

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



DIPLOMSKA NALOGA

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Ljubljana, 2023

Univerza
v Ljubljani

*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

Diplomska naloga št.:

Graduation thesis No.:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

Ljubljana, _____

POPRAVKI – ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

ZAHVALA

Za pomoč, usmeritev in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Nejc Bezaku in somentorici prof. dr. Mojci Šraj.

Iskreno se zahvaljujem družini, sorodnikom in prijateljem za spodbudo, potrpežljivost in podporo v času študija.

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 556.166:502/504(043.2)
Avtor: Urban Vozelj
Mentor: doc. dr. Nejc Bezak
Somentor: prof. dr. Mojca Šraj
Naslov: Analiza vpliva hibridne infrastrukture na poplave
Tip dokumenta: diplomska naloga
Obseg in oprema: 58 str., 43 pregl., 17 sl., 10 graf., 10 en., 35 vir.
Ključne besede: Padavine, infiltracija, površinski odtok, hibridna infrastruktura, podnebne spremembe

Izvleček

Trenutni načini gradnje in izrazito povečevanje urbanizacije prispevajo k velikemu deležu neprepustnih površin. Takšne površine zmanjšujejo infiltracijo padavin v tla, kar posledično vodi k velikim površinskim odtokom, ki imajo lahko negativne posledice. Z vpeljavo zelene in hibridne infrastrukture poskušamo izboljšati značilnosti urbanih površin z vidika povečanja infiltracije padavinske vode.

V teoretičnem delu so predstavljeni in opisani osnovni pojmi, ki so potrebni za razumevanje površinskega odtoka. Poleg tega so predstavljeni in opisani različni tipi zelene in hibridne infrastrukture, s katerimi poskušamo zmanjšati negativne posledice povečanega površinskega odtoka.

V nalogi smo obravnavali večje industrijsko območje Rudnik v Ljubljani. Za območje smo določili koeficient hidravlične prevodnosti s pomočjo terenskih meritev z infiltrometrom. Poleg tega smo analizirali merjene padavinske podatke za obdobje 1982–2022 in izračunane modelske rezultate pričakovanih podnebnih sprememb za preteklo obdobje (1981–2020), obdobje bližnje prihodnosti (2021–2060) in obdobje daljne prihodnosti (2061–2100). Podatke o koeficientih infiltracije in padavinah smo uporabili kot vhodne podatke v spletnem orodju Green ValuesTM Calculator. S pomočjo spletnega orodja smo ugotavljali vplive implementacije različnih tipov zelene in hibridne infrastrukture na površinski odtok. Poleg tega smo izdelali ekonomsko analizo stroškov in koristi različnih zelenih in hibridnih infrastruktur.

Na podlagi analize podatkov, meritev in izračunov smo ugotovili, da hibridna in zelena infrastruktura pozitivno prispevata k zmanjšanju površinskega odtoka na urbanih površinah. Z vidika površinskega odtoka je bila kot najboljša rešitev ugotovljena uporaba poroznih talnih površin, z finančnega vidika pa so bila kot najboljša rešitev ugotovljena drevesa.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 556.166:502/504(043.2)
Author: Urban Vozelj
Supervisor: Assist. Prof. Nejc Bezak, PhD.
Co-supervisor: Prof. Mojca Šraj, PhD.
Title: Analysis of hybrid infrastructure on floods
Document type: Graduation Thesis
Notes: 58 p., 43 tab., 17 fig., 10 graph., 10 eq., 35 ref.
Keywords: Precipitation, infiltration, runoff, hybrid infrastructure, climate changes

Abstract

Current construction methods and increase in urbanisation contributes to the increase in percentage of impermeable surfaces. Such surfaces limit the infiltration of rainfall into the ground, which in turn leads to high surface runoff with potentially negative characteristics. By introducing green and hybrid infrastructure measures, we aim to improve the characteristics of urban areas in term of rainwater infiltration and reducing surface runoff.

The theoretical part introduces and describes the basic concepts needed to understand surface runoff formation. In addition, different types of green and hybrid infrastructure are presented and described since these measures present an attempt to reduce the negative effects of surface runoff.

In this thesis, we are dealing with a large industrial area in the city of Ljubljana. The saturated hydraulic conductivity coefficient for the area was calculated using field measurements with a mini-disk infiltrometer. In addition, we analysed measured precipitation data for the period 1982-2022, and calculated model data (downscaled and bias-corrected climate change predictions) for the past period (1981-2020), near future period (2021-2060) and the far future period (2061-2100). Infiltration coefficient and precipitation data were used as inputs in online tool Green ValuesTM Calculator. We used web-based tool to identify the impacts of implementing different types of green and hybrid infrastructure. Beside that we have carried out an economic analysis of the costs and benefits of different green and hybrid infrastructures.

Based on the analysis of data, measurements and calculations, we found that hybrid and green infrastructure contribute positively to reducing surface runoff in urban areas. In terms of surface runoff, the use of porous ground surfaces was identified as the best solution, while trees were identified as the best solution from a financial point of view.

KAZALO VSEBINE

KAZALO SLIK	VII
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO GRAFIKONOV.....	X
1 UVOD	1
2 PADAVINE	3
2.1 Splošno	3
2.2 Merjenje padavin	4
2.3 ITP krivulje	5
2.3.1 Intenziteta.....	6
2.3.2 Trajanje	7
2.3.3 Povratna doba padavin.....	7
2.4 Efektivne padavine in padavinske izgube	7
2.4.1 SCS model padavinskih izgub	8
3 MERITVE INFILTRACIJE	12
3.1 Splošno	12
3.2 Merjenje infiltracije	12
3.2.1 Mini disk infiltrometer	12
4 POVRŠINSKI ODTOK	14
4.1 Splošno	14
4.2 Določanje površinskega odtoka z racionalno metodo	15
4.2.1 Koeficient odtoka.....	16
4.2.2 Intenziteta padavin.....	17
4.2.3 Vodozbirna površina.....	17
5 ZELENA, HIBRIDNA IN SIVA INFRASTRUKTURA.....	18
5.1 Zelene strehe	18
5.2 Drevesa	19
5.3 Porozne talne površine.....	20
6 SPLETNO ORODJE GREEN VALUES™ CALCULATOR.....	22
7 OSNOVNI PODATKI O OBRAVNAVANEM OBMOČJU	24
8 MERJENJE KOEFICIENTA PREPUSTNOSTI TAL OBSTOJEČIH ZELENIH POVRŠIN Z MINI DISK INFILTROMETROM	26
9 ANALIZA MERJENIH PADAVIN IN MODELNIH NAPOVEDI	29
9.1 Analiza merjenih padavin na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad	29
9.2 Analiza modelnih napovedi padavin za Slovenijo za obdobje 1981–2100.....	33
9.2.1 Optimističen model RCP2.6	34
9.2.2 Zmerno optimističen model RCP4.5.....	35
9.2.3 Pesimističen model RCP8.5.....	37

10 IZRAČUN VPLIVA HIBRIDNE IN ZELENE INFRASTRUKTURE S POMOČJO SPLETNEGA ORODJA GREEN VALUES™ CALCULATOR	39
10.1 Trenutno stanje brez dodane infrastrukture	39
10.1.1 Analiza odtokov brez dodane infrastrukture	39
10.1.2 Analiza stroškov za primer brez dodane infrastrukture	41
10.2 Analiza vpliva z dodanimi zelenimi strehami	42
10.2.1 Analiza odtokov z vpeljavo zelenih streh	42
10.2.2 Analiza stroškov in koristi z vpeljavo zelenih streh	44
10.3 Analiza vpliva zasaditve dreves.....	45
10.3.1 Analiza odtokov v primeru zasaditve dreves	45
10.3.2 Analiza stroškov in koristi zasaditve dreves	48
10.4 Analiza vpliva dodanih poroznih površin	49
10.4.1 Analiza odtokov v primeru dodanih poroznih talnih površin	49
10.4.2 Analiza stroškov in koristi z vpeljavo poroznih talnih površin	51
10.5 Primerjava odtokov in ekonomskih koristi za vse obravnavane primere hibridne infrastrukture	52
11 ZAKLJUČKI.....	54
VIRI	56

KAZALO SLIK

Slika 1: Povprečna količina padavin v Sloveniji 1971-2000 (ARSO, 2006).	4
Slika 2: Prikaz ITP krivulj za različne povratne dobe za postajo Ljubljana-Bežigrad (ARSO, 2009)....	5
Slika 3: Prikaz ITP krivulj za različne povratne dobe za postajo Ljubljana--Bežigrad, ob uporabi dvojnega logaritemskega merila (ARSO, 2009).	6
Slika 4: Mini disk infiltrometer.	13
Slika 5: Oblikovanje površinskega odtoka (Brilly in Šraj, 2014).	14
Slika 6: Primer zelene strehe (Princeton Student Climate Initiative - Princetone University, 2021).....	19
Slika 7: Primer dreves kot zelena infrastruktura (Philadelphia Water Department, 2023)	20
Slika 8: Primer poroznih talnih površin (Brown in Borst, 2014).	21
Slika 9: Primer zelenih poroznih talnih površin (LID Permeable Paving for Parking Lots, 2018).....	21
Slika 10: Prikaz spletne strani Green Values TM Calculator (Green Values Stormwater Management Calculator, 2020).....	23
Slika 11: Lokacija izbranega območja - prikaz celotne Slovenije (GURS, 2018).	25
Slika 12: Meje izbranega območja na ortofoto posnetku (GURS, 2018).....	25
Slika 13: Mesta merjenja z MDI infiltrometrom (vir podlage: GURS, 2018).	26
Slika 14: Prikaz zelene površine v okolici merske točke T5.....	27
Slika 15: Stavbe določene za vpeljavo zelenih streh (vir podlage: GURS, 2018).	42
Slika 16: Območje, kjer je načrtovana zasaditev dreves (vir podlage: GURS, 2018).....	45
Slika 17: Območje, kjer so načrtovane porozne talne površine (vir podlage: GURS, 2018).	49

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: SCS klasifikacija zemljin in izgube v odvisnosti od vrste zemljine (Brilly in Šraj, 2010).	8
Preglednica 2: Vrednosti parametra CN za urbanizirane površine (Brilly in Šraj, 2010).	9
Preglednica 3: Vrednosti parametra CN za obdelana kmetijske površine (Brilly in Šraj, 2010).	10
Preglednica 4: Vrednosti parametra CN za ostala kmetijska zemljišča (Brilly in Šraj, 2010).	11
Preglednica 5: Koeficient odtoka za različne vrste rabe površin (Zupančič, 2013).	16
Preglednica 6: Tipične vrednosti koeficienta prepustnosti po različnih tipih zemljine (Evirgen, 2015).	28
Preglednica 7: Podatki povprečnih letnih padavin, povprečnega števila deževnih dni, povprečnih padavin na deževni dogodek in nevihtnih padavin na postaji Ljubljana-Bežigrad za obdobje 1982–1991.	29
Preglednica 8: Podatki povprečnih letnih padavin, povprečnega števila deževnih dni, povprečnih padavin na deževni dogodek in nevihtnih padavin na postaji Ljubljana-Bežigrad za obdobje 1992–2001.	29
Preglednica 9: Podatki za povprečnih letnih padavin, povprečnega števila deževnih dni, povprečnih padavin na deževni dogodek in nevihtnih padavin na postaji Ljubljana-Bežigrad obdobje 2002–2011.	30
Preglednica 10: Podatki povprečnih letnih padavin, povprečnega števila deževnih dni, povprečnih padavin na deževni dogodek in nevihtnih padavin na postaji Ljubljana-Bežigrad za obdobje 2012–2022.	30
Preglednica 11: Rezultati RCP2.6 za obdobje 1981–2020.	34
Preglednica 12: Rezultati RCP2.6 za obdobje 2021–2060.	34
Preglednica 13: Rezultati RCP2.6 za obdobje 2061–2100.	34
Preglednica 14: Rezultati RCP4.5 za obdobje 1981–2020.	35
Preglednica 15: Rezultati RCP4.5 za obdobje 2021–2060.	35
Preglednica 16: Rezultati RCP4.5 za obdobje 2061–2100.	35
Preglednica 17: Rezultati RCP8.5 za obdobje 1981–2020.	37
Preglednica 18: Rezultati RCP8.5 za obdobje 2021–2060.	37
Preglednica 19: Rezultati RCP8.5 za obdobje 2061–2100.	37
Preglednica 20: Povprečje merjenih povprečnih letnih padavin, povprečnega števila deževnih dni, povprečnih padavin na deževni dogodek in nevihtnih padavin na postaji Ljubljana-Bežigrad za skupno obdobje 1982 – 2022.	39
Preglednica 21: Odtok za merjene podatke brez izboljšav.	40
Preglednica 22: Odtok za model RCP2.6 brez izboljšav.	40
Preglednica 23: Odtok za model RCP4.5 brez izboljšav.	40

Preglednica 24: Odtok za model RCP8.5 brez izboljšav.....	41
Preglednica 25: Ocena stroškov brez izboljšav.....	41
Preglednica 26: Odtok za merjene podatke z vpeljavo zelenih streh.	43
Preglednica 27: Odtok za model RCP2.6 z vpeljavo zelenih streh.	43
Preglednica 28: Odtok za model RCP4.5 z vpeljavo zelenih streh.	43
Preglednica 29: Odtok za model RCP8.5 z vpeljavo zelenih streh.	44
Preglednica 30: Analiza stroškov z vpeljavo zelenih streh.	44
Preglednica 31: Analiza koristi z vpeljavo zelenih streh.	45
Preglednica 32: Odtok za merjene podatke z vpeljavo dreves.	46
Preglednica 33: Odtok za model RCP2.6 z vpeljavo dreves.	46
Preglednica 34: Odtok za model RCP4.5 z vpeljavo dreves.	46
Preglednica 35: Odtok za model RCP8.5 z vpeljavo dreves.	47
Preglednica 36: Analiza stroškov z vpeljavo dreves.	48
Preglednica 37: Analiza koristi z vpeljavo dreves.	48
Preglednica 38: Odtok za merjene podatke z vpeljavo poroznih talnih površin.	49
Preglednica 39: Odtok za model RCP2.6 z vpeljavo poroznih talnih površin.	50
Preglednica 40: Odtok za model RCP4.5 z vpeljavo poroznih talnih površin.	50
Preglednica 41: Odtok za model RCP8.5 z vpeljavo poroznih talnih površin.	50
Preglednica 42: Analiza stroškov z vpeljavo poroznih talnih površin.	51
Preglednica 43: Analiza koristi z vpeljavo poroznih talnih površin.....	51

KAZALO GRAFIKONOV

Graf 1: Povprečne letne padavine na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad.	30
Graf 2: Povprečno število deževnih dni na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad.	31
Graf 3: Povprečne padavine na deževni dogodek na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad.	31
Graf 4: Nevihne padavine na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad.	32
Graf 5: Povprečne letne padavine RCP2.6.	34
Graf 6: Povprečne letne padavine RCP4.5.	36
Graf 7: Povprečne letne padavine RCP8.5.	37
Graf 8: Skupni odtoki za posamezne izboljšave.	52
Graf 9: Volumni odtoka za posamezne izboljšave.	53
Graf 10: Stroški in koristi za posamezne izboljšave.	53

1 UVOD

Voda je eden od glavnih dejavnikov, ki vpliva na naravne procese na Zemlji. Veda, ki se ukvarja s kroženjem vode na Zemlji je hidrologija, katere glavne naloge so proučevanje procesov hidrološkega kroga, določanje njihovih lastnosti in analiziranje gibanja vode na in pod površjem (Brilly and Šraj, 2014).

Voda v naravi kroži v obliki naravnega vodnega kroga. Vodni krog sestavljajo (med drugim) padavine, infiltracija, površinski odtok, evaporacija, transpiracija in kondenzacija. Procesni v vodnem krogu se dogajajo neprekinjeno in povsod, zato so ljudje že od nekdaj posegali vanje. S spreminjanjem življenjskih navad in povečanjem urbanizacije je človek izrazito vplival na naravni vodni krog (Gong et al., 2020). Grajena infrastruktura omogoča bistveno slabšo infiltracijo vode v primerjavi s travnatimi ali gozdnimi površinami. S tem se poveča in pohitri površinsko odtekanje vode, kar je še posebej izrazito ob močnejših padavinskih dogodkih. V kolikor infrastruktura, katere naloga je odvajanje vode, ni ustrezno dimenzionirana za večje in hitrejše odtekanje, lahko pride do zapolnitve kapacitet in posledično pojavljanja poplav.

Tudi za 21. stoletje je pričakovano povečevanje urbanih površin (Gao and O'Neill, 2020), kar lahko poveča količino in intenziteto površinskega odtoka, ter vpliva na nevarnost poplav, predvsem v mestih. Poleg tega je potrebno pri analizi nevarnosti poplav upoštevati tudi podnebne spremembe, ki bodo imele lahko v prihodnosti izrazit vpliv na procese vodnega kroga. Vpliv podnebnih sprememb lahko predvidevamo s pomočjo različnih meteoroloških, klimatoloških, hidroloških in hidravličnih modelov.

Ker sprememb lastnosti padavin za prihodnost ne moremo točno napovedovati, temveč jih lahko zgolj predvidevamo, so se začeli razvijati pristopi, ki bi površinsko odvajanje vode v urbanem okolju bolj približali naravnemu sistemu. Pri takšnem pristopu se na območjih z velikimi neprepustnimi površinami poskuša vpeljati sisteme (zelena, siva in hibridna infrastruktura), ki opravljajo funkcije prestrežanja padavin, infiltracije in evapotranspiracije (Dietz and Clausen, 2008; Van Roon, 2007).

