UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Janez KERMAVNAR

SESTOJNE PADAVINE V IZBRANIH URBANIH GOZDOVIH LJUBLJANE

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Janez KERMAVNAR

SESTOJNE PADAVINE V IZBRANIH URBANIH GOZDOVIH LJUBLJANE

MAGISTRSKO DELO
(Magistrski študij – 2. stopnja)

STAND PRECIPITATION IN SELECTED URBAN FORESTS IN THE CITY OF LJUBLJANA

M. Sc. Thesis
(Master Study Programmes)

Ljubljana, 2015

Magistrsko delo je zaključek dvoletnega magistrskega študijskega programa druge stopnje Gozdarstvo in upravljanje gozdnih ekosistemov. Opravljeno je bilo na Univerzi v Ljubljani, Biotehniški fakulteti, Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Terenske meritve, ki so uporabljene v naši nalogi, so bile izvedene na Gozdarskem inštitutu Slovenije.

Komisija za študij 1. in 2. stopnje Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je dne 23. 4. 2015 za mentorja magistrskega dela imenovala doc. dr. Janeza Pirnata, za somentorico dr. Uršo Vilhar, za recenzenta pa prof. dr. Roberta Brusa.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Datum zagovora:

Magistrsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Janez Kermavnar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Du2

DK GDK 111.72:9227(497.4Ljubljana)(043.2)=163.6

KG (peri)urbani gozd/sestojne padavine/zgradba gozda/vodni viri/Ljubljana

AV KERMAVNAR, Janez

SA PIRNAT, Janez (mentor)/VILHAR, Urša (somentor)

KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83

ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

LI 2015

IN SESTOJNE PADAVINE V IZBRANIH URBANIH GOZDOVIH LJUBLJANE

TD Magistrsko delo (Magistrski študij – 2. stopnja)

OP XIII, 102 str., 12 pregl., 27 sl., 7 pril., 113 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI Urbani gozdovi zagotavljajo številne koristi oziroma ekosistemske storitve. Njihova hidrološka funkcija se kaže tudi v uravnavanju količine vodnih virov. Na območju Mestne občine Ljubljana smo preučili sestojne padavine (vsota prepuščenih padavin in odtoka po deblu) v izbranih peri-urbanih (v bližini Gameljn) in urbanih gozdovih (na ljubljanskem Rožniku) z različno drevesno sestavo in zgradbo sestoja. Prepuščene padavine so bile spremljane na raziskovalnih ploskvah v nižinskem poplavnem gozdu listavcev ob reki Savi, v obrežnem rdečeborovju ter v mešanem gozdu gradna in domačega kostanja s primesjo smreke. Padavine na prostem so bile izmerjene na bližnjih odprtih površinah - travnikih. Odtok vode po deblu smo ocenili s pomočjo dosedanjih raziskav. Rezultati kažejo, da je bil v povprečju ocenjeni delež sestojnih padavin v količini padavin na prostem v analiziranem obdobju od 2008 do 2013 največji v obrežnem rdečeborovju (96,1 %) najmanjši pa v mešanem gozdu na Rožniku (82,0 %). V poplavnem gozdu listavcev je njihov povprečni delež znašal 92,9 %. Delež padavin, ki dosežejo gozdna tla, je bil v obrežnem rdečeborovju in v poplavnem gozdu listavcev v Gameljnah precej večji v obdobju mirovanja vegetacije, v mešanem gozdu na Rožniku pa v vegetacijskem obdobju. Sklepamo, da na sestojne padavine ne vpliva zgolj struktura sestoja in njegova vrstna sestava, ampak tudi intenziteta padavin. Obravnavani gozdovi predstavljajo kakovostni in količinski filter, saj s prestrezanjem padavin in zadrževanjem vode blažijo erozijske procese ter posledice izrednih vremenskih pojavov.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2

DC FDC 111.72:9227(497.4Ljubljana)(043.2)=163.6

CX (peri)urban forest/stand precipitation/forest structure/water resources/Ljubljana

AU KERMAVNAR, Janez

AA PIRNAT, Janez (supervisor)/VILHAR, Urša (co-supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83

PB University of Ljubljana, Biotehnical faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources

PY 2015

TI STAND PRECIPITATION IN SELECTED URBAN FORESTS IN THE CITY OF LJUBLJANA

DT M. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)

NO XIII, 102 p., 12 tab., 27 fig., 7 ann., 113 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Urban forests provide many benefits and ecosystem services respectively. Regulating the volume of water resources can be recognized as their hydrological function. In the area of City Municipality of Ljubljana, stand precipitation (the sum of throughfall and stemflow) in two selected peri-urban forests (near Gameljne) and one urban forest (Rožnik) with different tree species composition and stand structure were examined. Throughfall was monitored on the research plots in the lowland floodplain hardwood forest along the Sava river, in riparian Scots pine forest and in the mixed forest of sessile oak, sweet chestnut and Norway spruce. Gross precipitation were measured in nearby open areas – meadows. Stemflow was estimated by using relevant studies. The results show, that the average estimated proportion of stand precipitation (% of total rainfall), over the analyzed period from 2008 to 2013, was the largest in riparian Scots pine forest (96,1 %) and the lowest in mixed forest on Rožnik (82,0 %). In the floodplain deciduous forest, its average share was 92,9 %. The proportion of stand precipitation in riparian Scots pine forest and in floodplain deciduous forest in Gameljne was much higher during the dormant period, but in mixed forest on Rožnik, it was higher in growing season. In conclusion, stand precipitation is not affected only from the stand structure and its species composition, but precipitation intensity can also play an important role. These forests represent quality and quantitative filter for precipitation water. With the interception and retention of rainfall in treetops, they mitigate erosion processes and the effects of extreme weather phenomenons.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA III

KEY WORDS DOCUMENTATION IV

KAZALO VSEBINE V

KAZALO PREGLEDNIC VIII

KAZALO SLIK X

KAZALO PRILOG XIII

1 UVOD 1

1.1 SPLOŠNO 1

1.2 OSNOVNI POJMI 4

1.3 OPREDELITEV PROBLEMA IN CILJI NALOGE 8

2 PREGLED OBJAV 9

2.1 POMEN GOZDOV PRI URAVNAVANJU KOLIČINE VODNIH VIROV 9

2.2 PRESTREZANJE PADAVIN V KROŠNJAH DREVES 11

2.3 SESTOJNE PADAVINE (VSOTA PREPUŠČENIH PADAVIN IN ODTOKA PO DEBLU) 13

3 DELOVNE HIPOTEZE 17

4 METODE DELA 18

4.1 ŠTUDIJSKO OBMOČJE 18

4.1.1 Raziskovalno območje Gameljne 18

4.1.2 Raziskovalno območje Rožnik 21

4.1.3 Dendrometrijska izmera dreves na raziskovalnih ploskvah 23

4.2 DOLOČITEV VEGETACIJSKEGA OBDOBJA ZA IZBRANE SESTOJE 27

4.3 MERITVE PADAVIN 28

4.3.1 Padavine na prostem – skupna količina padavin 28
4.3.2 Prepuščene padavine 30
4.3.3 Odtok po deblu 34
4.3.4 Sestojne in prestrežene padavine 35
4.4 PRIPRAVA IN UREJANJE PODATKOVNE BAZE O IZMERJENIH PADAVINAH TER UPORABLJENE STATISTIČNE METODE PRI ANALIZI PODATKOV 35
5 REZULTATI 38
5.1 DOLOČITEV VEGETACIJSKEGA OBDOBJA ZA IZBRANE SESTOJE 38
5.2 PADAVINE NA PROSTEM 40
5.3 PREPUŠČENE PADAVINE 46
5.3.1 Raziskovalna ploskev Gameljne – listavci 46
5.3.2 Raziskovalna ploskev Gameljne – borovje 49
5.3.3 Raziskovalna ploskev Rožnik – gozd 53
5.3.4 Primerjava prepuščenih padavin med raziskovalnimi ploskvami 57
5.4 OCENJENE INTERVALNE VREDNOSTI ODTOKA PO DEBLU 57
5.4.1 Raziskovalna ploskev Gameljne – listavci 58
5.4.2 Raziskovalna ploskev Gameljne – borovje 60
5.4.3 Raziskovalna ploskev Rožnik – gozd 62
5.5 SESTOJNE IN PRESTREŽENE PADAVINE 63
5.5.1 Raziskovalna ploskev Gameljne – listavci 64
5.5.2 Raziskovalna ploskev Gameljne – borovje 66
5.5.3 Raziskovalna ploskev Rožnik – gozd 68
5.5.4 Primerjava sestojnih in prestreženih padavin med posameznimi raziskovalnimi ploskvami 69
6 RAZPRAVA IN SKLEPI 71

7 POVZETEK 83

8 VIRI 87

ZAHVALA 103

PRILOGE 104

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Izbrani podatki za posamezne raziskovalne ploskve v Gameljnah in na Rožniku 27
Preglednica 2: Intervalne vrednosti intenzitet padavin (mm/h), ki jih podaja ARSO 30
Preglednica 3: Neparametrični (Spearmanov) koeficient korelacije med količinami padavin na prostem na ploskvi Gameljne – travnik in meteorološko postajo Ljubljana – Bežigrad, v obdobju meritev od marca 2007 do decembra 2014 (skupno število meritev je 143), ter med ploskvijo Rožnik – travnik in meteorološko postajo Ljubljana – Bežigrad, v obdobju meritev od januarja 2005 do decembra 2014 (skupno število meritev je 258). Statistično značilna koeficienta (p < 0,01) sta označena z *. 43
Preglednica 4: Izmerjene količine prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – listavci in njihov delež v količini padavin na prostem (ploskev Gameljne – travnik). Vrednosti so prikazane za posamezna leta obdobja od januarja 2008 do decembra 2013, znotraj leta še glede na vegetacijsko obdobje (VD: 15. 4.–31. 10.) in obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–14. 4.) 47
Preglednica 5: Izmerjene količine prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – borovje in njihov delež v količini padavin na prostem (ploskev Gameljne – travnik). Vrednosti so prikazane za posamezna leta obdobja od januarja 2008 do decembra 2013, znotraj leta še glede na vegetacijsko obdobje (VD: 15. 4.–31. 10) in obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–14. 4.) 51
Preglednica 6: Izmerjene količine prepuščenih padavin v sestoju mešanega gozda na Rožniku (ploskev Rožnik – gozd) in njihov delež v količini padavin na prostem (ploskev Rožnik – travnik). Vrednosti so prikazane za posamezna leta obdobja od januarja 2008 do decembra 2013, znotraj leta še glede na vegetacijsko obdobje (VD: 1. 5.–31. 10.) in obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–30. 4.) 55
Preglednica 7: Uporabljene vrednosti odtoka po deblu iz literature, s pomočjo katerih smo ocenili delež odtoka vode po deblu za glavne drevesne vrste na raziskovalni ploskvi Gameljne – listavci 58
Preglednica 8: Uporabljene vrednosti odtoka po deblu iz literature, s pomočjo katerih smo ocenili delež odtoka vode po deblu za glavne drevesne vrste na raziskovalni ploskvi Gameljne – borovje 60

Preglednica 9: Uporabljene vrednosti odtoka po deblu iz literature, s pomočjo katerih smo ocenili delež odtoka vode po deblu za glavne drevesne vrste na raziskovalni ploskvi Rožnik – gozd 62
Preglednica 10: Prepuščene padavine (Tf), ocenjeni odtok po deblu (Sf), sestojne padavin (SP) in prestrežene padavine (I) na ploskvi Gameljne – listavci. Vrednosti so prikazane kot deleži (%) v količini padavin na prostem, in sicer glede na vegetacijsko obdobje (VD: 15. 4.–31. 10.), obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–14. 4.) ter po posameznih letih obdobja 2008–2013 64
Preglednica 11: Prepuščene padavine (Tf), ocenjeni odtok po deblu (Sf), sestojne padavine (SP) in prestrežene padavine (I) na ploskvi Gameljne – borovje. Vrednosti so prikazane kot deleži (%) v količini padavin na prostem, in sicer glede na vegetacijsko obdobje (VD: 15. 4.–31. 10.), obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–14. 4.) ter po posameznih letih obdobja 2008–2013 66
Preglednica 12: Prepuščene padavine (Tf), ocenjeni odtok po deblu (Sf), sestojne padavine (SP) in prestrežene padavine (I) na ploskvi Rožnik – gozd. Vrednosti so izražene kot deleži (%) v količini padavin na prostem, in sicer ločeno za vegetacijsko obdobje (VD: 1. 5.–31. 10.) in obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–14. 4.) ter po posameznih letih od 2008 do 2013 68

KAZALO SLIK

Slika 1: Nazoren prikaz oblikovanja odtoka vode po deblu na urbanem drevesu evkaliptusa; Melbourne, Avstralija (Vir: Dunkerley, 2014: 5470) 6
Slika 2: Prikaz razdelitve bruto padavin (*gross precipitation*) na posamezne padavinske komponente: prepuščene padavine (*throughfall*), odtok po deblu (*stemflow*) in prestrežene padavine v krošnji drevesa (*rainfall interception*) (povzeto po Inkiläinen, 2012: 24)..... 7
Slika 3: Lokaciji dveh raziskovalnih območij, na katerih potekajo meritve prepuščenih padavin in padavin na prostem: Gameljne – Tacen (1) in Rožnik (2) (Vir: Geopedia, 2015) 18
Slika 4: Raziskovalno območje Gameljne obsega tri raziskovalne ploskve: sestoj listavcev ("Gameljne – listavci", 1), sestoj rdečega bora ("Gameljne – borovje", 2) in odprto površino ("Gameljne – travnik", 3) (Vir: Atlas okolja, ARSO, 2015)..... 19
Slika 5: Pogled na del raziskovalne ploskve Rožnik – gozd, na kateri so spremljane prepuščene padavine (foto: Janez Kermavnar, 28. 7. 2015)..... 22
Slika 6: Deleži (% v skupnem št. osebkov) glavnih drevesnih vrst (DV) ob zadnjem inventurnem popisu dreves na ploskvi Gameljne – listavci 24
Slika 7: Deleži (% v skupnem št. osebkov) glavnih drevesnih vrst (DV) ob zadnjem inventurnem popisu dreves na ploskvi Gameljne – borovje..... 25
Slika 8: Deleži (%v skupnem št. osebkov) glavnih drevesnih vrst (DV) ob zadnjem inventurnem popisu dreves na ploskvi Rožnik – gozd..... 26
Slika 9: Meritve padavin na prostem z vzorčevalniki (liji) na ploskvi Gameljne – travnik (foto: Janez Kermavnar, 28. 7. 2015) 29
Slika 10: Vzorčevalniki za izmero prepuščenih padavin v sestoju poplavnega gozda listavcev (ploskev Gameljne – listavci) (foto: Urša Vilhar, 28. 7. 2015)..... 31
Slika 11: Shematski prikaz kombinacije sistematično-naključne postavitve vzorčevalnikov za usedline v skladu z ICP Forests manualom (Clarke in sod., 2010) na ploskvah Gameljne – listavci (desna skica) in Gameljne – borovje (leva skica) (avtorica: Urša Vilhar, 2012) (Vir: Verlič in sod., 2012) 32
Slika 12: Vzorčevalniki za spremljanje prepuščenih padavin v obrežnem rdečeborovju (ploskev Gameljne – borovje) (foto: Janez Kermavnar, 28. 7. 2015) 32

Slika 13: Linija žlebičev in liji za vzorčenje prepuščenih padavin na ploskvi Rožnik – gozd (foto: Janez Kermavnar, 28. 7. 2015) 33
Slika 14: Količina padavin (mm) v posameznih letih od 2008 do 2014 za ploskev Gameljne – travnik in od 2005 do 2014 za ploskev Rožnik – travnik ter najbližjo meteorološko postajo Ljubljana – Bežigrad 40
Slika 15: Regresijska analiza med količino padavin na prostem na raziskovalni ploskvi Gameljne – travnik in količino padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad. Stopnja odvisnosti je prikazana na osnovi 143 meritev količin padavin v obdobju od 9. 3. 2007 do 24. 12. 2014 41
Slika 16: Regresijska analiza med količino padavin na prostem na raziskovalni ploskvi Rožnik – travnik in količino padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad. Stopnja odvisnosti je prikazana na osnovi 258 meritev 14-dnevnih količin padavin v obdobju od 5. 1. 2005 do 23. 12. 2014 42
Slika 17: Frekvenčna porazdelitev urnih intenzitet padavin (mm/h) na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad v obdobju od 2005 do 2014. Relativne frekvence so prikazane ločeno za vegetacijsko obdobje (15. 4.–30. 10.) in obdobje mirovanja vegetacije (1. 11.–14. 4.) . 44
Slika 18: Povprečna (± stand. odklon) intenziteta padavin (mm/h) v posameznih mesecih obdobja 2005–2014 na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad 45
Slika 19: Linearna regresija med izmerjenimi prepuščenimi padavinami na ploskvi Gameljne – listavci in količino padavin na prostem na ploskvi Gameljne – travnik. V analizo so vzete količine posameznih vzorčenj padavin v obdobju od marca 2007 do decembra 2014 (n = 141) 46
Slika 20: Delež prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju in obdobju mirovanja vegetacije na ploskvi Gameljne – listavci po posameznih letih obdobja od 2008 do 2013 48
Slika 21: Regresijska analiza med izmerjenimi prepuščenimi padavinami na ploskvi Gameljne – borovje in količino padavin na prostem na ploskvi Gameljne – travnik. V analizo so vključene količine posameznih vzorčenj padavin v obdobju od marca 2007 do decembra 2014 (n = 141) 49
Slika 22: Delež prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju in obdobju mirovanja vegetacije na ploskvi Gameljne – borovje za posamezna leta od 2008 do 2013 52

Slika 23: Regresijska analiza prepuščenih padavin, izmerjenih z liji in žlebiči na ploskvi Rožnik – gozd. Linearna odvisnost temeljni na 149 vzorčenjih v obdobju od januarja 2007 do decembra 2014 53
Slika 24: Delež prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju in obdobju mirovanja vegetacije na ploskvi Rožnik – gozd za posamezna leta od 2008 do 2013 56
Slika 25: Deleži prepuščenih padavin (% v količini padavin na prostem) na letni ravni za posamezne raziskovalne ploskve v obdobju od 2008 do 2013 57
Slika 26: Deleži izmerjenih prepuščenih padavin (Tf), ocenjenega odtoka po deblu (Sf) in na podlagi osnovne bilančne enačbe ocenjene intercepcije (I) na raziskovalnih ploskvah Gameljne – listavci, Gameljne – borovje in Rožnik – gozd. Vrednosti so prikazane ločeno za vegetacijsko obdobje (VD), obdobje mirovanja vegetacije (DOR) ter celotno šestletno obdobje (SK) od januarja 2008 do decembra 2013 69
Slika 27: Bujna podrast in grmovnice zakrivajo vzorčevalnike prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – listavci (foto: Janez Kermavnar, 28. 7. 2015) 75

KAZALO PRILOG

Priloga A: Podatki o vzorčevalnikih za merjenje padavin na prostem in prepuščenih padavin na posameznih raziskovalnih ploskvah v Gameljnah in na Rožniku

Priloga B: Letne količine padavin na prostem na ploskvah Gameljne – travnik in Rožnik – travnik ter na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad

Priloga C: Povprečne intenzitete padavin (mm/h) v vegetacijskem obdobju in obdobju mirovanja vegetacije na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad za posamezna leta od 2005 do 2014

Priloga D: Intenziteta padavin (mm/h) na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad v letih od 2005 do 2014. Višina stolpca predstavlja relativno frekvenco urnih intenzitet padavin v posameznem razredu. Vrednosti so prikazane ločeno za vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije

Priloga E: Seznam domačih in tujih pregledanih raziskav o meritvah odtoka po deblu

Priloga F: Seznam domačih in tujih pregledanih raziskav o meritvah prepuščenih padavin

Priloga G: Povprečne količine (mm) in deleži (% v količini padavin na prostem) posameznih padavinskih komponent, glede na vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije za obravnavane sestoje peri-urbanih in urbanih gozdov v letih od 2008 do 2013

1 UVOD

1.1 SPLOŠNO

Naša dežela ni bogata z gozdovi zgolj v gozdni in gozdnati krajini, ampak najdemo relativno dobro ohranjene gozdne ekosisteme (ali njih fragmente) tudi v mestih in njihovi okolici, kjer so sestavni del urbane krajine. Povezanost je ponavadi tako tesna, da postaja urbani gozd del mestne infrastrukture (Ocena obremenjenosti ..., 2010). Termin urbani gozd označuje gozdove znotraj gosto naseljenih urbanih območij. Podobno se je za gozdove bolj na obrobju (periferiji) večjih mest uveljavil izraz peri-urbani (primestni) gozdovi.

Najbolj prepoznavni elementi peri-urbanih in urbanih gozdov kot tudi »zelene infrastrukture« (angl. *green infrastructure*; Benedict in McMahon, 2001) so sklenjeni gozdni sestoji, parki, vrtovi, prav tako posamezna ulična drevesa in njih skupine ter druge zelene površine (Sanesi in sod., 2011). Vse te pestre oblike gozdne vegetacije vplivajo na bivalno kakovost, življenjski standard in ekološko stabilnost širšega urbanega okolja (Hostnik, 2013).

Z gozdom porasle površine v urbanih predelih predstavljajo pomemben vir nelesnih (netržnih) dobrin oziroma okoljskih in socialnih funkcij. Njihova pomembnost se pogosto izpostavlja v okviru koncepta t. i. »gozdnih ekosistemskih storitev« (angl. *ecosystem services*) (Zelena knjiga o ..., 2013). Možnost dostopa do dovolj kakovostnih zelenih urbanih in peri-urbanih površin (Tzoulas in sod., 2007) je bila izpostavljena kot pomemben pokazatelj trajnostnega razvoja mesta in kakovosti življenja ter pospeševalni dejavnik pri izboljševanju družbene blaginje (angl. *human well-being*; Baró in sod., 2015) (Sanesi in sod., 2011).

Pozitivni učinki urbanih gozdov na večino sestavin urbanega okolja (podnebje, kakovost zraka, biotska pestrost, ...) in zdravje mestnih prebivalcev so danes nesporno priznani ter potrjeni preko rezultatov številnih empiričnih raziskav. Kljub temu je hidrologija urbanih gozdov slabše proučevana (na primer Fletcher in sod., 2014). Naraščujoči pomen ekoloških

funkcij, predvsem z vidika ohranjanja čiste pitne vode in vloge takšnih gozdov kot zadrževalnikov padavin, zahteva boljše razumevanje hidroloških zakonitosti urbanih gozdov.

Urbano gozdarstvo obravnava urbane gozdove kot ekosisteme (Rowntree, 1986; cit. po Sanesi, 2011), ki so znotraj urbanega okolja. Na drugi strani se gozdna hidrologija ukvarja s hidrološkimi procesi in kroženjem vode v krošnjah dreves in na oziroma v gozdnih tleh (Šraj in sod., 2008a).

V primerjavi z naravnimi gozdovi (gozdovi v neurbanih okoljih) imajo urbani in peri-urbani gozdovi v slovenski prestolnici, kot tudi v drugih urbanih središčih, izražene nekatere specifične značilnosti oziroma posebnosti (Vilhar in Simončič, 2012):

- lesnoproizvodna funkcija urbanih gozdov je postranskega pomena, poudarjene so številne socialne in ekološke vloge gozdov in uporaba eksternalij;
- krčitve gozdnih površin so zaradi gradnje infrastrukture, pritiskov urbanizacije in kmetijstva (vse)pogostejše, posledično so urbani gozdovi prostorsko razpršeni;
- višja stopnja onesnaženja zraka, tal ter površinske in podzemne vode;
- drugačna drevesna sestava (manjša biodiverziteta, več invazivnih rastlinskih vrst);
- spremenjena horizontalna in vertikalna struktura gozdnih sestojev (kot posledica preteklega načina gospodarjenja).

V svetovnem merilu imajo obsežne gozdne površine pomembno vlogo pri kroženju vode na planetu Zemlja. Drevesa in druga gozdna vegetacija preko procesa evapotranspiracije (Šraj in sod., 2008a), počasi in enakomerno črpajo vodo iz podzemnih zbiralnikov vode. Gozdnato vodozbirno območje med letom prispeva k ugodnejši porazdelitvi odtekajočih voda. Ob visokih vodah so odtoki manjši, v sušnem obdobju pa gozd prispeva k počasnejšemu in enakomernejšemu odtekanju padavinske vode. V splošnem lahko z gozdom porasla površina vpije do štirikrat več vode kot travnik in osemnajstkrat več kot gola, neporasla tla (Vilhar in sod., 2008). Infiltrirana voda v tleh je zaloga podtalnice (Göbel in sod., 2004), ki bogati tudi vodotoke. Zaradi tako izrazite zadrževalne sposobnosti imajo gozdovi precejšen vpliv na količinsko in kakovostno stanje voda daleč okoli (Tome, 2009).

Betonske in asfaltne strukture v mestih zagotovo učinkujejo na hidrološki cikel oziroma zakonitosti kroženja vode širšega območja, še posebej s povečanim površinskim odtokom in onesnaževanjem vode z odplakami iz nepropustnih površin. Kot protiutež Tyrväinen s sod. (2005) izpostavlja naslednje pozitivne vplive dreves in njihove koristi za uravnavanje odtoka:

- prestrezanje padavinske vode, ki je nato shranjena ali izhlapi z drevesne krošnje,
- povišana stopnja infiltracije v tleh ter večja skladiščna kapaciteta tal za vodo,
- blagodejni učinek na višek odtokov v času intenzivnih padavin,
- zmanjšan učinek dežnih kapljic ter posledično manj erozijskega delovanja; sproščanje sedimentov zaradi delovanja erozije je kar 80-odstotni povzročitelj poslabšanja kakovosti pitne vode (Medved in sod., 2011).

Hidrološki procesi mestnih področij so precej zapleteni, saj je urbano okolje zelo heterogeno glede rabe tal in talnih razmer. Nagel urbani razvoj vpliva na klimatske razmere in lahko spremeni zakonitosti hidroloških procesov na širšem območju (Asadian in Weiler, 2009). Za količino površinskega odtoka je ocenjeno, da znaša njegov povprečni delež na urbanih lokacijah z veliko nepropustnih površin kar 60–70 % letne količine padavin. V nasprotju je v urbanih predelih, poraslimi z vegetacijo in dovolj propustnimi tlemi, ta delež bistveno nižji – med 10 in 20 % (MCPA 2000; cit. po Sanesi in sod., 2011).

Drevesa delujejo kot spužve, ki zadržujejo vodo in s tem vzdržujejo oziroma zvišujejo nivo podtalnice. Hkrati upočasnijo površinski odtok in v primeru presežkov povzročijo njegov časovni zamik. Dolgoročno učinkujejo kot naravni prečiščevalec onesnažene vode (Göbel in sod, 2004). Mestni gozd z 10.000 drevesi lahko zadrži skoraj 38 milijonov litrov deževnice na leto. Več dreves v urbanem okolju pomeni nižje stroške odvodnje (angl. *stormwater management;* Jaffe in sod., 2010) (Trees for People, 2014).
Prav tako je za kakovost površinskih voda ključnega pomena ohranjanje obrečnih gozdnih ekosistemov (Tyrväinen in sod., 2005). Iz teh spoznanj izhaja splošna potreba po vzpostavitvi dovolj obsežne mreže zelene infrastrukture ter ustreznemu gospodarjenju s (peri)urbanimi gozdovi.

Prek procesa prestrezanja padavin v krošnjah, so drevesa sposobna občutno zmanjšati količino potencialnega površinskega odtoka (Inkiläinen, 2012). Gozd namreč s svojimi gostimi krošnjami prestreže velik delež padavin (Vilhar in sod., 2008). Del jih izhlapi, del odkaplja z listov in vej, del pa jih steče po deblu do gozdnih tal (Vilhar in sod., 2010). Posamezen delež je odvisen od vrste in intenzivnosti padavin kot tudi od zgradbe gozda, mešanosti drevesnih vrst, oblike drevesnih krošenj in njihove prostorske razporeditve. Tudi gozdna tla z globokimi koreninskimi sistemi ter pritalna vegetacija zadržijo pomemben delež padavinske vode (5–20 %), saj listni opad, ostanki lesa in humus sestavljajo nekakšno vpojno plast za padavine, ki bi sicer izhlapele ali odtekle v tla (Larcher, 1995; cit. po Vilhar in Fajon, 2007). Zaradi teh zadrževalnih sposobnosti in zmanjševanja hitrosti površinskega odtoka se zmanjša tudi erozija tal (Vilhar in sod., 2012).

1.2 OSNOVNI POJMI

Padavine na prostem ali nad krošnjami dreves pomenijo bruto količino padavin (angl. *gross precipitation*, P). Za količino padavin na prostem se predpostavlja, da je enaka količini padavin, ki doseže vrhove krošenj, zato se merilne naprave v obliki lijakastih zbiralnikov postavijo na odprto travnato površino, stran od morebitnih ovir, ali na dovolj visoka stojala (stolpe) nad krošnje dreves (Šraj in sod., 2008b).

Sestojne (neto) padavine (angl. *stand preciptation*, SP) predstavljajo vsoto prepuščenih padavin (angl. *throughfall*, Tf) v gozdu, ki so padle v vrzelih in v obliki kapljic odtekle s krošenj (Levia in sod., 2011) ter odtoka po deblu (angl. *stemflow*, Sf). Neto padavine so torej tista količina padavinske vode, ki dejansko doseže gozdna tla (angl. *effective rainfall*; Asadian, 2010) in so na voljo vegetaciji. Količine obeh komponent sestojnih padavin so v prostoru in času zelo spremenljive (Levia in sod., 2011). Če ta količina preseže infiltracijsko zmogljivost tal, višek odteče kot površinski odtok. Organski del gozdnih tal ima veliko infiltracijsko kapaciteto, zato je v večini gozdov ta vrsta odtoka redka (Šraj in sod., 2008a).

V listantih gozdovih zmernega pasu dosegajo sestojne padavine od 70 do 90 % skupne količine padavin (Price in Carlyle-Moses, 2003). Mednje spadajo tudi bukovi gozdovi

srednje Evrope, za katere se navaja nekoliko višji delež sestojnih padavin na letni ravni (73–95 %). V naših podnebnih razmerah večina padavin pade v obliki dežja in snega; njih pomembna lastnost je prostorska in časovna neenakomerna razporejenost, tudi na majhnih razdaljah. Na prostorsko razporeditev padavin v največji meri vplivajo orografski dejavniki v mezo-merilu in topografski dejavniki v lokalnem merilu (Vilhar, 2010).

Prepuščene padavine je možno razdeliti na dva dela, in sicer: proste prepuščene padavine (dežne kaplje ne zadanejo ob krošnje dreves in padejo skozi odprtine krošenj neposredno na tla) ter padavinska voda, ki kasneje, ko je zapolnjena skladiščna zmogljivost krošnje (Šraj in sod., 2008a), doseže tla kot posledica kapljanja vodnih kapljic z mokrih vej, poganjkov in listov (Williams, 2004).

Prepuščene padavine zagotavljajo večino prispelih padavin na gozdna tla: arhitektura krošnje, njena velikost in oblika, pomembno vpliva na količino in prostorsko razporeditev prepuščenih padavin. V nekaterih primerih je mogoče, da se zaradi specifične strukture (vejni kot) nadstojnih dreves prepuščene padavine koncentrirajo na določenih mestih sestoja (angl. »*drip points*«; Šraj in sod., 2008a), kar lahko rezultira v višjih vrednosti prepuščenih padavin od padavin na prostem (Asadian, 2010).

Odtok po deblu je, za razliko od prepuščenih padavin, prostorsko omejen dovod vode (in v njej raztopljenih snovi) ob dnu drevesnega debla (Carlyl-Moses in Price, 2006). Na skupno količino (produkcijo) odtoka po deblu najbolj vplivajo drevesna sestava (iglavci, listavci), struktura in velikost drevesnih krošenj ter njihova skladiščna kapaciteta (angl. *canopy storage capacity*; Crockford in Richardson, 2000). Pomembena dejavnika sta tudi hrapavost (tekstura) drevesne skorje in značilnosti padavinskih dogodkov (zlasti hitrost in smer vetra) (Lah, 2007; Vilhar, 2010; Levia in sod., 2014; Dalsgaard, 2007).

Zaradi majhnega deleža v večini gozdov je pomen odtoka po deblu v vodni bilanci gozda pogosto podcenjen. Vendar ima kot točkovni vnos vode in hranil ter celo cvetnega prahu (na primer Keating, 1982) ob rastlinskem deblu vpliv na odtok, erozijo tal, podtalnico, prostorsko porazdelitev vode v tleh, kemizem talne raztopine ter razporeditev pritalne vegetacije in epifitov (Levia in Frost, 2003).

Na splošno je ugotovljeno, da imajo listavci večji odtok po deblu kot iglavci (Šraj in sod., 2008a). V večini gozdov znaša njegov delež pod 5 %. V listnatih gozdovih zmernega pasu pomeni od 5 do 10 % letne količine padavin (Vilhar in sod., 2012), pri določenih gozdnih sestojih pa lahko ta odstotek precej naraste – na primer v bukovem gozdu tudi do 20 %. V sestojih iglavcev (rdeči bor, evropski macesen, navadna smreka) so vrednosti bistveno nižje, največ 2 % od skupne količin padavin (Šraj in sod., 2008a).

Slika 1: Nazoren prikaz oblikovanja odtoka vode po deblu na urbanem drevesu evkaliptusa; Melbourne, Avstralija (Vir: Dunkerley, 2014: 5470)

Razliko med padavinami na prostem in sestojnimi padavinami predstavljajo prestrežene padavine (Šraj, 2009) oziroma intercepcija (angl. *interception*, I), to je v krošnjah izhlapela ali absorbirana voda. Intercepcija znaša v gozdovih iglavcev od 15 do 50 %, v listnatih gozdovih od 10 do 20 % (Rutter, 1975; cit. po Vilhar, 2010) ter v bukovih gozdovih od 5 do 48 % skupne količine letnih padavin (Peck, 2004; cit. po Vilhar in sod., 2012). Količina prestrežene padavinske vode v krošnjah je močno odvisna od zgradbe gozda (drevesna sestava, dimenzije, gostota), strukture krošenj in meteroloških dejavnikov (Asadian in Weiler, 2009).

