

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



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

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

V zbirki je izvorna različica izdajatelja.

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

University
of Ljubljana
Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is a publisher's version PDF file.

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

Šraj, M., Lah, A., Brilly, M. 2008. 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.

<http://www.dendro.bf.uni-lj.si/gozdv/okvir.htm>

ŠRAJ, Mojca, LAH, Aleš, BRILLY, Mitja. 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. Gozd. vestn., 2008, letn. 66, št. 9, str. 406-416, 433.

MERITVE IN ANALIZA PRESTREŽENIH PADAVIN BREZE IN RDEČEGA BORA MEASUREMENT AND ANALYSIS OF INTERCEPTED PRECIPITATION OF BETULA PENDULA AND PINUS SYLVESTRIS

Mojca ŠRAJ¹, Aleš LAH², Mitja BRILLY³

IZVLEČEK

Študija prikazuje meritve, primerjavo in analizo prestreženih padavin iglastih in listnatih dreves. Meritve so se izvajale na raziskovalni ploskvi v urbanem predelu mesta Ljubljane in sicer na dveh skupinah dreves: navadne breze (*Betula pendula*) in rdečega bora (*Pinus sylvestris*). 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 vegetacijska obdobja. Padavine nad drevesnimi krošnjami so se merile z ombrografom z avtomatskim zapisovanjem rezultatov na vsakih 10 minut ter s Helmanovim dežemerom z ročnim odčitavanjem za kontrolo. Prepuščene padavine so se merile s kombinacijo stalnih (korita) in pomičnih merilcev (totalizatorji) z avtomatskim zapisovanjem na 10 minut in ročnim odčitavanjem. Odtok po deblu se je meril ročno na po enem drevesu vsake vrste. Rezultati meritev so pokazali, da breze prepustijo 57-70 %, bori pa 35-49 % padavin, kar je primerljivo z rezultati drugih podobnih študij po svetu. Odtok po deblu je bil pri brezi 1,1-6,7 % padlih padavin in pri boru praktično zanemarljiv.

Ključne besede: prestrežene padavine, breza, bor, prepuščene padavine, odtok po deblu

ABSTRACT

Study presents measurements, comparison and analysis of intercepted precipitation of coniferous and deciduous trees. Measurements were made on experimental plot in the urban part of the city Ljubljana on two groups of trees: *Betula pendula* and *Pinus sylvestris*. Analyses and comparisons of throughfall and stemflow were made for the period from June 2004 till December 2006 which was divided into four vegetation periods. 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. Throughfall was measured using a combination of fixed gauges with digital recording of results every 10 minutes and manual roving gauges. Stemflow was measured manually on one tree of each specie. The results of the measurements showed that the throughfall for *Betula pendula* was 57-70 % of precipitation and for *Pinus sylvestris* 35-49 % which is comparable with the results of other similar studies around the world. The stemflow fraction for *Betula pendula* amounted 1,1-6,7 % of precipitation and it was practically negligible for *Pinus sylvestris*.

Key words: rainfall interception, *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, throughfall, stemflow

¹ doc.dr. Mojca Šraj, univ. dipl. inž. gradb., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana. E-mail: 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 z gozdom poraščenih tleh preučuje gozdna hidrologija.

V Sloveniji zavzema gozd približno 57 % celotne površine države, torej več kot polovico. Slovenija sodi po gozdnatosti na četrto mesto v Evropi. Od leta 1875 je gozdnatost pri nas narasla za 21 %. Iglastih gozdov je okoli 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 padlih padavin nad gozdom prestrežejo drevesne krošnje. Ta delež imenujemo prestrežene padavine. Znatna količina prestreženih padavin izhlapi nazaj v ozračje med ali takoj po nalivu, 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 skladiščna zmogljivost krošnje zapolnjena. 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 iz 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 vlažnost velika. Tudi vsa infiltrirana voda ne pride do vodotoka, saj jo velik del porabi vegetacija in vrača v atmosfero skozi proces transpiracije E_t . Če k temu prištejemo še znatno izhlapevanje prestreženih padavin z mokre površine krošenj E_i , dobimo 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). Izhlapevanje prestreženih padavin s krošenj E_i ponavadi predstavlja glavno komponento celotne evapotranspiracije v gozdu.

