

Meritve in analiza prestreženih padavin navadne breze (*Betula pendula* Roth.) in rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) v urbanem okolju

Measurements and Analysis of Intercepted Precipitation of Silver Birch (Betula pendula Roth.) and Scots Pine (Pinus sylvestris L.) in Urban Area

Mojca ŠRAJ¹, Aleš LAH², Mitja BRILLY³

Izvleček:

Šraj, M., Lah, A., Brilly, M.: Meritve in analiza prestreženih padavin navadne breze (*Betula pendula* Roth.) in rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) v urbanem okolju. *Gozdarski vestnik*, 66/2008, št. 9. V slovenščini z izvlečkom v angleščini, cit. lit. 25. Lektoriranje angleškega besedila Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Študija prikazuje meritve, primerjavo in analizo prestreženih padavin iglastih in listnatih dreves v parkovnem nasadu. Meritve so potekale na raziskovalni ploskvi v urbanem predelu mesta Ljubljane, in sicer na dveh skupinah dreves: navadne breze (*Betula pendula* Roth.) in rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.). Analize in primerjave prepuščenih padavin in odtoka po deblu so narejene za obdobje od junija 2004 do decembra 2006, ki je bilo razdeljeno na štiri obdobja: brez listja, olistanje, na višku rasti, odpadanje listja. Padavine nad drevesnimi krošnjami smo merili z ombrografom z avtomatskim zapisovanjem rezultatov na vsakih 10 minut ter s Helmanovim dežemerom z ročnim odčitavanjem za kontrolo. Prepuščene padavine smo merili s kombinacijo stalnih (korita) in pomičnih merilcev (totalizatorji) z avtomatskim zapisovanjem na 10 minut in ročnim odčitavanjem. Odtok po deblu smo merili ročno na po enem drevesu vsake vrste. Rezultati meritev so pokazali, da breze prepustijo 57 do 70 %, bori pa 35 do 49 % padavin, kar je primerljivo z rezultati drugih podobnih študij po svetu. Odtok po deblu je bil pri brezi 1,1 do 6,7 % padavin in pri boru praktično zanemarljiv. Iz rezultatov lahko zaključimo tudi, da bi zasaditev dreves v parkih, na parkiriščih in drugih mestnih površinah (bioretencija) učinkovito zmanjšala površinski odtok padavinske vode in s tem stroške odvodnje.

Ključne besede: prestrežene padavine, navadna breza, rdeči bor, prepuščene padavine, odtok po deblu, urbano dreve

Abstract:

Šraj, M., Lah, A., Brilly, M.: *Measurements and Analysis of the Intercepted Precipitation of Silver Birch (Betula pendula Roth.) and Scots Pine (Pinus sylvestris L.) in Urban Area.*

Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 66/2008, Vol. 9. In Slovenian, abstract in English, quot. lit. 25. Proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

The study presents measurements, comparison and analysis of the intercepted precipitation of coniferous and deciduous trees in a park. Measurements were made on experimental plot in the urban part of the city of Ljubljana on two groups of trees: silver birch (*Betula pendula* Roth.) and scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Analyses and comparison of throughfall and stemflow were made for the period from June 2004 to December 2006 which was divided into four vegetation periods. The rainfall above the canopy was measured automatically with a tipping bucket rain gauge with digital recording of results every 10 minutes in combination with manual Helman's rain gauge for control. The throughfall was measured using a combination of fixed gauges with digital recording of results every 10 minutes and manual roving gauges. The stemflow was measured manually on one tree of each species. The results of the measurements showed that the throughfall for silver birch was 57-70 % of gross precipitation and for scots pine 35-49 % which is comparable with the results of other similar studies around the world. The stemflow fraction for silver birch amounted to 1.1-6.7 % of gross precipitation and it was practically negligible for scots pine. On the basis of these results we can also conclude that planting of trees in parks, parking lots and other urban areas (bioretainment) could effectively reduce stormwater runoff and therewith costs of draining.

Key words: rainfall interception, silver birch, scots pine, throughfall, stemflow, urban area

¹ Doc.dr. Mojca Šraj, univ. dipl. inž. gradb., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana. E-pošta: msraj@fgg.uni-lj.si

² Aleš Lah, univ. dipl. inž. gradb., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana.

³ Prof. dr. Mitja Brilly, univ. dipl. inž. gradb., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana.

1 UVOD

Gozd ima pomembno vlogo pri preskrbi z vodo in vplivu na vodne razmere. Kroženje vode na tleh, poraščenih z gozdom, proučuje gozdna hidrologija.

V Sloveniji zavzema gozd približno 57,9 % celotne površine države, torej več kot polovico (ZGS 2007). Slovenija sodi po gozdnatosti na četrto mesto v Evropi. Od leta 1875 se je pri nas gozdnatost povečala za 21 %. Iglastih gozdov je okrog 48 %, listavcev pa 52 %. To je dejansko stanje, potencialno stanje glede na rastiščne razmere pa bi bilo 20 % iglavcev in 80 % listavcev. Dejansko stanje je posledica sajenja smreke (PERKO, 2004).

Glavni vir vode gozdnega hidrološkega kroga so padavine (Slika 1). Določen delež padavin, ki padejo nad gozdom, prestrežejo drevesne krošnje. Ta delež imenujemo prestrežene padavine ali intercepcija. Znatna količina prestreženih padavin izhlapi nazaj v ozračje med nalivom ali takoj po njem; imenujemo jih izhlapele prestrežene padavine E_i (*angl. orig. interception loss*). Del prestreženih padavin pa pade s krošenj oz. listov na tla kot kapljanje potem, ko je zapolnjena skladiščna zmogljivost krošnje. Ta del padavin, skupaj z deležem padavin, ki padejo na tla neposredno skozi odprtine krošenj, imenujemo prepuščene padavine T_f (*angl. orig. throughfall*). Manjši del prestreženih padavin pa se steka z listov na veje in z vej po deblu do tal; imenujemo ga odtok po deblu S_f (*angl. orig. Stemflow*).