Namen diplomske naloge je ugotoviti vpliv hibridne, zelene in sive infrastrukture na količino površinskega odtoka z relativno velikega območja neprepustnih površin. Pri tem bomo upoštevali tudi vse povezane stroške in koristi za implementacijo omenjene infrastrukture. Hibridna infrastruktura je definirana kot vmesna različica med sivo in zeleno infrastrukturo. V teoretičnem delu je predstavljen spletni kalkulator National Green Values™ Calculator in vsi postopki, s pomočjo katerih program računa površinske odtoke, vpliv izbrane infrastrukture na površinske odtoke ter stroške in koristi infrastrukture. V praktičnem delu diplomske naloge pa bomo obravnavali izbrano relativno veliko območje neprepustnih površin. Primerjali bomo razlike med merjenimi padavinami in modeliranimi padavinami do leta 2100. S pomočjo spletnega kalkulatorja National Green Values™ Calculator bomo izračunali površinske odtoke pri obstoječem stanju in po uvedbi izboljšav v obliki hibridne, zelene in sive infrastrukture. Naredili smo tri scenarije, jih med seboj primerjali, opravili analizo stroškov in koristi ter izbrali najboljši ustrezno rešitev. Pred začetkom dela smo predpostavili, da bodo vse spremembe

v obliki hibridne infrastrukture prinesle zmanjšanje površinskega odtoka, a se bodo razlikovale po stroških izgradnje in vzdrževanja.

2 PADAVINE

2.1 Splošno

Padavine sestavlja vsa voda, ki pade na zemeljsko površino. Pod to spada dež, rosenje, sneg, toča, sodra, babje pšeno, ledene iglice ipd. Padavine nastajajo z dviganjem toplih zračnih mas, ki se ob tem ohlajajo. Pri ohlajanju pride do kondenzacije vodnih hlapov. Proces se ponavlja, dokler ni dosežena popolna zasičenost z vlago. To točko imenujemo točka rosišča. Po tej točki se kapljice lepijo oziroma združujejo med seboj do točke, ko je njihova masa dovolj velika, da pod vplivom gravitacije padejo proti površju (Brilly in Šraj, 2014).

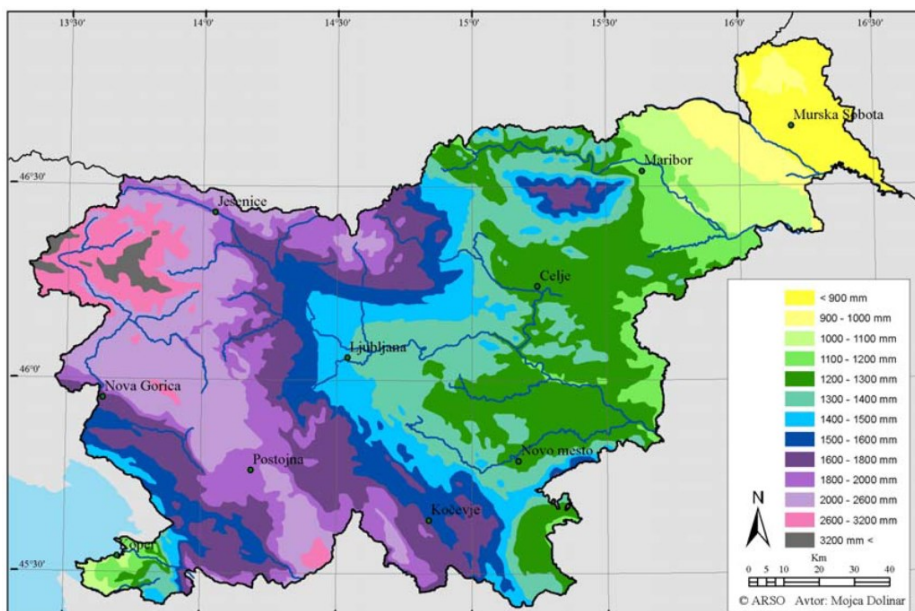
Padavine lahko glede na gibanje zračnih mas razdelimo na 3 skupine (Brilly in Šraj, 2014):

- Konveksne padavine: nastanejo pri lokalnem dviganju toplih zračnih mas, kar lahko vodi do pojava močnih in lokalnih padavin. Značilne so za poletna obdobja.
- Orografske padavine: nastanejo pri lokalnem dviganju zračnih mas ob orografskih preprekah, kar povzroča lokalne padavine.
- Ciklonske padavine: povzroči jih ciklon – Območje nizkega zračnega pritiska. Postopno hlajenje zraka povzroča zmerne in dolgotrajne padavine.

Glavni parametri, ki vplivajo na količino padavin so (ARSO, 2006; Brilly in Šraj, 2014):

- Geografska širina: večja kot je geografska širina, manjše so padavine.
- Nadmorska višina: Padavine se povečujejo do nadmorske višine 2500 m. Po tej višini se le še zmerno povečujejo ali zmanjšujejo.
- Oddaljenost od morja: Večja kot je oddaljenost od morja, manjše so padavine.
- Gozdovi.
- Večja mesta: nekoliko večje padavine kot v okolici.

V Sloveniji se pojavljajo velike razlike v povprečnih količinah padavin med različnimi kraji. Pojavljajo se trije tipi podnebja, ki se med seboj povezujejo: zmerno celinsko podnebje v vzhodni Sloveniji, subalpsko podnebje v osrednji Sloveniji (alpsko v gorskem svetu) in submediteransko podnebje v jugozahodni Sloveniji. Količina padavin se povečuje od morja proti dinarsko-alpskemu svetu. Na vzhodnem delu Slovenije pa pade bistveno manjša količina padavin. Maksimum je dosežen v Julijskih Alpah, medtem ko je minimum dosežen v Prekmurju.



Slika 1: Povprečna količina padavin v Sloveniji 1971-2000 (ARSO, 2006).

2.2 Merjenje padavin

Količino padavin lahko opišemo z debelino vodne plasti na vodoravnih tleh, če ta voda ne bi odtekla po površju, izhlapela ali se infiltrirala v zemljo. En milimeter padavin je enak enemu litru vode na kvadratni meter (Gantar, 2014). Pri merjenju padavin je pomembno, da so zagotovljeni ustrezni pogoji merjenja, saj lahko le tako meritve tretiramo kot neoporečne. Merilniki morajo biti postavljeni na prostem, varovani pred vplivi vetra in odmaknjeni od vpliva dreves, stavb in drugih dejavnikov.

Meritve padavin izvajamo z različnimi instrumenti, ki se v osnovi delijo na ročne merilnike in samodejne merilnike. Običajno so ročni merilniki sestavljeni iz zbiralnika, ki vodi v zbiralno posodo, kjer se v času opazovanja zbira padavinska voda. Meritve se odčitava dnevno, tedensko ali mesečno odvisno od dimenzij merilnika in velikosti zbiralne posode. Samodejni merilniki, za razliko od ročnih, količino padavin zapisujejo avtomatsko. To omogoča boljšo časovno ločljivost padavin in hkrati zmanjšuje izgube zaradi izhlapevanja in močenja. Med samodejne merilnike uvrščamo merilnike z mehansko tehniko, merilnike s prekucno posodico, merilnike s plovcem, merilnike z elektronsko tehniko, kapacitivne merilnike, akustične senzorje in radarske senzorje (Rupar, 2021).

Zaradi medsebojne kontrole se pogosto uporablja vsaj dva tipa instrumentov sočasno (Kozakiv, 2013). Večinoma se meritve izvajajo z ombrografi, ki omogočajo avtomatsko zapisovanje in z ročnimi ombrometri, ki služijo za nadzor (Šraj, 2009).

2.3 ITP krivulje

Krivulje intenziteta-trajanje-povratna doba (ITP) so krivulje, ki opisujejo razmerje med intenziteto padavin, trajanjem padavin in povratno dobo padavin. V angleščini se imenujejo IDF curves (angl. *Intensity-Duration-Frequency curves*). Služijo kot eno najpomembnejših orodij za planiranje, projektiranje in upravljanje voda in vodne infrastrukture. Enačba s katero lahko zapišemo razmerje ITP je (Nhat et al., 2006):

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

kjer je:

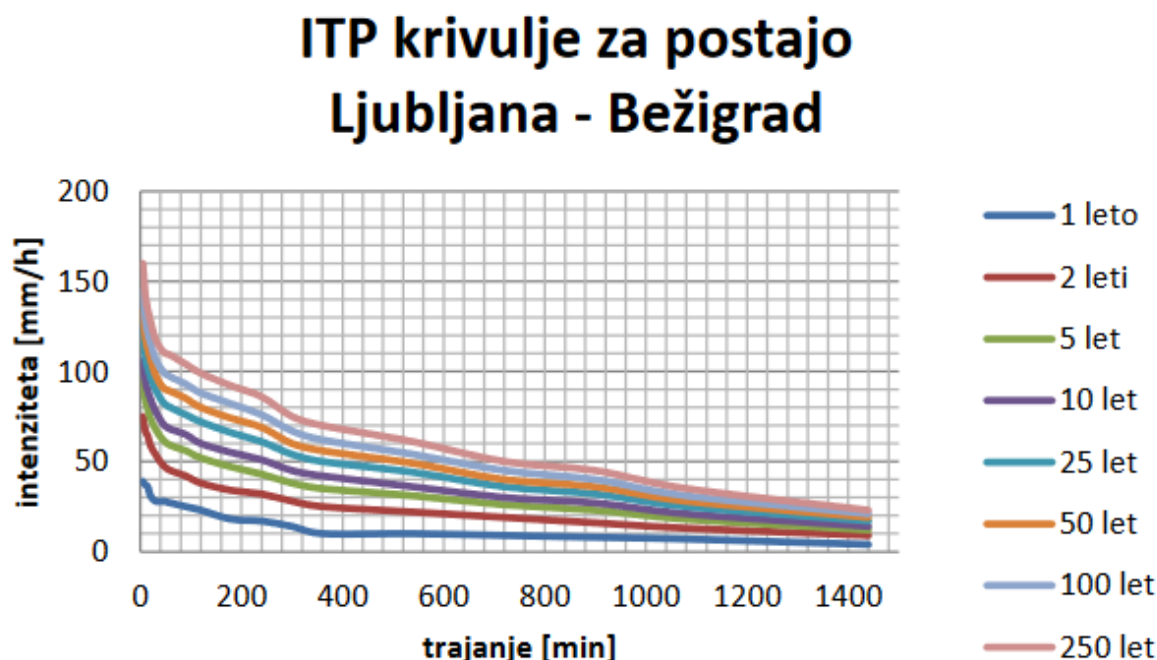
i intenziteta padavin [mm/h];

d trajanje padavin [min];

T povratna doba [leta].

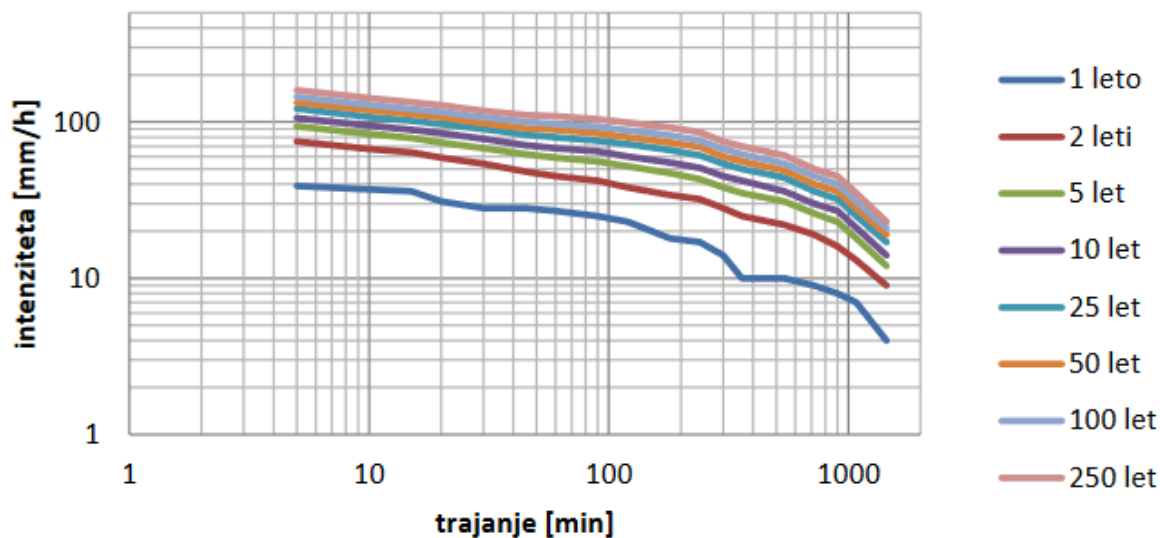
ITP krivulje se po navadi prikazujejo grafično, kjer je na horizontalni osi predstavljeno trajanje padavin, na navpični osi pa je predstavljena intenziteta padavin. Večinoma se na en graf izrisuje več krivulj – vsako za drugo povratno dobo padavin. Primer grafa z ITP krivuljami je predstavljen na sliki 2.

Običajno so krivulje zaradi boljše preglednosti in lažje uporabnosti prikazane v dvojnem logaritemskem merilu. Primer grafa z ITP krivuljami, z uporabo dvojnega logaritemskega merila je prikazan na sliki 3.



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

ITP krivulje za postajo Ljubljana - Bežigrad



Slika 3: Prikaz ITP krivulj za različne povratne dobe za postajo Ljubljana--Bežigrad, ob uporabi dvojnega logaritemskega merila (ARSO, 2009).

ITP krivulje imajo veliko uporabno vrednost, saj lahko z njimi ugotavljamo intenziteto padavin ob poznani povratni dobi, ali obratno, lahko ugotavljamo povratno dobo določenega padavinskega dogodka, glede na njegovo intenziteto in trajanje (Lanciotti et al., 2022).

2.3.1 Intenziteta

Intenziteta ali jakost padavin je količina padavin, ki pade v določeni enoti časa (Mikoš et al., 2002). Visoka intenziteta padavin kaže na močno deževje, nizka intenziteta padavin pa kaže na blago deževje. Padavine so lahko glede na intenzivnost deljene na različne skupine (Goranc, 2012):

- Rahel dež (manj kot 2 mm/h);
- Zmerne padavine (med 2 in 15 mm/h);
- Močne padavine (med 15 in 30 mm/h);
- Zelo močne padavine (med 30 in 60 mm/h);
- Naliv (več kot 60 mm/h).

Padavine se lahko močno razlikujejo med različnimi državami, zato je zelo težko dobiti univerzalno klasifikacijo intenzitete za celoten svet (Goranc, 2012).

2.3.2 Trajanje

Trajanje padavin je obdobje med začetkom in koncem padavin, celotnih ali tistih, ki presegajo določen prag (Mikoš et al., 2002).

2.3.3 Povratna doba padavin

Povratna doba padavina je dolgoletno povprečno obdobje ali število let, ki ločuje dogodek določene velikosti in ponovitev dogodka enake ali večje velikosti, npr. vršni poplavni pretok (GHP) (Mikoš et al., 2002). Povratno dobo označujemo s črko T in jo izračunamo po enačbi (Brilly in Šraj, 2014):

$$T = \frac{1}{1 - P(\bar{P})} \quad (2)$$

T je povratna doba, $P(\bar{P})$ pa je porazdelitvena funkcija.

Kot praktičen primer lahko vzamemo padavine s povratno dobo 20 let. ITP krivulja, ki prikazuje 20 letno povratno dobo, nam pove, da je verjetnost za nastanek takšnih ali močnejših padavin v določenem letu 5%. V daljšem časovnem obdobju to pomeni, da se takšne ali močnejše padavine pojavljajo povprečno enkrat v 20 letih (Brilly in Šraj, 2014).

Tipične povratne dobe, za katere se računa ITP krivulje, so: 2, 5, 10, 25, 50, 100 (Goranc, 2012).

2.4 Efektivne padavine in padavinske izgube

Efektivne ali neto padavine imenujemo tisto vodo, ki pade na zemeljsko površino in nato površinsko odteče. Te padavine ne vključujejo prestreženih padavin na vegetaciji, padavin, ki se zadržijo na površju in padavin, ki se infiltrirajo v zemljo (Golob, 2012). Efektivne padavine dobimo kot razliko med merjenimi padavinami in padavinskimi izgubami.

Padavinske izgube so tisti del padavin, ki se po padcu na zemljo prestreže na vegetaciji, zadrži na površini ali infiltrira v zemljo.

Efektivne padavine so večje na obsežnejših območjih neprepustnih površin, kot so urbane površine, industrijske cone in ostala območja zgoščenega grajenega okolja. Na takšnih območjih je cilj povečevanje padavinskih izgub in posledično zmanjševanje površinskega odtoka preko uvedbe hibridne infrastrukture in zelenih pasov znotraj območij.

Za izračun padavinskih izgub je bilo razvitih več modelov. Najbolj znan model za izračun je *Soil Conservation Service* (SCS) model (Brilly in Šraj, 2010).

2.4.1 SCS model padavinskih izgub

SCS model (ang. *Soil Conservation Service*) oceni presežek padavin na podlagi celotnih padavin, pokrovnosti tal, lastnosti tal in predhodne vlažnosti tal (Brilly in Šraj, 2010). Model nam omogoča računanje padavinskih izgub za čas trajanja padavinskega dogodka.