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

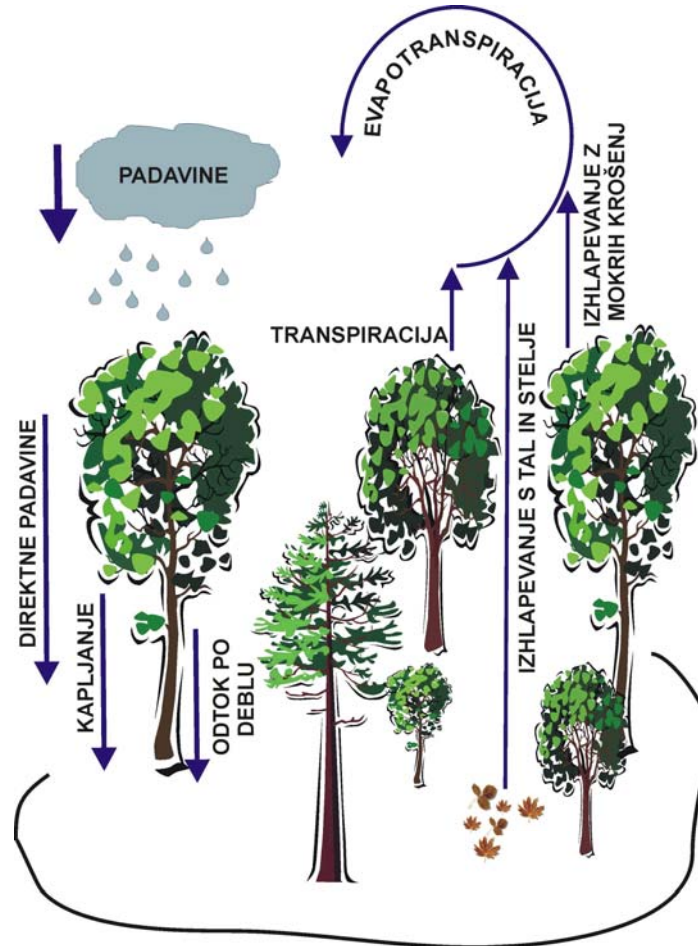
ET evapotranspiracija [mm];
 E_i izhlapevanje prestreženih padavin z mokrih krošenj [mm];
 E_t transpiracija [mm];
 E_s izhlapevanje s tal in stelje [mm].

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

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

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

- P padavine [mm];
 T_f prepuščene padavine oz. količina padavin, ki padejo skozi odprtine med krošnjami in listi neposredno na tla in padavin, ki kasneje prikapljuje s krošenj do tal [mm];
 S_f odtok po deblu [mm];
 E_i izhlapevanje prestreženih padavin z mokrih krošenj [mm].



Slika 1. Gozdni hidrološki krog (ŠRAJ 2003a) / *Forest hydrological cycle (ŠRAJ 2003a)*.

Odtok po deblu se začne z neko časovno zakasnitvijo glede na padavine. Najprej se morajo zapolniti skladiščne kapacitete krošnje, vej in debla. Ta čas je daljši v obdobju olistanosti, oz. v zrelem obdobju drevesa. 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 predstavlja tudi do 15 % padavin, medtem ko je pri iglavcih zelo majhen (SMOLEJ 1988). Vzrok temu je predvsem razlika v skorji listavcev in iglavcev.

Količina prestreženih padavin je odvisna od številnih vegetacijskih in meteoroloških parametrov, tj. vrste, velikosti, oblike in starosti vegetacije, gostote vegetacije, indeksa listne površine, kapacitete krošnje, intenzitete, trajanja in pogostosti padavin, vrste padavin, klimatskih pogojev, časovnega obdobja v letu itd (ŠRAJ 2003b). V splošnem je količina prestreženih padavin večja za iglavce kot za listavce. Ovington (1954) je na podlagi raziskav zaključil, da je količina prestreženih padavin lahko od 6 do 93 odstotkov oziroma glede na zelo različne pogoje je možen zelo različen delež prestreženih padavin.

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 Hajdrihovi 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*) in en rdeči bor (*Pinus sylvestris*), na severni strani ploskve pa so trije rdeči bori, prav tako vrste *Pinus sylvestris*. Na južni strani se opravljajo meritve samo na omenjenih dveh brezah. Na severni pa se opravljajo meritve samo na dveh borih.