Del padavin, ki dosežejo gozdna tla, izhlapi (E_s). Ta del je ponavadi majhen, posebno v gostih gozdovih, kjer do tal prodre malo sončnega sevanja (radiacije) in je velika vlažnost ozračja. Tudi vsa infiltrirana voda ne pride do vodotoka, saj jo velik del porabi vegetacija in vrača v ozračje skozi proces transpiracije E_t . Če k temu prištejemo še znatno izhlapevanje prestreženih padavin z mokre površine krošenj E_i , ugotovimo celotno evapotranspiracijo ET (Enačba 1). Zelo pomembno je ločiti med seboj procesa transpiracije E_t in izhlapevanja prestreženih padavin z mokrih krošenj E_i , saj je prvi odvisen od stomatalne kontrole vegetacije, drugi pa od aerodinamičnih lastnosti vegetacije (BRUIJNZEEL, 2000, ŠRAJ et al., 2008). Izhlapevanje prestreženih padavin s kro-

šenj E_i je ponavadi glavna komponenta celotne evapotranspiracije v gozdu zmernega podnebja (BRUIJNZEEL, 2000).

$$ET = E_i + E_t + E_s \quad \dots (1)$$

ET evapotranspiracija [mm];

E_i izhlapevanje prestreženih padavin z mokrih krošenj [mm];

E_t transpiracija [mm];

E_s izhlapevanje s tal in pritalne vegetacije [mm].

Če količina vseh padavin, ki dosežejo tla ($T_f + S_f =$ neto padavine [mm], (*angl. orig. net precipitation*), preseže infiltracijsko zmogljivost tal, višek odteče kot Hortonov površinski odtok (HOF) oz. infiltracijski presežek. Zaradi zelo velike infiltracijske kapacitete organskega dela tal v večini gozdov je ta vrsta odtoka redka. Infiltrirana voda v tleh je zaloga podtalnice, ki bogati tudi vodotoke.

Ob upoštevanju vseh navedenih dejstev razlika med padavinami nad krošnjami dreves in neto padavinami predstavlja izhlapele prestrežene padavine, kar lahko zapišemo z bilančno enačbo (2):

$$P = T_f + S_f + E_i \rightarrow i = P - (T_f + S_f) \quad \dots (2)$$

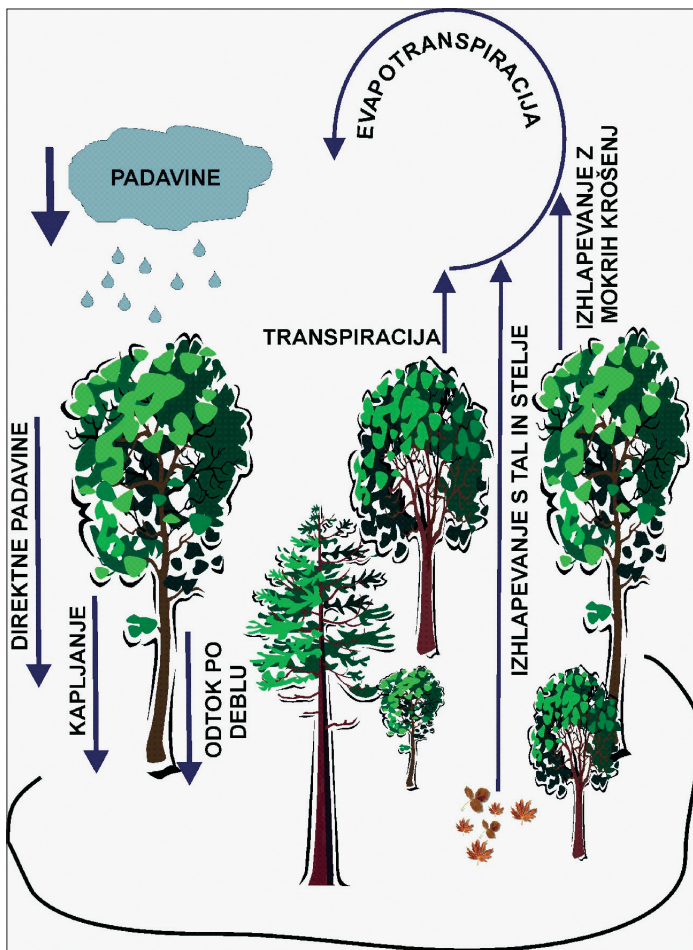
P padavine nad krošnjami dreves [mm];

T_f prepuščene padavine oz. količina padavin, ki padejo skozi odprtine med krošnjami in listi neposredno na tla, in padavin, ki pozneje prikaplajo s krošenj do tal [mm];

S_f odtok po deblu [mm];

E_i izhlapevanje prestreženih padavin z mokrih krošenj [mm].

Odtok po deblu se začne z neko časovno zapoznitvijo glede na padavine. Najprej se morajo zapolniti skladiščne zmogljivosti krošnje, vej in debla. Ta čas je pri listavcih daljši v obdobju olistanja oz., ko je indeks listne površine največji. V obdobjih brez listja pa se odtok po deblu pojavi že prej. Na splošno je ugotovljeno, da imajo listavci večji odtok po deblu kot iglavci. Pri listavcih lahko odtok po deblu zavzema tudi do 15 % padavin, medtem ko je pri iglavcih zelo majhen (SMOLEJ, 1988). Vzrok temu je predvsem razlika v hrapavosti debla, zgradbi krošenj – vejnega kota, gostote sestoja (SMOLEJ, 1988) listavcev in iglavcev.



Slika 1. Gozdni hidrološki krog (ŠRAJ, 2003a)
 Figure 1: Forest hydrological cycle (ŠRAJ, 2003a).