Osnovna enačba SCS modela je (Brilly in Šraj, 2010):

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

kjer je :

Pe – akumulirane efektivne 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 so vse izgube padavin, ki se zgodijo pred začetkom površinskega odtoka (Zupančič, 2013). Parametri, ki določajo začetne izgube so vezani na lastnosti in pokrivnost tal. Začetne izgube je mogoče povezati z maksimalnim potencialnim zadrževanjem preko empirične enačbe (Brilly and Šraj, 2010):

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

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

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

Ob poznavanju te povezave lahko osnovno enačbo SCS modela zapišemo na drugačen način (Brilly and Šraj, 2010):

$$Pe = \frac{(P-0.2 \times S)^2}{P+0.8 \times S} \quad (5)$$

Parameter maksimalnega potencialnega zadrževanja S v kombinaciji s pogoji porečja določa parameter CN , ki določa infiltracijsko sposobnost. Njegova vrednost se teoretično giblje od 0 do 100 in je odvisna od rabe tal, vrste zemljine in predhodne vlažnosti. Povezavo med maksimalnim potencialnim zadrževanjem S in parametrom CN lahko zapišemo v obliki empirične enačbe (Brilly and Šraj, 2010):

$$S = \frac{25400 - 254 \times CN}{CN} \quad (6)$$

Preglednica 2: Vrednosti parametra CN za urbanizirane površine (Brilly in Šraj, 2010).

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 % do 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 3: Vrednosti parametra CN za obdelana kmetijske površine (Brilly in Šraj, 2010).

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: Vrednosti parametra CN za ostala kmetijska zemljišča (Brilly in Šraj, 2010).

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

V primerih, ko je prispevno območje sestavljeno iz več podobmočij, koeficient CN izračunamo po enačbi (Brilly in Šraj, 2010):

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

kjer je:

CN_{skupen} – CN koeficient celotnega porečja [-];

CN_i - delni CN koeficient odtoka na delu i [i];

A_i - površina dela i [km²];

A – celotna površina prispevnega območja [km²].

SCS metoda ima pri svoji uporabi določene omejitve, ki jih moramo upoštevati (Zupančič, 2013):

- SCS metoda opisuje povprečne pogoje, ki so uporabni za načrtovanje. Pri uporabi za računanje ob ekstremnih dogodkih, se natančnost metode zmanjša.
- S SCS metodo ne moremo izračunati odtoka zaradi taljenja snega ali ledu.
- SCS metoda se uporablja zgolj za površinski odtok.
- Minimalni relevantni CN je 40.
- Ob odtoku manjšem od 12.7 mm je CN manj natančen.

3 MERITVE INFILTRACIJE

3.1 Splošno

Infiltracija je definirana kot količina vode, ki v določenem času preide skozi določeno površino tal (Mikoš et al., 2002). Tla so v osnovi medij sestavljen iz treh delov: zemljine, vode in zraka. V tleh so snovi prisotne v vseh treh agregatnih stanjih, in sicer trdnem, tekočem in plinastem. Pore, ki se pojavljajo v zemljini se zapolnijo z zrakom, vodo ali vodno paro (Žnidaršič, 2013).

Glavna dejavnika, ki vršita premikanje vode iz površja v globino sta gravitacijska sila in sila zaradi razlik v vsebnosti vode (Žnidaršič, 2013). Glede na predhodno vlažnost oziroma zasičenost zemljine z vodo lahko ločimo nezasičeno in zasičeno stanje zemljine. Zasičene zemljine so tiste, ki imajo vse pore v celoti zapolnjene z vodo (Datta et al., 2017). Zasičenost zemljine je ključnega pomena za količino infiltrirane vode, saj infiltracija poteka zgolj takrat, ko je zemljina nezasičena (Žnidaršič, 2013).

3.2 Merjenje infiltracije

Za merjenje infiltracije uporabljamo različne infiltrometre. Za merjenje je na voljo več tipov infiltrometrov, ki jih delimo na cilindrične, razpršilne in tlačne (Žnidaršič, 2013).

3.2.1 Mini disk infiltrometer

Za merjenje na terenu je zelo primeren mini disk infiltrometer. Spada v skupino tlačnih infiltrometrov in deluje na osnovi dejstva, da je nezasičeni zemeljski tlak manjši od atmosferskega, zaradi česar so tla sposobna črpati vodo iz infiltrometra (Žnidaršič, 2013). Glavna prednost takšnih merilnih naprav je njihova priročnost in enostavnost za uporabo. To omogoča hitro in enostavno določanje koeficienta prepustnosti k .

Mini disk infiltrometri so sestavljeni iz cevi iz akrilne mase, ki je na eni strani zaprta z gumijastim zamaškom, na drugi strani pa ima plošček, ki je izdelan iz posebnega poroznega materiala. Na spodnji del naprave je vgrajena tudi manjša cevka, ki regulira črpanje zraka med infiltracijo.

Pri uporabi moramo poiskati prostor, kjer je zagotovljena dobra stičnost med poroznim diskom na dnu infiltrometra in zemljino. Zgornji sloj tal moramo očistiti vseh stvari, ki bi lahko vplivale na hitrost vpijanja, kot so listje, veje ipd. Nato v cev doziramo vodo in začnemo z merjenjem časa. V trideset sekundnih intervalih odčitavamo količino vode, ki se je infiltrirala. Postopek izvajamo, dokler se ni infiltrirala vsa voda.

Za določitev infiltracije je na voljo več metod. Proizvajalec merilne naprave predlaga izračun po metodi Zhanga, ki je enostavna in pripelje do dobrih rezultatov za suha tla (Žnidaršič, 2013). Pri tej metodi poskušamo rezultate prilagoditi funkciji (Decagon Devices, 2006):

$$I = (C1t + C2\sqrt{t}) \quad (8)$$

$C_{1,2}$ – Koeficienta, ki ju določimo s pomočjo polinomske enačbe drugega reda, za krivuljo odvisnosti med infiltracijo in kvadratnim korenom časa infiltracije.

t – Čas infiltracije.

Za izračun koeficienta prepustnosti je potreben tudi parameter A , ki predstavlja brezdimenzijsko empirično konstanto, odvisno od tipa tal in tipa infiltrometra (Decagon Devices, 2006). Enačba za izračun koeficienta prepustnosti je (Decagon Devices, 2006.):

$$k = C_1/A \quad (9)$$



Slika 4: Mini disk infiltrometer.

4 POVRŠINSKI ODTOK

4.1 Splošno

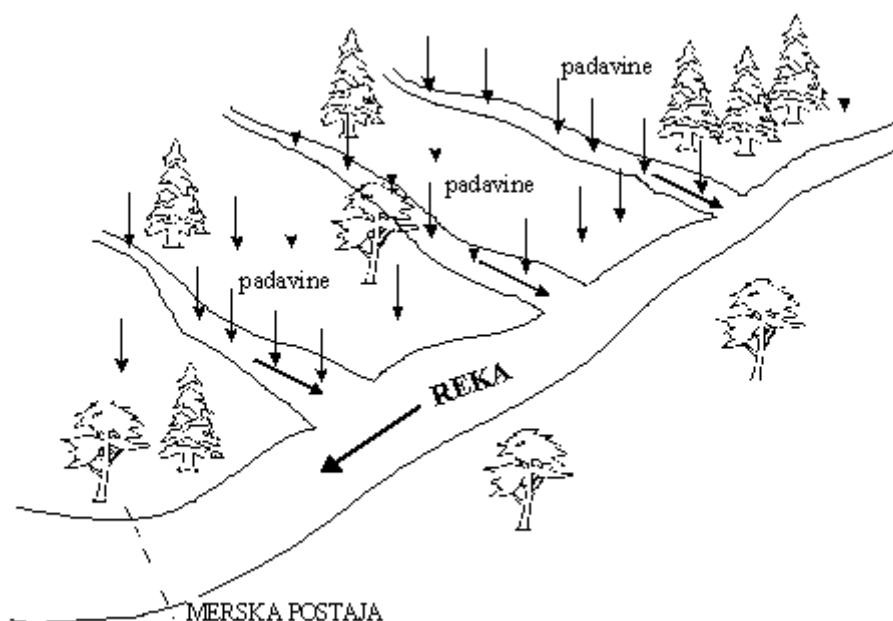
Površinski odtok je del padavin, ki prispejo na površino zemlje in se ne zadržijo na rastlinah ali v tleh ali izhlapijo, temveč odtečejo površinsko v mrežo vodotokov (Golob, 2012). Glavni dejavniki, ki imajo vpliv na površinski odtok so geološki pogoji, klimatske razmere, vpliv vegetacije, karakteristike zemljine in topografija. Gonilo površinskega odtoka je gravitacija, pod vplivom katere voda teče od višjih leg proti nižjim (Zupančič, 2013). Površinski odtok se lahko tvori pri dolgotrajnih ali intenzivnih padavinah, ko se voda vpija v zemljino vse do trenutka, ko je dosežena infiltracijska sposobnost zemljine. V tem trenutku zemljina ni več sposobna absorbirati vode, kar privede do nastanka površinskega odtoka. Do nastanka površinskega odtoka lahko pride že bistveno prej, v kolikor je površina neprepustna na primer v urbanih središčih, industrijskih conah ipd.

Začetek površinskega odtoka definiramo ob pojavu padavinskih dogodkov, ki povečajo pretok zaradi (Golob, 2012):

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

Konec površinskega odtoka definiramo, ko se v vodotoku ponovno vzpostavi bazni odtok (Zupančič, 2013).

Pri obravnavi odtoka definiramo tudi pojem specifičnega odtoka, ki je odtok na enoto površine povodja. Navadno je vezan na povratno dobo pojava, desetletni ali stoletni pojav (Brilly in Šraj, 2014).



Slika 5: Oblikovanje površinskega odtoka (Brilly in Šraj, 2014).

4.2 Določanje površinskega odtoka z racionalno metodo

Racionalna metoda je enačba, ki določa vršno vrednost nevihtnega odtoka kot zmnožek prispevne površine, največje intenzivnosti dežja in odtočnega količnika (Mikoš et al., 2002). Racionalna metoda je zaradi velikih poenostavitev in enostavnosti uporabe zelo primerna za določanje največjih odtokov z manjših območij za različne povratne dobe. Pri uporabi metode je potrebno upoštevati majhno porečje relativno enostavne oblike in padavinske izgube se s časom ne smejo preveč spreminjati. Racionalno enačbo lahko zapišemo kot (Brilly in Šraj, 2010):

$$Q_{max} = 0.278 \times C \times i \times A \quad (10)$$

kjer je:

Q_{max} – največji pretok [m^3/h];

C – koeficient odtoka;

i – intenziteta padavin z določeno povratno dobo in trajanjem [mm/h];

A – vodozbirna površina [km^2].

Ob uporabi racionalne metode je potrebno upoštevati več predpostavk, ki lahko izrazito vplivajo na končne rezultate (Iowa Department of Natural Resources, 2009):

- povratna doba maksimalnega pretoka je enaka povratni dobi povprečne intenzitete padavin,
- padavine so enakomerne po celotni obravnavani površini,
- intenziteta padavin ostaja konstantna v časovni periodi in enaka intenziteti povprečnega časa,
- trajanje nevihte je enako povprečnemu trajanju intenzitete padavin do določene točke,
- drenažna površina je celotna skupna prispevna površina,
- povprečno trajanje intenzitete padavin je enako času, ki ga odtok potrebuje od najbolj oddaljene točke prispevnega območja do točke merjenja oz. iztoka iz porečja.

Ob tem je potrebno upoštevati tudi faktorje, ki navadno nimajo vpliva, a se lahko izkažejo za pomembne (Iowa Department of Natural Resources, 2009):

- dolžina nevihte določa, koliko časa bodo padale padavine povprečne intenzitete,
- 20% povečanje ali zmanjšanje vrednosti koeficienta odtoka bodo prinesle enak učinek kot sprememba intervala iz 5-letnega na 15-letnega oziroma 2- letnega,
- verjetnost, da bo vsem predpostavkam zadoščeno hkrati, je manjša kot verjetnost, da bo nastopila dejanska izbrana vrednost padavin v enačbi,
- v prispevnih območjih izrazito nepravilnih oblik se lahko zgodi, da ima določen del prispevne površine bistveno manjši čas koncentracije,
- lahko se pojavi razlika med padavinami na manjšem območju in povprečnimi padavinami,
- lahko pride do zelo velikih razlik v vrednosti koeficienta odtoka med posameznimi deli prispevnega območja.

4.2.1 Koeficient odtoka

Predstavlja razmerje med padlimi padavinami in površinskim odtokom. Je za določanje najzahtevnejši parameter v racionalni enačbi računa površinskega odtoka. Prikazuje interakcijo več različnih kompleksnih faktorjev, ki vključujejo površinsko vodo, infiltracijo, vlažnost, pokritost površja in prsti. Na delih, kjer je prispevna površina sestavljena iz več podpovršin z različnimi odtočnimi lastnostmi, lahko skupni koeficient odtoka izračunamo po enačbi (Miller, 2014):

$$C_{Skupno} = \frac{\sum(C_i)(A_i)}{A_{Skupno}}$$

Kjer je:

C_{Skupno} – skupni koeficient odtoka [-];

C_i – koeficient odtoka na delu i [-];

A_i – površina dela i [km²];

A_{Skupno} – skupna površina [km²].

Za urejanje in dimenzioniranje infrastrukture, kot so vodni zbiralniki in čistilne naprave, je pogosto ključni faktor površina neprepustnih območij. Koeficient odtoka na neprepustnih območjih je večji od 0.80 (Miller, 2014).

Preglednica 5: Koeficient odtoka za različne vrste rabe površin (Zupančič, 2013).

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

4.2.2 Intenziteta padavin

Intenziteta padavin je parameter, ki prikazuje silovitost padavin. Intenziteta je povezana z dolžino padavin in povratno dobo. Razmerje med intenziteto, trajanjem padavin in povratno dobo lahko prikažemo z ITP krivuljami (razloženo v poglavju 2.3) (Miller, 2014).

4.2.3 Vodozbirna površina

Vodozbirna površina je definirana kot površina merjena v horizontalni ravnini. Navadno je površina izmerjena iz načrtov ali kart. Vodozbirna površina vključuje celotno območje omejeno z razvodnico oz. mejami dreniranja (Miller, 2014).

5 ZELENA, HIBRIDNA IN SIVA INFRASTRUKTURA

Zeleno infrastrukturo lahko opredelimo kot naravne in polnaravne decentralizirane sisteme, namenjene upravljanju padavinskih voda v mestih, ki hkrati opravljajo širok nabor ekosistemskih storitev (Radinja et al., 2021). Njihov osnovni namen je posnemanje hidroloških procesov (zadrževanje, infiltracija, transpiracija), katerih cilj je upravljanje padavinskih voda na mestu nastanka in preprečevanje mešanja s komunalno vodo (Radinja et al., 2021). Siva infrastruktura je definirana kot klasičen gradbeni ukrep, ki večinoma ne zagotavlja ekosistemskih storitev. Hibridna infrastruktura pa je definirana kot kombinacija sive in zelene infrastrukture, kjer vizualno prevlada zeleni videz (ukrep podpira določene ekosistemske storitve), vseeno pa je za izvedbo ukrepa potrebno precej gradbenih del.

Urbanizacija je povzročila izrazit prirast števila ljudi v mestih. Predpostavljeno je, da v mestih živi več kot 55% svetovne populacije, na svetu pa je več kot 394 mest, ki imajo več kot milijon prebivalcev (McGrane, 2016). Trenutni koncept mest v veliki večini temelji na uporabi sive infrastrukture – to je tradicionalna metoda urbane odvodnje (Radinja et al., 2021). Takšna infrastruktura s svojimi značilnostmi preprečuje naraven proces vodnega kroga, saj neprepustne površine preprečujejo infiltracijo in omejujejo zadrževanje in transpiracijo. Vpeljava zelene in hibridne infrastrukture omogoča, da se naravni vodni krog vsaj v določeni meri ponovno vzpostavi.

V skupino zelene in hibridne infrastrukture spada veliko rešitev, med katere uvrščamo (Victoria State Government, 2017):

- zelene strehe,
- zelene stene,
- ulična drevesa,
- mokre vrtove,
- zadrževalne kanale,
- parke,
- igrišča,
- urbano agrikulturo,
- zelene pasove,
- bajerje in jezera,
- močvirja,
- gozdove.

Vsaka od zgoraj naštetih različic zelene in hibridne infrastrukture ima določene značilnosti, prednosti in slabosti. Izbiro rešitev s hibridno oziroma zeleno infrastrukturo je iz tega razloga potrebno preveriti za vsak ločen primer implementacije.

5.1 Zelene strehe

Zelene strehe so del tehnologije zelene gradnje in predstavljajo ozelenjeno plast ravne ali poševne strehe (Srna, 2021). Rastline so v zeleni strehi zasajene v medij, ki jim omogoča rast in se nahaja nad vodotesno membrano (Victoria State Government, 2017). Glavna vloga zelenih streh je opravljanje procesov zadrževanja in evapotranspiracije. Na ta način je zmanjšan površinski odtok z območja, kar posledično

zmanjšuje obremenitev kanalizacijskih sistemov. Torej za postavitev zelenih streh potrebujemo določeno znanje (tehnologijo), vizualno prevlada zeleni vidik, posledično lahko ukrep označimo kot hibridno infrastrukturo. Ob tem lahko zelene strehe veliko ostalih pozitivnih učinkov med katere štejemo (Gantar, 2014):

- podaljšana življenjska doba strehe,
- manjša temperaturna nihanja,
- zaščita strehe pred vremenskimi vplivi,
- čiščenje zraka,
- estetski videz.