Drevesom je bila izmerjena višina in njihov premer na višini 1,35 m (*DBH*). Za račun odtoka po deblu (*Sf*) je bila določena tudi površina tlorisne projekcije posameznih krošenj (preglednica 1).

Preglednica 1. Karakteristike dreves na raziskovalni ploskvi (LAH 2007) / *Tree characteristics on the research plot (LAH 2007)*.

| | breza | bor |
|---|-------|------|
| Število dreves | 2 | 2 |
| Povp. višina dreves [m] | 14 | 12 |
| Povp. <i>DBH</i> [cm] | 31 | 32,2 |
| Površina tlorisne projekcije krošnje za drevesi, kjer je merjen <i>Sf</i> [m ²] | 7,1 | 21,4 |

2.2 Merska oprema in merske metode

Na raziskovalni ploskvi so bili 21.6.2004 postavljeni instrumenti za merjenje posameznih količin gozdnega hidrološkega kroga, tj. padavin (*P*), odtoka po deblu (*Sf*) in prepuščenih padavin (*Tf*) (preglednica 2).

Preglednica 2. Pregled merske opreme / *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 gumijasti žlebiči (ročni odčitki) |

Na raziskovalni ploskvi so se izvajale naslednje meritve:

1) Meritve količine padavin na prostem

Meritve padavin so se izvajale z ombrografom (Onset RG2-M, površine zajema 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 postavljena na višini 1 m. Ročni dežemer je služil kot kontrola avtomatskemu. Količina

padavin na prostem se je merila na travnati površini približno 15 metrov stran od opazovalnih točk.



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

2) Meritve količine prepuščenih padavin (T_f)

Prepuščene padavine so tisti del padavin, ki pade skozi odprtine med krošnjami in listi neposredno do tal ter del prestreženih padavin, ki kasneje prikapljuje s krošenj do tal. Teh dveh količin ne moremo meriti ločeno, zato ju obravnavamo skupaj kot T_f . Merjenje tega deleža padavin je po mnenju mnogih znanstvenikov najboljše s kombinacijo stalnih in pomičnih merilcev, ker na ta način dobimo bolj reprezentativno vzorčenje. S pomičnimi merilci zajamemo tudi mesta t.i. "drip points", kjer je T_f večji od padavin. Kapljice, ki jih krošnje prestrežejo, 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. Pod vsako skupino dreves sta bili postavljeni po dve koriti (eno z avtomatskim merjenjem in eno z ročnim merjenjem) in pa po dva totalizatorja. Korita so bila izdelana po naročilu iz nerjavečega jekla (ostroroba, 18⁰, 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, povezanima s pretočno cevjo (slika 3). Poleg korit sta bila pod vsako skupino dreves postavljena še po dva totalizatorja (zajemne površine 107,5 cm², ki sta se praznila ročno po vsakem padavinskem dogodku in se jima je po vsakem odčitavanju zamenjalo mersko mesto (slika 3).



Slika 3. Korita in totalizator za merjenje prepuščenih padavin / *Throughfall measurement with gutter and totalisator.*

3) Meritve odtoka po deblu (Sf)

Delež padavin, ki odtečejo po deblu se je meril 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 se ročno odčitavala po podavanskih dogodkih.



Slika 4. Merjenje odtoka po deblu (levo breza, desno bor) / *Stemflow measurement (left Betula pendula, right Pinus sylvestris).*

3. REZULTATI IN ANALIZA MERITEV

Za potrebe te študije so bili analizirani podatki od 21. 6. 2004 do 11. 12. 2006. V primeru listopadnih dreves se parametri drevesnih krošenj s časom zelo spreminjajo. Iz tega razloga je bilo celotno obdobje meritev razdeljeno na štiri vegetacijska 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 na osnovi fenoloških podatkov 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 vmes tudi nekajkrat prekinjeno zaradi prestavljanja opreme, zamašitve ali zamrzovanja merilnih inštrumentov.