Vrednosti vseh naštetih padavinskih komponent največkrat izražamo v milimetrih (mm), kar ustreza litrom na m^2. Tako lahko zapišemo osnovno bilančno enačbo padavin v obliki (Crockford in Richardson, 2000; Roberts, 2009):

$$P = Tf + Sf + I$$
$$(SP = Tf + Sf)$$

kjer so:

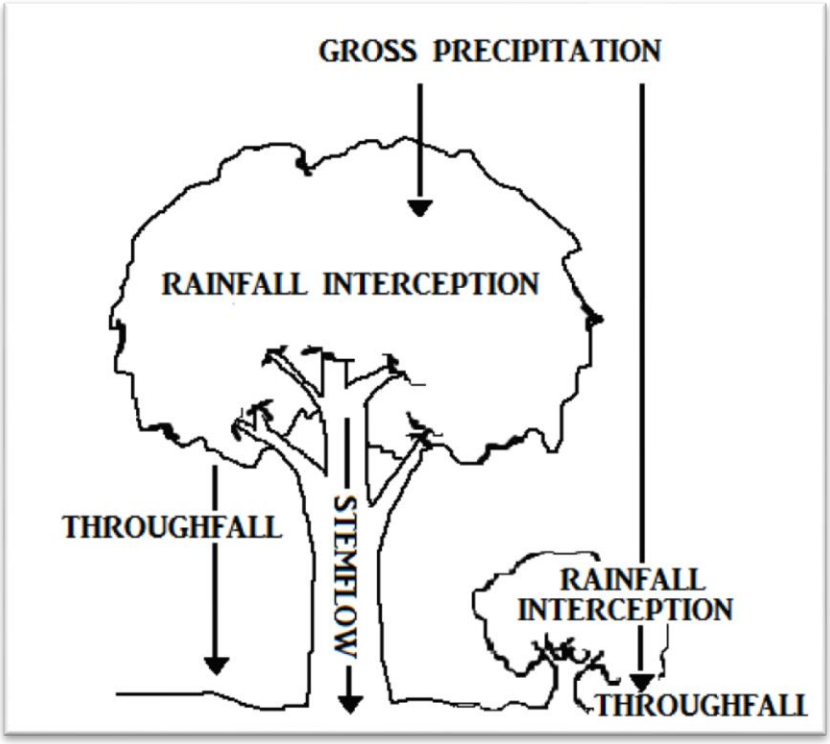
P ... padavine na prostem,

Tf ... prepuščene padavine,

Sf ... odtok po deblu,

I ... prestrežene padavine (intercepcija),

SP ... sestojne padavine.



Slika 2: Prikaz razdelitve bruto padavin (*gross precipitation*) na posamezne padavinske komponente: prepuščene padavine (*throughfall*), odtok po deblu (*stemflow*) in prestrežene padavine v krošnji drevesa (*rainfall interception*) (povzeto po Inkiläinen, 2012: 24)

1.3 OPREDELITEV PROBLEMA IN CILJI NALOGE

Na območju Mestne občine Ljubljana (MOL) je 11.651 ha gozdov, ki prekrivajo približno 41 % občinske površine. Večino vodnih virov za mesto Ljubljana zagotavlja podtalnica iz dveh večjih vodnih rezervoarjev oziroma vodonosnih sistemov: Ljubljansko polje in Ljubljansko Barje. Nivo podtalnice je odvisen zlasti od dveh glavnih virov njenega napajanja – lokalnih padavin in infiltrirane vode iz reke Save. Hidrogeološke raziskave o razpoložljivosti obnovljivega vodnega bogastva poročajo o 102 aktivno uporabljenih in potencialnih vodnih virih v Ljubljani. Od teh jih je kar 36 lociranih v gozdovih, 61 na robu gozda ter samo 5 izven gozdnih površin (Vilhar in Simončič, 2012). Ta podatek priča o nenadomestljivem pomenu (urbanih) gozdov na območju MOL za oskrbo s pitno vodo.

Količina, oblika in časovna razporeditev padavin so izrednega pomena za gozdne ekosisteme, saj pomembno vplivajo na preskrbo z vodo, kroženje hranil in dinamiko ogljika v ekosistemu (Vilhar, 2010). Hkrati so urbani gozdovi pomembni z vidika ohranjanja kakovosti ter uravnavanja količine vodnih virov v urbaniziranih območjih, saj povečujejo prestrezanje padavin in infiltracijo vode v tleh. Zaradi vsepogostejših ekstremnih vremenskih dogodkov (razlivanje vodotokov, poplave ob obilnem deževju), ki prizadenejo tudi urbana središča in so v precejšnji meri posledica okoljskih (predvsem podnebnih) sprememb, podrobnejše poznavanje razporeditve sestojnih padavin v urbanih gozdnih ekosistemih pridobiva na pomenu.

Zanimalo nas je, ali se sestojne padavine v izbranih urbanih gozdovih Ljubljane (razlike v drevesni sestavi in strukturi sestojev) bistveno razlikujejo. V ta namen so cilji naloge naslednji:

- obdelava in ovrednotenje merjenih prepuščenih padavin in padavin na prostem na izbranih raziskovalnih ploskvah urbanih in peri-urbanih gozdov;
- ugotoviti, kako drevesna sestava gozda vpliva na sestojne padavine in rezultate primerjati s podobnimi študijami;
- povezati področje urbanega gozdarstva s področjem gozdne hidrologije.

2 PREGLED OBJAV

2.1 POMEN GOZDOV PRI URAVNAVANJU KOLIČINE VODNIH VIROV

Zupančič (2013) izpostavlja pomen spremembe rabe tal ter vlogo vegetacije v urbanem okolju Ljubljane pri prestrezanju padavin in uravnavanju površinskega odtoka. Na konkretnem primeru so dokazali pozitiven vpliv zasaditve dreves na odtoke z izbranega parkirišča (Dolgi most), saj ta ukrep poveča propustnost površin za padavinsko vodo ter na ta način zmanjša površinski odtok in stroške vzdrževanja.

Whitford in sod. (2001) so za 11 stanovanjskih četrtih angleškega severozahoda (Merseyside) ocenjevali pomembnost vegetacije pri redukciji površinskega odtoka. Rezultati so pokazali jasen, obratno-sorazmeren odnos med prisotnostjo zelenih površin ter odtokom padavinske vode. Različne oblike gozdne vegetacije, zlasti pa vitalni sestoji urbanih gozdov, igrajo vidno vlogo pri zaščiti mnogih vodnih teles ter pri upravljanju preskrbe s čisto pitno vodo.

Zorn in Mikoš (2010) ocenjujeta varovalno vlogo gozdov preko meritev površinske erozije na treh različnih rabah tal (gola tla v nasadu oljk; travnik v zaraščanju; drogovnjak cera, puhastega hrasta, črnega bora, belega gabra in robinije) v Slovenski Istri. Rezultati kažejo na bistveno manjše spiranje in odplavljanje tal na naravnih tleh v primerjavi z intenzivno kmetijsko rabo.

Benedict in McMahon (2001) v svoji monografiji zagovarjata okoljevarstveno stališče, saj zeleno infrastrukturo (»podporni sistem za (so)naravno življenje mestnih prebivalcev«) vidita kot sodobni koncept, ki zagotavlja strateški pristop k ohranjanju zemljišč v urbanem okolju Severne Amerike. V modernih skupnostih se povečuje potreba po nadgradnji grajene (sive) infrastrukture (ceste, kanalizacija), še bolj pomembno pa je razviti in razširiti omrežje odprtih površin, gozdov, habitatov prostoživečih živali, parkov ter ostalih okolju prijaznih površin, ki ohranjajo čist zrak, vodo in druge naravne vire ter bogatijo kakovost tamkajšnjega življenja. Ohranjanje okolja se pogostokrat enači z nepotrebnim dejavnikom zaviranja družbenega razvoja. Za uspešno premostitev takšnih nasprotovanj omenjata

dvoje: transparentno načrtovanje zelene infrastrukture in sprotno osveščanje različnih javnosti o njenih raznovrstnih koristih.

Pomen obrečnih gozdov v urbanih predelih subtropskega mesta Brisbane (Avstralija) so osvetlili Newham in sod. (2011). Ti ekosistemi namreč zagotavljajo številne funkcije za vzdrževanje vodnih tokov v zdravem stanju ter za ohranjanje ugodnih habitatnih razmer. V sodobnem svetu se vodotoki urbanih področij srečujejo s čedalje očitnejšimi vplivi degradacije, ki jo v večini povzročajo človekove okolju neprimerne dejavnosti. Vnosi hranil in onesnažil so povečani, hidrološki krogi vodnih tokov pa močno spremenjeni. Ekološka vloga ohranjene ali po degradaciji uspešno obnovljene (posajene) obvodne drevnine (Planinšek in sod., 2013), kot ločitvenega oziroma tamponskega območja, je v tako občutljivih predelih neprecenljiva.

Capon in sod. (2013) opisujejo obrečne ekosisteme kot »vroče točke« 21. stoletja v luči (prepotrebnih) prilagoditev na podnebne spremembe v prihodnosti. V to kategorijo lahko uvrstimo tudi nižinske poplavne gozdove oziroma loge, ki opravljajo, z vidika hidrologije, prenekatere funkcije (Moore in sod., 2005).

Naraščujoči trend urbanizacije (na primer Tzoulas in sod., 2007) pomembno vpliva na količino in kakovost vodnih virov. Kot posledica naglega razvoja urbanih območij v Indianapolis-u (ZDA) med leti 1973 in 1991, se je površinski odtok povečal za 80 % na letni ravni, za polovico se je zvišala tudi vsebnost nevarnih kovin (baker, svinec, cink) v lokalnih vodotokih. Zelena infrastruktura ima sposobnost izboljšanja kakovosti vode, saj deluje kot »rastlinska čistilna naprava« – prečisti in odstrani znaten delež onesnažil, preden ta vstopijo v vodna telesa urbanega okolja (Dapolito Dunn, 2010).

2.2 PRESTREZANJE PADAVIN V KROŠNJAH DREVES

Na primeru različno starih jelovih sestojev (mlajši, srednjedobni, starejši) na jugozahodu Kitajske, so Sun in sod. (2013) ugotovili značilne razlike v količini prestreženih padavin, kar so povezovali z razlikam med sestoji v indeksu listne površine. Intercepcijska kapaciteta gozda je močno odvisna od njegove strukture – drevesne sestave, dimenzij in podrasti (Keim in sod., 2005; cit. po Asadian, 2010).

Proces prestrezanja padavin velja za enega od ključnih dejavnikov, ki vplivajo na vlažnostne razmere v tleh in na površinski odtok, saj se znaten delež (20–40 %) padavinske vode vrne v ozračje z izhlapevanjem. To je še posebej pomembno v aridnih in pol-aridnih območjih z majhno količino dežja. Eno takšnih področij predstavlja južni del Španije, kjer so Perez in sod. (2013) na s pinijo (*Pinus pinea* L.) poraslem vodozbirnem območju poskušali določiti razporeditev padavin v krošnjah dreves in grmišč ter doumeti, kako vpliva trajanje in intenziteta padavin na njihovo intercepcijo. V podatke so zajeli meritve iz 102 opazovanih padavinskih dogodkov. 31,4 % padavin je bilo prestreženih, 68,3 % pa prepuščenih. Odtok po deblu je bil zanemarljivo majhen (0,3 %). Stopnja intercepcije je dosegla najvišje vrednosti v času manj intenzivnih padavin, medtem ko je bil pri kratkih nalivih njen delež nižji.

Prestrezanje padavin v krošnjah urbanih dreves na javnih površinah prinaša številne koristi, katerih ekonomsko vrednost sta ocenila Xiao in McPherson (2002). V raziskavo sta vključila obsežno bazo podatkov občinskega urbanega gozda v Santa Monici (Kalifornija), ki ga skupno sestavlja 29.299 uličnih in parkovnih dreves (vednozeleni listavci, listopadni listavci, iglavci in palme). S pomočjo simulacije procesov prestrezanja padavin so ugotovili, da je skupna količina prestreženih padavin vseh dreves znašala 193.168 m^3 (6,6 m^3/drevo) oziroma 1,6 % letne količine padavin. Prestrezanje padavin, z zmanjševanjem površinskega odtoka, pomembno zniža stroške upravljanja z urbanimi vodnimi tokovi (protipoplavni nadzor, urejanje onesnaževanja vodnih virov, ...) (Jaffe, 2010). Monetarno izraženo korist kakovosti vode so ocenili preko operativnih stroškov prečiščevanja sanitarne odpadne vode in stroškov kontrole plimovanja in lokalnih poplav. Tako za

obravnavano območje urbano drevje na letni ravni v občinskem proračunu prihrani 110.890 ameriških dolarjev (3,6 $/drevo).

Asadian in Weiler (2009) predstavljata inovativen način merjenja intercepcije urbanih dreves v Vancouvru (Britanska Kolumbija). Prepuščene padavine so bile izmerjene pod krošnjo posameznega drevesa s pomočjo PVC cevi (v obliki žlebov), ki so bile pritrjene na spodnje veje drevesne krošnje. Rezultati so pokazali, da so vrednosti prestreženih padavin urbanih dreves enkrat višje kot pri drevesih v gozdnih sestojih. Vzroke za to pripisujejo predvsem višjim temperaturam v mestnih središčih in efektu izolacije drevesnih krošenj, saj urbana drevesa povečini rastejo na samem ter imajo večjo prestrezno in skladiščno kapaciteto. Za prepuščene padavine so dokazali časovni zamik, do katerega pride med »prodiranjem« dežnih kapelj skozi krošnje. Potrdili so tudi splošno spoznanje, da drevesa korenito zmanjšajo intenzivnost padavin, kar ima predvsem dva pomena. Zaradi začasnega shranjevanja padavinske vode na drevesih, le-ta z zamudo doseže tla. Hkrati se s tem zaščiti mineralni del tal, saj dežne kaplje ne udarijo ob tla s polno silo.

Asadian (2010) je v svoji 21 mesecev trajajoči študiji izpostavil nekatera pomembna spoznanja o vlogi urbanih dreves z vidika zmanjševanja intenzivnosti padavin, površinskega odtoka vode ter posledično tudi erozije tal v času neviht. Rezultati meritev prepuščenih padavin in padavin na prostem za 54 izbranih urbanih dreves na območju Vancouvra (Britanska Kolumbija) v letih 2007 in 2008 so pokazali, da znaša povprečni delež prepuščenih padavin za iglavce 35,5 % (poleti) oziroma 46,6 % (pozimi) ter za listavce nekoliko večji delež: 57,6 % poleti in 74,9 % pozimi. Kot učinkovit dejavnik zagotavljanja časovnega zamika prepuščenih padavin, predstavlja urbano drevje uporabno »orodje« upravljanja oziroma uravnavanja površinskega odtoka vode.

2.3 SESTOJNE PADAVINE (VSOTA PREPUŠČENIH PADAVIN IN ODTOKA PO DEBLU)

Meritvam prepuščenih in prestreženih padavin je bila do sedaj v hidroloških raziskavah posvečena bistveno večja pozornost kot meritvam odtoka po deblu (McKee, 2010).

Pri nas so meritve odtoka po deblu večinoma potekale le na drevesnih vrstah z gladko skorjo, predvsem bukvi (na primer Vilhar, 2006). Še manj je obravnav urbanih gozdov oziroma drevja v mestnem okolju (Šraj in sod., 2008a; Schooling, 2014). V tujini se je v zadnjem času nabor metodoloških pristopov in naprav za merjenje odtoka pod deblu vendarle precej razširil, tako da so sedaj že na voljo primerni vzorčevalniki za meritve na drevesnih vrstah z bolj grobo skorjo (ali odraslih drevesih vrst, ki imajo sicer v mladosti gladko lubje). Številni raziskovalci vodnega kroga gozdov omenjajo, da je pri drevesnih vrstah z vodoravno rastočimi vejami in grobim lubjem, merjenje odtoka po deblu nepotrebno, če ne kar nesmiselno (Syke, 2013). V mnogih študijah, ki obravnavajo iglavce, odtok po deblu enostavno zanemarijo (Zabret, 2013).

Šraj in sod. (2008a) so za urbani predel mesta Ljubljane prikazali meritve, primerjavo in analizo prestreženih padavin iglastih (rdeči bor – *Pinus sylvestris*) in listnatih (navadna breza – *Betula pendula*) dreves. Z meritvami prepuščenih padavin in odtoka po deblu v obdobju od junija 2004 do decembra 2006 so ugotovili, da breze prepustijo 57–70 %, bori pa 36–49 % padavin. Odtok po deblu je pri brezi znašal 1,1–6,7 % padlih padavin, pri boru pa je bil praktično zanemarljiv. Na osnovi opazovanj posameznih padavinskih dogodkov so rezultati pokazali, da je bila v obdobju meritev največja povprečna intenziteta padavin v poletnem času, kar je posledica poletnih neviht.

Na povodju reke Dragonje (JZ Slovenija) so Šraj in sod. (2008b) v dveh listopadnih sestojih, ki se ključno razlikujeta v ekspoziciji pobočja (južna, severna), opravili meritve prepuščenih padavin in odtoka po deblu za obdobje od oktobra 2000 do septembra 2001. Glavne drevesne vrste na raziskovalnih ploskvah so bili toploljubni listavci (puhasti hrast, kraški gaber, mali jesen, brek). Na južnem pobočju je bil delež prepuščenih padavin 67,1 %, odtoka po deblu pa 4,5 %. Na severnem pobočju so prepuščene padavine, v primerjavi s

prvo raziskovalno ploskvijo, dosegle nekoliko višjo vrednost (71,5 %), odtok po deblu pa nižjo (2,9 %). Sestojne padavine so torej v obeh sestojih pomenile približno 75 % količine padavin na prostem. V raziskavi so dokazali tudi značilen (negativen) vpliv jugovzhodnih vetrov na količino prepuščenih padavin, saj so bile izgube zaradi intercepcije oziroma izhlapele prestrežene padavine (angl. *rainfall interception loss*; Roberts, 2009) v času pihanja omenjenih vetrov znatno večje.

Vilharjeva (2006) je v svoji doktorski disertaciji podrobno preučila značilnosti vodnega cikla v dinarskem jelovo-bukovem pragozdu ter v gospodarskem sonaravnem gozdu na Kočevskem. V vegetacijskem obdobju 2003 je delež prepuščenih padavin (v količini padavin na prostem) v pragozdu znašal 78,4 %, v vegetacijskem obdobju 2004 pa 86,8 %. Za gospodarski gozd sta bila deleža podobna: 74,3 % (2003) in 86,1 % (2004). Odtok po deblu je bil spremljan na šestih bukvah različnih premerov. Za vegetacijsko obdobje 2003 je bil izmerjen delež odtoka po deblu nekoliko večji (8,0 %) kot v vegetacijskem obdobju 2004 (6,2 %). Izmerjena intenziteta prepuščenih padavin je bila največja v poletnem času (julij, avgust).

Scatena (1990; cit. po Johnson in Lehmann, 2006) poroča, da je v mešanem gozdu kar polovico skupne količine odtoka po deblu prispevalo samo 12 % debel sestoja. To nakazuje na izrazito neenakomerno prostorsko razporeditev odtoka po deblu v sestoju oziroma na velike razlike med posameznimi vrstami in tudi drevesi iste vrste.

Produkcija odtoka po deblu se ponavadi razlikuje med drevesi iste drevesne vrste (na primer Návar, 2011), kakor tudi med različnimi razvojnimi fazami gozdnega sestoja. S to problematiko se je ukvarjal McKee (2010). Želel je identificirati variabilnost med podnebnimi tipi, med rodovi in tudi raznolikost znotraj vrst glede produkcije odtoka po deblu. V listopadnih gozdovih zmernega podnebja je na sestojni ravni znašal povprečen delež odtoka po deblu v letni količini padavin 5,1 %. Večina izsledkov se je nanašala na sestoje hrastov in bukve. Opazna je značilna porast odtoka po deblu v času zimskega mirovanja, ko drevje ni olistano.

Gozdovi iglavcev zmerne cone in borealni gozdovi so v povprečju izkazali skoraj identičen delež odtoka po deblu (5,0 %). Velika večina študij je obravnavala drevesne vrste iz rodu *Pinus*, pri čemer je povprečen odtok po deblu v sestojih, kjer je bor dominantna vrsta, znašal 4,2 %. Za vrste iz rodu *Picea* so bile primerljive vrednosti na sestojni ravni nekoliko višje (8,8 %), za vrste iz rodu *Larix* pa nižje (2,0 %). Mešani sestoji listavcev in iglavcev so bili v dotedanji literaturi deležni najmanjše pozornosti. Povprečen delež odtoka po deblu za to vrsto gozdov je znašal 2,6 %.

Krämer in Hölscher (2010) sta za pragozd v osrednji Nemčiji na dvanajstih ploskvah, ki so se razlikovale v drevesni sestavi, ugotovila povprečne vrednosti odtoka po deblu v razponu med 2 in 6 % od celotne količine padavin. V čistih sestojih bukve je bil delež odtoka po deblu znatno večji kot v mešanih gozdovih listavcev, čeprav je bila tudi v teh sestojih bukev (poleg lipe/lipovca, velikega jesena, belega gabra in gorskega javorja) prisotna. Sklepajo, da na razmejevanje padavin (angl. *rainfall partitioning*; Crockford in Richardson, 2000) na posamezne komponente (prepuščene padavine, odtok po deblu, intercepcija) ključno vplivajo strukturne značilnosti sestoja in padavinske razmere. Nabor vplivnih dejavnikov, kakor tudi njihovih medsebojnih interakcij, je zelo obsežen in tako težko prenašamo zakonitosti iz enega sestoja na drugega, čeprav je ta lahko prvemu po lastnostih (sestojnih parametrih) precej podoben. Vsak gozd je »zgodba zase«.

Za listnati gozdni rezervat na Danskem Dalsgaard-ova (2007) poroča, da je pri navadni bukvi (*Fagus sylvatica*) in velikemu jesenu (*Fraxinus excelsior*) odtok po deblu v času vegetacijske dobe za polovico manjši kot v času mirovanja vegetacije.

Williams (2004) je v diplomskem delu proučeval prispevek odtoka po deblu k hidrološkemu krogu v nižinskem gozdu hrasta doba (v Veliki Britaniji), ki je bil umetno osnovan. Meritve s pomočjo desetih plastičnih spiralnih vzorčevalnikov so potekale od januarja do decembra 2003. S fotografiranjem krošenj tistih dreves na ploskvi, na katerih so bili nameščeni merilne naprave odtoka po deblu, so preverili, ali čas olistanja sovpada s spremembami količine odtoka po deblu. Ugotovili so pozitivno soodvisnost med količino odtoka po deblu in proučevanima vplivnima dejavnikoma: temeljnico in socialnim položajem drevesa v sestoju (nadvladajoče, vladajoče in podstojno drevo). Odtok po deblu

je v zimskih mesecih znašal nekaj nad 2 % v skupni količini padavin, poleti pa je bil skoraj ničen. Povprečen delež odtoka po deblu za celotno obdobje meritev pa je znašal 1 %, kar je v primerjavi z nekaterimi prejšnjimi izsledki iz hrastovih plantaž in naravnih hrastov gozdov nizka vrednost.

Van Stan in sod. (2014) so proučevali meteorološke vplive na odtok po deblu pri dveh listopadnih drevesnih vrstah (ameriška bukev – *Fagus grandifolia* Ehrh. in tulipanovec – *Liriodendron tulipifera* L.) na severovzhodu ZDA, katerih struktura krošnje in drevesna skorja se odločilno razlikujeta. Podrobneje jih je zanimalo, kako na količino odtoka po deblu vpliva padanje dežja pod kotom kot posledica vetra v času nevihte. Izvrednotili so pomen velikosti drevesa (premera debla), lastnosti drevesnih krošenj (vertikalna globina in olistanost) ter nekaterih značilnosti padavinskega dogodka (količina in intenzivnost padavin) za formiranje odtoka vode po deblu.

Čeprav je absolutna količina odtoka po deblu ponavadi precej majhna, pa je Vilharjeva (2010) z meritvami v sestojih dinarskega jelovo-bukovega gozda na masivu Kočevskega Roga ugotovila, da lahko mesečne količine odtoka po deblu ene bukve presežejo prostornino 950 litrov. Bukev je sicer znana kot drevesna vrsta z veliko produkcijo odtoka po deblu (Krämer in Hölscher, 2010), saj imajo tudi odrasla drevesa gladko lubje z relativno nizko skladiščno zmogljivostjo, ki omogoča hiter odziv na odtok vode (Zabret, 2013).

3 DELOVNE HIPOTEZE

V prvi hipotezi (H1), ki jo bomo preizkusili, smo zapisali naslednje:

- sestojne padavine (vsota prepuščenih padavin in odtoka po deblih) se razlikujejo v izbranih peri-urbanih in urbanih gozdovih:
  a) nižinski poplavni gozd listavcev ob reki Savi;
  b) obrežno rdečeborovje ob reki Savi v Gameljnah;
  c) mešani gozd v Krajinskem parku Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib
  kar vpliva na različen prispevek obravnavanih sestojev k uravnavanju količine vodnih virov mesta Ljubljane.

Pri drugi domnevi (H2) predpostavljamo,

- da je delež sestojnih padavin v padavinah na prostem večji v listnatem nižinskem poplavnem gozdu ob reki Savi kot v obrežnem rdečeborovju ob reki Savi ali v mešanem gozdu v Krajinskem parku Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib.

V tretji hipotezi (H3) predvidevamo,

- da so izmerjene količine padavin na prostem, ki so bile v tej študiji spremljane na dveh odprtih površinah (travnikih), enakega velikostnega reda kot izmerjene količine padavin na najbližji meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad oziroma da ni bistvene razlike v skupni količini padavin na omenjenih lokacijah.

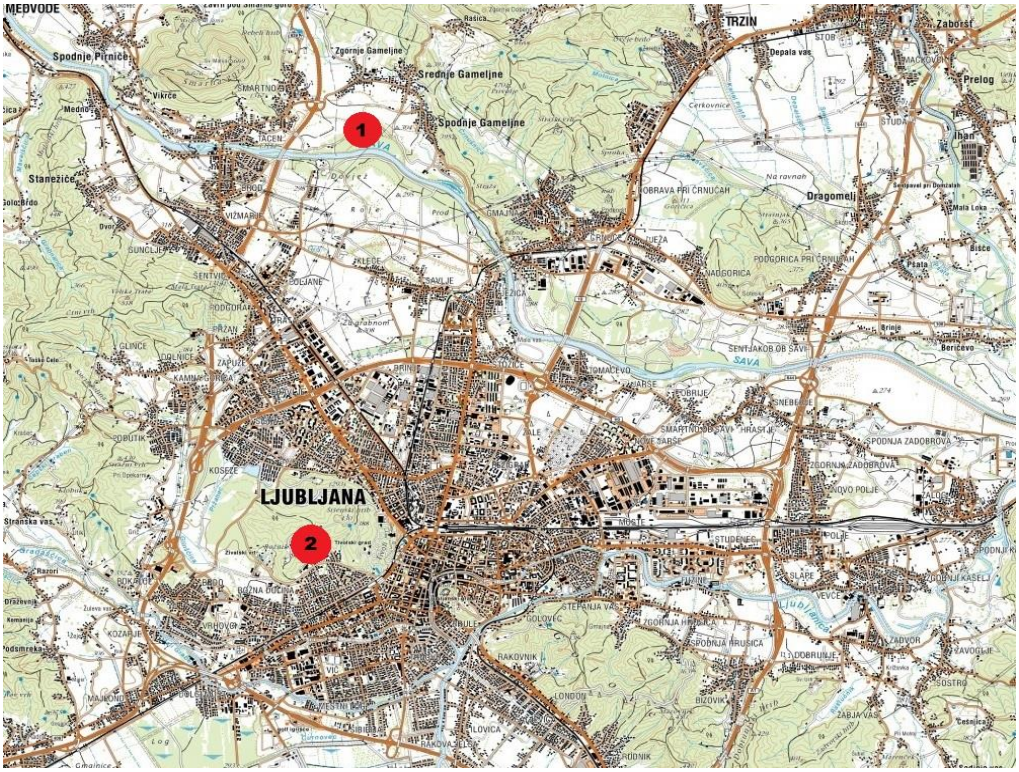
V četrti hipotezi (H4) trdimo,

- da se količine prepuščenih padavin med vegetacijskim obdobjem ter obdobjem mirovanja vegetacije, ko listavci niso olistani, v nižinskem poplavnem gozdu listavcev in mešanem gozdu značilno razlikujejo, medtem ko razlike niso statistično značilne za obrežno rdečeborovje.

4 METODE DELA

4.1 ŠTUDIJSKO OBMOČJE

V tej nalogi so bile določene raziskovalne ploskve na dveh raziskovalnih območjih v peri-urbanih in urbanih gozdovih znotraj MOL. Prvo raziskovalno območje se nahaja ob reki Savi v bližini vasi Gameljne, drugo pa na območju ljubljanskega Rožnika.

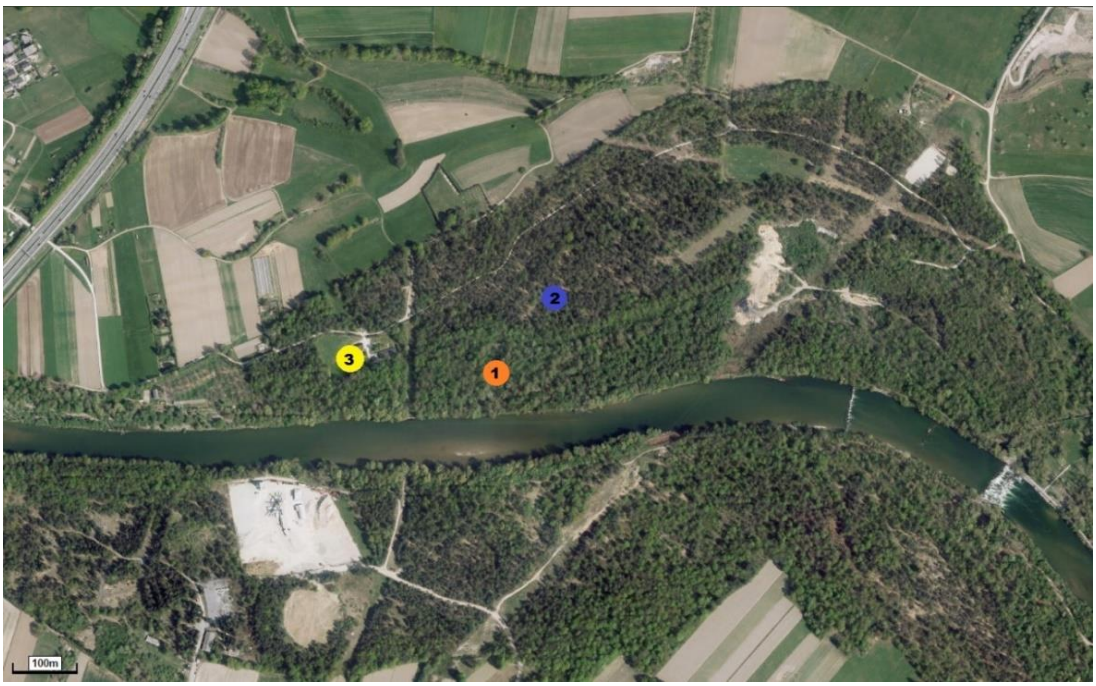


Sllika 3: Lokaciji dveh raziskovalnih območij, na katerih potekajo meritve prepuščenih padavin in padavin na prostem: Gameljne – Tacen (1) in Rožnik (2) (Vir: Geopedia, 2015)

4.1.1 Raziskovalno območje Gameljne

V primestnih nižinskih poplavnih gozdovih predalpske regije, v porečju reke Save, se je na aluvialnih terasah blizu Ljubljane razvila značilna vegetacija obrečnih gozdov. Reka Sava ima hudourniški značaj z nihajočim vodnim stanjem glede na letni čas in padavinske razmere (Vilhar in sod., 2013a).

Raziskovalne ploskve na območju peri-urbanih poplavnih gozdov ob reki Savi v kraju Gameljne in Tacen (št. 1 na sliki 3) so bile vzpostavljene v okviru projekta »Raziskave populacijsko-genetskih in rastičnih značilnosti avtohtonega črnega topola (*Populus nigra* L.) na obrežnih in poplavnih območjih ter usmeritve za njihovo ohranitev« Ciljnega raziskovalnega programa »Konkurenčnost Slovenije 2006–2013« (Božič, 2008) v letu 2007 ter dodatno opremljene z merilnimi napravami v okviru evropskega projekta »EMoNFUr – Zasnova mreže za spremljanje stanja nižinskega gozda in pogozditev v urbanem prostoru v Lombardiji in urbanega gozda v Sloveniji« v letu 2012 (Verlič in sod., 2012).



Slika 4: Raziskovalno območje Gameljne obsega tri raziskovalne ploskve: sestoj listavcev ("Gameljne – listavci", 1), sestoj rdečega bora ("Gameljne – borovje", 2) in odprto površino ("Gameljne – travnik", 3) (Vir: Atlas okolja, ARSO, 2015)

Proučevane ploskve so izbrani sestoji v nižinskih poplavnih gozdovih na levem bregu reke Save (Ljubljansko polje). Na raziskovalni ploskvi, imenovani »Gameljne – listavci« (št. 1 na sliki 4), v obrežnem logu v Spodnjih Gameljnah prevladuje gozdna združba vrbovij s topoli. Avtohtoni evropski črni topol (*Populus nigra* L.) se kot graditelj sestoja naravno pojavlja v razvojni faz debeljaka, večinoma enomerno v nadraslem oziroma soraslem

položaju. Je pomembna pionirska drevesna vrsta in pogostokrat gradi obvodne loge, ki jih občasno poplavljajo visoke vode. Njegov razvoj je vezan na tovrstne obrečne ekosisteme, še posebej pa je občutljiv na spremembe v preskrbljenosti s talno vodo. Služi kot indikator ohranjenosti obrežnih in poplavnih logov (Vilhar in sod., 2013a).

Sestoj listavcev s površino dva hektarja leži na rečni terasi, približno 2 m nad gladino reke v dnevnem visokem pretoku (Vilhar in sod., 2013a), na zmerno globokih, razvitih karbonatnih obrečnih tleh (Urbančič in Božič, 2013). Po podatkih Zavoda za gozdove Slovenije je leta 2006 za ta sestoj izračunana lesna zaloga znašala 265 m^3/ha. Sklep krošenj je rahel. Sestoj z dobro sestojno zasnovo in zadovoljivo kakovostjo drevja v preteklosti ni bil negovan in je prepuščen naravnemu razvoju. Velikost ploskve Gameljne – listavci, na kateri so bile spremljane prepuščene padavine, je v obdobju meritev od 2007 do 2012 znašala 20 × 20 m (Vilhar in sod., 2013a), od 2012 dalje pa je bila razširjena na 25 × 25 m (Verlič in sod., 2012).

V Sloveniji na splošno s sestoji poplavnih in močvirnih gozdov slabo gospodarimo, zato so večinoma nenegovani. Kljub temu je njihova varovalna vloga neprecenljiva, saj so dragocen regulator vodne bilance in tam, kjer so še ohranjeni, varujejo naselja pred poplavami (Dakskobler in sod., 2013). Zato obrečne gozdove kot habitate, v skladu z Uredbo o habitatnih tipih (2003; cit. po Vilhar in sod., 2013a), obravnavamo prednostno.