Zelene strehe delimo na ekstenzivne in intenzivne. Ekstenzivne strehe imajo tanek substrat (do 12 cm), kar omogoča uspevanje zgolj omejenim rastlinam. Intenzivne strehe imajo debel substrat (več kot 20 cm), kar omogoča uspevanje bistveno večjemu spektru rastlin. Intenzivne zelene strehe lahko zelo dobro imitirajo dogajanje v tleh, so pa ob tem pogojene z nosilnostjo konstrukcije stavbe.



Slika 6: Primer zelene strehe (Princeton Student Climate Initiative - Princetone University, 2021)

5.2 Drevesa

Drevesa v urbanem in sub-urbanem okolju tvorijo številne okoljske in ekonomske prednosti. Drevesa s krošnjami prestrezajo padavinsko vodo, ki se na takšen način lahko infiltrira in ne tvori površinskega odtoka. Poleg tega baza, v katero so drevesa zasajena, upočasnjuje in omogoča infiltracijo vodi, ki že tvori površinski odtok. Prav tako imajo drevesa pozitiven učinek s tvorjenjem sence, s čimer se zmanjšuje učinek toplotnih otokov v mestih. Prispevajo tudi k zmanjšanju onesnaženosti zraka (Green ValuesTM Stormwater Management Calculator, 2020). Drevesa so lahko prisotna kot individualni elementi, kot urbani parki ali kot urbani gozdovi. Sajenje dreves sicer zahteva določeno gradbeno mehanizacijo, ampak je postavitev (sajenje) manj zahtevna v primerjavi z zelenimi strehami. Posledično lahko urbane parke in gozdove klasificiramo kot zeleno infrastrukturo.



Slika 7: Primer dreves kot zelena infrastruktura (Philadelphia Water Department, 2023)

5.3 Porozne talne površine

Porozne talne površine so oblika hibridne infrastrukture, ki klasično talno površino iz asfalta ali betona nadomesti z materiali, ki omogočajo infiltriranje vode skozi površino. Materiali pri tem ohranjajo vse ostale značilnosti klasičnih talnih površin. Prostori med posameznimi gradniki so lahko različno veliki, glede na specifične razmere posameznega območja. To daje poroznim talnim površinam možnost uporabnosti v veliko različnih razmerah. Vse porozne talne površine imajo bazo iz agregata, ki omogoča strukturno stabilnost, prispeva prostor za zadrževanje vode in ob tem delno odstranjuje tudi polutante v površinskem odtoku (Green ValuesTM Stormwater Management Calculator, 2020). Nekatere izmed poroznih talnih površin imajo tudi delno zelen vizualni izgled.



Slika 8: Primer poroznih talnih površin (Brown in Borst, 2014).



Slika 9: Primer zelenih poroznih talnih površin (LID Permeable Paving for Parking Lots, 2018).

6 SPLETNO ORODJE GREEN VALUES™ CALCULATOR

Green Values™ Calculator je spletno orodje razvito s strani organizacije CNT (*Center for Neighborhood Technology*), ki uporabnikom omogoča vpogled v zmanjšanje učinka urbanih poplav z implementacijo hibridne infrastrukture. Uporabnik pri uporabi definira cilj, koliko padavinske vode želi za določeno območje zadržati, nato pa lahko z upoštevanjem uporabe hibridne in zelene infrastrukture poskuša cilj tudi doseči. Poleg tega spletno orodje omogoča tudi sprotno računanje ekonomskih faktorjev in primerjavo stroškov in koristi (Zupančič, 2013).

Uporabnik v prvem koraku definira tip in velikost površine, ki bo obravnavana. Stran omogoča izbiro že prednastavljenih možnosti, kot so družinska hiša, območje v predmestju, stanovanjsko območje, komercialno območje, urbani park, park lokalne skupnosti, urbana kmetija ali šolsko igrišče. Vsaka od prednastavljenih možnosti ima zabeležene specifične karakteristike, ki pa jih lahko uporabnik poljubno spreminja. Poleg tega spletno orodje omogoča tudi vnos specifičnih scenarijev po izbiri uporabnika. Pri tej možnosti mora uporabnik vse lastnosti izbranega območja izbrati in vnesti sam.

Pri opisu območja lahko uporabnik površine v območju definira kot neprepustno površino ali kot naravno površino. Pri neprepustnih površinah lahko uporabnik izbira med:

- ravno streho,
- poševno streho,
- pločnikom,
- notranjim dvoriščem,
- parkirno površino,
- dovozom,
- vodno površino oziroma bazenom,
- cesto.

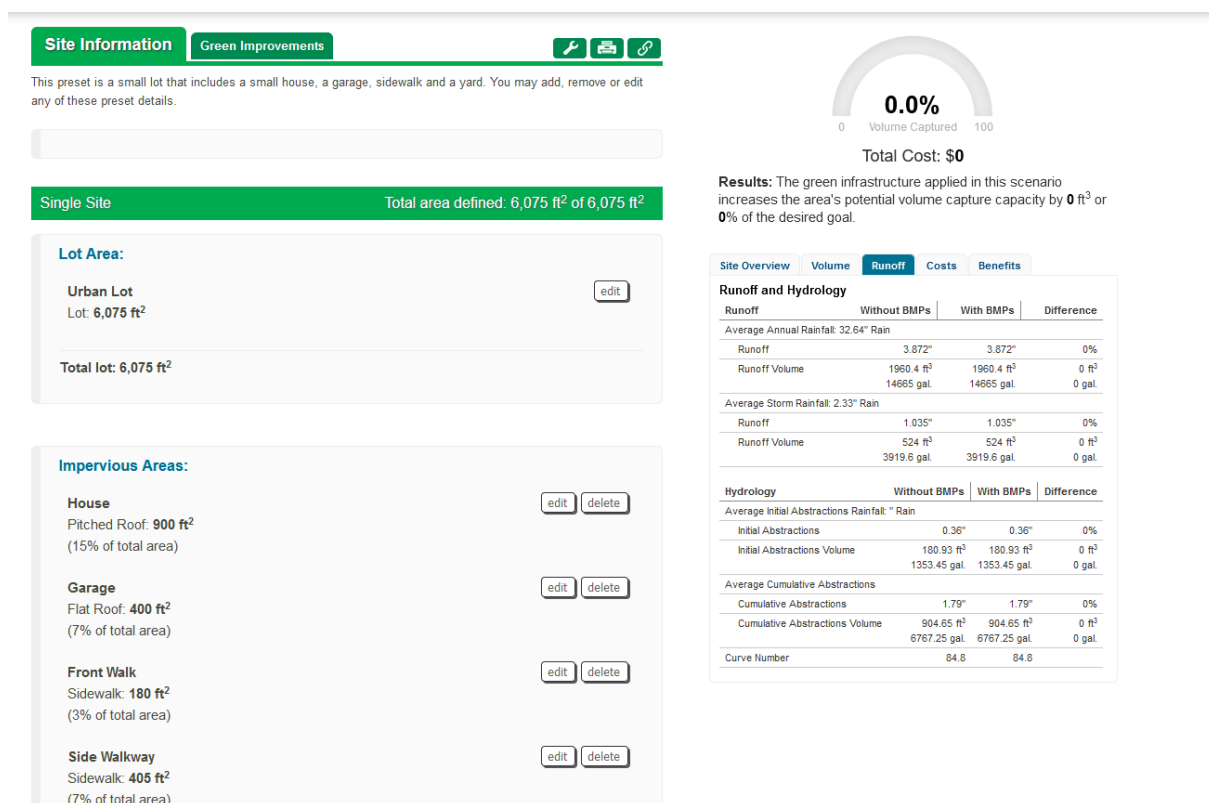
Pri naravnih površinah lahko uporabnik izbira med:

- urejenim travnikom,
- vrtom,
- območjem grmičevja in rastja,
- dvignjeno verando,
- naravnim odprtim območjem,
- naravnim močvirjem,
- naravno vodo.

Stran omogoča tudi spreminjanje podatkov o padavinah, ceni posameznih elementov in tipu tal na območju. Pri določitvi padavin je potrebno vnesti podatke o letnih padavinah, številu deževnih dnevih v letu, povprečnih padavinah na deževni dan, variaciji padavin skozi deževne dni in nevihtnih padavinah. Spletno orodje je v osnovi nastavljeno na povprečne padavine v ZDA, a je s spreminjanjem parametrov omogočeno doseganje dovolj dobrih rezultatov tudi za druge dele sveta. Pri določitvi tipa tal mora uporabnik določiti skupino parametra CN za tip tal na območju. Po določitvi vseh osnovnih parametrov lahko uporabnik začne z izbiro izboljšav v obliki zelene in hibridne infrastrukture. Stran omogoča izbiro različnih rešitev zelene in hibridne infrastrukture, uporabnik pa mora določiti, katere

izboljšave bo izbral in kakšno površino bodo izboljšave pokrivala. Ob določanju kalkulator sproti računa ceno investicije v zeleno oziroma hibridno infrastrukturo in delež zastavljenega cilja, ki ga določen tip infrastrukture pokrije.

Ko uporabnik vnese vse izbrane podatke, so rezultati prikazani v obliki tabele, kjer so primerjane količine brez uporabe izboljšav in z uporabo izboljšav. V tabeli so prikazane spremembe volumna vode, površinskega odtoka vode, cen osnovnega območja in izboljšav ter končnih koristi zaradi izboljšav (Green Values™ Stormwater Management Calculator, 2020).



Slika 10: Prikaz spletne strani Green Values™ Calculator (Green Values Stormwater Management Calculator, 2020).

7 OSNOVNI PODATKI O OBRAVNAVANEM OBMOČJU

Vse praktične meritve in analize smo obravnavali za območje industrijske cone Rudnik v Ljubljani. Območje se nahaja v osrednji Sloveniji, na jugovzhodnem delu Ljubljane (slika 9). Meje območja so predstavljale ceste oziroma ulice (slika 10):

- Bettetova cesta,
- Premrlova ulica,
- Jurčkova cesta,
- Cvetkova ulica,
- Ukmarjeva ulica,
- Lorenzova cesta.

Površina območja znaša približno 60 ha ali 6000 arov. Skupnih neprepustnih površin na območju je 4680 arov oziroma 468.000 m², skupnih naravnih površin pa je 1320 arov oziroma 132.000 m².

Neprepustne površine sestavljajo:

- ravne strehe (1550 arov oziroma 155.000 m²),
- parkirišča (1970 arov oziroma 197.000 m²),
- ceste (610 arov oziroma 61.000 m²),
- dovozi (380 arov oziroma 38.000 m²),
- pločniki (170 arov oziroma 17.000 m²).

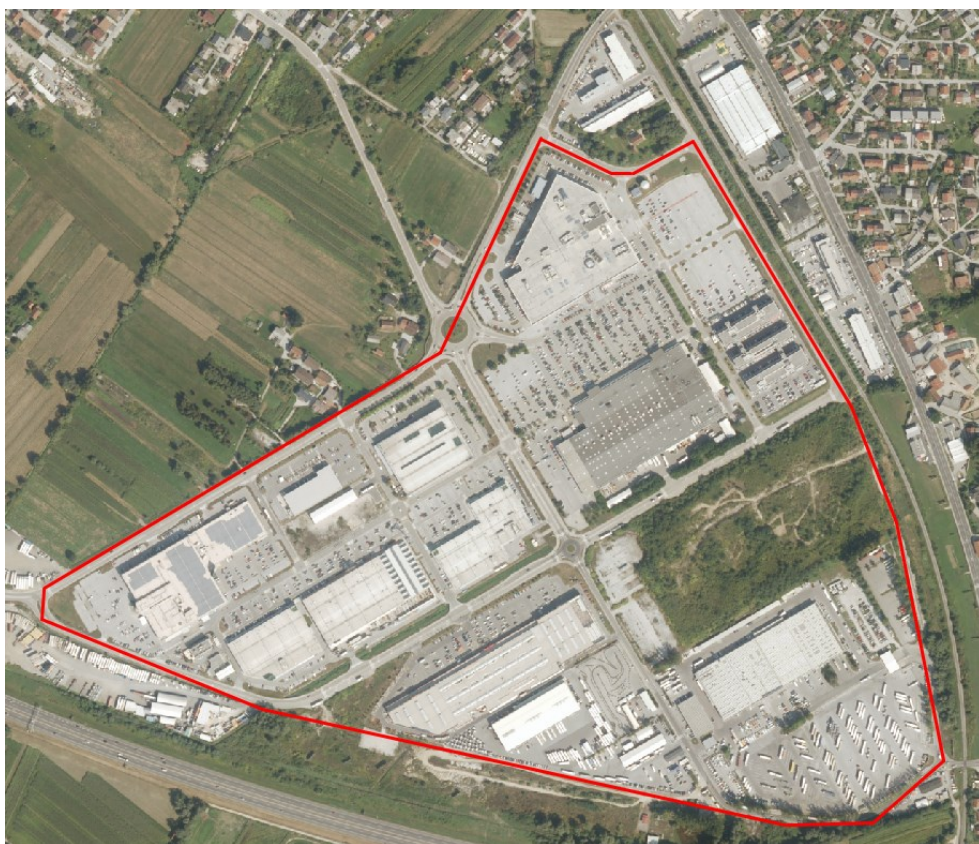
Naravne površine sestavljajo:

- urejeni travniki (420 arov oziroma 42.000 m²),
- naravno odprto območje (900 arov oziroma 90.000 m²).

Pomembno je poudariti, da smo obravnavali območje, kot je izgledalo leta 2018–(GURS, 2018), saj nismo uspeli pridobiti dovolj preglednih ortofoto posnetkov za obravnavo novejšega primera. Vsi podatki o merah in dimenzijah so uporabljeni iz leta 2018. Enako velja za podatke, ki smo jih vnašali v programsko orodje Green ValuesTM Calculator. Območje se je od leta 2018 do 2023 delno spremenilo, a z razpoložljivimi podatki tega nismo uspeli prikazati. Podatki, ki prikazujejo lastnosti območja v današnjem času pa so podatki, ki smo jih pridobili pri merjenju z mini disk infiltrimetrom.



Slika 11: Lokacija izbranega območja - prikaz celotne Slovenije (GURS, 2018).



Slika 12: Meje izbranega območja na ortofoto posnetku (GURS, 2018).

8 MERJENJE KOEFICIENTA PREPUSTNOSTI TAL OBSTOJEČIH ZELENIH POVRŠIN Z MINI DISK INFILTROMETROM

Ker ima območje določen delež zelenih površin smo opravili meritve, s ciljem ugotovitve koeficienta infiltracije na obravnavanem območju. Meritve so bile izvedene na devetih različnih točkah in so bile razporejene po različnih delih območja (sliki 11 in 12). Izvedene so bile 29. 6. 2023 med 18.20 in 20.45. Merili smo z infiltrometrom proizvajalca Decagon Devices, Inc. Uporabili smo infiltrometer M1 z 0.5 srka.



Slika 13: Mesta merjenja z MDI infiltrometrom (vir podlage: GURS, 2018).



Slika 14: Prikaz zelene površine v okolici merske točke T5.

Izračun koeficienta prepustnosti smo naredili po metodi Zhanga (Žnidaršič, 2013). Metoda je podrobneje opisana v poglavju 3.2.1. Po analizi meritev smo določili oziroma izračunali sledeče koeficiente prepustnosti tal po točkah:

- $T1 = 0.04 \text{ cm/s}$,
- $T2 = 0.02 \text{ cm/s}$,
- $T3 = 0.002 \text{ cm/s}$,
- $T4 = 0.001 \text{ cm/s}$,
- $T5 = 0.0006 \text{ cm/s}$,
- $T6 = 0.0004 \text{ cm/s}$,
- $T7 = 0.0004 \text{ cm/s}$,
- $T8 = 0.0003 \text{ cm/s}$,
- $T9 = 0.002 \text{ cm/s}$.

Rezultati kažejo, da je koeficient prepustnosti občutno višji na merilnih mestih T1 in T2. To je pričakovano, saj sta bili ti meritvi izvedeni na velikem umetnem nasipu, ki ni sestavljen iz enakih zemljin, kot na ostalih merilnih mestih. Iz tabele 6 lahko razberemo, da se na merilnih točkah T1 in T2 verjetno nahaja grob pesek, na ostalih točkah pa droben pesek ali melj. Naravna zemljina na območju je glina ali zaglinjen melj, kar prav tako potrjuje izmerjene rezultate. Po metodi SCS smo zemljino, ki se nahaja na obravnavanem območju, uvrstili v skupino D. Zemljine iz skupne D so slabo prepustne.

Preglednica 6: Tipične vrednosti koeficienta prepustnosti po različnih tipih zemljine (Evirgen, 2015).

TIP PRSTI	k (cm/s)
Čisti prod	1,0-100,0
Grob pesek	1,0-0,01
Fin pesek	0,01-0,001
Mulj	0,001-0,00001
Glina	Manj kot 0,000001

9 ANALIZA MERJENIH PADAVIN IN MODELNIH NAPOVEDI

9.1 Analiza merjenih padavin na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad

Za analizo merjenih padavin na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad smo uporabili podatke s spletne strani Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) (ARSO, 2023). Analizirali smo dnevne podatke, ki smo jih razdelili na štiri obdobja:

- 1982–1991,
- 1992–2001,
- 2002–2011,
- 2012–2022.

