ipd. (Goranc, 2012).

2.3 Padavinske izgube

Del padavin, ki ne prispevajo k površinskemu odtoku in so prestrežene, infiltrirane ali akumulirane imenujemo padavinske izgube. Medtem, ko padavine, ki sodelujejo pri površinskem odtoku, imenujemo učinkovite padavine (neto padavine). Celotna količina padavinskih izgub je sestavljena iz:

- infiltriranih padavin v zemljinu,
- zadržanih padavin v površinskih depresijah,
- prestreženih padavin oz. padavin, ki ostanejo na listih dreves in na drugi vegetaciji (Smith Inc., 2008).

Zaradi pomanjkanja podatkov in meritev so hidrologi razvili različne matematične in empirične modele za izračun padavinskih izgub. Med najpogosteje uporabljene modele spada tudi SCS model (Brilly in Šraj, 2010), ki smo ga uporabili v nalogi, zato je v nadaljevanju bolj podrobno predstavljen.

Stopnje infiltracije tal se močno razlikujejo in odražajo v podzemni prepustnosti. Tla so razvrščena v štiri skupine različnih vrst zemljin (A, B, C in D), glede na njihovo stopnjo infiltracije, ki jo dobimo na golih tleh po daljšem močenju na izbranem območju (USDA, 1986).

Preglednica 1: SCS klasifikacija zemljin in infiltracijske izgube v odvisnosti od vrste zemljine (Brilly in Šraj, 2010: str 44).

Skupina zemljine	Opis	Stopnja izgub [mm/h]
A	Nizek odtočni potencial. Zemljina ima tudi, če je nasičena, visoko stopnjo infiltracije. Globoke, dobro drenirane zemljine z zmerno teksturo (pesek, globoka rečna naplavina)	7.5 – 11.5
B	Povprečni do nizek odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, povprečno stopnjo infiltracije vode. Plitve rečne naplavine, peščena ilovica z zmerno prepustnostjo.	3.85 – 7.5
C	Visok do zmeren odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, nizko stopnjo infiltracije vode. Glinena ilovica, plitva peščena ilovica, zemljine z nizko vsebnostjo organskih snovi in zemljine z običajno visoko vsebnostjo gline	1.3 – 3.85
D	Visok odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, zelo nizko stopnjo infiltracije vode. Zemljine z visoko gladino talne vode, z glinastim slojem ali neprepustnim slojem na površini ali tik pod površino, zaslanjena zemljišča ipd. Zemljine imajo zelo nizko stopnjo prepustnosti.	0.00 – 1.3

2.3.1 SCS model padavinskih izgub

SCS (ang. *Soil Conservation Service*) metoda oceni presežek padavin kot funkcijo celotnih padavin, pokrovnosti tal, rabe tal in vlažnost tal (Brilly in Šraj, 2010). Z njo določamo padavinske izgube v času trajanja padavinskega dogodka.

Za metodo uporabimo naslednjo enačbo (USDA, 1986; Brilly in Šraj, 2010):

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (3)$$

kjer je:

Pe akumulirane učinkovite padavine v času t [mm],

P višina padavin v času t [mm],

I_a začetne izgube [mm],

S maksimalno potencialno zadrževanje – retenzija [mm].

Začetne izgube I_a predstavljajo vse izgube padavin, ki se zgodijo pred začetkom površinskega odtokanja. Ta izgube predstavljajo prestrežene padavine, infiltracijo in akumulacijo v depresijah. I_a je zelo spremenljiv parameter, vendar je na splošno v korelaciji s parametri tal in pokrovnostjo tal. Skozi

Številne študije na manjših kmetijskih porečjih je bilo ugotovljeno, da je potrebno I_a uskladiti z empirično enačbo (USDA, 1986; Brilly in Šraj, 2010):

$$I_a = 0.2 S \quad (4)$$

Z odstranitvijo I_a kot neodvisnega parametra, lahko komulativne efektivne padavine zapišemo z naslednjo enačbo (USDA, 1986; Brilly in Šraj, 2010):

$$Pe = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{P + 0.8 \cdot S} \text{ [mm]} \quad (5)$$

Vsaka zemljina ima določeno mejo količine vode, ki jo lahko sprejme, predno pride do zasičenosti zemljine. To mejo moramo poznati. Ko količina vode preseže to mejo, pride do zasičenosti zemljine in takrat se začne površinski odtok. Pogoji porečja in maksimalni potencialni deficit vlažnosti S so povezani s parametrom CN , ki ima teoretični razpon od 0 do 100 (USDA, 1986). Vrednost 100 imajo vodna telesa, 30 pomeni prepustne zemljine z visoko infiltracijsko sposobnostjo in vrednost 0 pomeni da ni površinskega odтока (USDA, 1986). Vendar moramo paziti, da v koeficient ne zajamemo neprepustnih zemljin, saj se obravnavajo posebej, kot razmerje neprepustnih površin za celotno porečje. CN lahko določimo s pomočjo preglednic 2 do 4 kot funkcijo rabe tal, vrste zemljine in predhodne vlažnosti, lahko pa tudi s pomočjo grafičnih SCS krivulj (slika 4). Povezanost maksimalnega potencialnega zadrževanja S in značilnosti porečja lahko zapišemo kot (USDA, 1986):

$$S = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1000 - 10 \cdot CN}{CN}, \text{ angleški merski sistem [palec]} \\ \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN}, \text{ SI sistem [mm]} \end{array} \right\} \quad (6)$$

Preglednica 2: Koeficienti CN za urbanizirane površine (Brilly in Šraj, 2010: str 146).

Raba tal	% neprep. površin	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
<i>Odprte površine (parki, nasadi, golf igrišča, pokopališča itd.)</i>					
slabi pogoji (pokritost s travo < 50 %)		68	79	86	89
povprečni pogoji (pokritost s travo 50 % do 75 %)		49	69	79	84
dobri pogoji (pokritost s travo > 75 %)		39	61	74	80
<i>Neprepustne površine</i>					
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
<i>Urbana območja</i>					
komercialna in poslovna območja	85	89	92	94	95
industrijska območja	72	81	88	91	93
<i>Stanovanjske površine</i>					
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 3: Koeficienti CN za obdelana kmetijska zemljišča (Brilly in Šraj, 2010: str 147).

Raba tal	Hidrol. pogoji	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
<i>Ledina, neobdelan svet</i>					
gola zemljina	-	77	86	91	94
delno poraščena zemljina (ostanki posevkov)	slabi ¹	76	85	90	93
	dobri ²	74	83	88	90
<i>Poljščine v vrsti</i>					
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
<i>Nizka žita</i>					
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
<i>Gosto sejane stočnice ali kolobarjeni travnik</i>					
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 4: Koeficienti CN za ostala kmetijska zemljišča (Brilly in Šraj, 2010: str 148).

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

Za porečja z različno rabo tal in več vrstami zemljin enoten CN izračunamo po enačbi (USDA, 1986; Brilly in Šraj, 2010):

$$CN_{skupen} = \frac{\sum A_i * CN_i}{\sum A_i} \quad (7)$$

kjer je:

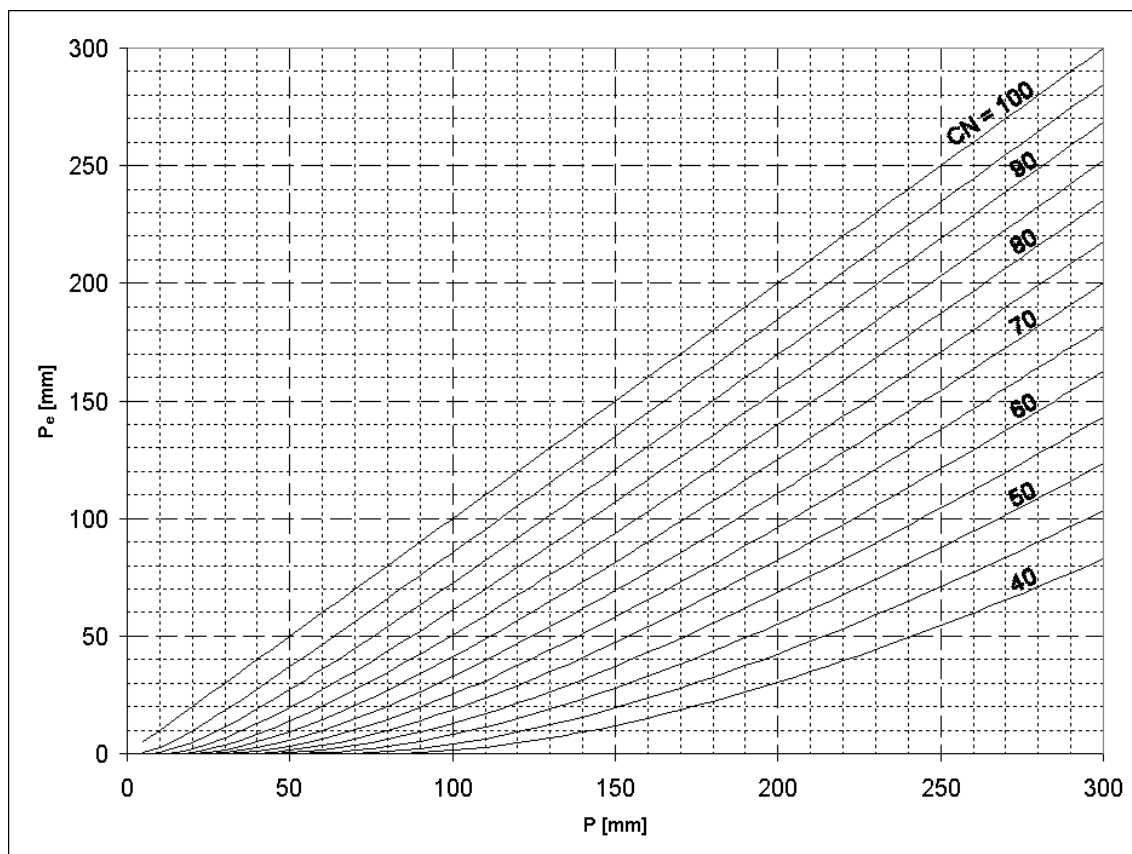
CN_{skupen} enoten CN za celotno porečje,

CN_i CN za posamezno rabo tal porečja,

A_i pripadajoča površina posamezne rabe tal.

Pri SCS metodi moramo biti zelo pozorni tudi na omejitve: (USDA, 1986)

- SCS metoda opiše povprečne pogoje, ki so uporabni za načrtovanje. Kadar pride do zgodovinskih padavin, se natančnost modeliranja zmanjša,
- Odtoka zaradi taljenja snega ali dežja na zamrznjena tla ni mogoče oceniti z uporabo SCS metode.
- Postopki SCS metode veljajo le za površinski odtok.
- Ko je CN manjši od 40, se uporabljajo drugi postopki za določitev odtoka.
- Ko je odtok manjši od 12.7 mm, je CN manj natančen in je priporočljivo narediti kontrolo s pomočjo drugih postopkov.



Slika 4: Grafična predstavitev parametra CN za določitev površinskega odтока (Brilly in Šraj, 2010)

3 POVRŠINSKI ODTOK

Odtok površinskih voda je del hidrološkega kroga, ki se dogaja na površini Zemlje (Brilly in Šraj, 2005). Odtok je vsa voda, ki nastane zaradi padavinskega dogodka in ne izhlapi, se zbira na površini ter začne potovati proti najnižji točki izbranega območja. Dejavniki, ki vplivajo na odtok so geološki pogoji, klimatske razmere, vpliv vegetacije, karakteristike zemljine in topografija.