Količina prestreženih padavin je odvisna od številnih vegetacijskih in meteoroloških parametrov, t. j. vrste, velikosti, oblike in starosti vegetacije, gostote vegetacije, indeksa listne površine, zmogljivosti krošnje, intenzivnosti, trajanja in pogostosti padavin, vrste padavin, podnebnih razmer, časovnega obdobja v letu itn. (ŠRAJ, 2003b). Na splošno je količina prestreženih padavin večja za iglavce kot za listavce. Ovington (1954) je na podlagi raziskav ugotovil, da je količina prestreženih padavin lahko od 6 do 93 odstotkov.

2 MERITVE IN METODE DELA

2.1 Raziskovalna ploskev

Raziskovalna ploskev leži v urbanem predelu mesta Ljubljane, natančneje ob hidrotehničnem oddelku Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na Hajdri-

hovi 28. Prosta površina, na kateri leži raziskovalna ploskev, meri približno 600 kvadratnih metrov.

Ploskev je sestavljena iz dveh skupin dreves. Na južni strani ploskve rasteta dve navadni brezi (*Betula pendula* Roth.) in en rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.), na severni strani ploskve pa so trije

Preglednica 1: Značilnosti dreves na raziskovalni ploskvi (LAH, 2007)

Table 1: Tree characteristics on the research plot (LAH, 2007).

| | Breza | Boor |
|--|-------|------|
| Število dreves | 2 | 2 |
| Povp. višina dreves [m] | 14 | 12 |
| Povp. DBH [cm] | 31 | 32,2 |
| Povp. površina krošenj za drevesi, kjer smo merili S_f [m ²] | 7,1 | 21,4 |

rdeči bori. Na južni strani opravljamo meritve samo na omenjenih dveh brezah, na severni pa samo na dveh borih.

Drevesom smo izmerili višino in prsni premer (DBH). Za račun odtoka po deblu (S_f) je bila določena tudi površina krošenj posameznih dreves (Preglednica 1).

2.2 Merska oprema in merske metode

Na raziskovalni ploskvi smo 21. 6. 2004 postavili instrumente za merjenje posameznih količin gozdnega hidrološkega kroga, t. j. padavin (P) nad krošnjami/na prostem, odtoka po deblu (S_f) in prepuščenih padavin (T_f) (Preglednica 2).

Preglednica 2: Pregled merske opreme

Table 2: Review of the measuring equipment.

| Vrsta meritve | Oprema |
|----------------------|--------------------------------------|
| Padavine na prostem | 1 Hellmannov dežemer (ročni odčitki) |
| | 1 avtomatski dežemer |
| Prestrežene padavine | 2 koriti + avtomatski merilec |
| | 2 koriti (ročni odčitki) |
| | 4 totalizatorji (ročni odčitki) |
| Odtok po deblu | 2 gumijasta žlebiča (ročni odčitki) |

Na raziskovalni ploskvi smo ugotavljali naslednje meritve:

1) Meritve količine padavin na prostem

Meritve padavin so ugotavljali z ombrografom (Onset RG2-M, površina 186,3 cm², 0,2 mm/zvrat), z avtomatskim zapisovanjem rezultatov na vsakih 10 minut (HOBO logger) in s Helmanovim dežemerom površine 200 cm² z ročnim odčitavanjem vsak dan ob 7.00. Oba sta bila postavljena na višini 1 m. Ročni dežemer je služil kot kontrola avtomatskemu. Na prostem smo količino padavin merili na travnati površini približno 15 metrov od opazovalnih točk.

2) Meritve količine prepuščenih padavin (T_f)

Merjenje tega deleža padavin je po mnenju mnogih znanstvenikov (BRUIJNZEEL, 2000, SCHELLEKENS 2000) najuspešnejše s kombinacijo stalnih in pomičnih merilcev, ker na tak način ugotovimo bolj reprezentativno vzorčenje. S pomičnimi merilci zajamemo tudi mesta t. i. "drip points", kjer je T_f večji od padavin. Kapljice, ki jih prestrežejo krošnje, se stekajo po vejah in listih navzdol do roba krošenj in nato zaradi teže padejo na tla. Tudi meritve na naši raziskovalni ploskvi so bile narejene s kombinacijo stalnih merilcev (korita) in pomičnih merilcev oziroma totalizatorjev.



Slika 2a) Ombrograf Onset RG2-M in b) Helmanov dežemer za merjenje padavin na prostem
Figure 2a: Onset RG2-M and b) Helman rain gauge for measuring gross precipitation.



Slika 3a: Korita in b) totalizator za merjenje prepuščenih padavin
Figure 3a: Throughfall and b) measurement with gutter and totalisator.



Slika 4. Merjenje odtoka po deblu (levo breza, desno bor)
Figure 4a: Stemflow measurement (left Betula pendula Roth., right Pinus sylvestris L.).

Pod vsako skupino dreves sta bili postavljeni po dve koriti (eno z avtomatskim merjenjem in eno z ročnim) in pa po dva totalizatorja. Korita so bila izdelana po naročilu iz nerjavnega jekla (ostroroba, 18°, zbirna površina 250,4 x 30,7 cm) (Slika 3). Koriti z avtomatskim merjenjem sta bili opremljeni z volumetričnim merilcem pretokov (Unidata 6506G, 50 ml/zvrat) z avtomatskim zapisovanjem rezultatov na vsakih 10 minut (HOBO logger). Koriti z ročnim odčitavanjem pa sta bili opremljeni z 10- in 50-litrskima posodama, povezanimi s pretočno cevjo (Slika 3). Poleg korit sta bila pod vsako skupino dreves postavljena še po dva totalizatorja (zajemne površine 107,5 cm², ki smo ju praznili ročno po vsakem padavinskem dogodku in smo jima po vsakem odčitavanju zamenjali mersko mesto (Slika 3).