Iz dnevnih podatkov smo nato izračunal povprečne letne padavine, povprečno število deževnih dni, povprečne padavine na deževni dogodek in nevihtne padavine, za vsako desetletno obdobje. Nevihtne padavine predstavljajo podatek o količini padavin, ki spada v 99-percentilni naliv. Za izračun smo uporabili funkcijo *Percentile.exc(array;0.99)* v programu Microsoft Excel.

Preglednica 7 prikazuje izračunane povprečne letne padavine, povprečno število deževnih dni, povprečne padavine na deževni dogodek in nevihtne padavine za obdobje 1982–1991. Preglednica 8 prikazuje izračune za obdobje 1992–2001, preglednica 9 za obdobje 2002–2011 in preglednica 10 za obdobje 2012–2022.

Preglednica 7: Podatki povprečnih letnih padavin, povprečnega števila deževnih dni, povprečnih padavin na deževni dogodek in nevihtnih padavin na postaji Ljubljana-Bežigrad za obdobje 1982–1991.

1982-1991

Povprečne letne padavine [mm]	1329,73
Povprečno število deževnih dni na leto	148
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	9,02
Nevihtne padavine [mm]	46,66

Preglednica 8: Podatki povprečnih letnih padavin, povprečnega števila deževnih dni, povprečnih padavin na deževni dogodek in nevihtnih padavin na postaji Ljubljana-Bežigrad za obdobje 1992–2001.

1992-2001

Povprečne letne padavine [mm]	1366,55
Povprečno število deževnih dni na leto	158
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	8,69
Nevihtne padavine [mm]	48,55

Preglednica 9: Podatki za povprečnih letnih padavin, povprečnega števila deževnih dni, povprečnih padavin na deževni dogodek in nevihtnih padavin na postaji Ljubljana-Bežigrad obdobje 2002–2011.

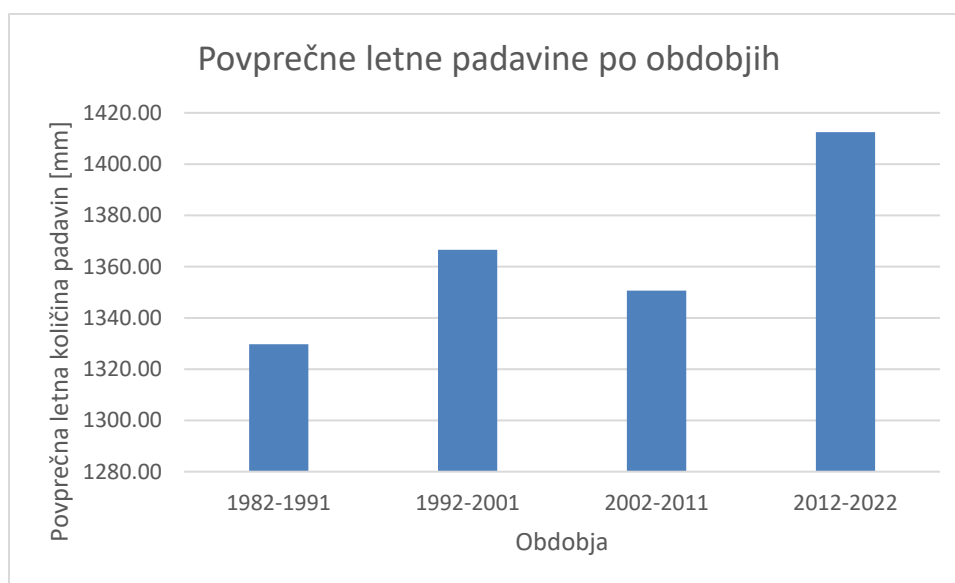
2002-2011

Povprečne letne padavine [mm]	1350,66
Povprečno število deževnih dni na leto	149
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	9,04
Nevihtne padavine [mm]	47,55

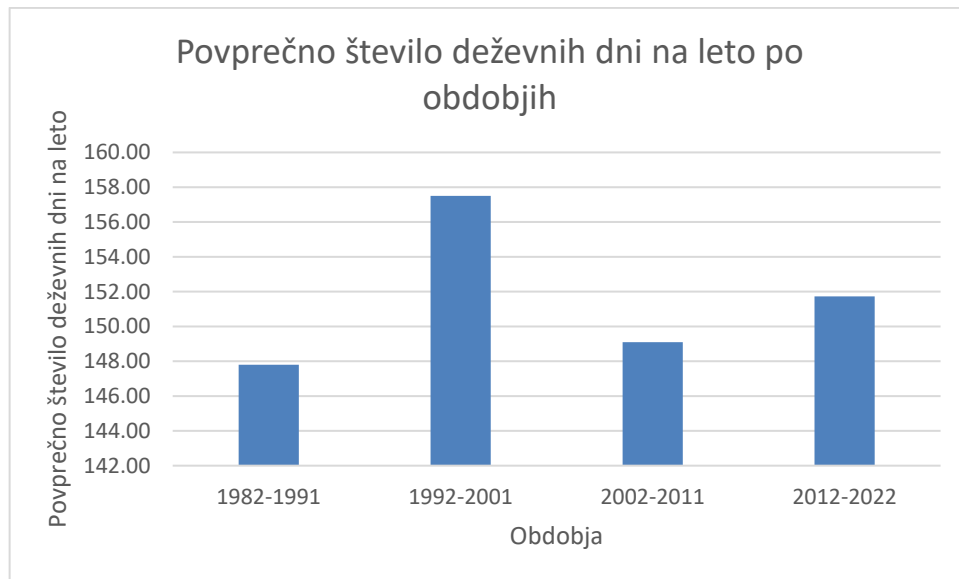
Preglednica 10: Podatki povprečnih letnih padavin, povprečnega števila deževnih dni, povprečnih padavin na deževni dogodek in nevihtnih padavin na postaji Ljubljana-Bežigrad za obdobje 2012–2022.

2012-2022

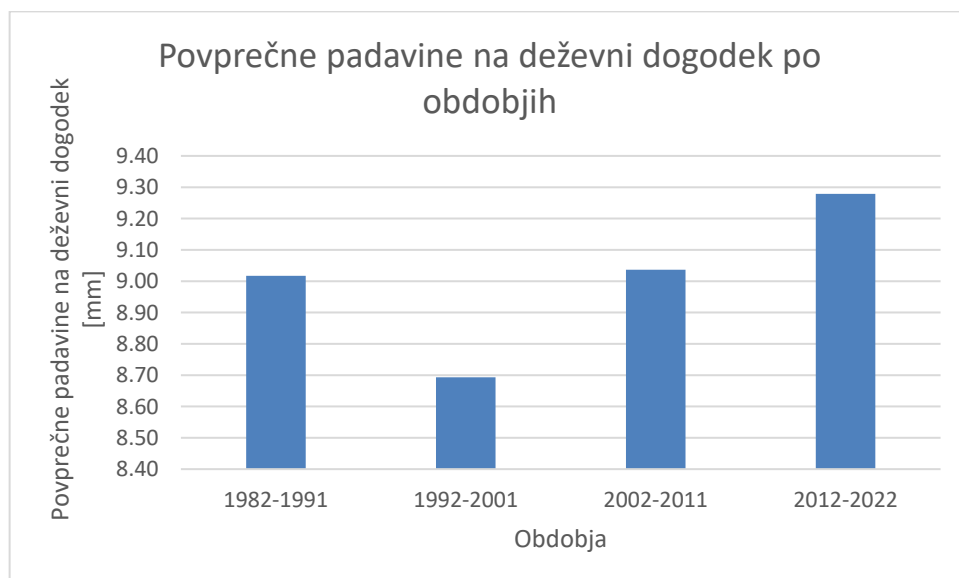
Povprečne letne padavine [mm]	1412,46
Povprečno število deževnih dni na leto	152
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	9,28
Nevihtne padavine [mm]	49,62



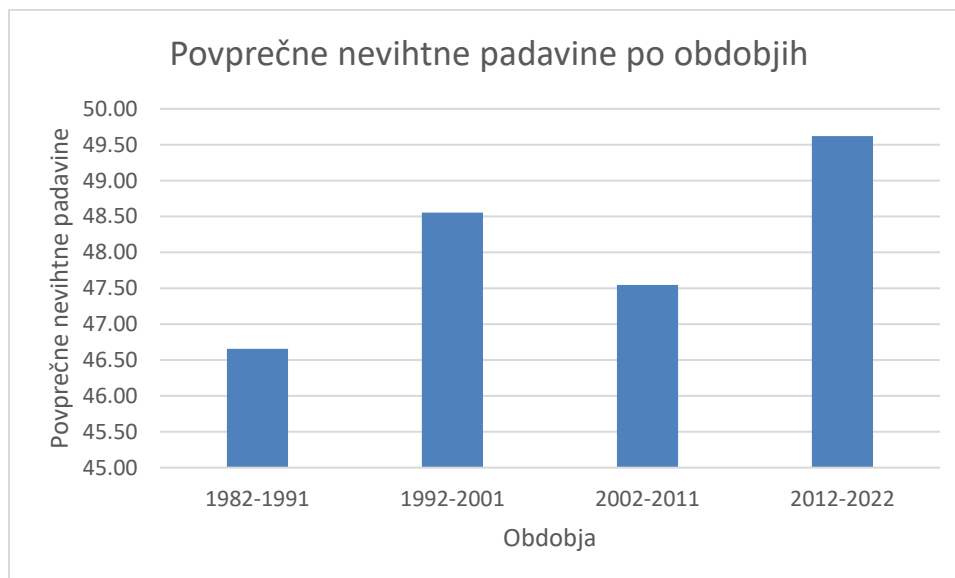
Graf 1: Povprečne letne padavine na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad.



Graf 2: Povprečno število deževnih dni na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad.



Graf 3: Povprečne padavine na deževni dogodek na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad.



Graf 4: Nevihtne padavine na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad.

Iz merjenih podatkov lahko ugotovimo, da je bilo na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad največ padavin v obdobju med 2012 in 2022. V tem obdobju je bila v povprečju dosežena največja letna količina padavin. (graf 1). Poleg tega so bile v obdobju med 2012 in 2022 padavine najbolj intenzivne, saj v obdobju v povprečju ni bilo največjega števila deževnih dni na leto, količina dežja pa je bila največja (graf 2-4). Kljub temu iz rezultatov težko določimo specifičen trend, saj podatki precej variirajo. Obdobje 40-ih let je prekratko, da bi lahko postavili konkretne trditve glede podnebnih sprememb in podobnih vplivov na padavine.

9.2 Analiza modelnih napovedi padavin za Slovenijo za obdobje 1981–2100

Pri analizi modelnih podnebnih podatkov za obdobje 1981–2100 smo uporabili podatke, ki so bili pridobljeni v okviru projekta OPS21 (ARSO, 2018). Projekt OPS21 se je osredotočal na priprave podnebnih projekcij pri oceni podnebnih sprememb za Slovenijo v 21. stoletju. Projekt se je začel leta 2016, njegovi rezultati pa nudijo informacije o tem, katere so spremembe podnebja, ki jih pričakujemo na območju Slovenije. Ob tem rezultati projekta kažejo, v kolikšni meri bodo podnebne spremembe vidne, ob kakšnih predpostavkah se bo to zgodilo in s kakšno negotovostjo jih lahko ocenjujemo. Ocene za podnebne spremembe v 21. stoletju omogočajo podlago za načrtovanje razvoja posameznih sektorjev in ukrepov za obvladanje tveganj za nesreče (poplave, suše idr.) (ARSO, 2018).

Vhodni podatki za popravke podnebnih modelov so bili ovrednoteni s pomočjo meteoroloških meritev, fenoloških opazovanj in hidroloških meritev. Končni rezultati prikazujejo spremembe temperature, spremembe padavin, spremembe vodne bilance in spremembe hidroloških spremenljivk na podlagi simulacij podnebnih modelov, ki so popravljeni glede na dejanske razmere v preteklem obdobju. Za potrebe te diplomske naloge sem se osredotočil zgolj na spremembe padavin.

Projekt OPS21 je pri nastavitvi modelov predpostavil tri možne scenarije (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5), glede na odziv ljudi na podnebne spremembe.

Scenarij RCP2.6 ali optimistični scenarij predvideva aktivno politiko blaženja podnebnih sprememb in posledično zelo nizke izpuste toplogrednih plinov, z viškom na začetku 21. stoletja in postopnim upadom. Za doseg takšnega scenarija bi bilo potrebno takojšnje občutno zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov (ARSO, 2018).

Scenarij RCP4.5 ali zmerno optimističen scenarij predvideva postopno zmanjševanje izpustov in ustalitev sevalnega prispevka po letu 2100 (ARSO, 2018).

Scenarij RCP8.5 ali pesimističen scenarij predvideva visok izpust toplogrednih plinov in posledično naraščanje njihove vsebnosti brez predvidenega blaženja podnebnih sprememb. Scenarij je energetsko intenziven, kar je posledica predvidene visoke rasti prebivalstva in nižje stopnje tehnološkega razvoja (ARSO, 2018).

Za pridobitev rezultatov sta bila upoštevana dva modela z optimističnim scenarijem RCP2.6, šest modelov z zmerno optimističnim scenarijem RCP 4.5 in šest modelov s pesimističnim scenarijem RCP 8.5. Pri analizi podatkov smo leta med 1981 in 2100 razdelili na tri obdobja:

- 1981–2020 preteklo obdobje,
- 2021–2060 obdobje bližnje prihodnosti,
- 2061–2100 obdobje daljne prihodnosti.

Ločeno smo izračunali povprečja padavin optimističnih modelov, zmerno optimističnih modelov in pesimističnih modelov za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad. Rezultate modelov smo nato združili in primerjali med seboj.

9.2.1 Optimističen model RCP2.6

Preglednica 11 prikazuje vrednosti padavin izračunanih po modelu RCP2.6 za obdobje med 1981 in 2020, preglednica 12 prikazuje vrednosti padavin izračunanih po modelu RCP2.6 za obdobje med 2021 in 2060, preglednica 13 pa prikazuje vrednosti padavin izračunanih po modelu RCP2.6 za obdobje med 2061 in 2100.

Preglednica 11: Rezultati RCP2.6 za obdobje 1981–2020.

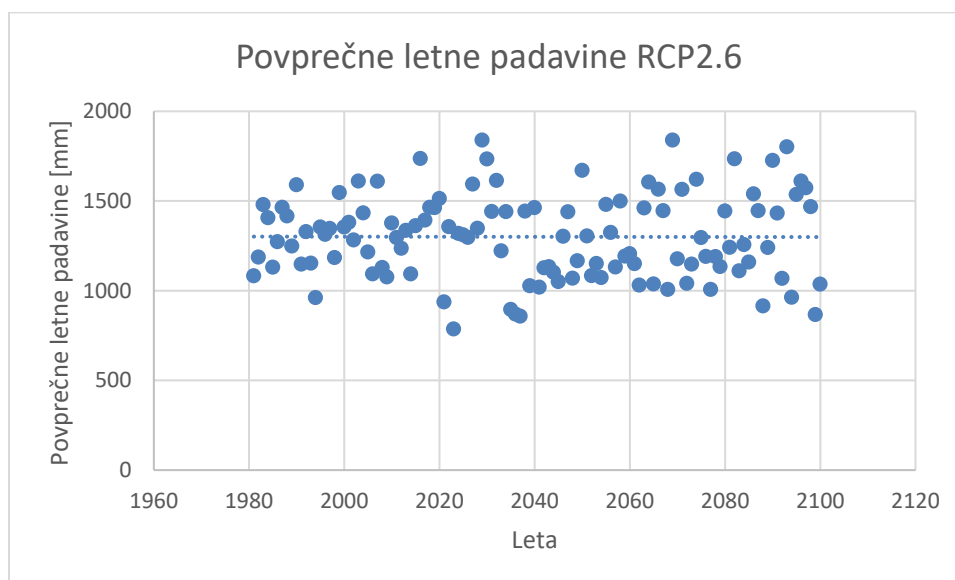
Povprečne letne padavine [mm]	1313,03
Povprečno število deževnih dni na leto	185
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	6,91
Nevihtne padavine [mm]	43,64

Preglednica 12: Rezultati RCP2.6 za obdobje 2021–2060.

Povprečne letne padavine [mm]	1375,97
Povprečno število deževnih dni na leto	183
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	7,31
Nevihtne padavine [mm]	45,64

Preglednica 13: Rezultati RCP2.6 za obdobje 2061–2100.

Povprečne letne padavine [mm]	1395,88
Povprečno število deževnih dni na leto	185
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	7,30
Nevihtne padavine [mm]	45,17



Graf 5: Povprečne letne padavine RCP2.6.

Na grafu 5 so posebej izpostavljene povprečne letne padavine, izračunane po podatkih modela RCP2.6, ki smo jih predpostavili kot najbolj ključni dejavnik za izračun količine površinskega odтока na

območju. Vsaka točka na grafu predstavlja povprečne letne padavine v posameznem letu. Na abscisni osi so prikazana leta, na ordinatni osi pa so prikazane vrednosti povprečnih letnih padavin v milimetrih. Prikazana je tudi linearna trendna črta, ki nam bolj nazorno prikaže spreminjanje trenda rezultatov. Graf prikazuje precejšen raztros rezultatov, trendna črta pa nam prikazuje, da povprečne letne padavine ostajajo sorazmerno podobne skozi celotno obdobje med leti 1981 in 2100. Ker modelni izračun RCP2.6 obravnava optimistični scenarij so takšni rezultati pričakovani, saj model obravnava majhen vpliv podnebnih sprememb na padavine.