Površinski odtok je del celotnega odтока in predstavlja del padavinskih voda, ki ne izhlapijo, prispejo do tal in se ne zadržijo na rastlinah in drevesih, ter odtekaajo površinsko in podpovršinsko v mrežo vodotokov. Količinsko je površinski odtok ponavadi največji. Voda potuje pod vplivom gravitacije proti najnižji točki izbranega padavinskega območja kot površinski odtok. Površinski odtok je večji za območja z veliko neprepustnimi in tlakovanimi površinami (mesta, urbane površine) (USDA, 1986).

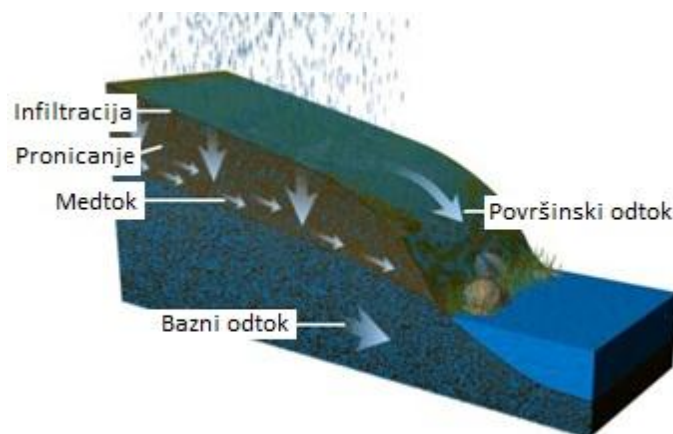
Izcejanje podzemnih voda v strugo vodotoka imenujemo bazni odtok ob predpostavki, da že določen čas ni bilo padavin in odтока površinskih voda. Ob večjih padavinskih dogodkih se padavine zbirajo na površju od trenutka, ko je izkoriščena infiltracijska sposobnost zemljine, lahko pa že na samem začetku padavin, če je površina neprepustna.

Začetek površinskega odтока definiramo ob pojavu padavinskih dogodkov, ki povečajo pretok zaradi:

- medtoka,
- površinskega odтока,
- padavin, ki neposredno pristanejo v strugi.

Poznamo mnogo različnih definicij začetka površinskega odтока, ki so jih navedli različni avtorji. Prav zaradi tega ne moremo določiti točno določene pravilne definicije, saj je pravih več.

Konec površinskega odтока definiramo, ko v vodotoku ponovno nastopi samo bazni odtok. Ugotovitev temelji na natančni hidrološki analizi povezave s časovnimi faktorji in količino površinsko odtekle vode (Kozakiv, 2013).



Slika 5: Površinski in podpovršinski odtok vode (Povzeto po MetED, 2011)

3.1 Racionalna metoda

»Racionalna enačba je enačba, ki določa vršno vrednost nevihtnega odтока kot zmnožek prispevne površine, intenzivnosti dežja in odtočnega količnika« (Mikoš in sod., 2003). Racionalna metoda je zelo poenostavljena metoda za določanje največjih odtokov različnih povratnih dob z manjših območij. Metoda se uporablja že od leta 1851 (Ward in Trimble, 2004). Prav zaradi njene poenostavljenosti je postala ena izmed najbolj razširjenih metod danes. Uporablja se za izračun največjega odтока z majhnega porečja pravilne oblike in ko so izgube časovno približno enakomerne (urbanizirane površine).

Empirična metoda se največkrat uporablja pri dimenzioniranju kanalizacije meteornih vod z urbaniziranih površin, primerna pa je tudi za določanje največjih pretokov iz ruralnih porečij (do 2.5 km²). Največji pretok z določeno povratno dobo ocenimo s pomočjo racionalne enačbe (Brilly in Šraj, 2010):

$$Q_{\max} = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot A \quad (8)$$

kjer je:

- Q_{\max} največji pretok [m³/s],
- C koeficient odтока [-],
- i intenziteta padavin z določeno povratno dobo in trajanjem [mm/h],
- A vodozbirna površina [km²].

Pri uporabi racionalne enačbe moramo upoštevati mnoge predpostavke, pri katerih se moramo zavedati, da lahko izstopajo kot izjeme in vplivajo na rezultate. Te predpostavke so (Institute for transportation Iowa, 2008; Kestnar, 2012):

- povratna doba pretoka je enaka povratni dobi povprečne intenzitete padavin,
- trajanje nevihte je enako povprečnemu trajanju intenzitete padavin do določene točke,
- padavine so prostorsko enakomerno porazdeljene,
- drenažna površina je skupna prispevna površina obravnavanega območja,
- za vse povratne dobe je uporabljen enak koeficient odtoka,
- povprečno trajanje intenzitete padavin je čas, ko voda priteče od najbolj oddaljene točke prispevnega območja do izbrane točke oz. iztoka s porečja.

Poleg predpostavk je potrebno upoštevati tudi omejitve racionalne metode (Institute for transpotation Iowa, 2008):

- Glavna omejitev je, da je rezultat le maksimalni pretok (konica hidrograma);
- Koeficient odtoka C je potrebno čim bolj točno oceniti iz preglednic, saj ima napačna ocena koeficienta velik vpliv na rezultat;
- Pozorni moramo biti na prepustna in neprepustna območja, saj vplivajo na velikost maksimalnega odtoka;
- Pri času koncentracije moramo upoštevati čas odtoka po strugi in čas površinskega odtoka;
- Povprečna intenziteta padavin, ki se uporablja v enačbi, nima časovne povezave z dejansko razporeditvijo padavin.

3.1.1 Koeficient odtoka

Koeficient odtoka C definiramo kot razmerje med odteklo in padlo vodo. Predstavlja lastnosti in značilnosti obravnavanega porečja in posledično tudi najbolj vpliva na natančnost izračuna racionalne metode. Pri določitvi koeficienta C se zahteva dodatno natančnost. Za nemerjena porečja koeficient C odčitamo iz preglednice v odvisnosti rabe tal, vrste zemljine, naklona in povratne dobe (preglednica 5) (Kestnar, 2012).

Hidrološko stanje odraža učinke pokrovnosti tal, infiltracije in odtoka. Dobri hidrološki pogoji so značilni za odprte površine (parki, nasadi, golf igrišča, itd.) in pri pokritosti s travo več kot 75 % območja in imajo običajno nizek odtočni potencial. Slabše oziroma slabe hidrološke pogoje pa imamo npr., kadar je pokritost območja s travo manjša kot 50 %. Za ustrezno izbran koeficient je najpomembnejši dejavnik dobro poznavanje vseh lastnosti obravnavanega območja. Določi se ga na osnovi odstotkov namenske rabe zemljišč in različnih vrst površin (streha, asfalt, beton). Nanj pa vpliva tudi prepustnost podlage.

Območja z visokim odstotkom neprepustnih površin, imajo posledično kratek čas koncentracije in visok koeficient odtoka, zato lahko dobimo veliko večjo vrednost odtoka, kot pa je realno

pričakovano. Lahko pa se zgodi ravno nasprotno, ko imamo območja z visokim odstotkom travnika (Institute for transportation Iowa, 2008).

Preglednica 5: Koeficient odтока za različne rabe površin (Chow in sod., 1988: str. 498)

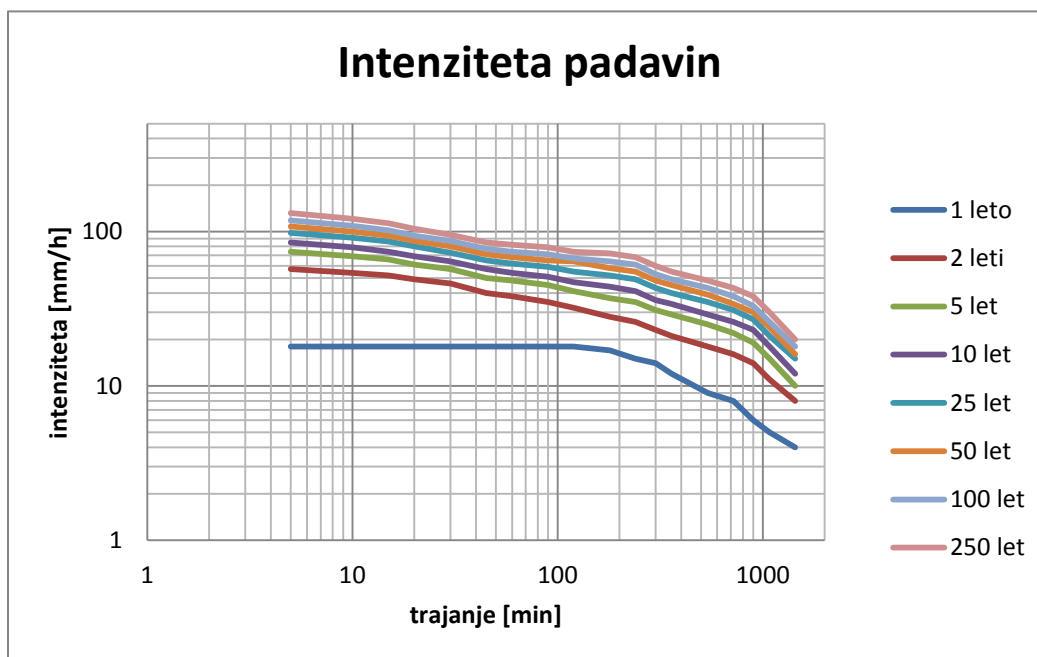
površina	povratna doba (leta)						
	2	5	10	25	50	100	500
razvita							
asfalt	0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95	1
beton/streha	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1
travnate površine (trate, parki, itd.)							
Slaba pokritost							
ravno, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.58
povprečno, 2-7%	0.37	0.4	0.43	0.46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

3.1.2 Intenziteta padavin

Intenziteta padavin pri racionalni metodi predstavlja povprečno intenziteto padavin v mm/h in jo določimo s povratno dobo in trajanjem padavin, ki je enako času koncentracije vodozbirne površine T_c . Razmerje med intenziteto padavin, trajanjem padavin in povratno dobo lahko prikažemo z ITP krivuljam (razlaga ITP krivulj poglavje 2.1), ki jih dobimo s pomočjo statističnih analiz padavin za dolgoletna obdobja. S pomočjo ITP krivulj lahko odčitamo intenziteto padavin, ki jo potrebujemo za izračun racionalne enačbe. V Sloveniji za statistične analize padavin skrbi Agencija republike Slovenije za okolje (ARSO).

Preglednica 6: Primer podatkov za višino padavin z določeno povratno dobo in trajanjem za obdobje od 1948 do 2005 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (ARSO, 2009)

trajanje padavin	POVRATNA DOBA								
	1 leto	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let	
5 min	4	8	10	12	15	16	18	20	mm
10 min	5	11	15	18	21	24	26	30	mm
15 min	6	14	19	23	27	30	33	38	mm
20 min	8	16	22	26	31	34	38	43	mm
30 min	9	18	25	29	35	39	43	48	mm
45 min	12	21	29	34	40	45	49	55	mm
60 min	14	23	31	36	43	48	53	60	mm
90 min	15	26	35	41	49	55	61	68	mm
120 min	17	28	37	44	52	58	64	72	mm
180 min	18	32	41	47	55	64	67	74	mm
240 min	18	35	45	51	59	65	71	79	mm
300 min	18	38	48	54	62	68	74	82	mm
360 min	18	40	50	57	65	71	77	85	mm
540 min	18	46	57	64	73	80	87	95	mm
720 min	18	49	61	69	80	87	94	104	mm
900 min	18	52	66	74	86	94	102	113	mm
1080 min	18	54	69	79	91	100	109	121	mm
1440 min	18	57	74	85	98	108	118	132	mm



Slika 6: Primer ITP krivulj za obdobje od 1948 do 2005 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (ARSO, 2009)

3.1.3 Čas koncentracije

Za čas koncentracije poznamo več definicij (Golob, 2012):

- Čas od težišča učinkovitih padavin do prevojnne točke na krivulji upadanja hidrograma
- Čas od konca učinkovitih padavin do prevojnne točke na krivulji upadanja hidrograma

Najpogostejša definicija, ki so jo uporabili mnogi avtorji pravi, da je čas koncentracije, čas od konca učinkovitih padavin do konca površinskega odtoka.