3.1 Padavine

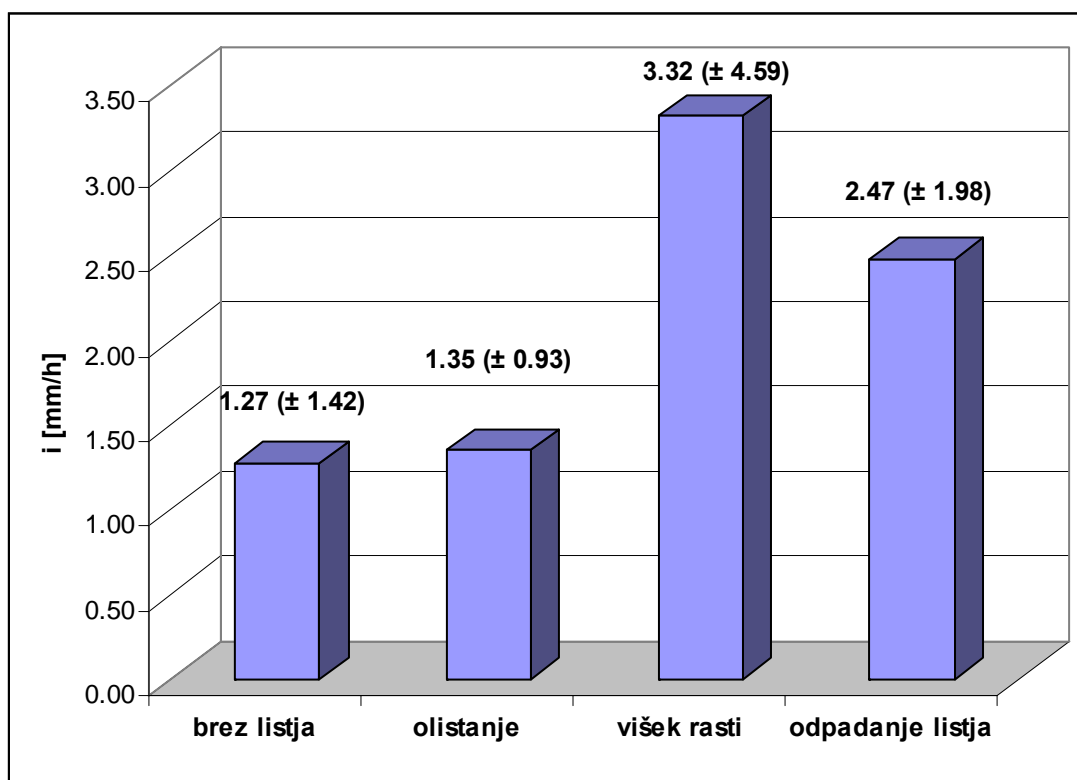
Vsota padavin, izmerjenih v obdobju meritev je bila 1217,6 mm, razdeljena na 168 padavinskih dogodkov (preglednica 3). Dogodki so med seboj ločeni z obdobjem, v katerem se krošnje popolnoma posušijo. V posameznih dogodkih je padlo od 0,2 mm pa do 93,8 mm padavin, z intenzitetami od 0,13 do 30,38 mm/h. Povprečna količina padavin posameznega

dogodka je bila $7,25 (\pm 12,03)$ mm. Povprečno so dogodki trajali $3,68 (\pm 6,36)$ ure, kar je dalo povprečno intenziteto $2,70 (\pm 3,96)$ mm/h (preglednica 3).

Preglednica 3. Izmerjene količine padavin, intenzitet in trajanja po posameznih vegetacijskih obdobjih / *Measured precipitation, intensity and duration for each vegetation 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 | $1217,6 \pm 12,03$ | $2,70 \pm 3,96$ | $3,68 \pm 6,36$ |

