

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



ANITA ZORE

VPLIV PRESTREZANJA PADAVIN NA EROZIJO

MAGISTRSKO DELO

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE
STOPNJE VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO**

Ljubljana, 2020

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

ANITA ZORE

VPLIV PRESTREZANJA PADAVIN NA EROZIJO

Magistrsko delo št.:

INFLUENCE OF RAINFALL INTERCEPTION ON THE SOIL EROSION

Master thesis No.:

Mentor/-ica:

izr. prof. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

doc. dr. Nejc Bezak

Član komisije:

Ljubljana, _____

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	556.121:582.622.2(497.4)(043.3)
Avtor:	Anita Zore
Mentor:	izr. prof. dr. Mojca Šraj
Somentor:	doc. dr. Nejc Bezak
Naslov:	Vpliv prestrežanja padavin na erozijo
Tip dokumenta:	Magistrsko delo
Obseg in oprema:	62 str., 3 pregl., 42 sl., 10 en.
Ključne besede:	padavine, navadna breza, <i>Betula pendula</i> Roth, disdrometer, mikrostruktura padavin, porazdelitev padavinskih delcev (DSD), erozivnost padavin, erozija tal

Izvilleček

Erozivnost padavin v svetovnem pogledu predstavlja velik izziv. Mikrostruktura padavin je ena ključnih lastnosti padavin, ki vpliva na gozdno vodno bilanco in erozijo tal, a se v raziskavah le redko upošteva.

V magistrskem delu je obravnavano 14 mesečno obdobje meritev padavin s pomočjo dveh disdrometrov nad in pod drevesno krošnjo breze. Iz pridobljenih podatkov smo izločili erozivne padavinske dogodke, izračunali trajanje posameznega dogodka, pridobili količino akumuliranih padavin in določili podatke o velikosti, hitrosti in številu dežnih kapljic nad krošnjo in pod njo. Izračunali smo tudi kinetično energijo padavin in erozijski dejavnik *R* posameznega padavinskega dogodka ter izvedli primerjavo potencialne izgube tal v primeru padavin nad in pod drevesno krošnjo.

Rezultati kažejo, da breza z daljšanjem trajanja padavinskega dogodka prepušča večjo količino padavin. V času vegetacije je prestregla 33 %, v času mirovanja pa 25 % padavin. Velikosti in hitrosti kapljic so bile v celotnem obravnavanem obdobju v splošnem nad drevesno krošnjo večje kot pod njo, a so v večji meri ohranile svojo velikost in hitrost pri prehodu skozi krošnjo v času mirovanja. Vrednost *KE* dežnih kapljic se je v času mirovanja pri prehodu skozi krošnjo ohranila, v času vegetacije pa se je zmanjšala za 31 %. Dejavnik erozivnosti padavin *R* se je v času vegetacije pod drevesno krošnjo zmanjšal za 50 %, v času mirovanja pa je bila vrednost pod drevesno krošnjo manjša za 21 %.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	556.121:582.622.2(497.4)(043.3)
Author:	Anita Zore
Supervisor:	Assoc. Prof. Mojca Šraj, Ph.D.
Co-supervisor	Assist. Prof. Nejc Bezak, Ph.D.
Title:	Influence of rainfall interception on the soil erosion
Document type:	Master Thesis
Scope and tools:	62 p., 3 tab., 42 fig., 10 eq.
Keywords:	rainfall, silver birch, <i>Betula pendula</i> Roth, disdrometer, throughfall, rainfall microstructure, drop size distribution (DSD), rainfall erosivity, soil erosion

Abstract

The rainfall erosivity is a worldwide challenge. Rainfall microstructure is one of the key properties of precipitation, which affects forest water balance and soil erosion, but it is rarely considered during the research processes.

The master's thesis deals with the 14 - month period of precipitation measurements using two disdrometers above and below the birch tree canopy. We excluded erosive precipitation events from the obtained data, calculated the duration of individual events, obtained the amount of accumulated precipitation and determined data on the drop size, velocity and number of raindrops detected above and below the canopy. We also calculated the kinetic energy of precipitation and the erosion factor R of individual precipitation events and performed a comparison of potential soil loss in the case of precipitation above and below the tree canopy.

The results show that throughfall under the birch increasing with a longer duration of the precipitation event. The interception by the birch canopy was 33% of precipitation during the vegetation period, and 25% during the dormant period. Droplet sizes and velocities were generally higher above the canopy than below it throughout the period considered, but they largely retained their size and velocity as they passed through the canopy during the dormancy period. The kinetic energy of raindrops was maintained during the dormancy period as they passed through the canopy, while it decreased by 31% during the growing season.

During the vegetation period, the erosion factor R decreased by 50% when passing through the canopy, and during the dormancy period the value under the canopy decreased by 21%.

ZAHVALA

Za nasvete in pomoč pri nastajanju magistrske naloge se iskreno zahvaljujem izr. prof. dr. Mojci Šraj in somentorju doc. dr. Nejcu Bezaku.

Posebna zahvala pa gre staršema, sestri, možu in mojima otrokoma za vso moralno podporo in spodbudna dejanja tekom nastajanja magistrske naloge.

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE.....	I
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	II
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	III
ZAHVALA.....	IV
OKRAJŠAVE	XII
1 UVOD	1
1.1 Opis problematike in relevantnost problema	1
1.2 Hipoteze	3
1.3 Cilji.....	3
2 TEORETIČNE OSNOVE.....	5
2.1 Prestrežanje padavin	5
2.1.1 Meteorološke vplivne spremenljivke.....	7
2.1.2 Vegetacijske spremenljivke.....	7
2.1.2.1 Fenofaze	7
2.2 Mikrostruktura padavin.....	8
2.2.1 Velikost dežnih kapljic.....	8
2.2.2 Hitrost dežnih kapljic.....	8
2.2.3 Število dežnih kapljic	9
2.3 Velikostna in hitrostna porazdelitev padavinskih delcev (DSD)	9
2.4 Kinetična energija (KE) padavin	9
2.4.1 Izračun KE s pomočjo empiričnih enačb	9
2.4.2 Izračun KE iz porazdelitve padavinskih delcev.....	10
2.5 Intenziteta padavin.....	10
2.5.1 Izračun intenzitete padavin iz velikostne porazdelitve padavinskih delcev	10
2.6 Erozija tal.....	11

2.6.1	Erozivnost padavin in površinskega odtoka	11
2.6.2	Metodologija RUSLE	11
3	PODATKI IN METODE.....	13
3.1	Raziskovalna ploskev in merska oprema	13
3.1.1	Dežemer Onset RF2-M.....	13
3.1.2	Disdrometer OTT Parsivel	14
3.1.2.1	Meritev velikostne in hitrostne porazdelitve padavinskih delcev (DSD).....	16
3.2	Podatki	17
4	REZULTATI.....	18
4.1	Trajanje padavinskih dogodkov.....	18
4.2	Količina padavin nad in pod drevesno krošnjo	19
4.3	Velikost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo	21
4.4	Hitrost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo.....	22
4.5	Število dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo	24
4.6	Intenziteta dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo	26
4.7	Kinetična energija (KE) dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo.....	27
4.8	Maksimalna 30-minutna intenziteta padavinskih dogodkov.....	29
4.9	Vrednost dejavnika erozivnosti padavin R	31
5	ANALIZA IN RAZPRAVA.....	33
5.1	Analiza vpliva trajanja padavinskega dogodka na delež prestreženih padavin breze	33
5.2	Analiza količine prepuščenih padavin pod brezo glede na fenološko fazo	33
5.3	Analiza vpliva mikrostrukture padavin na delež prepuščenih padavin breze	35
5.4	Analiza vpliva KE dežnih kapljic na delež prestreženih padavin breze	39
5.5	Analiza vpliva intenzitete padavin na delež prestreženih padavin	40
5.6	Analiza razmerja dejavnika erozivnosti padavin R nad in pod krošnjo	41
5.7	Primerjava potencialne izgube tal v primeru padavin nad in pod krošnjo za poletno nevihto	42
6	ZAKLJUČKI	43

VIRI.....	45
------------------	-----------

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Podatki o razredih velikosti in hitrosti dežnih kapljic izmerjenih z disdrometrom OTT Parsivel (OTT Hydromet, 2016)	16
Preglednica 2: Fenofaze breze v opazovanem obdobju	17
Preglednica 3: Padavine (P) in prepuščene padavine (Tf) glede na fenofaze	34

KAZALO SLIK

Slika 1: Sezonska povprečja padavin v 21. stoletju po zmerno optimističnem scenariju (RCP4.5) (vir: ARSO, 2017)	2
Slika 2: Shematični prikaz prepuščenih padavin skozi krošnjo (povzeto po Levia in sod., 2017)	6
Slika 3: Dežemer Onset RG2-M (foto: Zabret, 2018).....	14
Slika 4: Disdrometer OTT Parsivel na strehi stavbe (foto: Bezak, 2014)	14
Slika 5: Disdrometer pod drevesno krošnjo breze (foto: Zabret, 2018).....	15
Slika 6: Prikaz delovanja disdrometra OTT Parsivel (prirejeno po OTT Hydromet, 2016).....	15
Slika 7: Trajanje padavinskih dogodkov	18
Slika 8: Trajanje padavinskih dogodkov po razredih.....	19
Slika 9: Delež prestreženih padavin	19
Slika 10: Delež prepuščenih padavin	19
Slika 11: Delež prestreženih padavin glede na skupno količino padavin za vseh 58 obravnavanih dogodkov	20
Slika 12: Delež prepuščenih padavin glede na skupno količino padavin za vseh 58 obravnavanih dogodkov	20
Slika 13: Velikost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo za celo obdobje opazovanja .	21
Slika 14: Velikost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije .	22
Slika 15: Hitrost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo za celotno obdobje opazovanja	23
Slika 16: Hitrost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije ...	23
Slika 17: Število kapljic nad in pod drevesno krošnjo za celotno obdobje opazovanja.....	24
Slika 18: Število dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije ...	25
Slika 19: Intenziteta padavin nad in pod drevesno krošnjo za celotno obravnavano obdobje	26
Slika 20: Intenziteta padavin nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije	27
Slika 21: Kinetična energija dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo za celotno obravnavano obdobje	28
Slika 22: Kinetična energija dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije	29
Slika 23: Maksimalna 30-minutna intenziteta padavinskih dogodkov nad in pod drevesno krošnjo za celotno obravnavano obdobje	30

Slika 24: Maksimalna 30-minutna intenziteta padavinskih dogodkov nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije	30
Slika 25: Dejavnik erozivnosti padavin R nad in pod drevesno krošnjo za celotno obravnavano obdobje	31
Slika 26: Dejavnik erozivnosti padavin R nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije	32
Slika 27: Delež prestreženih prepuščenih padavin glede na čas trajanja padavinskega dogodka.....	33
Slika 28: Odvisnost količine prepuščenih padavin glede na količino padavin v času vegetacije	34
Slika 29: Odvisnost količine prepuščenih padavin glede na količino padavin v času mirovanja	34
Slika 30: Delež prestreženih padavin glede na fenofazo	35
Slika 31: Odvisnost povprečne hitrosti kapljic od povprečne velikosti kapljic nad drevesno krošnjo breze	36
Slika 32: Odvisnost povprečne hitrosti kapljic od povprečne velikosti kapljic pod drevesno krošnjo breze	36
Slika 33: Hitrost dežnih kapljic glede na fenofazo	37
Slika 34: Premer dežnih kapljic glede na fenofazo	37
Slika 35: Delež prepuščenih padavin v odvisnosti od povprečne velikosti kapljic	38
Slika 36: Delež prepuščenih padavin v odvisnosti od povprečne hitrosti kapljic	38
Slika 37: Delež prepuščenih padavin v odvisnosti od števila dežnih kapljic.....	39
Slika 38: Delež prepuščenih padavin glede na KE padavinskih dogodkov v obdobju vegetacije	39
Slika 39: Delež prepuščenih padavin glede na KE padavinskih dogodkov v obdobju mirovanja	40
Slika 40: Delež prepuščenih padavin glede na intenziteto padavinskih dogodkov v obdobju vegetacije	40
Slika 41: Delež prepuščenih padavin glede na intenziteto padavinskih dogodkov v obdobju mirovanja	41
Slika 42: Razmerje R_{nad}/R_{pod} glede na obdobje vegetacije	41

OKRAJŠAVE

Skozi celotno magistrsko nalogo uporabljamo naslednje okrajšave:

KE	Kinetična energija
DSD	Porazdelitev dežnih kapljic po velikosti
Max I_{30}	Maksimalna 30-minutna intenziteta padavin

Ta stran je namenoma prazna.

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

1.1 Opis problematike in relevantnost problema

Erozija tal na splošno predstavlja »dolbenje, spiranje, razjedanje, žlebljenje in odnašanje gradiva ter preperine zaradi različnih zunanjih dejavnikov« (Komac in Zorn, 2007). Odvisna je tako od pokrovnosti tal, tipa kamninske podlage, naklona tal, klimatskih razmer kot od človeških posegov na območju (Carollo in Ferro, 2014). Čeprav erozija posredno vpliva na naš vsakdanjik, ji zaradi nezadostnega zavedanja o erozivnih procesih v preteklosti, redkih meritev in razdrobljenosti zemljišč (predvsem s Sloveniji), še vedno posvečamo premalo pozornosti (Komac in Zorn, 2007). Najpomembnejši dejavniki, ki imajo vpliv na vodno erozijo tal so količina in intenziteta padavin, naklon in ukrivljenost pobočja, prepustnost podlage in raba tal (Komac in Zorn, 2007).

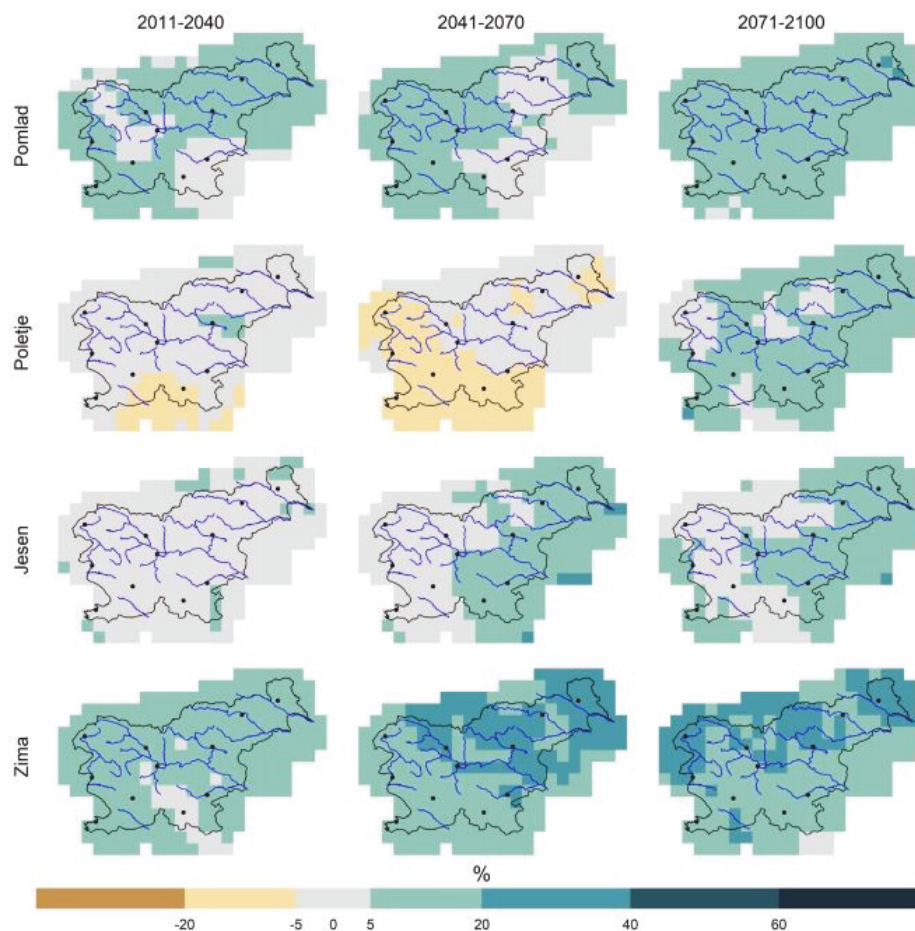
Različni avtorji erozijo tal delijo na podlagi različnih kriterijev. Ena izmed delitev je glede na medij, ki jo povzroča. Poznamo (Komac in Zorn, 2007):

- Vodno erozijo tal:
 - o ledeniška erozija (fluvialna),
 - o snežna erozija (nivalna),
 - o morska erozija (abrazija),
 - o rečna erozija (fluvialna),
 - o padavinska erozija.
- Vetrno erozijo tal:
 - o Erozija vetra (eolska).

Padavinska erozija tal je ena najpomembnejših erozij, zato erozivnost padavin v svetovnem pogledu predstavlja velik izziv. Ugotovljeno je, da bolj kot povprečja parametrov naravnih danosti, na erozijske pojave vplivajo njihove ekstremne vrednosti. Tako na primer za padavine velja, da je pomembneje poznati intenzitete kratkotrajnih nalivev, kot pa letna ali mesečna povprečja padavin (Mikoš, 1995). Erozivnost posameznih ekstremnih opazovanih padavinskih dogodkov lahko doseže letne vrednosti erozivnosti padavin (Ciaccioni in sod., 2016). Ocenjuje se, da v Srednji Evropi pride povprečno manj kot enkrat letno do večjih padavinskih dogodkov, ki povzročijo erozijo večjih razsežnosti, kateri kljub redkosti v veliki meri prispevajo k eroziji (Zorn in Komac, 2005). Raziskovalci so ugotovili, da imajo izraziti padavinski dogodki ne le vpliv na erozijo tal, temveč tudi na premeščanje suspendiranih snovi (Bezek in sod, 2013).

V kmetijstvu padavinska erozija tal močno vpliva na površinsko spiranje rodovitne prsti. Na obdelovalnih površinah je vegetacijski sloj odstranjen, kar poslabša fizikalne, kemične in biološke lastnosti tal, posledično pa dviguje njeno erodibilnost, zato je na njivah, hmeljiščih, sadovnjakih, travnikih in pašnikih erozija tal najintenzivnejša (Zorn in Komac, 2005). Namreč, da bi ponudba hrane sledila njenemu povpraševanju, se kmetje poslužujejo ukrepov (npr., oranje v smeri naklona terena), ki dodatno pospešujejo erozijo tal in ne obratno.

Za ekstremen scenarij izpustov toplogrednih plinov (RCP8.5) je v Sloveniji je tekom 21. stoletja predvideno opazno zmanjšanje padavin poleti ter njihovo naraščanje pozimi. V primeru zmerno optimističnega scenarija (RCP4.5) pa je predviden na celotnem območju Slovenije, z izjemo severozahoda, porast povprečnih letnih padavin za približno 10 %, glede na obdobje 1981–2010, kar je razvidno iz slike 1, ki prikazuje sezonska povprečja padavin (ARSO, 2017).



Slika 1: Sezonska povprečja padavin v 21. stoletju po zmerno optimističnem scenariju (RCP4.5) (vir: ARSO, 2017)

Najmilejši scenarij (RCP2.6) za prvo obdobje ne predvideva večjih sprememb, potem pa povečanje padavin s težiščem na vzhodu do leta 2100 (ARSO, 2017).

Drevesa so pomemben vezni člen med biosfero in atmosfero. Z vegetacijo prestrežene padavine so pomemben sestavni del gibanja vode v gozdnem hidrološkem krogu, ki je velikokrat prezrt (Uijlenhoet in sod., 2006). Del padavin, ki ni prestrežen imenujemo prepuščene padavine, ki predstavljajo prevladujoč delež vnesene vode v gozdovih. S prestrežanjem padavin se količina padavin, ki dosežejo tla pod drevesno krošnjo zmanjša. Že leta 1954 je prišel Ovington do zaključkov, da je delež prestreženih padavin največji ob rahlem dežju in najmanjši ob obilnih padavinah ter da se ta delež lahko giblje med 6 % in 93 %. V urbanem okolju je delež nekoliko drugačen (med 10 % in 50%) (Nakayoshi in sod., 2009). Z zmanjšanjem količine padavin, ki dosežejo tla, se posledično zmanjša tudi erozija tal. Vendar na drugi strani kapljice, ki po padavinskem dogodku kapljajo z drevesnih krošenj, erozijo tal povečujejo, še posebej začetno erozijo (Goebes, 2015). Z večanjem intenzitete padavin se delež prestreženih padavin zmanjšuje oz. delež prepuščenih padavin povečuje (Zabret in sod. 2017; Zabret in sod., 2018). Navedeno je odvisno tudi od fenološke faze, saj so padavinski dogodki z manjšimi intenzitetami pogostejši v zimskem času (Šraj in sod., 2008a).

Gozd je glede na stopnjo zaščite tal pred erozijo uvrščen najvišje, vendar zaradi njegove prostorske razsežnosti količina erodirane gozdne prsti predstavlja pomemben delež celotne

erodirane prsti. Če za primer vzamemo Slovenijo, kot eno izmed držav z najvišjim odstotkom pokritosti ozemlja z gozdom, je pomen erozije gozdne prsti precej velik, saj je kar 85% gozdov na površju z naklonom večjim od 6° (66% površin z naklonom večjim od 12°), le 6% gozdov pa je na površju z naklonom manjšim od 2°. Tako se v Sloveniji na območju gozdov letno sprošča okoli 0,34-0,36 milijona m³ gradiva oz. od 0,008 do 1,5 t/ha/leto (Komac in Zorn, 2005).