Najpomembnejša razlika med definicijami časa koncentracije je v uporabi. Najpogostejšo definicijo uporabljamo, kadar nimamo na voljo podatkov iz meritev, ter za izdelavo konceptualnih hidroloških modelov, medtem ko se ostali dve definiciji uporabljata, ko je hidrogram že izdelan na podlagi meritev in lahko čas koncentracije odčitamo (Fang in sod., 2005).

Potovalni čas je del časa koncentracije T_c . Celotni čas koncentracije je čas odtoka od najbolj oddaljene točke porečja do iztočne točke obravnavanega porečja. T_c se izračuna s seštevanjem vseh časov zaporednih komponent sistema (časi potovanja po površini porečja in čas potovanja po strugi) in vpliva na obliko hidrograma. Urbanizacija običajno zmanjša T_c , s tem pa se poveča maksimalni odtok. Povečanje T_c pa je lahko posledica namakanja oziroma majhnih ali neustreznih sistemov za odvodnjavanje ter zmanjšanja pobočja. Enačba za izračun celotnega časa koncentracije je (USDA, 1986):

$$T_c = T_{t1} + T_{t2} + \dots + T_{tm} \quad (9)$$

kjer je:

T_c čas koncentracije

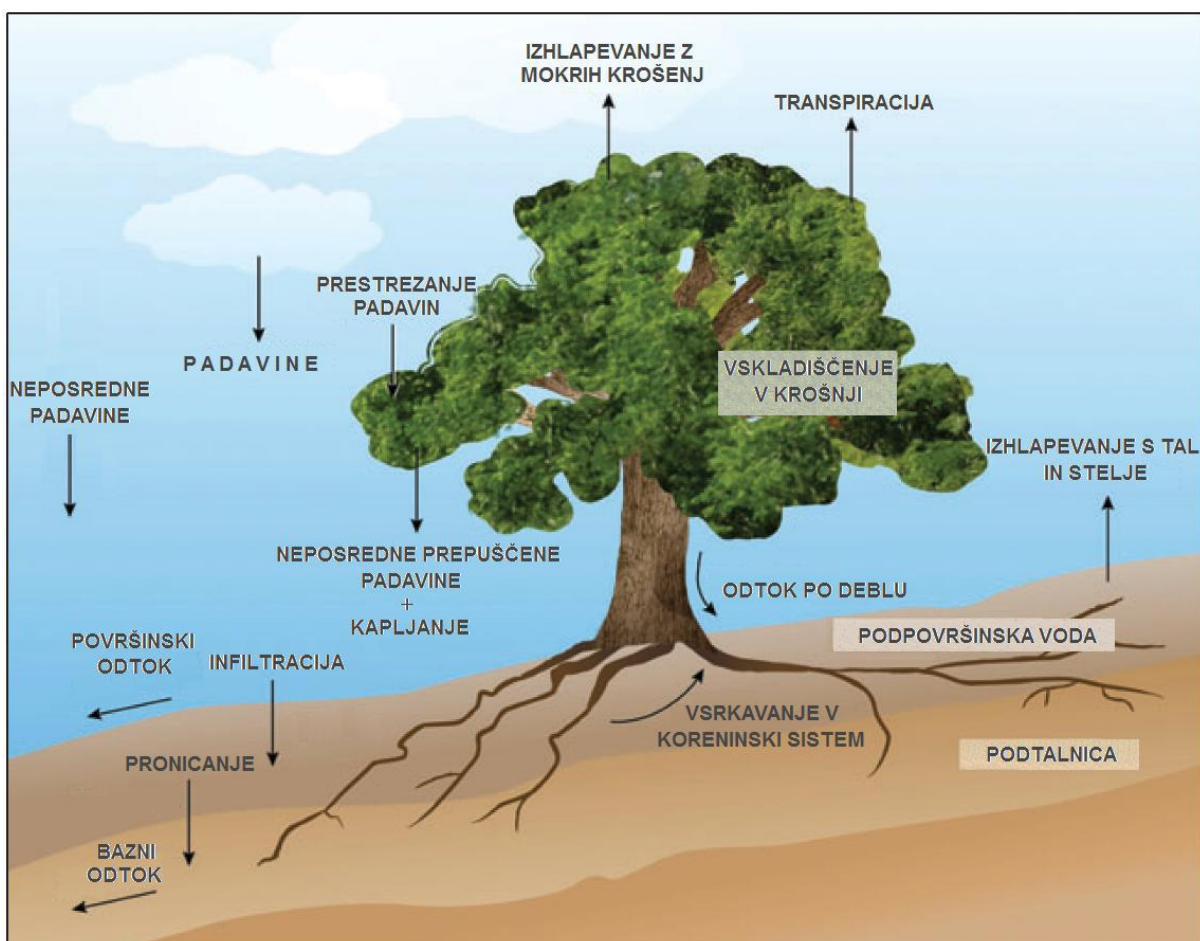
m število segmentov toka

4 VPLIV VEGETACIJE NA POVRŠINSKI ODTOK

Drevesa v našem okolju zagotavljajo številne prednosti, ki presegajo le njihovo vizualno lepoto. Ena od najbolj spregledanih in podcenjenih lastnosti je njihova sposobnost, da zmanjšujejo odtok po nevihti oziroma močnejšem padavinskem dogodku. Posledično to pomeni manjšo investicijo v drago infrastrukturo in čistejša voda, ko odtok doseže vodotok (Fazio, 2010).

4.1 Vpliv prestrezanja padavin

Padavine so zelo pomemben dejavnik in glavni vir vode hidrološkega kroga. Vegetacija je prva, ki pride v stik z njimi in pojav, ki opisuje ta odnos se imenuje prestrezanje padavin. Razumevanje pojma prestrezanje padavin je odločilnega pomena za določanje vodne bilance na območjih prekritih z drevesi in ostalo vegetacijo (Kozakiv, 2013).



Slika 7: Hidrološki krog v gozdu in komponente procesa prestrezanja padavin

(Povzeto po Roth e tal., 2007; Kozakiv, 2013)

Drevesa in ostala vegetacija so glavni dejavnik, ki določa koliko padavin bo doseglo tla. Vse padavine, ki ostanejo na drevesih in ne padejo neposredno na tla imenujemo prestrežene padavine. Prestrežene padavine pa delimo na izhlapele prestrežene padavine in prepuščene padavine. Izhlapele prestrežene padavine (angl. *Interception loss*) so tiste, ki izhlapijo med ali po nalivu in ne dosežejo tal, medtem ko so prepuščene padavine (angl. *throughfall*) padavine, ki padejo neposredno skozi odprtine krošenj na tla in padavine, ki kasneje iz listov in vej dosežejo tla. Padavine, ki pritečejo iz vej do tal po deblu pa imenujemo odtok po deblu (angl. *stemflow*) (Šraj, 2003).

Bilančna enačba pojava prestrezanja padavin je (Šraj, 2003):

$$P = Tf + Sf + Ei \quad \rightarrow \quad Ei = P - (Tf + Sf) \quad (10)$$

kjer je:

P padavine [mm],

Tf količina padavin, ki neposredno padejo na tla in padavine, ki z zamikom padejo na tla [mm],

Sf odtok po deblu [mm],

Ei prestrežene padavine, ki izhlapijo s krošenj [mm].

Na prestrezanje padavin vpliva veliko dejavnikov in sicer vrsta padavin, intenziteta padavin, kapaciteta krošenj, trajanje in pogostost padavin, vrsta dreves, klimatski pogoji letnega časa ipd. (Šraj, 2003).

Vrsta dreves je eden izmed najpomembnejših dejavnikov pri prestrezanju padavin. Mešanica drevesnih vrst in njihova velikost ima velik vpliv na prestrezanje padavin. V regijah, kjer večina padavin pade v zimskem času, imajo pomembno vlogo zimzelena drevesa (iglavci). Iglavci imajo večjo sposobnost prestrezanja padavin kot pa drevesa listnatih vrst, ki se jim sposobnost sezonsko spreminja zaradi odpadanja in rasti listov (Kozakiv, 2013). Sajenje dreves v urbanem okolju je lahko zelo pomembna strategija, ki pomaga zmanjšati količino padavinske vode v odtok. (Xiao in sod., 1998). Vrednosti prestreženih padavin listnatih vrst dreves se gibljejo med 20–25 %, medtem ko se vrednosti pri iglavcih gibljejo med 20–40% (Geiger in sod., 2003). Eno drevo lahko zadrži 100 l ali več, vse dokler ne doseže zasičenosti po približno 1 do 2 cm padavin (Xiao in sod., 1998). Ko obravnavamo skupino dreves, je lahko to prestrezanje in prerazporejanje zelo pomembno. Raziskave kažejo, da lahko v urbanem okolju drevesa zmanjšajo letni odtok od 2 do 7 % (Fazio, 2010). Na kitajskem so s pomočjo meritev in analize padavin in površinskega odtoka ugotovili, da se lahko pri spremembi vegetacijskega pokrova iz 0 na 100%, površinski odtok zmanjša za 83% (Zhang, 2009).

Velikost in oblika vegetacije sta zelo pomembna dejavnika, ki vplivata na količino vode, ki prispe do tal. Pri drevju so pomembni 4 parametri, ki so odvisni od velikosti in oblike in z njihovo pomočjo določimo količino padavin, ki jih krošnja lahko prestreže (Kozakiv, 2013):

- skladiščna zmogljivost krošnje,
- intenziteta izhlapevanja,
- parametra odтока po deblih,
- padavine, ki padejo neposredno na tla.

Skladiščna zmogljivost krošnje je odvisna od gostote in starosti vegetacije in predstavlja vso količino padavin, ki ostane na krošnji po končanem padavinskem dogodku, ob pogoju da je izhlapevanje enako nič. Intenziteta izhlapevanja je povezana s skladiščno zmogljivostjo krošnje z enačbo (Gash, 1979; Kozakiv, 2013):

$$Ei = a \cdot P + b \quad (11)$$

kjer je:

- Ei izhlapele padavine,
- a naklon regresijske premice,
- P celotne padavine,
- b aproksimacija skladiščne zmogljivosti.

Padavine, ki padejo neposredno na tla imenujemo proste prepuščene padavine in so odvisne od količine odprt in v krošnji in oblike krošnje. Te padavine so zelo pomembne, ker predstavljajo glavni vir zalog vode na območju, kjer se nahajajo (Kozakiv, 2013).