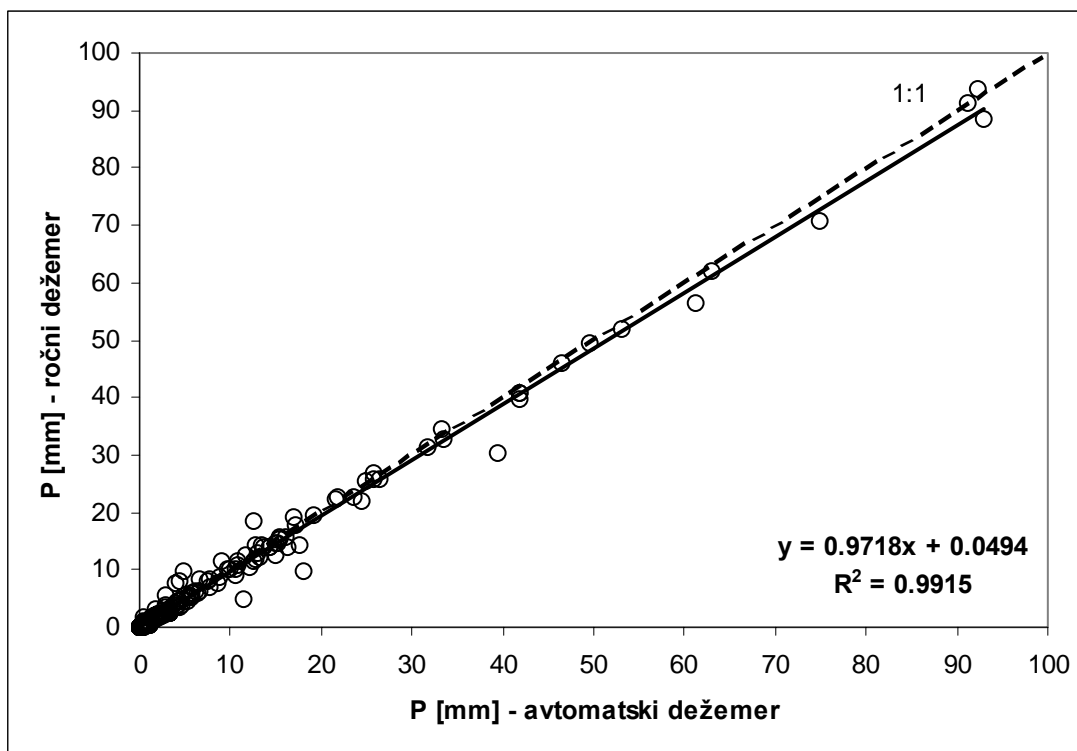
Primerjava intenzitet padavin po vegetacijskih obdobjih kaže na večje razlike med njimi (slika 5). Največja povprečna intenziteta padavin posameznega dogodka je bila v obdobju na višku rasti in sicer $3,32 (\pm 4,59)$ mm/h, kar je posledica poletnih neviht. Najmanjša povprečna intenziteta pa je bila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



Slika 5. Primerjava povprečnih intenzitet padavin po vegetacijskih obdobjih / *Comparison of the average precipitation intensity by vegetation periods.*

Analize posameznih dogodkov so pokazale statistično značilno odvisnost količine padavin in intenzitete. Padavinski dogodki z večjimi količinami padavin so imeli tudi večje intenzitete in obratno.