Raziskovalna ploskev, imenovana »Gameljne – borovje« (št. 2 na sliki 4), v neposredni bližini prve ploskve, leži v drugotnem gozdu rdečega bora na dvignjeni rečni terasi (300 m nadm. viš.), ki je izven neposrednega vpliva rečne vode (Verlič in sod., 2014). Obrežno rdečeborovje uspeva na plitvih prhninastih rendzinah. Prevladuje razvojna faza drogovnjaka. Sklep krošenj je vrzelast, pretrgan, zato sta grmovna in zeliščna plast precej bujni (Daksobler in sod., 2013). V pritalno plast sestoja rdečega bora se vraščajo številne vrste listavcev (Verlič in sod., 2014). Lesno zalogo sestoja so v letu 2006 ocenili na 185 m^3/ha (Božič in sod., 2008; cit. po Vilhar in sod., 2013a). Sestoj z zadovoljivo sestojno zasnovo in prav takšno kakovostjo drevja ni negovan in je prepuščen naravnemu razvoju.

Velikost ploskve Gameljne – borovje, na kateri so bile vzorčene prepuščene padavine, je v obdobju meritev od 2007 do 2012 znašala 20 × 20 m (Vilhar in sod., 2013a), od 2012 dalje pa je razširjena na 25 × 25 m (Verlič in sod., 2012).

Raziskovalna ploskev, imenovana »Gameljne – travnik« (št. 3 na sliki 4), je postavljena na odprti površini, v okviru vadbišča Kinološkega društva Šmarna gora – Tacen. Leži v neposredni bližini ploskve Gameljne – listavci ter je približno 100 m oddaljena od rečnega brega. Predstavlja referenčni objekt za padavinske razmere na prostem (Verlič in sod., 2012). Za izmerjene količine padavin na prostem domnevamo, da so enake količini padavin, ki dosežejo vrhove krošenj na bližnjih ploskvah v sestojih. Velikost ploskve Gameljne – travnik, na kateri so bile spremljane padavine na prostem, znaša 10 × 10 m (Vilhar in sod., 2013a).

4.1.2 Raziskovalno območje Rožnik

Na območju Krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib (s skupno površino 459 ha) so prisotne tri gozdne združbe, ki so vezane na značilne talne in reliefne (ekspozicija pobočij) razmere (Verlič in sod., 2012):

- mešani gozd gradna in domačega kostanja (*Querceto-Castanetum*),
- acidofilni borovi sestoji (*Pineto-Vaccinetum austroalpinum*) in
- jelševi logi (*Alnetum glutinosae*).

Vzpete dele Krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib sestavljajo slabo propustni permokarbonski skrilavci, peščenjaki in konglomerati, ki so malo odporni na mehanično preperevanje, zato so potoki ponekod vrezali strme grape. Podnebje je celinsko, z največ padavinami v poletnih in jesenskih mesecih. Povprečna letna količina padavin je okoli 1350 mm, povprečna letna temperatura znaša 9,7° C (Ocena obremenjenosti …, 2010).

Leta 1984 je bilo območje z odlokom razglašeno za Krajinski park Tivoli, Rožnik, Šišenski hrib, sedaj pa je večji del območja gozda opredeljen z Odlokom o gozdovih s posebnim namenom (Odlok o razglasitvi …, 2010). Merilo, da lahko gozd znotraj krajinskega parka

upoštevamo kot gozd s posebnim namenom, je poudarjenost njegovih funkcij (Ocena obremenjenosti …, 2010).

Rožnik obravnavamo kot urbani gozd zaradi njegove specifične lege znotraj mesta. Predstavlja bogat vir izvirov in potokov. Za širše območje so značilna globoka, ilovnata do ilovnato glinasta tla. V vrhnjih plasteh so zračna, prepustna in globoko prekoreninjena. Globlje pa so zaradi večje glinaste primesi manj rodovitna. Po kemičnih lastnostih so tla kisla, revna s hranili (Verlič in sod., 2014).

Raziskovalna ploskev, imenovana »Rožnik – gozd«, na območju urbanega gozda, ki je del Krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib (št. 2 na sliki 3), se nahaja zahodno od središča mesta Ljubljana in je od leta 2004 dalje ena od ploskev Intenzivnega spremljanja stanja gozdov v Sloveniji na Ravni II (Čater in sod., 2015). Na tej 1 ha veliki ploskvi, v mešanem gozdu gradna in domačega kostanja, so bile spremljane prepuščene padavine.
Padavine na prostem so bile spremljane na raziskovalni ploskvi, imenovani »Rožnik – travnik«, v neposredni bližini ploskve Rožnik – gozd.

Slika 5: Pogled na del raziskovalne ploskve Rožnik – gozd, na kateri so spremljane prepuščene padavine (foto: Janez Kermavnar, 28. 7. 2015)

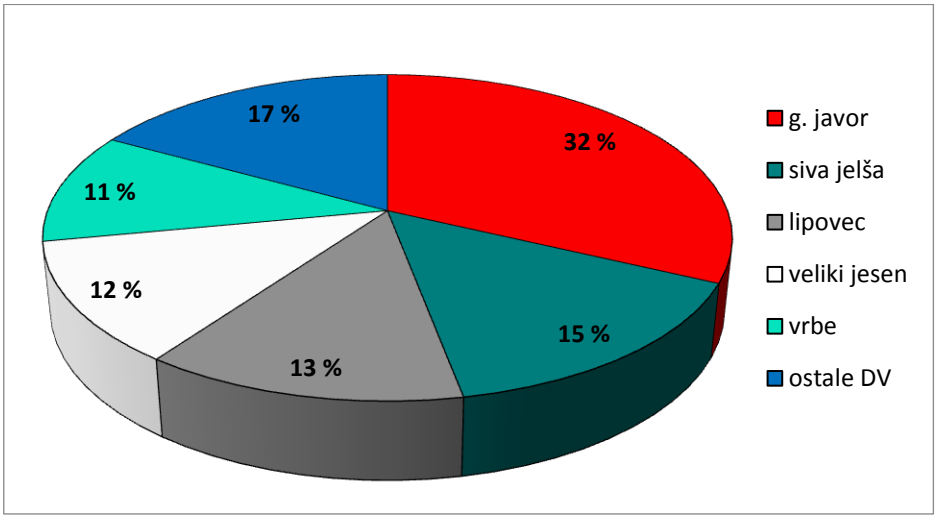
4.1.3 Dendrometrijska izmera dreves na raziskovalnih ploskvah

Zgradba gozda ključno vpliva na količino in porazdelitev sestojnih padavin. Pomembna je zlasti drevesna sestava in prostorska razporeditev drevja v sestoju. V ta namen so bile v izbranih sestojih peri-urbanih in urbanih gozdov opravljene dendrometrijske meritve dreves.

Na vseh treh raziskovalnih ploskvah (Gameljne – listavci, Gameljne – borovje, Rožnik – gozd) je snemanje drevesnih znakov potekalo po protokolu ICP Forests (Dobbertin in Neumann, 2010) oziroma v skladu z monitoringom rasti drevja na ploskvah Ravni II. Inventurne površine velikosti 50 × 50 m (0,25 ha) za izmero dreves, so prostorsko ločene od vzorčnih ploskev, na katerih so bile spremljane padavine. Pri inventuri se vsako živo drevo, ki presega meritveni prag (5 cm prsnega premera oziroma višino 1,5 m), oštevilči in določi drevesno vrsto (trimestna koda glede na šifrant; Kovač in sod., 2014), socialni položaj (1 – nadvladajoče, 2 – vladajoče, 3 – sovladajoče, 4 – potisnjeno in 5 – podstojno drevo) ter izmeri prsni obseg na 0,1 cm natančno. Višino drevesa se izmeri na dm natančno pri 20-ih najdebelejših drevesih (glede na prsni obseg), nato pa vsakemu tretjemu drevesu na inventurni ploskvi (Dobbertin in Neumann, 2010).
Periodične meritve dreves se opravlja vsakih pet let, v obdobju mirovanja vegetacije (november–marec) (Mavsar in sod., 2004).

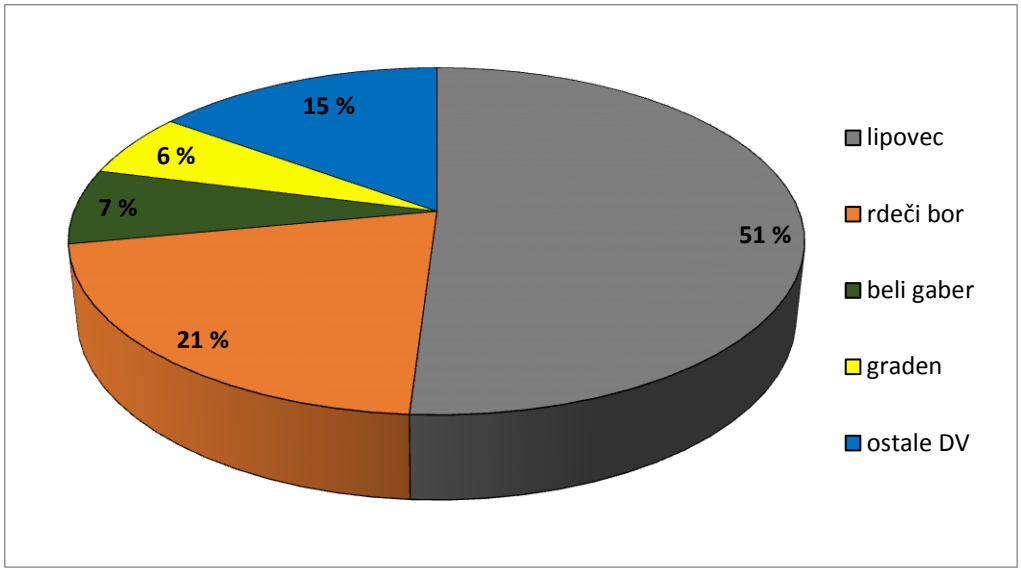
Zadnja izvedena inventura dreves v letu 2014 je na ploskvi Gameljne – listavci pokazala, da se je veliko odraslih topolovih dreves podrlo (naravno odmrtje). Poleg tega se je inventura izvajala v tistem predelu sestoja, ki je bolj oddaljen od rečnega brega Save, na katerem sprva uspevajo vrbe, nato pa črni topoli. Zato je bilo pri popisu zabeleženih zgolj 12 topolovih dreves. Skupno je bilo na inventurni ploskvi evidentiranih 171 dreves desetih različnih drevesnih vrst. Prevladujejo osebki gorskega javorja (32 %), sive jelše (15 %), lipovca (13 %), velikega jesena (12 %) in vrb (11 %). Z manjšimi deleži so zastopani še črni topol (7 %), črna jelša (5 %), gorski brest (3 %) in maklen (2 %). Najmanjši izmerjeni prsni obseg (premer) drevesa na ploskvi je 15 cm (4,8 cm), največji pa 255 cm (81,2 cm). Povprečni obseg (premer) vseh dreves na ploskvi znaša 55,3 cm (17,6 cm). Najvišje drevo

na ploskvi meri 33,4 m, najnižje 4,8 m. Povprečna višina, izmerjena na 72 drevesih, znaša 15,8 m.



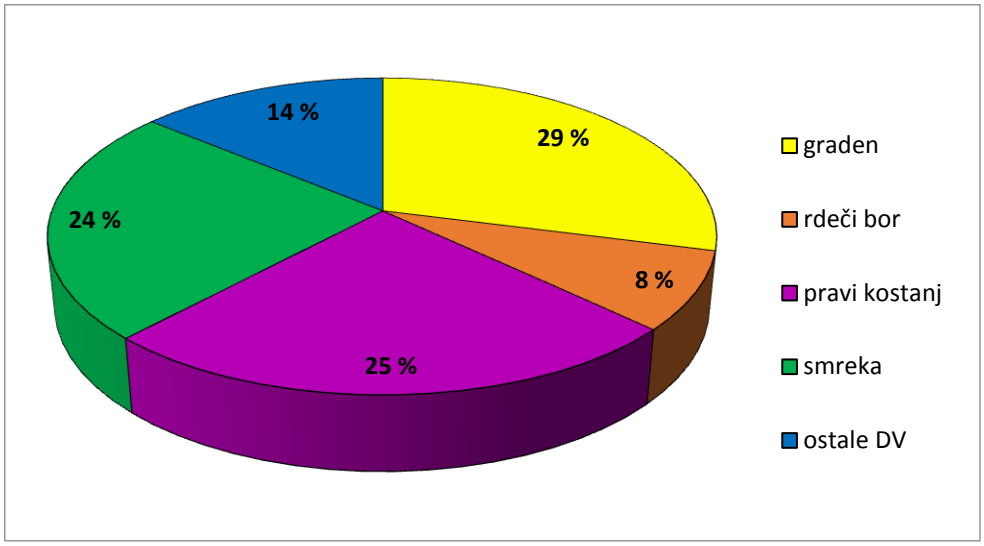
Slika 6: Deleži (% v skupnem št. osebkov) glavnih drevesnih vrst (DV) ob zadnjem inventurnem popisu dreves na ploskvi Gameljne – listavci

Na bližnji ploskvi Gameljne – borovje je bilo stanje ob snemanju 252 dreves v letu 2014 sledeče: v sestoju uspeva 14 različnih drevesnih vrst; več kot polovica dreves je lipovčevih (51 %), ki večinoma gradijo podstojno plast. Sledi rdeči bor (21 %) v strehi sestoja – prevladujeta socialna položaja 1 in 2. V tem dvoslojnem sestoju uspevajo še beli gaber (7 %), graden (6 %), vrbe (5 %), črni gaber (4 %), siva jelša (2 %), mali jesen (2 %), gorski javor in smreka (1 %). Najmanjši izmerjeni prsni obseg (premer) drevesa na ploskvi je 11 cm (3,5 cm), največji pa 130 cm (41,4 cm). Povprečni prsni obseg (premer) rdečega bora znaša 91,6 cm (29,2 cm), vseh ostalih dreves na ploskvi pa 30,3 cm (9,6 cm). Najvišje drevo na ploskvi meri 21,7 m, najnižje 2,8 m. Povprečna višina rdečega bora, izmerjena na 30 drevesih, dosega vrednost 17,3 m, pri ostalih drevesnih vrstah so višine nižje – v povprečju 8,4 m (merjeno na 50 drevesih).



Slika 7: Deleži (% v skupnem št. osebkov) glavnih drevesnih vrst (DV) ob zadnjem inventurnem popisu dreves na ploskvi Gameljne – borovje

V gozdu na ploskvi Rožnik – gozd je bilo v inventuro v letu 2014 vključenih 93 dreves. Izmed devetih drevesnih vrst izrazito prevladujejo tri drevesne vrste: graden (29 %), pravi kostanj (25 %) in smreka (24 %). Z nekaj odstotnim deležem so zastopani še rdeči bor (9 %), robinija (5 %) ter gorski javor (4 %), medtem ko je tise (2 %), divje češnje in jerebike (1 %) le za vzorec. Najmanjši izmerjeni prsni obseg (premer) drevesa na ploskvi je 11 cm (3,5 cm), največji pa 215 cm (68,4 cm). Najvišje drevo na ploskvi meri 35,0 m, najnižje 4 m. Za smreko, rdeči bor in graden, pri katerih prevladujejo prvi trije socialni položaji, znaša povprečni prsni obseg (premer) 137,5 cm (43,8 cm), izmerjena višina dreves pa v povprečju 28,5 m. Pravi kostanj po vrednostih teh parametrov oziroma dimenzij spada nekako vmes, saj povprečne vrednosti za prsni obseg (premer) in višino znašajo 73,6 cm (23,4 cm) in 14,4 m. V tretjo skupino lahko uvrstimo drevesa preostalih drevesnih vrst z nižjimi socialnimi položaji (4 in 5), katerih dimenzije so bistveno manjše. Tako znaša njihov povprečni prsni obseg (premer) 21 cm (6,7 cm), drevesna višina pa 7,1 m.



Slika 8: Deleži (%v skupnem št. osebkov) glavnih drevesnih vrst (DV) ob zadnjem inventurnem popisu dreves na ploskvi Rožnik – gozd

Na podlagi podatkov o izmerjenih obsegih dreves za posamezno raziskovalno ploskev, smo izračunali tudi temeljnico drevesa, ki predstavlja površino krožnega preseka debla v prsni višini. Enačba za izračun temeljnice posameznega drevesa (v cm^2):

$$\boxed{(\text{obseg drevesa})^2 / 4\pi.}$$

Temeljnica sestoja pomeni vsoto temeljnic posameznih dreves sestoja (Kotar, 2005). Temeljnico dreves oziroma drevesnih vrst smo uporabili pri ocenjevanju deleža odtoka vode po deblu.

Preglednica 1: Izbrani podatki za posamezne raziskovalne ploskve v Gameljnah in na Rožniku

	Gameljne – listavci	**Gameljne – borovje**	**Rožnik – sestoj**
Lokacija raziskovalne ploskve	Gameljne: peri-urbani gozd ob Savi	Gameljne: peri-urbani gozd ob Savi	Rožnik: urbani gozd
Nadmorska višina (m)	294	297	310
Opis gozda	obrečni poplavni gozd listavcev	obrežno rdečeborovje	mešani gozd
Delež listavcev (%) / delež iglavcev (%)	100/0	78/22	65/35
Prevladujoča razvojna faza sestoja	drogovnjak-debeljak	drogovnjak	debeljak
Število dreves na ploskvi	171	252	93
Gostota sestoja (št. dreves na ha)	684	1008	372
Povprečni obseg (cm)	55,3	42,5	105,0
Povprečni premer (cm)	17,6	13,5	33,4
Povprečna višina dreves (m)	15,8	11,7	21,9
Ocenjena skupna temeljnica (m^2/ha)	25,0	20,8	42,9

4.2 DOLOČITEV VEGETACIJSKEGA OBDOBJA ZA IZBRANE SESTOJE

Ker se pri listopadnih drevesih parametri drevesnih krošenj s časom močno spreminjajo, je bilo celotno obdobje meritev padavin, na podlagi fenoloških značilnosti drevesnih vrst, razdeljeno na dve obdobji: vegetacijsko obdobje (vegetacijska doba) in obdobje mirovanja vegetacije (dormanca). S tem smo lahko preverili, ali se deleži posameznih padavinskih komponent osnovne bilančne enačbe za izbrane sestoje, med omenjenima obdobjema bistveno razlikujejo.

Pri Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) potekajo fenološka opazovanja na območju Ljubljane za določene rastlinske vrste. Z Urada za meteorologijo (Oddelek za agrometeorologijo) smo pridobili fenološke podatke za izbrane drevesne vrste (robinija, črna jelša, črni topol, dob, smreka, črni bor, iva, veliki jesen) in fenološke faze, ki so v programu opazovanj fenološkega monitoringa (Arhiv fenoloških podatkov ARSO, 2015). Podatki veljajo za obdobje 1991–2013, za črni topol pa od 1998 do 2011. Dodatne informacije smo poiskali tudi na njihovi spletni strani (Fenološki podatki, 2015) ter v dendrološki literaturi, ki obravnava drevesne vrste v Sloveniji (na primer Brus, 2004).

Vse navedene podatke o fenoloških fazah dreves smo uporabili za razmejitev vegetacijskega obdobja in obdobje mirovanja vegetacije v izbranih sestojih peri-urbanih in urbanih gozdov. Osredotočili smo se na datume (zaporedni dan v letu) pojava fenološke faze prvih listov (kot pričetek vegetacijskega obdobja) in fenološke faze splošno odpadanje/rumenenje listja (kot zaključek vegetacijskega obdobja). V podatkovni bazi ARSO je bil pri posamezni drevesni vrsti za vsako leto v obdobju 1991–2013 naveden zaporedni dan pojava fenološke faze. Izračunali smo povprečno vrednost za vsa leta opazovanj ter dobljeni zaporedni (julijanski) dan pretvorili v datum. Iz razlike med začetkom olistanja ter fazo rumenenja listja lahko izračunamo trajanje rastnega oziroma vegetacijskega obdobja (Krajnc in sod., 2006).

4.3 MERITVE PADAVIN

Za merjenje padavin na izbranih merilnih mestih se uporablja tri različne tipe vzročevalnikov z ročnim odčitavanjem. Postavljeni so na višini 1,3 m od tal (Božič, 2008). Razlikujejo se po obliki in v dimenzijah (velikost lovilne površine). Beli liji so namenjeni vzorčenju dežnih padavin na prostem, kakor tudi vzorčenju prepuščenih padavin v obliki dežja. Vzorčevalniki v obliki žlebičev (angl. »*gutters*«) so prav tako postavljeni za vzorčenje prepuščenih padavin v obliki dežja. Valji črne barve (t. i. »korneti«) so na ploskvah postavljeni v zimskih mesecih ter so reprezentativnejši v primeru snežnih padavin. Podatki o vzorčevalnikih na posameznih raziskovalnih ploskvah so prikazani v prilogi A.

Terenske meritve (vzorčenja) prepuščenih padavin in padavin na prostem so v obravnavanem obdobju izvedli uslužbenci Gozdarskega inštituta Slovenije (Oddelek za gozdno ekologijo). Mi smo te podatke le prevzeli in jih obdelali oziroma analizirali.

4.3.1 Padavine na prostem – skupna količina padavin

Ploskve za spremljanje količine padavin na prostem so izbrane tako, da so bližnji objekti (ponavadi drevesa) oddaljeni od vzorčevalnikov vsaj za dvakratno višino drevesa (Žlindra in sod., 2011). V ta namen so bili na ploskvi Gameljne – travnik postavljeni trije beli liji

(za dež) s površino 452 cm^2. V zimskih mesecih se za vzorčenje snežnih padavin postavi tudi tri kornete s površino 434 cm^2. Pri tem tipu vzorčevalnikov se poleg izvrednotenja količin zabeleži tudi vrsto oziroma tip vzorca (voda, sneg, led). Padavine, ki padejo v trdnem stanju, se morajo najprej stopiti v tekoče agregatno stanje (Wikipedia, 2015).

Če so bili znotraj iste periode vzorčenja na voljo količine napadle vode tako iz lijev kot iz kornetov, smo v analizo vzeli količine iz tiste vrste vzorčevalnika, kjer so bili podatki bolj zanesljivi in so bile količine večje – v večini primerov so bili to liji.

Na ploskvi Rožnik – gozd smo za merjenje padavin na prostem uporabili tri lije z enako zbirno površino (452 cm^2).

Slika 9: Meritve padavin na prostem z vzorčevalniki (liji) na ploskvi Gameljne – travnik (foto: Janez Kermavnar, 28. 7. 2015)

Za potrebe te študije so bili analizirani podatki o količinah padavin na prostem, ki so bile na ploskvi Gameljne – travnik spremljane od 9. 3. 2007 do 24. 12. 2014, na ploskvi Rožnik – travnik pa v obdobju od 5. 1. 2005 do 23. 12. 2014. Namen analize količin padavin na prostem je, da se jih primerja z nizom meritev v letih od 2005 do 2014 na meteorološki

postaji Ljubljana – Bežigrad (Arhiv – opazovani ..., 2015). Obenem služijo za primerjavo z izmerjenimi prepuščenimi padavinami v izbranih sestojih.

Na podlagi podatkov o urnih količinah padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad smo ugotavljali tudi razlike v intenziteti padavin (izražena v mm/h) med vegetacijskim obdobjem in obdobjem mirovanja vegetacije. Predpostavljamo, da podobna intenziteta padavin velja tudi za območje Rožnika in Gameljn.

Pri tem smo intenziteto padavin razložili s pomočjo enostavne lestvice (Arhiv – opazovani …, 2015), ki je predstavljena v preglednici št. 2.

Preglednica 2: Intervalne vrednosti intenzitet padavin (mm/h), ki jih podaja ARSO

Intenziteta (mm/h)	Opis
0,00–0,25	rosi
0,26–1,00	rahlo dežuje
1,01–4,00	dežuje
4,01–16,00	močno dežuje
16,01–50,00	manjša ploha
>50,00	ploha

Intenziteto padavin smo analizirali za obdobje zadnjih deset let (2005–2014).

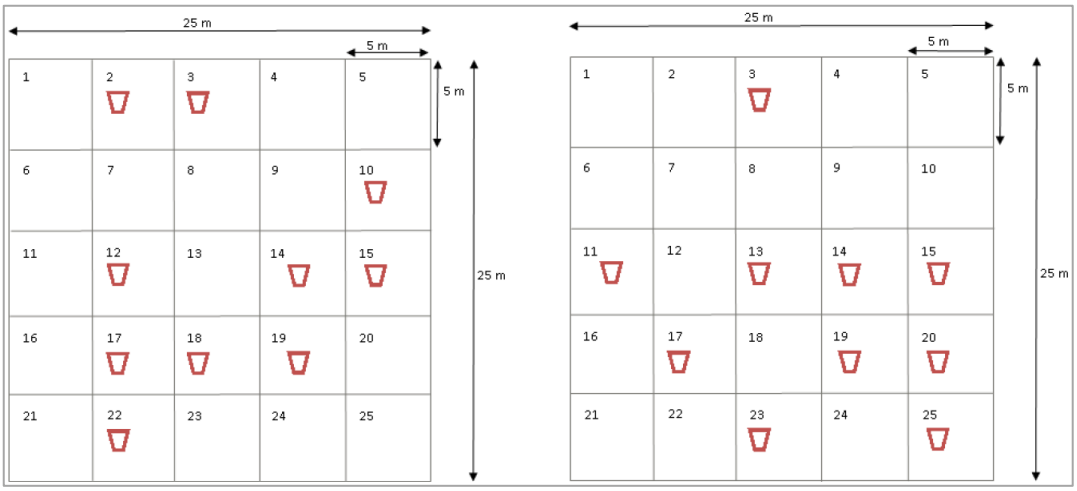
4.3.2 Prepuščene padavine

Na raziskovalnem območju Gameljne sta bila za vzorčenje prepuščenih padavin v sestojih pod krošnjami (angl. *througfall – stand deposits*; Žlindra in sod., 2011) vzpostavljena dva sistema meritev. V obdobju od marca 2007 do novembra 2012 so bile prepuščene padavine na ploskvah Gameljne – listavci in Gameljne – borovje merjene na vzorčni površini 20 × 20 m s tremi belimi liji zbiralne površine 452 cm^2.

Slika 10: Vzorčevalniki za izmero prepuščenih padavin v sestoju poplavnega gozda listavcev (ploskev Gameljne – listavci) (foto: Urša Vilhar, 28. 7. 2015)

Drugi sistem meritev je bil vzpostavljen v novembru 2012, ko je bilo, glede na navodila in priporočila ICP Forests (Clarke in sod., 2010), na ploskvah Gameljne – listavci in Gameljne – borovje postavljeno deset novih vzorčevalnikov z manjšo lovilno površino (201 cm^2). Za namene pravilne prostorske razporeditve vzorčevalnikov so bile vzorčne površine 25 × 25 m razdeljene na 25 delov oziroma kvadrantov (5 × 5 m), izmed katerih je bilo naključno izbranih deset kvadrantov. Na ta način je omogočeno sistematično-naključno spremljanje prepuščenih padavin (Verlič in sod., 2012).

Pozimi se za vzorčenje snežnih prepuščenih padavin postavi tudi tri kornete s površino 434 cm^2.



Slika 11: Shematski prikaz kombinacije sistematično-naključne postavitve vzorčevalnikov za usedline v skladu z ICP Forests manualom (Clarke in sod., 2010) na ploskvah Gameljne – listavci (desna skica) in Gameljne – borovje (leva skica) (avtorica: Urša Vilhar, 2012) (Vir: Verlič in sod., 2012)

Pogostost vzorčenja prepuščenih padavin je bila na raziskovalnih ploskvah v Gameljnah različna. Meritve so potekale na dva tedna ali enkrat mesečno, v nekaterih primerih so bili časovni intervali vzorčenj dolgi tudi več mesecev.

Slika 12: Vzorčevalniki za spremljanje prepuščenih padavin v obrežnem rdečeborovju (ploskev Gameljne – borovje) (foto: Janez Kermavnar, 28. 7. 2015)

Na raziskovalnem območju Rožnik potekajo meritve v skladu z navodili za intenzivno spremljanje stanja gozdov (Clarke in sod., 2010). Za vzorčenje prepuščenih padavin skozi krošnje sta na ploskvi Rožnik – gozd postavljeni dve liniji vzorčevalnikov. Na vsaki liniji je postavljenih po pet žlebičev, s površino 185 cm^2, in za kontrolo žlebičem še štirje liji s površino 415 cm^2. Pozimi se žlebiče nadomesti s štirimi korneti s površino 415 cm^2 in so nameščeni na mestih lijev (Žlindra in sod., 2011). Vzorčevalniki so postavljeni v 25-metrskem zaščitnem pasu (t. i. »blažilnem območju«; Mavsar in sod., 2004), ki obkroža ploskev, na kateri se izvaja inventura dreves (Žlindra in sod., 2011). Torej sta površina za vzorčenje prepuščenih padavin in vzorčna ploskev za dendrometrijsko izmero dreves sestoja, prostorsko ločeni.

Na ploskvi Rožnik – gozd so meritve prepuščenih padavin potekale redno na 14 dni, od januarja 2007 do decembra 2014.

Slika 13: Linija žlebičev in liji za vzorčenje prepuščenih padavin na ploskvi Rožnik – gozd (foto: Janez Kermavnar, 28. 7. 2015)

4.3.3 Odtok po deblu

V naši raziskavi meritev odtoka po deblu na izbranih ploskvah nismo izvajali, pač pa smo vrednosti privzeli iz domače in tuje literature. Tako smo pridobili grobe ocene za deleže odtoka po deblu v skupni količini padavin na prostem ter oceno intercepcije krošenj na letni ravni.

Pri iskanju primerljivih študij smo želeli, da se območje oziroma gozdni tip v čim večji meri ujema s sestoji v tej raziskavi. Vendar je bilo pri nekaterih drevesnih vrstah takšnih raziskav (pre)malo, zato smo bili primorani vključiti tudi rezultate nekaterih raziskav, ki obravnavajo drevje ali sestoje v povsem drugačnih razmerah kot pri nas (na primer sušna področja in plantaže). Seznam pregledanih raziskav je predstavljen v prilogi E.

Za posamezne drevesne vrste smo v domači in tuji literaturi poiskali čim več konkretnih raziskav, ki so podajale empirično pridobljene oziroma izmerjene vrednosti. Pri tem smo upoštevali rezultate, ki se nanašajo na rodovno ime vrste in ne samo konkretno za drevesno vrsto, saj bi bilo v tem primeru referenc bistevno manj. Primer: za rdeči bor na ploskvi Gameljne – borovje smo upoštevali vse objave glede odtoka po deblu za vrste iz rodu *Pinus*. Ocenjeno vrednosti odtoka po deblu za sestoj smo dobili tako, da smo izračunali tehtano sredino, pri čemer je bila utež določena z deležem (%) temeljnice drevesne vrste v skupni temeljnici obravnavanega sestoja. Za te iste vrednosti odtoka po deblu iz raziskav smo izračunali še standardni odklon, ki je služil kot odstopanje od povprečja navzgor oziroma navzdol.

V pregledanih objavah je bilo premalo jasnih podatkov o razliki v deležu odtoka po deblu med vegetacijskim obdobjem in obdobjem mirovanja vegetacije (le Loustau in sod., 1992 ter Dolman, 1987 – v obeh primerih je delež večji v obdobju mirovanja). Vendar večina avtorjev opozarja, da je na sestojni ravni lahko ta razlika znatna (zaradi sprememb indeksa listne površine). Zato smo "spodnjo polovico" ocenjenega intervala (povprečje − stand. odklon) predpostavili za vegetacijsko obdobje, "zgornjo polovico" ocenjene vrednosti (povprečje + stand. odklon) pa za obdobje mirovanja vegetacije.

4.3.4 Sestojne in prestrežene padavine

Na podlagi meritev prepuščenih padavin na raziskovalnih ploskvah v sestojih (Gameljne – listavci, Gameljne – borovje ter Rožnik – sestoj) in ocenjenega deleža odtoka po deblu, smo za posamezne sestoje peri-urbanih in urbanih gozdov ocenili delež sestojnih padavin v količini padavin na prostem. Razliko med sestojnimi padavinami in padavinami na prostem predstavljajo prestrežene padavine oziroma intercepcija. Tudi ta komponenta osnovne bilančne enačbe je bila za izbrane sestoje ocenjena.

4.4 PRIPRAVA IN UREJANJE PODATKOVNE BAZE O IZMERJENIH PADAVINAH TER UPORABLJENE STATISTIČNE METODE PRI ANALIZI PODATKOV

V prvi fazi obdelave meritev padavin na prostem in prepuščenih padavin smo pripravili podatke na podlagi podatkovne baze Gozdarskega inštituta Slovenije za posamezne raziskovalne ploskve.
Ker se časovni intervali meritev oziroma vzorčenj padavin na izbranih ploskvah niso povsem ujemali, smo se odločili za združevanje vzorčnih količin (ter kasnejšo analizo) po obdobjih znotraj leta (vegetacijsko obdobje, obdobje mirovanja vegetacije) ter po posameznih letih. Na ta način je bila mogoča primerjava med raziskovalnimi ploskvami na različnih lokacijah oziroma raziskovalnih območjih.

Pri uvrščanju posameznih količin po obdobjih (vegetacijsko obdobje, obdobje mirovanja vegetacije), ki so bila opredeljena glede na fenološke značilnosti prevladujočih drevesnih vrst gozdnih sestojev, smo kot kriterij upoštevali končni datum časovnega intervala. Vsa vzorčenja padavin na ploskvah, ki so bila opravljena po datumu, ki označuje ocenjeni pričetek vegetacijskega obdobja in pred datumom, ki označuje ocenjeni zaključek vegetacijskega obdobja, smo pri analizi količin uvrstili v vegetacijsko obdobje. Enako velja za meritve padavin, ki so bile izvedene v obdobju mirovanja vegetacije. V primeru mejnih časovnih intervalov (začetni datum vzorčenja je znotraj vegetacijskega obdobja/obdobja mirovanja vegetacije, končni datum pa že sodi v obdobje mirovanja

vegetacije/vegetacijsko obdobje) smo upoštevali načelo večjega števila dni – mejni časovni interval smo uvrstili v tisto obdobje, v katero je spadalo večje število dni tega časovnega intervala.

Iz podatkovne baze smo izločili tudi napačne (nelogične) vnose, kot na primer padavine v obliki snega v poletnih mesecih. Omejili smo se na obdobje do žledoloma 2014, ki je predvsem na ploskvi Rožnik – gozd precej predrugačil sestojne razmere; zato smo analizo prepuščenih padavin predstavili za šest let (od 2008 do 2013). Potrebno je omeniti še na ne tako redke primere (predvsem na ploskvi Gameljne – listavci, ki je pod stalnim vplivom poplav reke Save), ko zaradi poškodb zbiralnih posod vzorčevalnikov ni bilo mogoče izmeriti količino vode. V analize smo vključili vse zabeležene količine vzorčenj, pri katerih je bil vzorec odvzet vsaj iz enega vzorčevalnika. V takšnih primerih so vrednosti vzorčnih količin mnogo manj zanesljive kot pri izvrednotenju večjega števila vzorčevalnikov.