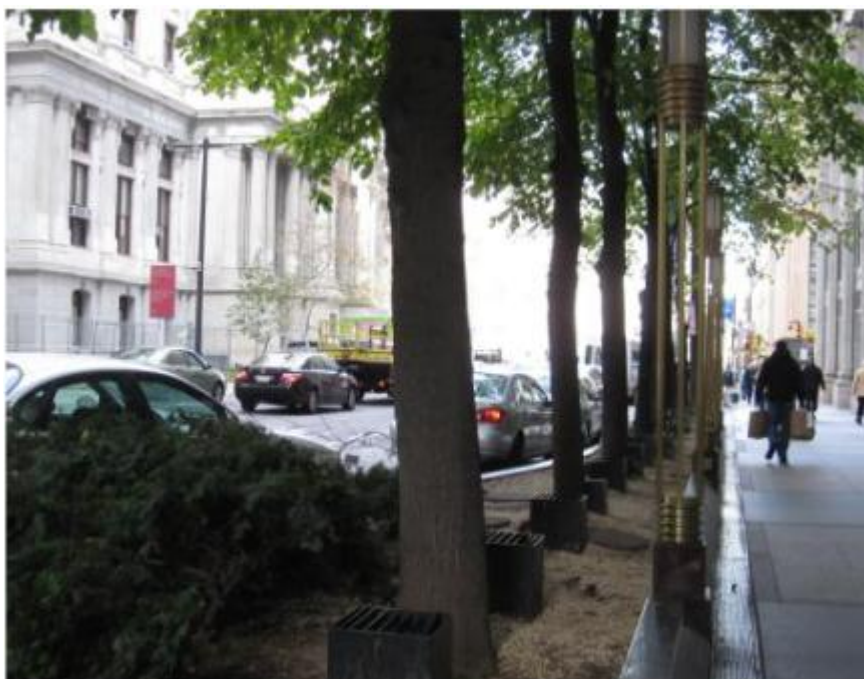
Parametra odтока po deblu (skladiščna zmogljivost po deblu in delež padavin, ki se pretvorijo v odtok po deblu) sta odvisna od oblike krošnje in starosti ter velikosti drevesa. Večja drevesa prestrežejo več padavin kot manjša, vendar imajo manjša drevesa večji odtok po deblu (Kozakiv, 2013).

4.2 Prednosti dreves v urbanem okolju

S pravilnim načrtovanjem lahko drevesa v urbanem okolju rastejo zdravo, v polni velikosti in je njihova življenjska doba več desetletij. Če je območje pravilno zasnovano in zasajeno z zdravimi drevesi, lahko maksimalno izkoristimo njihove koristi, vključno z (EPA, 2013):

- Izboljšanjem kakovosti zraka. Drevesa absorbirajo plinasta onesnaževala in povečajo raven kisika.
- Varčevanjem z energijo.
- Povečanjem vrednosti nepremičnin (drevesa zagotavljajo lepoto in zasebnost).
- Zmanjšanjem emisij ogljikovega dioksida (CO₂).
- Varstvom kakovosti vode. Drevesa zaščitijo kakovost vode s filtriranjem in zmanjšanjem padavinskega odтока.

V večini mest po vsem svetu ulična drevesa zagotavljajo merljive koristi za okolje. Njihova glavna sposobnost je preprečevanje padavinske vode in zmanjšanje obremenitev obstoječih sistemov za upravljanje z meteornimi vodami. Posledično zmanjšujejo stroške in potrebo po dodatnih zmogljivostih. V preglednici 7 je predstavljena količina padavin, ki jih drevesa preprečejo in prihranijo stroškov za odvod meteorne vode za posamezna mesta ZDA (EPA, 2013).



Slika 8: Primer dreves v urbanem okolju (EPA, 2013)

Preglednica 7: Prikaz prihrankov mest pri stroških za upravljanje meteorne vode (EPA, 2013).

leto	mesto	št. dreves	letni prihranek meteorne vode [EUR]	letno prestrežanje padavin [milj. l]
2006	Albuquerque, N.M.	4586	44.036,68	11,1
2005	Berkeley, Calif.	36485	161.410,93	53,9
2004	Bismarck, N.D.	17821	371.427,40	7,1
2007	Boise, Idaho	23262	72.034,43	19,2
2005	Boulder, Colo.	25281	267.406,44	44,9
2006	Charleston, S.C.	15244	128.297,90	28,3
2005	Charlotte, N.C.	85146	1.554.934,88	209,5
2004	Cheyenne, Wyo.	17010	41.392,96	5,7
2003	Fort Collins, Colo.	31000	302.093,56	37,4
2005	Glendale, Ariz.	21480	13.621,26	1,0
2007	Honolulu, Hawaii	235800	262.053,89	35,0
2008	Indianapolis, Ind.	117525	1.480.139,97	318,9
2005	Minneapolis, Minn.	198633	6.790.276,20	334,8
2007	New York City, N.C.	592130	26.667.829,34	890,6
2009	Orlando, Fla.	68211	403.556,14	283,7
2003	San Francisco, Calif.	2625	349.217,07	99,2
2001	Santa Monica, Calif.	29229	82.922,16	3,2

4.3 Vpliv dreves na upravljanje meteornih voda

V naravi drevesa igrajo kritično vlogo pri nadzoru površinskega odtoka in zaščiti površinskih voda pred sedimenti in hranili. V mestih imajo drevesa pomembno vlogo pri upravljanju meteorne vode, pri zmanjšanju odtoka in lahko delujejo kot mini-rezervoar. Zdrav mestni gozd lahko zmanjša odtok na naslednje načine (EPA, 2013):

- Transpiracija, - veliko količino vode iz tal drevesa porabijo v procesu fotosinteze.
- Prestrežanje padavin - listje, veje in debla prestrežejo in/ali absorbirajo padavine in zmanjšujejo količino vode, ki doseže tla.
- Povečanje infiltracije - povečanje zmogljivosti infiltracije tal.
- Fitoremediacija - skupaj z vodo drevesa prevzamejo škodljive snovi (kemikalije, kovine, goriva, ipd.). V drevesu se škodljive snovi preoblikujejo v manj škodljive, ki se uporabljajo kot hranila in so shranjene v koreninah, steblih ali listih.

5 PREDSTAVITEV PROGRAMA »GREEN VALUES™ NACIONAL STORMWATER MANAGEMENT CALCULATOR«

Ameriški tehnološki center CNT (angl. *Center for Neighborhood Technology*) je leta 2004 razvil originalni program Green Values Stormwater Management Calculator (CNT, 2013).. Z njim je naredil prvi korak razumevanja vloge zelenih površin v urbanih okoljih. Program je zasnovan tako, da se čim bolj približamo hidrološkim in finančnim pogojem, ki jih opredeli uporabnik in je zelo enostaven za uporabo.

GREEN VALUES™ STORMWATER MANAGEMENT CALCULATOR

Calculator FAQ Methodology Feedback

CALCULATOR

Green Interventions:

- Roof Drains to Raingardens at All Downspouts:
- Half of Lawn Replaced by Garden with Native Landscaping:
- Porous Pavement used on Driveway, Sidewalk and other non-street pavement:
- Green Roofs:
- Provide Tree Cover for an Additional 25% of Lot:
- Use Drainage Swales instead of Stormwater Pipes:

Site Statistics:

- Select a scenario: New Development, Suburban
- Is this an existing site:
- Total size of site: 40 acres
- Number of lots: 80
- Average Roof Size, including Garage: 1200 ft²
- Average Number of Trees on Lot: 0
- Average Driveway Area: 400 ft²
- Average Impermeable patio, deck, alley or parking lot: 100 ft²
- Sidewalk Width: 5 ft.
- Average Street Width: 32 ft.
- Soil Type: C

RESULTS

The difference between the conventional system and the green intervention(s) you chose **decreases** the total 100 year life cycle costs and **increases** benefits by **\$1,377,482!** This strategy reduces peak discharge by **28%**.

[Permanent link for this configuration](#)

Hydrologic Financial Financial Detail Scenario Detail

Hydrologic Results

Lot Level Improvements:	Conventional	Green	Reduction
Lot Discharge (cf)	1,968	1,320	33.0%
Lot Peak Discharge (cfs)	0.48	0.30	37.4%
Total Site Improvements:	Conventional	Green	Reduction
Total Peak Discharge (cfs)	56.79	41.08	27.7%

Detention Size Improvements:

Conventional	Green	Reduction	
Total Detention Required (ft ³)	148,908	90,075	40%

Annual Discharge Improvements:

Conventional	Green	Average Annual Ground Water Recharge Increase:	
Average Annual Discharge (acre ft)	43.57	31.52	7.54

Slika 9: Program Green Values™ Stormwater Management Calculator (CNT, 2013)

Isti center je razvil tudi program Green Values™ National Stormwater Management Calculator, ki je nadgradnja osnovnega programa. Program je v osnovi zasnovan za države v Ameriki, vendar je uporaben tudi drugje.

Green Values™ National Stormwater Management Calculator je orodje za primerjavo učinkovitosti, stroškov in koristi zelene infrastrukture. Program je zasnovan tako, da primerja učinkovitost zelene infrastrukture, stroške in koristi pri zmanjševanju količine meteorne vode. Orodje omogoča količinsko analizo okoljskih koristi zasaditve, zmanjšanja prostornine odtoka, prihrankov pri vzdrževanju,

zmanjšanja porabe energije in obnavljanja podtalnice. Glavni cilj programa je spodbuditi skupnosti za sprejetje zelene infrastrukture kot učinkovitega načina pri upravljanju meteorne vode (CNT, 2013).

Predevelopment

Land Cover*

Your land coverage totals **100%**.

Impervious Area (%):

Lawn in good condition (%):

Lawn in fair condition (%):

Urban Fill (%):

Natural Desert Landscaping (%):

Newly Graded Areas, no vegetation (%):

Straight Row Crops in good condition (%):

Pasture in fair condition (%):

RESULTS The Green Stormwater BMP(s) applied in this scenario conventional approaches, the green practices in this s

Benefits

	Annual Benefits (\$)	Life Cycle Benefits (\$, NPV)
	Green Benefits	Green Benefits
Reduced Air Pollutants	21	347
Carbon Dioxide Sequestration	14	230
Compensatory Value of Trees	31,625	527,456
Groundwater Replenishment	1	20
Reduced Energy Use	0	0
Reduced Treatment benefits	1	11
Total	31,661	528,065

Detailed benefits sheet.

Slika 10: Primer vnosa vhodnih podatkov in pregleda rezultatov v programu Green ValuesTM Stormwater Management Calculator (CNT, 2013)

5.1 Potrebni vhodni podatki

V programu so že nastavljene nekatere privzete vrednosti, ki jih lahko vedno spremenimo, da se čim bolj približamo lastnostim območja, katerega analiziramo. Priporoča se, da se podatke vnaša v zaporedju, ki je podrobneje opisano v nadaljevanju.

5.1.1 Osnovni podatki

Na začetku moramo podati osnovne podatke obravnavanega območja. Podatke o padavinah se določi s pomočjo ITP krivulj najbližje meteorološke postaje. Med osnovne podatke spada tudi velikost območja, ki jo lahko podamo kot že izračunano površino ali pa podamo dolžino in širino območja in vrsta tal (A, B, C, D) obravnavanega območja.

5.1.2 Lastnosti območja pred dodajanjem zelene infrastrukture

Tu določimo lastnosti obstoječega stanja obravnavanega območja. Določiti je potrebno deleže posamezne rabe tal obravnavanega območja. Na voljo imamo krajši seznam kategorij pokrovnosti tal, s katerim so avtorji skušali zajeti različne kombinacije najpogostejših rab. Program omogoča izbiro naslednjih kategorij: neprepustna površina, travnik v dobrem stanju (območje pokriva več kot 75% travnika), travnik v slabem stanju (območje pokriva manj kot 75%), naravna okolica, vrste poljščin, voda, pašnik, mokrišča in gozd.