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

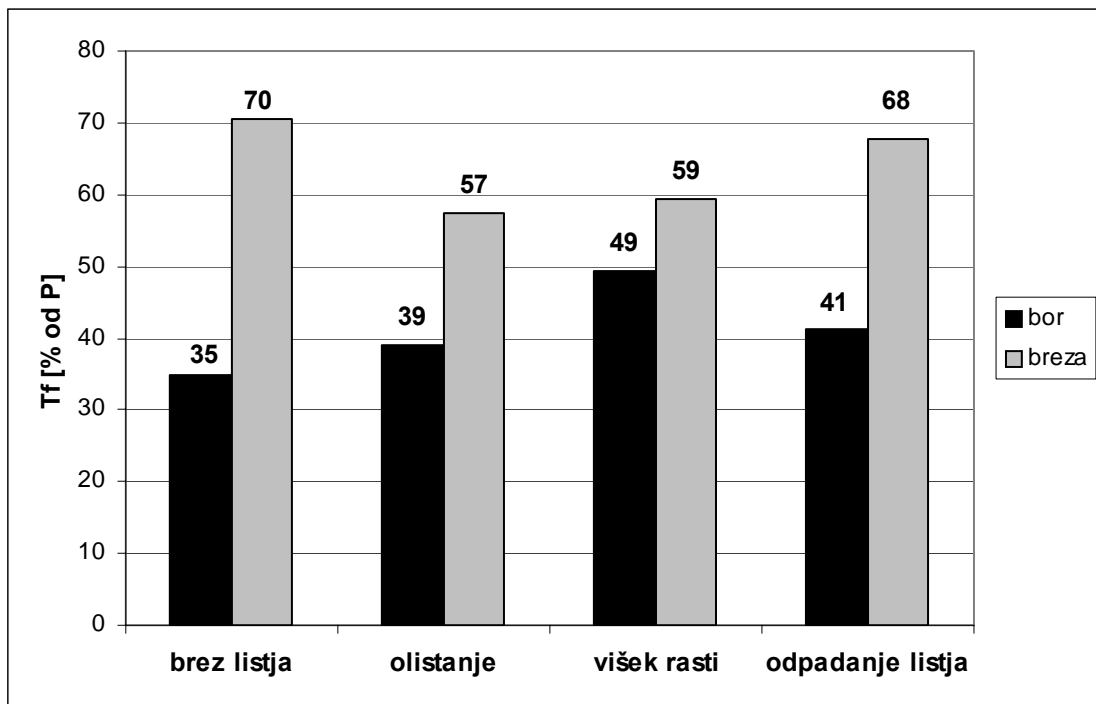


Slika 6. Regresijska analiza padavin, izmerjenih z avtomatskim in ročnim dežemerom / *Regression analyses of precipitation measured with automatic raingauge and manual gauge .*

3.2 Prepuščene padavine T_f

Tudi analize prepuščenih padavin so bile narejene za vsa štiri vegetacijska obdobja. Zaradi primerjave med obema drevesnima vrstama, so bile na obdobja razdeljene tudi meritve za bor, čeprav bor bistveno ne spreminja indeksa listne površine tekom leta.

Prepuščene padavine so bile merjene s stalnimi merilci z avtomatskim zapisovanjem rezultatov in pomičnimi totalizatorji z ročnim odčitavanjem. Primerjava prepuščenih padavin izmerjenih s pomičnimi totalizatorji, med rdečim borom in brezo po posameznih vegetacijskih obdobjih, je dala pričakovane rezultate. Breza ima v vseh vegetacijskih 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 logično, saj je breza takrat 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 na borih nabere veliko večja količina snega kot na brezah. Velik vodni ekvivalent prestreženih snežnih padavin je splošna značilnost iglavcev. Zaradi zgoraj naštetih razlogov smo analize prepuščenih padavin naredili s pomočjo ročno odčitanih podatkov s totalizatorjev.