3) Meritve odtoka po deblu (Sf)

Delež padavin, ki odtečejo po deblu, smo merili na eni brezi in enem boru. Žlebiči iz silikonskih polcev so bili speljani okrog debel posameznih dreves (Slika 4). Voda se je zbirala v posodah in smo jo ročno odčitavali po padavanskih dogodkih.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Za potrebe te študije so bili analizirani podatki od 21. 6. 2004 do 11. 12. 2006. V primeru listopadnih dreves se parametri drevesnih krošenj zelo spreminjajo s časom. Zato je bilo celotno obdobje meritev razdeljeno na štiri obdobja, in sicer: obdobje na višku rasti (poletje), obdobje odpadanja listja (jesen), obdobje brez listja (zima) in pa obdobje olistanja (pomlad).

1) obdobje brez listja (1. 11. do 16. 4.);

2) obdobje olistanja (17. 4. do 14. 5.);

3) obdobje na višku rasti (15. 5. do 30. 9.);

4) obdobje odpadanja listja (1. 10. in 30. 10.)

Obdobja so bila določena glede na fenološke podatke za brezo na najbližji fenološki postaji Ljubljana (ARSO 1998) in hemisferičnih fotografij drevesnih krošenj, ki so bile posnete v obdobju meritev na opazovalni ploskvi. Obdobje meritev je bilo tudi nekajkrat prekinjeno zaradi prestavljanja opreme, zamašitve ali zamrzovanja merilnih inštrumentov.

3.1 Padavine

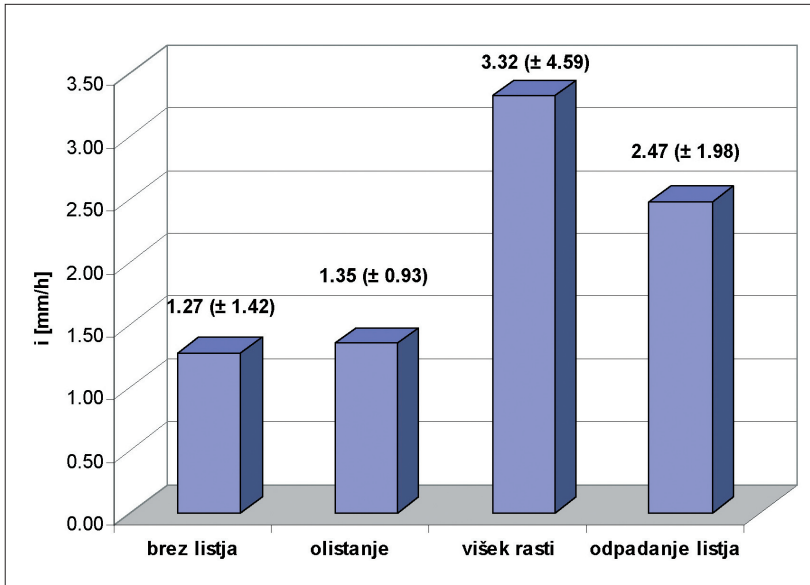
Vsota padavin na prostem, izmerjenih v obdobju meritev, je znašala 1217,6 mm, razdeljena pa je bila na 168 padavinskih dogodkov (Preglednica 3). Dogodki so med seboj ločeni z obdobjem, v katerem se krošnje popolnoma posušijo. V posameznih dogodkih je padlo od 0,2 mm do 93,8 mm padavin, z intenzivnostjo od 0,13 do 30,38 mm/h. Povprečna količina padavin posameznega dogodka je bila 7,25 (\pm 12,03) mm. Povprečno so dogodki trajali 3,68 (\pm 6,36) ure, povprečna intenzivnost pa je bila 2,70 (\pm 3,96) mm/h (Preglednica 3).

Primerjava intenzivnosti padavin po obdobjih kaže na večje razlike med njimi (Slika 5). Največja povprečna intenzivnost padavin posameznega dogodka je bila na višku rasti, in sicer 3,32 (\pm 4,59) mm/h, kar je posledica poletnih neviht. Najmanjša povprečna intenzivnost pa je bila pozimi, in sicer 1,27 (\pm 1,42) mm/h.

Preglednica 3: Izmerjene količine padavin na prostem/nad krošnjami (P), intenzivnost (i) in povp. trajanje po posameznih obdobjih

Table 3: Measured precipitation in the opens (P), intensity (i) and duration (povp. trajanje) for each period.

| | Št. dogodkov | P [mm] | i [mm/h] | povp. trajanje [h] |
|-------------|--------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| Brez listja | 38 | 262,0 \pm 16,31 | 1,27 \pm 1,42 | 6,13 \pm 10,81 |
| Olistanje | 10 | 53,6 \pm 5,44 | 1,35 \pm 0,93 | 4,12 \pm 3,35 |
| Višek rasti | 113 | 873,4 \pm 11,01 | 3,32 \pm 4,59 | 2,90 \pm 4,10 |
| Odpadanje | 7 | 28,6 \pm 3,48 | 2,47 \pm 1,98 | 2,41 \pm 2,55 |
| Skupaj | 168 | 1217,6 \pm 12,03 | 2,70 \pm 3,96 | 3,68 \pm 6,36 |



Slika 5: Primerjava povprečnih intenzivnosti padavin (i) po obdobjih

Figure 5: Comparison of the average precipitation intensity (i) by periods.