5.1.3 Cilji za zmanjšanje odtoka

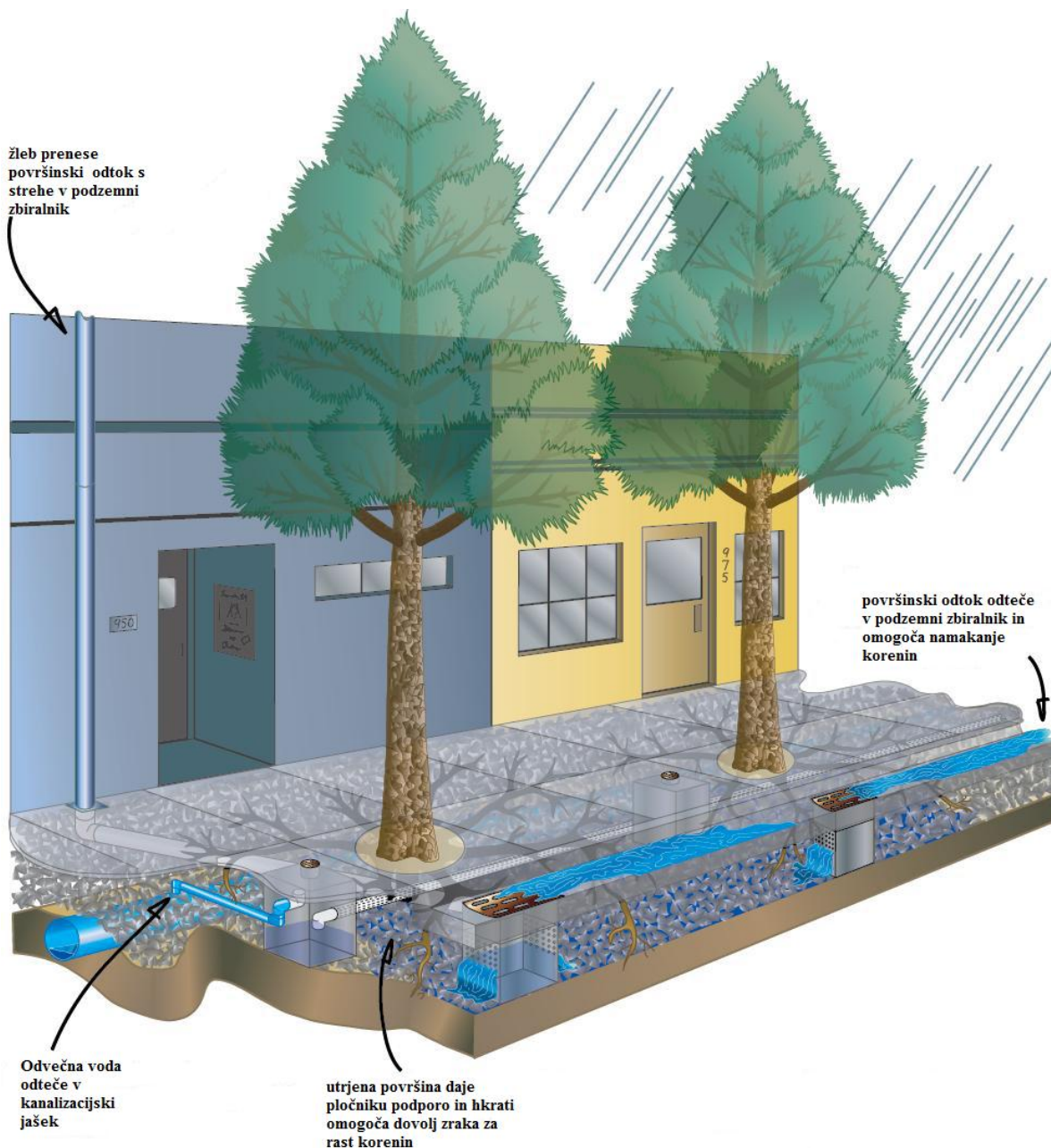
Ko smo programu določili osnovne podatke in vse lastnosti območja pred posegom, določimo zeleni cilj za zmanjšanje odtoka. Vnesemo zeleno količino zmanjšanja odtoka odtok. Program nam omogoča izbiro površine za doseganje cilja, in sicer samo na neprepustni površini obravnavanega območja ali pa na celotni površini obravnavanega območja.

5.1.4 Konvencionalni razvoj

V program je potrebno vnesti dimenzije, ki so pomembne za obravnavano območje, saj z njimi program ponovno določi odstotek neprepustnih in prepustnih površin, s pomočjo katerega lahko preverimo ali smo do sedaj vse dimenzije vnesli pravilno. Poleg tega pa so dimenzije zelo pomemben podatek pri izračunu finančnih prednosti ali slabosti. Dimenzije vključujejo velikost strehe, parkirišča, ulice, pločnika in dovozne površine. Program nam pri vnašanju različnih dimenzij omogoča različne možnosti vnosa. Površino strehe lahko vnesemo kot že izračunano površino vseh streh ali pa podamo dimenzije strehe (dolžina in širina). Velikost parkirišča določimo s številom parkirnih mest ali celotno površino. Za velikost ulice, pločnika in dovozne površine nam program ne omogoča izbire in moramo vnašati dimenzije (dolžina in širina).

5.1.5 Zelene izboljšave

Zelena izboljšava lahko zagotovi koristi za zmanjševanje površinskega odtoka z infiltracijo in prestrezanjem padavin. Poleg tega zagotavlja tudi dodatne koristi za okolje, vključno s skladiščenjem ogljika, zmanjšano porabo energije in obnavljanjem podzemne vode. Z različnimi zelenimi izboljšavami dosežemo različne napredke pri doseganju cilja zmanjšanja odtoka. Program nam omogoča vnašati naslednje zelene izboljšave: zelena streha, drevesa, prepustni pločniki, prepustna parkirišča, travnike, ipd. Izberemo kombinacijo, s katero dosežemo izbrani cilj na obravnavanem območju.



Slika 11: Prikaz odvajanja meteornih vod pod zelenimi površinami (Povzeto po EPA, 2013)

5.1.6 Napredne možnosti

Vrednosti, ki jih vnašamo v program na tem mestu, so pomembne pri izračunih finančnih prednosti ali slabosti. Podatka, ki ju je potrebno vnesti sta: diskontna stopnja in življenjski cikel obravnavanega območja. Diskontna stopnja je stopnja, s katero izračunamo sedanjo vrednost prihodnjih denarnih tokov. Z vnosom življenjskega cikla naredimo analizo stroškov in koristi zelenih in konvencionalnih sistemov meteorne vode od 5 do 100 let. Na podlagi vrste tal, ki smo jo določili v osnovnih podatkih (poglavje 5.1.1) imamo podane vrednosti koeficientov CN, ki so privzeti in določeni za različne skupine tal v programu, lahko pa jih spremenimo glede na svoje odčitke.

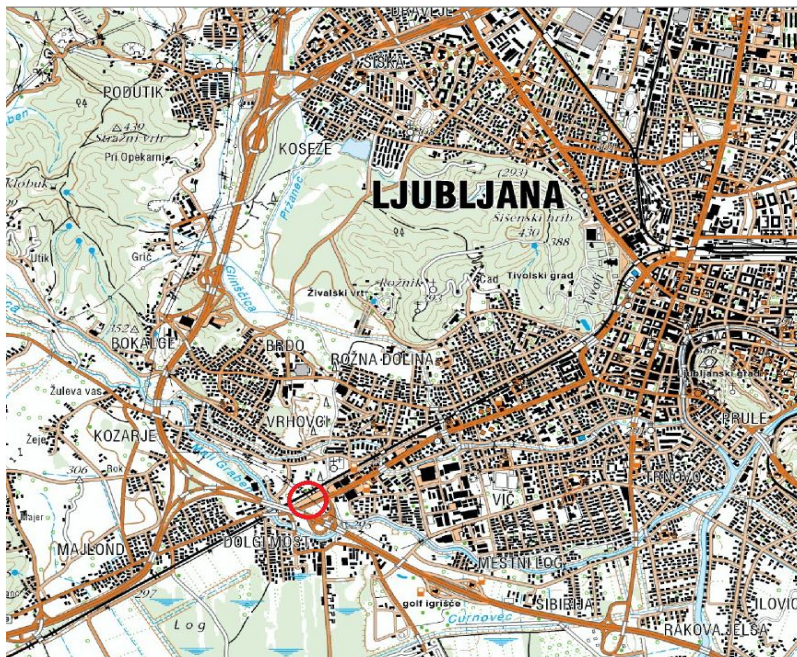
5.2 Rezultati

Rezultati so nam ves čas na voljo in se samodejno posodablajo, glede na pogoje, ki jih določamo tekom uporabe programa. Vključujejo napredek pri zmanjšanju odтока, spremembe v skupni količini vode na letni ravni in za ekstremni nevihtni dogodek, spremembe v rabi zemljišč, podrobnosti življenjskega cikla in analizo koristi in stroškov življenjskega cikla.

6 OPIS IN ZNAČILNOSTI OBRAVNAVANEGA OBMOČJA

6.1 Opis obravnavanega območja

Za prikaz prednosti in pomembnosti dreves in ostale zelene infrastrukture v urbanem okolju smo v diplomski nalogi izbrali območje, ki se nahaja na obrobju mesta Ljubljana. Izbrali smo parkirišče Dolgi most, ki ima 200 parkirnih mest v skupni površini 1600 m². Obravnavano območje je veliko 12677 m², od tega je le 1368 m² zelene površine (trava), vse ostalo pa je vozna površina (8142 m² in površina pločnika 1567 m²), kar pomeni, da imamo 89 % neprepustnih površin in 11 % prepustnih površin. Najbližja meteorološka postaja je Ljubljana-Bežigrad, ki je začela delovati leta 1947 in je postavljena v neposredni okolici Agencije Republike Slovenije za okolje. Za izračune smo izbrali 30-letni življenjski cikel z diskontno stopnjo 2%.