Bazo podatkov smo uredili v programu Microsoft Excel.

Za primerjavo padavin na prostem na posameznih ploskvah smo upoštevali vse razpoložljive podatke. Tako smo za ploskev Gameljne – travnik upoštevali obdobje meritev od marca 2007 do decembra 2014, za ploskev Rožnik – travnik pa od januarja 2005 do decembra 2014. Vse razpoložljive meritve na prostem za ploskvi Gameljne – travnik in Rožnik – travnik smo primerjali s količino padavin na meteorološki postaji Ljubjana - Bežigrad (Arhiv – opazovani ..., 2015) ter ugotavljali stopnjo odvisnost med njimi.

Za primerjavo prepuščenih padavin na posameznih ploskvah smo upoštevali obdobje meritev od januarja 2008 do decembra 2013. Prepuščene padavine za posamezno obdobje meritev smo primerjali s padavinami na prostem in ugotavljali linerano odvisnost med njimi. V primeru manjkajočih podatkov smo upoštevali izračunane vrednosti na podlagi regresijske analize med prepuščenimi padavinami in padavinami na prostem.

Za boljšo primerjavo med sestojema v Gameljnah (Gameljne – listavci in Gameljne – borovje) ter sestojem na Rožniku (Rožnik – gozd), smo za ploskev Rožnik – gozd ugotavljali linearno odvisnost med prepuščenimi padavinami, izmerjenimi z liji oziroma z žlebiči. Pri analizi prepuščenih padavin smo namreč želeli upoštevati vzorčne količine vode iz istega tipa vzočevalnikov, t. j. lijev. V primerih, ko podatki od lijev na ploskvi Rožnik – gozd niso bili podani, smo preko regresijskih analiz manjkajoče podatke nadomestili. Najprej smo z regresijo preverili, v kolikšni meri se podane količine prepuščenih padavin iz lijev ujemajo s količinami prepuščenih padavin iz žlebičev, nato pa preko regresijske enačbe ocenili manjkajoče količine za lije.

Statistično izvrednotenje podatkov smo izvedli s pomočjo programa SPSS 20. Količina padavin je, kot statistični znak oziroma spremenljivka, podana v intervalni skali. Zato smo se pri statističnih preizkusih poslužili neparametričnih testov. Slednji, za razliko od parametričnih metod, niso vezani na vrsto predpostavk o porazdelitvah proučevanega znaka, najbolj kritična je tista o normalni porazdelitvi (Kotar, 2011). Uporabili smo naslednji neparametrični metodi:

- Spearmanov koeficient korelacije rangov (ρ; neparametrična korelacija), s katerim smo ugotavljali stopnjo odvisnosti med rangi; izračunamo ga na enak način kot Pearsonov koeficient korelacije (r), le da namesto pravih vrednosti znakov uporabimo range;

- z Mann-Whitneyjevim (Wilcoxonovim) testom, ki temelji na vsoti rangov pri dveh neodvisnih vzorcih in je nadomestilo za *t*-test, smo preizkusili razliko med aritmetičnima sredinama količin padavin z dveh raziskovalnih ploskev. Znotraj posamezne raziskovalne ploskve smo testirali tudi morebitne razlike med aritmetičnima sredinama količine padavin dveh različnih obdobij (vegetacijsko obdobje, obdobje mirovanja vegetacije).

5 REZULTATI

5.1 DOLOČITEV VEGETACIJSKEGA OBDOBJA ZA IZBRANE SESTOJE

V sestoju poplavnega gozda listavcev ob reki Savi (ploskev Gameljne – listavci) smo upoštevali fenološke podatke ARSO glede pojava prvih listov za lipovec (10. april), veliki jesen (30. april), črno jelšo (22. april) in črni topol (11. april). V povprečju se pri teh štirih vrstah prvi listi pojavijo 18. aprila. Žal nismo zasledili konkretnih podatkov o pojavu te iste fenološke faze za drevesne vrste, ki so na ploskvi Gameljne – listavci zastopane s precejšnjim deležem (gorski javor, siva jelša, vrbe). Za vrbo ivo smo imeli podatke le o času pojava prvih cvetov. Za belo in sivo vrbo velja, da cvetita v prvi polovici aprila, hkrati z olistanjem (Brus, 2004). Tako lahko predpostavljamo, da se tudi preostale drevesne vrste v tem sestoju olistajo približno na sredini meseca aprila. Zato smo za pričetek vegetacijskega obdobja dreves na tej ploskvi privzeli 15. April. Za konec vegetacijskega obdobja smo upoštevali podatek o nastopu fenološke faze splošnega odpadanja listja za veliki jesen (29. oktober) in črni topol (18. oktober). Torej v povprečju pri teh dveh vrstah listje odpade 24. oktobra. Za ostale drevesne vrste podatkov nismo imeli. Vendar se v večini literature predpostavlja splošna ocena, da traja vegetacijsko obdobje v Sloveniji, vsaj v tem višinskem pasu, približno do konca oktobra. Zato smo za zaključek vegetacijskega obdobja dreves na ploskvi Gameljne – listavci predpostavili 31. oktober).

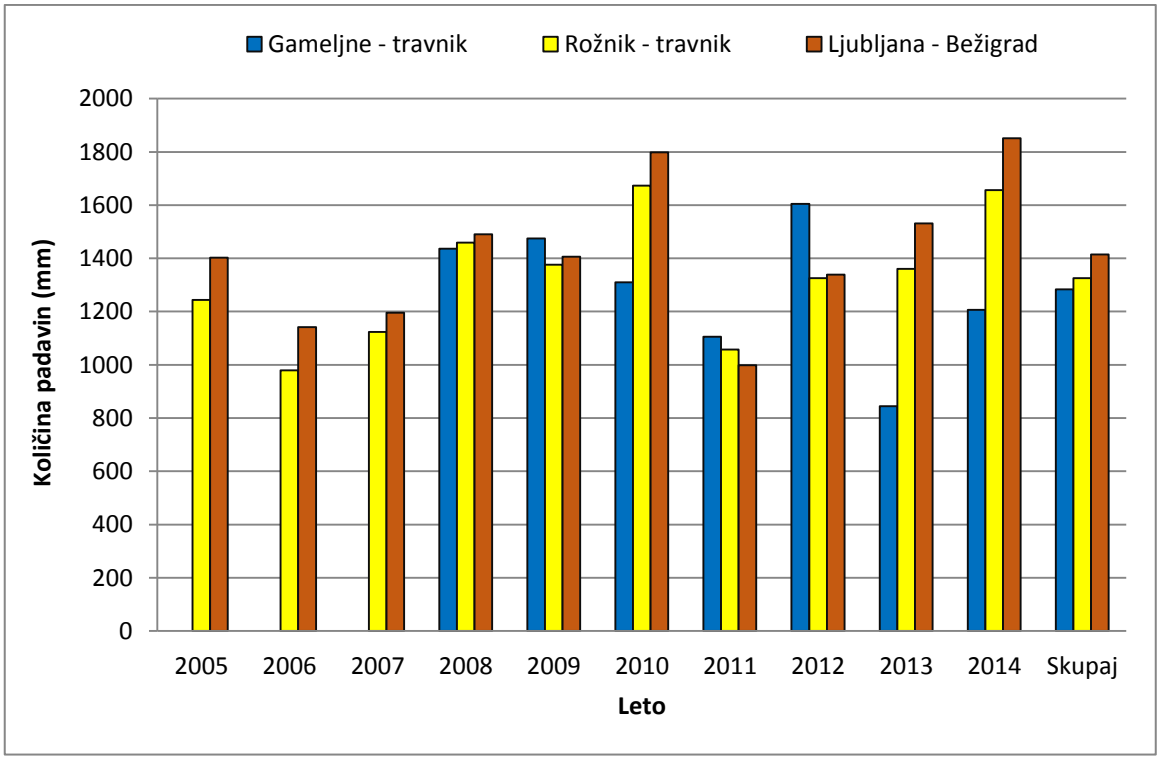
V obrežnem rdečeborovju (ploskev Gameljne – borovje) uspevajo tri drevesne vrste, za katere smo razpolagali s fenološkimi podatki ARSO. Tako so datumi za pojav olistanosti naslednji: pri lipovcu je to 10. april, pri rdečem boru 30. april ter pri smreki 29. april. Vilhar in sod. (2013b) so na ploskvi Intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov v Sloveniji Brdo pri Kranju za rdeči bor ugotovili, da je fenofaza prvih iglic v letih od 2004 do 2011 v povprečju nastopila na 128 julijanski dan oziroma 8. maja. Če upoštevamo, da ploskev Gameljne – borovje leži na nižji nadmorski višini (297 m) kot ploskev Brdo pri Kranju (471 m; Simončič in sod., 2011), potem so datumi o pojavu prvih iglic rdečega bora v logičnem razmerju. V povprečju se pri omenjenih treh vrstah, ki na ploskvi Gameljne – borovje predstavljajo skoraj ¾ vseh dreves, prvi listi pojavijo 23. aprila. Za preostale drevesne vrste na tej ploskvi smo začetek vegetacijskega obdobja ocenili. Za črni in beli

gaber, sivo jelšo in gorski javor predvidevamo sredino meseca aprila, za vrbe začetek aprila, medtem ko za graden in mali jesen, kot nekoliko bolj toploljubni drevesni vrsti, predvidevamo pojav prvih listov v maju. Na koncu smo kompromisno določili, da trajata vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije enako dolgo kot na ploskvi Gameljne – listavci, torej od sredine aprila (15. 4.) do konca oktobra (31. 10.) oziroma od začetka novembra (1. 11.) do sredine aprila (14. 4.).

Na ploskvi Rožnik – gozd prevladujejo tri drevesne vrste: graden, pravi kostanj in smreka. V povprečju se pri teh treh vrstah, ki na tej ploskvi predstavljajo 78 % vseh dreves, prvi listi oziroma iglice pojavijo 5. maja. Za graden smo si pomagali s podatki ARSO za hrast dob, ki v povprečju odganja 22. aprila. Graden cveti hkrati z olistanjem, 10–14 dni pozneje kot dob (Brus, 2004), torej v začetku maja. Pri smreki se, glede na podatke ARSO, mladi poganjki pojavijo 29. aprila. Za pravi kostanj nismo našli konkretnih podatkov, predpostavljamo pa podobne fenološke značilnosti kot pri gradnu ali robniji (olistanje v maju). Rdeči bor odžene mlade poganjke v povprečju 30. aprila. Na drugi strani je za robinijo značilno, da se olista kasneje, v povprečju 15. maja. Skupno smo za mešani gozd na Rožniku določili malenkost drugačno razdelitev obdobij. Ocenjeno vegetacijsko obdobje se tako prične v maju (1. 5.) in traja do konca oktobra (31. 10.), obdobje mirovanja vegetacije pa od 1. 11. do 30. 4. Razlika v trajanju vegetacijskega obdobja, med sestojema v Gameljnah in sestojem na Rožniku, znaša približno dva tedna.

5.2 PADAVINE NA PROSTEM

Letne količine padavin v obdobju od 2005 do 2014 na ploskvah Gameljne – travnik in Rožnik – travnik ter na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad so v obliki preglednice prikazane v prilogi B. Na ploskvi Gameljne – travnik so se meritve padavin pričele šele marca 2007.

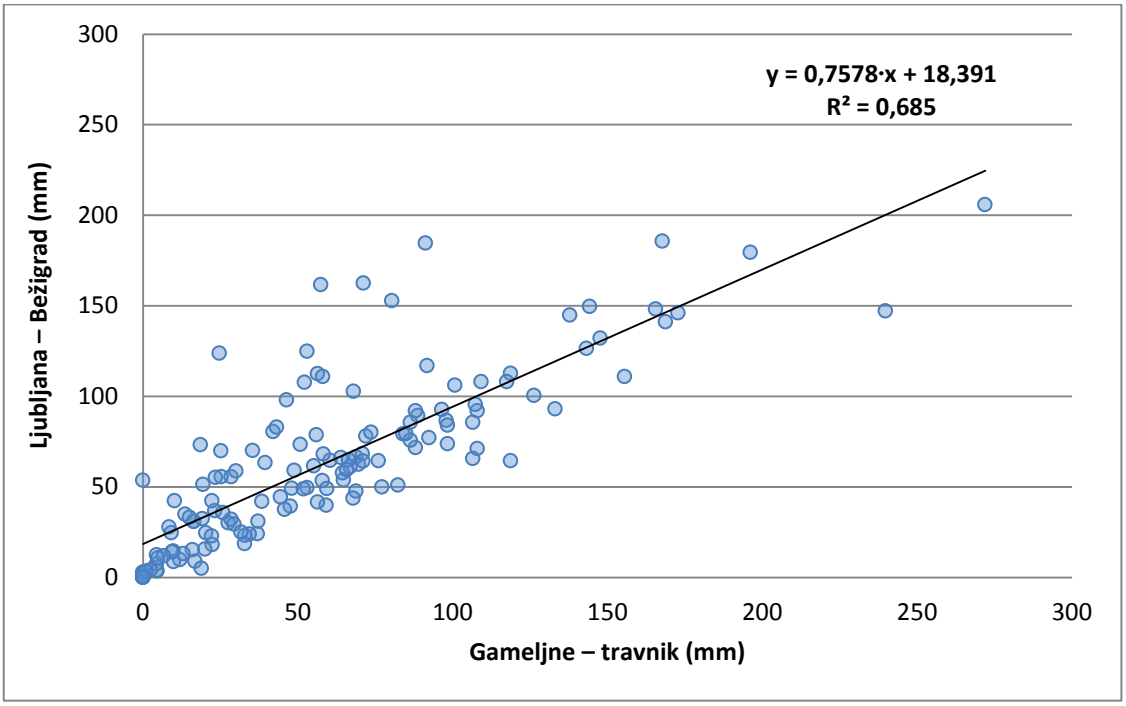


Slika 14: Količina padavin (mm) v posameznih letih od 2008 do 2014 za ploskev Gameljne – travnik in od 2005 do 2014 za ploskev Rožnik – travnik ter najbližjo meteorološko postajo Ljubljana – Bežigrad

Najvišja letna količin padavin v obdobju 2005–2014 je bila izmerjena na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad leta 2014 (1851 mm), najnižja pa leto prej na ploskvi Gameljne – travnik (845 mm).

Povprečne letne količine padavin (slika 14: stolpci pod kategorijo »Skupaj«) v desetletnem obdobju kažejo, da je bila najvišja vrednost izmerjena na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad (1415 mm), najnižja pa na ploskvi Gameljne – travnik (1283 mm) – povprečje za šest let. Povprečna letna količina padavin na prostem za ploskev Rožnik – gozd znaša 1375 mm.

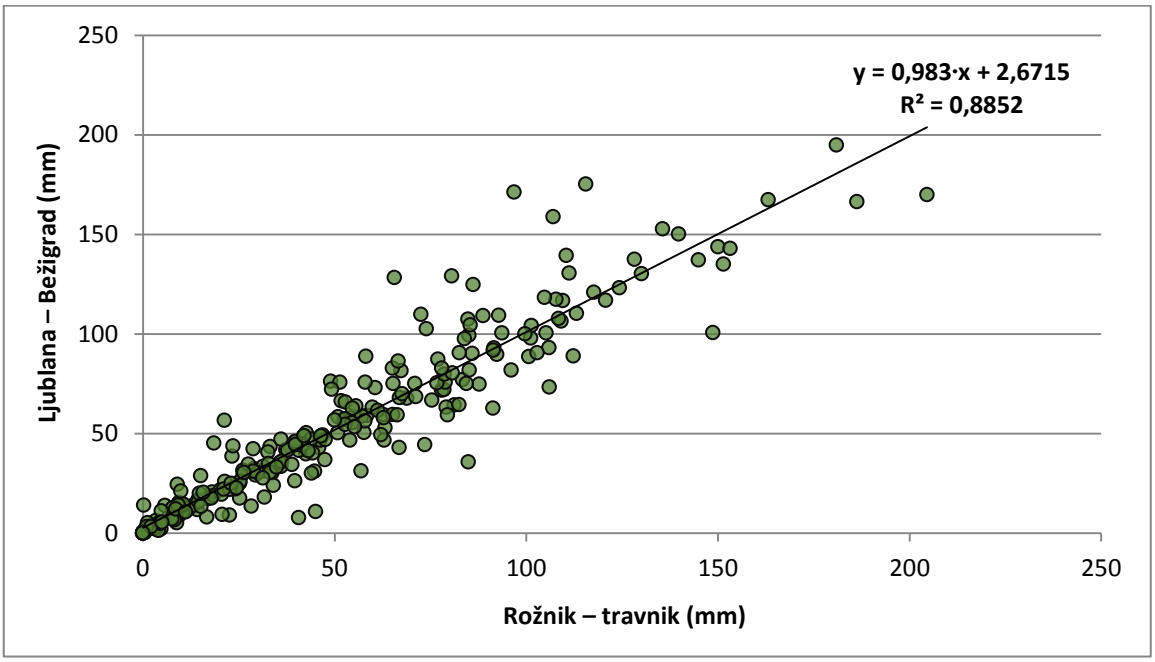
Naredili smo regresijsko analizo med količino padavin na prostem na ploskvi Gameljne – travnik in količino padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad.



Slika 15: Regresijska analiza med količino padavin na prostem na raziskovalni ploskvi Gameljne – travnik in količino padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad. Stopnja odvisnosti je prikazana na osnovi 143 meritev količin padavin v obdobju od 9. 3. 2007 do 24. 12. 2014

Regresijska analiza med količino padavin na prostem na ploskvi Gameljne – travnik in količino padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad temelji na 143 količinah padavin, ki so bile izmerjene znotraj posameznih časovnih intervalov v obdobju od 9. 3. 2007 do 24. 12. 2014. Iz analize smo izključili 6 vzorčenj, pri katerih je bil časovni interval vzorčenja zelo dolg, razlike med izmerjenimi količinami padavin na raziskovalni ploskvi Gameljne – travnik in količinami padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad pa zelo velike. Raztros podatkovnih točk je precejšen (slika 15), delež pojasnjene variance (R^2) je pod 0,75. Vrednost Pearsonovega koeficienta korelacije (r) znaša 0,828 (df = 141). Korelacija je statistično značilna ($p < 0,01$). Iz tega lahko sklepamo, da se izmerjene količine padavin na prostem na ploskvi Gameljne – travnik sicer ujemajo s količino padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad, vendar v manjši meri.

Z uporabo Mann-Whitney-jevega testa smo potrdili ničelno hipotezo, da ni statistično značilnih razlik med srednjo vrednostjo količine padavin na ploskvi Gameljne – travnik in na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad (p-vrednost = 0,26).



Slika 16: Regresijska analiza med količino padavin na prostem na raziskovalni ploskvi Rožnik – travnik in količino padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad. Stopnja odvisnosti je prikazana na osnovi 258 meritev 14-dnevnih količin padavin v obdobju od 5. 1. 2005 do 23. 12. 2014

Naredili smo tudi regresijsko analizo med količino padavin na prostem na ploskvi Rožnik – travnik in količino padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad. Regresija temelji na 258 količinah padavin, ki so bile izmerjene znotraj 14-dnevnih časovnih intervalov v obdobju od 5. 1. 2005 do 23. 12. 2014. Graf na sliki 16 nakazuje linearno odvisnost med količinami z obeh lokacij, s precejšnjo stopnjo ujemanja (R^2 = 0,885). Dobro korelacijo, ki je statistično značilna ($p < 0,001$) potrjuje tudi visok korelacijski koeficient (r = 0,934; df = 256).

Na enak način kot pri ploskvi Gameljne – travnik smo z uporabo Mann-Whitney-jevega testa potrdili ničelno hipotezo, da ni statistično značilnih razlik med srednjo vrednostjo količine padavin na ploskvi Rožnik – travnik in na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad (p-vrednost = 0,748).

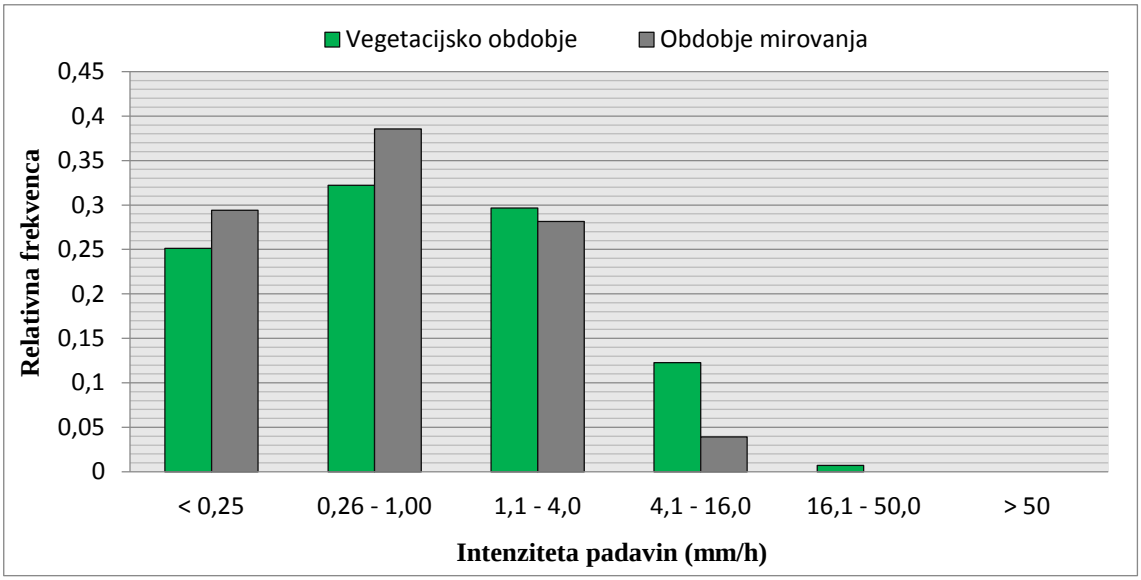
Če primerjamo odvisnost padavin na prostem na obeh razsikovalnih ploskvah (Gameljne – travnik in Rožnik – travnik) od količine padavin, izmerjene na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad s Spearmanovim koeficientom korelacije, lahko ugotovimo, da so vrednosti sicer podobnega velikostnega reda, vendar je ujemanje boljše med ploskvijo Rožnik – travnik in meteorološko postajo Ljubljana – Bežigrad.

Preglednica 3: Neparametrični (Spearmanov) koeficient korelacije med količinami padavin na prostem na ploskvi Gameljne – travnik in meteorološko postajo Ljubljana – Bežigrad, v obdobju meritev od marca 2007 do decembra 2014 (skupno število meritev je 143), ter med ploskvijo Rožnik – travnik in meteorološko postajo Ljubljana – Bežigrad, v obdobju meritev od januarja 2005 do decembra 2014 (skupno število meritev je 258). Statistično značilna koeficienta (p < 0,01) sta označena z *.

	Gameljne – travnik	Rožnik – travnik	Ljubljana – Bežigrad
Gameljne – travnik	**1**	/	**0,852***
Rožnik – travnik	/	**1**	**0,959***
Ljubljana – Bežigrad	**0,852***	**0,959***	**1**

V arhivu ARSO smo pridobili podatke o polurnih količinah padavin na meteorološi postaji Ljubljana – Bežigrad. Za obdobje zadnjih deset let (2005–2014) smo izračunali povprečno intenziteto padavin (mm/h), ločeno za vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije.

Za zadnjih deset vegetacijskih obdobij (15. 4.–31. 10.) znaša povprečna intenziteta padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad 1,86 (± 3,08) mm/h. V obdobju mirovanja vegetacije (1. 11.–14. 4.) je intenziteta padavin manjša: 1,05 (± 1,31) mm/h. Največja povprečna intenziteta padavin je bila izračunana za vegetacijsko obdobje leta 2011 (2,28 mm/h), najmanjša pa v obdobju mirovanja vegetacije leta 2010 (0,92 mm/h).

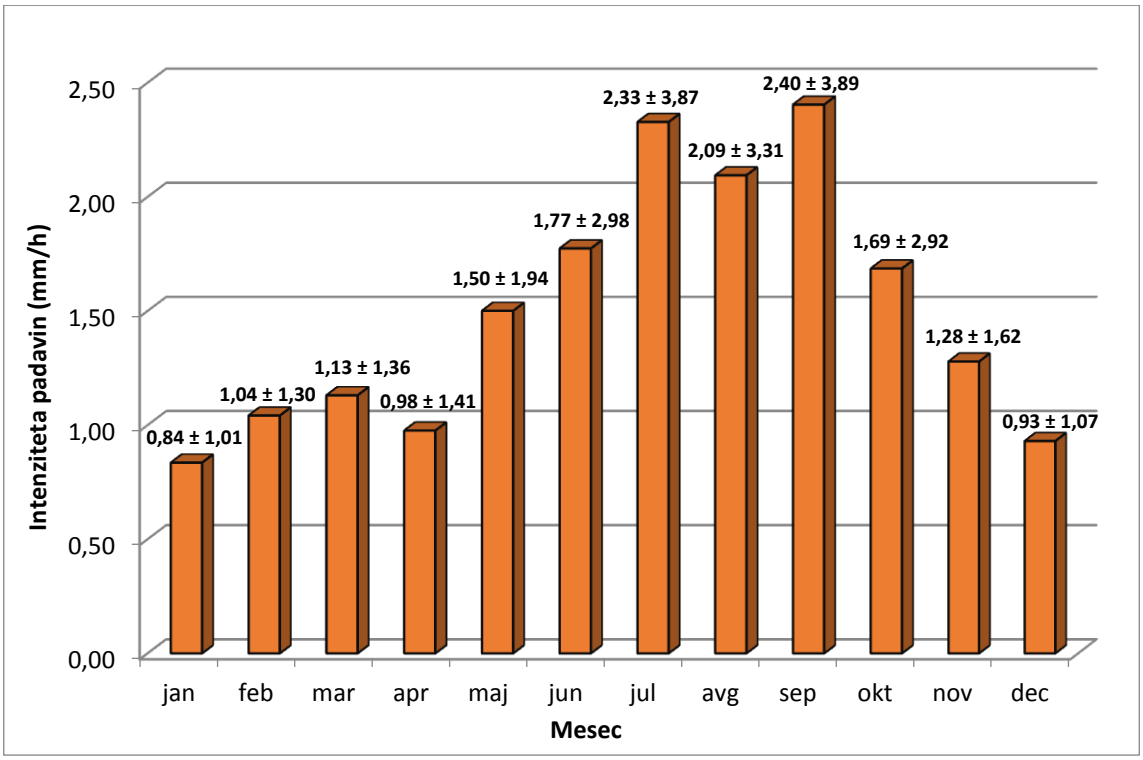


Slika 17: Frekvenčna porazdelitev urnih intenzitet padavin (mm/h) na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad v obdobju od 2005 do 2014. Relativne frekvence so prikazane ločeno za vegetacijsko obdobje (15. 4.–30. 10.) in obdobje mirovanja vegetacije (1. 11.–14. 4.)

Na grafikonu (slika 17) je prikazana frekvenčna porazdelitev urnih intenzitet padavin za vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije za meteorološko postajo Ljubljana – Bežigrad v letih od 2005 do 2014. Razredi intenzitete padavin na vodoravni osi so oblikovani glede na lestvico ARSO (preglednica 2). Relativne frekvence za obdobje mirovanja vegetacije (sivi stolpci) so višje pri nižjih intenzitetnih razredih (< 1 mm/h), v intenzitetnih razredih nad 1 mm/h pa so relativne frekvence značilno višje za vegetacijsko obdobje (zeleni stolpci). Največja razlika je v intenzitetnem razredu 4,1–16,0 mm/h. V obdobju mirovanja intenziteta padavin v nobenem primeru ni presegla intenzitete 16,1 mm/h. V zadnjem desetletju je sicer maksimalna izmerjena urna količina padavin v vegetacijskem obdobju znašala 52,4 mm/h, v obdobju mirovanja vegetacije pa kar 5-krat manj (10,4 mm/h).

Podobna frekvenčna porazdelitev intenzitete padavin, kjer so intenzitetni razredi oblikovani v podrobnejšem merilu, je prikazana v prilogi D.

Naredili smo še analizo intenzitete padavin po posameznih mesecih.



Slika 18: Povprečna (± stand. odklon) intenziteta padavin (mm/h) v posameznih mesecih obdobja 2005–2014 na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad

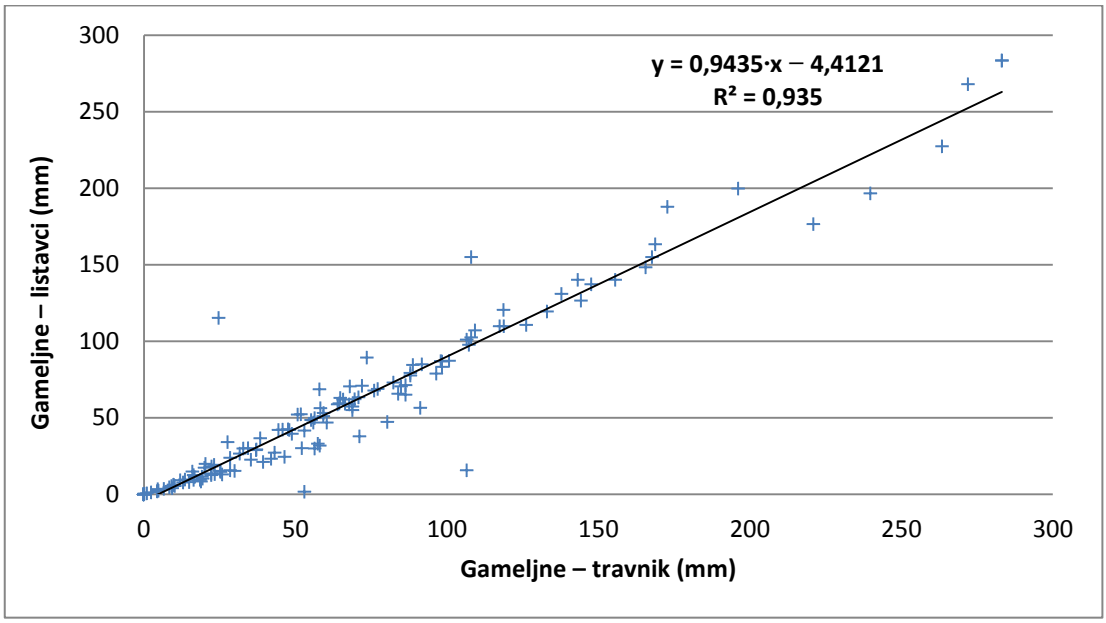
Tudi graf na sliki 18 kaže na podobna razmerja intenzitet padavin. Največje urne intenzitete padavin so bile na meteorološki postaji Ljubljan – Bežigrad v obdobju od 2005 do 2014 zabeležene v mesecih september (2,40 ± 3,89 mm/h) in julij (2,33 ± 3,87 mm/h). V povprečju je julij tudi mesec z največjim številom poletnih neviht, sledita mu junij in avgust. Nasprotno smo za zimska meseca januar (0,84 ± 1,01) in december (0,93 ± 1,07) izračunali najmanjšo povprečno intenziteto padavin.

Zaključimo lahko, da se intenziteta padavin v poletnih mesecih (čas vegetacijskega obdobja) statistično značilno ($p < 0,001$) razlikuje od intenzitete padavin v zimskih mesecih (čas mirovanja vegetacije).

5.3 PREPUŠČENE PADAVINE

5.3.1 Raziskovalna ploskev Gameljne – listavci

Za dopolnitev manjkajočih vrednosti prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – listavci smo naredili regresijsko analizo med padavinami na prostem, izmerjenimi na ploskvi Gameljne – travnik, in prepuščenimi padavinami na ploskvi Gameljne – listavci.



Slika 19: Linearna regresija med izmerjenimi prepuščenimi padavinami na ploskvi Gameljne – listavci in količino padavin na prostem na ploskvi Gameljne – travnik. V analizo so vzete količine posameznih vzorčenj padavin v obdobju od marca 2007 do decembra 2014 (n = 141)

V obdobju od januarja 2008 do decembra 2013 je v podatkovni bazi za prepuščene padavine na ploskvi Gameljne – listavci manjkalo osem vrednosti, katere smo nadomestili s pomočjo sledeče regresijske enačbe: $y = 0{,}9435 \cdot x - 4{,}4121$. Pri izračunu smo za spremenljivko x smo uporabili izmerjeno količino padavin na prostem (Gameljne – travnik). Regresijska analiza (slika 19) temelji na 141 vzorčenjih prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – listavci in enakemu številu meritev padavin na prostem na ploskvi Gameljne - travnik v obdobju od 9. 3. 2007 do 24. 12. 2014. Vrednosti se dobro ujemajo ($R^2 = 0{,}935$), kar potrjuje tudi korelacijski koeficient ($r = 0{,}967$; $df = 139$). Korelacija je statistično značilna ($p < 0{,}001$).

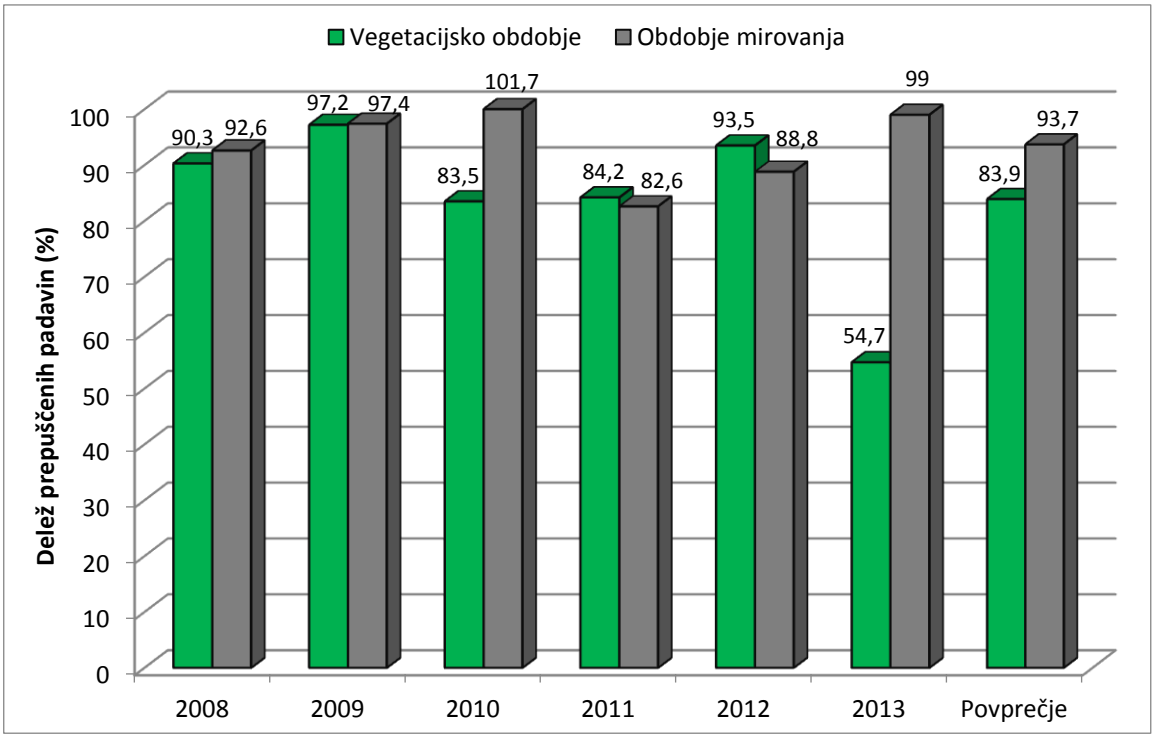
Preglednica 4: Izmerjene količine prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – listavci in njihov delež v količini padavin na prostem (ploskev Gameljne – travnik). Vrednosti so prikazane za posamezna leta obdobja od januarja 2008 do decembra 2013, znotraj leta še glede na vegetacijsko obdobje (VD: 15. 4.–31. 10.) in obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–14. 4.)