Trajanje padavin je pomemben dejavnik pri prestrežanju padavin, saj je raziskano, da se delež prestreženih padavin z daljšim trajanjem padavin zmanjšuje (Zabret in sod., 2018).

Na gozdno vodno bilanco in erozijo tal pomembno vplivata tudi velikost dežnih kapelj in njihova velikostna in hitrostna razporeditev (Zabret in sod., 2017). Tako je mikrostruktura padavin ena ključnih lastnosti padavin, ki pa se pri oceni erozivnosti tal le redko upošteva. Zaradi nezadostnega vedenja o mikrostrukturi padavin smo bili do sedaj omejeni pri ugotavljanju neposrednih in posrednih povezav med mikrostrukturno padavin in erozijo tal (Levia in sod., 2017). Vzrok za to tiči v nedostopnosti merilne opreme, s katero bi ta vpliv lahko neposredno ovrednotili. Danes pa je na tržišču merilna oprema z visoko frekvenčnim zajemom podatkov, ki vse to omogoča. V magistrskem delu uporabljen disdrometer OTT Parsivel in dežemer Onset RG2-M sodita v to skupino sodobne merske opreme. Oprema z visoko frekvenčnim zajemom podatkov lahko bistveno pripomore k natančnejšim opredelitvam vpliva mikrostrukture padavin na ocene erozije tal ter posledično pripomore k praviim ukrepom in posegom v tla za njeno nadaljnje preprečevanje.

1.2 Hipoteze

Z raziskavo, narejeno v okviru magistrske naloge, želimo potrditi oziroma ovreči štiri glavne hipoteze, ki so definirane na podlagi pregledane literature:

- (i) Največji delež prepuščenih padavin je v zimskem obdobju, ko so drevesa brez listov.
- (ii) Prisotnost listov v krošnji drevesa vpliva na povečano število kapljic pod njo.
- (iii) Kinetična energija dežnih kapljic se s prehodom skozi drevesno krošnjo zmanjša.
- (iv) Kapljice, ki kapljajo z drevesnih krošenj, povečujejo erozijo tal.

1.3 Cilji

Številni avtorji so že izvedli primerjavo velikostne porazdelitve dežnih kapljic prepuščenih padavin v primerjavi z velikostno porazdelitvijo dežnih kapljic na prostem (npr. Nanko in sod., 2006; Zabret in sod., 2017; Zabret in sod., 2018). Prav tako lahko najdemo raziskave o velikostni porazdelitvi kapljic v različnih fenofazah ter vplivu porazdelitve prepuščenih padavinskih delcev na erozijo tal pod drevesi s pomočjo različnih metod (npr. Nanko in sod., 2016; Levia in sod., 2017). Torej dejstvo je, da ima velikostna in hitrostna porazdelitev padavinskih delcev oz. mikrostruktura padavin velik vpliv na erozijo tal, a se kljub temu podatki o mikrostrukturi padavin, pridobljeni s pomočjo disdrometrov, še ne uporabljajo za ocenjevanje erozije tal. Zato je nadaljnji razvoj tega področja nujen.

Glavni cilj naloge je torej s pomočjo meritev mikrostrukture padavin nad in pod krošnjo breze ovrednotiti vpliv prestrežanja padavin na erozijo tal. V ta namen se uporabijo meritve dveh

disdrometrov, instaliranih na raziskovalni ploskvi v urbanem parku v Ljubljani. Na podlagi pridobljenih podatkov se padavine razdeli v padavinske dogodke, izračuna njihovo trajanje in količino padavin ter razlike v velikosti, hitrosti in številu dežnih kapljic, ki jih je disdrometer zaznal nad in pod drevesno krošnjo. S pomočjo enačb (po Petan, 2010) se izračuna kinetično energijo in intenziteto za vsak padavinski dogodek. Na koncu pa se izvede še analiza soodvisnosti spremenljivk in primerja potencialno izgubo tal v primeru padavin nad in pod drevesno krošnjo s pomočjo izračunanega dejavnika erozivnosti padavin R .

2 TEORETIČNE OSNOVE

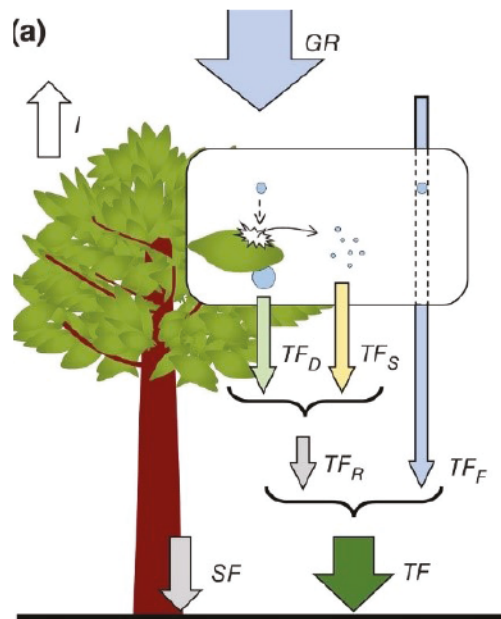
2.1 Prestrežanje padavin

Do procesa prestrežanja padavin pride, ko padavine padejo na rastlinski pokrov, kateri prekriva tla.

Padavine, ki padejo nad zračnim rastlinskim pokrovom (npr. drevesa), se razdelijo na prestrežene padavine (angl. *interception loss*, I), prepuščene padavine (angl. *throughfall*, TF) in odtok po deblu (angl. *stemflow*, SF) (Brandt in sod., 1989; Nanko in sod., 2016; Šraj in sod., 2008a; Zabret in sod., 2018).

Prestrežene padavine (I) se zadržijo v krošnji dreves in takoj po padavinskem dogodku izhlapijo z mokrih drevesnih krošenj nazaj v ozračje (Billy in Šraj, 2005).

Kot je shematično prikazano na sliki 2, prepuščene padavine (TF) razdelimo na neposredno prepuščene padavine (angl. *free throughfall*, TF_F), in zadržane prepuščene padavine (angl. *release throughfall*, TF_R). Slednje dosežejo tla s pomočjo kapljanja (*canopy drip*, TF_D) in škropljenja (*splash throughfall*, TF_S), z listov in vej (Levia in sod., 2017). Neposredno prepuščene padavine (TF_F) padejo na tla direktno skozi odprtine krošnje, ne da bi se dotaknile listja ali vej, pri tem pa se, enako kot pri padavinah na prostem, ohrani porazdelitev kapljic (DSD) (Brant, 1989, Levia in sod., 2017). Zadržane padavine (TF_R) opredelimo kot prepuščene padavine, ki se dotaknejo drevesne krošnje in šele nato dosežejo tla. Kot smo že omenili, te dosežejo tla s pomočjo kapljanja in škropljenja z listov ter vej. Pod škropljenje pogosto uvrščamo kapljice s premerom manjšim od 1,5 mm, do katerega pride zaradi stresanja krošnje pod vplivom vetra in padavin. V primeru, ko gre za kapljice s premerom večjim od 1,5 mm pa govorimo o kapljanju, do katerega pride zaradi zasičenosti drevesne krošnje (Levia in sod., 2017). Odtok po deblu (SF) po navadi predstavljajo manjši delež padavin, ki se stekajo z listov na veje, od tu pa po deblu do tal. Delež odtoka po deblu v povprečju znaša od 2 do 5 % padavin (Brilly in Šraj, 2005; Šraj in sod., 2008a).



Slika 2: Shematični prikaz prepuščenih padavin skozi krošnjo
(povzeto po Levia in sod., 2017)

Posamezne deleže padavin izrazimo v mm z osnovno bilančno enačbo (Levia in sod., 2017):

$$P = I + TF + SF, \quad (5)$$

kjer predstavlja P padavine, I padavine izhlapele z mokrih drevesnih krošenj, TF prepuščene padavine in SF odtok po deblu.

Prepuščene padavine v mm izrazimo z enačbo (Levia in sod., 2017):

$$TF = TF_R + TF_F, \quad (6)$$

kjer predstavlja TF_F neposredno prepuščene padavine in TF_R zadržane padavine.

Zadržane padavine v mm so vsota dveh elementov (Levia in sod., 2017):

$$TF_R = TF_D + TF_S, \quad (7)$$

kjer TF_D predstavlja kapljanje in TF_S škropljenje s krošenj.

Poznavanje spremenljivk (meteoroloških in vegetacijskih), ki vplivajo na delež prestreženih padavin, privede do razumevanja njihovih vplivov na prestrežanje padavin in s tem tudi na erozijo tal. Meteorološke spremenljivke opisujejo lastnosti padavinskega dogodka, medtem ko vegetacijske spremenljivke opisujejo lastnosti vegetacije, v našem primeru dreves. Ugotovljeno je bilo, da so vplivi meteoroloških in vegetacijskih spremenljivk med seboj tesno povezani (Zabret, 2018).

2.1.1 Meteorološke vplivne spremenljivke

Meteorološke spremenljivke, ki vplivajo na delež prestreženih padavin, so pogosto odvisne ena od druge in so pogosto opredeljene kot (Crockford in Richardson, 2000; Zabret, 2013; Zabret, 2018):

- geografska lokacija,
- tip podnebja,
- vrsta padavin,
- skupna količina padavin,
- intenziteta padavin,
- trajanje padavin,
- hitrost in smer vetra,
- vlažnost in temperatura zraka,
- velikostna porazdelitev kapljic.

Skupna količina in intenziteta padavin predstavljata po navadi najbolj vplivni meteorološki spremenljivki na delež prestreženih padavin (Zabret, 2018; Šraj in sod., 2006).

2.1.2 Vegetacijske spremenljivke

Med najpogostejše vegetacijske spremenljivke dreves, ki vplivajo na delež prestreženih padavin, raziskovalci uvrščajo (Wang in sod., 2012; Zabret, K. 2018):

- indeks listne površine (LAI),
- skladiščna zmogljivost krošnje (S),
- zatrtost s krošnjo,
- fenofaze,
- projicirana površina drevesne krošnje,
- prsni premer drevesnega debla (DBH),
- višina drevesa,
- naklon vej,
- lastnosti skorje.

Pri rastlinskem pokrovu razlikujemo med »zračnim« in »prizemnim« (angl. *Grund-hugging*) rastlinskim pokrovom. Drevesa, ki se uvrščajo med zračni rastlinski pokrov, odigrajo pomembno vlogo pri prestrežanju padavin, saj zmanjšujejo KE dežnih kapljic, a tal ne zavarujejo pred erozijskim delovanjem površinskega odtoka. To vlogo bistveno bolje odigra prizemni pokrov (rastline (podrast), kamenje, pesek, listje, lubje), kar privede do povečane infiltracijske sposobnosti tal in utrjevanje gornje plasti tal (Mikoš in Zupanc, 2000).

Podroben opis posameznih vegetacijskih spremenljivk najdete v doktorski disertaciji Katarine Zabret (2018, str. 5-14).

2.1.2.1 Fenofaze

Fenologija rastlin obravnava razvojne faze rastlin od začetka do konca rastne dobe (Črepinšek, 2002). Pri drevesih beležimo naslednje fenofaze: olistanje, začetek in splošno cvetenje, prvi zreli plodovi, splošno jesensko rumenje listja ter splošno odpadanje listov (Zrnec,

1994). Za potrebe ocenjevanja vpliva prestrežanja padavin so pomembne fenofaze olistanje, obdobje vegetacije, obdobje odpadanja listja in obdobje mirovanja. Olistanje nastopi takoj, ko se na rastlini pojavijo prvi listi. Fenofaza odpadanja listja nastopi v jeseni, ko odpade več kot polovica listja na drevesu (Črepinšek, 2002). Upoštevanje fenoloških faz je pogostejše pri listavcih kot pri iglavcih, saj stopnja olistanja krošnje vpliva na vegetacijske spremenljivke (Šraj in sod., 2016).

2.2 Mikrostruktura padavin

Čeprav do sedaj ni bilo opravljenih veliko raziskav o mikrostrukturi padavin, je poznavanje značilnosti padavin nujno pri njihovem modeliranju (Carollo in Ferro, 2014). Običajno lastnosti padavin opisujemo s pomočjo njihove količine, trajanja in intenzitete. Razvoj tehnologije pa je postopoma privedel do vse pogostejšega opisovanja padavin tudi s pomočjo njihove mikrostrukture (predvsem v raziskovalne namene), katera podaja informacije o velikosti, hitrosti in številu dežnih kapljic. Tako optični disdrometer zaznane padavinske delce razvrsti v velikostne in hitrostne razrede. Hkrati zazna število kapljic, intenziteto in akumulirano količino padavin.

2.2.1 Velikost dežnih kapljic

Velikost dežnih kapljic predstavimo s premerom posamezne kapljice. Sredi 20. stoletja je Blanchard (Sempere Torres in sod., 1992) prišel do zaključkov, da so velikosti dežnih kapljic stabilne pri premerih manjših od 4,6 mm in večjih od 5,4 mm. V območju premerov od 4,6 do 5,4 mm so kapljice nestabilne zaradi zračnih turbulenc, katere lahko povzročijo, da se razbijejo (Hudson, 1981). Hillel (1995) je v svojih raziskavah prišel do zaključkov, da premer dežnih kapljic lahko variira med 0,1 in 6 mm. Rakovec in Vrhovec (2000) pri tekočih padavinah med dež uvrstita kapljice, katerih premer presega 0,5 mm, velikosti dežnih kapljic pri pršenju pa med 0,2 mm in 0,5 mm.

Nanko s sodelavci (2017) je primerjal velikostno porazdelitev prepuščenih padavin glede na velikostno porazdelitev dežnih kapljic na prostem in prišel do spoznanja, da na velikostno porazdelitev dežnih kapljic v veliki meri vpliva vrsta krošnje in meteorološki dejavniki.

2.2.2 Hitrost dežnih kapljic

Hitrosti dežnih kapljic so odvisne od velikosti dežnih kapljic, saj imajo kapljice različen premer. Hitrost dežnih kapljic, ki so velikosti od 0,8 do 4,0 mm (Brilly in Šraj, 2005), je sorazmerna kvadratnemu korenu njegovega premera (Brilly in Šraj, 2005):

$$v(D) = 3,86 * D^{0,67}, \quad (1)$$

kjer v [m s⁻¹] predstavlja hitrost in D [mm] premer kapljic.

Medtem sta Gunn in Kinzer (1949) ugotovila, da je hitrost kapljic odvisna od kvadratnega korena premera že pri kapljicah velikosti 0,3 mm. Hitrost kapljic s premerom manj kot 0,3 mm pa je od premera kapljic linearno odvisna (Zabret, 2017).

2.2.3 Število dežnih kapljic

Število dežnih kapljic disdrometer določi na podlagi prekinitev optičnih žarkov. Površina, ki jo ustvarijo optični žarki, je pri v nalogi obravnavanih disdrometrih 54 cm² (OTT Hydromet, 2016).

2.3 Velikostna in hitrostna porazdelitev padavinskih delcev (DSD)

Poznavanje velikostne porazdelitve padavinskih delcev nam omogoča določanje količin padavin (Brilly in Šraj, 2005) in natančnejše ocenjevanje kinetične energije (KE) padavin ter posledično erozije tal, saj je kinetična energija dežja odvisna od porazdelitve velikosti dežnih kapelj in njihove končne hitrosti (Mikoš in Zupanc, 2000).

Za poimenovanje porazdelitve padavinskih delcev po velikosti in hitrosti običajno uporabljamo okrajšavo DSD, ki izhaja iz angleščine (angl. *drop size distribution*).

Začetek meritev DSD sega v leto 1895, ko je Wiener vpeljal metodo filtrskega papirja (angl. *Folter-paper*) (Levia in sod., 2017). Več kot pol stoletja kasneje jo je leta 1953 izboljšal Blanchard (Sempere Torres in sod., 1992). Leta 1904 je Bentley izvedel DSD meritve s pomočjo t.i. metode prašnih kroglic (angl. *Flour pellet*). Prvi elektronski instrument, ki je na podlagi elektromagnetnega principa določil velikost padavinskih delcev sta vpeljala Joss in Waldvogel leta 1967. Temeljlil je na principu merjenja vertikalne sile ob trkih z instrumentom (Levia in sod., 2017).

Kasneje so se razvili merilni instrumenti, ki so bili poleg velikostne porazdelitve, sposobni meriti tudi hitrost padanja hidrometeorov. Ti so temeljili na fotografski tehniki. Šele novejša merilna oprema temelji na meritvah svetlobnega sipanja (angl. *optical scattering*); npr. vertikalno usmerjeni mikrovalovni radar (angl. *Vertically pointing micro rain radar*), optični disdrometer z lasersko diodo, X-band radar (Petan, 2010). Leta 1990 je Brandt naredil prvi model za ocenjevanje DSD prepuščenih padavin in 3 leta kasneje (1993) sta Hall in Calder izvedla študijo na podlagi optičnega disdrometra (Levia in sod. 2017).

2.4 Kinetična energija (KE) padavin

Erozivna moč dežja se izrazi s pomočjo kinetične energije dežnih kapljic E [J]. Lahko jo izračunamo, če poznamo končno hitrost kapljic v in njihovo velikost oz. maso m . V splošnem povezavo zapišemo kot:

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{\pi \rho D^3 v}{12}, \quad (2)$$

kjer ρ [1000 kg m⁻³] predstavlja gostoto vode, D [mm] premer dežne kapljice in v [m s⁻¹] njeno končno hitrost.

2.4.1 Izračun KE s pomočjo empiričnih enačb

Meritve, kot jih omogoča disdrometer, v bližnji preteklosti niso bile dostopne (običajno iz ekonomskih razlogov), tako da vedno ne razpolagamo s podatki o velikostni in hitrostni porazdelitvi padavinskih delcev.

V takih primerih se za izračun KE padavin poslužujemo uporabe $KE-I$ funkcijskih odvisnosti, katere podajajo specifično kinetično energijo padavin e [$J m^{-1} h^{-1}$] kot funkcijo merjene intenzitete padavin I [$mm h^{-1}$]. Povezavo med kinetično energijo padavin KE in intenziteto I so različni avtorji izrazili s pomočjo enačb različnih oblik (linearne, polinomske, eksponentne ali potenčne). Potrebno je poudariti, da so veljavne za dotično lokacijo in so vezane na določeno intenziteto padavin.

Obširen pregled $KE-I$ enačb je na voljo v raziskavi Artura Ciaccionia in sod. (2016, str. 95).

Specifično kinetično energijo padavin e lahko izrazimo na dva načina; kot ploskovno gostoto moči oz. kot energijo na enoto časa in površinsko enoto e_A [$J m^{-2} h^{-1}$] ali kot količnik med ploskovno gostoto moči e_A [$J m^{-2} h^{-1}$] in intenziteto padavin I [$mm h^{-1}$] oz. kot energijo na površinsko enoto in enoto količine padavin e_B [$J m^{-2} h^{-1}$].

2.4.2 Izračun KE iz porazdelitve padavinskih delcev

Ker KE padavin težko merimo neposredno, jo običajno izračunamo posredno iz meritev velikostne in hitrostne porazdelitve padavinskih delcev.

V magistrskem delu smo se poslužili izračuna specifične kinetične energije padavin KE (dsd) [$J m^{-2} h^{-1}$] za posamezen padavinski dogodek iz meritev DSD po naslednji enačbi (povzeto po Petan, 2010):

$$KE(dsd) = \frac{\pi \rho}{12 \cdot 10^3 \cdot F \cdot \Delta t} \cdot \sum_i n_i \cdot \frac{1}{D_{b,i} - D_{a,i}} \cdot \int_{D_{a,i}}^{D_{b,i}} D_i^3 dD \cdot \frac{1}{v_{b,i} - v_{a,i}} \cdot \int_{v_{a,i}}^{v_{b,i}} v_i^2 dv, \quad (3)$$

kjer ρ [$1000 kg m^{-3}$] predstavlja gostoto vode, F [mm^2] merilno površino disdrometra, Δt [$1/60 h$] časovni interval trajanja, n_i [-] število zaznanih dežnih kapljic znotraj velikostnega razreda i , $D_{a,i}$ [mm] spodnjo mejo premera dežnih kapljic znotraj velikostnega razreda i , $D_{b,i}$ [mm] zgornjo mejo premera dežnih kapljic znotraj velikostnega razreda i , D_i [mm] premer padavinskega delca znotraj razreda i , $v_{a,i}$ [$m s^{-1}$] spodnjo mejo, hitrosti padanj dežnih kapljic znotraj hitrostnega razreda i , $v_{b,i}$ [$m s^{-1}$] zgornjo mejo hitrosti padanj dežnih kapljic znotraj hitrostnega razreda i in v_i [$m s^{-1}$] hitrost padanja padavinskih delcev znotraj razreda i .

2.5 Intenziteta padavin

2.5.1 Izračun intenzitete padavin iz velikostne porazdelitve padavinskih delcev

Intenziteto padavin [mm/h], ki jo izračunamo kot vsoto volumnov padavinskih delcev iz razredov i znotraj velikostne porazdelitve padavinskih delcev, smo v nalogi izračunali po enačbi (povzeto po Petan, 2010):

$$I(dsd) = \frac{\pi}{6 \cdot F \cdot \Delta t} \cdot \sum_i n_i \cdot \frac{1}{D_{b,i} - D_{a,i}} \cdot \int_{D_{a,i}}^{D_{b,i}} D_i^3 dD \quad (4)$$

kjer imajo elementi enačbe enak pomen kot v enačbi za izračun $KE(dsd)$.