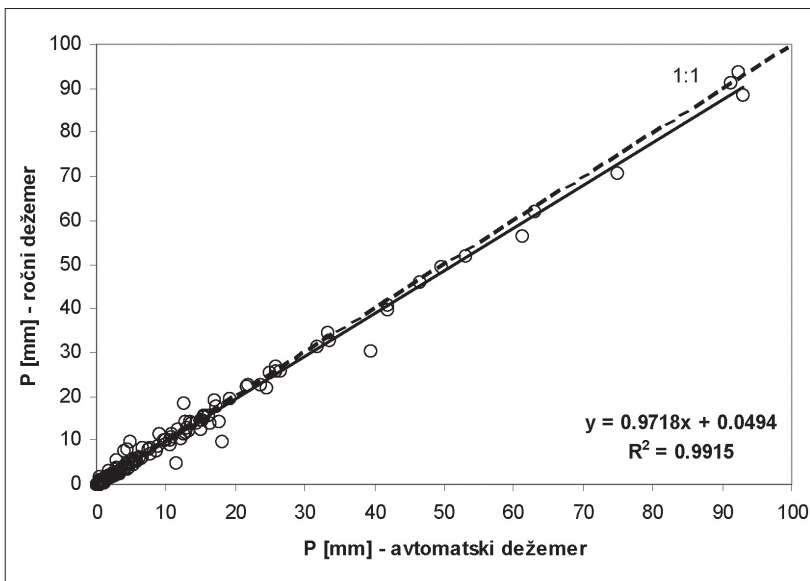
Analize posameznih dogodkov so pokazale statistično značilno odvisnost količine padavin in intenzivnosti. Padavinski dogodki z večjimi količinami padavin so bili tudi bolj intenzivni in obratno.

Padavine smo merili z avtomatskim in ročnim dežemerom. Regresijska analiza kaže na zelo dobro korelacijo padavin z obeh dežemerov ($R^2 = 0,99$) (Slika 6).

3.2 Prepuščene padavine T_f

Tudi analize prepuščenih padavin so bile narejene za vsa štiri obdobja. Zaradi primerjave med obema drevesnima vrstama smo na obdobja razdelili tudi meritve za bor, čeprav on bistveno ne spreminja indeksa listne površine med letom. Prepuščene padavine smo obravnavali za vsak padavinski dogodek posebej.

Prepuščene padavine smo merili s stalnimi merilci z avtomatskim zapisovanjem rezultatov in

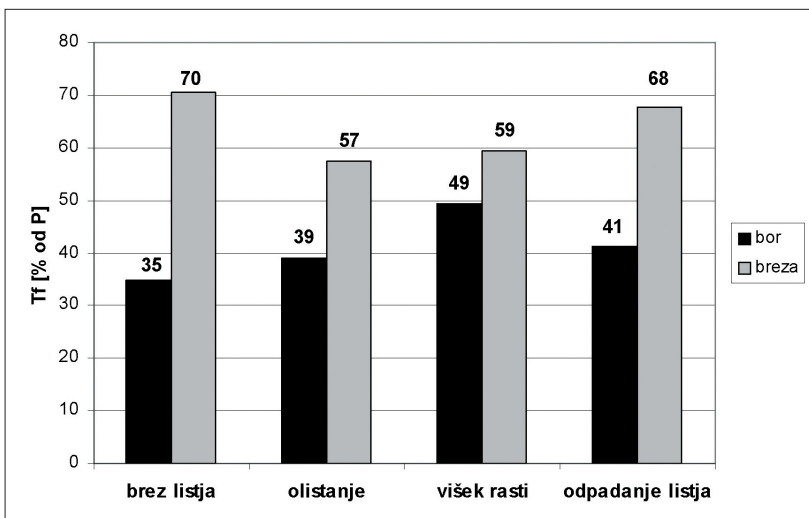


Slika 6: Regresijska analiza padavin, izmerjenih z avtomatskim in ročnim dežemerom

Figure 6: Regression analyses of precipitation measured with automatic rain gauge and manual gauge.

Slika 7: Primerjava prepuščenih padavin med borom in brezo po obdobjih

Figure 7: Comparison of throughfall between silver birch and scots pine by periods.



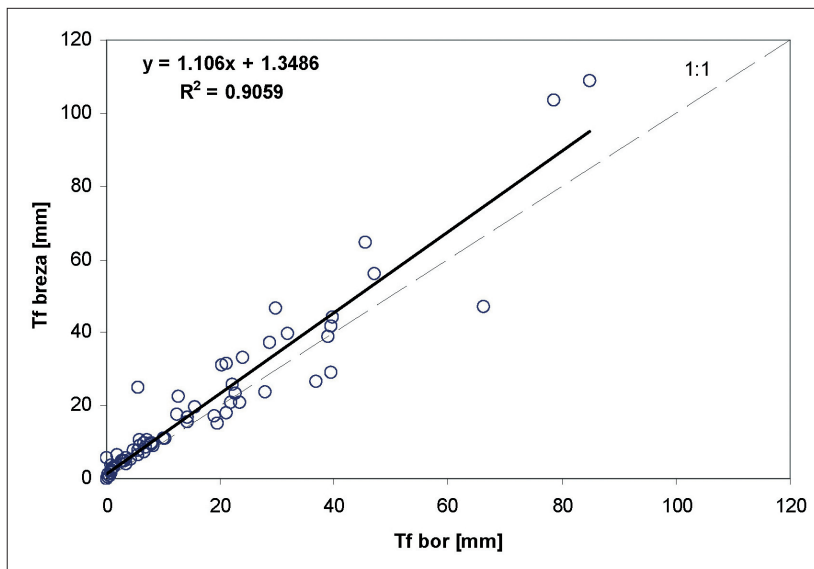
premičnimi totalizatorji z ročnim odčitavanjem. Primerjava prepuščenih padavin, izmerjenih s pomičnimi totalizatorji med rdečim borom in brezo po posameznih obdobjih, je dala pričakovane rezultate. Breza ima v vseh obdobjih večji delež prepuščenih padavin (Slika 7). Največja razlika je bila v obdobju brez listja in v obdobju odpadanja listja. Tudi avtomatske meritve prepuščenih padavin so dale zelo podobne rezultate, razen v zimskem obdobju, ko je imel bor večji delež prepuščenih padavin kot breza, kar seveda ni razumljivo, saj je takrat breza brez listja. Razlog za to je verjetno sneg, ki se je kopičil na gosti

borovi krošnji in se talil s časovnim zamikom pri višjih temperaturah, ter zmrzovanje vode v merilnih koritih. Kot je razvidno iz slike 8, se v borovih krošnjah nabere veliko večja količina snega kot na brezah oz. je intercepcija snežnih padavin pri iglavcih praviloma večja kot pri listopadnih listavcih (RUTTER et al., 1975). Velik vodni ekvivalent prestreženih snežnih padavin je splošna značilnost iglavcev (BRUIJNZEEL, 2000). Zaradi naštetih razlogov smo analize prepuščenih padavin naredili s pomočjo ročno odčitanih podatkov s totalizatorjev.