Leto	Obdobje	Količina prepuščenih padavin (mm)	Število vzorčenj	Delež prepuščenih padavin (% v količini padavin na prostem)
2008	**VD**	849	12	90,3
	DOR	460	8	92,6
	Skupaj	1309	20	91,2
2009	**VD**	863	7	97,2
	DOR	571	4	97,4
	Skupaj	1434	11	97,2
2010	**VD**	900	9	83,5
	DOR	236	2	101,7
	Skupaj	1136	11	86,7
2011	**VD**	738	13	84,2
	DOR	190	8	82,6
	Skupaj	928	21	83,9
2012	**VD**	1083	11	93,5
	DOR	397	9	88,8
	Skupaj	1480	20	92,1
2013	**VD**	164	14	54,7
	DOR	540	8	99,0
	Skupaj	704	22	83,3
Povprečje ± st. odklon	**VD**	**766 ± 316**	**66***	**83,9 ± 15,3**
	DOR	**399 ± 157**	**39***	**93,7 ± 7,1**
	Leto	**1165 ± 304**	**105***	**89,1 ± 5,4**

*vsota

Pri primerjavi prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – listavci s padavinami na prostem na ploskvi Gameljne – travnik nismo ugotovili statistično značilnih razlik ($p > 0,05$), Spearmanov korelacijski koeficient pa kaže na visoko stopnjo povezanosti ($\rho = 0,970$).

V preglednici 4 so predstavljene izmerjene količine prepuščenih padavin na raziskovalni ploskvi Gameljne – listavci, in sicer po posameznih letih od 2008 do 2013 ter glede na vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije. Povprečna letna količina prepuščenih padavin na tej ploskvi, v šestletnem obdobju, znaša 1165 mm. Na letni ravni povprečni delež prepuščenih padavin v skupni količini padavin na prostem dosega vrednost 89,1 %. Znotraj vegetacijskega obdobja je padlo v povprečju 766 mm prepuščenih padavin. Odstotek prepuščenih padavin v količini padavin na prostem znaša za vegetacijsko obdobje 83,9 %. Znotraj obdobja mirovanja vegetacije, v katerem je bilo povprečno izmerjeno 399 mm prepuščenih padavin, je ta delež opazno večji (93,7 %).



Slika 20: Delež prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju in obdobju mirovanja vegetacije na ploskvi Gameljne – listavci po posameznih letih obdobja od 2008 do 2013

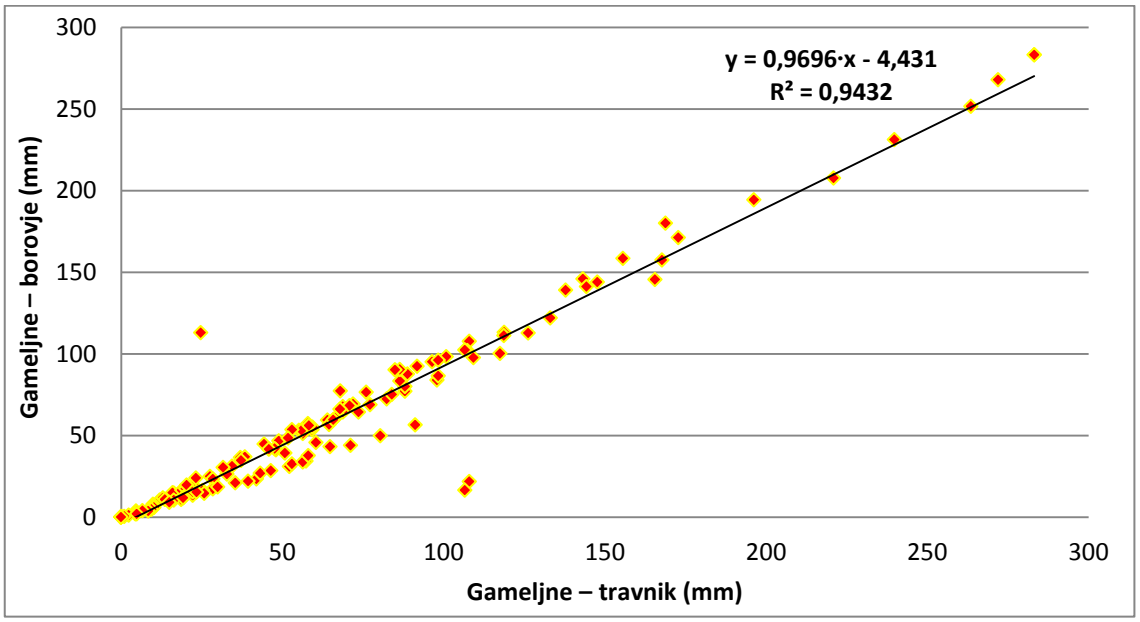
V vseh letih obravnavanega obdobja, razen v letih 2011 in 2012, je delež prepuščenih padavin v obdobju mirovanja vegetacije večji od deleža prepuščenih padavin znotraj vegetacijskega obdobja (slika 20). V obdobju mirovanja vegetacije leta 2010 je bila izmerjena količina prepuščenih padavin celo višja od zabeležene količine padavin na prostem, zato delež prepuščenih padavin presega 100 %.

Podobno visok delež prepuščenih padavin (99 %) velja za obdobje mirovanja vegetacije v letu 2013. Najmanjši delež prepuščenih padavin (54, 7 %), ki se od preostalih let izrazito razlikuje, je bil izračunan za vegetacijsko obdobje leta 2013. Za celotno obravnavano obdobje 2008–2013 (slika 20: »Povprečje«) je v poplavnem gozdu listavcev povprečni delež prepuščenih padavin v obdobju mirovanja vegetacije za 9,8 % večji od deleža prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju.

Za ploskev Gameljne – listavci nismo ugotovili statistično značilnih razlik v količini padavin med vegetacijskim obdobjem in obdobjem mirovanja vegetacije (p = 0,065).

5.3.2 Raziskovalna ploskev Gameljne – borovje

Za izračun vrednosti manjkajočih podatkov o prepuščenih padavinah na ploskvi Gameljne – borovje smo naredili regresijsko analizo med padavinami na prostem, izmerjenimi na ploskvi Gameljne – travnik, in prepuščenimi padavinami na ploskvi Gameljne – borovje.



Slika 21: Regresijska analiza med izmerjenimi prepuščenimi padavinami na ploskvi Gameljne – borovje in količino padavin na prostem na ploskvi Gameljne – travnik. V analizo so vključene količine posameznih vzorčenj padavin v obdobju od marca 2007 do decembra 2014 (n = 141)

Regresijska analiza (slika 21), ki temelji na 141 izmerjenih količinah, nakazuje visoko stopnjo linearne odvisnosti (R^2 = 0,943) prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – borovje od količine padavin na prostem na ploskvi Gameljne – travnik. Tudi Pearsonov korelacijski koeficient izkazuje tesno pozitivno povezanost (r = 0,972; df = 139). Korelacija je statistično značilna ($p < 0,001$).

Za obdobje od januarja 2008 do decembra 2013 v podatkovni bazi za prepuščene padavine na ploskvi Gameljne – borovje ni bilo zabeležnih osem vrednosti, katere smo ocenili s pomočjo regresijske enačbe ($y = 0,9696 \cdot x - 4,431$), ter jih vključili v nadaljne analize. Za spremenljivko x smo uporabili izmerjeno količino padavin na prostem (ploskev Gameljne – travnik).

Primerjava prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – borovje s padavinami na prostem na ploskvi Gameljne – travnik je pokazala, da razlike niso statistično značilne ($p = 0,557$).

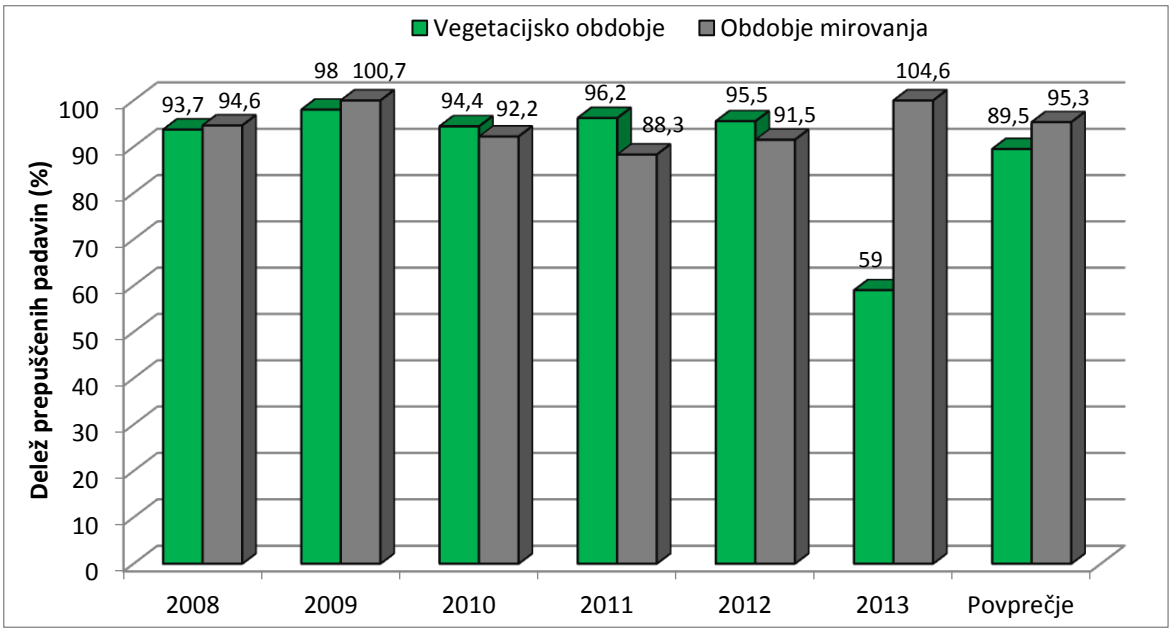
Preglednica 5: Izmerjene količine prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – borovje in njihov delež v količini padavin na prostem (ploskev Gameljne – travnik). Vrednosti so prikazane za posamezna leta obdobja od januarja 2008 do decembra 2013, znotraj leta še glede na vegetacijsko obdobje (VD: 15. 4.–31. 10) in obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–14. 4.)

Leto	Obdobje	Količina prepuščenih padavin (mm)	Število vzorčenj	Delež prepuščenih padavin (% v količini padavin na prostem)
2008	**VD**	881	12	93,7
	DOR	470	8	94,6
	Skupaj	1351	20	94,1
2009	**VD**	870	7	98,0
	DOR	590	4	100,7
	Skupaj	1460	11	99,0
2010	**VD**	1017	9	94,4
	DOR	214	2	92,2
	Skupaj	1231	11	94,0
2011	**VD**	843	13	96,2
	DOR	203	8	88,3
	Skupaj	1046	21	94,6
2012	**VD**	1106	11	95,5
	DOR	409	9	91,5
	Skupaj	1515	20	94,4
2013	**VD**	177	14	59,0
	DOR	570	8	104,6
	Skupaj	747	22	88,4
Povprečje ± st. odklon	**VD**	**816 ± 329**	**66***	**89,5 ± 15,0**
	DOR	**409 ± 169**	**39***	**95,3 ± 6,2**
	Leto	**1225 ± 288**	**105***	**94,1 ± 3,4**

*vsota

Preglednica 5 prikazuje izmerjene količine prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – borovje, in sicer po posameznih letih od 2008 do 2013 ter glede na vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije. Povprečna letna količina prepuščenih padavin na tej ploskvi, v šestletnem obdobju, znaša 1225 mm. Na letni ravni delež prepuščenih padavin v skupni količini padavin na prostem dosega precej visoko vrednost (94,1 %). Znotraj vegetacijskega obdobja je padlo v povprečju 816 mm prepuščenih padavin. Odstotek prepuščenih padavin v količini padavin na prostem znaša za vegetacijsko obdobje 89,5 %. Znotraj obdobja mirovanja vegetacije, v katerem je bilo povprečno izmerjeno 409 mm prepuščenih padavin, je ta delež večji (95,3 %).

Največji delež prepuščenih padavin (104,6 %) je na tej ploskvi zabeležen v obdobju mirovanja vegetacije leta 2013, ko je količina prepuščenih padavin presegla količino padavin na prostem (ploskev Gameljne – travnik). Podoben primer je mogoče opaziti za obdobje mirovanja vegetacije leta 2009, saj delež prepuščenih padavin znaša 100,7 %. Glede najnižjega deleža prepuščenih padavin močno izstopa vegetacijsko obdobje leta 2013, ko je v sestoju padlo zgolj 59 % bruto količine padavin na prostem (slika 22). Morebitne vzroke za takšna odstopanja navajamo v razpravi.



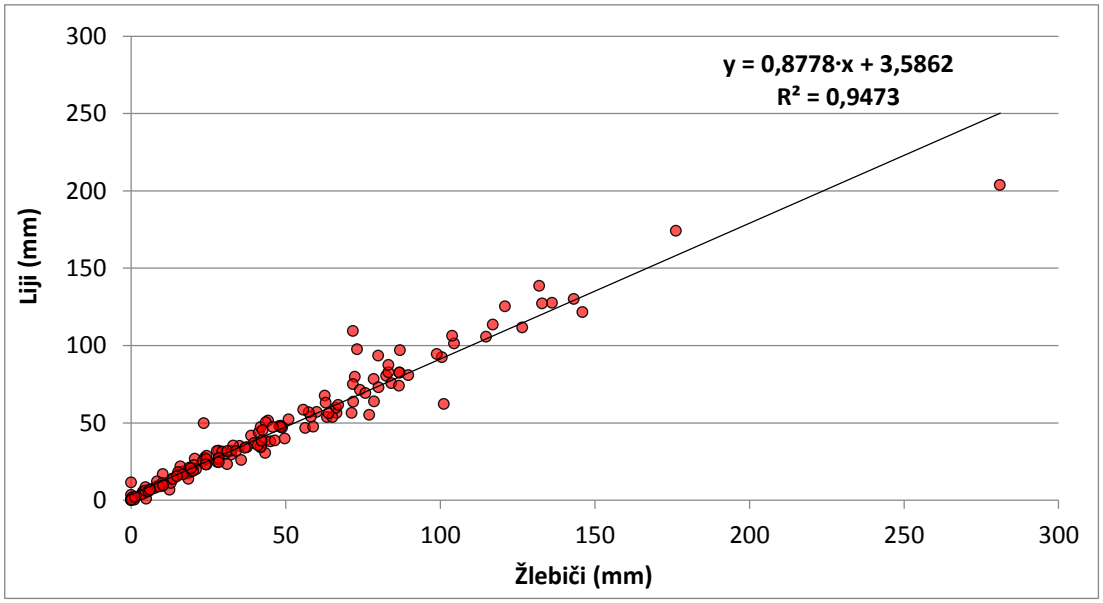
Slika 22: Delež prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju in obdobju mirovanja vegetacije na ploskvi Gameljne – borovje za posamezna leta od 2008 do 2013

V letih 2010, 2011 in 2012 je delež prepuščenih padavin večji v vegetacijskem obdobju kot v obdobju mirovanja vegetacije. To razmerje je v letih 2008, 2009 in 2013 ravno obratno. Za celotno obravnavano obdobje 2008–2013 (slika 22: »Povprečje«) je v obrežnem rdečeborovju (ploskev Gameljne – borovje) povprečni delež prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju za 5,8 % manjši od deleža prepuščenih padavin v obdobju mirovanja vegetacije.

Med vegetacijskim obdobjem in obdobjem mirovanja vegetacije na ploskvi Gameljne – borovje nismo odkrili statistično značilnih razlik (p = 0,302).

5.3.3 Raziskovalna ploskev Rožnik – gozd

Regresijska analiza med liji in žlebiči, izvedena na podlagi 149 vzorčenj (v obdobju od 3. 1. 2007 do 23. 12. 2014), je služila za dopolnitev manjkajočih podatkov prepuščenih padavin na ploskvi Rožnik – gozd.
Pearsonov korelacijski koeficient izkazuje visoko stopnjo pozitivne povezanosti (r = 0,973; df = 147) med izmerjenimi količinami prepuščenih padavin iz lijev in žlebičev. Korelacija je statistično značilna (p < 0,001).



Slika 23: Regresijska analiza prepuščenih padavin, izmerjenih z liji in žlebiči na ploskvi Rožnik – gozd. Linearna odvisnost temeljni na 149 vzorčenjih v obdobju od januarja 2007 do decembra 2014

Regresijska analiza (slika 23) kaže na visoko stopnjo odvisnosti prepuščenih padavin z obeh vrst vzorčevalnikov (R^2 = 0,947). Regresijska enačba se glasi: y = 0,8778·x + 3,5862. Za spremenljivko x smo uporabili izmerjene količine iz žlebičev. Po tej enačbi smo za 28 vzorčenj v obravnavanem obdobju, ko ni bilo na voljo podatkov od lijev, izračunali oziroma ocenili količine prepuščenih padavin.

S pomočjo testa Mann-Whitney smo ugotovili statistično značilne razlike (p = 0,013) med količinami prepuščenih padavin na ploskvi Rožnik – gozd in količinami padavin na prostem na ploskvi Rožnik – travnik. Ničelno hipotezo, da ni razlik med srednjima vrednostma količine padavin na primerjanih ploskvah, zavrnemo s tveganjem α = 5 %. Pri testiranju razlik smo uporabili količine posameznih vzorčenj (n = 156) v obdobju 2008–2013. Spearmanov korelacijski koeficient sicer nakazuje visoko stopnjo povezanosti (ρ = 0,941).

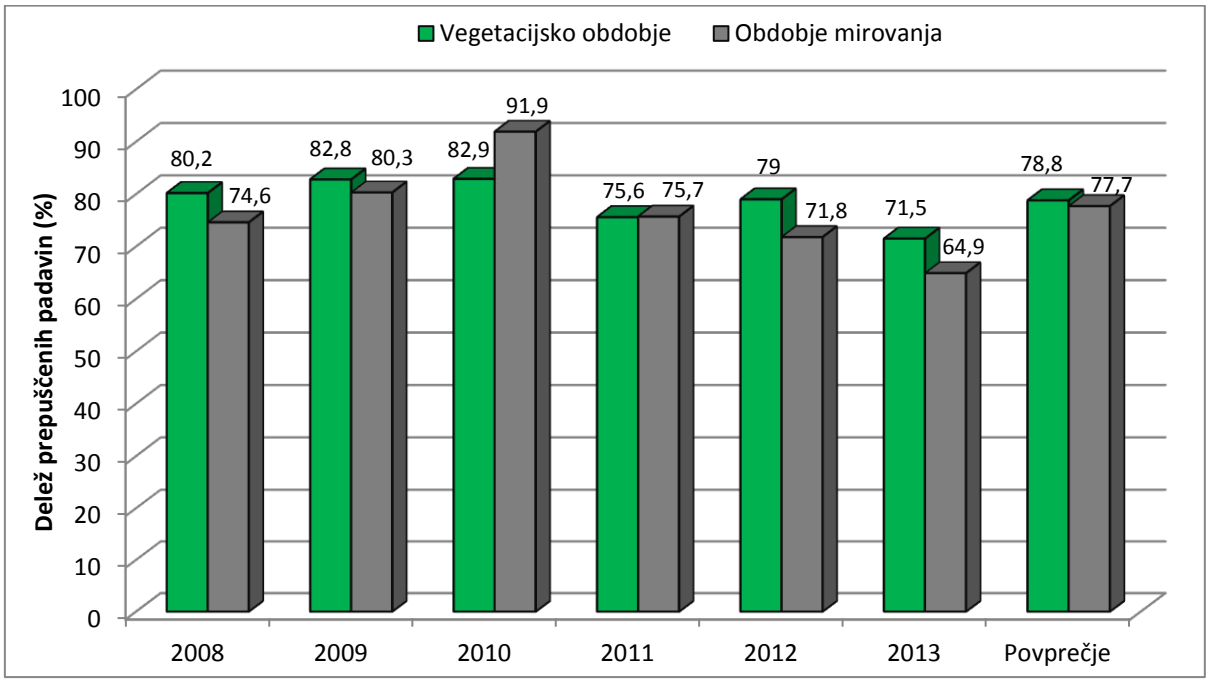
Preglednica 6: Izmerjene količine prepuščenih padavin v sestoju mešanega gozda na Rožniku (ploskev Rožnik – gozd) in njihov delež v količini padavin na prostem (ploskev Rožnik – travnik). Vrednosti so prikazane za posamezna leta obdobja od januarja 2008 do decembra 2013, znotraj leta še glede na vegetacijsko obdobje (VD: 1. 5.–31. 10.) in obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–30. 4.)

Leto	Obdobje	Količina prepuščenih padavin (mm)	Število vzorčenj	Delež prepuščenih padavin (% od količine padavin na prostem)
2008	**VD**	633	14	80,2
	DOR	499	12	74,6
	Skupaj	1132	26	77,6
2009	**VD**	547	14	82,8
	DOR	592	12	80,3
	Skupaj	1139	26	85,2
2010	**VD**	765	14	82,9
	DOR	690	12	91,9
	Skupaj	1455	26	87,0
2011	**VD**	583	14	75,6
	DOR	216	12	75,7
	Skupaj	799	26	75,6
2012	**VD**	725	14	79,0
	DOR	293	12	71,8
	Skupaj	1018	26	76,8
2013	**VD**	381	12	71,5
	DOR	537	14	64,9
	Skupaj	918	26	67,5
Povprečje ± st. odklon	**VD**	**606 ± 138**	**82***	**78,7 ± 4,4**
	DOR	**471 ± 181**	**74***	**76,5 ± 9,1**
	Leto	**1077 ± 226**	**156***	**78,3 ± 7,1**

*vsota

Na ploskvi Rožnik – gozd je v letih od 2008 do 2013 na letni ravni v povprečju padlo 1077 mm prepuščenih padavin, kar predstavlja 78,3 % v količini padavin na prostem (ploskev Rožnik – travnik). Znotraj vegetacijskega obdobja je bila povprečna izmerjena količina prepuščenih padavin 606 mm, v obdobju mirovanja vegetacije pa 471 mm (preglednica 5). Povprečni delež prepuščenih padavin je bil na tej ploskvi nekoliko večji v vegetacijskem

obdobju (78,8 %) kot v obdobju mirovanja vegetacije (77,7 %) (slika 24: »Povprečje«). Sicer je bil največji delež prepuščenih padavin zabeležen v obdobju mirovanja vegetacije leta 2010 (91,9 %), najmanjši pa znotraj obdobja mirovanja vegetacije leta 2013 (64,9 %).

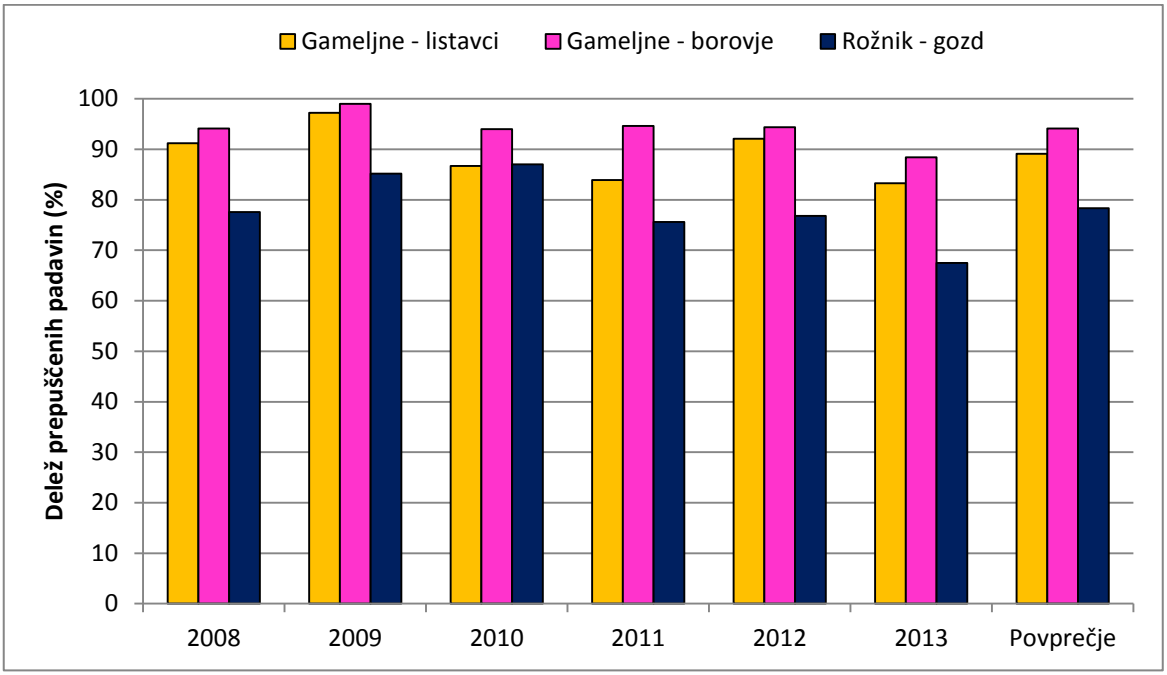


Slika 24: Delež prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju in obdobju mirovanja vegetacije na ploskvi Rožnik – gozd za posamezna leta od 2008 do 2013

V letih 2008, 2009, 2012 in 2013 je bil delež prepuščenih padavin večji v vegetacijskem obdobju, za leti 2010 in 2011 pa velja, da je bil delež prepuščenih padavin večji v obdobju mirovanja vegetacije. Razlika je bila najmanjša v letu 2011 (slika 24).

Za ploskev Rožnik – gozd smo testirali morebitne razlike v količini padavin med vegetacijskim obdobjem in obdobjem mirovanja vegetacije, vendar razlike niso statistično značilne ($p = 0,208$).

5.3.4 Primerjava prepuščenih padavin med raziskovalnimi ploskvami



Slika 25: Deleži prepuščenih padavin (% v količini padavin na prostem) na letni ravni za posamezne raziskovalne ploskve v obdobju od 2008 do 2013

Graf na sliki 25 prikazuje deleže prepuščenih padavin (% v količini padavin na prostem) na letnem nivoju za raziskovalne ploskve Gameljne – listavci, Gameljne – borovje in Rožnik – gozd. V vseh letih je delež prepuščenih padavin največji na ploskvi Gameljne – borovje, saj skoraj v vseh letih presega 90 %. Tako v vegetacijskem obdobju kot v obdobju mirovanja vegetacije je povprečni delež prepuščenih padavin največji na ploskvi Gameljne – borovje. Najmanj prepuščenih padavin je bilo na ploskvi Rožnik – gozd (razen v letu 2010), saj predstavljajo manj kot 80 % količine padavin na prostem.

5.4 OCENJENE INTERVALNE VREDNOSTI ODTOKA PO DEBLU

Rezultati raziskav, ki služijo za ocenitev deleža odtoka po deblu za izbrane peri-urbane in urbane gozdove Ljubljane, so predstavljeni v prilogi E. Objave so združene po izvoru študije (domača, tuja) ter glede vrste gozdov (listavci/listnanti gozdovi, mešani gozdovi, iglavci/iglasti gozdovi). Deleži odtoka vode po deblu se med tipi gozdov in drevesnimi vrstami, kakor tudi znotraj iste drevesne vrste, močno razlikujejo.

5.4.1 Raziskovalna ploskev Gameljne – listavci

Preglednica 7: Uporabljene vrednosti odtoka po deblu iz literature, s pomočjo katerih smo ocenili delež odtoka vode po deblu za glavne drevesne vrste na raziskovalni ploskvi Gameljne – listavci

Drevesna vrsta (DV)	Izmerjen delež odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem)	Vir raziskave (avtor in leto)	Ocena odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem) za DV na ploskvi Gameljne – listavci	Delež (%) temeljnice DV v sestojni temeljnici na ploskvi Gameljne – listavci
Vrbe (*Salix*)	2,9	Yang in sod. (2008)	3,0	31
	3,2	Liu in sod. (2011)		
Topol (*Populus*)	1,5–2,2	Clements (1971)	5,2	23
	5	Clements (1972)		
	6	Mahendrappa (1990)		
	5,4–9,9	Herwitz in Levia (1997)		
Jesen (*Fraxinus*)	2,9–4,5	Šraj (2003)	3,1	17
	2–6	Dalsgaard (2007)		
	1,5	Krämer in Hölscher (2010)		
Javor (*Acer*)	6	Mahendrappa (1990)	3,9	12
	2,3–6,3	Carlyle-Moses in Price (1999)		
	2,4–5	Price in Carlyle-Moses (2003)		
	1,5	Krämer in Hölscher (2010)		
Jelša (*Alnus*)	5,3	Zhang (2009)	5,3	11
Lipovec (*Tilia*)	1,5	Krämer in Hölscher (2010)	1,5	6
Skupaj (ocena odtoka po deblu za sestoj)	**3,8 %** (tehtana aritmetična sredina) **1,4 %** (standardni odklon) **2,4–3,8 %** (ocenjeni interval odtoka po deblu za vegetacijsko obdobje) **3,8–5,2 %** (ocenjeni interval odtoka po deblu za obdobje mirovanja vegetacije)			

Na ploskvi Gameljne – listavci smo za oceno deleža odtoka po deblu za 6 drevesnih vrst uporabili rezultate iz 12 različnih raziskav (preglednica 7). Pri oceni odtoka po deblu smo za posamezno drevesno vrsto izračunali povprečje navedenih vrednosti iz raziskav. Ponderirana sredina, kjer je kot utež uporabljen delež temeljnice drevesne vrste v sestojni (skupni) temeljnici, tako znaša 3,8 %, standardni odklon upoštevanih vrednosti pa 1,4 %. Za vegetacijsko obdobje, ki v tem sestoju traja od 15. 4. do 30. 10., smo ocenili delež odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem) v intervalu 2,4–3,8 %. Ta delež v času mirovanja vegetacije, ko je drevje brez listja (od 1. 11. do 14. 4.), dosega vrednosti med 3,8 in 5,2 %.

5.4.2 Raziskovalna ploskev Gameljne – borovje

Preglednica 8: Uporabljene vrednosti odtoka po deblu iz literature, s pomočjo katerih smo ocenili delež odtoka vode po deblu za glavne drevesne vrste na raziskovalni ploskvi Gameljne – borovje

Drevesna vrsta (DV)	Izmerjen delež odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem)	Vir raziskave (avtor in leto)	Ocena odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem) za DV na ploskvi Gameljne – borovje	Delež (%) temeljnice DV v sestojni temeljnici na ploskvi Gameljne – borovje
Bor (*Pinus*)	1,3–5,7	Loustau in sod. (1992)	1,9	67
	0,4	Valente in sod. (1997)		
	0,5	Bryant in sod. (2005)		
	1,9	Bryant in sod. (2005)		
	0–0,1	Šraj in sod. (2008)		
	4,2	McKee (2010)		
	0,3	Perez in sod. (2013)		
	3,1	Liang (2014)		
Lipovec (*Tilia*)	1,5	Krämer in Hölscher (2010)	1,5	20
Hrast graden (*Quercus*)	0–5	Dolman (1987)	4,4	5
	10	Cantú Silva in Okumura (1996)		
	12,1	Bellot in Escarre (1998)		
	2,3–6,3	Carlyle-Moses in Price (1999)		
	3,4	Mosello in sod. (2002)		
	2,9–4,5	Šraj (2003)		
	2,4–5	Price in Carlyle-Moses (2003)		
	1	Williams (2004)		
	0,7	Bryant in sod. (2005)		
	0,5	Bryant in sod. (2005)		
	12,5	Limousin in sod. (2008)		
	0,4	Hosseini Ghaleh Bahmani in sod. (2012)		

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice 8. Uporabljene vrednosti odtoka po deblu iz literature, s pomočjo katerih smo ocenili delež odtoka vode po deblu za glavne drevesne vrste na raziskovalni ploskvi Gameljne – borovje

Drevesna vrsta (DV)	**Izmerjen delež odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem)**	**Vir raziskave (avtor in leto)**	**Ocena odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem) za DV na ploskvi Gameljne – borovje**	**Delež (%) temeljnice DV v sestojni temeljnici na ploskvi Gameljne – borovje**
Vrbe (*Salix*)	3,2	Liu in sod. (2011)	3,0	3
	2,9	Yang in sod. (2008)		
Beli gaber (*Betulus*)	1,5	Krämer in Hölscher (2010)	1,5	2
Črni gaber (*Ostrya*)	2,9–4,5	Šraj (2003)	2,6	1
Javor (*Acer*)	6	Mahendrappa (1990)	3,9	1
	2,3–6,3	Carlyle-Moses in Price (1999)		
	2,4–5	Price in Carlyle-Moses (2003)		
	1,5	Krämer in Hölscher (2010)		
Smreka (*Picea*)	3	Nihlgard (1970)	3,1	1
	0–0,5	Spittlehouse (1998)		
	8,8	McKee (2010)		
	0–1	Dohnal in sod. (2014)		
Skupaj (ocena odtoka po deblu za sestoj)	**2,0 %** (tehtana aritmetična sredina) **1,3 %** (standardni odklon) **0,7–2,0 %** (ocenjeni interval odtoka po deblu za vegetacijsko obdobje) **2,0–3,3 %** (ocenjeni interval odtoka po deblu za obdobje mirovanja vegetacije)			

Pri oceni deleža odtoka po deblu za 8 drevesnih vrst na ploskvi Gameljne – borovje smo uporabili rezultate iz 24 različnih raziskav (preglednica 8). Ponderirana sredina, kjer je kot utež uporabljen delež temeljnice drevesne vrste v sestojni temeljnici, znaša 2,0 %. Standardni odklon za to povprečje je 1,3 %. Za vegetacijsko obdobje, ki tudi v tem sestoju traja od 15. 4. do 30. 10., smo ocenili delež odtoka po deblu v intervalu od 0,7 do 2,0 %. Ta delež v obdobju mirovanja vegetacije (1. 11.–14. 4.), dosega vrednosti med 2,0 in 3,3 %.