2.6 Erozijski tal

Erozijo tal Mikoš in Zupanc (2000) opredelita kot vrsto mehanske degradacije zemeljskega površja. Natančneje jo Komac in Zorn (2005) poimenujeta kot vsako odstranjevanje delcev prsti in preperine pod vplivom naravnih dejavnikov (marsikje pospešeno zaradi delovanja človeka in živali), ki je intenzivnejše od nastajanja prsti.

Renard in sod. (1997) so erozijo tal (E) predstavili kot funkcijo podnebja (C), lastnosti tal (S), topografije (T), stanja tal (SS) in človeških dejavnosti (M):

$$E = f(C, S, T, SS, M) \quad (8)$$

Glavni podnebni dejavnik pri eroziji tal so dežne padavine. Kako vplivajo na erozijo tal je odvisno od narave pojava padavin, od njihove porazdelitve v prostoru in času ter od njihove intenzitete (Renard in sod., 1997).

2.6.1 Erozivnost padavin in površinskega odtoka

Do sproščanja talnih delcev pride zaradi trkov dežnih kapljic z veliko kinetično energijo na nezaščiten tla. Kapljice dežja padajo na zemeljsko površino s hitrostjo več metrov na sekundo in pri stiku s tlemi oblikujejo značilno korono ter povzročijo škropljenje drobnih kapljic v višino do 0,6 m in v razdalji več kot 1,5 m na ravni površini (Hillel, 1995; Brilly in Šraj, 2005).

Erozivnost dežnih kapljic se zmanjša, ko se na površini ustvari površinski odtok, do katerega pride, ko intenziteta dežja preseže stopnjo infiltracije. Erozijska zmogljivost površinskega odtoka je odvisna od zasičenosti vodnega toka z drobnozrnatimi talnimi delci (Mikoš in Zupanc, 2000). Ko globina površinskega odtoka preseže trikratni premer dežnih kapljic, te nimajo neposrednega vpliva na tla, vendar povečujejo turbulentnost površinskega odtoka (Reynoldsovo število $Re > 2500$) in vzdržujejo deroči režim toka ($Fr > 1$).

2.6.2 Metodologija RUSLE

V prejšnjem stoletju so se razvile različne tehnike, metode, modeli in enačbe za napovedovanje izgube tal zaradi erozije (Petkovšek, 2000).

Za izračun sproščanja tal je široko uporabljena metodologija USLE oz. (R)USLE, ki je skozi modifikacije prišla do univerzalne oblike, kar pomeni, da je lahko uporabna za ocenjevanje erozije tal za različna geografska območja (Renard in sod., 1997).

Enačbo sestavlja sedem neodvisnih elementov (Renard in sod., 1997):

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P, \quad (9)$$

kjer A predstavlja povprečno letno izgubo tal na enoto površine [$t \cdot ha^{-1}$], R dejavnik erozivnosti padavin in površinskega odtoka [$MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$], K dejavnik erodibilnosti tal [$t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$], L dejavnik dolžine pobočja, S dejavnik naklona pobočja, C dejavnik pokrovnosti tal in P dejavnik zaščitnih ukrepov.

Dejavnik erozivnosti padavin in površinskega odtoka R predstavlja ključen podnebni dejavnik, ki vpliva na erozijo tal in je znotraj enačbe RUSLE najbolj natančno opredeljen, in sicer kot letno povprečje vsote produktov kinetične energije padavin E in maksimalne 30-minutne intenzitete padavin I_{30} posameznih padavinskih dogodkov ed , ki so nastopili v N letih (Renard in sod., 1997):

$$R = \frac{\sum ed \cdot E \cdot I_{30}}{N} \quad (10)$$

3 PODATKI IN METODE

3.1 Raziskovalna ploskev in merska oprema

Raziskovalna ploskev se nahaja v urbanem parku v Ljubljani, na Hajdrihovi 28 (46,04 ° S, 14,49 ° V). Celotna raziskovalna ploskev za meritve prestrežanja padavin meri približno 600 m² (Zabret, 2018). Podnebje je subalpsko, z morskimi vplivi iz Sredozemlja in subkontinentalnimi vplivi iz Panonske nižine. Povprečna letna količina padavin je 1380 mm (Zabret in sod., 2017). Na raziskovalni ploskvi se z občasnimi prekinitvami meritve prestrežanja padavin izvajajo že od leta 2004 (Lah, 2007; Šraj in sod., 2008b; Zabret, 2013; Zabret in sod., 2017; Novak, 2017; Zabret, 2018; Zabret in sod., 2018). Na ploskvi sta dve skupini dreves, in sicer skupina navadnih brez (*Betula pendula Roth.*) in skupina črnih borov (*Pinus nigra Arnold*) (Zabret, 2018). Naša raziskava vključuje samo navadno brezo.

Na raziskovalni ploskvi smo izvajali meritve z sodobno mersko opremo, in sicer z dvema optičnima disdrometroma OTT Parsivel smo pridobili 1-minutne podatke o intenziteti in količini padavin, številu zaznanih kapljic ter hitrostni in velikostni razporeditvi padavinskih delcev nad in pod krošnjami, z avtomatskim dežemerom Onset RG2-M pa smo pridobili podatke o času in količini padavin posameznega padavinskega dogodka.

Z zajemom 1-minutnih padavinskih podatkov s pomočjo optičnega disdrometra smo pridobili podatke o mikrostrukturi padavin vsakega posameznega padavinskega dogodka. Z namenom kontrole in primerjave pa smo sočasno izvajali meritve količin padavin z avtomatskim dežemerom s prekucnikom Onset RG2-M, ki stoji na severovzhodni strani raziskovalne ploskve. Podatke s tega dežemera smo uporabili tudi za določitev oz. deljenje padavin na posamezne dogodke.

Poudariti je potrebno, da je sam princip zajema podatkov o količini padavin med disdrometrom in dežemerom različen. Disdrometer določi količino padavin na podlagi spremembe napetosti med odbojno in sprejemno glavo, medtem ko dežemer s prekucnikom izmeri količino padavin na podlagi fizičnih zvrnitev prekucnika. Bezak in sod. (2013) so na podlagi meritev ocenili, da so te razlike lahko tudi do 25% v prid disdrometru.

Meritve padavin nad drevesno krošnjo smo izvajali kot že omenjeno z optičnim disdrometrom na strehi stavbe in avtomatskim dežemerom na raziskovalni ploskvi »na prostem«. Pomembno je, da je bila oddaljenost med disdrometrom in navadno brezo dovolj majhna (45 m), da je bila zaznana mikrostruktura padavin reprezentativna tudi za drevesno krošnjo obravnavanega drevesa ter, da je bila višina breze približno enaka višini, na kateri je stal disdrometer (14,45 m) (Tapiador in sod., 2010; Zabret in sod., 2017).

Avtomatski dežemer je na raziskovalni ploskvi stal »na prostem«, tako da v neposredni bližini ni objektov, ki bi lahko imeli večji vpliv na meritve količin padavin.

3.1.1 Dežemer Onset RF2-M

Dežemer Onset RG2-M (slika 3) sodi v skupino avtomatskih dežemerov s prekucnikom. Pogosto jih imenujemo tudi samo prekucnik (angl. *tipping bucket*) (Bezak in sod., 2013). Sestavljajo ga lovilna posoda, prekucnik in elektronski zapisovalnik podatkov (Onset HOBO

Event). Površina lovilne posode je 186 cm^2 . Dež, ki pade v lovilno posodo se usmeri v prekucnik, kjer vsak prekuc predstavlja 0,2 mm padavin. Elektronsko se zapiše čas vsakega prekuca in njegova zaporedna številka. Dežemer lahko zabeleži največ 8000 prekucev (1660 mm padavin) (Bezak in sod., 2013). Optimalno deluje med 0 in 50°C (KSH, 2018).



Slika 3: Dežemer Onset RG2-M (foto: Zabret, 2018)

3.1.2 Disdrometer OTT Parsivel

Padavine nad krošnjo smo opazovali z optičnim disdrometrom OTT Parsivel (OTT Hydromet, 2016) na strehi stavbe Oddelka za okoljsko gradbeništvo UL FGG (na Haidrihovi 28) na nadmorski višini 292 m (Bezak in sod, 2013), na južni strani raziskovalne ploskve (slika 4).



Slika 4: Disdrometer OTT Parsivel na strehi stavbe (foto: Bezak, 2014)

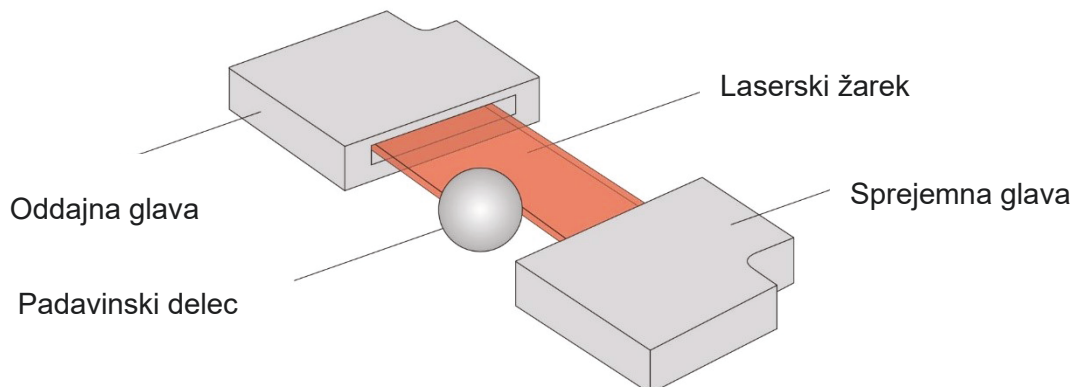
Padavine pod krošnjo smo opazovali z enakim tipom optičnega disdrometra (OTT Parsivel) pod navadno brezo (*Betula pendula* Roth.), ki je prikazan na sliki 5. Disdrometer je stal neposredno pod drevesno krošnjo breze.



Slika 5: Disdrometer pod drevesno krošnjo breze (foto: Zabret, 2018)

Disdrometer je sestavljen iz oddajnika in sprejemnika, ki sta nameščena v zaščitnem ohišju (slika 6). Dodano je še elektronsko vezje s komunikacijskimi vrati. Princip delovanja senzorja je na proizvedenem vodoravnem traku svetlobe, ki ga oblikuje oddajni senzor. Merilna površina svetlobnega traku je 54 cm^2 ($180 \times 30 \text{ mm}$). Senzor zabeleži vsako prekinitev svetlobnega traku. Iz velikosti in časa prekinitve določi velikost (premer) in hitrost padavin. Disdrometer zaznane padavine razdeli v 32 velikostnih in 32 hitrostnih razredov – skupno 1024. Velikostni razredi so v razponu med od 0,062 do 24,5 mm, medtem ko se hitrostni razredi razporejajo med 0,05 do 20,8 m/s (OTT Hydromet, 2016). Omenjeni optični disdrometer je sposoben padavine razvrstiti v osem tipov: rosenje, rosenje z dežjem, dež, dež s snegom, sneg, sneg v zrnih, sodra in toča. Določitev vrste padavin temelji na številu delcev v merilnem območju. Tako zaznani podatki se obdelajo in shranijo v digitalnem procesorju kot podatkovni telegram, ki se vsakih 60 sekund prenese (OTT Hydromet, 2016).

Razpon velikosti merljivih tekočih padavin je od 0,2 do 8 mm, ter trdnih padavin od 0,2 do 25 mm. Hitrost padca tekočih padavin meri od 0,2 do 20 m/s (OTT Hydromet, 2016).



Slika 6: Prikaz delovanja disdrometra OTT Parsivel (prirejeno po OTT Hydromet, 2016)

3.1.2.1 Meritev velikostne in hitrostne porazdelitve padavinskih delcev (DSD)

Porazdelitev dežnih kapljic po velikosti in hitrosti se razlikuje glede na vrsto disdrometra. V preglednici 1 so podane vrednosti o razredih hitrosti in velikosti dežnih kapljic za disdrometer OTT Parsivel, ki smo ga uporabili za meritve nad in pod drevesno krošnjo (OTT Hydromet, 2016).

Preglednica 1: Podatki o razredih velikosti in hitrosti dežnih kapljic izmerjenih z disdrometrom OTT Parsivel (OTT Hydromet, 2016)

Razred	Premer dežnih kapljic				Hitrost dežnih kapljic			
	Razred D dežnih kapljic [mm]	D _a spodnja meja [mm]	D _i srednja velikost [mm]	D _b zgornja meja [mm]	Razred v dežnih kapljic [m/s]	V _a spodnja meja [m/s]	V _i srednja hitrost [m/s]	V _b zgornja meja [m/s]
1	0,125	0,000	0,062	0,125	0,100	0,000	0,050	0,100
2	0,125	0,125	0,187	0,250	0,100	0,100	0,150	0,200
3	0,125	0,250	0,312	0,375	0,100	0,200	0,250	0,300
4	0,125	0,375	0,437	0,500	0,100	0,300	0,350	0,400
5	0,125	0,500	0,562	0,625	0,100	0,400	0,450	0,500
6	0,125	0,625	0,687	0,750	0,100	0,500	0,550	0,600
7	0,125	0,750	0,812	0,875	0,100	0,600	0,650	0,700
8	0,125	0,875	0,937	1,000	0,100	0,700	0,750	0,800
9	0,125	1,000	1,062	1,125	0,100	0,800	0,850	0,900
10	0,125	1,125	1,187	1,250	0,100	0,900	0,950	1,000
11	0,250	1,250	1,375	1,500	0,200	1,000	0,700	1,200
12	0,250	1,500	1,625	1,750	0,200	1,200	1,300	1,400
13	0,250	1,750	1,875	2,000	0,200	1,400	1,500	1,600
14	0,250	2,000	2,125	2,250	0,200	1,600	1,700	1,800
15	0,250	2,250	2,375	2,500	0,200	1,800	1,900	2,000
16	0,500	2,500	2,750	3,000	0,400	2,000	2,200	2,400
17	0,500	3,000	3,250	3,500	0,400	2,400	2,600	2,800
18	0,500	3,500	3,750	4,000	0,400	2,800	3,000	3,200
19	0,500	4,000	4,250	4,500	0,400	3,200	3,400	3,600
20	0,500	4,500	4,750	5,000	0,400	3,600	3,800	4,000
21	1,000	5,000	5,500	6,000	0,800	4,000	4,400	4,800
22	1,000	6,000	6,500	7,000	0,800	4,800	5,200	5,600
23	1,000	7,000	7,500	8,000	0,800	5,600	6,000	6,400
24	1,000	8,000	8,500	9,000	0,800	6,400	6,800	7,200
25	1,000	9,000	9,500	10,000	0,800	7,200	7,600	8,000
26	2,000	10,000	11,000	12,000	1,600	8,000	8,800	9,600
27	2,000	12,000	13,000	14,000	1,600	9,600	10,400	11,200
28	2,000	14,000	15,000	16,000	1,600	11,200	12,000	12,800
29	2,000	16,000	17,000	18,000	1,600	12,800	13,600	14,400
30	2,000	18,000	19,000	20,000	1,600	14,400	15,200	16,000
31	3,000	20,000	21,500	23,000	3,200	16,000	17,600	19,200
32	3,000	23,000	24,500	26,000	3,200	19,200	20,800	22,400

3.2 Podatki

Metodologija (R)USLE uvršča med erozivne dogodke tiste padavinske dogodke, pri katerih se je v šestih urah akumuliralo vsaj 12 mm padavin oz. v 15 minutah vsaj 6 mm padavin (Wischmeier in Smith, 1978) oz. dogodek, pri katerem pade vsaj 12,7 mm dežja ali pa 6,35 mm dežja v 15 minutah (Renard in sod. 1997).

Podatke o padavinah smo razdelili na posamezne padavinske dogodke, ki so imeli skupno višino padavin vsaj 6 mm ter jih je ločevalo vsaj 6 urno suho obdobje, kar pomeni, da je med koncem prvega in začetkom naslednjega dogodka minilo vsaj 6 ur brez padavin.

V magistrskem delu je obravnavano 14 mesečno obdobje med 24. julijem 2017 in 24. septembrom 2018, v katerem je bilo z dežemerom zaznanih 110 padavinskih dogodkov. Izmed teh smo izločili 27 dogodkov, ki so imeli skupno količino padavin manjšo od 6 mm, 21 snežnih dogodkov in 4 dogodke zaradi nedelovanja disdrometra. Končno število padavinskih dogodkov, ki so bili vključeni v raziskavo je 58.

Fenofaze breze smo določili na osnovi podatkov, ki so bili pridobljeni za potrebe doktorske disertacije Katarine Zabret (Zabret, 2018), na podlagi uradnih podatkov Agencije republike Slovenije za okolje (ARSO, 2020) in njihovih mesečnih biltenov (ARSO, 2017a; ARSO 2018). Celotno obdobje meritev smo razdelili na obdobje vegetacije, obdobje odpadanja listov, obdobje mirovanja in obdobje olistanja oz. začetek vegetacije (preglednica 2).

Z analiziranjem padavinskih dogodkov smo pričeli z dnem 24. 7. 2017, ko je bila breza v obdobju vegetacije. To obdobje se je končalo 26. 9. 2020. Obdobje odpadanja listov je v tem letu trajalo dober mesec, in sicer od 27. 9. 2017 do 28. 10. 2017. Sledilo je obdobje mirovanja, od 29. 10. 2017, ki je trajalo do 12. 4. 2018. Nato je sledilo kratkotrajno enotedensko obdobje olistanja, ki je trajalo od 13. 4. 2018 do 20. 4. 2018. Po tem datumu je do konca našega opazovanja sledilo obdobje vegetacije.

Preglednica 2: Fenofaze breze v opazovanem obdobju

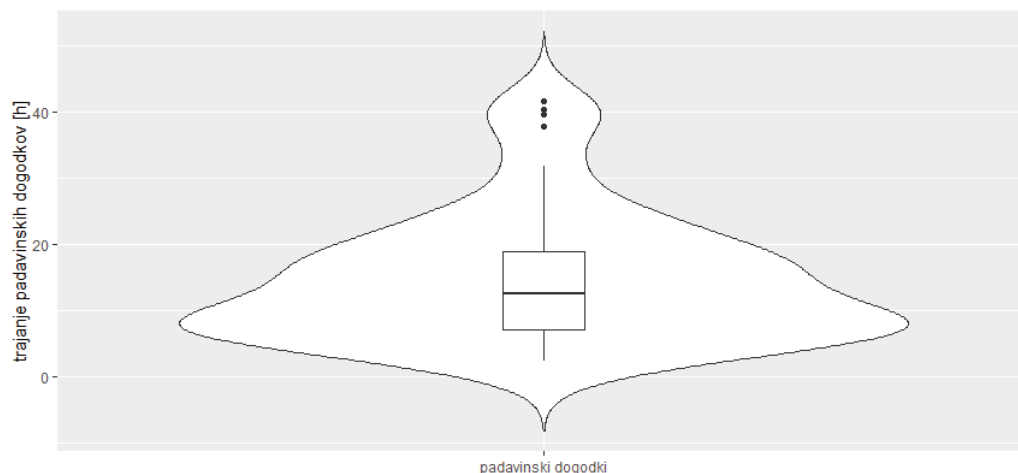
Leto	Fenofaza	Začetek	Konec
2017	Obdobje vegetacije	24.07.2017	26.09.2017
	Odpadanje listja	27.09.2017	28.10.2017
	Obdobje mirovanja	29.10.2017	12.04.2018
2018	Olistanje/začetek vegetacije	13.04.2018	20.04.2018
	Obdobje vegetacije	21.04.2018	24.09.2018

Glede na to, da je bilo v krajših dveh obdobjih olistanja in odpadanja lista manjše število dogodkov, smo se odločili, da obdobje meritev v analizah razdelimo le na dve obdobji, in sicer na obdobje vegetacije, ko je na brezi bilo prisotno listje in obdobje mirovanja, ko je bila krošnja brez njih. Prisotnost listov v krošnji je v tem delu ključnega pomena pri določanju vplivov dežnih padavin na erozijo tal. Padavinski dogodek, ki se je zgodil 6. 10. 2017, se je zgodil 9 dni po začetku obdobja odpadanja listov, zato smo ga uvrstili še v obdobje vegetacije. Dogodek, ki se je zgodil 22.10.2017 se je zgodil en teden pred obdobjem mirovanja, zato smo ga uvrstili v slednje obdobje, saj je bila krošnja breze takrat že popolnoma brez listov. Dogodka, ki sta se zgodila v obdobju olistanja (15. in 16. 4. 2018), pa smo uvrstili v obdobje mirovanja, saj sta se zgodila drugi in tretji dan po začetku obdobja olistanja in breza takrat še ni imela razvitih listov.