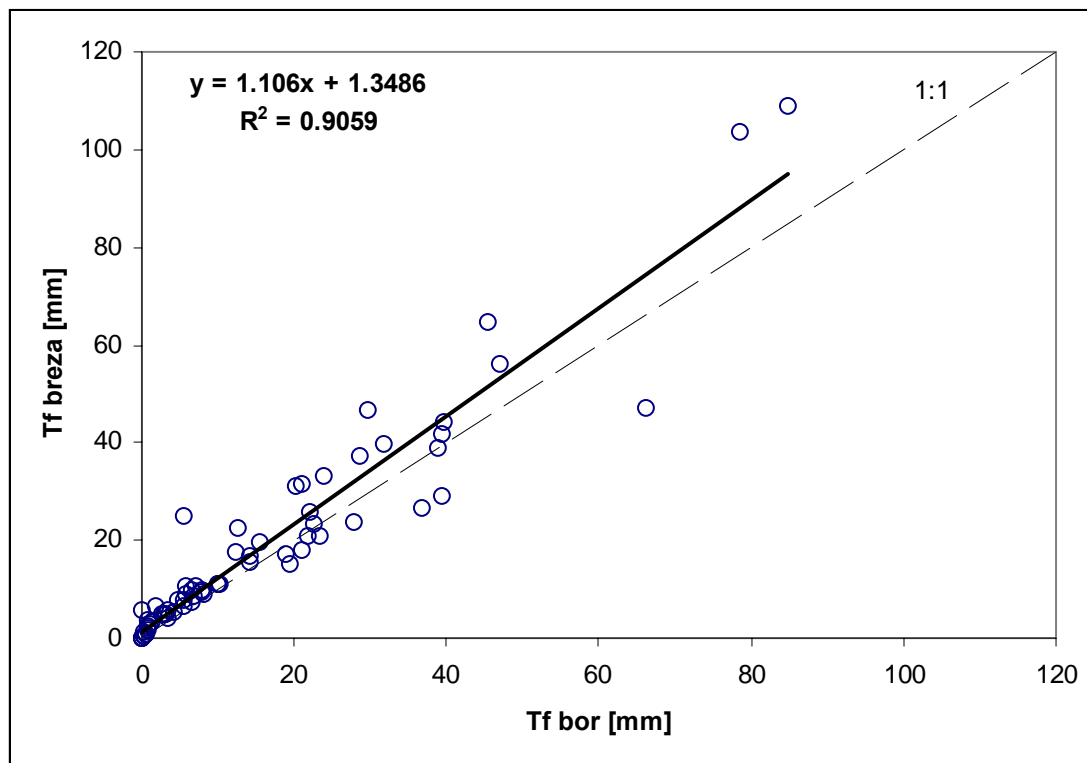


Slika 7. Primerjava prepuščenih padavin med borom in brezo po vegetacijskih obdobjih / *Comparison of throughfall between *Betula pendula* and *Pinus sylvestris* by vegetation periods.*



Slika 8. Zadrževanje snega na drevesnih krošnjah (levo brezi, desno borovca) / *Snow storage capacity of crowns (left *Betula pendula*, right *Pinus sylvestris*).*

Regresijska analiza prepuščenih padavin med borom in brezo po posameznih dogodkih je dala pričakovane rezultate. Breza ima v povprečju skozi celo obdobje večji delež prepuščenih padavin z visokim korelacijskim koeficientom ($R^2 = 0,91$) (slika 9). Tudi regresijske analize po posameznih vegetacijskih obdobjih dajo podobne rezultate z visokim koeficientom R^2 (0,86-0,99).



Slika 9. Regresijska analiza prepuščenih padavin med brezo in borom / *Regression analyses of throughfall between Betula pendula and Pinus sylvestris.*

S podrobnejšimi analizami smo želeli ugotoviti še odvisnost prepuščenih padavin od količine in intenzitete padavin za obe drevesni vrsti. Narejene so bile regresijske analize Tf v odvisnosti od količine oz. intenzitete padavin za posamezna vegetacijska obdobja. Tako v primeru bora, kot v primeru breze smo dobili statistično značilno linearno odvisnost prepuščenih padavin od količine padavin, kar smo seveda pričakovali. V vseh primerih, razen za bor v obdobju rasti, smo dobili visoke korelacijske koeficinte ($R^2 > 0,93$). Regresijske analize Tf v odvisnosti od intenzitete padavin pa pri obeh drevesnih vrstah kažejo naraščanje količine prepuščenih padavin z naraščanjem intenzitete padavin, vendar pa smo le v obdobju na višku rasti dokazali statistično značilno linearno soodvisnost. V tem obdobju je to verjetno bolj opazno zaradi velikih intenzitet poletnih neviht.

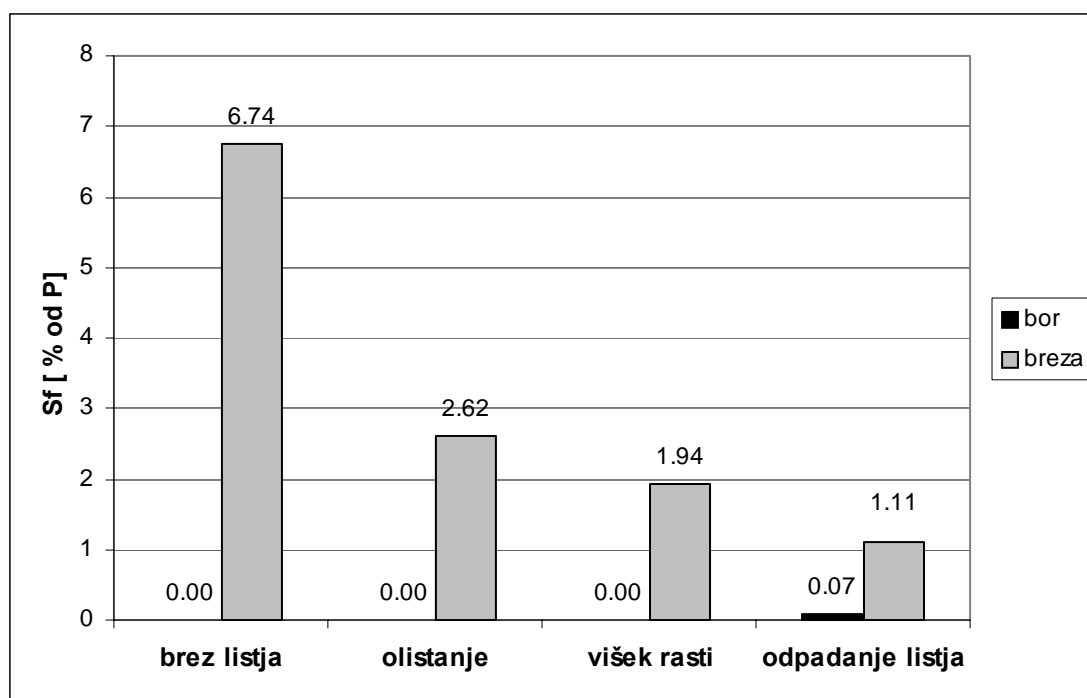
Primerjava rezultatov za brezo z rezultati drugih podobnih študij kaže na primerljive vrednosti, vrednosti za bor pa so nekoliko nižje od drugih študij za iglavce (preglednica 4). Za brezo smo v naši študiji dobili 57–70 %, za bor pa 35–49 % prepuščenih padavin. Seveda pa so take primerjave le približne, saj gre za različne klimatske razmere in vrste dreves v posameznih študijah.