Slika 12: Lokacija obravnavanega območja (Geopedia, 2012)



Slika 13: Ortofoto posnetek obravnavanega območja (Geopedia, 2012)



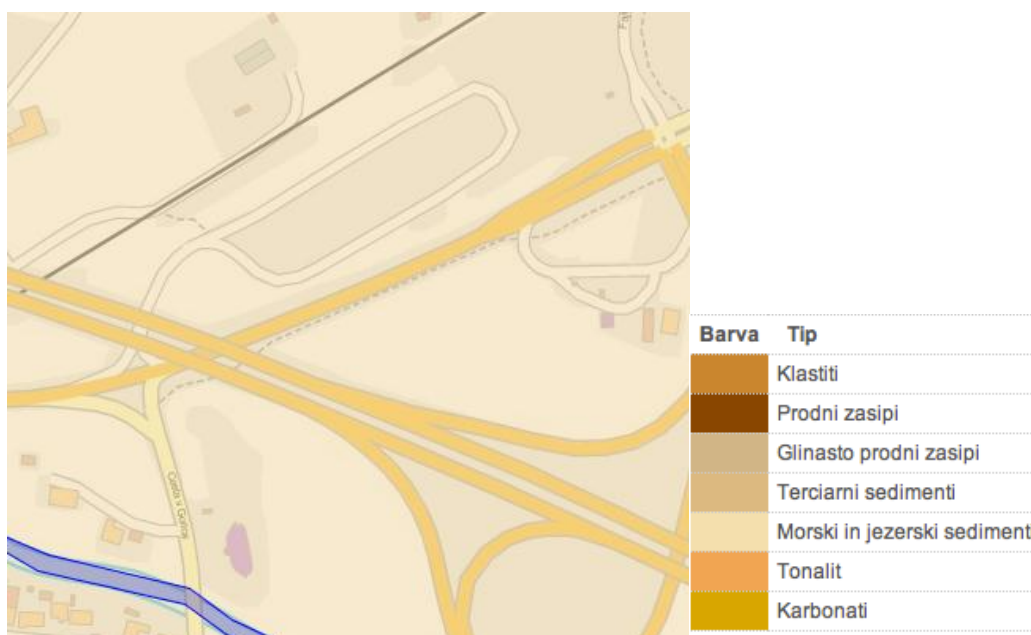
Slika 14: Dejansko stanje obravnavanega območja (foto: Nejc Zupančič)



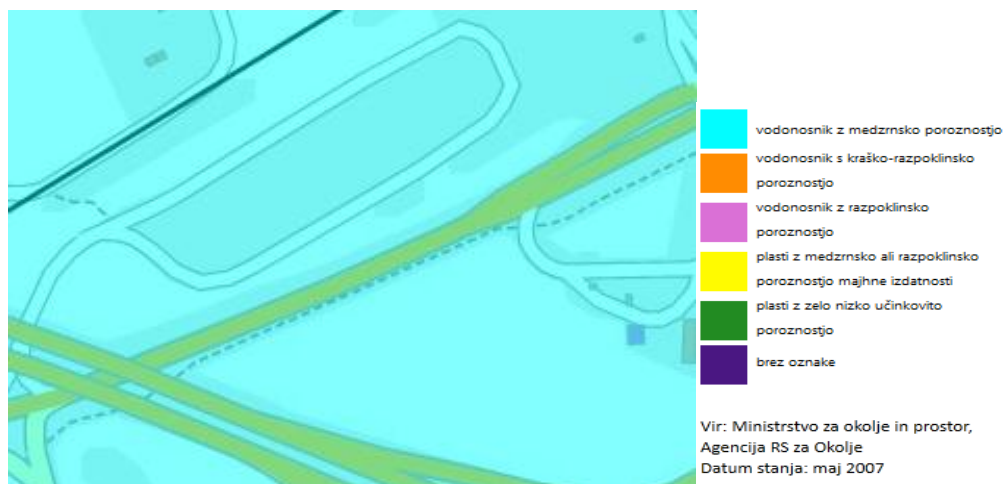
Slika 15: Obravnavano območje (foto: Nejc Zupančič)

6.2 Geologija

Na obravnavanem območju geološka sestava ni raznolika. Iz geološke karte (slika 16) lahko ugotovimo, da je podlaga sestavljena in terciarnih sedimentov. Iz hidrogeološke karte pa lahko ugotovimo, da so na območju vodonosniki z medzrnsko poroznostjo (slika 17). Za praktični izračun smo zemljino uvrstili v skupino C (opis skupine zemljine C v poglavju 2.2, preglednica 1).



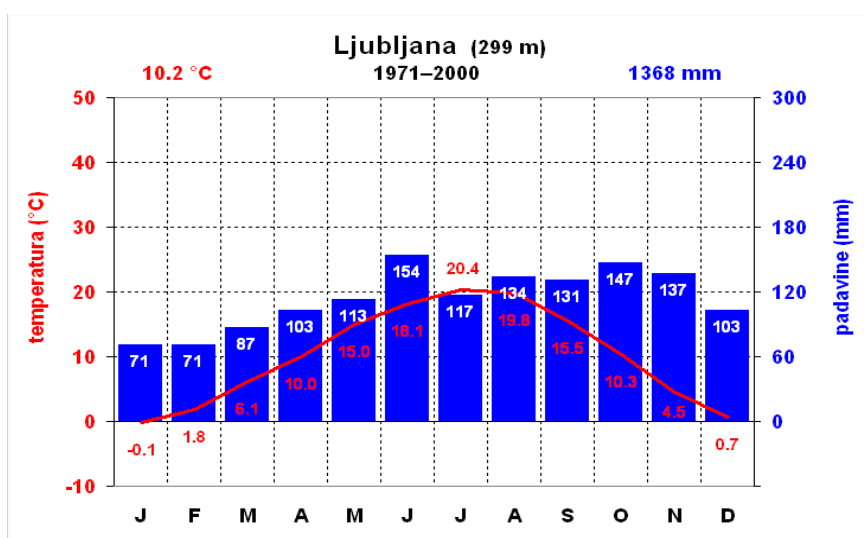
Slika 16: Geološka karta obravnavanega območja (Geopedia, 2012)



Slika 17: Hidrogeološka karta obravnavanega območja (Geopedia, 2012)

6.3 Padavine

Najbližja meteorološka postaja je postaja Ljubljana-Bežigrad, ki leži v neposredni bližini centra Ljubljane na nadmorski višini 299 metrov. Povprečne letne padavine znašajo 1368 mm (slika 18) in jih program zahteva za izračun količine letnega odtoka. Povprečno intenziteto padavin v času koncentracije pa določimo s pomočjo ITP krivulj (slika 3). Na podlagi navodil za dimenzioniranje cest in parkirišč (preglednica 9), smo za določitev intenzitete padavin s pomočjo ITP krivulj uporabili 1-letno povratno dobo s 5 min trajanjem padavin in dobili intenziteto padavin 40 mm oz. 130 l/s/ha.



Slika 18: Povprečne mesečne padavine in temperatura v Ljubljani (1971-2000) (Diagrami meteoroloških postaj, 2012)

Preglednica 8: Intenzitete padavin za postajo Ljubljana-Bežigrad za obdobje 1948-2008 (ARSO, 2009)

trajanje padavin	POVRATNA DOBA								l/sec/ha
	1 leto	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let	
5 min	130	289	396	467	557	623	689	776	l/sec/ha
10 min	108	216	296	348	415	464	514	578	l/sec/ha
15 min	92	182	252	298	357	400	444	500	l/sec/ha
20 min	71	158	215	254	302	337	373	419	l/sec/ha
30 min	53	124	171	202	242	271	300	339	l/sec/ha
45 min	38	93	130	155	185	208	231	261	l/sec/ha
60 min	38	77	106	125	150	168	186	210	l/sec/ha
90 min	32	58	81	95	114	127	141	159	l/sec/ha
120 min	25	48	65	77	92	103	114	128	l/sec/ha
180 min	21	35	48	56	66	74	82	92	l/sec/ha
240 min	18	29	39	45	53	59	65	72	l/sec/ha
300 min	15	25	33	38	44	49	54	60	l/sec/ha
360 min	13	22	29	33	38	42	46	51	l/sec/ha
540 min	9	17	21	24	28	30	33	39	l/sec/ha
720 min	7	14	17	20	23	25	27	30	l/sec/ha
900 min	7	12	15	17	19	21	22	25	l/sec/ha
1080 min	6	10	13	15	17	18	20	22	l/sec/ha
1440 min	5	9	11	12	14	15	17	18	l/sec/ha

Preglednica 9: Dimenzioniranje cest in parkirišč (Lipar, 2013)

vrsta ceste	Projektna hitrost [km/h]	Pogostnost naliva [let]	Jakost naliva [l/s/ha]
daljinska	80-130	25	350
povezovalna	60-90	10	220
zbirna	40-70	5	170
dostopna	40-60	1	130

7 REZULTATI

Rezultati so prikazani za tri različne variante. Prva varianta je obstoječe stanje. To stanje predstavlja večinoma neprepustno podlago in le manjši delež travnatih površin (slika 19). Varianta 2 prikazuje obstoječe stanje z zasaditvijo 100 dreves (slika 20). Cena posameznega drevesa s povprečno 32-letno življenjsko dobo je 205 EUR. Varianta 3 pa nam prikazuje stanje z zasaditvijo 257 dreves (slika 21).

7.1 Varianta 1 – obstoječe stanje

Na obravnavanem območju je 89 % neprepustnih površin in 11 % prepustnih površin (trava). Parkirišče ima 200 parkirnih mest.



Slika 19: Obstoječe stanje obravnavanega območja

Vhodni podatki in rezultati izračunov za obstoječe stanje so prikazani v preglednicah 10 do 12.

Preglednica 10: Raba tal za obstoječe stanje

raba zemljišč	obstoječe stanje
neprepustna površina [m ²]	11309
prepustna površina [m ²]	1358

Preglednica 11: Odtok za obstoječe stanje

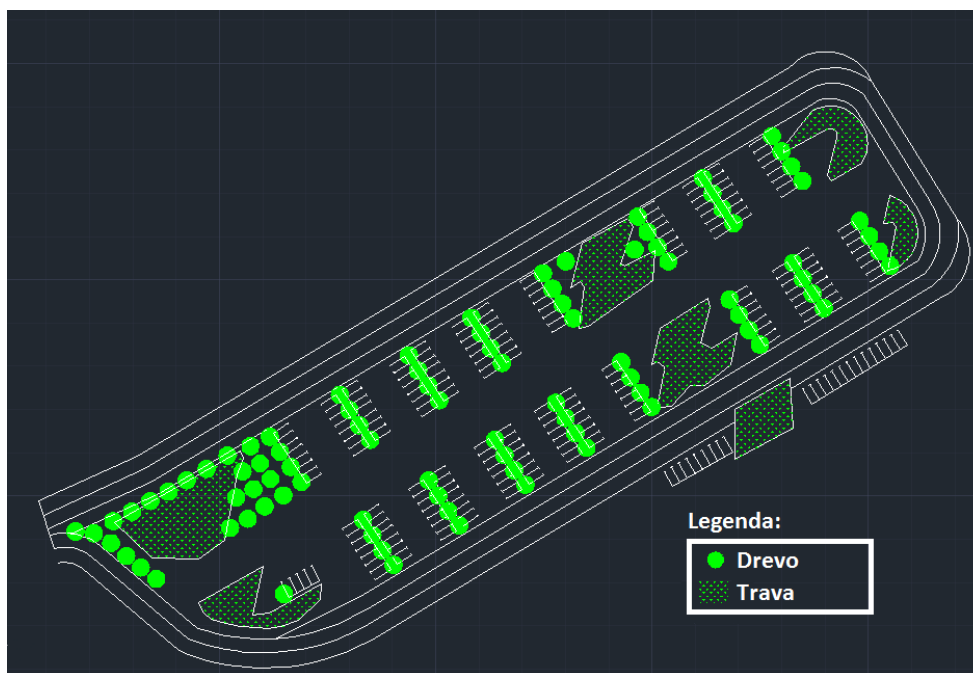
povprečna letna količina padavin	
skupni odtok [mm]	1353
volumen skupnega odtoka [m ³]	17135
komulativne izgube [mm]	12
nevihta	
skupni odtok [mm]	28
volumen skupnega odtoka [m ³]	358
komulativne izgube [mm]	9
CN	95

Preglednica 12: Stroški za obstoječe stanje

	stroški izgradnje [EUR]	letni stroški vzdrževanja [EUR]	stroški življenjskega cikla [EUR]
pločnik	65414	365	73764
vozna površina	339931	1900	383322
parkirišče	70918	1931	115023
podzemni zadrževalnik	43780	113	46378
trava	2294	983	24746
drevesa	0	0	0
skupaj	522337	5292	643233

7.2 Varianta 2

Varianta 2 predstavlja obstoječe stanje z zasaditvijo 100 dreves. Drevesa smo zasadili med parkirne prostore in poleg obstoječih travnih površin, kot je prikazano na sliki 20. S tem smo zmanjšali neprepustne površine iz obstoječih 11309 m² na 10055m² oz. povečali zelene površine za 11 %.



Slika 20: Varianta 2

Vhodni podatki in rezultati izračunov variante 2 so prikazani v preglednicah 13 do 16.