4 REZULTATI

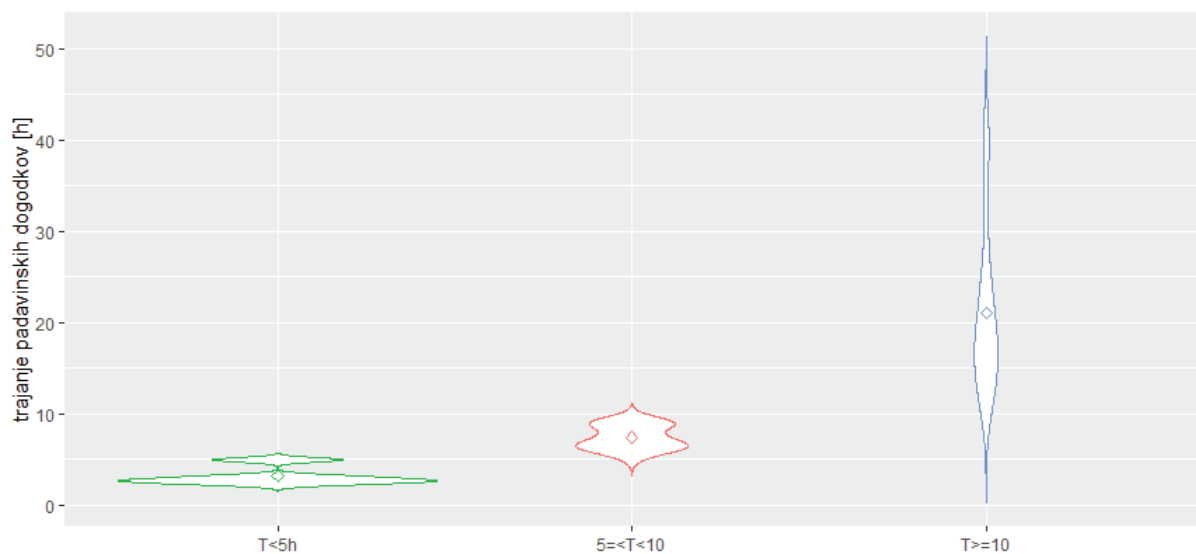
4.1 Trajanje padavinskih dogodkov

Trajanje posameznega padavinskega dogodka smo opredelili kot časovno razliko med začetkov padavin nad drevesno krošnjo in koncem prepuščanja padavin pod njo. Obravnavani dogodki so bili dolžine od nekaj ur do več dni (slika 7). Najkrajši padavinski dogodek, ki ga je zaznal disdrometer je trajal 2 uri in 17 min, medtem ko je najdaljši trajal nekaj več kot 41 ur (sredi septembra 2017).



Slika 7: Trajanje padavinskih dogodkov

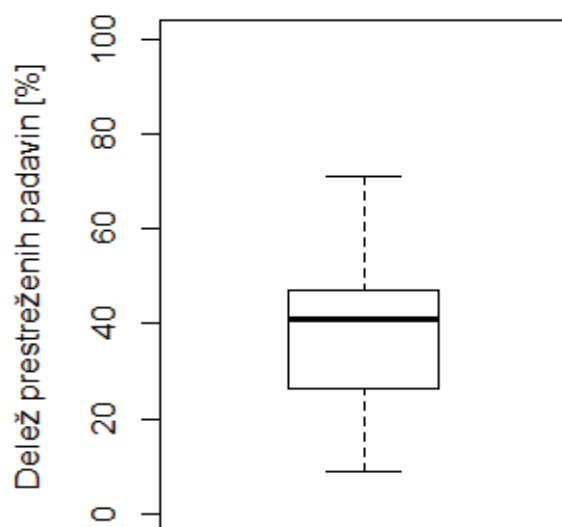
Dogodke smo razdelili na podlagi trajanja posameznega padavinskega dogodka v tri razrede (slika 8), in sicer na razred dogodkov, ki so trajali manj kot 5 ur, razred dogodkov ki so trajali med 5 in 10 ur ter razred dogodkov, ki so trajali 10 ur ali več. V obravnavanem obdobju se je zgodilo 5 (9%) padavinskih dogodkov, ki so trajali manj kot 5 ur in 20 (34 %) dogodkov, ki so trajali med 5 in 10 ur. Največ, 33 (57 %) pa je bilo dogodkov, ki so trajali več kot 10 ur.



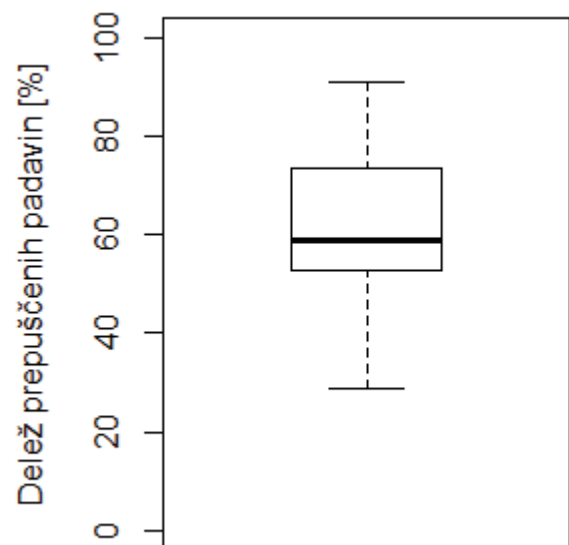
Slika 8: Trajanje padavinskih dogodkov po razredih

4.2 Količina padavin nad in pod drevesno krošnjo

V obravnavanem obdobju je po podatkih dežemera padlo 1391 mm dežnih padavin, po podatkih disdrometra nad krošnjo pa 1669 mm, kar pomeni, da je disdrometer zaznal za 20 % večjo količino padavin. Do podobnih ugotovitev je prišel tudi Bezak s sodelavci (2013), ki poroča o 25 % razliki v prid disdrometra.



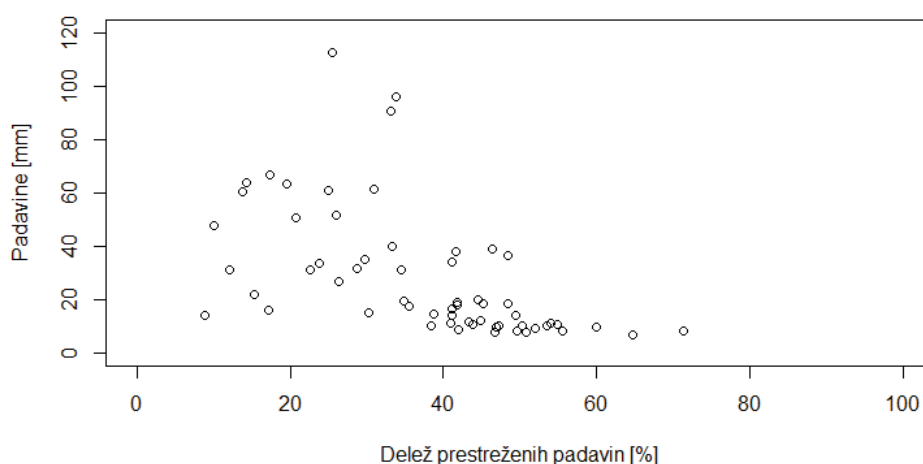
Slika 9: Delež prestreženih padavin



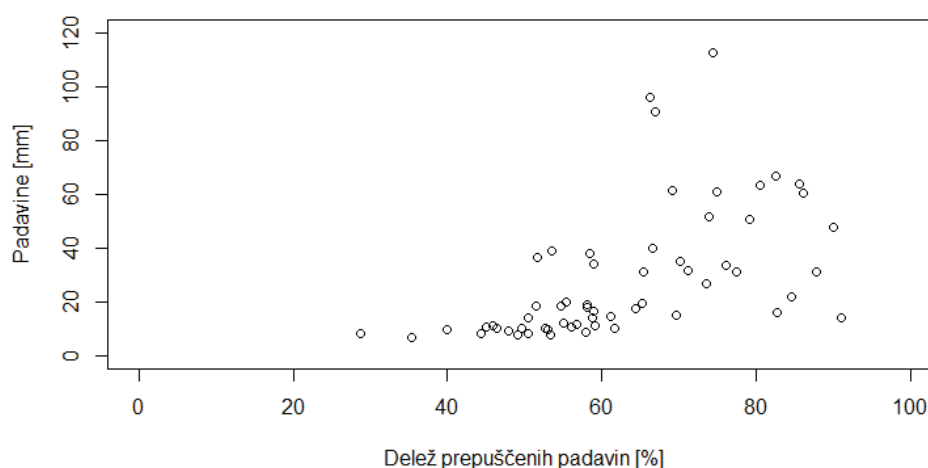
Slika 10: Delež prepuščenih padavin

Na podlagi podatkov, ki smo jih pridobili s pomočjo disdrometra pod krošnjo, je do prepuščanja padavin skozi drevesno krošnjo breze prišlo pri vseh obravnavanih padavinskih dogodkih. Skupna količina padavin, ki jo je zaznal disdrometer pod drevesno krošnjo je 1152 mm, kar predstavlja 69 % padavin, ki jih je zaznal disdrometer nad krošnjo. Iz tega lahko sklepamo, da je breza zadržala 31 % padavin. Glede na odstotke je dobljena vrednost primerljiva z vrednostnimi, ki so jih ne isti raziskovalni ploskvi pridobili že drugi avtorji (Šraj in sod., 2008a, Šraj in sod., 2008b, Zabret in sod., 2016, Zabret, 2018).

Grafični prikaz deleža prestreženih padavin glede na skupno količino padavin posameznega dogodka predstavlja slika 9. Grafični prikaz deleža prepuščenih padavin glede na skupno količino padavin posameznega dogodka pa predstavlja slika 10. Ugotovimo lahko, da krošnja breze prestreže manj padavin z večjo količino padavin in obratno.



Slika 11: Delež prestreženih padavin glede na skupno količino padavin za vseh 58 obravnavanih dogodkov

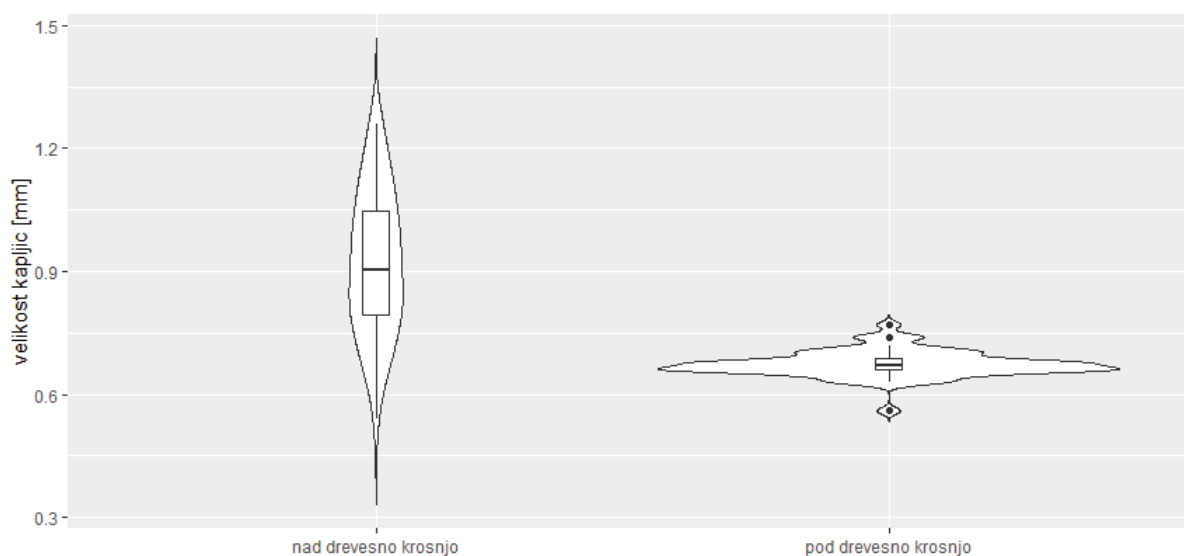


Slika 12: Delež prepuščenih padavin glede na skupno količino padavin za vseh 58 obravnavanih dogodkov

Na sliki 11 je predstavljen delež prestreženih padavin glede na skupno količino padavin za vseh 58 obravnavanih padavinskih dogodkov ter na sliki 12 delež prepuščenih padavin za vseh 58 obravnavanih dogodkov.

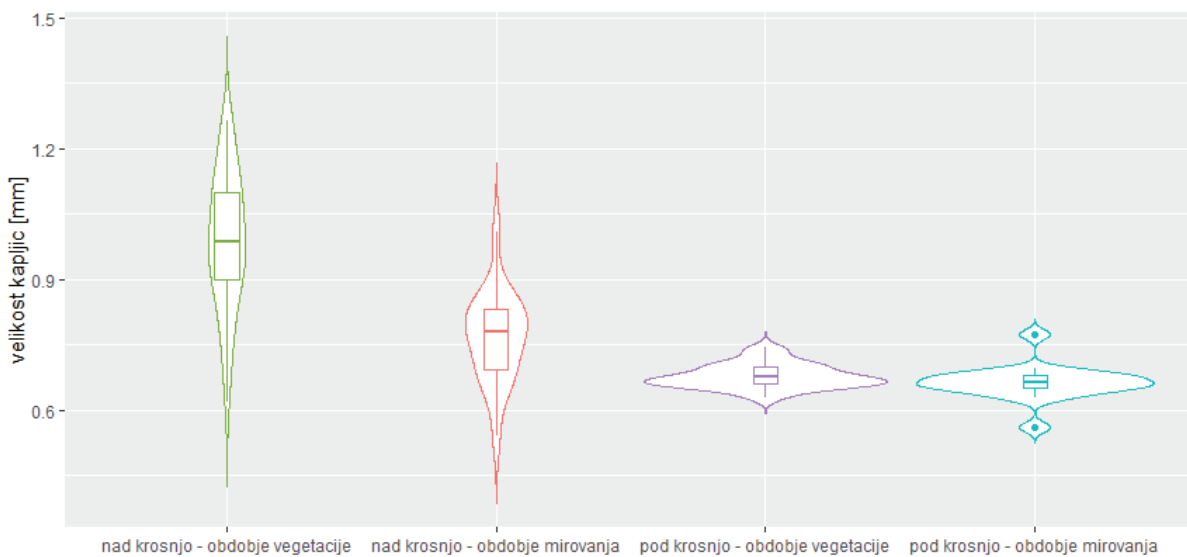
4.3 Velikost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo

V celotnem obdobju meritev so se povprečne velikosti dežnih kapljic nad drevesno krošnjo gibale med 0,54 mm in 1,26 mm. V povprečju so bile kapljice velike 0,92 mm. Povprečna velikost dežnih kapljic pod krošnjo breze se je med posameznimi dogodki gibala med 0,56 mm in 0,77 mm, v povprečju 0,67 mm (slika 13), kar predstavlja glede na povprečen premer kapljic nad drevesno krošnjo 27,2 % zmanjšanje.



Slika 13: Velikost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo za celo obdobje opazovanja

V obdobju vegetacije je bila največja povprečna velikost kapljice nad drevesno krošnjo 1,26 mm in najmanjša 0,62 mm, v povprečju so bile velike 0,99 mm. Pod drevesno krošnjo so bile v tem obdobju izmerjene kapljice s premerom od 0,63 mm do 0,74 mm, v povprečju pa 0,68 mm (slika 14).



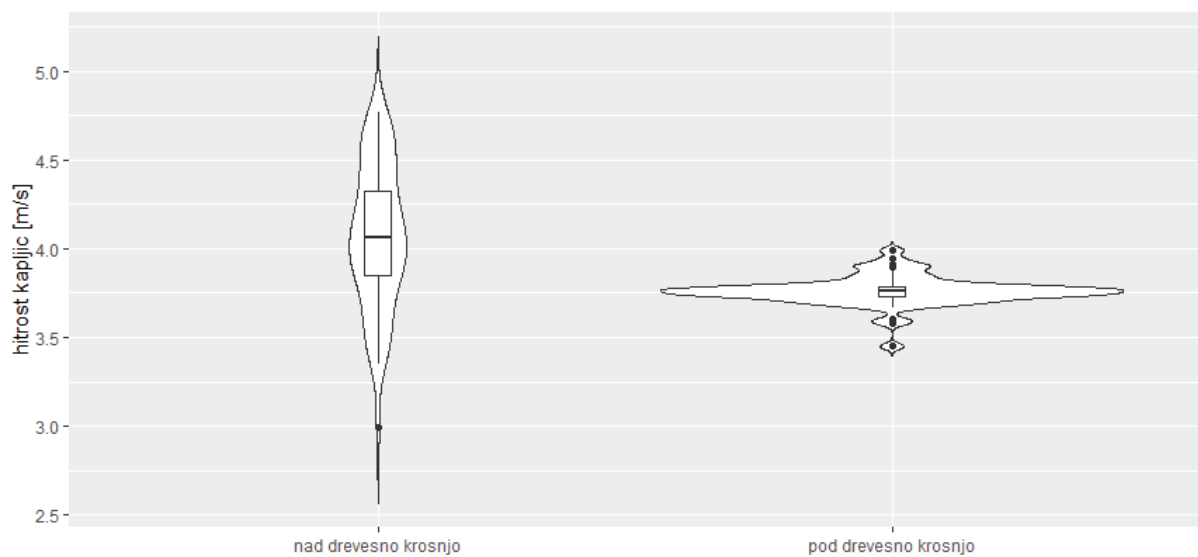
Slika 14: Velikost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije

V obdobju mirovanja so bile povprečne velikosti kapljic manjše kot v obdobju vegetacije. Nad drevesno krošnjo se premeri kapljic gibljejo med 0,54 mm in 1,00 mm. V povprečju so imele kapljice premer 0,77 mm. Pod drevesno krošnjo so bile v tem obdobju izmerjene kapljice premera od 0,56 mm do 0,77 mm, v povprečju 0,66 mm (slika 14).

Iz rezultatov (slika 14) lahko ugotovimo, da se povprečni premer dežnih kapljic pri prehodu skozi drevesno krošnjo breze zmanjša, tako v obdobju vegetacije kot mirovanja. V obdobju vegetacije se zmanjša za 31,3 %, v obdobju mirovanja pa za 14,3 %. Iz tega je razvidno, da kapljice v obdobju mirovanja v večji meri ohranijo svojo velikost pod krošnjo, kot v obdobju vegetacije. To je tudi pričakovan rezultat, saj je breza listopadno drevo, kar pomeni, da je prestrežanje padavin v obdobju mirovanja, ko je drevo brez listja, manjše. Tako kot drugi raziskovalci ugotavljamo, da ima krošnja drevesa velik vpliv na velikost prepuščenih padavin (Levia in sod., 2017)

4.4 Hitrost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo

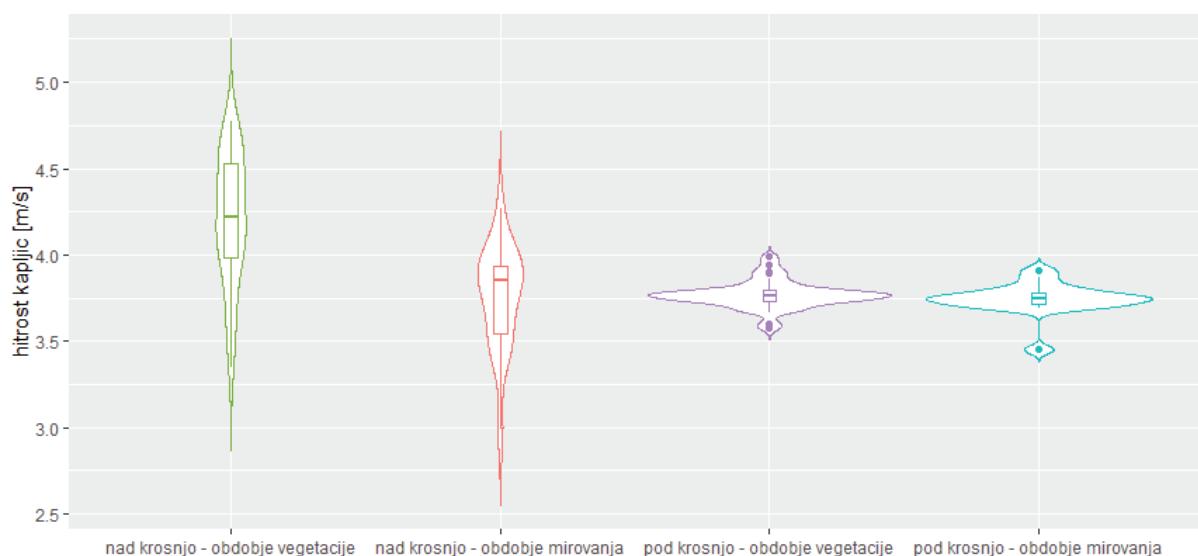
V celotnem obdobju meritev so se povprečne hitrosti dežnih kapljic nad drevesno krošnjo gibale med 2,99 m/s in 4,77 m/s. V povprečju so kapljice padale s hitrostjo 4,06 m/s. Povprečne hitrosti dežnih kapljic pod krošnjo breze pa so se med posameznimi dogodki gibale med 3,45 m/s in 3,99 m/s, v povprečju 3,76 m/s (slika 15), kar je glede na povprečno hitrost kapljic nad drevesno krošnjo 7,4 % počasnejše.



Slika 15: Hitrost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo za celotno obdobje opazovanja

Povprečna hitrost dežnih kapljic v času vegetacije, nad drevesno krošnjo, se je v obravnavanem obdobju gibala od 3,4 m/s do 4,8 m/s in je v povprečju znašala 4,2 m/s (slika 16). V istem opazovanem obdobju se je pod krošnjo hitrost gibala med 3,6 m/s in 4,0 m/s in je v povprečju znašala 3,8 m/s.

V času, ko je bila krošnja breze brez listov je bila povprečna vrednost hitrosti kapljic nad drevesno krošnjo med 3,0 m/s in 4,3 m/s, v povprečju 3,8 m/s. Pod drevesno krošnjo, so se v tem času hitrosti gibale med 3,5 m/s in 3,9 m/s, v povprečju 3,6 m/s (slika 16).