5.4.3 Raziskovalna ploskev Rožnik – gozd

Preglednica 9: Uporabljene vrednosti odtoka po deblu iz literature, s pomočjo katerih smo ocenili delež odtoka vode po deblu za glavne drevesne vrste na raziskovalni ploskvi Rožnik – gozd

Drevesna vrsta (DV)	Izmerjen delež odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem)	Vir raziskave (avtor in leto)	Ocena odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem) za DV na ploskvi Rožnik – gozd	Delež (%) temeljnice DV v sestojni temeljnici na ploskvi Rožnik – gozd
Hrast graden (*Quercus*)	0–5	Dolman (1987)	4,4	42
	10	Cantú Silva in Okumura (1996)		
	12,1	Bellot in Escarre (1998)		
	2,3–6,3	Carlyle-Moses in Price (1999)		
	3,4	Mosello in sod. (2002)		
	2,9–4,5	Šraj (2003)		
	2,4–5	Price in Carlyle-Moses (2003)		
	1	Williams (2004)		
	0,7	Bryant in sod. (2005)		
	0,5	Bryant in sod. (2005)		
	12,5	Limousin in sod. (2008)		
	0,4	Hosseini Ghaleh Bahmani in sod. (2012)		
Smreka (*Picea*)	3	Nihlgard (1970)	3,1	30
	0–0,5	Spittlehouse (1998)		
	8,8	McKee (2010)		
	0–1	Dohnal in sod. (2014)		
Pravi kostanj (*Castanea*)	2,8	Leonardi in sod. (1993)	4,6	15
	6,3	Leonardi in sod. (1993)		

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice 9. Uporabljene vrednosti odtoka po deblu iz literature, s pomočjo katerih smo ocenili delež odtoka vode po deblu za glavne drevesne vrste na ploskvi Rožnik – gozd

Drevesna vrsta (DV)	**Izmerjen delež odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem)**	**Vir raziskave (avtor in leto)**	**Ocena odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem) za DV na ploskvi Rožnik - gozd**	**Delež (%) temeljnice DV v sestojni temeljnici na ploskvi Rožnik - gozd**
Bor (*Pinus*)	1,3–5,7	Loustau in sod. (1992)	1,9	12
	0,4	Valente in sod. (1997)		
	0,5	Bryant in sod. (2005)		
	1,9	Bryant in sod. (2005)		
	0–0,1	Šraj in sod. (2008)		
	4,2	McKee (2010)		
	0,3	Perez in sod. (2013)		
	3,1	Liang (2014)		
Robinija (*Robinia*)	10	Tsiontsis in sod. (2001)	6,2	1
	2,3	Wang in sod. (2013)		
Skupaj (ocena odtoka po deblu za sestoj)	**3,7 %** (tehtana aritmetična sredina) **1,5 %** (standardni odklon) **2,2–3,7 %** (ocenjeni interval deleža odtoka po deblu za vegetacijsko obdobje) **3,7–5,2 %** (ocenjeni interval deleža odtoka po deblu za obdobje mirovanja vegetacije)			

Za 5 drevesnih vrst na ploskvi Rožnik – gozd smo pri oceni odtoka po deblu upoštevali rezultate 25 študij (preglednica 9). Ponderirana sredina za odtok po deblu, kjer je kot utež uporabljen delež temeljnice drevesne vrste v sestojni temeljnici na ploskvi, znaša 3,7 %. Standardni odklon predstavlja 1,5 %. Za vegetacijsko obdobje, ki v tem mešanem gozdu na Rožniku traja od 1. 5. do 30. 10., smo predvideli oceno deleža odtoka po deblu v intervalu od 2,2 do 3,7 %. Ta delež v obdobju mirovanja vegetacije (1. 11.–30. 4.) dosega po naši ocenah vrednosti med 3,7 in 5,2 %.

5.5 SESTOJNE IN PRESTREŽENE PADAVINE

V tem razdelku prikazujemo ocenjene deleže sestojnih in prestreženih padavin na raziskovalnih ploskvah v obdobju od januarja 2008 do decembra 2013. Analize so bile narejene po letih ter ločeno za vegetacijsko obdobje in za obdobje mirovanja vegetacije.

5.5.1 Raziskovalna ploskev Gameljne – listavci

Preglednica 10: Prepuščene padavine (Tf), ocenjeni odtok po deblu (Sf), sestojne padavin (SP) in prestrežene padavine (I) na ploskvi Gameljne – listavci. Vrednosti so prikazane kot deleži (%) v količini padavin na prostem, in sicer glede na vegetacijsko obdobje (VD: 15. 4.–31. 10.), obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–14. 4.) ter po posameznih letih obdobja 2008–2013

Leto	Obdobje	Tf (%)	Sf* (%)	SP* (%)	I* (%)
2008	VD	90,3	2,4–3,8	92,7–94,1	5,9–7,3
	DOR	92,6	3,8–5,2	96,4–97,8	2,2–3,6
	Skupaj	91,2	2,4–5,2	93,6–96,4	3,6–6,4
2009	VD	97,2	2,4–3,8	99,6–101,0	0–0,4
	DOR	97,4	3,8–5,2	101,2–102,6	0
	Skupaj	97,2	2,4–5,2	99,6–102,4	0–0,4
2010	VD	83,5	2,4–3,8	85,9–87,3	12,7–14,1
	DOR	101,7	3,8–5,2	105,5–106,9	0
	Skupaj	86,7	2,4–5,2	89,1–91,9	8,1–10,9
2011	VD	84,2	2,4–3,8	86,6–88,0	12,0–13,4
	DOR	82,6	3,8–5,2	86,4–87,8	12,2–13,6
	Skupaj	83,9	2,4–5,2	86,3–89,1	10,9–13,7
2012	VD	93,5	2,4–3,8	95,9–97,3	2,7–4,1
	DOR	88,8	3,8–5,2	92,6–94,0	6,0–7,4
	Skupaj	92,1	2,4–5,2	94,5–97,3	2,6–5,4
2013	VD	54,7	2,4–3,8	57,1–58,5	41,5–42,9
	DOR	99,0	3,8–5,2	102,8–104,2	0
	Skupaj	83,3	2,4–5,2	85,7–88,5	11,5–14,3
Povprečje (2008–2013)	**VD**	**83,9**	**3,1****	**87,0****	**13,0****
	DOR	**93,7**	**4,5****	**98,2****	**1,8****
	Leto	**89,1**	**3,8****	**92,9****	**7,1****

*ocenjena vrednost
Tf = delež prepuščenih padavin v količini padavin na prostem (P)
Sf = delež odtoka vode po deblu v količini padavin na prostem
SP = delež sestojnih padavin v količini padavin na prostem (SP = Tf + Sf)
I = delež prestreženih padavin (intercepcije) v količini padavin na prostem (I = P – SP)
**sredina intervala

V preglednici 10 smo kot povprečje celotnega obdobja 2008–2013 za posamezne padavinske komponente (Sf, SP, I) prikazali sredine ocenjenih intervalnih vrednosti. V obravnavanem obdobju predstavljajo ocenjene sestojne padavine (vsota izmerjenega deleža prepuščenih padavin in ocenjenega deleža odtoka po deblu) na ploskvi Gameljne – listavci v povprečju 92,9 % od skupne količine padavin z referenčne ploskve na prostem (Gameljne – travnik). Delež sestojnih padavin na tej ploskvi je v povprečju precej večji v obdobju mirovanja vegetacije (98,2 %) kot znotraj vegetacijskega obdobja (87,0 %). Posledično je intercepcija v vegetacijskem obdobju večja (13,0 %) kot v obdobju mirovanja vegetacije, ko dosega zgolj 1,8 % v količini padavin na prostem. Povprečni delež prestreženih padavin znaša na letnem nivoju 7,1 %.

Opazimo lahko primere (podčrtane intervalne vrednosti), ko je bil delež ocenjenih sestojnih padavin večji od 100 %. To velja za leto 2009 (vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije) ter za obdobje mirovanja vegetacije v letih 2010 in 2013. V teh obdobjih prestrezanja padavin v krošnjah dreves sploh ni bilo oziroma je bilo minimalno. Največji delež sestojnih padavin je bil zabeležen v obdobju mirovanja vegetacije (105,5–106,9 %). V vegetacijskem obdobju leta 2013 je ocenjeni delež sestojnih padavin znatno manjši (od 57,1 do 58,5 %) kot v preostalih vegetacijskih obdobjih. V razpravi na kratko pojasnjujemo, zakaj je sploh prišlo do teh maksimalnih oziroma minimalnih vrednosti.

5.5.2 Raziskovalna ploskev Gameljne – borovje

Preglednica 11: Prepuščene padavine (Tf), ocenjeni odtok po deblu (Sf), sestojne padavine (SP) in prestrežene padavine (I) na ploskvi Gameljne – borovje. Vrednosti so prikazane kot deleži (%) v količini padavin na prostem, in sicer glede na vegetacijsko obdobje (VD: 15. 4.–31. 10.), obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–14. 4.) ter po posameznih letih obdobja 2008–2013

Leto	Obdobje	Tf (%)	Sf* (%)	SP* (%)	I* (%)
2008	VD	93,7	0,7–2,0	94,4–95,7	4,3–5,6
	DOR	94,6	2,0–3,3	96,6–97,9	2,1–3,4
	Skupaj	94,1	0,7–3,3	94,8–97,3	2,7–5,3
2009	VD	98,0	0,7–2,0	98,7–100,0	0–1,3
	DOR	100,7	2,0–3,3	102,7–104,	0
	Skupaj	99,0	0,7–3,3	99,7–102,3	0–0,3
2010	VD	94,4	0,7–2,0	95,1–96,4	3,6–4,9
	DOR	92,2	2,0–3,3	94,2–95,5	4,5–5,8
	Skupaj	94,0	0,7–3,3	94,7–97,3	2,7–5,3
2011	VD	96,2	0,7–2,0	96,9–98,2	1,8–3,1
	DOR	88,3	2,0–3,3	90,3–91,6	8,4–9,7
	Skupaj	94,6	0,7–3,3	95,3–97,9	2,1–4,7
2012	VD	95,5	0,7–2,0	96,2–97,5	2,5–3,8
	DOR	91,5	2,0–3,3	93,5–94,8	5,2–6,5
	Skupaj	94,4	0,7–3,3	95,1–97,7	2,3–4,9
2013	VD	59,0	0,7–2,0	59,7–61,0	39,0–40,3
	DOR	104,6	2,0–3,3	106,6–107,9	0
	Skupaj	88,4	0,7–3,3	89,1–91,7	8,3–10,9
Povprečje (2008 – 2013)	**VD**	**89,5**	**1,4****	**90,9****	**9,1****
	DOR	**95,3**	**2,6****	**97,9****	**2,1****
	Leto	**94,1**	**2,0****	**96,1****	**3,9****

*ocenjena vrednost
Tf = delež prepuščenih padavin v količini padavin na prostem (P)
Sf = delež odtoka vode po deblu v količini padavin na prostem
SP = delež sestojnih padavin v količini padavin na prostem (SP = Tf + Sf)
I = delež prestreženih padavin (intercepcije) v količini padavin na prostem (I = P – SP)
**sredina intervala

V obdobju od 2008 do 2013 predstavljajo ocenjene sestojne padavine na ploskvi Gameljne – borovje v povprečju 96,1 % v količini padavin na prostem, ki je bila izmerjena na bližnji ploskvi Gameljne – travnik. Povprečni delež sestojnih padavin v obdobju mirovanja vegetacije (97,9 %) je večji kot znotraj vegetacijskega obdobja (90,9 %). Posledično se večji delež padavin prestreže v vegetacijskem obdobju (9,1 %). Na letni ravni znaša intercepcija 3,9 % v količini padavin na prostem.

Sestojne padavine (kot vsota izmerjenega deleža prepuščenih padavin in ocenjenega deleža odtoka po deblu) dosegajo na tej ploskvi najvišje vrednosti v obdobju mirovanja vegetacije v letih 2009 in 2013. Njihov delež je v teh dveh obdobjih nad 100 % (podčrtane vrednosti v preglednici 11), zato je intercepcija nična. Daleč najmanjši delež pa zavzemajo v vegetacijskem obdobju leta 2012 (59,7–61,0 %).

5.5.3 Raziskovalna ploskev Rožnik – gozd

Preglednica 12: Prepuščene padavine (Tf), ocenjeni odtok po deblu (Sf), sestojne padavine (SP) in prestrežene padavine (I) na ploskvi Rožnik – gozd. Vrednosti so izražene kot deleži (%) v količini padavin na prostem, in sicer ločeno za vegetacijsko obdobje (VD: 1. 5.–31. 10.) in obdobje mirovanja vegetacije (DOR: 1. 11.–14. 4.) ter po posameznih letih od 2008 do 2013

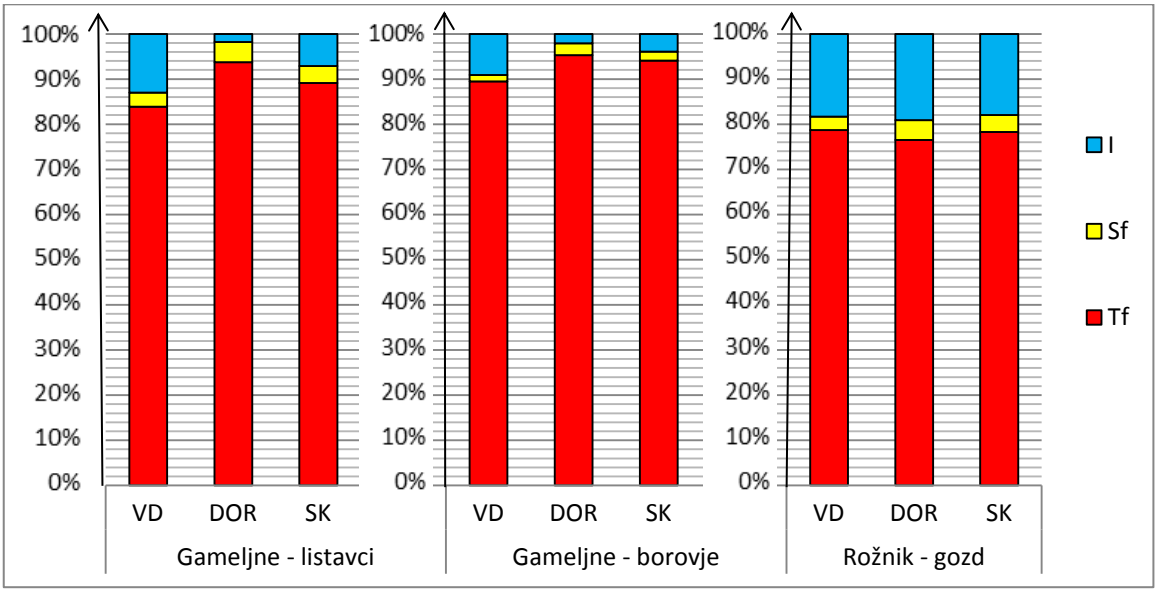
Leto	Obdobje	Tf (%)	Sf* (%)	SP* (%)	I* (%)
2008	VD	80,2	2,2–3,7	82,4–83,9	16,1–17,6
	DOR	74,6	3,7–5,2	78,3–79,8	20,2–21,7
	Skupaj	77,6	2,2–5,2	79,8–82,8	17,2–20,2
2009	VD	82,8	2,2–3,7	85,0–86,5	13,5–15,0
	DOR	80,3	3,7–5,2	84,0–85,5	14,5–16,0
	Skupaj	85,2	2,2–5,2	87,4–90,4	9,6–12,6
2010	VD	82,9	2,2–3,7	85,1–86,6	13,4–14,9
	DOR	91,9	3,7–5,2	95,6–97,1	2,9–4,4
	Skupaj	87,0	2,2–5,2	89,2–92,2	7,8–10,8
2011	VD	75,6	2,2–3,7	77,8–79,3	20,7–22,2
	DOR	75,7	3,7–5,2	79,4–80,9	19,1–20,6
	Skupaj	75,6	2,2–5,2	77,8–80,8	19,2–22,2
2012	VD	79,0	2,2–3,7	81,2–82,7	17,3–18,8
	DOR	71,8	3,7–5,2	75,5–77,0	23,0–24,5
	Skupaj	76,8	2,2–5,2	79,0–82,0	18,0–21,0
2013	VD	71,5	2,2–3,7	73,7–75,2	24,8–26,3
	DOR	64,9	3,7–5,2	68,6–70,1	29,9–31,4
	Skupaj	67,5	2,2–5,2	69,7–27,7	72,3–75,3
Povprečje (2008 – 2013)	**VD**	**78,7**	**3,0****	**81,7****	**18,3****
	DOR	**76,5**	**4,4****	**80,9****	**19,1****
	Leto	**78,3**	**3,7****	**82,0****	**18,0****

*ocenjena vrednost
Tf = delež prepuščenih padavin v količini padavin na prostem (P)
Sf = delež odtoka vode po deblu v količini padavin na prostem
SP = delež sestojnih padavin v količini padavin na prostem (SP = Tf + Sf)
I = delež prestreženih padavin (intercepcije) v količini padavin na prostem (I = P – SP)
**sredina intervala

Na osnovi meritev prepuščenih padavin in ocene odtoka po deblu je ugotovljeno, da v mešanem gozdu na Rožniku (ploskev Rožnik – gozd) dosegajo sestojne padavine (za obdobje 2008–2013) v povprečju 82-odstotni delež bruto padavin na prostem . V tem sestoju je ocenjeni delež sestojnih padavin večji v vegetacijskem obdobju (81,7 %) kot znotraj obdobja mirovanja vegetacije (80,9 %). Delež prestreženih padavin je zato nekoliko večji v obdobju mirovanja vegetacije. Sicer drevesa na tej ploskvi prestrežejo na letni ravni v povprečju 18,0 % količine padavin, ki pade nad drevesnimi krošnjami.

Sestojne padavine dosegajo največji delež v obdobju mirovanja vegetacije leta 2010, ko je bil njihov delež ocenjen v intervalu od 95,6 do 97,1 %. V nobenem primeru ocenjene sestojne padavine ne presežejo količine padavin na prostem. Najmanjši delež sestojnih padavin je zabeležen v obdobju mirovanja vegetacije leta 2013 (68,6–70,1 %).

5.5.4 Primerjava sestojnih in prestreženih padavin med posameznimi raziskovalnimi ploskvami



Slika 26: Deleži izmerjenih prepuščenih padavin (Tf), ocenjenega odtoka po deblu (Sf) in na podlagi osnovne bilančne enačbe ocenjene intercepcije (I) na raziskovalnih ploskvah Gameljne – listavci, Gameljne – borovje in Rožnik – gozd. Vrednosti so prikazane ločeno za vegetacijsko obdobje (VD), obdobje mirovanja vegetacije (DOR) ter celotno šestletno obdobje (SK) od januarja 2008 do decembra 2013

Graf na sliki 26 prikazuje deleže izmerjenih prepuščenih padavin ter dveh ocenjenih komponent osnovne bilančne enačbe – odtoka po deblu in prestreženih padavin. Vsota prepuščenih padavin in odtoka po deblu pomeni sestojne padavine. Tudi vrednosti za sestojne padavine veljajo kot ocena, saj ena od komponent sestojnih padavin, t. j. odtok po deblu, temelji na ocenjenih deležih. 100 % pomeni količino padavin na prostem. Deleži in povprečne količine posameznih padavinskih komponent so prikazane v prilogi G.

Večinski delež v sestojnih padavinah predstavljajo prepuščene padavine. Največji povprečni delež prepuščenih padavin (94,1 %) je značilen za ploskev Gameljne – borovje, najmanjši pa za ploskev Rožnik – gozd (78,3 %). Na ploskvi Gameljne – listavci dosegajo prepuščene padavine 89,1 % količine padavin na prostem. Za oba sestoja v Gameljnah je značilno, da je delež prepuščenih padavin precej večji v obdobju mirovanja vegetacije, medtem ko je za mešani gozd na Rožniku to razmerje za dobra dva odstotka obrnjeno v prid vegetacijskega obdobja.

Ocenjeni delež odtoka po deblu se giblje v intervalu od 1 do 5 %. Največji delež je v povprečju značilen za ploskev Gameljne – listavci (3,8 %), malenkost manjši za ploskev Rožnik – gozd (3,7 %), najmanjši pa za ploskev Gameljne – borovje (2,0 %).

Na osnovi meritev prepuščenih padavin in ocene odtoka po deblu je bilo torej ugotovljeno, da v povprečju znašajo sestojne padavine (za obdobje 2008–2013) 92,9 % na ploskvi Gameljne – listavci, 96,1 % na ploskvi Gameljne – borovje in 82,0 % na ploskvi Rožnik – gozd. Preko osnovne bilančne enačbe smo pridobili tudi ocenjene vrednosti prestreženih padavin. V povprečju največ padavin prestreže sestoj na ploskvi Rožnik – gozd (18,0 %), najmanj pa sestoj na ploskvi Gameljne – borovje (3,9 %). Intercepcija zavzema na ploskvi Gameljne – listavci v povprečju 7,1 % količine padavin na prostem.

6 RAZPRAVA IN SKLEPI

Padavine, kot vremenska spremenljivka in eden od glavnih členov hidrološkega kroga, vplivajo na vrstno sestavo, zgradbo, rast, zdravstveno stanje in dinamiko razvoja gozdnih ekosistemov (Krajnc in sod., 2006). Hkrati velja v nasprotni smeri tudi, da zgradba gozda močno vpliva na to, v kolikšni meri bodo padavine prispele do gozdnih tal, kjer bo voda na voljo vegetaciji ali pa bo odtekla v podtalje oziroma izhlapela nazaj v ozračje. Z gozdom porasla površina ima nedvomno znaten vpliv na vodni režim širšega območja. V splošnem velja, da gozd ugodno vpliva na razporeditev padavinske vode, predvsem preko zadrževanja velikih količin vode ter uravnavanja (zmanjševanja maksimalnih in povečevanja minimalnih) pretokov.

Ljubljana velja za zeleno mesto, saj ima dobro razvito omrežje peri-urbanih in urbanih gozdov. Poleg številnih socialnih in drugih ekoloških funkcij, ki jih zagotavljajo, so ti gozdni ekosistemi izjemnega pomena tudi za prestrezanje in zadrževanje padavin ob večjih (intenzivnejših) padavinskih dogodkih. V tem se kaže njihova hidrološka funkcija. Urbani gozdovi preko procesa prestrezanja padavin blažijo erozijske procese in posledice izrednih vremenskih pojavov. Zaradi podnebnih sprememb so že nekaj časa v porastu vodne ujme (Jakopič, 2010), ki urbanim predelom ne prizanašajo.

V magistrskem delu smo ugotavljali vpliv drevesne sestave in zgradbe gozdnega sestoja na sposobnost zadrževanja padavin. Z meritvami padavin na prostem in prepuščenih padavin ter ocenitvijo odtoka po deblu smo pričakovano ugotovili, da se sestojne padavine (njih količina oziroma delež) v izbranih peri-urbanih in urbanih gozdovih Ljubljane razlikuje. Ti gozdovi imajo različno drevesno sestavo in sestojno zgradbo (gostota, dimenzije, vertikalna slojevitost). S tem lahko potrdimo našo prvo delovno hipotezo (H1).

Pri drugi hipotezi (H2) smo predpostavili, da je delež sestojnih padavin v padavinah na prostem večji v nižinskem poplavnem gozdu listavcev (raziskovalna ploskev Gameljne – listavci) kot v preostalih dveh sestojih (raziskovalni ploskvi Gameljne – borovje in Rožnik – gozd). Rezultati vzorčenj padavin za obdobje 2008–2013 pa kažejo, da je delež sestojnih padavin (vsota prepuščenih padavin in odtoka po deblu) največji v obrežnem rdečeborovju

(ploskev Gameljne – borovje), saj v povprečju dosegajo vrednost 96,1 %. Tako velik delež je posledica velike količine (oziroma visokega deleža) prepuščenih padavin. Najmanjši delež (82,0 %) sestojnih padavin je značilen za mešani gozd na Rožniku (ploskev Rožnik – gozd). Na podlagi tega lahko našo drugo hipotezo (H2) zavrnemo.

Za poplavni gozd listavcev ob reki Savi smo največji delež sestojnih padavin predvideli predvsem zaradi drevesne sestave, saj na ploskvi Gameljne – listavci ni iglavcev, ki imajo večjo prestrezno kapaciteto in v obdobju mirovanja vegetacije ne zmanjšajo indeksa listne površine. Listavci so pozimi brez listja, zato bi v listnatem gozdu pričakovali večjo količino prepuščenih padavin v obdobju mirovanja vegetacije. Na ploskvi Gameljne – borovje uspeva gozd pionirskega značaja, sestojni sklep je pretrgan (vrzelast) in posledično veliko padavin prispe do gozdnih tal.

Na ploskvah Gameljne – listavci in Gameljne – borovje v nekaterih obdobjih sestojne padavine presežejo količino padavin na prostem – njihov delež je nad 100 %. Te vrednosti so lahko posledica napak meritev prepuščenih padavin ali precenjenega deleža odtoka po deblu. Možno pa je tudi, da so bile vzorčne količine prepuščenih padavin dejansko tako visoke in je bilo na tem mestu sestoja nekoliko več padavin kot na bližnjem travniku. Tudi v drugi literaturi gozdne hidrologije so bile ugotovljene takšne, ne tako redke posebnosti (na primer Šraj in sod., 2008b; Vilhar, 2006).

Rezultati naših meritev prepuščenih padavin se z izsledki izbranih študij (priloga F) le deloma ujemajo. V listnatih gozdovih zmernega pasu se delež prepuščenih padavin giblje v intervalu od 57 do 87 %, za sestojne padavine pa se v splošnem predpostavlja delež med 70 in 90 % od skupne količin padavin. V nižinskem poplavnem gozdu listavcev (ploskev Gameljne – listavci) smo ugotovili večji delež izmerjenih prepuščenih padavin (89,1 %), kakor tudi ocenjenih sestojnih padavin (92,9 %). V tem gozdu je sklep krošenj rahel, posamezna odrasla topolova drevesa so v terminalni fazi, ostala drevesa v zgornjem sloju pa so manjših dimenzij. Sklepamo, da je tako visoka vrednost, poleg opisane sestojne zgradbe, deloma posledica tudi neenako dolgih časovnih intervalov vzorčenj in nadomestitve v podatkovni bazi manjkajočih vrednosti preko regresije med prepuščenimi padavinami in padavinami na prostem.

Poudariti je potrebno tudi dejstvo, da takšni gozdni ekosistemi v sodobnem času veljajo za skoraj edinstvene. Večina vodotokov v urbaniziranih območjih v Evropi je bila zaradi regulacije rečnih strug močno spremenjenih, posledično se je spremenila tudi obvodna vegetacija. Ohranjeni peri-urbani poplavni gozdovi so tako prava redkost, tovrstne sestoje se v hidroloških raziskavah le redko obravnava.

Preostala dva sestoja lahko uvrstimo v kategorijo mešanih gozdov, vendar se med seboj po sestojnih parametrih bistveno razlikujeta.

Na ploskvi Gameljne – borovje je gostota dreves največja, zato bi pričakovali tudi večji delež prestreženih padavin. V zgornji sestojni plasti prevladuje rdeči bor, ki ima bolj redko krošnjo kot na primer smreka, ki je prevladujoči iglavec na ploskvi Rožnik – gozd. V spodnji plasti obrežnega rdečeborovja je velik delež lipovca (51 %). Kljub temu je na tej ploskvi delež padavin, ki prispejo do tal, največji (96,1 %). Sklepamo, da na sposobnost sestoja za prestrezanje padavin močno vplivajo sklep krošenj in dimenzije dreves. Na tej ploskvi so debeline in višin dreves ter velikosti krošenj manjše, kar verjetno rezultira v velikem deležu prepuščenih padavin. Hkrati je sklep krošenj zelo pretrgan (vrzelast). Enako kot na ploskvi Gameljne – listavci so bile prepuščene padavine spremljane v neenakih časovnih intervalih in je napaka meritev večja. V takšnih heterogenih sestojih, kot so na ploskvah Gameljne – borovje in Gameljne - listavci, bi bilo za izboljšanje vzorčne ocene vredno postaviti večje število vzorčevalnikov prepuščenih padavin. Zato za obe raziskovalni ploskvi (Gameljne – listavci in Gameljne – borovje) priporočamo zgostitev mreže vzorčevalnikov ter redne meritve v 14- ali 7-dnevnih časovnih intervalih.Vendar je pri merilni opremi potrebno upoštevati tudi finančne zmožnosti. Natančno merjenje padavin oziroma tokov padavinske vode v gozdnem ekosistemu je zagotovo zahtevna in draga naloga.

Na raziskovalni ploskvi Rožnik – gozd so bile prepuščene padavine spremljane redno na 14 dni. Sklepamo, da so zato rezultati meritev na tej ploskvi najbolj zanesljivi. Izpadov meritev praktično ni bilo, za nadomestitev manjkajočih podatkov smo uporabili regresijsko analizo med dvema tipoma vzorčevalnikov (liji in žlebiči). V mešanem gozdu na Rožniku je delež iglavcev največji, dimenzije dreves (debelina, višina) so v primerjavi s sestojema v

Gameljnah večje. Izpostaviti velja zlasti odrasla smrekova drevesa z velikimi krošnjami. Sestojni sklep je pravilen (normalen), mestoma presvetljen. Horizontalna in vertikalna zgradba sestoja je bolj homogena v primerjavi s ploskvama Gameljne – listavci in Gameljne – borovje. Posledično smo na ploskvi Rožnik – gozd dobili v povprečju največji delež prestreženih padavin (18,0 %). Za prepuščene padavine v mešanih gozdovih lahko, glede na izsledke dosedanjih študij, opredelimo razpon vrednosti med 69 in 98 %. V naših dveh mešanih sestojih (Gameljne – borovje in Rožnik – gozd) so deleži prepuščenih padavin ravno v tem intervalu.

Na grafih (sliki 20 in 22), ki ponazarjata deleže prepuščenih padavin po posameznih letih na ploskvah v Gameljnah, opazno izstopata vrednosti v vegetacijskem obdobju leta 2013. Deleža sta namreč, v primerjavi z ostalimi leti, bistveno manjša.

Struktura sestoja na ploskvi Gameljne – listavci se je v zadnjem obdobju precej spremenila. Veliko odraslih topolovih dreves je odmrlo, zato je bil dotok svetlobe do tal večji. Posledica tega je bil nagel razvoj pritalne vegetacije. Pri fitocenoloških popisih so bile v tem sestoju identificirane številne invazivne rastlinske vrste, ki s pridom izkoriščajo poplave za širjenje svojega reprodukcijskega materiala (Verlič in sod., 2014). Obrečni, močvirni in poplavni gozdovi so med vsemi našimi gozdnimi tipi najbolj izpostavljeni vdoru in subspontanemu širjenju invazivnih tujerodnih vrst (Dakskobler in sod., 2013). V zeliščni in grmovni plasti tako prevladujejo zlasti japonski dresnik (*Fallopia japonica*), žlezava nedotika (*Impatiens grandulifera*), kanadska zlata rozga (*Solidago gigantea)* in deljenolistna rudbekija (*Rudbeckia laciniata*) (Vilhar in sod., 2013a). Ker imajo omenjeni neofiti izjemen rastni potencial, domnevamo, da je v vegetacijskem obdobju leta 2013 prišlo do zakrivanja vzorčevalnikov, saj so bile izmerjene količine prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – listavci znatno nižje od prejšnjih let.

Za izognitev podobnim teževam v prihodnje, bi bilo dobro, da se že na začetku vegetacijskega obdobja, in po potrebi med samo rastno sezono, preveri ter z ustreznimi (zatiralnimi) ukrepi odstrani morebitno prerast. Kljub temu je obvladovanje in zatiranje invazivk zelo težavno. Mehansko zatiranje (odstranjevanje posamičnih rastlin) je drago in največkrat neuspešno. Razvija se biotično zatiranje (Dolšina, 2012). V gozdnem prostoru

pa se še vedno kot najbolj racionalen (in sonaraven) ukrep za zmanjšanje negativnih vplivov invazivk omenja zastiranje pritalne vegetacije z dovolj gostim sklepom drevesnih krošenj (zmanjšan dotok svetlobe do tal).

Slika 27: Bujna podrast in grmovnice zakrivajo vzorčevalnike prepuščenih padavin na ploskvi Gameljne – listavci (foto: Janez Kermavnar, 28. 7. 2015)

Tudi na ploskvi Gameljne – borovje bujno razrast pritalne vegetacije omogoča pretrgan (vrzelast) sklep v drevesni plasti. V nadaljnih raziskavah bi bilo potrebno za te ploskve oziroma sestoje preučiti vpliv pritalne vegetacije na prestrezanje padavin in odtok vode po deblu.

Na splošno bi za prepuščene padavine pričakovali, da je njihov delež večji v obdobju mirovanja vegetacije (ko je drevje brez listja) kot v vegetacijske obdobju (ko so listnate drevesne vrste olistane). Predpostavko dokazujejo tudi rezultati nekaterih drugih študij, ki so objavljeni v prilogi F. Rezultati naših meritev pa za ploskev Rožnik – gozd kažejo večji povprečni delež prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju. Podobne primere lahko opazimo tudi za posamezna leta na obeh ploskvah v Gameljnah. Vzrok za večji delež prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju lahko pripišemo večji intenziteti padavin. Na grafu (slika 17) je jasno razvidno, da so povprečne urne intenzitete padavin (mm/h) na

najbližji meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad večje v vegetacijskem obdobju oziroma v poletnih mesecih (slika 18). V času poletnih neviht (nalivov) se skladiščna kapaciteta krošenj zapolni bistveno hitreje, kar posledično privede do kapljanja padavinske vode na tla in večji količini prepuščenih padavin. Enake ugotovitve so bile potrjene tudi v drugih raziskavah (Vilhar, 2006; Šraj in sod., 2008a; Perez in sod., 2013).

Izmerjene količine padavin na prostem na dveh ploskvah (Gameljne – travnik in Rožnik – travnik) smo primerjali s količino padavin na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad (delovna hipoteza H3). Želeli smo preveriti, koliko se izmerjene količine padavin v posameznih časovnih intervalih ujemajo. Z regresijskimi analizami smo ugotovili, da se s podatki ARSO arhiva bolje ujemajo količine vzorčenj na ploskvi Rožnik – travnik. Delno je k temu zagotovo pripomoglo tudi redno spremljanje (na 14 dni) padavin na Rožniku. Na ploskvi Gameljne – travnik so vzorčenja potekala v različno dolgih časovnih intervalih. Na tem mestu želimo izpostaviti pomen rednega monitoringa padavin in ostalih proučevanih spremenljivk v gozdnih ekosistemih. Hipotezo H3 lahko le delno potrdimo.