9.2.2 Zmerno optimističen model RCP4.5

Preglednica 14 prikazuje vrednosti padavin izračunanih po modelu RCP4.5 za obdobje med 1981 in 2020, preglednica 15 prikazuje vrednosti padavin izračunanih po modelu RCP4.5 za obdobje med 2021 in 2060, preglednica 16 pa prikazuje vrednosti padavin izračunanih po modelu RCP4.5 za obdobje med 2061 in 2100.

Preglednica 14: Rezultati RCP4.5 za obdobje 1981–2020.

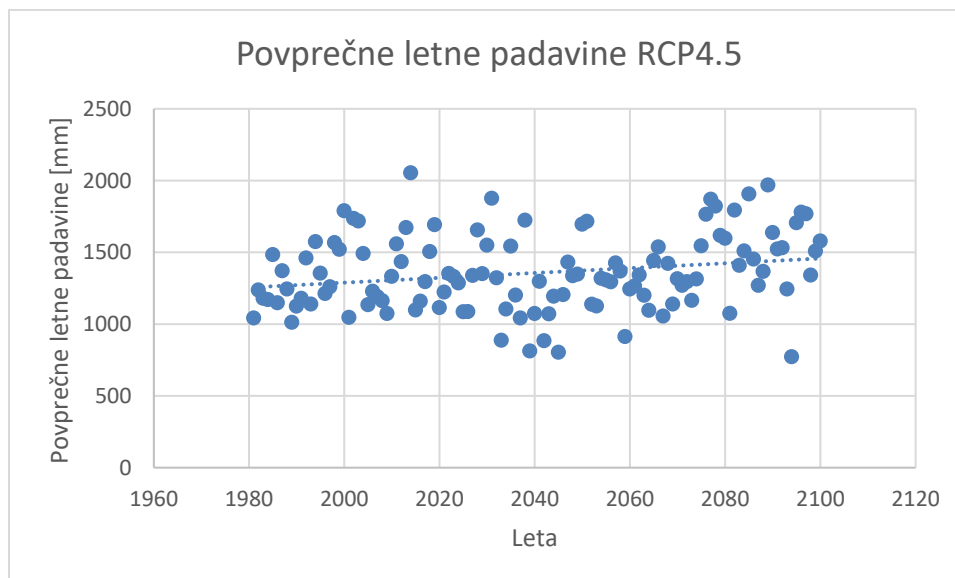
Povprečne letne padavine [mm]	1322,48
Povprečno število deževnih dni na leto	187
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	6,90
Nevihtne padavine [mm]	43,66

Preglednica 15: Rezultati RCP4.5 za obdobje 2021–2060.

Povprečne letne padavine [mm]	1364,71
Povprečno število deževnih dni na leto	183
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	7,27
Nevihtne padavine [mm]	45,9

Preglednica 16: Rezultati RCP4.5 za obdobje 2061–2100.

Povprečne letne padavine [mm]	1426,75
Povprečno število deževnih dni na leto	183
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	7,63
Nevihtne padavine [mm]	47,69



Graf 6: Povprečne letne padavine RCP4.5.

Graf 6 prikazuje povprečne letne padavine izračunane po modelu RCP4.5. Vsaka od točk na grafu prikazuje povprečne letne padavine v posameznem letu. Iz grafa lahko ugotovimo, da je raztros padavin podoben raztrosu v grafu 5. Trendna črta prikazuje naraščanje povprečnih letnih padavin med letoma 1981 in 2100, kar je pričakovano za zmerno optimističen računski model RCP4.5.

9.2.3 Pesimističen model RCP8.5

Preglednica 17 prikazuje vrednosti padavin izračunanih po modelu RCP8.5 za obdobje med 1981 in 2020, preglednica 18 prikazuje vrednosti padavin izračunanih po modelu RCP8.5 za obdobje med 2021 in 2060, preglednica 19 pa prikazuje vrednosti padavin izračunanih po modelu RCP8.5 za obdobje med 2061 in 2100.

Preglednica 17: Rezultati RCP8.5 za obdobje 1981–2020.

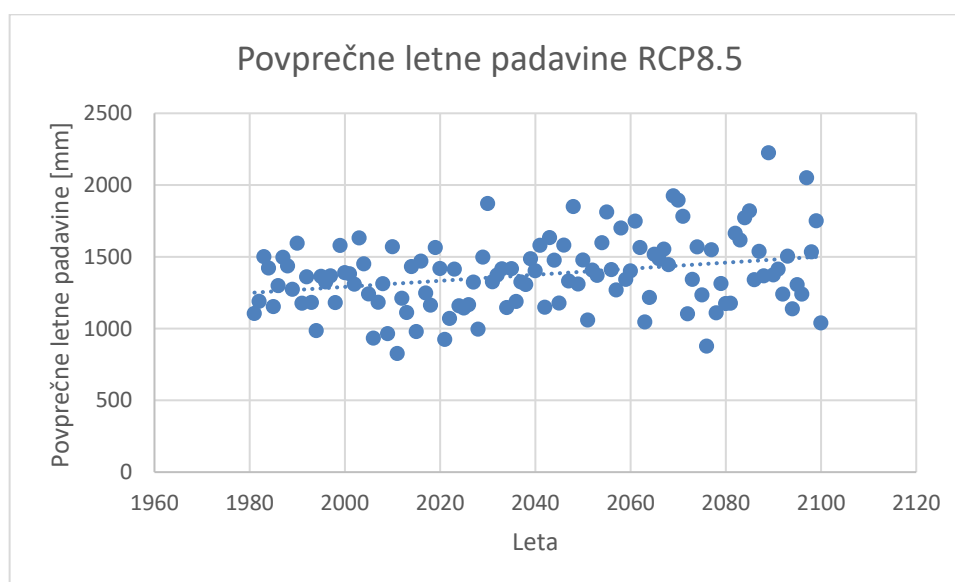
Povprečne letne padavine [mm]	1317,16
Povprečno število deževnih dni na leto	185
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	6,93
Nevihtne padavine [mm]	44,14

Preglednica 18: Rezultati RCP8.5 za obdobje 2021–2060.

Povprečne letne padavine [mm]	1412,58
Povprečno število deževnih dni na leto	181
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	7,62
Nevihtne padavine [mm]	47,78

Preglednica 19: Rezultati RCP8.5 za obdobje 2061–2100.

Povprečne letne padavine [mm]	1507,61
Povprečno število deževnih dni na leto	177
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	8,26
Nevihtne padavine [mm]	51,58



Graf 7: Povprečne letne padavine RCP8.5.

Graf 7 prikazuje povprečne letne padavine izračunane po modelu RCP8.5. Vsaka od točk na grafu prikazuje povprečne letne padavine v posameznem letu. Iz grafa lahko ugotovimo, da je raztros padavin velik (podoben kot v grafih 5 in 6). Trendna črta prikazuje naraščanje povprečnih letnih padavin med

letoma 1981 in 2100, kar je pričakovano za pesimističen model RCP8.5. Računski model RCP8.5 predvideva največji vpliv podnebnih sprememb na padavine. Graf 7 se od grafa 6 razlikuje predvsem po točkah povprečnih padavin v daljni prihodnosti (med leti 2061 in 2100). Graf 7 ima v obdobju daljne prihodnosti določene točke, ki močno odstopajo od ostalih, medtem ko so točke v grafu 6 tudi v daljni prihodnosti bolj skupaj.

10 IZRAČUN VPLIVA HIBRIDNE IN ZELENE INFRASTRUKTURE S POMOČJO SPLETNEGA ORODJA GREEN VALUES™ CALCULATOR

Pri ugotavljanju vpliva hibridne in zelene infrastrukture na odvajanje in infiltracijo padavinske vode smo analizirali 4 različice rešitev. Prva različica je obstoječe stanje, kar pomeni, da ne bi dodali nobene hibridne oziroma zelene infrastrukture. Druga različica je vzpostavitev zelenih streh (hibridni ukrep) na objektih trgovin Leclerc in Bauhaus. Površina streh obeh objektov meri 420 arov oziroma 42.000 m². Pri tretji različici smo upoštevali zasaditev dreves (zeleni ukrep) na parkiriščih pred več trgovinami. Površino spremenjenih parkirišč smo določili na 500 arov oziroma 50.000 m² in izbrali zasaditev 2000 dreves. Četrta različica je implementacija poroznih talnih površin (hibridni ukrep) na enakem območju, kot smo ga definirali za zasaditev dreves.

Vsako od rešitev smo analizirali preko vhodnih padavinskih podatkov, ki so opisani v poglavju 9. To pomeni, da smo naredili analizo izboljšav za povprečje merjenih padavin iz obdobja 1982–2022 in analizo izboljšav optimistične zmerno optimistične in pesimistične modelne napovedi za prihodnost.

10.1 Trenutno stanje brez dodane infrastrukture

10.1.1 Analiza odtokov brez dodane infrastrukture

Za obstoječe stanje ni bilo vpeljanih nobenih izboljšav v obliki hibridne tehnologije.

Ker rezultati merjenih podatkov o dnevni količini padavin na meteorološki postaji Ljubljana-Bežigrad med leti 1982–2022 niso pokazali konstantnih sprememb in ker smo želeli obravnavati nize podatkov, ki bi bili podobnih velikosti, smo se odločili, da pri analizi vplivov hibridne infrastrukture, merjene podatke obravnavamo kot enovito serijo med leti 1982–2022 (podatki niso razdeljeni na skupine po desetletjih). Enak postopek smo privzeli tudi v poglavjih 10.2.1, 10.3.1 in 10.4.1

Preglednica 20: Povprečje merjenih povprečnih letnih padavin, povprečnega števila deževnih dni, povprečnih padavin na deževni dogodek in nevihtnih padavin na postaji Ljubljana-Bežigrad za skupno obdobje 1982 – 2022.

Povprečne letne padavine [mm]	1364,85
Povprečno število deževnih dni na leto	152
Povprečne padavine na deževni dogodek [mm]	9,01
Nevihtne padavine [mm]	48,09

Preglednica 21: Odtok za merjene podatke brez izboljšav.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	454,73
Volumen odtoka [m ³]	272.839
Nevihta	
Skupni odtok [mm]	32,33
Volumen odtoka [m ³]	19.403
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2035,55
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	10.178

Preglednica 22: Odtok za model RCP2.6 brez izboljšav.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	444,80
Volumen odtoka [m ³]	266.884
Nevihta	
Skupni odtok [mm]	29,29
Volumen odtoka [m ³]	17.581
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2035,55
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	10.178

Preglednica 23: Odtok za model RCP4.5 brez izboljšav.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	468,30
Volumen odtoka [m ³]	280.981
Nevihta	
Skupni odtok [mm]	30,23
Volumen odtoka [m ³]	18.140
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2035,55
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	10.178

Preglednica 24: Odtok za model RCP8.5 brez izboljšav.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	480,67
Volumen odtoka [m ³]	288.393
Nevihita	
Skupni odtok [mm]	32,11
Volumen odtoka [m ³]	19.263
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2035,55
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	10.178

V preglednicah 21–24 so prikazani odtoki in hidrološke značilnosti v primeru brez upoštevanih ukrepov. Iz rezultatov lahko ugotovimo, da je v vseh primerih odtok največji pri modeliranih podatkih z upoštevanjem pesimističnega scenarija (RCP8.5). Ob primerjavi zgolj rezultatov modelnih izračunov lahko ugotovimo, da se največji odtok pojavlja pri pesimističnem scenariju, kar je pričakovano (največja količina padavin). Skupni odtok ob povprečni letni količini padavin je med 444,8 mm in 480,67 mm (odvisno od izbranega modela). Skupni odtok zaradi nevihtnih padavin je med 29,29 mm in 32,33 mm (odvisno od izbranega modela).

10.1.2 Analiza stroškov za primer brez dodane infrastrukture

V preglednici 25 so prikazani stroški za obstoječo infrastrukturo na območju brez vpeljave hibridne tehnologije. Cena za vzpostavitev trenutnega stanja je vsota vseh stroškov nastalih z gradnjo infrastrukture, ki je danes prisotna na izbranem območju. To so obstoječe ceste, pločniki, strehe idr. Cena vzdrževanja je vsota vseh cen del in obnovitev v enem letu. Cena ob koncu življenjske dobe je skupna vsota vseh stroškov v življenjski dobi investicije. To pomeni cena izgradnje infrastrukture in cena vseh vzdrževalnih del v času obstoja infrastrukture. Za naše izračune smo v vseh primerih predpostavili 30-letno življenjsko dobo in 3,1% diskontno stopnjo.

Preglednica 25: Ocena stroškov brez izboljšav.

Cena za vzpostavitev trenutnega stanja [€]	18.284.843
Cena vzdrževanja [€]	2.930.058
Cena ob koncu življenjske dobe [€]	83.145.101

10.2 Analiza vpliva z dodanimi zelenimi strehami

10.2.1 Analiza odtokov z vpeljavo zelenih streh

Pri vpeljavi zelenih streh smo določili dva objekta, ki bi jima streho spremenili v zelene strehe. Objekta, ki smo ju izbrali sta trgovini Leclerc (1) in Bauhaus (2) (slika 13). Skupna površina zelenih streh je 420 arov oziroma 42.000 m².



Slika 15: Stavbe določene za vpeljavo zelenih streh (vir podlage: GURS, 2018).

Preglednica 26: Odtok za merjene podatke z vpeljavo zelenih streh.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	386,25
Volumen odtoka [m ³]	231.751
Nevihita	
Skupni odtok [mm]	29,01
Volumen odtoka [m ³]	17.406
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2637,88
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	13.189

Preglednica 27: Odtok za model RCP2.6 z vpeljavo zelenih streh.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	383,77
Volumen odtoka [m ³]	230.251
Nevihita	
Skupni odtok [mm]	26,09
Volumen odtoka [m ³]	15.658
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2637,88
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	13.189

Preglednica 28: Odtok za model RCP4.5 z vpeljavo zelenih streh.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	390,07
Volumen odtoka [m ³]	234.033
Nevihita	
Skupni odtok [mm]	26,97
Volumen odtoka [m ³]	16.194
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2637,88
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	13.189

Preglednica 29: Odtok za model RCP8.5 z vpeljavo zelenih streh.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	401,32
Volumen odtoka [m ³]	240.787
Nevihta	
Skupni odtok [mm]	28,78
Volumen odtoka [m ³]	17.270
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2637,88
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	13.189

V preglednicah 26–29 so prikazani odtoki in hidrološke značilnosti ob vpeljavi zelenih streh na izbrani stavbi. Odtoki so v primerjavi s primerom brez izboljšav nižji tako pri merjenih kot modeliranih padavinah. Skupni odtok zaradi povprečnih letnih padavin je med 383,77 mm in 401,32 mm (odvisno od izbranega modela). Skupni odtok zaradi nevihtnih padavine je med 26,09 mm in 29,01 mm (odvisno od izbranega modela).

10.2.2 Analiza stroškov in koristi z vpeljavo zelenih streh

Preglednici 30 in 31 prikazujeta ekonomske stroške in koristi, kot posledica postavitve zelenih streh. V preglednici 30 cena izgradnje brez zelene infrastrukture predstavlja ceno za vzpostavitev trenutnega stanja (podrobneje predstavljeno v poglavju 10.1.2). Stroški in koristi so obravnavani za primer z največjo količino padavin, saj je takrat vpliv hibridne infrastrukture največji. Zaradi postavitve zelenih streh se poveča tako osnovna cena izgradnje, kot cena vzdrževanja. K povišanju cene prispeva nakup in vgraditev prsti, kamor so zasajene rastline, ter nakup in vgraditev drenažnega sloja, ki skrbi za dreniranje in infiltracijo padavinske vode. Cena izgradnje zelene strehe je 119 €/m², cena vzdrževanja pa je 7,5 €/m² na leto. V življenjski dobi infrastrukture se njena cena zaradi hibridne infrastrukture poveča za 7.276.401 €. Zelena infrastruktura pa ima tudi dobre lastnosti, ki jih lahko finančno ovrednotimo. Med te lastnosti sodijo zmanjšanje porabljene energije, polnjenje podtalnice in zmanjšanje zdravstvenih stroškov. V življenjski dobi lahko prihranek oziroma bonitete ovrednotimo na 1.590.618 €. Stroški izgradnje in vzdrževanja so višji od pozitivnih bonitet v primeru vpeljave zelenih streh.

Preglednica 30: Analiza stroškov z vpeljavo zelenih streh.