Slika 8: Intercepcija snežnih padavin na drevesnih krošnjah (levo brezi, desno borovca)

Figure 8: Snow interception of crowns (left *Betula pendula* Roth., right *Pinus sylvestris* L.).





Slika 9: Regresijska analiza prepuščenih padavin med brezo in borom

Figure 9: Regression analyses of throughfall between silver birch and scots pine.

Z regresijsko analizo prepuščenih padavin med borom in brezo po posameznih dogodkih smo ugotovili pričakovane rezultate. Breza ima v povprečju skozi celotno obdobje večji delež prepuščenih padavin z visokim korelacijskim koeficientom ($R^2 = 0,91$) (Slika 9). Tudi z regresijskimi analizami po posameznih obdobjih ugotovimo podobne rezultate z visokim koeficientom R^2 (0,86-0,99).

S podrobnejšimi analizami smo želeli ugotoviti še odvisnost prepuščenih padavin od količine in intenzivnosti padavin (na prostem) za obe drevesni vrsti. Naredili smo regresijske analize Tf v odvisnosti od količine oz. intenzivnosti padavin za posamezna obdobja. V primeru bora in v primeru breze smo dobili statistično značilno linearno odvisnost prepuščenih padavin od količine

Preglednica 4: Primerjava meritev prepuščenih padavin kot deleža od padlih padavin na prostem z drugimi študijami
 Table 4: Comparison of throughfall measurements as % of precipitation in open with other studies.

| Vrsta vegetacije | Tf [%] od P | Lokacija | Avtor |
|---------------------------------------|--|----------------------|-------------------------------|
| Listopadni gozd (jesen, hrast, gaber) | 67-72 | Slovenija (Dragonja) | ŠRAJ 2003a, ŠRAJ et al., 2008 |
| Listopadni gozd | 77-82 | Nizozemska | LANKREIJER et al., 1993 |
| Hrastov gozd | 57-77 (z listjem) 80-87 (brez listja) | Nizozemska | DOLMAN, 1987 |
| Listopadni gozd (hrast, javor, gaber) | $76,4 \pm 2,9$ | Kanada | CARLYLE-MOSES, PRICE, 1999 |
| Listnati zimzeleni gozd (evkaliptus) | 88,5 | Portugalska | VALENTE et al., 1997 |
| Mešani gozd (bukev, jelka) | 79-98 | Slovenija | VILHAR, 2006 |
| Mešani zimzeleni gozd | 63-76 | Nova Zelandija | ROWE, 1983 |
| Iglasti gozd | 87,1 | JZ Francija | GASH et al., 1995 |
| Iglasti gozd | 83,2 | Portugalska | VALENTE et al., 1997 |
| Iglasti gozd | 77,4-82,6 (poletje) 75,8-81,7 (zima) | Francija | LOUSTAU et al., 1992a, b |
| Iglasti gozd | 67 | V Velika Britanija | GASH / STEWART 1977 |

padlih padavin, kar smo seveda pričakovali. V vseh primerih, razen za bor v obdobju rasti, smo dobili visoke korelacijske koeficiente ($R^2 > 0,93$). Regresijske analize Tf v odvisnosti od intenzivnosti padavin pa pri obeh drevesnih vrstah kažejo večanje količine prepuščenih padavin z večanjem intenzivnosti padlih padavin. Vendar pa smo le v obdobju na višku rasti dokazali statistično značilno linearno soodvisnost. V omenjenem obdobju je to verjetno opazneje zaradi velikih intenzivnosti poletnih neviht.

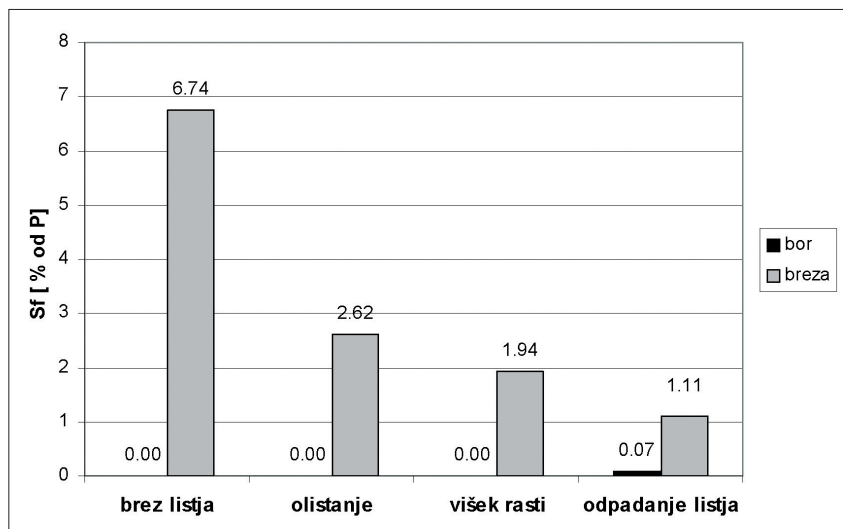
Primerjava rezultatov za brezo z rezultati drugih podobnih študij kaže na primerljive vrednosti, vrednosti za bor pa so nekoliko nižje od drugih študij za iglavce (Preglednica 4). V naši študiji je za brezo znašal delež prepuščenih padavin 57 do 70 % padlih padavin, za bor pa 35 do 49 % padlih padavin na prostem, odvisno od vegetacijskega obdobja (Slika 7). Seveda pa so take primerjave le približne, saj so različne podnebne razmere in različne vrste dreves v posameznih študijah.