Pri delovni hipotezi H4 smo z uporabo neparametričnih statističnih metod preizkusili, ali se količine prepuščenih padavin med vegetacijskim obdobjem ter obdobjem mirovanja vegetacije znotraj posamezne raziskovalne ploskve značilno razlikujejo. V nobenem primeru razlike niso statistično značilne, tako da je bila H4 zavrnjena. Vendar lahko glede na izide testov (manjša p-vrednost pomeni večje razlike) povzamemo, da so razlike med vegetacijskim obdobjem in obdobjem mirovanja vegetacije največje na ploskvi Gameljne – listavci ($p = 0,065$). To je pričakovano, saj na tej ploskvi uspevajo samo listavci in je razlika v indeksu listne površine med vegetacijskim obdobjem in obdobjem mirovanja vegetacije največja. Najmanjše razlike veljajo za ploskev Gameljne – borovje ($p = 0,302$).

S statističnimi preizkusi smo ugotavljali tudi razlike v količini padavin med raziskovalnimi ploskvami. Statistično značilne razlike smo potrdili le pri primerjavi prepuščenih padavin na ploskvi Rožnik – gozd in padavin na prostem na ploskvi Rožnik – travnik. Primerjava med sestojem na Rožniku in sestojema v Gameljnah ni bila mogoča, saj datumi vzorčenj prepuščenih padavin niso sovpadali. Letne količin padavin ali količine padavin znotraj

obdobja (vegetacijsko obdobje, obdobje mirovanja vegetacije) nam niso omogočale korektnih preizkusov, saj so bili vzorci premajhni (n = 6).

Odtok po deblu dreves smo ocenili na podlagi rezultatov drugih raziskav. To je glavna pomanjkljivost našega metodološkega pristopa, saj se napaka v oceni odtoka po deblu prenese tudi na oceno sestojnih padavin in intercepcije. Le tako smo lahko pridobili dokaj realne (pričakovane) intervalne ocene odtoka po deblu. Želeli smo, da bo ocena pri vseh treh proučevanih sestojih peri-urbanih in urbanih gozdov pridobljena na enak način in bodo v nadaljevanju analize mogoče primerjave med raziskovalnimi ploskvami.

Na nobeni od naših raziskovalnih ploskev ni bukve, ki je, vsaj v primerjavi z ostalimi vrstami gozdnega drevja, sposobna proizvesti velike količine odtoka po deblu. Na ploskvi Gameljne – listavci je delež listavcev z gladkim lubjem največji, zato smo predvideli, da bi utegnila biti maksimalna vrednost odtoka po deblu prav v tem gozdu najvišja. K večji produkciji odtoka po deblu zelo verjetno nekaj prispevajo tudi grmovne vrste (na primer Garcia-Estringana in sod., 2010) oziroma pritalna vegetacija.

Na ploskvi Gameljne – borovje v zgornji sestojni plasti prevladuje rdeči bor, ki je v večini zajetih raziskav dosegal precej nizke deleže odtoka po deblu, večinoma zaradi grobega lubja in dokaj velike skladiščne zmogljivosti krošnje (Zabret, 2013). Na tej ploskvi je v spodnji sestojni plasti veliko listavcev (na primer lipovec in beli gaber z gladko skorjo), tako da se na sestojni ravni vseeno predpostavlja nekaj odstotni delež odtoka po deblu. Upoštevati je potrebno tudi dejstvo, da je sklep zgornjega dela sestoja vrzelast in lahko padavine padejo neposredno na spodnjo plast listavcev.

Poglavitna razlika mešanega gozda na Rožniku (ploskev Rožnik – gozd) od dveh sestojev ob reki Savi je v dimenzijah dreves. Drevesa v tem sestoju dosegajo večje debeline in višine, tudi krošnje dreves so v povprečju večje, sestoj je v fazi debeljaka. To zagotovo vpliva tudi na produkcijo odtoka po deblu.

V naši raziskavi so vrednosti odtoka po deblu ocenjene. Pomembno je ločiti med produkcijo odtoka po deblu posameznih drevesnih vrst oziroma posameznih dreves ter

odtok po deblu na nivoju celotnega sestoja. Sprva so se nam zdele vrednosti za nekatere drevesne vrste previsoke. Predvsem intervalna ocena odtoka po deblu za sestoj na ploskvi Rožnik – gozd je nekoliko precenjena, saj ima večina odraslih dreves listopadnih drevesnih vrst (na primer graden ali robinija) razbrazdano skorjo, kar je ena od odločilnih lastnosti dreves za produkcijo odtoka po deblu. Poleg tega je na tej ploskvi največji delež iglavcev, pri katerih je odtok po deblu značilno manjši kot pri listavcih (Barbier in sod., 2009). Zagotovo pa to nista edina vplivna dejavnika produkcije odtoka po deblu, ampak gre v veliki meri za odvisnost od padavinskih razmer, interakcije med drevesi različnih socialnih položajev in postavitve vzorčevalnikov na izbrana debla dreves v sestoju. Vendar celokupno lahko predpostavljamo, da bi se vrednosti odtoka po deblu, pridobljene z dejanskimi meritvami, gibale v podobnih intervalih.

V urbanih središčih so zelene površine, še posebej pa gozdovi, pomembni z vidika zadrževanja vode. Gozd s svojimi gostimi krošnjami, listnim opadom in gozdnimi tlemi uravnava količino vodnih virov ter kot naravni filter za onesnažila ohranja kakovost vode. Gozd velja tudi za velikega porabnika vode, vendar vodotoki, ki se napajajo iz gozdnatih zlivnih območjih, presahnejo kasneje kot drugi. Pri velikih količinah padavin pa je zaradi enakomernejšega odtekanja zmanjšana površinska erozija in nevarnost poplav.

S hidrološkega (vodarskega) stališča je ugodneje, da gozd prepusti čim večjo količino padavin do tal, saj je s tem pogojno zagotovljena večja količina vode za obnovo zalog vodnih virov. Vendar je vmes še eden od ključnih dejavnikov, ki je pogostokrat prezrt. To so lastnosti gozdnih tal, ki v veliki meri odločajo, ali se bo padavinska voda dejansko inflitrirala v podzemlje. V primerjavi z drugače poraslimi tlemi, kaže gozd najugodnejše lastnosti glede talnih razmer. Obenem je potrebno poudariti, da je učinek gozda na zdrževanje vode omejen na obdobja, ko tla niso nasičena z vodo. V primeru kratkih, intenzivnih padavin na majhnem območju ali dolgotrajnega močnega deževja na velikem območju, se vpliv gozda na visoke odtoke ali poplave bistveni zmanjša, v primeru kritične količine padavin pa celo izniči (Chang, 2003; cit. po Vilhar in sod., 2008).

Gozdarski vidik je pri obravnavi padavin v gozdnem sestoju nekoliko drugačen. Zagovarjamo blažilni učinek prestrezanja padavin v krošnjah dreves na zmanjševanje

erozijskih procesov v urbaniziranih območjih, ki pride najbolj do izraza pri veliki količini padavin. Iz tega sledi, da zlasti mešani in tudi iglasti gozdovi (ki so mehansko stabilni in biološko odporni oziroma prilagojeni konkretnim rastiščnim razmeram) ugodneje uravnavajo razmerje med sestojnimi padavinami in intercepcijo. Delež sestojnih padavin (padavinska voda, ki doseže gozdna tla) naj bo kompromis med prestreženo (zadržano) vodo v krošnjah dreves in prepuščenimi padavinami (ter odtoka po deblu), ki so esencialni vir za rast gozdnega drevja ter za napajanje površinskih in podzemnih zalog vode. Na to ravnotežje vpliva tudi to, v kolikšni meri opravljajo urbani gozdovi varovalno funkcijo. Na strmih pobočjih in plitvih tleh, kjer obstaja nevarnost ogolitve tal oziroma zakrasevanja, imajo ponavadi erozijski procesi precej drastične posledice. Zato je na takšnih občutljivih rastiščih ključnega pomena, da drevje prestreže čim več padavin in da preplet korenin dreves zadržuje tla na svojem mestu.

Zgradba gozda neposredno vpliva na vodne tokove gozdnega ekosistema. Količino presežene vode (tisti del padavinske vode, ki je gozd ni porabil za svojo rast in ostaja v tleh kot zaloga) lahko povečamo z močnim redčenjem ali sečnjo na golo (ki pa je pri nas zakonsko prepovedana), vendar lahko večja količina presežne vode povzroči erozijske procese ter slabšo kakovost vode zaradi spiranja tal.

V urbanem gozdu na Rožniku, kjer je režim gospodarjenja prilagojen splošnokoristnim vlogam, se z gozdnogojitvenimi ukrepi prvenstveno krepi nekatere druge, bolj poudarjene (socialne) funkcije; na primer rekreacija – odstranjevanje posameznih dreves, ki so nevarna za okolico. Kljub temu je pri poseganju v mnogonamenski gozd smiselno upoštevati tudi hidrološko funkcijo (regulacija vodnega odtoka), ki jo lahko izpolnjujejo le ustrezno stabilni in strukturirani gozdni sestoji. V raziskavi smo ugotovili, da je sklep krošenj eden od ključnih parametrov, ki vpliva na količino oziroma delež prepuščenih padavin, posledično tudi na sestojne padavine. Zato je obstoječi mešani gozd na Rožniku precej dober približek tistega, kar si želimo. Pomembno je vzdrževanje normalnega sestojnega sklepa, prevelike sestojne vrzeli niso primerne – ukrepamo malopovršinsko. Dovolj iglavcev (smreke) omogoča zadostno količino prestreženih padavin, še zlasti vitalna odrasla drevesa z velikimi in gostimi krošnjami v strehi sestoja. Seveda pri smreki obstaja tveganje zaradi podlubnikov in ranljivosti za močan veter. Pestro vertikalno slojevitost

lahko dosegamo z listavci (graden, pravi kostanj, gorski javor, robinija) v sovladajočem položaju in podstojni plasti. Tako strukturirani gozdovi so tudi bolj stabilni.

Peri-urbani gozdovi ob reki Savi v Gameljnah so primarno namenjeni nekoliko drugačnim vlogam. Služijo namreč kot ločitveno območje oziroma »tamponska cona« (angl. *buffer zone*), ki ločuje Savo od kmetijskih površin in z njimi povezanimi negativnimi vplivi na okolje. V občinskih prostorskih načrtih MOL je zapisano, da se teh gozdnih ekosistemov ne sme izkrčiti, saj je namenska raba prostora opredeljena kot gozd (Urbinfo, 2015). Ti gozdovi so pomembni z vidika vodnih virov – gre za ožje vodovarstveno območje s strožjim režimom varovanja (Uredba o območju ..., 2003, s spremembami in dopolnitvami; Uredba o vodovarstvenem ..., 2015), hkrati pa zagotavljajo varstvo pred poplavami – območje srednje nevarnosti (obrečni poplavni gozd listavcev) oziroma območje preostale nevarnosti (obrežno rdečeborovje) (Uredba o pogojih ..., 2008, s spremembami in dopolnitvami; Občinski prostorski načrt ..., 2010). Gospodarjenje z gozdom je zelo omejeno, nenegovani gozdni sestoji so prepuščeni naravnemu razvoju. Posledično težko podamo smernice za ukrepe, s katerimi bi realno (pre)oblikovali primerno zgradbo sestoja.

Na osnovi osnovne bilančne enačbe (razlika med padavinami na prostem in sestojnimi padavinami) smo ocenili vrednosti za prestrežene padavine oziroma intercepcijo.
Na ploskvah Gameljne – listavci in Gameljne – borovje sta deleža intercepcije večja v vegetacijskem obdobju kot v obdobju mirovanja vegetacije. Nižje vrednosti prestreženih padavin v času mirovanja vegetacije se ujemajo z največjimi količinami padavin, ki prispejo do tal. Skupno je v celotnem analiziranem obdobju (2008–2013) povprečno največ padavin prestregel mešani gozd na Rožniku (18,0 %), s to razliko, da je bil delež intercepcije v tem gozdu večji v obdobju mirovanja vegetacije. Torej skoraj petina padavin, padlih nad drevesnimi krošnjami, ne doseže gozdni tal oziroma izhlapi nazaj v ozračje.

Na ploskvi Rožnik – gozd je največ iglavcev, zato je večji delež pretreženih padavin v krošnjah dreves pričakovan, saj imajo iglavci v primerjavi z listavci večjo prestrezno in skladiščno kapaciteto. Na ploskvah ob reki Savi so ocenjene vrednosti prestreženih padavin bistveno nižje – 7,1 % na ploskvi Gameljne – listavci in le 3,9 % na ploskvi

Gameljne – borovje. Prestrežene padavine se v iglastih gozdovih gibljejo med 15 in 49 %, v gozdovih listavcev pa med 10 in 20 % (Šraj in sod., 2008a). Torej je delež intercepcije na ploskvi mešanega gozda na Rožniku dokaj primerljiv, medtem ko je na ploskvah v Gameljnah ta delež nižji.

V nalogi smo skušali poudariti večplasten pomen urbanih gozdov, ki v sodobnem času pridobivajo na veljavi po vsem svetu. V zadnjih letih se vedno več pozornosti namenja mnogim okoljskim dobrinam, ki jih zagotavljajo urbani in peri-urbani gozdovi. Oskrba s svežo pitno vodo, njeno naravno prečiščenje oziroma filtriranje, uravnavanje vodnega odtoka in erozije tal so pomembne ekosistemske storitve, tesno povezane z blaginjo mestnega prebivalstva (Vilhar in Simončič, 2012). V Sloveniji imamo visok delež gozdnih površin, a gozd je v urbanih predelih podvržen številnim pritiskom.

Obenem smo želeli prikazati, kako odločilno se razlikujejo procesi, potem ko padavine dosežejo krošnje dreves, med gozdom in negozdno površino. Ko padavine padejo na odprto površino, poraslo s skromno obliko vegetacije (na primer travo), se voda infiltrira v tla ali odteče v obliki površinskega odtoka, kar lahko povzroči erozijo tal. Gozd kot kompleksno zgrajena oblika vegetacije pa s svojo dinamično strukturo povzroči prenekatere procese, povezane s padavinsko vodo. Te razlike povzročajo pomembne ekološke posledice. Razlike v deležih posameznih padavinskih komponent osnovne bilančne enačbe so posledica različnih struktur in lastnosti proučevanih gozdnih sestojev, kakor tudi drugih spremenljivk (na primer značilnosti padavinskih dogodkov).

V prvi vrsti, gozdni ekosistem je zaradi svojih dimenzij sposoben prestreči bistveno več padavin kot druga vegetacija. Njegova skladiščna zmogljivost (kapaciteta) povzroči količinski deficit in časovni zamik vodnih tokov. Ob tem prihaja do izraza medsebojno sovplivanje drevesnih krošenj in gozdnih tal. Del padavin pade skozi odprtine krošenj neposredno na gozdna tla, manjši delež vode odteče tudi po drevesnih deblih. Površinski odtok je na gozdnih tleh redek pojav, saj obsežni koreninski sistemi dreves zaradi velikih potreb hitro absorbirajo inflitrirano vodo. Višek vode odteče v podtalje in je namenjen polnjenju podtalnice oziroma vodonosnikov. Hkrati gozdni ekosistem preko opisanih

procesov ne deluje zgolj kot količinski pač pa tudi kot kakovostni filter, kar je z vidika virov pitne vode enako, če ne še bolj pomembno.

V naravnem kroženju vode je od poraslosti tal odvisno, kam in kako bodo padavine odtekle ter kolikšen del bo lahko uporabil človek. Z vidika gozdne hidrologije in kriterijev urbanega gozdarstva predstavljajo urbani gozdovi na mestnih območjih dragocene ekosisteme, saj pomembno vplivajo na količino in kakovost vodnih virov. Zato je urbane gozdne ekosisteme, ki so v takšnih okoljih podvrženi številnim pritiskom oziroma negativnim dejavnikom, potrebno varovati in ohranjati v čim bolj zdravem stanju. Njihovo stanje in sestojno zgradbo je potrebno tudi redno spremljati.

7 POVZETEK

V magistrskem delu so bile za ovrednotenje sestojnih padavin določene raziskovalne ploskve v peri-urbanih (primestnih) in urbanih (mestnih) gozdovih znotraj meja Mestne občine Ljubljana. Z našo nalogo smo želeli razložiti pomen izbranih peri-urbanih in urbanih gozdov za prestrezanje padavin ter zadrževanje vode v krošnjah dreves. Glavni namen: preučiti odvisnost sestojnih padavin od drevesne sestave in zgradbe sestoja.

Padavine na prostem pomenijo bruto količino padavin, sestojne padavine pa neto količino padavin, ki prispejo do gozdnih tal. Prepuščene padavine so tisti del sestojnih padavin, ki so padle neposredno med vrzelmi v krošnjah dreves do tal ali pa kasneje odtekle z vej, listov in poganjkov. Odtok po deblu predstavlja bistveno manjši delež sestojnih padavin in je prostorsko koncentriran tok padavinske vode. Če seštejemo prepuščene padavine in odtok po deblu, dobimo sestojne padavine. Razliko med padavinami na prostem in sestojnimi padavinami predstavljajo prestrežene padavine oziroma intercepcija.

Študijsko območje je obsegalo dve raziskovalni območji ter pet različnih raziskovalnih ploskev. Na dveh travnikih so bile spremljane padavine na prostem, v treh sestojih pa prepuščene padavine. Prvo raziskovalno območje se nahaja v peri-urbanih gozdovih ob reki Savi v bližini vasi Gameljne in obsega tri raziskovalne ploskve. Padavine na prostem so bile spremljane na ploskvi Gameljne – travnik, prepuščene padavine pa v dveh gozdnih sestojih, ki se razlikujeta v drevesnih sestavi in zgradbi (strukturi) sestoja. V nižinskem poplavnem gozdu listavcev (ploskev Gameljne – listavci) prevladujejo gorski javor, siva jelša, lipovec, veliki jesen in vrbe. Pritalna vegetacija je bujna, precej je tudi invazivnih rastlinskih vrst. V tem obrečnem gozdu so pogoste poplave. Horizontalna in vertikalna struktura sestoja je pestra, saj se v njem prepletajo drevesa različnih dimenzij in socialnih položajev. Sklep je rahel. Povprečni prsni premer vseh dreves znaša 17,6 cm, povprečna višina dreves pa 15,8 m.

V obrežnem rdečeborovju (ploskev Gameljne – borovje), ki je bolj oddaljeno od rečnega brega kot ploskev Gameljne – listavci, prevladuje v zgornji plasti rdeči bor, v spodnji plasti pa različne vrste listavcev, zlasti lipovec. Tla so skromnejša, zato v zeliščni plasti uspevajo

predvsem razne vrste trav. Gre za pionirski gozd s pretrganim oziroma vrzelastim sklepom krošenj. Povprečni prsni premer izmerjenih dreves znaša 13,5 cm, povprečna višina pa 11,7 m.

Drugo raziskovalno območje se nahaja na ljubljanskem Rožniku, za stavbo Gozdarskega inštituta Slovenije. V mešanem gozdu (ploskev Rožnik – gozd), v katerem so bile spremljane prepuščene padavine, prevladujejo domači kostanj, smreka in hrast graden. Dimenzije dreves so večje kot v sestojih ob Savi, prevladuje razvojna faza debeljaka. Padavine na prostem so bile spremljane na bližnjem travniku, zunaj gozda (ploskev Rožnik – travnik).

Spremljanje padavin na prostem (ploskvi Gameljne – travnik in Rožnik – travnik) je potekalo s tremi vzorčevalniki lijakaste oblike (liji) za dež in s tremi vzorčevalniki valjaste oblike (korneti), ki so reprezentativni za snežne padavine. Vzorčenje prepuščenih padavin je bilo na ploskvah Gameljne – listavci in Gameljne – borovje v letih od 2007 do 2012 izvedeno s tremi liji in tremi korneti, nato pa je bilo postavljenih deset novih vzorčevalnikov. Na ploskvi Rožnik – gozd vzorčenje prepuščenih padavin poteka s štirimi liji (pozimi so na teh mestih štirje korneti) in petimi žlebiči.

Na ploskvah v Gameljnah so bili časovni intervali vzorčenja padavin različno dolgi, od 14 dni pa do več mesecev. Na ploskvah na Rožniku so bile padavine spremljane redno, na 14 dni.

Količine padavin na prostem smo za obdobje od 2005 (od 2008 za ploskev Gameljne – travnik) do 2014 primerjali z najbližjo meteorološko postajo ARSO Ljubljana – Bežigrad. Na podlagi fenoloških podatkov ARSO za posamezne drevesne vrste, smo za izbrane sestoje določili vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije. Na ta način smo ugotavljali razlike v količini prepuščenih oziroma sestojnih padavin med obema obdobjema.

Odtok vode po deblu za izbrane sestoje smo ocenili na podlagi rezultatov dosedanjih domačih in tujih raziskav. Preko osnovne bilančne enačbe smo ocenili tudi vrednosti intercepcije oziroma prestreženih padavin.
Manjkajoče podatke smo nadomestili z regresijskimi analizami med prepuščenimi padavinami in padavinami na prostem oziroma med različnimi tipi vzorčevalnikov. Prepuščene padavine smo analizirali za šestletno obdobje od 2008 do 2013.

Padavine na prostem, izmerjene v posameznih vzorčenjih na ploskvi Rožnik – travnik, so se v obravnavanem obdobju bolj ujemale (višje vrednosti korelacijskih koeficientov) s količino padavin na ARSO postaji Ljubljana – Bežigrad.

V povprečju je v obdobju 2008–2013 največ padavin prepustil gozd na ploskvi Gameljne – borovje (94,1 %), najmanj pa sestoj na ploskvi Rožnik – gozd (78,3 %). Na ploskvi Gameljne – listavci je delež prepuščenih padavin znašal 89,1 %. V sestojih v Gameljnah so bile prepuščene padavine (pričakovano) večje v obdobju mirovanja vegetacije, na Rožniku pa v vegetacijskem obdobju. Na nobeni ploskvi te razlike niso statistično značilne. Večji delež prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju, ko je prestrezna površina listavcev večja kot v obdobju mirovanja vegetacije, razlagamo z večjo intenziteto padavin v času poletnih neviht.

Povprečni ocenjeni deleži odtoka po deblu (% v količini padavin na prostem) so bili naslednji: 3,8 % za ploskev Gameljne – listavci, 2,0 % za ploskev Gameljne – borovje in 3,7 % za ploskev Rožnik – gozd. Za obdobje mirovanja vegetacije smo predpostavili večje deleže odtoka po deblu kot za vegetacijsko obdobju. Sestojne padavine so v povprečju na ploskvi Gameljne – listavci znašale 92,9 %, na ploskvi Gameljne – borovje pa celo 96,1 %. Ta dva deleža sta v primerjavi z izsledki dosedanjih študij precej visoka. Na ploskvi Rožnik – gozd je povprečni delež sestojnih padavin znašal 82,0 %, kar je za mešani gozd precej pričakovana vrednost in primerljiva z rezultati dosedanjih raziskav. Po drugi strani so bili ocenjeni deleži prestreženih padavin na ploskvah v Gameljnah (Gameljne – listavci: 7,1 %, Gameljne – borovje: 3,9 %) majhni, na ploskvi Rožnik – gozd (18,0 %) precej pričakovani.

V Sloveniji nam peri-urbani in urbani gozdovi nudijo številne ekosistemske storitve. Njihovi pozitivni vplivi na življenje v mestu in njegovi okolici so prepoznani tudi v Ljubljani, prestolnici države, ki ima dobro razvito omrežje zelene infrastrukture. Peri-urbani gozdovi ob reki Savi v Gameljnah so opredeljeni kot ožje vodovarstveno območje s strožjim režimom varovanja, hkrati pa zagotavljajo varstvo pred poplavami. Rožnik kot urbani gozd in gozd s posebnim namenom predstavlja bogat vir izvirov in potokov, hkrati pa blaži erozijske procese in posledice izrednih vremenskih pojavov. S svojim blagodejnim učinkom urbani gozdovi varujejo vodne vire.

8 VIRI

Arhiv fenoloških podatkov. 2015. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za meteorologijo, Oddelek za agrometeorologijo (4. 6. 2015)

Arhiv – opazovani in merjeni meteorološki podatki. 2015. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor. http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydlJWblR3LwVnaz9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdlJnOn0UQQdSf (junij/julij 2015)

Asadian Y., Weiler M. 2009. A New Approach in Measuring Rainfall Interception by Urban Trees in Coastal British Columbia. Water Quality Research Journal of Canada, 44, 1: 16–25

Asadian Y. 2010. Rainfall Interception in an Urban Environment: a Thesis for the Degree of Master of Science in the Faculty of Graduate Studies (Forestry), Vancouver, The University of British Columbia: 84 str.

Atlas okolja. 2015. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (april 2015)

Barbier S., Balandier P., Gosselin F. 2009. Influence of several tree traits on rainfall partitioning in temperate and boreal forests: a review. Annals of Forest Science, Springer, 66, 6: 602–613

Baró F., Haase D., Gómez-Baggethun E., Frantzeskaki N. 2015. Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. Ecological Indicators, 55: 146–158

Bellot J., Escarre A. 1998. Stemflow and throughfall determination in a resprouted Mediterranean holm-oak forest. Annals of Forest Science, 55, 7: 847–865

Benedict M. A., McMahon E. T. 2001. Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century. (Monograph Series.). The Conservation Fund, Sprawl Watch Clearinghouse: 32 str.

Božič G. 2008. Raziskave populacijsko-genetskih in rastiščnih značilnosti avtohtonega črnega topola (*Populus nigra* L.) na obrežnih in poplavnih območjih ter usmeritve za njegovo ohranitev: zaključno poročilo o rezultatih opravljenega raziskovalnega dela na projektu v okviru ciljnega raziskovalnega programa (CRP) »Konkurenčnost Slovenije 2006–2013«. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 25 str.

Brus R. 2004. Drevesne vrste na Slovenskem. Ljubljana, Mladinska knjiga: 399 str.

Bryant M. L., Bhat S., Jacobs J. M. 2005. Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US. Journal of Hydrology, 312: 95–108

Cantú Silva I., Okumura T. 1996. Throughfall, stemflow and interception loss in a mixed white oak forest (*Quercus serrata* Thunb.). Journal of Forest Research, 1, 3: 123–129

Capon J. S., Chambers L. E., Nally R. M., Naiman R. J., Davies P. Marshall N., Pittock J., Reid M., Capon T., Douglas M., Catford J., Baldwin D. S., Stewardson M., Roberts J., Parsons M., Williams S. E. 2013. Riparian Ecosystems in the 21st Century: Hotspots for Climate Change Adaptation. Ecosystems, Springer, 16: 359–381

Carlyle-Moses D. E., Price A. G. 1999. An evaluation of the Gash interception model in a northern hardwood stand. Journal of Hydrology, 214, 1–4: 103–110

Carlyle-Moses D. E., Flores Laureano J. S., Price A. G. 2004. Throughfall and throughfall spatial variability in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico. Journal of Hydrology, 297, 1–4: 124–135

Carlyle-Moses D. E., Price A. G. 2006. Growing-season steamflow production within a deciduous forest of southern Ontario. Hydrological processes, 20: 3651–3663

Clarke N., Zlindra D., Ulrich E., Mosello R., Derome J., Derome K., Konig N., Lovblad G., Draaijers G. P. J., Hansen K, Thimonier A, Waldner P. 2010. Sampling and Analysis of Deposition. Manual Part XIV. V: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. ICP Forests: 7–22

Clements J. R. 1971. Evaluating Summer Rainfall through a Multilayered Largetooth Aspen Community. Canadian Journal of Forest Research, 1, 1: 20–31

Clements J. R. 1972. Stemflow in a multi-storied Aspen community. Canadian Journal of Forest Research, 2, 2: 160–165

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

Čater M., Ferlan M., Kobal M., Kovač M., Kutnar L., Levanič T., Marinšek A., Rupel M., Simončič P., Sinjur I., Skudnik M., Urbančič M., Vilhar U., Žlindra D. 2015. Program in metodologija ICP Forests v Sloveniji. V: 30 let spremljanja stanja gozdov v Sloveniji. 30 years of forest monitoring in Slovenia. Vilhar U., Žlindra D. (ur.). (Studia Forestalia Slovenica, 145). Ljubljana, Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije: 9–11

Dakskobler I., Kutnar L., Šilc U. 2013. Poplavni, močvirni in obrežni gozdovi v Sloveniji: gozdovi vrb, jelš, dolgopecljatega bresta, velikega in ozkolistnega jesena, doba in rdečega bora ob rekah in potokih. Ljubljana, Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarska založba: 128 str.

Dalsgaard L. 2007. Above and below ground gaps – the effects of a small canopy opening on throughfall, soil moisture and tree transpiration in Suserup Skov, Denmark. Ecological Bulletins, 52: 81–102

Dapolito Dunn A. 2010. Siting Green Infrastructure: Legal and Policy Solutions to Alleviate Urban Poverty and Promote Healthy Communities. Pace Law Faculty Publications, 559, 37: 41–66

Dobbertin M., Neumann M. 2010. Tree Growth. Manual Part V. V: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. ICP Forests: 29 str.

Dohnal M., Černý T., Votrubová J., Tesař M. 2014. Rainfall interception and spatial variability of troughfall in spruce stand. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 62, 4: 277–284

Dolman A. J. 1987. Summer and winter rainfall interception in an oak forest. Predictions with an analytical and a numerical simulation model. Journal of Hydrology, 90, 1–2: 1–9

Dolšina P. 2012. Razširjenost in zastopnanost tujerodnih invazivnih rastlinskih vrst v obrežnem pasu reke Ljubljanice: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 72 str.

Dunkerley D. 2014. Stemflow on the woody parts of plants: dependence on rainfall intensity and event profile from laboratory simulations. Hydrological processes, 28: 5469–5482

Fenološki podatki. 2015. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor. http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/feno_tabele_10let.htm (maj 2015)

Fletcher T. D., Vietz G., Walsh C. J. 2014. Protection of stream ecosystems from urban stormwater runoff: The multiple benefits of an ecohydrological approach. Progress in Physical Geography, 38, 5: 543–555

Garcia-Estringana P., Alonso-Blázquez N., Alegre J. 2010. Water storage capacity, stemflow and water funneling in Mediteranean shrubs. Journal of Hydrology, 389: 363–372

Geopedia. 2015. http://www.geopedia.si/#T105_x446984_y91736_s13_b4 (april 2015)

Göbel P., Stubbe H., Weinert M., Zimmermann J., Fach S., Dierkes C., Kories H., Messer J., Mertsch V., Geiger W. F., Coldewey W. G. 2004. Near-natural stormwater management and its effects on the water budget and groundwater surface in urban areas taking account of the hydrogeological conditions. Journal of Hydrology, 299: 267–28

Herwitz S. R., Levia D. F. 1997. Mid-winter stemflow drainage from bigtooth aspen (*Populus grandidentata* Michx.) in central Massachusetts. Hydrological Processes, 11, 2: 169–175

Hosseini Ghaleh Bahmani S. M., Attarod P., Bayramzadeh V., Ahmadi M. T., Radmehr A. 2012. Throuhgfall, stemflow, and rainfall interception in a natural pure forest of chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey.) in the Caspian Forest of Iran. Annals of Forest Research, 55, 2: 197–206

Hostnik R. 2013. Naravovarstveni vidik urbanih gozdov v Sloveniji: magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo). Ljubljana, samozal.: 199 str.

Inkiläinen E. N. M. 2012. Urban Residential Forests in Regulating Throughfall and Potential Stormwater Runoff – Case Study of Raleigh, North Carolina: Master`s Thesis, Graduate Faculty of North Carolina State University: 72 str.

Jaffe M., Zellner M., Minor E., Gonzalez-Meler M., Conter L., Massey D., Ahmed H., Elberts M., Sprague H., Wise S., Miller B. 2010. Using Green Infrastructure to Manage Urban Stromwater Quality: A Review of Selected Practices and State Programs: A Report to the Illinois Environmental Protection Agency: 146 str.

Jakopič B. 2010. Vpliv odtoka meteornih voda iz urbanih območij na spreminjanje poplavne varnosti: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva). Ljubljana, samozal.: 131 str.

Johnson M S., Lehmann J. 2006. Double-funneling of trees: Stemflow and root-induced preferential flow. Ecoscience, 13, 3: 324–333

Keating T. H. 1982. Influence of stemflow on the representation of pollen. Grana, 21: 171–174

Kotar M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije, 500 str.

Kotar M. 2011. Raziskovalne metode v upravljanju z gozdnimi ekosistemi. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarska založba, 510 str.

Kovač M., Skudnik M., Japelj A., Planinšek Š., Vochl S. 2014. Gozdna inventura. V: Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov – priročnik za terensko snemanje podatkov. Kovač M. (ur.). Ljubljana, Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije, Studia Forestalia Slovenica, 140: 7–111

Krajnc N., Mavsar R., Vilhar U., Simončič P. 2006. Intenzivni monitoring gozdnih ekosistemov in program Forest Focus v Sloveniji. V: Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino: XXIV. gozdarski študijski dnevi. Hladnik D (ur.). (Strokovna in znanstvena dela, 127). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 111–124

Krämer I., Hölscher D. 2010. Chapter 2: Rainfall partitioning along a tree diversity gradient in a deciduous old-growth forest in Central Germany. V: Rainfall partitioning and soil water dynamics along a tree species diversity gradient in a deciduous old-growth forest in Central Germany (Krämer I.): Dissertation, MSc Environmental Sciences, Göttingen Centre for Biodiversity and Ecology: 17–46

Lah A. 2007. Meritve in analiza prestreženih padavin: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerzitetni program Gradbeništvo, Hidrotehniška smer). Ljubljana, samozal.: 110 str.

Lankreijer H. J. M., Hendriks M. J., Klaassen W. 1993. A comparison of models simulating rainfall interception of forests. Agricultural and Forest Meteorology, 64, 3–4: 187–199

Leonardi S., Rapp M., Failla M., Guarnaccia D. 1993. Interception of rainfall, input and leaching of nutrients within two *Castanea sativa* Mill stands at the Etna volcano. Oecologia Montana, 2: 7–12

Levia D. F., Frost E. E. 2003. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. Journal of hydrology, 274, 1–4: 1–29

Levia D. F., Keim R. F., Carlyle-Moses D. E., Frost E. E. 2011. Chapter 21: Throughfall and Stemflow in Wooded Ecosystems. V: Forest Hydrology and Biogeochemistry, Synthesis of Past Research and Future Directions. Levia D. F., Carlyle-Moses D. E., Tanaka T. (ur.): 425–443

Levia D. F., Michalzik B, Näthe K., Bischoff S., Richter S., Legates D. R. 2014. Differential stemflow yield from European beech sampling: the role of individual canopy structure metrics. Hydrological processes, 29: 43–51

Liang W. 2014. Short Communication. Simulations of gash model to rainfall interception of *Pinus tabulaeformis*. Forest Systems, 23, 2: 300–303

Limousin J-M., Rambal S., Ourcival J-M., Joffre R. 2008. Modelling rainfall interception in a mediterranean *Quercus ilex* ecosystem: Lesson from a throughfall exclusion experiment. Journal of Hydrology, 357: 57–66

Liu Z-W., Chen R-S., Song Y-X. 2011. Characteristics of stemflow for typical alpine shrubs in Qilian Mountain. The Journal of Applied Ecology, 22, 8: 1975–1981

Loustau D., Berbigier P., Granier A., El Hadj Moussa F. 1992. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy. Journal of Hydrology, 138, 3–4: 449–467

Mahendrappa M. K. 1990. Partitioning of rainwater and chemicals into throughfall and stemflow in different forest stands. Forest Ecology and Management, 30, 1–4: 65–72

Mavsar R., Simončič P., Vilhar U., Rupel M., Kutnar L., Kalan P. 2004. Vsebina programa intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov in navodila za izvajanje del na ploskvah: Navodila za delo na terenu, različica 2.0. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 47 str.