Slika 16: Hitrost dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije

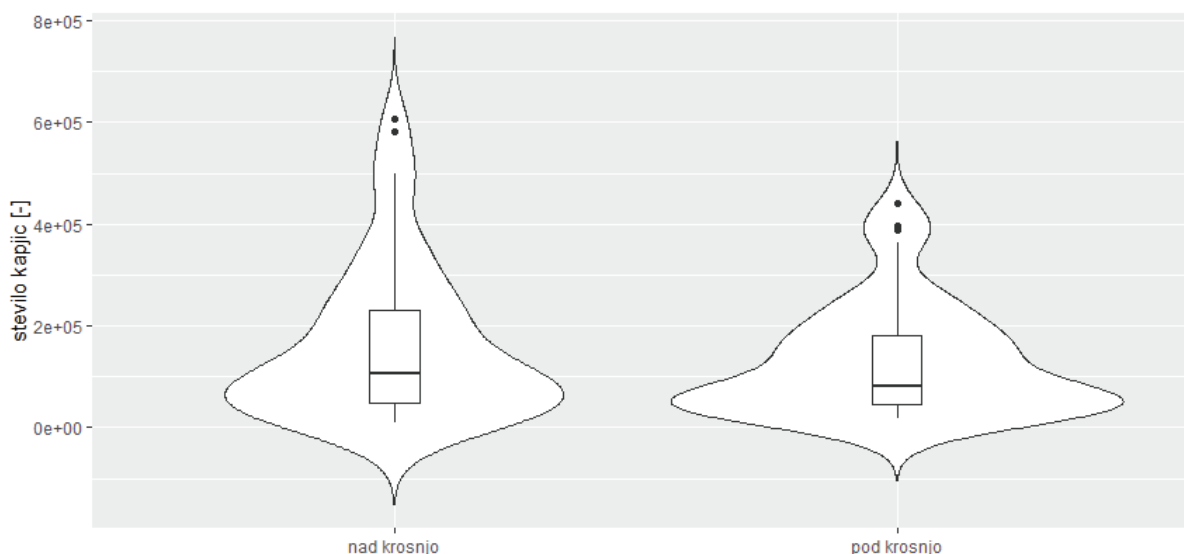
Iz rezultatov je razvidno, da so se povprečne hitrosti, tako v obdobju vegetacije kot v obdobju mirovanja, pri padanju skozi krošnjo, zmanjšale. Odstotek zmanjšanja je bil v času vegetacije 9,5 %, v času mirovanja pa 5,3 %. Ugotovimo lahko tudi, da so se povprečne hitrosti kapljic v obdobju mirovanja pri prehodu skozi krošnjo v povprečju spremenile manj kot v času vegetacije.

4.5 Število dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo

V opazovanem času je nad drevesno krošnjo padlo skupaj 9 448 194 kapljic oz. povprečno 162 900 kapljic na dogodek. Drugače predstavljeno 189 kapljic na minuto ali 3 017 kapljic na cm^2 .

Pod krošnjo je bilo v celotnem opazovalnem obdobju skupaj zabeleženih 7 514 891 kapljic, povprečno 129 567 kapljic na dogodek. Drugače predstavljeno 170 kapljic na minuto oz. 2399 kapljic na cm^2 .

Iz rezultatov vidimo, da je pod drevesno krošnjo padlo za 20,5% manjše število kapljic kot nad njo (slika 17). S tem smo ovrgli ii) hipotezo, ki pravi, da prisotnost listov poveča število kapljic pod drevesno krošnjo.



Slika 17: Število kapljic nad in pod drevesno krošnjo za celotno obdobje opazovanja

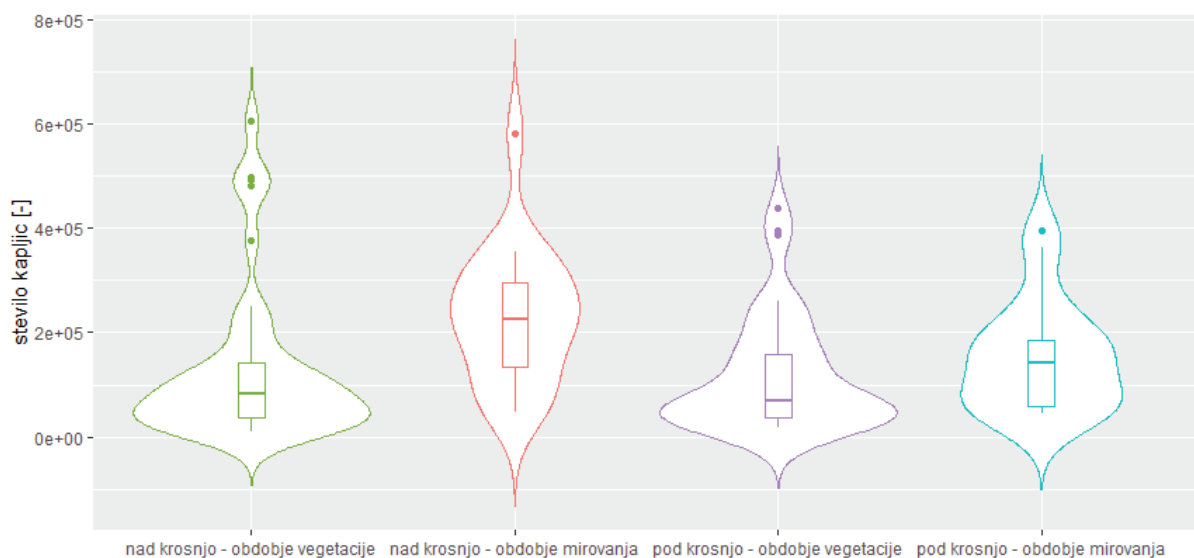
V obdobju vegetacije (slika 18) je nad drevesno krošnjo padlo povprečno 132 023 kapljic na posamezen dogodek. Število kapljic se je gibalo med 32 kapljic na minuto in 550 kapljic na minuto, v povprečju 184 kapljic na minuto. Do podobnih rezultatov je prišla tudi Novak (2017) s povprečnim številom 126 kapljic na minuto oz. se je število kapljic gibalo med 187 kapljic na cm^2 in 11 222 kapljic na cm^2 , v povprečju 2 445 kapljic na cm^2 .

Medtem je bilo pod drevesno krošnjo zaznano 118 835 kapljic na dogodek. Pod krošnjo se je število gibalo med 26 kapljic na minuto in 837 kapljic na minuto, v povprečju 184 kapljic na

minuto (slika 18), oz. se je gibalo med 334 kapljic na cm^2 in 8140 kapljic na cm^2 , v povprečju 2 200 kapljic na cm^2 .

V obdobju mirovanja je nad drevesno krošnjo padlo povprečno 231 514 kapljic na posamezen dogodek. Število kapljic se je gibalo med 96 kapljic na minuto in 324 kapljic na minuto (slika 18) oz. med 894 kapljic na cm^2 in 10 757 kapljic na cm^2 , v povprečju 4287 kapljic na cm^2 .

Pod drevesom je bilo v obdobju mirovanja zabeleženih povprečno 153 417 kapljic na dogodek. Število kapljic se je gibalo med 39 kapljic na minuto in 281 kapljic na minuto, s povprečjem 139 kapljic na minuto (slika 18) oz. se je gibalo med 823 kapljic na cm^2 in 7352 kapljic cm^2 , v povprečju 2841 kapljic na cm^2 .



Slika 18: Število dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije

Iz rezultatov je razvidno, da se je povprečno število dežnih kapljic v času vegetacije pod drevesno krošnjo zmanjšalo za 10% glede na zaznano število kapljic nad brezo.

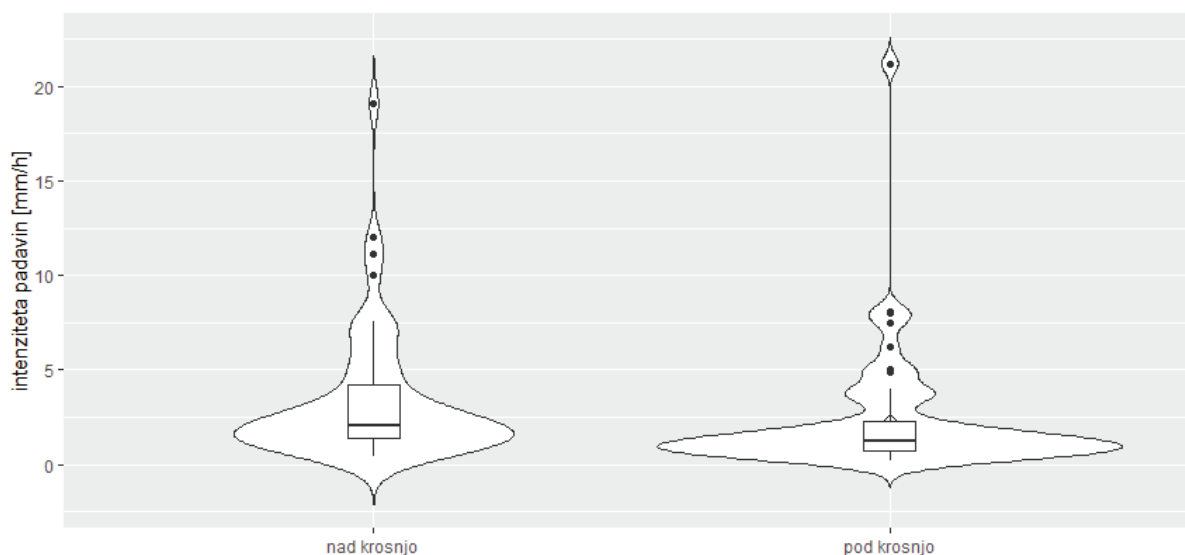
Število kapljic, ki jih je zaznal disdrometer pod brezo v fenofazi mirovanja, je bilo v povprečju za 33,7 % manjše kot število kapljic nad krošnjo.

Skupno število dežnih kapelj, ki jih je v obravnavanem obdobju zaznal disdrometer je bilo 16 963 085. V razrede je bilo skupno razporejenih 20 375 531 dežnih kapljic. Iz tega lahko razberemo, da je v razrede razporejenih 20,1 % več dežnih kapljic, kot jih je »preštel« disdrometer.

Podobno ugotovimo, da se pojavlja odstopanje v razliki števila kapljic tudi glede na podatke nad krošnjo in pod njo. Število kapljic, ki jih je disdrometer razporedil v razrede nad krošnjo, je 10,1 % večje od tistih, ki jih je disdrometer zaznal. Prav tako je število kapljic razporejenih v razrede pod brezo za 32,7% večje od tistih, ki jih je disdrometer zaznal. Vzrok za nastalo razliko lahko iščemo v hkratnem prehajanju opazovalne ploščadi večjega števila kapljic na enkrat.

4.6 Intenziteta dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo

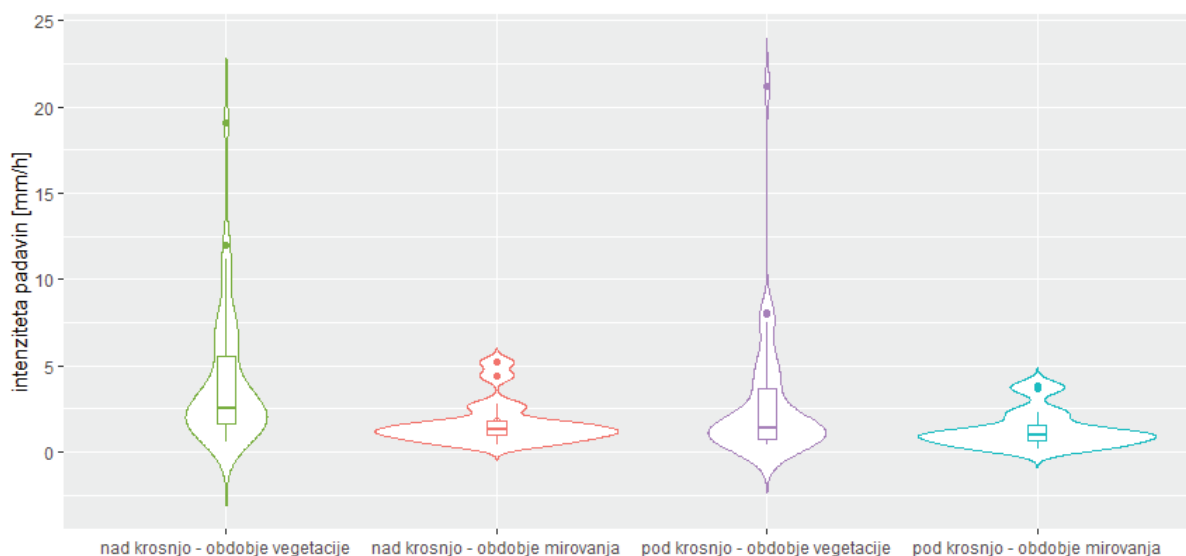
Povprečna intenziteta padavin nad drevesno krošnjo je v obravnavanem obdobju znašala 2,9 mm/h, medtem ko je ta vrednost pod drevesno krošnjo znašala 1,6 mm/h (Slika 19). Ugotovimo lahko, da se intenziteta padavin v povprečju pri prehodu skozi drevesno krošnjo zmanjša za 44,8 %.



Slika 19: Intenziteta padavin nad in pod drevesno krošnjo za celotno obravnavano obdobje

Povprečna intenziteta padavin nad drevesno krošnjo v obdobju vegetacije je bila 3,6 mm/h. Intenziteta pod drevesno krošnjo pa je znašala 1,9 mm/h (slika 20). Torej se v obdobju vegetacije povprečna intenziteta nad in pod krošnjo breze spremeni za 47,2 %.

Povprečna intenziteta padavin nad drevesno krošnjo v času mirovanja je znašala 1,5 mm/h, medtem ko intenziteta pod drevesno krošnjo v tem istem obdobju znaša 1,1 mm/h (slika 20), kar pomeni, da se intenziteta po prehodu skozi drevesno krošnjo, v povprečju zmanjša za 26,7 %.



Slika 20: Intenziteta padavin nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije

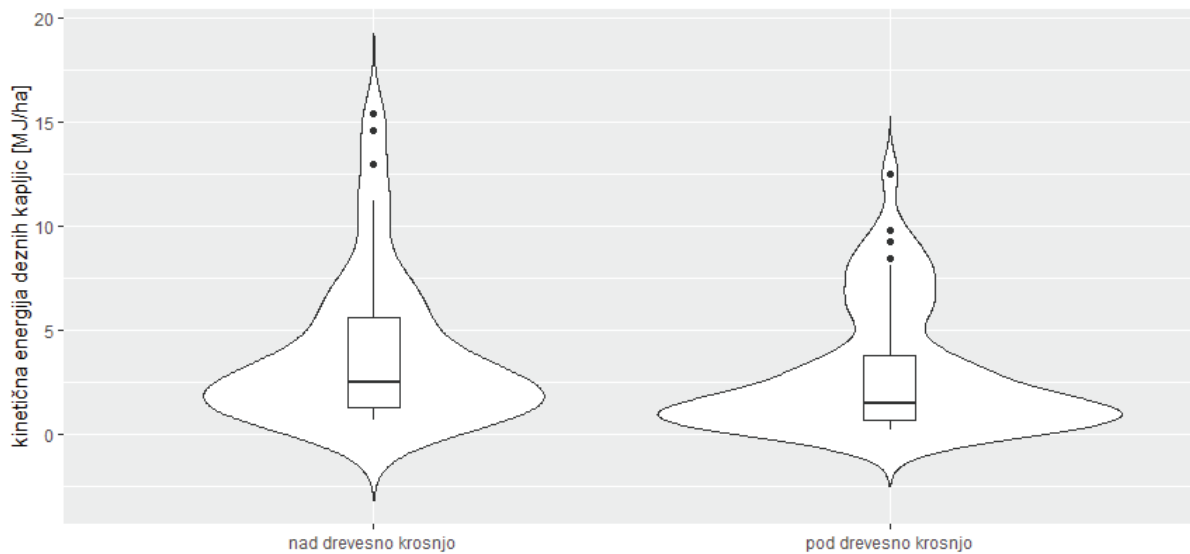
Rezultati kažejo, da se intenziteta padavin po prehodu skozi krošnjo breze spremeni v manjši meri v času mirovanja kot v času vegetacije, kar je pričakovano.

Maksimalna 1-minutna intenziteta padavin nad drevesom je bila 195,9 mm/h (19. 8. 2017), pod drevesom pa 167,0 mm/h (12. 7. 2018). Obe vrednosti sta bili doseženi v obdobju vegetacije in sicer med poletno nevihto.

Maksimalna 1-minutna intenziteta padavin v obdobju mirovanja je bila dosežena nad drevesom in je znašala 68,4 mm/h (5. 4. 2018), pod drevesno krošnjo pa 58,1 mm/h (6. 11. 2017).

4.7 Kinetična energija (KE) dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo

Povprečna KE dežnih kapljic padavinskih dogodkov nad drevesno krošnjo v obravnavanem obdobju je znašala 3,9 MJ/ha. Gibala se je med 0,69 MJ/ha in 15,4 MJ/ha. Pod krošnjo pa je bila KE 2,9 MJ/ha in se je gibala med 0,23 MJ/ha in 12,5 MJ/ha (slika 21), kar pomeni, da se je KE dežnih kapelj zaradi prestrežanja padavin v primeru breze v povprečju zmanjšala za 25,6 %.

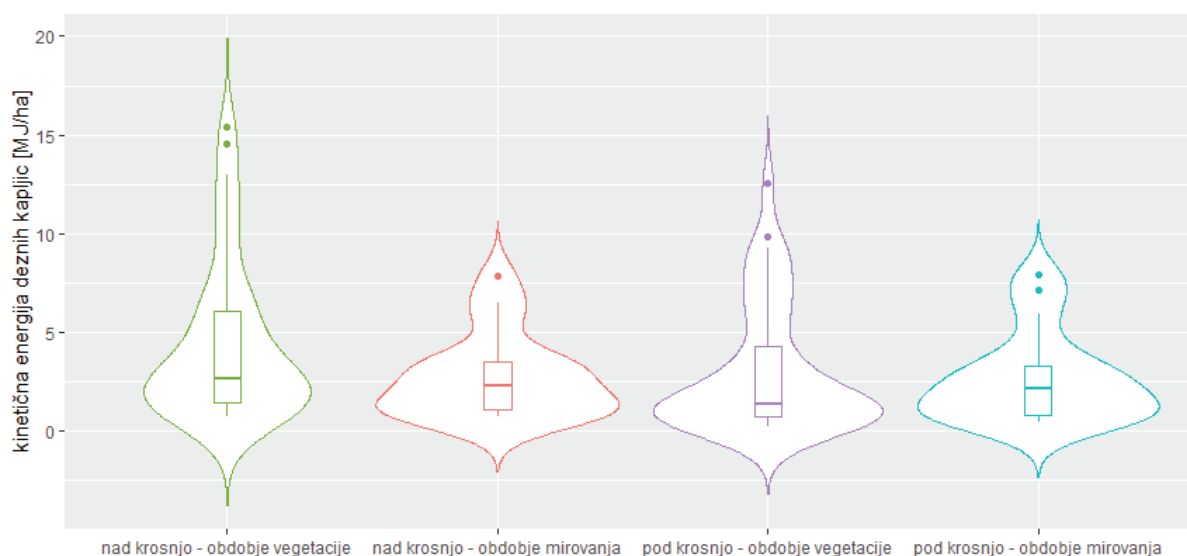


Slika 21: Kinetična energija dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo za celotno obravnavano obdobje

Povprečna KE nad drevesno krošnjo breze je v času vegetacije znašala 4,4 MJ/ha. Gibala se je med 0,69 MJ/ha in 15,4 MJ/ha. Pod krošnjo pa je bila ta vrednost 3,0 MJ/ha, med 0,23 MJ/ha in 12,5 MJ/ha (slika 21). Torej listje breze v povprečju zmanjša KE v času vegetacije za 31,8 %.

V času mirovanja pa je povprečna KE dežnih kapljic znašala tako nad drevesno krošnjo kot pod njo 2,7 MJ/ha. Nad krošnjo se je gibala med 0,69 MJ/ha in 7,9 MJ/ha. Pod drevesno krošnjo pa med 0,44 MJ/ha in 7,9 MJ/ha (slika 22). Torej vidimo, da se KE dežnih kapljic v času mirovanje pri prehod čez drevesno krošnjo ne spremeni, kar je pričakovano, saj ni prisotnih listov, ki bi dežne kapljice zadržali in zmanjšali njihovo KE.

S tem smo delno potrdili iii) hipotezo, ki govori o tem, da se KE dežnih kapljic pri prehodu skozi krošnjo zmanjša.