3.3 Odtok po deblu

Po pričakovanjih je imela breza v vseh vegetacijskih obdobjih večji odtok po deblu kot bor (Slika 10). Tudi avtorji številnih podobnih študij doma in po svetu ugotavljajo, da se pri listavcih ponavadi pojavi večji odtok po deblu kot pri iglastih drevesih (GEIGER et al., 1995, SMOLEJ, 1988, VILHAR, 2006, ZINKE, 1967). Pri številnih padavinskih dogodkih pri boru sploh nismo zabeležili odtoka

po deblu, pri brezi pa je bil hkrati odtok po deblu dokaj velik. Vzrok temu velja pripisati veliko večji hrapavosti borove skorje in s tem veliko večji skladiščni zmogljivosti drevesne skorje ter daljšemu času zadrževanja vode na deblu, kar posledično pomeni večje izhlapevanje. Pomembna je tudi oblikovanost krošenj oz. vejni kot pri obravnavanih drevesnih vrstah. Največji delež odtoka po deblu v količini padavin na prostem se je pri boru pojavil v jesenskem obdobju, v preostalih obdobjih pa je bil praktično zanemarljiv (Slika 10). Pri brezi se je največji delež odtoka po deblu v količini padavin na prostem pojavil v obdobju brez listja, ko velik delež prestreženih padavin odteče po deblu in se ne zadrži v listju, od koder lahko odkaplja na tla ali izhlapi v ozračje.

S podrobnejšimi analizami smo želeli ugotoviti še odvisnost odtoka po deblu od količine in intenzivnosti padlih padavin na prostem za obe drevesni vrsti. Za bor smo na splošno ugotovili večanje odtoka po deblu z večanjem količine padavin na prostem v vseh obdobjih, razen poleti. Statistično značilno linearno povezavo med omenjenima količinama pa smo lahko dokazali le v jesenskem obdobju, saj v preostalih obdobjih bor skoraj ni imel odtoka po deblu. Za bor nismo mogli dokazati odvisnosti odtoka po deblu od intenzivnosti padavin, čeprav so bile v nekaj padavinskih dogodkih dokaj visoke intenzivnosti. V primeru breze smo za vsa obdobja ugotovili večanje količine odtoka po deblu z večanjem



Slika 10: Primerjava odtoka po deblu med borom in brezo po obdobjih

Figure 10: Comparison of stemflow between silver birch and scots pine.

Preglednica 5: Primerjava meritev odtoka po deblu kot deleža padlih padavin na prostem z drugimi študijami
Table 5: Comparison of stemflow measurements as % of precipitation in the open with other studies.

| Vrsta vegetacije | Sf [%] od P | Lokacija | Avtor |
|---|-------------------------------------|--------------------|------------------------------|
| Listopadni gozd (jesen, hrast, gaber) | 1,7-4,8 | Slovenija | ŠRAJ 2003a, ŠRAJ et al. 2008 |
| Listopadni gozd (hrast, javor, gaber) | 2,3-6,3 | Kanada | CARLYLE-MOSES / PRICE 1999 |
| Listopadni gozd (rdeči hrast, javor, bukev) | 2,4-5 | Kanada | PRICE / CARLYLE-MOSES, 2003 |
| Mešani gozd (bukve, jelka) | 5 - 8 | JV Slovenija | VILHAR, 2006 |
| Iglasti gozd | 1 | JZ Francija | GASH et al., 1995 |
| Iglasti gozd | 1,6 | V Velika Britanija | GASH / STEWART, 1977 |
| Iglasti gozd | 0,4 | Portugalska | VALENTE et al., 1997 |
| Iglasti gozd | 1,3-2,9 (poletje) 3,4-5,7 (zima) | Francija | LOUSTAU et al., 1992a, b |
| Iglasti gozd | 0 - 5 | JV Slovenija | VILHAR, 2006 |

količine padavin na prostem. Statistično značilno linearno povezavo med odtokom po deblu in količino padavin na prostem smo lahko dokazali le za obdobje na višku rasti. Podobno smo za brezo ugotovili statistično značilno večanje odtoka po deblu od intenzivnosti padavin.

Če primerjamo izmerjene vrednosti z drugimi podobnimi študijami, lahko ugotovimo, da ugotovimo primerljive rezultate (Preglednica 5). Za brezo smo ugotovili vrednosti odtoka po deblu od 1,1 do 6,7 % padlih padavin na prostem, za bor pa vrednosti od 0 do 0,1 % padlih padavin na prostem (Slika 10).

4 ZAKLJUČKI

V okviru študije so bile narejene natančne meritve in analiza posameznih količin hidrološkega kroga na raziskovalni ploskvi v urbanem predelu mesta Ljubljane, in sicer na dveh skupinah dreves: navadne breze (*Betula pendula Roth.*) in rdečega bora (*Pinus sylvestris L.*).

Natančne meritve in analiza padavin so pokazale, da je bila v obdobju meritev največja povprečna intenzivnost padavin pri posameznem padavinskem dogodku v poletnem obdobju, kar je posledica poletnih neviht. Analize so pokazale, da so padavinski dogodki z večjimi količinami padavin tudi bolj intenzivni in obratno. Rezultati so pokazali precej večji delež prepuščenih padavin

za brezo (57 do 70 % padlih padavin na prostem) kot za bor (35 do 49 % padlih padavin na prostem). Rezultati so pričakovani in primerljivi z drugimi podobnimi študijami. Pri obeh drevesnih vrstah so podrobnejše analize pokazale večanje prepuščenih padavin z večanjem količine in intenzivnosti padavin na prostem.