	Brez zelene infrastrukture [€]	Z zeleno infrastrukturo [€]	Razlika [€]
Cena izgradnje infrastrukture [€]	18.284.843	21.567.786	-3.282.943
Cena vzdrževanja [€]	2.930.058	3.181.010	-250.952
Cena ob koncu življenjske dobe [€]	83.145.101	90.421.502	-7.276.401

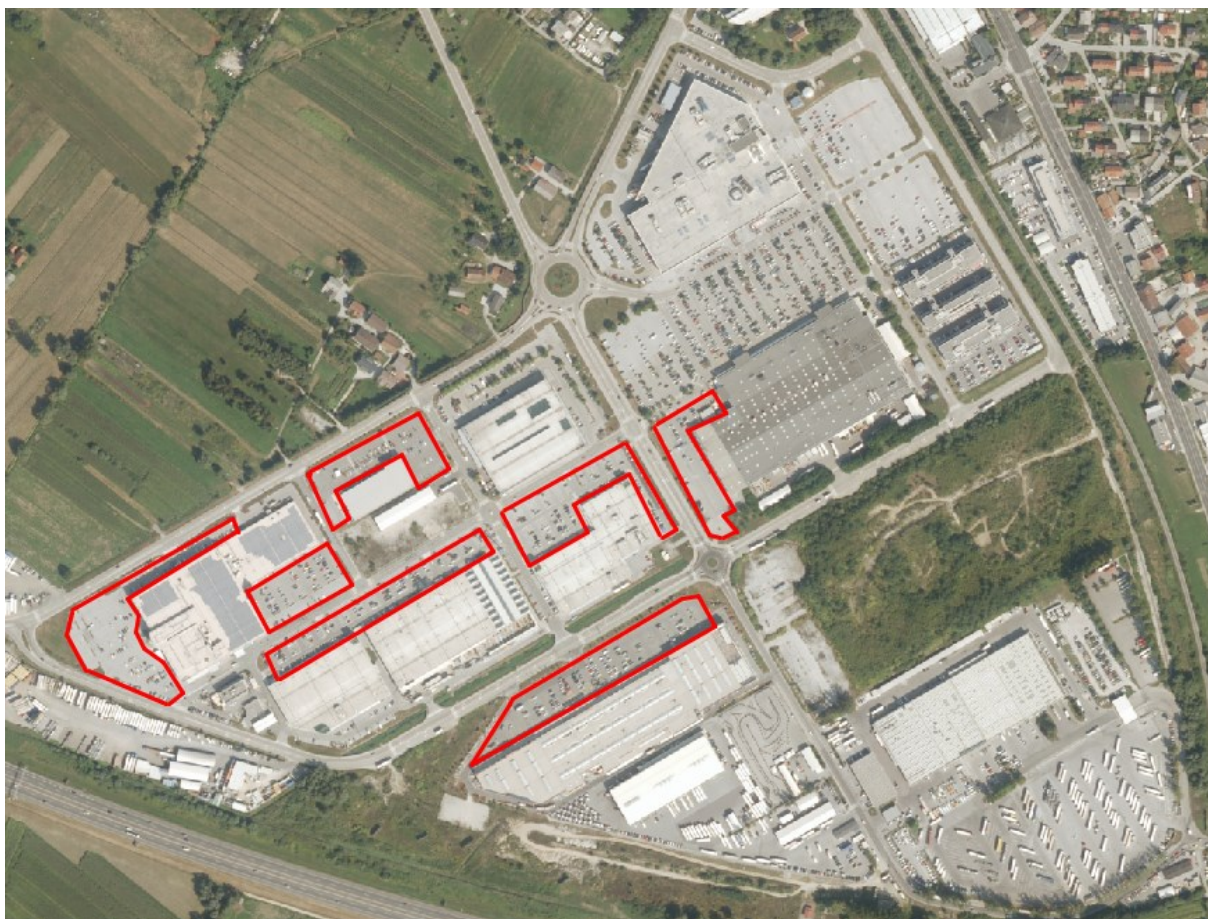
Preglednica 31: Analiza koristi z vpeljavo zelenih streh.

	Na leto [€]	V življenjski dobi [€]
Zmanjšanje energije	74.051	1.506.907
Polnjenje podtalnice	3055	62.172
Zmanjšanje zdravstvenih stroškov	1058	21.539
Skupaj	78.164	1.590.618

10.3 Analiza vpliva zasaditve dreves

10.3.1 Analiza odtokov v primeru zasaditve dreves

Pri analizi ukrepa z zasaditvijo dreves smo se odločili, da testiramo vpliv zasaditve 2000 ločenih dreves na dosedanje površine parkirišč v velikosti 500 arov oziroma 50.000 m² (slika 14). Ker obravnavamo primer s situacijo iz leta 2018 smo se odločili, da površine parkirišč, kjer bi zasadili drevesa, izberemo na lokacijah, kjer v času 2018–2023 ni prišlo do drastičnih sprememb v obliki, rabi površja in tipu površin. Na ta način so rezultati reprezentativni tudi za današnji čas.



Slika 16: Območje, kjer je načrtovana zasaditev dreves (vir podlage: GURS, 2018).

Preglednica 32: Odtok za merjene podatke z vpeljavo dreves.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	399,81
Volumen odtoka [m ³]	238.888
Nevihta	
Skupni odtok [mm]	29,64
Volumen odtoka [m ³]	17.795
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2514,08
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	12.570

Preglednica 33: Odtok za model RCP2.6 z vpeljavo dreves.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	396,76
Volumen odtoka [m ³]	238.056
Nevihta	
Skupni odtok [mm]	26,72
Volumen odtoka [m ³]	16.031
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2514,08
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	12.570

Preglednica 34: Odtok za model RCP4.5 z vpeljavo dreves.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	404,39
Volumen odtoka [m ³]	242.632
Nevihta	
Skupni odtok [mm]	27,61
Volumen odtoka [m ³]	16.571
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2514,08
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	12.570

Preglednica 35: Odtok za model RCP8.5 z vpeljavo dreves.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	415,87
Volumen odтока [m ³]	249.514
Nevihita	
Skupni odtok [mm]	29,41
Volumen odтока [m ³]	17.658
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2514,08
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	12.570

V preglednicah 32–35 so prikazani odtoki in hidrološke značilnosti po zasaditvi dreves na izbrana območja. Odtoki so v primerjavi s primerom brez dodane infrastrukture nižji, v primerjavi z primerom z zelenimi strehami pa višji. Skupni odtok zaradi povprečnih letnih padavin je med 396,76 mm in 415,87 mm (odvisno od izbranega modela). Skupni odtok zaradi nevihtnih padavine je med 26,72 mm in 29,64 mm (odvisno od izbranega modela).

10.3.2 Analiza stroškov in koristi zasaditve dreves

Preglednici 36 in 37 prikazujeta ekonomske stroške in koristi, kot posledica zasaditve 2000 dreves na izbrana območja. V preglednici 36 cena izgradnje brez zelene infrastrukture predstavlja ceno za vzpostavitev trenutnega stanja (podrobneje predstavljeno v poglavju 10.1.2). Stroški in koristi so obravnavani za primer z največjo količino padavin, saj je takrat vpliv hibridne infrastrukture največji. Zaradi posaditve dreves se poveča tako osnovna cena izgradnje, kot cena vzdrževanja. K povišanju cene prispeva izkop sadilnih jam in prst za zasipanje. Cena postavitve enega drevesa je 231 €, cena vzdrževanja pa je 166 € na drevo na leto. V življenjski dobi infrastrukture se njena cena zaradi hibridne (zelene) infrastrukture poveča za 6.117.305 €. Koristi oziroma bonitete zasaditve dreves lahko v življenjski dobi ovrednotimo na 11.597.685 €. Med koristi lahko štejemo zmanjšanje energije, zmanjšanje zračnega onesnaženja, zmanjšanje ogljikovega dioksida, kompenzacijsko vrednost, polnjenje podtalnice in zmanjšanje zdravstvenih stroškov. Podatki kažejo, da je skupna finančno ovrednotena korist dreves v življenjski dobi višja od skupnih stroškov skozi življenjsko dobo.

Preglednica 36: Analiza stroškov z vpeljavo dreves.

	Brez zelene infrastrukture [€]	Z zeleno infrastrukturo [€]	Razlika [€]
Cena izgradnje infrastrukture [€]	18.284.843	18.651.027	-366.184
Cena vzdrževanja [€]	2.930.058	3.230.576	-300.518
Cena ob koncu življenjske dobe [€]	83.145.101	89.262.406	-6.117.305

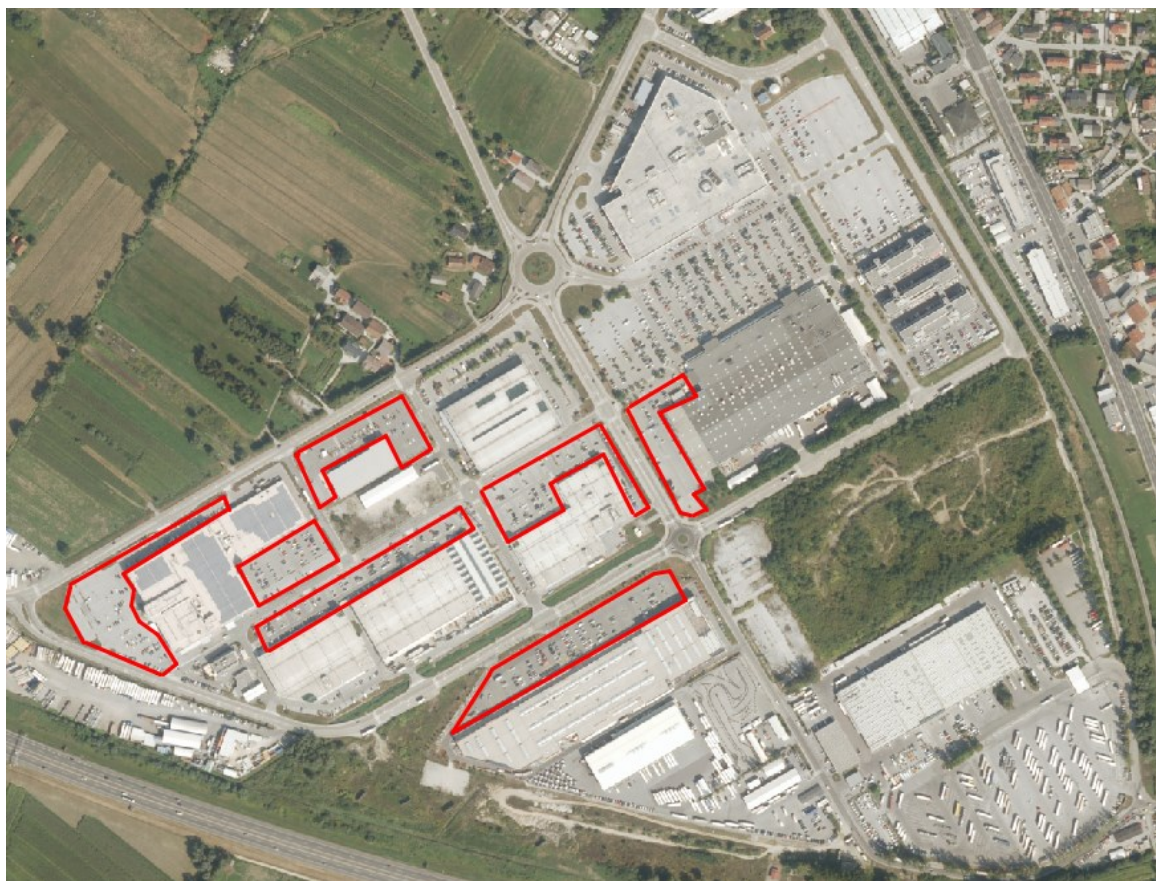
Preglednica 37: Analiza koristi z vpeljavo dreves.

	Na leto [€]	V življenjski dobi [€]
Zmanjšanje energije	65.520	1.333.298
Zmanjšanje zračnega onesnaženja	329	6703
Zmanjšanje ogljikovega dioksida	218	4444
Kompenzacijska vrednost	500.500	10.184.918
Polnjenje podtalnice	2493	50.743
Zmanjšanje zdravstvenih stroškov	864	17.579
Skupaj	569.925	11.597.685

10.4 Analiza vpliva dodanih poroznih površin

10.4.1 Analiza odtokov v primeru dodanih poroznih talnih površin

Pri vpeljavi poroznih talnih površin smo se odločili, da 500 arov oziroma 50.000 m² trenutnih parkirnih površin na izbranem območju (slika 15) nadomestimo s poroznimi talnimi površinami, ki omogočajo boljše odtekanje in infiltracijo vode v tla.



Slika 17: Območje, kjer so načrtovane porozne talne površine (vir podlage: GURS, 2018).

Preglednica 38: Odtok za merjene podatke z vpeljavo poroznih talnih površin.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	359,78
Volumen odtoka [m ³]	215.868
Nevihta	
Skupni odtok [mm]	28,22
Volumen odtoka [m ³]	16.932
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2805,43
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	14.027

Preglednica 39: Odtok za model RCP2.6 z vpeljavo poroznih talnih površin.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	352,70
Volumen odtoka [m ³]	211.622
Nevihta	
Skupni odtok [mm]	25,32
Volumen odtoka [m ³]	15.204
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2805,43
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	14.027

Preglednica 40: Odtok za model RCP4.5 z vpeljavo poroznih talnih površin.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	371,86
Volumen odtoka [m ³]	223.112
Nevihta	
Skupni odtok [mm]	26,21
Volumen odtoka [m ³]	15.733
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2805,43
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	14.027

Preglednica 41: Odtok za model RCP8.5 z vpeljavo poroznih talnih površin.

Povprečna letna količina padavin	
Skupni odtok [mm]	382,83
Volumen odtoka [m ³]	229.699
Nevihta	
Skupni odtok [mm]	27,99
Volumen odtoka [m ³]	16.798
Hidrologija	
Začetni volumen zadržane vode [m ³]	2805,43
Skupni volumen zadržane vode [m ³]	14.027

V preglednicah 38–41 so prikazani odtoki in hidrološke značilnosti ob vpeljavi poroznih talnih površin na izbrana območja. Odtoki so v primerjavi z ostalimi obravnavanimi primeri nižji. Skupni odtok zaradi povprečnih letnih padavin je med 352,70 mm in 382,83 mm (odvisno od izbranega modela). Skupni odtok zaradi nevihtnih padavin je med 25,32 mm in 28,22 mm (odvisno od izbranega modela).

10.4.2 Analiza stroškov in koristi z vpeljavo poroznih talnih površin

Preglednici 42 in 43 prikazujeta ekonomske stroške in koristi, kot posledica vzpostavitve poroznih talnih površin na parkiriščih. V preglednici 42 cena izgradnje brez zelene infrastrukture predstavlja ceno za vzpostavitev trenutnega stanja (podrobneje predstavljeno v poglavju 10.1.2). Stroški in koristi so obravnavani za primer z največjo količino padavin, saj je takrat vpliv hibridne infrastrukture največji. Zaradi porozne talne infrastrukture se poveča osnovna cena izgradnje, cena vzdrževanja pa se zmanjša. Cena izgradnje je višja zaradi postavitve posteljice, bazne in sub bazne plasti znotraj talne površine. Cena izgradnje porozne talne površine je 86 €/m², cena vzdrževanja pa je 0.2 €/m² na leto. V življenjski dobi infrastrukture se njena cena zaradi hibridne infrastrukture zmanjša za 5.241.410 €. Koristi oziroma bonitete zasaditve dreves lahko v življenjski dobi ovrednotimo na 103.303 €. Med koristi lahko štejemo polnjenje podtalnice in zmanjšanje zdravstvenih stroškov. Porozne talne površine prinašajo finančno korist v primerjavi z obstoječim stanjem tako pri stroških vzdrževanja, kot pri vsoti bonitet oziroma koristi.

Preglednica 42: Analiza stroškov z vpeljavo poroznih talnih površin.

	Brez hibridne infrastrukture [€]	S hibridno infrastrukturo [€]	Razlika [€]
Cena izgradnje infrastrukture [€]	18.284.843	21.042.182	-2.757.339
Cena vzdrževanja [€]	2.930.058	2.484.378	445.680
Cena ob koncu življenjske dobe [€]	83.145.101	77.903.691	5.241.410

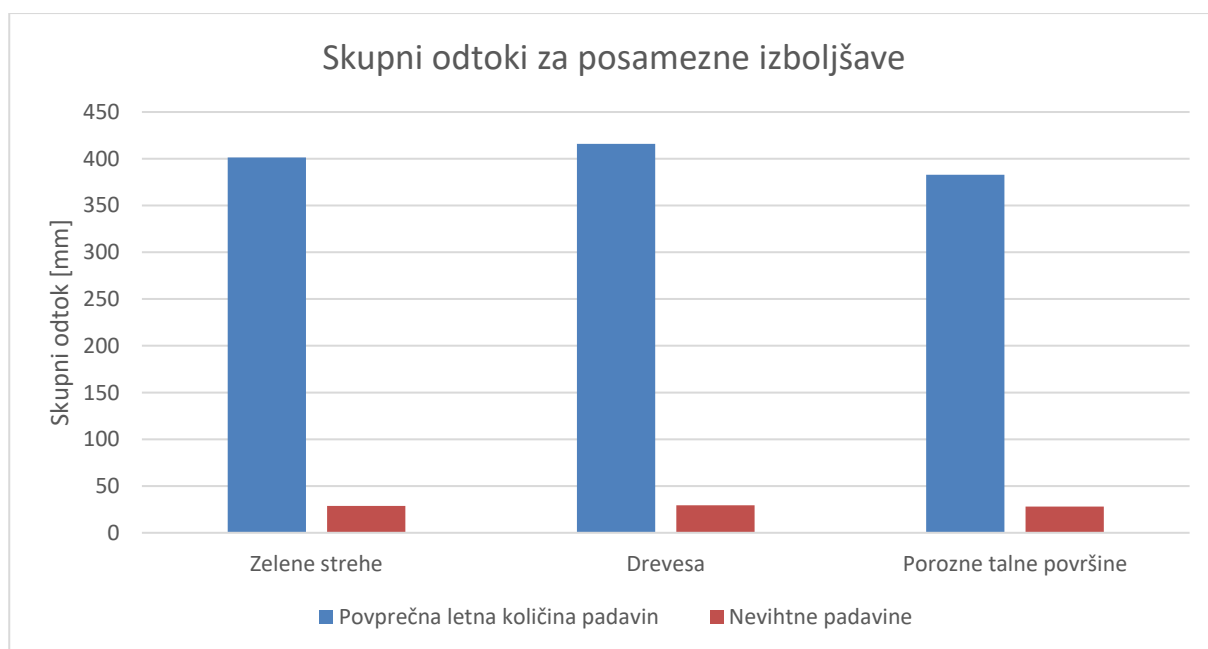
Preglednica 43: Analiza koristi z vpeljavo poroznih talnih površin.