Preglednica 13: Raba tal za varianto 2

raba zemljišč	varianta 2
neprepustna površina [m ²]	10055
prepustna površina [m ²]	2612

Preglednica 14: Odtok za varianto 2

povprečna letna količina padavin	
skupni odtok [mm]	1344
volumen skupnega odtoka [m ³]	17025
komulativne izgube [mm]	19
nevihta	
skupni odtok [mm]	23
volumen skupnega odtoka [m ³]	295
komulativne [mm]	13
CN	93

Preglednica 15: Stroški za varianto 2

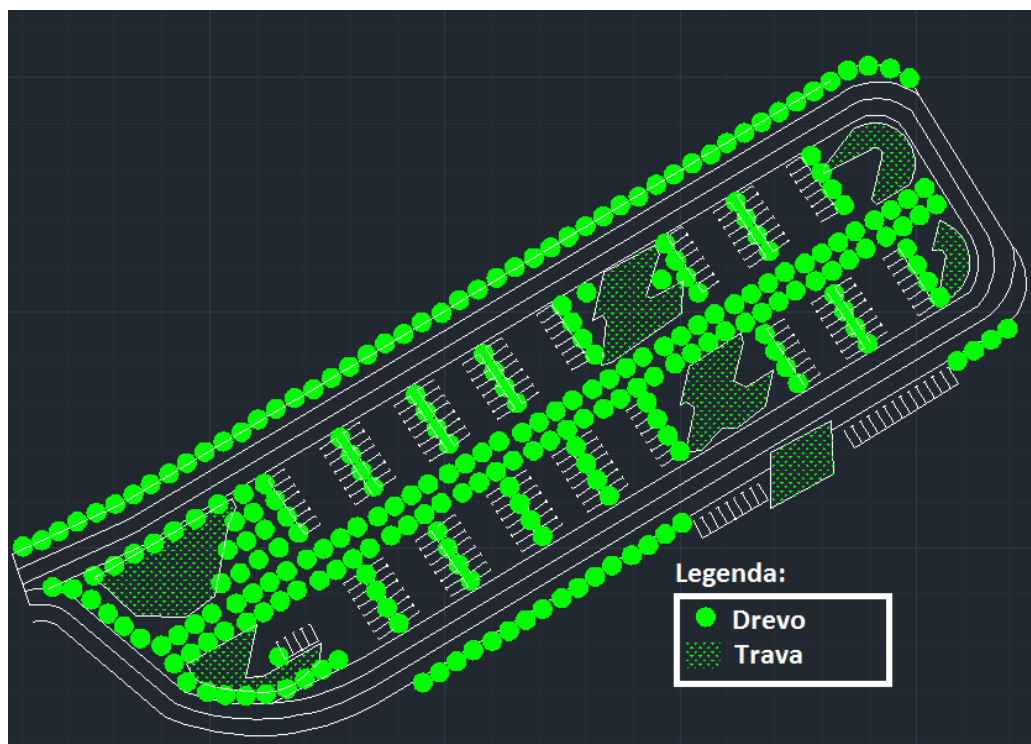
	stroški izgradnje [EUR]	letni stroški vzdrževanja [EUR]	stroški življenjskega cikla [EUR]
pločnik	65414	365	73764
vozna površina	339931	1900	383322
parkirišče	15781	421	25445
podzemni zadrževalnik	43780	113	46378
trava	2294	983	24746
drevesa	20572	1498	54749
skupaj	487772	5280	608404

Preglednica 16: Prednosti zasaditve dreves variante 2

	letni prihranek [EUR]	prihranek v življenjskem ciklu [EUR]
zmanjšanje onesnaževanja zraka	13	309
zmanjšanje ogljikovega dioksida	9	205
kompezacijska vrednost dreves	20568	469874
obnavljanje podtalnice	4	82
zmanjšanje stroškov zdravja	2	46
skupaj:	20596	470516

7.3 Varianta 3

Pri varianti 3 smo na obstoječe stanje dodali 257 dreves. Drevesa smo dodali na parkirišče, kot je prikazano spodnji sliki 21. S tem smo glede na obstoječe stanje še dodatno zmanjšali neprepustne površine in sicer iz obstoječih 11309m² na 8086m² oz. povečali zelene površine glede na obstoječe stanje za 29 %.



Slika 21: Varianta 3

V preglednicah 17 do 20 so prikazani vhodni podatki in rezultati izračunov variante 3.

Preglednica 17: Raba tal za varianto 3

raba zemljišč	varianta 3
neprepustna površina [m ²]	8086
prepustna površina [m ²]	4581

Preglednica 18: Odtok za varianto 3

povprečna letna količina padavin	
skupni odtok [mm]	1329
volumen skupnega odтока [m ³]	16842
komulativne izgube [mm]	31
nevihta	
skupni odtok [mm]	17
volumen skupnega odтока [m ³]	217
komulativne izgube [mm]	16
CN	89

Preglednica 19: Stroški variante 3

	stroški izgradnje [EUR]	letni stroški vzdrževanja [EUR]	stroški življenjskega cikla [EUR]
pločnik	65414	365	73764
vozna površina	339931	1990	383322
parkirišče	-71948	-2048	-100999
podzemni zadrževalnik	43780	113	46378
trava	2294	983	24746
drevesa	52817	3841	124128
skupaj	432288	5244	551339

Preglednica 20: Prednosti variante 3

	letne prednosti [EUR]	prednosti v življenjskem ciklu [EUR]
zmanjšanje onesnaževanja zraka	35	794
zmanjšanje ogljikovega dioksida	23	527
kompensacijska vrednost dreves	52817	1206582
obnavljanje podtalnice	10	220
zmanjšanje stroškov zdravja	5	122
skupaj	52890	1208245

8 ANALIZA IN PRIMERJAVA REZULTATOV

Rezultati, ki smo jih izračunali s pomočjo programa Green Values™ Nacional Stormwater Management Calculator (CNT, 2013) nazorno prikazujejo, da ima zasaditev dreves pozitiven vpliv na zmanjšanje odtoka in stroškov izgradnje, prav tako pa tudi na zmanjšanje vzdrževalnih stroškov in stroškov celotnega življenjskega cikla. Primerjave rezultatov so podane v preglednicah 21 do 30.

8.1 Primerjava obstoječega stanja in variante 2

Z zasaditvijo 100 dreves smo zmanjšali neprepustne površine obravnavanega območja za 11 %. Novo stanje prepustne površine znaša 22 %, saj že obstoječim 11 % travnih površin dodamo še dodatnih 11 % z zasaditvijo 100-ih dreves.

V preglednicah 21 do 25 prikazane primerjave obstoječega stanja in variante 2.

Preglednica 21: Primerjava rabe tal obstoječega stanja in variante 2

raba zemljišč	obstoječe stanje	varianta 2	razlika	razlika [%]
neprepustna površina [m ²]	11309	10055	1254	11
prepustna površina [m ²]	1358	2612	1254	11

Preglednica 22: Primerjava odtoka obstoječega stanja in variante 2

	obstoječe stanje	varianta 2	razlika	razlika [%]
povprečna letna količina padavin				
skupni odtok [mm]	1353	1344	9	-1
volumen skupnega odtoka [m ³]	17135	17025	110	-1
komulativne izgube [mm]	12	19	-7	58
nevihta				
skupni odtok [mm]	28	23	5	-18
volumen skupnega odtoka [m ³]	358	295	63	-18
komulativne izgube [mm]	9	13	-4	44
CN	95	93	2	-2

Zmanjšanje odtoka je glavni cilj zasaditve dreves na obravnavano območje. Iz preglednice 22 lahko razberemo spremembo odtoka na letni ravni in za nevihto z 1-letno povratno dobo in 5-minutnim trajanjem. Razlika skupnega letnega odtoka pri povprečni letni količini padavin je minimalna in znaša 1 %. Pri obstoječem stanju je na letni ravni infiltriranih ali prestreženih 12 mm padavin, z zasaditvijo 100-ih dreves pa še dodatnih 7 mm padavin (preglednica 22). Razlog za tako majhno razliko je premajhno število dreves, ki smo jih zasadili na parkirišče. Pri močnejši nevihti 1-letne povratne dobe

in trajanja 5 minut pa so razlike večje. Skupni odtok se zmanjša za 18 %. Od 23 mm padavin jih 13 mm prestrežejo drevesa (preglednica 22).

Preglednica 23: Primerjava stroškov izgradnje [EUR] med obstoječim stanjem in varianto 2

	obstoječe stanje	varianta 2	razlika	razlika [%]
pločnik	65414	65414	0	0
vozna površina	339931	339931	0	0
parkirišče	70918	15781	-55137	-78
podzemni zadrževalnik	43780	43780	0	0
trava	2294	2294	0	0
drevesa	0	20572	20572	0
skupaj	522337	487772	34565	-7

V preglednici 23 je prikazana primerjava stroškov izgradnje za obstoječe stanje in stanje z zasaditvijo dodatnih 100 dreves. Razvidno je, da z zasaditvijo dodatnih 100 dreves pridobimo 34565 EUR glede na obstoječe stanje, kar znaša 7 %.

Preglednica 24: Primerjava letnih stroškov vzdrževanja [EUR] med obstoječim stanjem in varianto 2

	obstoječe stanje	varianta 2	razlika	razlika [%]
pločnik	365	365	0	0
vozna površina	1900	1900	0	0
parkirišče	1932	421	-1511	-78
podzemni zadrževalnik	113	113	0	0
trava	983	983	0	0
drevesa	0	1498	1498	0
skupaj	5293	5280	-13	0

Letni stroški vzdrževanja se po zasaditvi dreves bistveno ne spremenijo. Iz preglednice 24 lahko vidimo, da razlike med obstoječim stanjem in stanjem z zasaditvijo 100 dreves praktično ni. Glavni razlog za ničelno razliko je premajhno število zasajenih dreves na izbrano parkirišče, ter posledično premajhno znižanje stroškov na njihov račun.

Preglednica 25: Primerjava stroškov vzdrževanja celotnega življenjskega cikla [EUR] med obstoječim stanjem in varianto 2

	obstoječe stanje	varianta 2	razlika	razlika [%]
pločnik	73764	73764	0	0
vozna površina	383322	383322	0	0
parkirišče	115023	25445	-89578	-78
podzemni zadrževalnik	46378	46378	0	0
trava	24746	24746	0	0
drevesa	0	54749	54749	0
skupaj	643233	608404	-34829	-6

Dolžino življenjskega cikla smo predpostavili 30 let. Z zasaditvijo 100 dreves v življenjskem ciklu privarčujemo 34829 EUR oziroma 6 %. Stroški obstoječega stanja so 643233 EUR, stroški stanja z zasaditvijo dreves pa 608404 EUR. Razlika nastane predvsem pri stroških vzdrževanja parkirišč, ki se zmanjšajo skoraj za 80 %.

Zasaditev dreves na obravnavano parkirišče torej poleg zmanjšanja skupnega odtoka in znižanja vzdrževalnih stroškov prinese še dodatne prednosti, ki jih nudijo drevesa (preglednica 16, poglavje 7.2). Na letni ravni bi skupaj prihranili 20596 EUR, medtem, ko bi v 30-letnem obdobju prihranili 470516 EUR.

8.2 Primerjava obstoječega stanja in variante 3

Primerjava obstoječega stanja z varianto 3 pokaže zmanjšanje neprepustne površine oziroma povečanje prepustne površine. Z zasaditvijo 257 dreves smo dosegli zmanjšanje neprepustne površine za 29 % (preglednica 26).