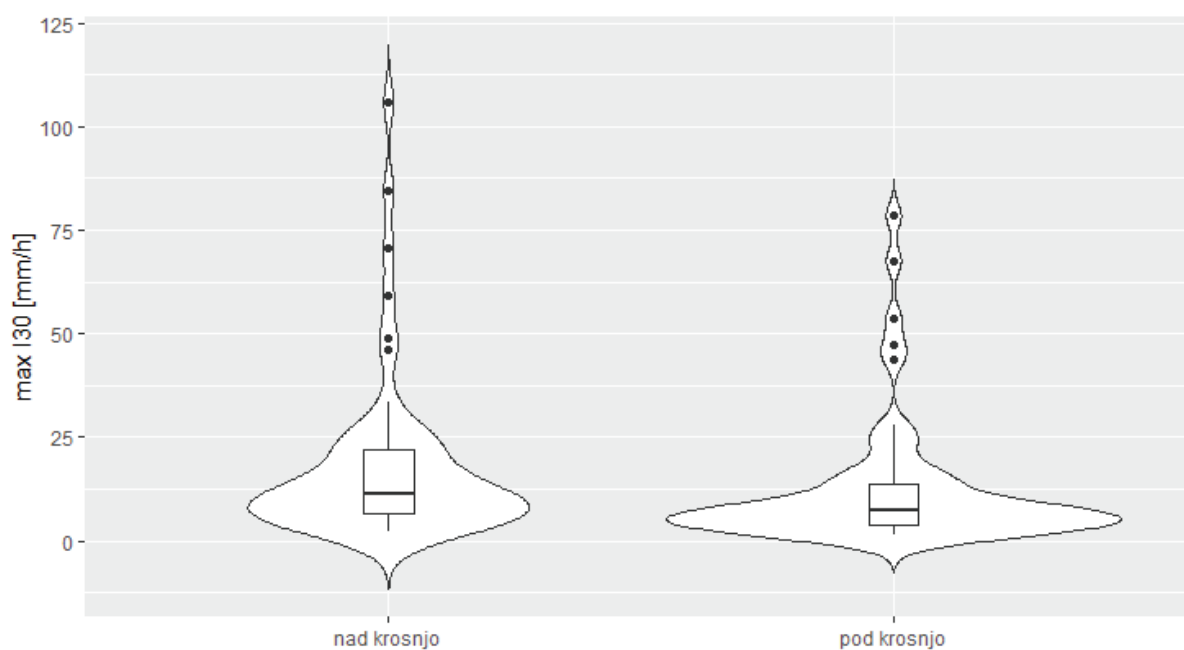


Slika 22: Kinetična energija dežnih kapljic nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije

Maksimalna vrednost KE nad krošnjo je znašala 15,4 MJ/ha in sicer v času poletne nevihte (14. 8. 2018) in maksimalna vrednost KE pod krošnjo je bila 12,5 MJ/ha, prav tako v času poletne nevihte (25. 8. 2018).

4.8 Maksimalna 30-minutna intenziteta padavinskih dogodkov

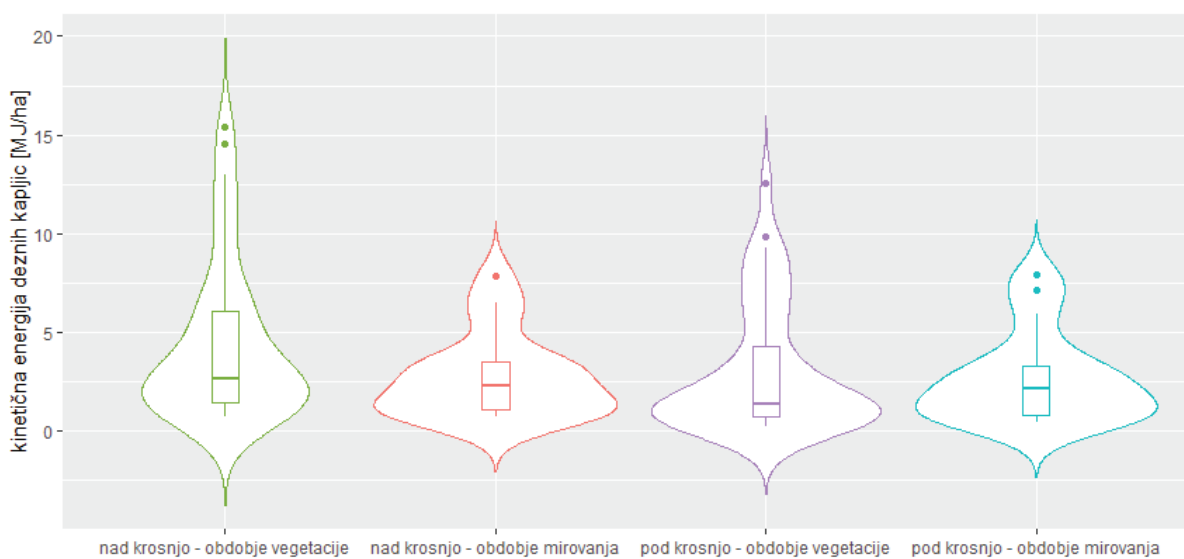
Srednja vrednost maksimalnih 30-minutnih intenzitet padavinskih dogodkov je bila v obravnavanem obdobju 18,0 mm/h. Najvišja vrednost je znašala 105,8 mm/h, medtem ko je najnižja vrednost znašala 2,2 mm/h (slika 23). Pod drevesno krošnjo je znašala srednja vrednost maksimalnih 30-minutnih intenzitet padavinskih dogodkov 12,6 mm/h in se je gibala med 1,2 mm/h in 78,4 mm/h.



Slika 23: Maksimalna 30-minutna intenziteta padavinskih dogodkov nad in pod drevesno krošnjo za celotno obravnavano obdobje

V obdobju vegetacije je povprečna vrednost maksimalnih 30-minutnih intenzitet nad drevesno krošnjo znašala 22,9 mm/h, pod krošnjo pa je znašala 15,8 mm/h (slika 24).

V obdobju mirovanja je bila povprečna vrednost maksimalnih 30-minutnih intenzitet nad krošnjo 7,2 mm/h, pod njo pa 5,6 mm/h (slika 24).

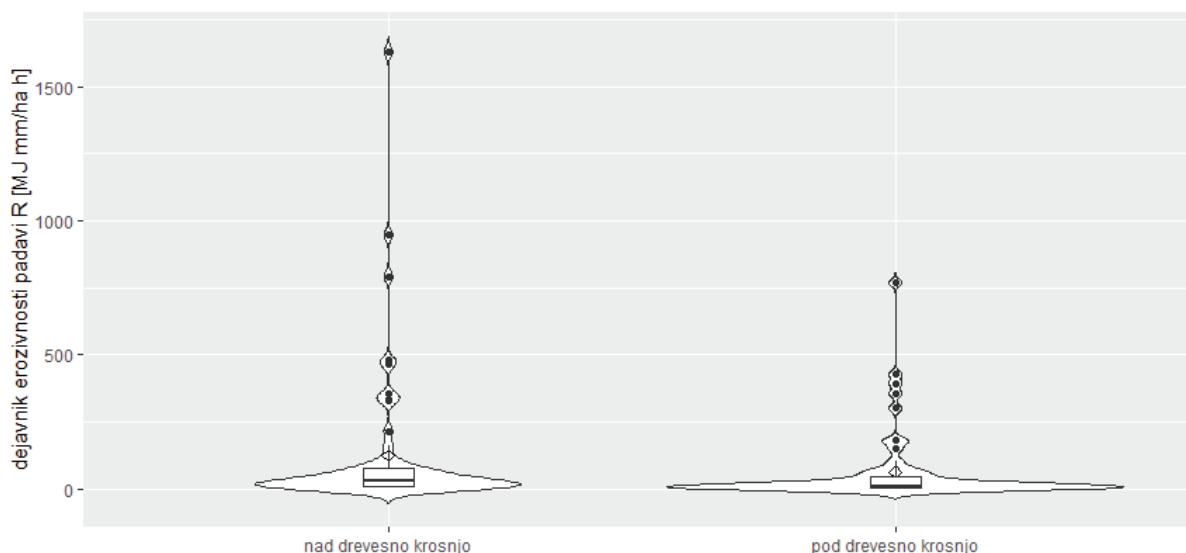


Slika 24: Maksimalna 30-minutna intenziteta padavinskih dogodkov nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije

Ugotovimo lahko, da se je maksimalna 30-minutna intenziteta padavinskih dogodkov pri prehodu skozi krošnjo zmanjšala, in sicer v obdobju vegetacije za 31 % in v obdobju mirovanja nekoliko manj, za 22 %.

4.9 Vrednost dejavnika erozivnosti padavin R

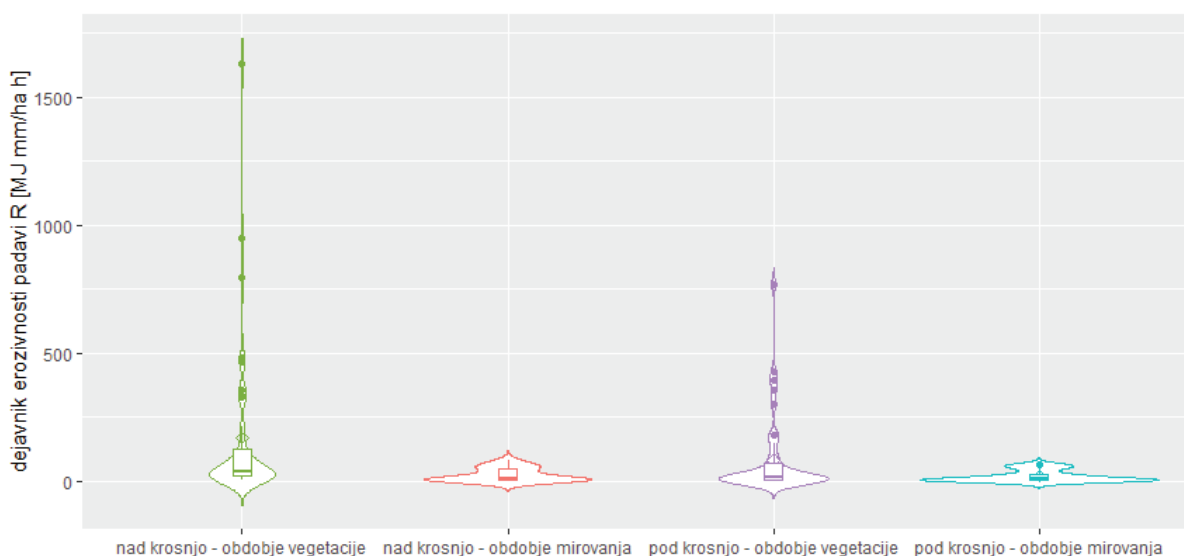
Vrednost dejavnika erozivnosti padavin R za posamezen dogodek celotnega obravnavanega obdobja se je nad drevesno krošnjo gibala med $1,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ in $1631,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, v povprečju $124 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (slika 25). Pod drevesno krošnjo se je vrednost R gibala med $0,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ in $769,2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, v povprečju je znašala $63,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Ugotovimo lahko, da se je vrednost dejavnika erozivnosti R zaradi prestrežanja padavin zmanjšala za 48,8 %.



Slika 25: Dejavnik erozivnosti padavin R nad in pod drevesno krošnjo za celotno obravnavano obdobje

V obdobju vegetacije je povprečna vrednost R nad drevesno krošnjo znašala $168,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, pod krošnjo pa $83,4 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Maksimalna vrednost R je bila tako nad krošnjo ($1631,5 \text{ MJ/ha}$) kot pod njo ($769,2 \text{ MJ/ha}$) (slika 26) dosežena med poletno nevihto 14. 8. 2018.

V obdobju mirovanja je povprečna vrednost R nad drevesno krošnjo znašala $24,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, pod njo pa $19,2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Maksimalne vrednosti so bile dosežene v zimskem času z vrednostjo nad krošnjo $81,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ in pod njo $64,4 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Glede na to, da ne gre za dosežene maksimalne vrednosti znotraj istega padavinskega dogodka, sklepamo, da je prišlo med katerim od dogodkov do začetka sneženja in je disdrometer zaznal tudi snežinke, kar je pri preračunu KE povečalo njeno končno vrednost.



Slika 26: Dejavnik erozivnosti padavin R nad in pod drevesno krošnjo glede na obdobje vegetacije

Ugotovimo lahko, da se je vrednost dejavnika erozivnosti padavin R pri prehodu skozi krošnjo v času vegetacije v povprečju zmanjšala za 50,6 %, v času mirovanja pa le za 21,6 %. Iz rezultatov lahko razberemo, da krošnja breze v obdobju vegetacije za 29 % zmanjša dejavnik erozivnosti R glede na obdobje, ko je krošnja brez listov.

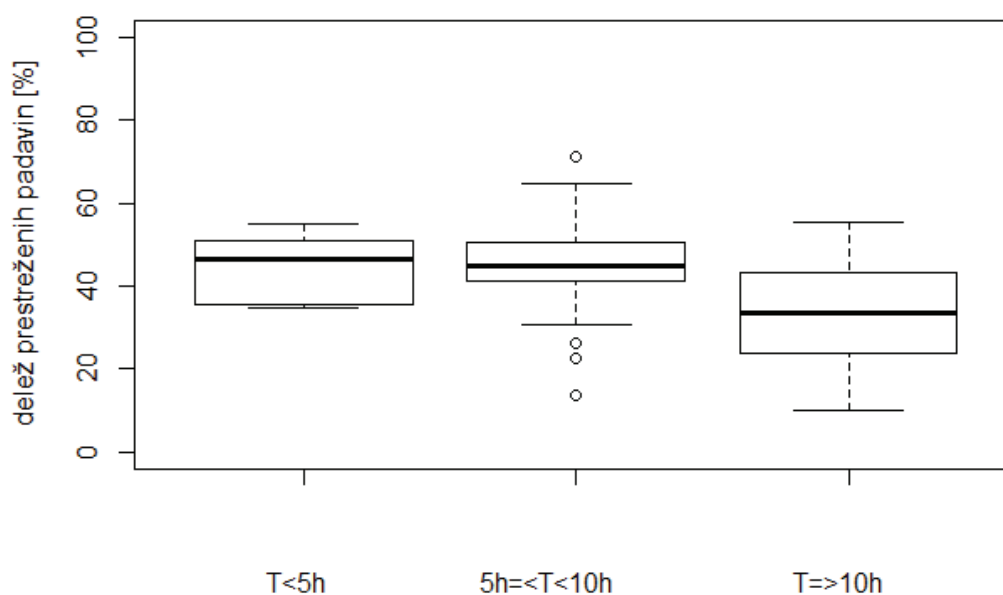
Vrednost razmerja R_{nad}/R_{pod} je bila le pri 3 padavinskih dogodkih manjša od 1. Glede na rezultate ne moremo potrditi iv) hipoteze, ki trdi, da dežne kapljice, ki kapljajo z drevesnih krošenj, povečujejo erozijo tal.

5 ANALIZA IN RAZPRAVA

5.1 Analiza vpliva trajanja padavinskega dogodka na delež prestreženih padavin breze

Delež prestreženih padavin breze se je v obravnavanem obdobju gibal med 10 % in 71,3 %, v povprečju 37,9 %. Kot je razvidno iz slike 27, ki prikazuje deleže prestreženih padavin glede na čas trajanja dežnih padavinskih dogodkov, je pri dogodkih krajših od 5 ur, delež prestreženih padavin v povprečju znašal 44,6 %. Pri dogodkih trajanja med 5 in 10 ur je bil povprečni delež prestreženih padavin zelo podoben, in sicer 44,2 %. Delež prestreženih padavin pri dogodkih, ki so trajali več kot 10 ur, pa je bil manjši in je znašal v povprečju 33 %.

Rezultati kažejo, da se z daljšim časom trajanja padavinskih dogodkov delež prestreženih padavin zmanjšuje oz. se delež prepuščenih padavin s časom povečuje, kar je še posebej očitno za dogodke trajanja več kot 10 ur. Da se delež prepuščenih padavin povečuje z daljšim časom trajanja padavin so ugotovili tudi drugi raziskovalci (Crockford in sod., 2000; Šraj in sod., 2008a; Zabret in sod., 2016).



Slika 27: Delež prestreženih prepuščenih padavin glede na čas trajanja padavinskega dogodka

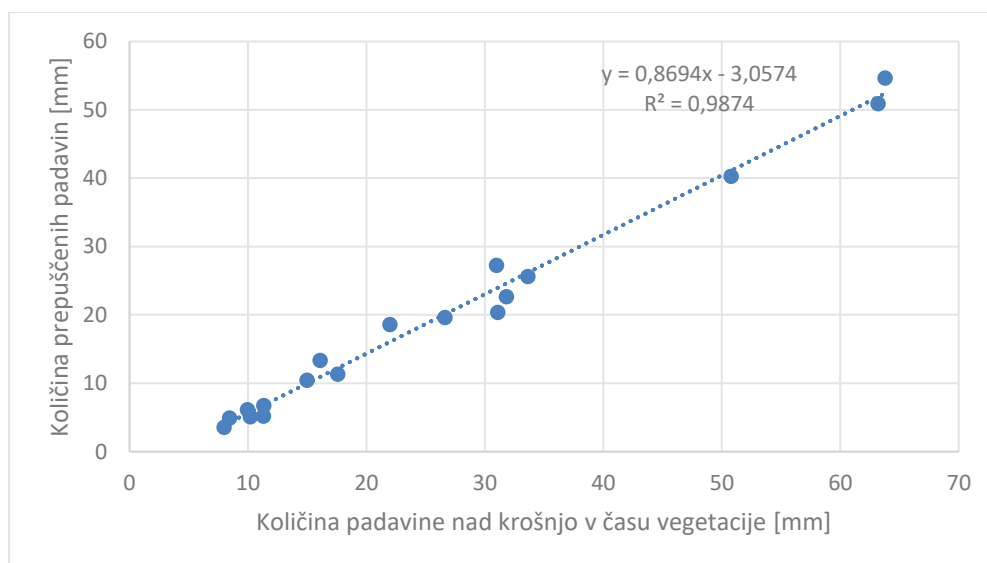
5.2 Analiza količine prepuščenih padavin pod brezo glede na fenološko fazo

V opazovalnem obdobju, ko je bila krošnja breze olistana, se je zgodilo 40 dežnih padavinskih dogodkov, medtem ko se je 18 padavinskih dogodkov zgodilo, ko je bila krošnja brez listov.

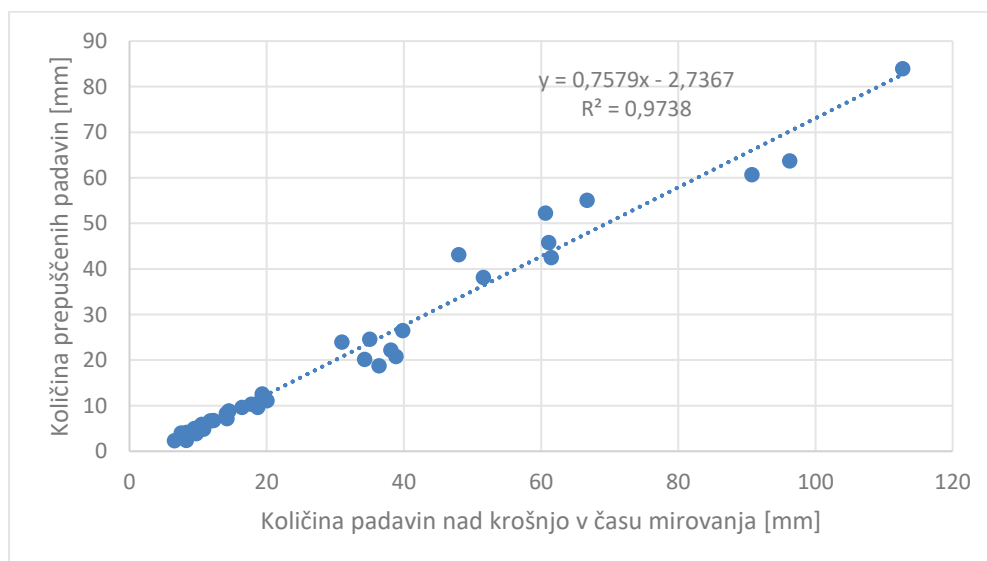
V obdobju vegetacije je drevesna krošnja prepustila 805,7 mm padavin, kar predstavlja 66,7 % padlih padavin (preglednica 4). V obdobju mirovanja je bil ta odstotek 75 %, kar je za 8,3 % višji delež prepuščenih padavin, kot v obdobju vegetacije.