McKee A. J. 2010. The quantitative importance of stemflow: an evalutation of past research and results from a study in lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) stands in southern British Columbia: Thesis for the Degree of Master of Science (Environmental Science), Thompson Rivers University, British Columbia: 113 str.

Medved M., Bajc M., Božič G., Čas M., Čater M., Ferreira A., Grebenc T., Kobal M., Kraigher H., Kutnar L., Mali B., Planinšek Š., Simončič P., Urbančič M., Vilhar U., Westergren M., Železnik P., Krajnc N., Kušar G., Levanič T., Poljanšek S., Jurc D., Jurc M., Ogris N., Klun J., Premrl T., Robek R., Piškur M. 2011. Gospodarjenje z gozdom za lastnike gozdov. Ljubljana, Kmečki glas: 311 str.

Moore R. D., Spittlehouse D. L., Story A. 2005. Riparian Microclimate and Stream Temperature Response to Forest Harvesting: A Review. Journal of the American Water Resources Association, 41, 4: 813–834

Mosello R., Brizzio M. C., Kotzias D., Marchetto A., Rembges D., Tartari G. 2002. The chemistry of atmospheric deposition in Italy in the framework of the National Programme for Forest Ecosystems Control (CONECOFOR). Journal of Limnology, 61: 77–92

Návar J. 2011. Stemflow variation in Mexico`s northeastern forest communities: Its contribution to soil moisture content and aquifer recharge. Journal of Hydrology, 408: 35–42

Newham M. J., Fellows C. S., Sheldon F. 2011. Functions of Riparian Forest in Urban Catchments: A Case Study from sub-tropical Brisbane, Australia. Urban Ecosystems, 14: 165–180

Nihlgard B. 1970. Precipitation, its chemical composition and effect on soil water in a beech and a spruce forest in south Sweden. Oikos, 21, 2: 208–217

Občinski prostorski načrt Mestne občine Ljubljana – strateški del. 2010: karta 16b, Varstvo pred naravnimi nesrečami, območja zaščite in reševanja. 2010 https://urbanizem.ljubljana.si/index3/files/OPN_MOL_SD_16b_nevarnosti.jpg (avgust 2015)

Ocena obremenjenosti in zmogljivosti gozdnega dela Krajinskega parka Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib. 2010. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti (ZRC SAZU): 85 str.

Odlok o razglasitvi gozdov s posebnim namenom. 2010. Ur. l. RS, št. 60/2010

Perez M. F. M., Cañas J. R., Arellano R. P., Cienfuegos I. 2013. Distribution of incident rainfall through vegetation in a watershed located in southern Spain. EGU, Geophysical Research Abstracts, vol. 15

Planinšek Š., Pirnat J., Premrl T. 2013. Obvodna drevnina: varuh čistih voda in zemlje. Gozdarski vestnik, 71, 5–6: 291–301

Price A. G., Carlyle-Moses D. E. 2003. Measurement and modelling of growing-season canopy water fluxes in a mature mixed deciduous forest stand, southern Ontario, Canada. Agricultural and Forest Meteorology, 119, 1–2: 69–85

Roberts J. M. 2009. The Role of Forests in the Hydrological cycle. V: Forests and Forest Plants, Vol. 3: Encyclopedia of Life Support Systems. Owens J. N., Lunday H. G. (ur.). EOLSS: 93–127

Rowe L. K. 1983. Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, New Zealand. Journal of Hydrology, 66: 143–158

Sanesi G., Gallis C., Kasperidus H. D. 2011. Chapter 2: Urban Forests and Their Ecosystem Services in Relation to Human Health. V: Forests, Trees and Human Health. Nilsson K., Sangster M., Gallis C., Hartig T., de Vries S., Seeland K., Schipperijn J. (ur.). Springer: 23–40

Schooling J. T. 2014. The influence of tree traits and storm event characteristics on stemflow production from isolated deciduous trees in an urban park: A Thesis for the Degree of Master of Science in Environmental Sciences, Thompson Rivers University, British Columbia: 103 str.

Simončič P., Kutnar L., Kovač M., Skudnik M., Žlindra D., Ferlan M., Levanič T., Verlič A. 2011. Raziskovalna ploskev Brdo. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana. http://www.gozdis.si/data/publikacije/42_Zgibanka_Brdo.pdf

Spittlehouse D. L. 1998. Rainfall interception in young and mature conifer forest in British Columbia. V: Proceedings 23rd Conference on Agricultural and Forest Meteorology, Albuquerque, Boston, N. M. American Meteorological Society: 171–174

Sun X., Wang G., Lin Y., Liu L., Gao Y. 2013. Intercepted rainfall in *Abies fabri* forest with different-aged stands in southwestern China. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 37: 495–504

Syke. 2013. Finnish Environment Institute. http://www.syke.fi/en-US (februar 2015)

Šraj M. 2003. Modeliranje in merjenje prestreženih padavin na povodju reke Dragonje: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo). Ljubljana, samozal.: 236 str.

Šraj M., Lah A., Brilly M. 2008a. 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 in 433

Šraj M., Brilly M., Mikoš M. 2008b. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia. Agricultural and forest meteorology, 148: 121–134

Šraj M. 2009. Prestrežene padavin: meritve in analiza. Geografski vestnik, 81, 1: 99–111

Tome S. 2009. Gozd. Naravoslovna solnica (strokovni prispevek), 14, 1: 8 str.

Trees for People. 2014. U. S. Department of Agriculture, Urban and Community Forestry http://www.fs.fed.us/ucf/treesforpeople.shtml (marec 2015)

Tsiontsis A. I., Dini-Papanastasi O., Gakis S. 2001. Water cycling in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) plantations in Northern Greece. V: Proceedings International Conference Forest Research: a challenge for an integrated European approach, Volume II. Radoglou K. (ur.): 543–546

Tzoulas K., Korpela K., Venn S., Yli-Pelkonen V., Kaźmierczak A, Niemela J., James P. 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. Landscape and Urban Planning, 81: 167–178

Tyrväinen L., Pauleit S., Seeland K., de Vries S. 2005. Chapter 4: Benefits and Uses of Urban Forests and Trees. V: Urban Forests and Trees. Konijnendijk C. C., Nilsson K., Randrup Th. B., Schipperijn J. (ur.). Springer: 81–114

Urbančič M., Božič G. 2013. Talne lastnosti rastišč črnega topola ob Savi. Gozdarski inštitut Slovenije. http://www.gozdis.si/data/oddelki/GEKO/Objave/delavnica_IMGE13/Urbancic_Bozic_Rastisca_crnega_topola_obSavi%28poster%29.pdf (maj 2015)

Urbinfo – Javni informacijski sistem prostorskih podatkov Mestne občine Ljubljana, spletna aplikacija. 2015 https://srv3dgis.ljubljana.si/Urbinfo/web/profile.aspx?id=Urbinfo@Ljubljana (avgust 2015)

Uredba o območju vodonosnika Ljubljanskega polja in njegovega hidrografskega zaledja, ogroženega zaradi fitofarmacevtskih sredstev in lahkohlapnih kloriranih ogljikovodikov. 2003. Ur. l. RS, št. 102/2003

Uredba o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinske vode in morja. 2008. Ur. l. RS, št. 89/2008

Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja. 2015. Ur. l. RS, št. 43/2015

Valente F., David J. S., Gash J. H. C. 1997. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. Journal of Hydrology, 190: 141–162

Van Stan II J. T., Van Stan J. H., Levia D. F. 2014. Meteorological influences on stemflow generation across diameter size classes of two morphologically distinct decidious species. International Journal of Biometeorology, 58: 2059–2069

Verlič A., Ferlan M., de Groot M., Kobal M., Kutnar L., Skudnik M., Vilhar U., Žlindra D., Simončič P. 2012. »EMoNFUr – Zasnova mreže za spremljanje stanja nižinskega gozda in pogozditev v urbanem prostoru v Lombardiji in urbanega gozda v Sloveniji«: poročilo o izvajanju projekta. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 35 str.

Verlič A., Eler K., Ferlan M., Flajšman K., de Groot M., Hauptman T., Jurc D., Kobal M., Kutnar L., Levanič T., Marinšek A., Ogris N., Simončič P., Skudnik M., Vochl S., Žlindra D., Vilhar U. 2014. »EMoNFUr – Zasnova mreže za spremljanje stanja nižinskega gozda in pogozditev v urbanem prostoru v Lombardiji in urbanega gozda v Sloveniji«: zaključno poročilo o projektu. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 156 str.

Vilhar U. 2006. Vodna bilanca dinarskega jelovo-bukovega gozda v Kočevskem Rogu: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 250 str.

Vilhar U., Fajon Š. 2007. Vpliv gozda in gozdnogojitvenih ukrepov na hidrološki režim vodozbirnega območja. V: Gozd in voda: rezultati projekta [Interreg III A]. Fajon Š (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije: 16–21

Vilhar U., Simončič P., Urbančič M., Kutnar L., Kobal M., Žlindra D., Brišnik T., Verlič A., Ferlan M., Sinjur I. 2008. Ohranjanje kakovosti vodnih virov v gozdnem prostoru. Vsebinsko poročilo o realizaciji predloženega programskega dela: Priloga 1 zaključnega poročila o rezultatih opravljenega raziskovalnega dela na projektu v okviru ciljnega raziskovalnega programa (CRP) »Konkurenčnost Slovenije 2006–2013«. Ljubljana: 82 str.

Vilhar U. 2010. Padavinski režim v izbranih vrzelih in sestojih dinarskega jelovo-bukovega gozda. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 91: 43–58

Vilhar U., Planinšek Š., Ferreira A. 2010. Vpliv gozdov na kakovost virov pitne vode mestne občine Ljubljana. Gozdarski vestnik, 68: 310–320

Vilhar U., Simončič P. 2012. Identification of Key Indicators for Drinking Water Protection Services in the Urban Forests of Ljubljana. SEEFOR (South-east European forestry), 3, 2: 103–113

Vilhar U., Kobal M., Simončič P. 2012. Kroženje vode v bukovih gozdovih. V: Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje. Bončina A. (ur.). Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 102–113

Vilhar U., Čarni A., Božič G. 2013a. Rastne in vegetacijske značilnosti evropskega črnega topola (*Populus nigra* L.) v poplavnem gozdu ob reki Savi in temperaturne razlike med izbranimi rastišči = Growth and vegetation characteristics of European black poplar (*Populus nigra* L.) in a floodplain forest along river Sava and temperature differencies among selected sites. Folia biologica et geologica, 54, 2: 193–214

Vilhar U., Skudnik M., Simončič P. 2013b. Fenološke faze dreves na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov v Sloveniji. Acta Silvae et Ligni, 100: 5–17

Wang L., Zhang Q., Shao M., Wang Q. 2013. Rainfall Interception in a *Robinia pseudoacacia* Forest Stand: Estimates Using Gash`s Analytical Model. Journal of Hydrologic Engineering, 18, 4: 474–479

Whitford V., Ennos A. R., Handley J. F. 2001. »City form and natural process« – indicators for the ecological performance of urban areas and their application Merseyside, UK. Landscape and Urban Planning, 57, 2: 91–103

Wikipedija, 2015.
https://sl.wikipedia.org/wiki/Padavine (april 2015)

Williams M. B. 2004. Investigating the contribution of stemflow to the hydrology of a forest catchment: Bachelor`s degree in Environmental Science, University of Southampton: 52 str.

Xiao Q., McPherson E. G. 2002. Rainfall interception by Santa Monica´s municipal urban forest. Urban Ecosystems, 6: 291–302

Yang Z-P., Li X-Y., Sun Y-L., Liu L-Y., Zhang X-Y., Ma Y-J. 2008. Characteristics of rainfall interception and stemflow for *Salix psammophila* in Maowusu sandland, Northwest China. Advances in Water Science, 19, 5: 693–698

Zabret K. 2013. Vpliv značilnosti drevesnih vrst na prestrezanje padavin. Acta hydrotehnica, 26/45: 99–116

Zelena knjiga o plačevanju ekosistemskih storitev iz sredozemskih gozdov. 2013. Simončič T., Matijašić D. (ur.). Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije: 108 str.

Zhang J. 2009. Water Conservation Function of *Alnus cremastogyne* Burk Plantations in North of Hunan Province: Master`s thesis, Central South University of Forestry Science and Technology: 191 str.

Zorn M., Mikoš M. 2010. Meritve površinske erozije tal v gozdu Slovenske Istre. Gozdarski vestnik, 68, 7–8: 361–382

Zupančič N. 2013. Vpliv vegetacije na odtoke v urbanem okolju: diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo). Ljubljana, samozal.: 47 str.

Žlindra D., Skudnik M., Rupel M., Simončič P. 2011. Meritve kakovosti padavin na prostem in v sestoju na ploskvah intenzivnega spremljanja gozdnih ekosistemov. Gozdarski vestnik, 69, 5–6: 279–288

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojemu mentorju, doc. dr. Janezu Pirnatu, za idejo pri izbiri teme naloge in nato za vse koristne napotke ter strokovno pomoč.
Posebna zahvala je namenjena somentorici, dr. Urši Vilhar, ki mi je vseskozi potrpežljivo pomagala pri pisanju in izdelavi magistrskega dela.

Pred načrtovanimi terenskimi meritvami sem se poškodoval, zato le-teh nisem bil zmožen izvesti. Kljub temu sta tako mentor kot somentorica za nadaljni potek dela izkazala veliko mero razumevanja, za kar sem obema zelo hvaležen.

Prof. dr. Robertu Brusu se zahvaljujem za temeljito opravljeno recenzijo naloge.

Iskreno se zahvaljujem Pahernikovi ustanovi za štipendiranje v času magistrskega študija. Raziskovalno delo je bilo opravljeno s pomočjo sredstev Pahernikove ustanove.

Ani Žust iz Agencije RS za okolje se moram zahvaliti za pripravo in posredovanje vseh fenoloških podatkov, uporabljenih v tej nalogi.

Hvala mag. Maji Peteh za hiter tehnični pregled, sestri Evi pa za pomoč pri prevajanju in lektoriranju naloge.

Veliko mi pomeni podpora staršev, ki so me spodbujali in mi vsa leta omogočali študij.

PRILOGE

Priloga A: Podatki o vzorčevalnikih za merjenje padavin na prostem in prepuščenih padavin na posameznih raziskovalnih ploskvah v Gameljnah in na Rožniku

Raziskovalna ploskev	Tip vzorčevalnika	Število vzorčevalnikov na ploskvi	Velikost lovilne površine vzorčevalnika	Število vzorčenj	Obdobje vzorčenja
Gameljne – listavci (obrečni poplavni gozd listavcev)	Beli liji (za dež)	3	452 cm^2	94	mar. 2007–nov. 2012
	Beli liji (za dež)	10	201 cm^2	39	nov. 2012–dec. 2014
	Korneti (za sneg)	3	434 cm^2	8	mar. 2007–dec. 2014
Gameljne – borovje (obrežno rdečeborovje)	Beli liji (za dež)	3	452 cm^2	94	mar. 2007–nov. 2012
	Beli liji (za dež)	10	201 cm^2	39	nov. 2012–dec. 2014
	Korneti (za sneg)	3	434 cm^2	8	mar. 2007–dec. 2014
Gameljne – travnik	Beli liji (za dež)	3	452 cm^2	127	mar. 2007–dec. 2014
	Korneti (za sneg)	3	434 cm^2	14	mar. 2007–dec. 2014
Rožnik – sestoj (mešani gozd)	Beli liji (za dež)	4	415 cm^2	152	jan 2007–dec. 2014
	Žlebiči (za dež)	5	185 cm^2	38	jan. 2007–dec. 2014
	Korneti (za sneg)	4	415 cm^2	18	jan. 2007–dec. 2014
Rožnik – travnik	Beli liji	3	415 cm^2	260	jan. 2005–dec. 2014

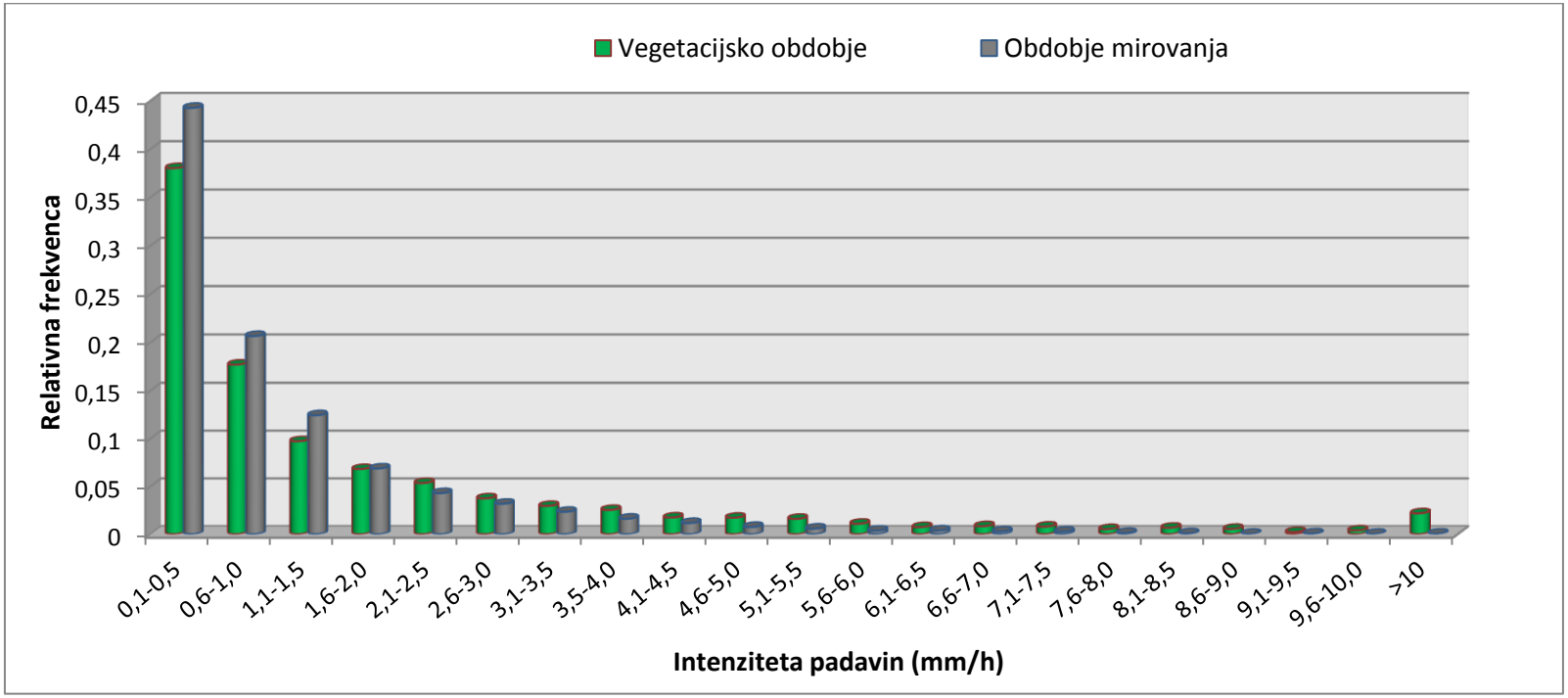
Priloga B: Letne količine padavin na prostem na ploskvah Gameljne – travnik in Rožnik – travnik ter na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad

Leto	**Količina (mm) Gameljne – travnik**	**Količina (mm) Rožnik – travnik**	**Količina (mm) Ljubljana – Bežigrad**
2005	/	1244	1403
2006	/	979	1141
2007	/	1123	1196
2008	1436	1459	1490
2009	1475	1376	1406
2010	1310	1673	1798
2011	1106	1057	998
2012	1605	1326	1339
2013	845	1360	1531
2014	1207	1656	1851
Povprečje ± stand. odklon	**1283 ± 256 mm**	**1325 ± 234 mm**	**1415 ± 271 mm**

Priloga C: Povprečne intenzitete padavin (mm/h) v vegetacijskem obdobju in obdobju mirovanja vegetacije na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad za posamezna leta od 2005 do 2014

Leto	**Povprečna intenziteta padavin v vegetacijskem obdobju (mm/h)**	**Povprečna intenziteta padavin v obdobje mirovanja vegetacije (mm/h)**
2005	1,75	0,98
2006	1,75	0,97
2007	1,96	1,15
2008	1,77	1,03
2009	1,64	1,05
2010	1,97	0,92
2011	2,28	0,95
2012	1,99	1,19
2013	1,61	1,00
2014	1,90	1,27
Povprečje ± stand. odklon	**1,86 ± 3,08**	**1,05 ± 1,31**

Priloga D: Intenziteta padavin (mm/h) na meteorološki postaji Ljubljana – Bežigrad v letih od 2005 do 2014. Višina stolpca predstavlja relativno frekvenco urnih intenzitet padavin v posameznem razredu. Vrednosti so prikazane ločeno za vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije



Priloga E: Seznam domačih in tujih pregledanih raziskav o meritvah odtoka po deblu

Vrsta vegetacija/opis gozda/drevesna vrsta	**Odtok po deblu (% od skupne količine padavin na prostem)**	**Obdobje meritev**	**Lokacija**	**Avtor/vir**
Betula pendula – navadna breza	1,1–6,7	junij 2004–december 2006	mestni park v Ljubljani, Slovenija	Šraj in sod. (2008a)
Listnati gozd (jesen, hrast, gaber)	2,9–4,5	oktober 2000–september 2001	jugozahodna Slovenija	Šraj (2003)
Listnati gozd (rdeči hrast, sladkorni javor, ameriška bukev)	2,4–5	vegetacijsko obdobje 1995	Ontario, Kanada	Price in Carlyle-Moses (2003)
Hrastov gozd	0 (vegetacijsko obdobje) 5 (obdobje mirovanja)	/	Nizozemska	Dolman (1987)
Listnati gozd (rdeči hrast, sladkorni javor, ameriška bukev)	2,3–6,3	vegetacijsko obdobje 1995	Južni Ontario, Kanada	Carlyle-Moses in Price (1999)
Nižinski gozd hrasta doba (*Quercus robur*)	1	januar–december 2003	Velika Britanija	Williams (2004)
Bukov gozd (100 let) – *Fagus sylvatica*	11	/	jug Švedske	Nihlgard (1970)
Mešani sestoj listavcev (7 % bukev, 55 % lipa/lipovec, 9 % veliki jesen, 14 % beli gaber, 2 % gorski javor)	1,5	maj 2006–avgust 2007	starorasli gozd v osrednji Nemčiji	Krämer in Hölscher (2010)
Acer spp. – različne vrste iz rodu javor	6	/	vzhod Kanade	Mahendrappa (1990)
Fagus sylvatica – navadna bukev	6,4	/	severozahod Italije	Mosello in sod. (2002)
Nižinski obrečni gozd (prevladuje *Quercus nigra*)	0,7	april 2001–junij 2002	jugovzhod ZDA	Bryant in sod. (2005)
Gozd listavcev (prevladuje *Quercus berberidifolia*, 50 let)	0,5	april 2001–junij 2002	jugovzhod ZDA	Bryant in sod. (2005)
Hrastov gozd (*Quercus castaneifolia*)	0,4	/	Iran	Hosseini Ghaleh Bahmani in sod. (2012)

se nadaljuje

nadaljevanje priloge E

Vrsta vegetacija/opis gozda/drevesna vrsta	**Odtok po deblu (% od skupne količine padavin na prostem)**	**Obdobje meritev**	**Lokacija**	**Avtor/vir**
Veliki jesen (*Fraxinus excelsior*) in navadna bukev (*Fagus sylvatica*) – listnati gozd zmernega podnebja, gozdni rezervat	2 (vegetacijska obdobje) 6 (obdobje mirovanja) 12 (neolistana drevesa na samem, v sestojnih vrzelih)	/	Danska	Dalsgaard (2007)
Populus grandidentata Michx. – ameriški topol	5,4–9,9	januar–marec 1993	Massachusetts, ZDA	Herwitz in Levia (1997)
Populus grandidentata Michx. – mlad, 5-letni sestoj ameriškega topola	5	avgust–oktober 1968	Petawawa Research Forest, Ontario, Kanada	Clements (1972)
Populus grandidentata Michx. – odrasel, večslojni sestoj ameriškega topola	1,5–2,2	junij–september 1969	Kanada	Clements (1971)
Populus grandidentata Michx. – ameriški topol	6	/	vzhod Kanade	Mahendrappa (1990)
Drogovnjak pravega kostanja *Castanea Sativa* Mill.	2,8	november 1991–november 1992	Fossa la Nave, Sicilija	Leonardi in sod. (1993)
Mlad sestoj (letvenjak) pravega kostanja – *Castanea Sativa* Mill.	6,3	december 1991–november 1992	Piano Porcheria, Sicilija	Leonardi in sod. (1993)
Robinia pseudoacacia L. – robinija (plantaža)	10	leti 1999 in 2000	sever Grčije	Tsiontsis in sod. (2001)
Robinia pseudoacacia L. – robinija (27-letna monokultura)	2,3	maj–september 2006)	Kitajska	Wang in sod. (2013)

se nadaljuje

nadaljevanje priloge E

Vrsta vegetacija/opis gozda/drevesna vrsta	**Odtok po deblu (% od skupne količine padavin na prostem)**	**Obdobje meritev**	**Lokacija**	**Avtor/vir**
60 let star gozd belega hrasta (*Quercus serrata* Thunb.)	10	avgust–november 1993 in maj–november 1994	Japonska	Cantú Silva in Okumura (1996)
Salix cupularis – grmovna vrsta vrbe	3,2	/	gorski svet Kitajske (Qilian Mountain)	Liu in sod. (2011)
Salix psammophila	2,9	maj–oktober 2006	severozahod Kitajske	Yang in sod. (2008)
Alnus cremastogyne – plantaža jelševih dreves	5,3	/	kitajska provinca Hunan	Zhang (2009)
Panjevski gozd hrasta črnike (*Quercus ilex*)	12,5	april 2006–maj 2007	jug Francije (Sredozemlje)	Limousin in sod. (2008)
Mediteranski gozd (*Quercus ilex*)	12,1	junij 1981–november 1983	Tarragona, Španija	Bellot in Escarre (1998)
Quercus ilex – hrast črnika	3,4	/	osrednja Italija	Mosello in sod. (2002)
Listopadni gozdovi zmernega podnebja (sestoji hrasta in bukve)	5,1	/	/	McKee (2010)
Mešani gozd (bukev, jelka)	5–8	vegetacijski obdobji 2003 in 2004	Kočevski Rog, Slovenija	Vilhar (2006)
Mešani gozd hrasta in bora (*Quercus alba*, *Pinus echinata*, *Pinus taeda*)	0,5	april 2001–junij 2002	jugovzhod ZDA	Bryant in sod. (2005)
Pinus sylvestris – rdeči bor	0–0,1	junij 2004–december 2006	mestni park v Ljubljani	Šraj in sod. (2008)
Picea abies – srednjedobni čisti smrekov sestoj	0–1		Republika Češka	Dohnal in sod. (2014)

se nadaljuje

nadaljevanje priloge E

Vrsta vegetacija/opis gozda/drevesna vrsta	**Odtok po deblu (% od skupne količine padavin na prostem)**	**Obdobje meritev**	**Lokacija**	**Avtor/vir**
Pinus pinaster Ait. – umetno osnovan, 18-letni sestoj obmorskega bora	1,3–2,9 (poletje) 3,4–5,7 (zima)	/	Francija	Loustau in sod. (1992)
60-letna plantaža vrste bora *Pinus pinaster* Ait.	0,4	januar 1992–julij 1994	osrednja Portugalska	Valente in sod. (1997)
Pinus tabulaeformis – kitajski rdeči bor, plantaža	3,1	junij–oktober 2010	Kitajska	Liang (2014)
Smrekov gozd (55 let) – *Picea abies*	3	/	jug Švedske	Nihlgard (1970)
Borov gozd (43 let; *Pinus taeda*, *Pinus echinata*)	0,5	april 2001–junij 2002	jugovzhod ZDA	Bryant in sod. (2005)
Plantaža bora (*Pinus palustris*, 13 let)	1,9	april 2001–junij 2002	jugovzhod ZDA	Bryant in sod. (2005)
Pinija (*Pinus pinea*)	0,3	/	Španija	Perez in sod. (2013)
Odrasel gozd iglavcev (bor, smreka, duglazija)	0–0,5	/	Britanska Kolumbija, ZDA	Spittlehouse (1998)
Gozdovi iglavcev zmerne cone in borealni gozdovi: bor – *Pinus* sp. smreka – *Picea* sp. macesen – *Larix* sp.	5,0 4,2 8,8 2,0	/	/	McKee (2010)

Priloga F: Seznam domačih in tujih raziskav o meritvah prepuščenih padavin

Vrsta vegetacije/opis gozda/drevesna vrsta	**Prepuščene padavine (% od skupne količine padavin na prostem)**	**Obdobje meritev**	**Lokacija**	**Avtor/vir**
Listnati gozd (jesen, hrast, gaber)	67,1–71,5	oktober 2000–september 2001	jugozahodna Slovenija	Šraj (2003)
Navadna breza (*Betula pendula*)	57–70	junij 2004–december 2006	mestni park v Ljubljani, Slovenija	Šraj in sod. (2008)
Hrastov gozd	57–77 (vegetacijsko obdobje), 80–87 (obdobje mirovanja)	/	Nizozemska	Dolman (1987)
Listopadni gozd (hrast, javor, gaber)	77–82	/	Nizozemska	Lankreijer in sod. (1993)
Listnati gozd (sladkorni javor, rumena breza, jesen)	73,5–79,3	vegetacijsko obdobje v letu 1995	Južni Ontario, Kanada	Carlyle-Moses in Price (1999)
Listnati gozd (rdeči hrast, sladkorni javor, ameriška bukev)	76,5–78,5	vegetacijsko obdobje 1995	Ontario, Kanada	Price in Carlyle-Moses (2003)
Urbana drevesa listavcev	57,6 (vegetacijsko obdobje) 74,9 (obdobje mirovanja)	februar 2007–november 2008	Vancouver, Britanska Kolumbija	Asadian (2010)
Hrastov gozd (*Quercus castaneifolia*)	75	julij–oktober 2009 in julij–oktober 2010	Iran	Hosseini Ghaleh Bahmani in sod. (2012)
Vzhodna bukev – *Fagus orientalis*	65,9	oktober 2009–okober 2010	Iran	Hosseini Ghaleh Bahmani in sod. (2012)
Mešani gozd (bukev, jelka)	79–98	vegetacijski obdobji 2003 in 2004	jugobzhodna Slovenija (Kočevski Rog)	Vilhar (2006)
Hrastovi gozdovi s primesjo jesena, cedre in ameriške bukve	81,9–86,5	leti 2000 in 2001	severovzhod Mehike	Carlyle-Moses in sod. (2004)

se nadaljuje

nadaljevanje priloge F

Vrsta vegetacije/opis gozda/drevesna vrsta	**Prepuščene padavine (% od skupne količine padavin na prostem)**	**Obdobje meritev**	**Lokacija**	**Avtor/vir**
Mešani zimzeleni gozd več vrst »nepravih« bukev (*Nothofagus* spp.)	69 (celotno obdobje) 63 (vegetacijsko obdobje) 75 (obdobje mirovanja)	april 1977–marec 1982	Nova Zelandija	Rowe (1983)
Rdeči bor (*Pinus sylvestris*)	35–49	junij 2004–december 2006	mestni park v Ljubljani, Slovenija	Šraj in sod. (2008)
Pinus pinaster Ait. – umetno osnovan, 18-letni sestoj obmorskega bora	77,4–82,6 (vegetacijsko obdobje) 75,8–81,7 (obdobje mirovanja)	/	Francija	Loustau in sod. (1992)
60-letna plantaža obmorskega bora (*Pinus pinaster* Ait.)	83,2	januar 1992–julij 1994	Portugalska	Valente in sod. (1997)
Urbana drevesa iglavcev	35,5 (vegetacijsko obdobje) 46,6 (obdobje mirovanja)	februar 2007–november 2008	Vancouver, Britanska Kolumbija	Asadian (2010)

Priloga G: Povprečne količine (mm) in deleži (% v količini padavin na prostem) posameznih padavinskih komponent, glede na vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije, za obravnavane sestoje peri-urbanih in urbanih gozdov v letih od 2008 do 2013

Sestoj (raziskovalna ploskev)	**Padavine na prostem (P = SP + I)**		**Sestojne padavine* (SP = Tf + Sf)**		**Prepuščene padavine (Tf)**		**Odtok po deblu* (Sf)**		**Intercepcija* (I = P - SP)**	
	VD*	DOR**	VD*	DOR**	VD*	DOR**	VD*	DOR**	VD*	DOR**
Poplavni obrečni gozd listavcev (Gameljne – listavci)	913 mm (100 %)	426 mm (100 %)	794 mm (87,0 %)	418 mm (98,2 %)	766 mm (83,9 %)	399 mm (93,7 %)	28 mm (3,1 %)	19 mm (4,5 %)	119mm (13,0 %)	8 mm (1,8 %)
Obrežno rdečeborovje (Gameljne – borovje)	913 mm (100 %)	426 mm (100 %)	830 mm (90,9 %)	417 mm (97,9 %)	817 mm (89,5 %)	406 mm (95,3 %)	13 mm (1,4 %)	11 mm (2,6 %)	83 mm (9,1%)	9 mm (2,1 %)
Mešani gozd (Rožnik – gozd)	770 mm (100 %)	616 mm (100 %)	629 mm (81,7 %)	498 mm (80,9 %)	606 mm (78,7 %)	471 mm (76,5 %)	23 mm (3,0 %)	27 mm (4,4 %)	141 mm (18,3 %)	118 mm (19,1 %)

*ocena
VD = vegetacijsko obdobje: na ploskvah Gameljne – listavci in Gameljne – borovje od 15. 4. do 31. 10.; na ploskvi Rožnik – gozd od 1. 5. do 31. 10.
DOR = obdobje mirovanja vegetacije: na ploskvah Gameljne – listavci in Gameljne – borovje od 1. 11. do 14. 4.; na ploskvi Rožnik – gozd od 1. 11. do 30. 4.