V preglednicah 26 do 30 so prikazane primerjave obstoječega stanja in variante 3.

Preglednica 26: Primerjava rabe tal obstoječega stanja in variante 3

raba zemljišč	obstoječe stanje	varianta 3	razlika	razlika [%]
neprepustna površina [m ²]	11309	8086	3223	29
prepustna površina [m ²]	1358	4581	3223	29

Preglednica 27: Primerjava odtoka obstoječega stanja in variante 3

	obstoječe stanje	varianta 3	razlika	razlika [%]
povprečna letna količina padavin				
skupni odtok [mm]	1353	1329	24	-2
volumen skupnega odtoka [m ³]	17135	16842	293	-2
komulativne izgube [mm]	12	31	-19	158
nevihta				
skupni odtok [mm]	28	17	11	-39
volumen skupnega odtoka [m ³]	358	217	141	-39
komulativne izgube [mm]	9	16	-7	78
CN	95	89	6	-6

Naslednja pomembna ugotovitev, ki jo lahko pokažemo s primerjavo obstoječega stanja in variante 3, je zmanjšanje odtoka tako na letni ravni kot pri posamezni nevihti. Pri povprečni letni količini padavin je skupni odtok pri obstoječem stanju 1353 mm. Z zasaditvijo 257 dreves se je odtok na letni ravni zmanjšal za 2 % in znaša 1329 mm. Pri močnejši nevihti z 1-letno povratno dobo in 5–minutnim trajanjem je skupni odtok pri obstoječem stanju 28 mm, po zasaditvi drevespa se zmanjša za 39 % in znaša le 17 mm (preglednica 27). Zmanjšanje odtoka je predvsem posledica prestrežanja padavin na krošnjah na novo zasajenih dreves.

Preglednica 28: Primerjava stroškov izgradnje [EUR] obstoječega stanja in variante 3

	obstoječe stanje	varianta 3	razlika	Razlika [%]
pločnik	65414	65414	0	0
vozna površina	339931	339931	0	0
parkirišče	70918	-71948	-142866	-201
podzemni zadrževalnik	43780	43780	0	0
trava	2294	2294	0	0
drevesa	0	52817	52817	0
skupaj	522337	432288	-90049	-17

Stroški so zelo pomemben dejavnik vsakega projekta. V preglednici 28 so prikazani stroški izgradnje za obstoječe stanje in varianto 3. Razvidno je, da z zasaditvijo 257 dreves pridobimo 90049 EUR, kar znaša 17 % (preglednica 28).

Preglednica 29: Primerjava letnih stroškov vzdrževanja [EUR] med obstoječim stanjem in varianto 3

	obstoječe stanje	varianta 3	razlika	Razlika [%]
pločnik	365	365	0	0
vozna površina	1900	1990	0	0
parkirišče	1931	-2048	-3979	-201
podzemni zadrževalnik	113	113	0	0
trava	983	983	0	0
drevesa	0	3841	3841	0
skupaj	5292	5244	-138	-1

Preglednica 30: Primerjava stroškov vzdrževanja celotnega življenjskega cikla med obstoječim stanjem in varianto 3

	obstoječe stanje	varianta 3	razlika	Razlika [%]
pločnik	73764	73764	0	0
vozna površina	383322	383322	0	0
parkirišče	115023	-100999	-216022	-201
podzemni zadrževalnik	46378	46378	0	0
trava	24746	24746	0	0
drevesa	0	124128	124128	0
skupaj	643233	551339	-91894	-14

Pri letnih stroških vzdrževanja z zasaditvijo dreves pridobimo vsako leto 138 EUR oziroma 1 % (preglednica 29). Najpomembnejši stroški so stroški celotnega življenjskega cikla. . Obstoječe stanje parkirišča brez dodatnih posegov ima 643233 EUR skupnih vzdrževalnih stroškov, medtem, ko z zasaditvijo 257 dreves zmanjšamo vzdrževalne stroške za 14 % in znašajo v 30-letnem obdobju 551339 EUR (preglednica 30). Razlika je nastala pri stroških vzdrževanja parkirišč, saj je njihova površina manjša kot pri obstoječem stanju.

Poleg zmanjšanja odtoka in zmanjšanja vseh stroškov pa imajo zelene infrastrukture še dodatne prednosti (preglednica 20, poglavje 7.3). Na letni ravni tako pridobimo skupaj 52890 EUR, medtem ko v celotnem življenjskem ciklu privarčujemo 1208245 EUR. Največ pridobimo z vrednostjo dreves, zelo pomembno pa je tudi zmanjšanje onesnaženja zraka.

9 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu je predstavljen vpliv vegetacije na odtoke in ukrepi, s pomočjo katerih lahko zmanjšamo odtoke z urbanih površin.

V prvem delu naloge so predstavljene teoretične osnove padavin, površinskega odtoka ter vplivi vegetacije na površinski odtok. Predstavljena je racionalna enačba za izračun največjega odtoka z izbrano povratno dobo z manjšega območja. Emipirična metoda se največkrat uporablja pri dimenzioniranju kanalizacije meteornih vod z urbaniziranih površin, primerna pa je tudi za določanje največjih pretokov z manjših ruralnih porečij.

V drugem delu naloge je predstavljeno parkirišče na Dolgem mostu, na katerem smo s pomočjo programa Green ValuesTM Nacional Stormwater Management Calculator (CNT, 2013) določili odtoke, stroške in prednosti, ki jih lahko zagotovimo z zasaditvijo dreves. Potrebne podatke in dimenzije smo dobili s pomočjo spletnega atlasa in terenskega ogleda obravnavanega parkirišča.

Na podlagi primerjave in analize rezultatov smo ugotovili, da je vpliv zasaditve dreves pozitiven. Zmanjša skupen površinski odtok, zmanjša stroške vzdrževanja, poveča prepustne površine in izboljša kakovost zraka. Nekateri avtorji pa so ugotovili celo zmanjšanje kriminala na urbanih območjih (Kuo in sod. 2001).

Program, s katerim smo dokazali vse prednosti zelenih površin, je bil zasnovan za Ameriko, vendar je dovolj univerzalen in prilagodljiv, da smo ga lahko uporabili tudi v našem okolju. Zasnovan je za računanje odtoka po racionalni metodi.

Namen naloge je bil s pomočjo programa prikazati pozitivne rešitve, ki nam jih nudijo zelene površine v urbanem okolju, predvsem zmanjšanje odtoka in s tem stroškov odvajanja meteornih vod. Za obravnavano območje smo pokazali, da z zasaditvijo dreves res lahko precej vplivamo na zmanjšanje odtoka, izboljšanje kakovosti podtalnice in zraka ter zmanjšanje stroškov vzdrževanja.

VIRI

ARSO 2009. Povratne dobe za ekstremne padavine po Gumbelovi metodi. ARSO, Ljubljana: 67 str.
http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/precip-return-periods_2008.pdf (Pridobljeno 28. 6. 2013.)

ARSO 2012. Diagrami meteoroloških postaj. Ljubljana.
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/diagrams/ljubljana/> (Pridobljeno 14. 7. 2013.)

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Univerzitetni učbenik, 1.izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2010. Modeliranje površinskega odтока. Univerzitetni učbenik, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 148 str.

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. 1988. Applied hydrology. Singapur, McGraw-Hill Book Company: 573 str.

CNT 2013. The Center for Neighborhood – Sustainable Communities Attainable Results.
<http://www.cnt.org/> (pridobljeno 30. 7. 2013.)

EPA 2013. United States Environmental Protection Agency – Low Impact Development (LID).
<http://water.epa.gov/polwaste/green/> (Pridobljeno 1. 8. 2013.)

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.

Fazio, J., R. 2010. How trees can retain stormwater runoff. Arbor Day Foundation, Bulletin No. 55: 8 str.

Gash, J.H.C. 1979. An analytical model of rainfall interception by forest. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 105: 43–55.
http://iss.iae.kyoto-u.ac.jp/iss/jp/lecture/sidle_2008/lect5-6/GashInterceptionModel.pdf (Pridobljeno 5. 8. 2013.)

Geiger, R., Aron, R.H., Todhunter, P. 2003. The climate near the ground (Sixth Edition). United States of America, Rowman & Littlefield Publishers, Inc.: 584 str.

Geopedia 2012.
<http://www.geopedia.si/> (Pridobljeno 10. 8. 2013.)

Golob, A. 2012. Analiza časovnih parametrov hidrograma za izbrana področja. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 86 str. (samozaložba A. Golob).

Goranc, N. 2011. Krivulje intenzitete – trajanja – povratna doba padavin. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in Geodezijo: 93 str. (samozaložba N. Goranc).

Goranc, N. 2012. Izdelava in primerjava ITP krivulj z različno izbiro porazdelitev. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 37 str. (samozaložba N. Goranc).

Gray, D.M. 1973. A general text with special Emphasis on Canadian conditions. V: Gray, D.M. Handbook on the principles of Hydrology. Port Washington, Water information: poglavje 2, 5

Green Values^R National stormwater management Calculator. 2006.
<http://greenvalues.cnt.org/national/calculator.php> (Pridobljeno 14. 3. 2013.)

IDF curve 2010. Intensity Duration Frequency Curve – Explained.
<http://www.idfcurve.org/> (Pridobljeno 15.6.2013.)

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

Kestnar, K. 2012. Določanje največjih pretokov na nemerjenih porečjih. Diplomski naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 50 str. (samozaložba K. Kestnar).

Kozakiv, D. 2013. Vpliv vegetacije na vodno bilanco porečja. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 113 str. (samozaložba D. Kozakiv).

Kuo, F., Sullivan, W. 2001. Environment and Crime in the Inner City: Does Vegetation Reduce Crime? Environment and Behaviour 33: 343–367 str.

Lipar, P. 2013. Dimenzioniranje cest in parkirišč. Osebna komunikacija (16. 8. 2013).

MetED 2011. Runoff Processes. Understanding the Hydrologic Cycle.
https://www.meted.ucar.edu/training_detail.php?page=1&topic=9&language (Pridobljeno: 5. 8. 2013.)

Mikoš, M., Krajnc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2003. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. Acta hydrotechnica.
<http://ksh.fgg.uni-lj.si/KSH/index.html> (pridobljeno 25. 7. 2013.)

Minh Nhat, L., Tachikawa, Y., Takara, K. 2006. Establishment of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam. *Annuals of Disaster Prevention Research Institute*. Kyoto University, 49 B: 93–103.

Roth, B.E., Slatton, K.C., Cohen, M.J. 2007. On the potential for high-resolution lidar to improve rainfall interception estimates in forest ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5 (8): 421–428 str.

Smith, A. A. Inc. 2008. *Hydrological Theory*.

<http://www.alanasmith.com/theory-Calculating-Effective-Rainfall-The-Green-Ampt-Method.htm>

(Pridobljeno 30. 7. 2013.)

Šraj, M. 2003. Modeliranje in merjenje prestreženih padavin. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Šraj): 236 str.

US Army Corps of Engineers, 2000. HEC-HMS Hydrologic Modeling System, Technical Reference manual, ZDA, 155 str.

http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/hms_technical.pdf (Pridobljeno 20. 7. 2013.)

United States Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service. 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Chapter 1-5: 164 str.

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

Zhang, J., Jiang, J., Liu, D., DeAngelis, D.L. 2009. Vegetation coverage influence on rainfall-runoff relation based on wavelet analysis. *Journal of American Science* 5: 97–104 str.

Xiao, Q., McPherson, E.G., Simpson, J.R., Ustin, S.L. 1998. Rainfall interception by Sacramento's urban forest. *J. Arbor* 24: 235-244 str.