Preglednica 3: Padavine (P) in prepuščene padavine (Tf) glede na fenofaze

	P [mm]	TF [mm]	TF [%]
Obdobje vegetacije	1207,5	805,7	66,7
Obdobje mirovanja	461,6	346,3	75,0

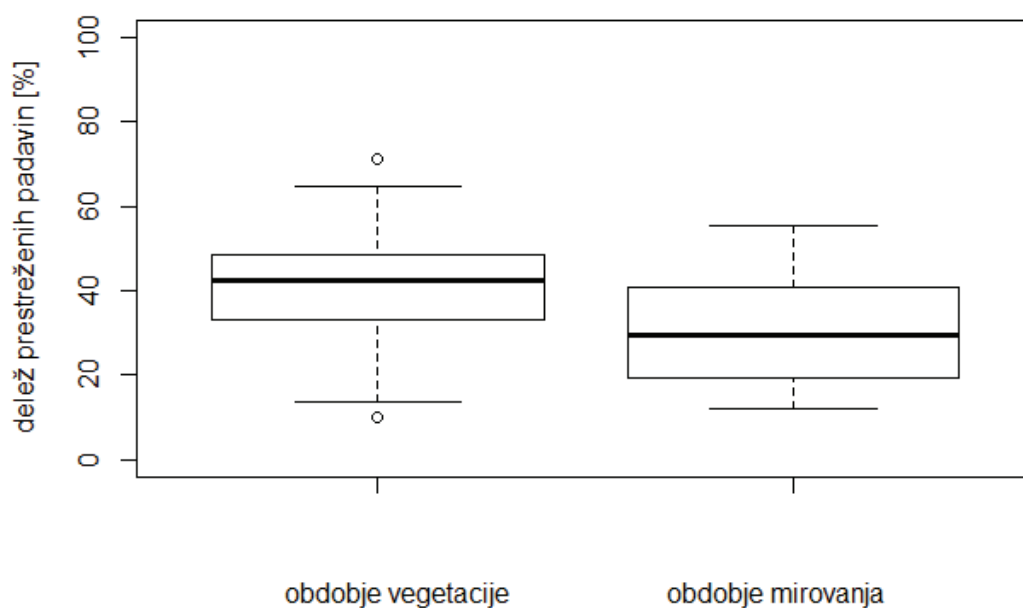


Slika 28: Odvisnost količine prepuščenih padavin glede na količino padavin v času vegetacije



Slika 29: Odvisnost količine prepuščenih padavin glede na količino padavin v času mirovanja

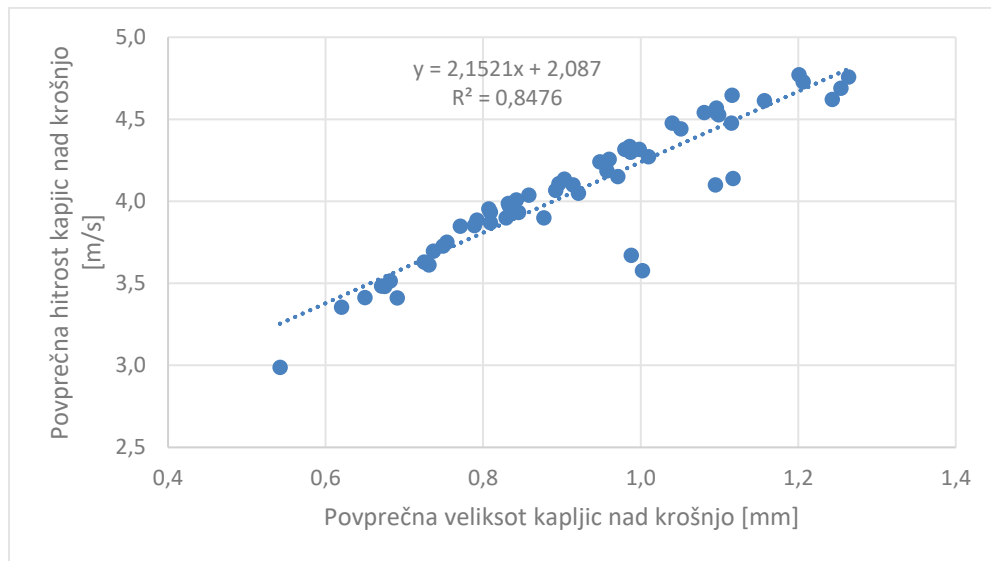
Obe trendni črti na slikah 28 in 29 izkazujeta zelo visoko povezanost količine prepuščenih padavin in količine padavin nad krošnjo. Ugotovimo lahko, da je odvisnost spremenljivk večja v obdobju vegetacije. Kot je razvidno iz slike 30, je delež prestreženih padavin v obdobju vegetacije višji (33,3 %) od deleža prestreženih padavin v obdobju mirovanja (25 %) oz. je delež prepuščenih padavin v času mirovanja višji, kar je pričakovano, saj je krošnja breze takrat gola. S tem smo potrdili i) hipotezo, ki trdi, da je delež prepuščenih padavin največji v obdobju mirovanja, ko je breza brez listov.



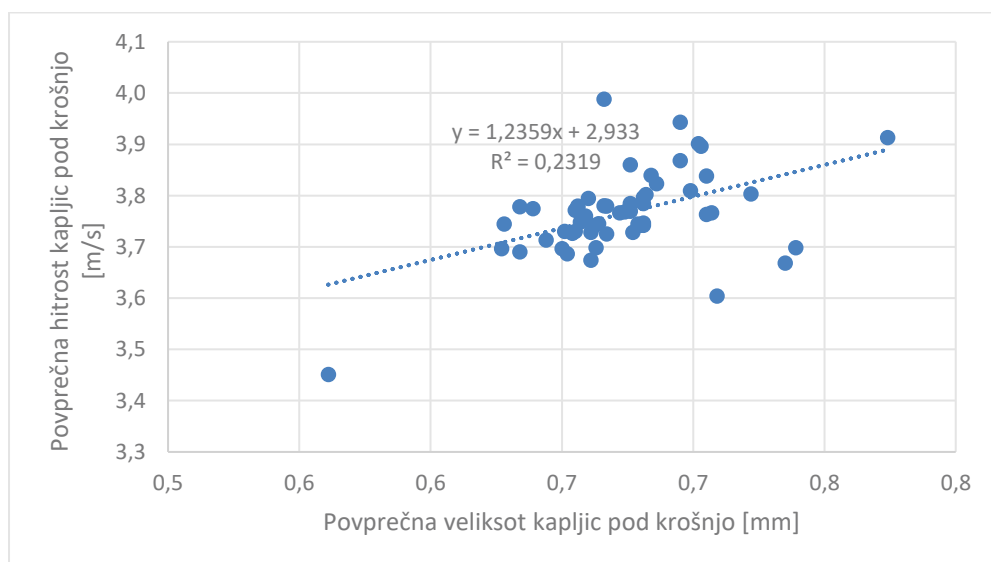
Slika 30: Delež prestreženih padavin glede na fenofazo

5.3 Analiza vpliva mikrostrukture padavin na delež prepuščenih padavin breze

Iz slike 31 je razvidno, da je med povprečno hitrostjo in povprečno velikostjo dežnih kapljic nad krošnjo visoka medsebojna odvisnost. Medtem ko je ta medsebojna odvisnost pod krošnjo glede na Pearsonov koeficient korelacije šibka (slika 32), je kljub vsemu statistično značilna s p-vrednostjo 0,0059.

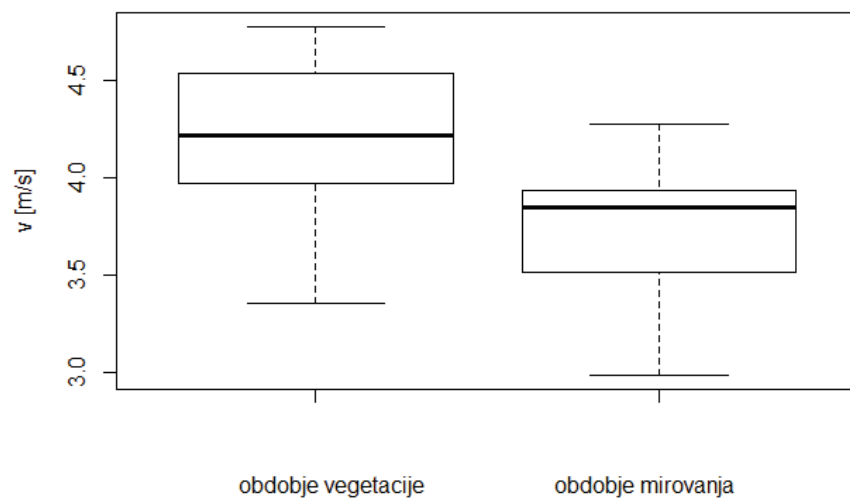


Slika 31: Odvisnost povprečne hitrosti kapljic od povprečne velikosti kapljic nad drevesno krošnjo breze

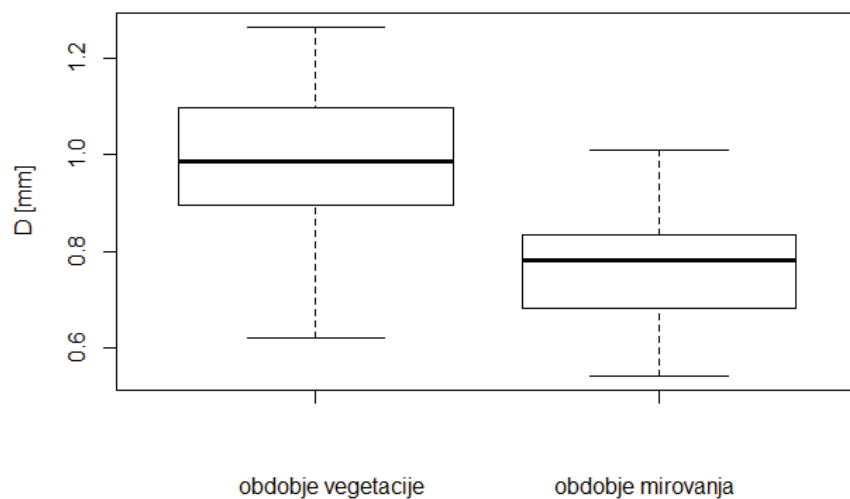


Slika 32: Odvisnost povprečne hitrosti kapljic od povprečne velikosti kapljic pod drevesno krošnjo breze

Ugotovimo, da v obdobju vegetacije kapljice nad krošnjo v večjem premerom dosežejo večjo hitrost v primerjavi s kapljicami v obdobju mirovanja (sliki 33 in 34). Do podobnih zaključkov so prišli tudi drugi raziskovalci (Novak, 2017; Zabret in sod., 2016), ki so merili mikrostrukturo padavin nad krošnjo na isti raziskovalni ploskvi in z istim disdrometrom, vendar so obravnavali drugo časovno obdobje.

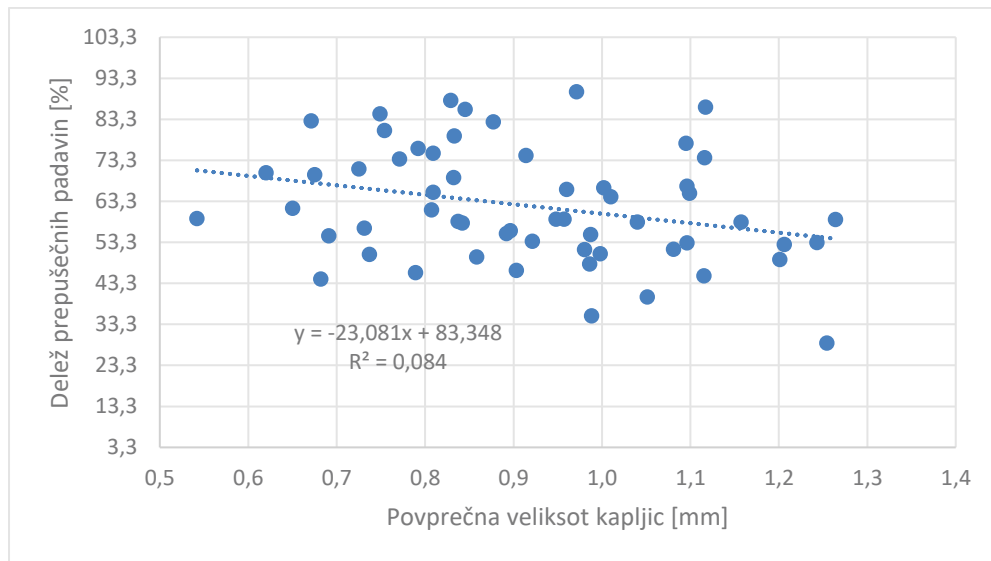


Slika 33: Hitrost dežnih kapljic glede na fenofazo

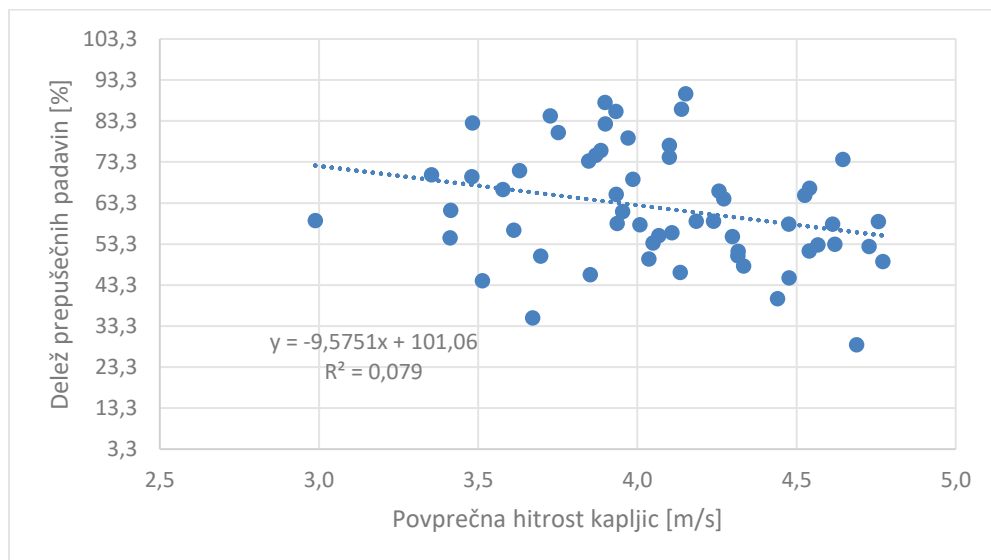


Slika 34: Premer dežnih kapljic glede na fenofazo

Primerjava deleža prepuščenih padavin s povprečno velikostjo dežnih kapljic posameznega dogodka ne izkazuje medsebojne odvisnosti oz. je ta statistično neznačilna ($p = 0,027$), kar je razvidno tudi iz slike 35. Podobno velja za odvisnost deleža prepuščenih padavin od povprečne hitrosti dežnih kapljic ($p = 0,033$) (slika 36).

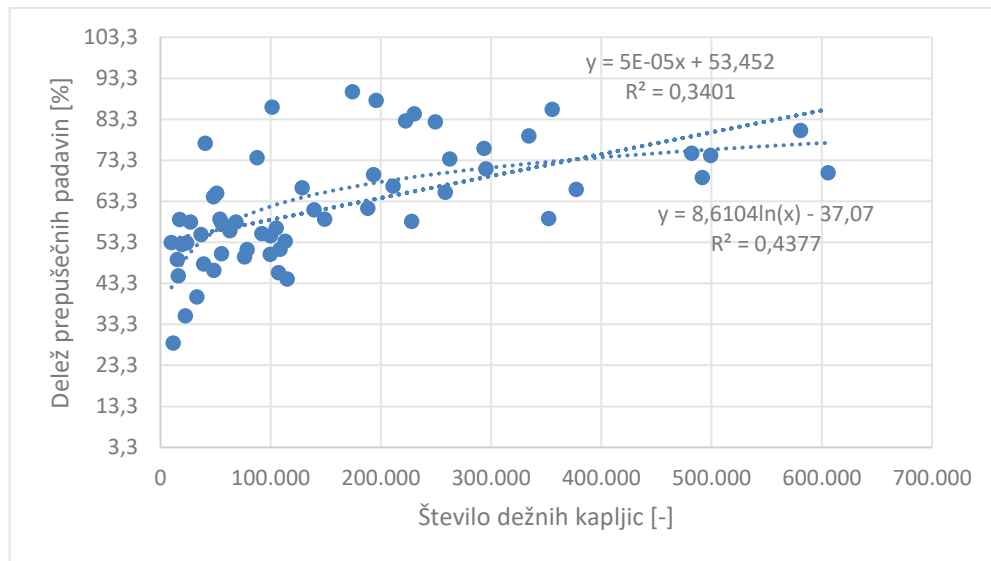


Slika 35: Delež prepuščenih padavin v odvisnosti od povprečne velikosti kapljic



Slika 36: Delež prepuščenih padavin v odvisnosti od povprečne hitrosti kapljic

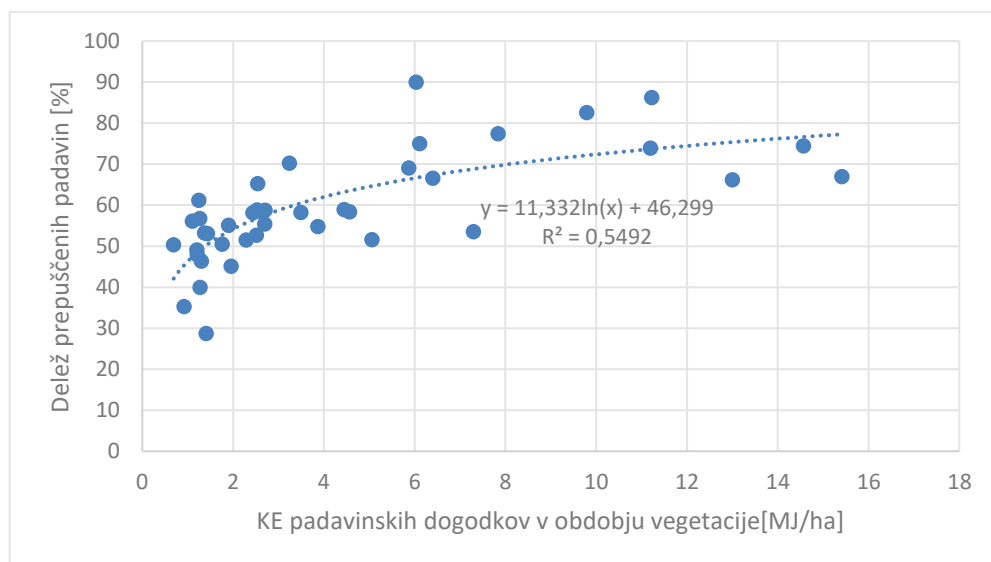
Delež prepuščenih padavin je še v največji meri odvisen od števila dežnih kapljic, a je tudi ta povezanost glede na vrednost Pearsonovega koeficienta korelacije precej šibka (slika 37). V primeru logaritemske trendne črte Pearsonov koeficient korelacije izraža nekoliko večjo odvisnost spremenljivk. Kljub vsemu pa zelo majhna p-vrednost ($p = 1,56 \cdot 10^{-6}$) nakazuje na statistično značilno linearno povezavo.



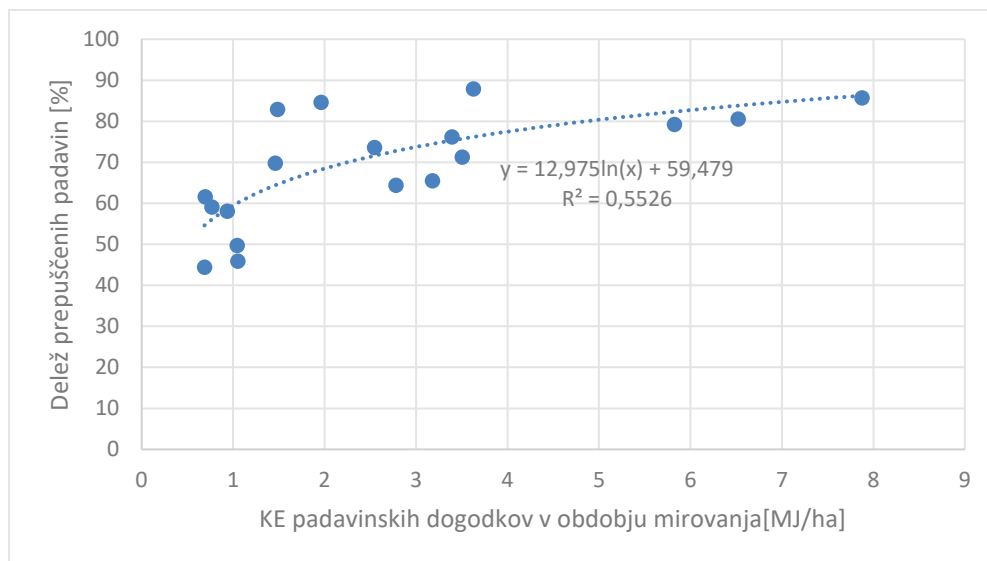
Slika 37: Delež prepuščenih padavin v odvisnosti od števila dežnih kapljic

5.4 Analiza vpliva KE dežnih kapljic na delež prestreženih padavin breze

Delež prepuščenih padavin breze se s povečevanjem KE dežnih kapljic nad krošnjo v obdobju vegetacije povečuje (slika 38). Odvisnost je logaritemaska in statistično značilna s p-vrednostjo $1,95 \cdot 10^{-6}$.