Meritve odtoka po deblu so za brezo znašale 1,1 do 6,7 % padlih padavin na prostem, za bor pa je bil odtok po deblu praktično zanemarljiv. Razlog za to je treba iskati predvsem v veliki skladiščni zmogljivosti borove drevesne skorje, drugačni oblikovanosti krošnje in večji gostoti krošnje. Za obe drevesni vrsti je bila ugotovljena povezava med količino padavin na prostem in odtokom po deblu, povezava z intenzivnostjo padavin pa je bila ugotovljena le za brezo. Tako je bilo za brezo za vsa obdobja ugotovljeno večanje količine odtoka po deblu z večanjem količine in intenzivnosti padavin na prostem.

Glede na osnovne bilančne enačbe (2) lahko ugotovimo, da v primeru breze z mokrih krošenj izhlapi v ozračje 23 do -40 % padlih padavin, v primeru bora pa kar 51 do 65 % padlih padavin na prostem. Količina je odvisna od vrste dejavnikov (trajanja obdobja, drevesne vrste, gostote dreves, starosti dreves, podnebnih razmer, količine, trajanja, pogostosti in intenzivnosti padavin itn.).

Nadaljevanje na strani 433

Nadaljevanje s strani 416

Iz študije lahko zaključimo, da je za učinkovito zmanjšanje površinskega odtoka padavinske vode (bioretencija) z urbanih površin pomembna tudi izbira dreves, ki je odvisna predvsem od podnebnih razmer in potreb. V predelih, kjer je za jesensko in zimsko obdobje značilna velika količina padavin, so primernejši iglavci, ki imajo tudi pozimi veliko prestrezno sposobnost. Na splošno izbiramo drevesa z večjim indeksom listne površine, večjimi krošnjami, bolj hrapavo drevesno skorjo ter z manjšo občutljivostjo za onesnažen zrak, sol, snegolome, vetrolome itn. Drevesa poleg zmanjšanja tudi zapoznijo površinski odtok padavinske vode.

5 VIRI

- ARSO MOP, 1998. Navodila za fenološka opazovanja. Ljubljana, 36 s.
- BRUIJNZEEL, L. A., 2000. Chapter 12: Forest Hydrology. V Evans, J. S. (editor): The Forestry Handbook, Volume 1, Blackwell, Oxford, s. 301–343.
- CARLYLE - MOSES, D. E. / PRICE, A. G., 1999. An evaluation of the Gash interception model in a northern hardwood stand. - *Journal of Hydrology*, 214, s. 103–110.
- 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, s. 1–9.
- GASH, J. H. C. / LLOYD, C. R. / LACHAUD, G., 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, 170, s. 79–86.
- GASH J. H. C. / STEWART, J. B., 1977. The evaporation from Thetford forest during 1975. *Journal of Hydrology*, 35, s. 385–396.
- GEIGER, R., ARON, R. H., TODHUNTER, P., 1995. The Climate near the Ground. Friedr. Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 528 s.
- LAH, A., 2007. Meritve in analiza prestreženih padavin. - Diplomatska naloga, UL FGG, Ljubljana, 110 s.
- LANKREIJER, H.J.M. / HENDRIKS, M.J. / KLASSEN, W., 1993. A comparison of models simulating rainfall interception of forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 64, s. 187–199.
- LOUSTAU, D. / BERBIGER, P. / GRANIER, A. / EL HADJ MOUSSA F., 1992a. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime oine stand. I. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy. - *Journal of Hydrology*, 138, s. 449–467.
- LOUSTAU, D. / BERBIGER, P. / GRANIER, A., 1992b. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime oine stand. II. An application of Gash's analytical model of interception. *Journal of Hydrology*, 138, s. 469–485.
- OVINGTON, J. D., 1954. A comparison of rainfall in different woodlands. *Forestry London* 27, s. 41–53.
- PERKO, F., 2004. Gozd in gozdarstvo Slovenije. Zveza gozdarskih društev Slovenije v sodelovanju z Ministrstvom za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS in Zavodom za gozdove, Ljubljana, 39 s.
- 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, s. 69–85.
- ROWE, L. K., 1983. Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 66, s. 143–158.
- RUTTER, A. J., MORTON, A. J., ROBINS, P. C., 1975. A predictive model of rainfall interception in forest. II. Generalisation of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands, *Journal of Applied Ecology*, 12, s. 36–380.
- SHELLEKENS, J., 2000. Hydrological processes in a humid tropical rain forest: a combined experimental and modeling approach, Vrije University, Amsterdam, 158 s.
- SMOLEJ, I., 1988. Gozdna hidrologija. V Rejic, M., Smolej, I., Sladkovodni ekosistemi, varstvo voda in gozdna hidrologija, UL BF VTOZD za gozdarstvo, Ljubljana, s. 187–225.
- ŠRAJ, M., 2003a. Modeliranje in merjenje prestreženih padavin. Doktorska disertacija, UL FGG, Ljubljana, 236 s.
- ŠRAJ, M., 2003b. Določanje indeksa listne površine listnatega gozda na povodju Dragonje – 1. del: Metode in meritve/ Estimating leaf area index of the deciduous forest in the Dragonja watershed – Part 1: Methods and measuring. *Acta hydrotechnica*, 21(35), s. 105–128.
- ŠRAJ, M. / BRILLY, M. / MIKOŠ, M., 2008. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148/1, s. 121–134.
- 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, s. 141–162.
- VILHAR, U., 2006. Vodna bilanca dinarskega jelovobukovega gozda v Kočevskem Rogu. Doktorska disertacija, UL BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, 250 s.
- ZGS, 2007. Poročilo Zavoda za gozdove Slovenije o gozdovih za leto 2006, Ljubljana, 118 s.
- ZINKE, P. J., 1967. Forest interception studies in the United States. *International Symposium on Forest Hydrology*, Pergamon Press, Oxford, s. 137–160.