	Na leto [€]	V življenjski dobi [€]
Polnjenje podtalnice	3.770	76.723
Zmanjšanje zdravstvenih stroškov	1.306	26.580
Skupaj	5.076	103.303

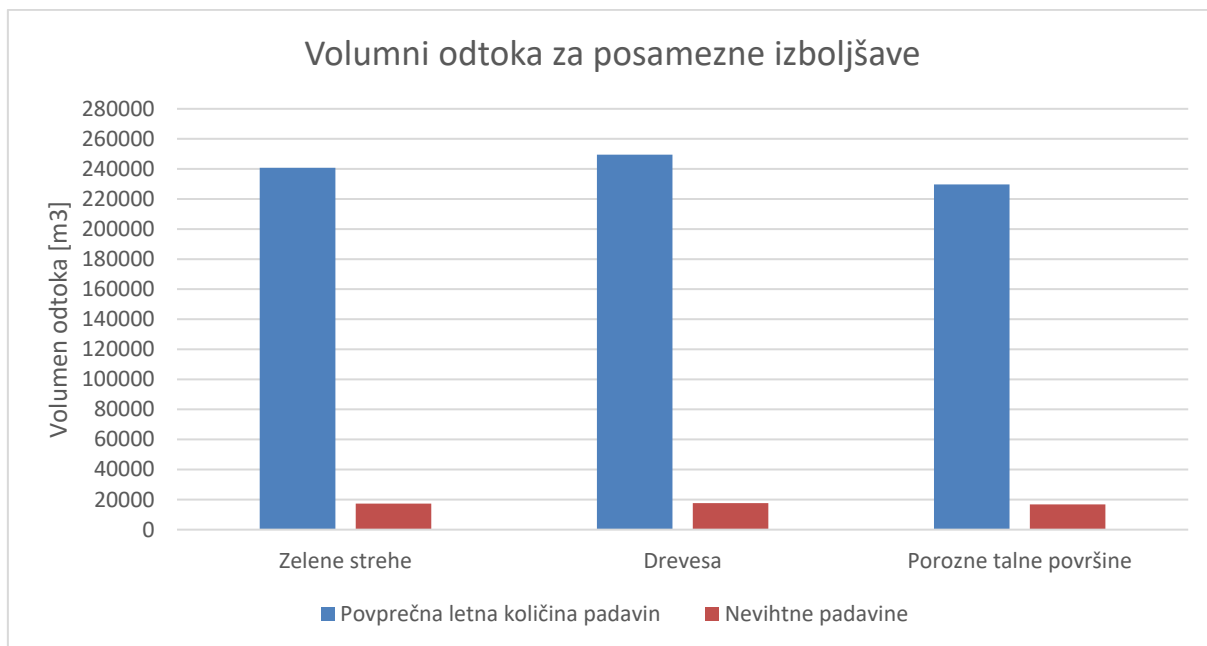
10.5 Primerjava odtokov in ekonomskih koristi za vse obravnavane primere hibridne infrastrukture

Ob primerjavi vseh analiziranih različic hibridne infrastrukture je razvidno, da površinski odtok najbolj zmanjša implementacija poroznih talnih površin na parkirišča. Najbolj se zmanjša, tako odtok zaradi povprečnih letnih padavin, kot odtok zaradi nevihtnih padavin (graf 8 in graf 9).

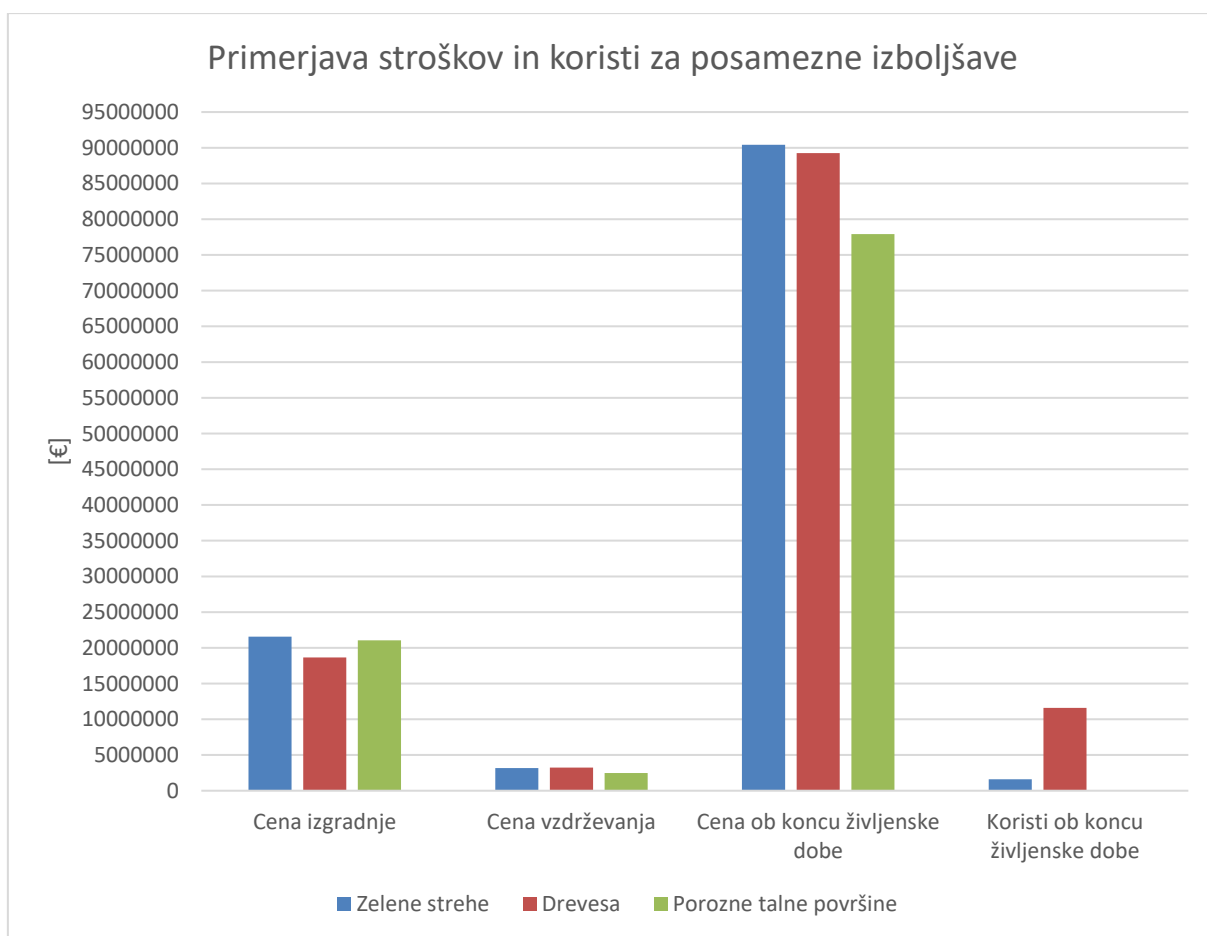
Analiza stroškov in koristi nam pokaže, da je ekonomsko najboljša rešitev sajenje dreves. Razlika med drevesi in poroznimi talnimi površinami je v življenjski dobi majhna, saj drevesa prinašajo bistveno več finančnih koristi, a imajo ob tem tudi precej višjo vrednost stroškov. Izboljšava z zelenimi strehami je najdražja, prav tako pa ne prinaša tako velikih koristi kot izboljšava s poroznimi talnimi površinami (graf 10).



Graf 8: Skupni odtoki za posamezne izboljšave.



Graf 9: Volumni odtoka za posamezne izboljšave.



Graf 10: Stroški in koristi za posamezne izboljšave.

11 ZAKLJUČKI

V diplomskem delu so predstavljeni vplivi hibridne in zelene infrastrukture na površinske odtoke z urbanih površin. Poleg tega so obdelani in analizirani merjeni in modelirani podnebni podatki o padavinah za preteklo stanje, stanje bližnje prihodnosti in stanje daljne prihodnosti (ARSO, 2018).

V začetnem delu naloge so predstavljeni osnovni podatki in teoretične osnove o padavinah, infiltraciji in površinskem odtoku. Poleg tega je predstavljen pojem hibridne in zelene infrastrukture, njenih oblik in osnovnih lastnosti. Vsi podatki predstavljeni v teoretičnem delu, so bili določeni kot osnova za meritve in metode v praktičnem delu.

V praktičnem delu naloge je predstavljen konkreten primer idejne implementacije hibridne in zelene infrastrukture za območje industrijske cone Ljubljana Rudnik. Za izbrano območje smo določili dimenzije in vrsto rabe površin. Prav tako smo z meritvami infiltracije določili koeficient prepustnosti za obstoječe zelene predele na območju. Z izvedenimi meritvami smo ugotovili, da tla na izbranem območju spadajo v skupino D po SCS kategorizaciji.

Izvedli smo analizo obstoječih meritev padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad za obdobje 1982 – 2022 in analizo modeliranih padavin za obdobje 1981–2100. Modelne meritve smo razdelili na 3 obdobja in primerjali različne scenarije glede na intenzivnost boja proti podnebnim spremembam v prihodnosti

Podatke o lastnostih območja in lastnostih padavin za preteklost in prihodnost smo združili in s pomočjo spletnega orodja Green Values™ Calculator izračunali površinske odtoke za različne merjene in modelirane padavine in vplive hibridne in zelene infrastrukture na zmanjšanje površinskih odtokov. Prav tako smo izvedli analizo stroškov in koristi za različne tipe ukrepov.

Na podlagi analize podatkov, meritev in izračunov smo ugotovili, da hibridna in zelena infrastruktura pozitivno prispevata k zmanjšanju površinskega odtoka na urbanih površinah. Največje zmanjšanje površinskega odtoka je bilo ugotovljeno pri vpeljavi poroznih talnih površin. Pri povprečnih letnih padavinah se površinski odtok zaradi poroznih talnih površin zmanjša za 92–98 mm (odvisno od obravnavanega modela), v primerjavi s primerom brez hibridne infrastrukture. Pri nevihtnih padavinah se površinski odtok zaradi dodanih poroznih talnih površin v našem primeru zmanjša za 4,02–4,16 mm (odvisno od obravnavanega modela), v primerjavi s primerom brez hibridne infrastrukture. Največje finančne koristi prinese zasaditev dreves na izbrana območja. V življenjski dobi infrastrukture drevesa prinesejo 5.480.380 € prihranka v primerjavi s primerom brez zelene oziroma hibridne infrastrukture.

Vsak od ukrepov ima svoje pridnosti in slabosti, zato ne moremo trditi, da obstaja univerzalno najboljši ukrep. Ob primerjavi različnih modelov, ki napovedujejo stanje v prihodnosti, lahko v bližnji in predvsem daljni prihodnosti pričakujemo trend intenzivnejših padavin, ki naj bi se pojavljale kot posledica podnebnih sprememb. Na območjih z neprepustno podlago bi lahko takšen trend podnebnih sprememb povzročil veliko težav. Iz tega razloga je pomembno, da iščemo rešitve za zmanjšanje vpliva površinske vode po padavinah, med katere sodi tudi obravnavana hibridna in zelena infrastruktura. Kljub

temu, da hibridna in zelena infrastruktura ne predstavlja absolutne rešitve problematike poplav na urbanih območjih, kaže dober potencial za zmanjšanje omenjenega problema v prihodnosti.

VIRI

ARSO. 2023. <https://meteo.arso.gov.si/> (Pridobljeno 18. 8. 2023.)

ARSO. 2006. Podnebne razmere v Sloveniji 1971 -2000. ARSO, Ljubljana: 28. str.
https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/podnebne_razmere_v_sloveniji_71_00.pdf (Pridobljeno 1. 8. 2023.)

ARSO. 2009. Povratne dobe za ekstremne padavine po Gumbelovi metodi . ARSO, Ljubljana: 67 str.
https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/precip-return-periods_2008.pdf (Pridobljeno 1. 8. 2023.)

ARSO. 2018. Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja . ARSO, Ljubljana: 81 str.
https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/OPS21_Porocilo.pdf
(Pridobljeno 21. 12. 2023.)

Brilly, M., Šraj, M. 2014. Osnove Hidrologije, Univerzitetni učbenik, Ponatis. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2010. Modeliranje površinskega odtoka in navodila za program HEC-HMS Univerzitetni učbenik, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 148 str.

Brown, R.A., Borst, M. 2014. Evaluation of Surface Infiltration Testing Procedures in Permeable Pavement Systems. J. Environ. Eng. 140, 04014001.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000808](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000808)

Datta, S., Taghvaeian, S., Stivers, J. 2017. Understanding Soil Water Content and Thresholds for Irrigation Management: 8 str.

Decagon Devices. 2016. Mini disk infiltrometer.
http://www.misure.net/sites/default/files/pdf/Mini%20Disk%20Infiltrrometer_Manual.pdf (Pridobljeno 25. 7. 2023.)

Dietz, M.E., Clausen, J.C. 2008. Stormwater runoff and export changes with development in a traditional and low impact subdivision. J. Environ. Manage. 87: 560–566.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.026>

Gantar, M. 2014. Metode zmanjševanja padavinskega odtoka v urbanem okolju : diplomska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 110 str. (Samozaložba M. Gantar).

Gao, J., O'Neill, B.C. 2020. Mapping global urban land for the 21st century with data-driven simulations and Shared Socioeconomic Pathways. Nat. Commun. 11, 2302.
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-15788-7>

Golob, A. 2012. Analiza časovnih parametrov hidrograma za izbrana porečja : diplomska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 86 str. (Samozaložba: A. Golob).

Gong, P., Li, X., Wang, J., Bai, Y., Chen, B., Hu, T., Liu, X., Xu, B., Yang, J., Zhang, W., Zhou, Y. 2020. Annual maps of global artificial impervious area (GAIA) between 1985 and 2018. Remote Sens. Environ. 111510: 12 str.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111510>

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

Green Values™ Stormwater Management Calculator. 2020.
<https://greenvalues.cnt.org/index.php?s=15842> (Pridobljeno 21. 12. 2023.)

GURS, 2018. Javni vpogled.
<https://ipi.eprostor.gov.si/jv/> (Pridobljeno 23. 7. 2023.)

Iowa Department of Natural Resources. 2009. Iowa Storm Water Management Manual: 8 str.

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

Lanciotti, S., Ridolfi, E., Russo, F., Napolitano, F. 2022. Intensity–Duration–Frequency Curves in a Data-Rich Era: A Review. Water 14, 3705.
<https://doi.org/10.3390/w14223705>

LID Permeable Paving for Parking Lots | Toronto – Ontario. 2018. LID Permeable Paving.
<https://lidpermeablepaving.ca/benefits-of-permeable-paving-for-parking-lots/> (Pridobljeno 8. 16. 2023.)

McGrane, S.J. 2016. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. Journal Sci. Hydrol. 61: 2295–2311.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1128084>

Mikoš, M., Kranjc, A., Mati, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology, Acta hydrotechnica.
https://actahydrotechnica.fgg.uni-lj.si/paper/a32_1.pdf (Pridobljeno 7. 8. 2023.)

Miller, B. 2014. ODOT Hydraulics Manual: Appendix F – Rational Method: 14 str.
https://www.oregon.gov/ODOT/GeoEnvironmental/Docs_Hydraulics_Manual/Hydraulics-07-F.pdf (Pridobljeno 6. 8. 2023.)

Nhat, L.M., Tachikawa, Y., Takara, K. 2006. Establishment of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam. Kyoto University: 11 str.

Philadelphia Water Department. 2023. Stormwater Trees.
<https://water.phila.gov/gsi/tools/tree/> (Pridobljeno 18. 8. 2023.)

Princeton Student Climate Initiative - Princeton University. 2022. All about Green Roofs.
<https://psci.princeton.edu/tips/2022/7/8/all-about-green-roofs> (Pridobljeno: 18. 8. 2023.)

Radinja, M., Atanasova, N., Zavodnik Lamovšek, A. 2021. Vodarski pogled na uvajanje modro-zelene infrastrukture v mestih. Urbani Izziv 32: 28–39.
<https://doi.org/10.5379/urbani-izziv-2021-32-01-003>

Rupar, L. 2021. Zasnova merilnika deževnih kapljic : diplomska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko: 63 str. (Samozaložba L. Rupar).

Šraj, M. 2009. Prestrežene padavine: meritve in analiza. Geografski vestnik 81 (1): 99 - 111.

Srna, S. 2021. Sonaravne rešitve za upravljanje s padavinsko vodo v mestih : diplomska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 49 str. (Samozaložba S. Srna).

Van Roon, M. 2007. Water localisation and reclamation: Steps towards low impact urban design and development. J. Environ. Manage. 83: 437–447.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.04.008>

Victoria State Government. 2017. Planning a Green-Blue City.
https://www.water.vic.gov.au/__data/assets/pdf_file/0029/89606/Green-blue-Infrastructure-Guidelines-Feb17.pdf (Pridobljeno 6. 8. 2023.)

Zupančič, N. 2013. Vpliv vegetacije na odtoke v urbanem okolju : diplomska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 59 str. (Samozaložba N. Zupančič).

Žnidaršič, P. 2013. Meritve vodoodbojnosti in infiltracije tal : diplomska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 51 str. (Samozaložba P. Žnidaršič).