Slika 38: Delež prepuščenih padavin glede na KE padavinskih dogodkov v obdobju vegetacije

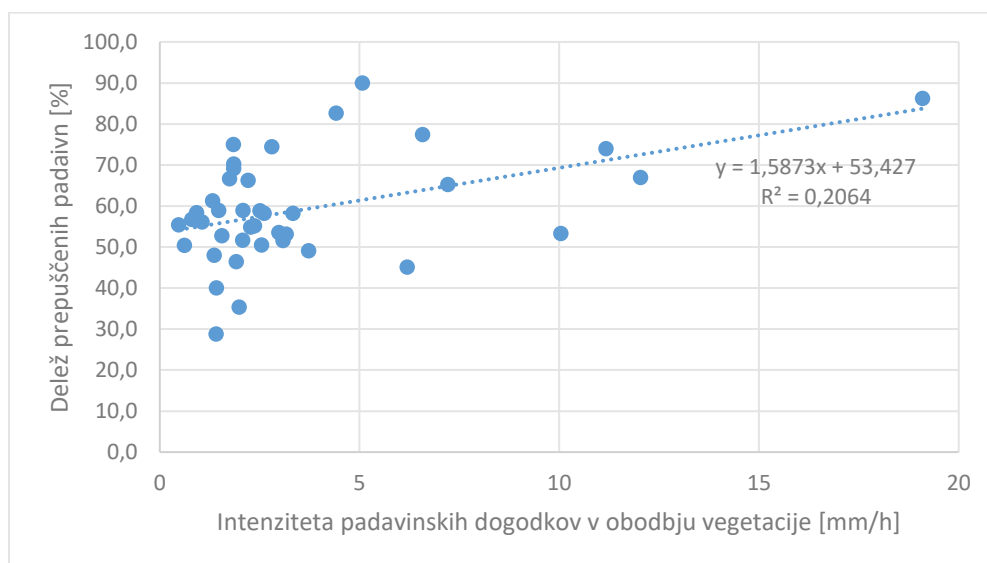


Slika 39: Delež prepuščenih padavin glede na KE padavinskih dogodkov v obdobju mirovanja

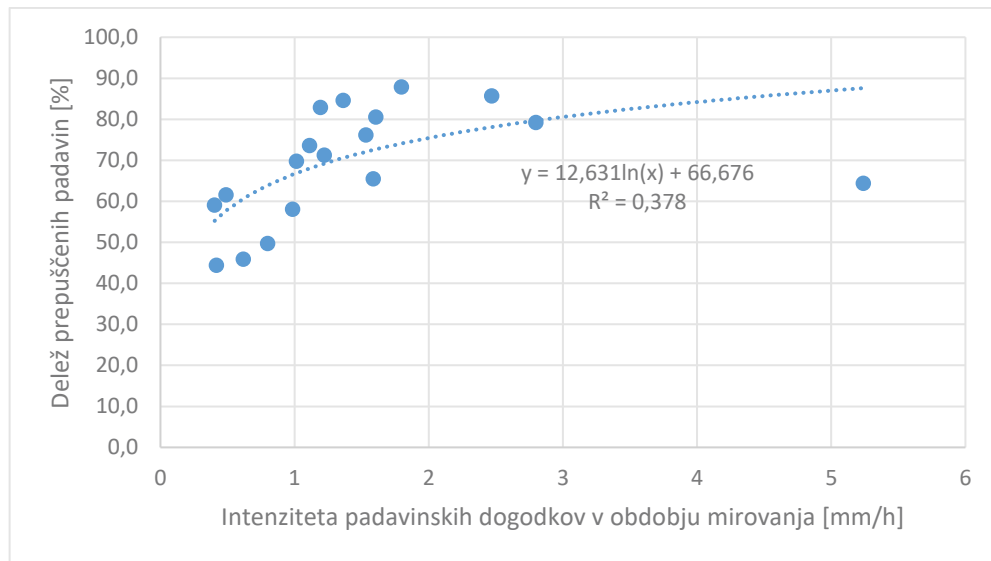
Tudi v obdobju mirovanja se delež prepuščenih padavin z večanjem KE dežnih kapljic nad krošjo povečuje (Slika 39). Tudi ta odvisnost je logaritemska in statistično značilna s p-vrednostjo 0,00295, kar nakazuje na močno povezanost med spremenljivkama.

5.5 Analiza vpliva intenzitete padavin na delež prestreženih padavin

Odvisnost deleža prepuščenih padavin glede na intenziteto padavin v obdobju vegetacije je pozitivna, kar pomeni da povečanje intenzitete padavin v splošnem povzroči večji delež prepuščenih padavin, kar predstavlja slika 40. Odvisnost je statistično značilna (p-vrednost $9,06 \cdot 10^{-7}$).



Slika 40: Delež prepuščenih padavin glede na intenziteto padavinskih dogodkov v obdobju vegetacije

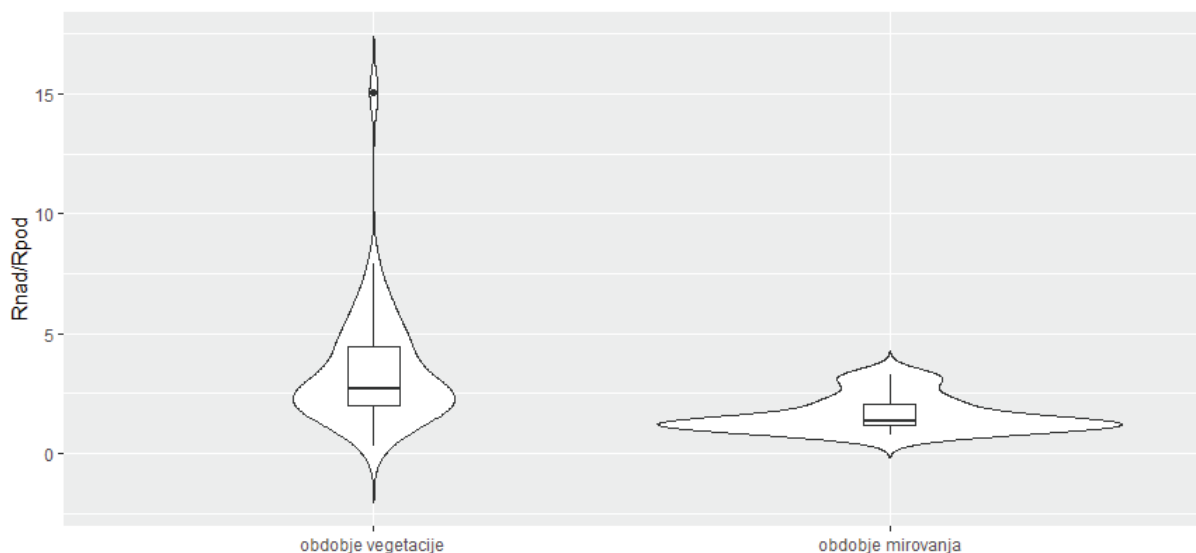


Slika 41: Delež prepuščenih padavin glede na intenziteto padavinskih dogodkov v obdobju mirovanja

V obdobju mirovanja se delež prepuščenih padavin z večanjem intenzitete padavin povečuje. Pearsonov koeficient korelacije logaritemske medsebojne odvisnosti je majhen, ampak vseeno statistično značilen (p vrednost 0,003) (slika 41).

5.6 Analiza razmerja dejavnika erozivnosti padavin R nad in pod krošnjo

Razmerje dejavnika R nad in pod krošnjo je v povprečju znašalo 2,9. V obdobju vegetacije je bilo razmerje v povprečju enako 3,5, v obdobju mirovanja pa 1,6.



Slika 42: Razmerje Rnad/Rpod glede na obdobje vegetacije

Lahko ugotovimo, da je razmerje Rnad/Rpod v obdobju mirovanja za 53,4 % nižje glede na obdobje vegetacije (slika 42).

Dejavnik je v največji meri odvisen od časa trajanja dogodka ter velikosti in hitrosti dežnih kapljic ter fenofaze, v kateri se breza nahaja.

Vrednost razmerja R_{nad}/R_{pod} je bila le pri 3 padavinskih dogodkih manjša od 1. Glede na rezultate ne moremo v celoti potrditi iv) hipoteze, ki pravi, da dežne kapljice, ki kapljajo z drevesnih krošenj, povečujejo erozijo tal.

5.7 Primerjava potencialne izgube tal v primeru padavin nad in pod krošnjo za poletno nevihto

Primerjavo potencialne izgube tal smo naredili za padavinski dogodek, ki se je zgodil 14. 8. 2018, ko je prišlo do poletne nevihte. Dogodek je imel izmed vseh 58 obravnavanih dogodkov največjo KE nad drevesno krošnjo in pod njo. Trajal je 10 ur. V tem času je nad krošnjo breze padlo 90,7 mm padavin, pod njo pa 60,7 mm. Dežne kapljice nad drevesno krošnjo s povprečno velikostjo 1,1 mm so dosegle povprečno hitrost 4,5 m/s. Intenziteta padavin je znašala 12 mm/h. Maksimalna 1-minutna intenziteta je znašala 146 mm/h. Maksimalna 30-minutna intenziteta padavin je nad drevesno krošnjo znašala 105,8 mm/h, pod njo pa 78,44 mm/h. KE dogodka je nad drevesno krošnjo znašala 15,42 MJ ha⁻¹, pod njo pa 9,81 MJ ha⁻¹. Vrednost erozivnosti padavin R je nad drevesno krošnjo znašala 1631,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ pod njo pa 769,2 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Razmerje R_{nad}/R_{pod} je torej 2,1.

Iz rezultatov lahko razberemo, da prestrežanje padavin zmanjša erozijo tal, saj vidimo, da se je faktor R zmanjšal za 53 %.

Izračun po metodi RUSLE bi bil smiseln v primeru ocenjevanja erozije tal na konkretnem območju. Za izračun erozije tal po omenjeni metodi bi potrebovali poleg dejavnika R poznati še ostale vrednosti dejavnikov. Glede na to, da je enačba zmnožek vrednosti dejavnikov, je vpliv med njimi linearen, kar pomeni, da bi se s povečevanjem vrednosti posameznih dejavnikov erozija tal povečevala in obratno.

6 ZAKLJUČKI

Na erozijo tal vplivajo tako naravni kot človeški dejavniki. Običajno damo velik poudarek na dejavnik dolžine pobočja in njegovega naklona ter dejavnik pokrovnosti in nekaterih ostalih parametrov, ki so vključeni v oceno potencialne izgube tal. Dejavnik padavin je običajno spregledan, a rezultati zadnjih raziskav kažejo, da je poznavanje mikrostrukture padavin pomembno za ocenjevanje erozije tal.

V magistrskem delu smo obravnavali prestrežanje padavin z vidika posameznih meteoroloških spremenljivk (trajanje padavin, intenziteta padavin, DSD dežnih kapljic) in fenoloških faz kot vegetacijske spremenljivke. Podrobenje smo obravnavali posamezen element mikrostrukture padavin (velikost, hitrost in število kapljic), kinetično energijo dežnih kapljic in dejavnik erozivnosti padavin R (kot eno od komponent metode za oceno erozije tal). Nato smo obravnavanin spremenljivkam določili medsebojno odvisnot in s pomočjo dejavnika R določili vplivnost dežnih kapljic na erozijo tal.

V praktičnem delu magistrskega dela smo iz merjenih podatkov pridobljenih s pomočjo disdrometra in dežemera določili erozivne padavinske dogodke, jim izračunali njihovo trajanje, količino padavin, izračunali povprečno velikost in povprečno hitrost dežnih kapljic ter število dežnih kapljic. Nato smo izračunali intenziteto posameznega padavinskega dogodka, pripadajočo maksimalno 30-minutno intenziteto padavin ter kinetično energijo vsakega padavinskega dogodka. Na podlagi teh podatkov pa izračunali vrednost dejavnika erozivnosti padavin R in opredelili njegov vpliv na erozijo tal.

Meritve v obravnavanem obdobju (24. 7. 2017 – 24. 9. 2018) so pokazale, da je bilo izmed 58 padavinskih dogodkov največ erozivnih dogodkov daljših od 10 ur in najmanj krajših od 5 ur. Tako smo prišli do zaključka, da se količina prepuščenih padavin z dolžino padavinskega dogodka povečuje. Na podlagi analiz smo ugotovili, da se velikost dežnih kapljic s prehodom skozi drevesno krošnjo zmanjšuje, prav tako hitrost dežnih kapljic. Z analizami smo ovrgli ii) hipotezo, da prisotnost listov poveča število kapljic pod drevesno krošnjo, saj se število kapljic v obravnavanem obdobju zmanjša za 20,5 %. Intenziteta padavin se pri prehodu skozi drevesno krošnjo ohrani v večji meri le v obdobju mirovanja.

Analiza vpliva fenološke faze na količino prepuščenih padavin je pokazala, da breza v fazi vegetacije prestreže večji delež padavin kot v času mirovanja, kar je bilo pričakovano, saj je krošnja breze v obdobju mirovanja gola. V času vegetacije je breza v povprečju prestregla 33 % padavin, v času mirovanja pa 25 % padavin. S tem smo potrdili i) hipotezo, ki trdi, da je delež prepuščenih padavin največji v obdobju mirovanja, ko je breza brez listov.

Velika soodvisnost se je izkazala tudi med velikostjo in hitrostjo dežnih kapljic, tako nad drevesno krošnjo kot pod njo, le s to razliko, da je bila ta odvisnost pod krošnjo nekoliko manjša. Odvisnosti med deležem prepuščenih padavin in velikostjo ter hitrostjo dežnih kapljic nismo ugotovili, med tem ko je bil vpliv števila dežnih kapljic na količino prestreženih padavin statistično značilen. V obdobju vegetacije velik medsebojni vpliv na delež prepuščenih padavin izkaže tudi intenziteta padavin, medtem ko odvisnost v obdobju mirovanja breze ni statistično značilna.

Kinetična energija (KE) dežnih kapljic se v obdobju vegetacije s prehodom skozi krošnjo zmanjša za 31,8 %, medtem ko se v času mirovanja KE dežnih kapljic ohranja. S tem delno

potrdimo iii) hipotezo, ki govori o tem, da se KE dežnih kapjic pri prehodu skozi krošnjo zmanjša. Analiza je tudi pokazala statistično značilen vpliv KE na delež prepuščenih padavin. Še posebej je ta odvisnost velika v času vegetacije. Nekoliko manjša pa je v obdobju mirovanja.

Na koncu smo ocenili potencialno izgubo tal v primeru padavin nad in pod krošnjo na podlagi primerjave vrednosti parametra erozivnosti padavin R nad krošnjo in pod njo. V obdobju mirovanja je razmerje R_{nad}/R_{pod} za 53,4 % nižje kot v obdobju vegetacije. Glede na rezultate ne moremo v celoti potrditi iv) hipoteze, ki pravi, da dežne kapljice, ki kapljajo z drevesnih krošenj, povečujejo erozijo tal.

Ob vseh ugotovitvah se je potrebno zavedati, da se mikrostruktura padavin spreminja tako po času kot lokaciji in tudi glede na vrsto vegetacije, zato rezultatov nikakor ne smemo posploševati. Pomembno je, da se zavedamo pomembnosti vpliva padavin na erozijo tal, ter s pomočjo pravih ocen erozije tal in sprotim posodabljanjem scenarijev razvoja padavinskih trendov, načrtujemo nadaljni razvoj področja.

VIRI

Agencija republike Slovenije za okolje (ARSO). 2017. Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja: Povzetek temperaturnih in padavinskih povprečij. <http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/povzetek-podnebnih-sprememb-temp-pad.pdf> (Pridobljeno: 18. 11. 2020.)

Agencija republike Slovenije za okolje (ARSO). 2017a. O agenciji. Knjižnica. Mesečni bilten. Letnik 2017. <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/mese%C4%8Dni%20bilten/bilten2017.htm> (Pridobljeno: 12. 12. 2017.)

Agencija republike Slovenije za okolje (ARSO). 2018. O agenciji. Knjižnica. Mesečni bilten. Letnik 2018. <https://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/mese%C4%8Dni%20bilten/bilten2018.htm> (Pridobljeno: 18. 11. 2020.)

Agencija republike Slovenije za okolje (ARSO). 2020. Meteo.si. Pregled. Agrometeorologija. Fenološki razvoj rastlin. Bukev. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/pheno/> (Pridobljeno: 10. 06. 2020.)

Bezak, N., Šraj, M., Rusjan, S., Kogoj, M., Vidmar, A., Sečnik, M., Brilly, M., Mikoš, M. 2013. Primerjava dveh sosednjih eksperimentalnih hudourniških porečij: Kuzlovec in Mačkov graben = Comparison between two adjacent experimental torrentill watersheds: Kuzlovec and Mačkov graben. Acta hydrotechnica 26/45: 85–97.

Brandt, C.J., 1989. The size distribution of throughfall drops under vegetation canopies. Catena 16: 507–524.

Carollo, F., Ferro, V. 2014. Modeling Rainfall Erosivity by Measured Drop-Size Distribution. Journal of Hydrologic Engineering 20(6): C4014006.

Carollo, F. G., Ferro, V., Serio, M. A. 2016. Estimating rainfall erosivity by aggregated drop size distributions. Hydrological Processes 30: 2119–2128.

Ciaccioni, A., Bezak, N., Rusjan, S. 2016. Analysis of rainfall erosivity using disdrometer data at two stations in Central Slovenia. Acta hidrotechnica 29/51: 89–101.

Crockford, R.H., Richardson, D.P. 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. Hydrological Processes 14: 2903–2920.

Črepinšek, Z. 2002. Napovedovanje fenološkega razvoja rastlin na osnovi agrometeoroloških spremenljivk v Sloveniji. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta (samozaložba Z. Črepinšek): 135 str.

Goebes, P. 2015. Mechanisms of Soil Erosion in Subtropical Forests of China-Effects of Biodiversity, Species identity, Tree architecture and Spatial variability on Erosivity. Disseration: 218 str.

Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. New York, Academic Press: 771 str.
<https://www.elsevier.com/books/environmental-soil-physics/hillel/978-0-12-348525-0>
(Pridobljeno: 10. 5. 2017.)

Hudson, N. 1981. Soil conservation, Batsford Academic & Educational, London, 324.

Komac, B., Zorn, M. 2005. Erozijski prsti na kmetijskih zemljiščih v Sloveniji - Meritve žlebične erozije v dolini Besnice = Soil erosion on agricultural land in Slovenia - Measurements of rill erosion in the Besnica valley. Acta Geographica Slovenica 45(1): 53–86.

Komac, B., Zorn, M. 2007. Pobočni procesi in človek. Geografija Slovenije 15: 423 str.

KSH. 2018. Avtomatski dežemer Onset RG-M.
<http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/predst/oprema/oprema/RG2M.pdf> (Pridobljeno 15. 3. 2018.)

Lah, A., 2007. Meritve in analiza prestreženih padavin. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Lah): 110 str.

Levia, D.F., Hudson, S.A., Llorens, P., Nanko, K. 2017. Throughfall drop size distributions: a review and prospectus for future research. WIREs Water 4: e1225.
https://www.researchgate.net/publication/316919926_Throughfall_drop_size_distributions_a_review_and_prospectus_for_future_research (Pridobljeno: 20. 11. 2017.)

Mikoš, M. (1995), Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru, Gozdarski vestnik 53, 9: 342-351.

Mikoš, M., Zupanc, V. 2000. Erozijski tal na kmetijskih površinah. Sodobno kmetijstvo, 33(10): 419–423.
ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/students/urejanje_povirij/Mikos_Zupanc_2000.pdf
(Pridobljeno: 10. 5. 2017.).

Nakayoshi, M., Moriwaki, R., Kawai, T., Kanda, M. 2009. Experimental study on rainfall interception over an outdoor urban-scale model, Water resources research 45: 1–10.

Nanko, K., Hotta, N., Suzuki, M. 2006. Evaluating the influence of canopy species and meteorological factors on throughfall drop size distribution. Journal of Hydrology 329: 422–431.

Nanko, K., Hudson, S.A., Levina, D.F. 2016. Differences in throughfall drop size distributions in the presence and absence of foliage. Hydrological Sciences Journal 61: 620–627.

OTT Hydromet. Operating Instructions. Present weather sensor OTT Parsivel. 2016.
<http://www.ott.com/en-us/products/download/operating-instructions-present-weather-sensor-ott-parsivel2/> (Pridobljeno, 2. 5. 2018.)

Ovington, J.D. 1954. A comparison of rainfall in different woodlands. Forestry London 27: 41–53.

Petan, S., 2010. Meritve in modeliranje erozivnosti padavin kot parametra erozije tal. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Petan): 258 str.

Petkovšek, G. 2000. Procesno Utemeljeno Modeliranje Erozijskega Tal = Process Based Soil Erosion Modelling. Acta hydrotechnica 28(18): 41–60.

Rakovec, J., Vrhovec, T. 2000. Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike. Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije: 329 str.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington, DC, USDA ARS. Agricul. Handbook 703: 384 str. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/64080530/RUSLE/AH_703.pdf (Pridobljeno 5. 5. 2018.)

Sempere-Torres, D., Salles, C., Creutin, J.D., Delrieu, G. 1992. Quantification of soil detachment by raindrop impact : performance of classical formulae of kinetic energy in Mediterranean storms. V: Bogen, J., Walling, D.E., Day, T. (ur). Erosion and sediment transport monitoring programmes in river basins. Oslo, IAHS Publ. 210: 115–124.

Šraj, M., Brilly, M., Mikoš, M. 2008a. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 121–134.

Šraj, M., Lah, A., Brilly, M. 2008b. Meritve in analiza prestreženih padavin navadne breze (*Betula pendula* Roth.) in rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) v urbanem okolju. *Gozdarski vestnik* 66, 9: 406–416.

Tapiador, F.J., Checa, R., de Castro, M. 2010. An experiment to measure the spatial variability of rain drop size distribution using sixteen laser disdrometers. *Geophysical research letters* 37: L16803.

Uijlenhoet, R., Sempere Torres, D. 2006. Measurement and parameterization of rainfall microstructure. *Journal of Hydrology* 328: 1–7.

Wang, X., Zhang, Y., Hu, R., Pan, Y., Berndtsson, R. 2012. Canopy storage capacity of xerophytic shrubs in Northwestern China. *Journal of Hydrology* 454–455: 152–159.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans Am. Geophys. Union* 39: 285–291.

Zabret, K. Vpliv značilnosti dreves na prestrežanje padavin. 2013. *Acta hydrotechnica* 26/45: 99–116.

Zabret, K., Mikoš, M., Rakovec, J., Šraj, M. 2016. Proces prestrežanja padavin: vpliv fenološke faze, trajanja padavinskega dogodka ter mikrostrukture padavin. Konferenca: Raziskave s področja geodezije in geofizike 2015, Ljubljana, Slovenija., Objava: Zbornik referatov: 111–121.

Zabret, K. 2018. Vpliv meteoloških in vegetacijskih parametrov na prestrežanje padavin. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Zabret): 174 str.

Zabret, K., Rakovec, J., Mikoš, M., Šraj, M., 2017. Influence of Raindrop Size Distribution on Throughfall Dynamics under Pine and Birch Trees at the Rainfall Event Level. *Atmosphere* 8: 240.

Zabret, K., Rakovec, J., Šraj, M., 2018. Influence of meteorological variables on rainfall partitioning for deciduous and coniferous tree species in urban area. *Journal of Hydrology*: 29–41.

Zrnec, C. 1994. Značilnosti cvetenja nekaterih vrst rastlin in njihova uporabnost v agrometeorologiji.- *Razprave-Papers*, 31: 51–60.