Preglednica 4. Primerjava meritev prestreženih padavin z drugimi študijami / *Comparison of intercepted precipitation measurements with other studies.*

| vrsta vegetacije | T_f [%] | 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 |

3.3 Odtok po deblu

Delež padavin, ki odtečejo po deblu se je meril ročno na po enem drevesu vsake drevesne vrste. Po pričakovanjih je imela breza v vseh vegetacijskih obdobjih večji odtok po deblu (slika 10). Tudi avtorji številnih podobnih študij doma in po svetu ugotavljajo, da se pri listavcih običajno pojavi večji odtok po deblu kot pa pri iglastih drevesih (GEIGER et al. 1995, SMOLEJ 1988, VILHAR 2006, ZINKE 1967). Pri velikem številu padavinskih dogodkov, pri boru sploh ni bilo zabeleženega odtoka po deblu, pri brezi pa je bil istočasno odtok po deblu dokaj velik. Razlog zato gre verjetno 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. Največji odtok po deblu se je pri boru pojavil v jesenskem obdobju, v ostalih obdobjih pa je bil praktično zanemarljiv (slika 10). Pri brezi se je največji odtok pojavil v obdobju brez listja, ko velik delež prestreženih padavin odteče po deblu in ne izhlapi v ozračje.



Slika 10. Primerjava odtoka po deblu med borom in brezo po vegetacijskih obdobjih / *Comparison of stemflow between Betula pendula and Pinus sylvestris.*

Preglednica 5. Primerjava meritev odtoka po deblu z drugimi študijami / *Comparison of stemflow measurements with other studies.*

| Vrsta vegetacije | Sf [%] | 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 (bukav, 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 |

S podrobnejšimi analizami smo želeli ugotoviti še odvisnost odtoka po deblu od količine in intenzitete padavin za obe drevesni vrsti. Za bor smo v splošnem ugotovili naraščanje odtoka po deblu z naraščanjem padavin v vseh obdobjih, razen poleti. Statistično značilno linearno

povezavo med omenjenima količinama pa smo lahko dokazali le v jesenskem obdobju, saj v ostalih obdobjih bor skoraj ni imel odtoka po deblu. Odvisnosti odtoka po deblu od intenzitete padavin za bor nismo mogli dokazati, čeprav so bile intenzitete v nekaj padavinskih dogodkih dokaj visoke. V primeru breze smo za vsa obdobja ugotovili naraščanje količine odtoka po deblu z naraščanjem količine padavin. Statistično značilno linearno povezavo med odtokom po deblu in količino padavin pa smo lahko dokazali le za obdobje na višku rasti. Podobno smo za brezo ugotovili statistično značilno naraščanje odtoka po deblu od intenzitete padavin.

Če primerjamo izmerjene vrednosti z drugimi podobnimi študijami, lahko ugotovimo, da dobimo primerljive rezultate (preglednica 5). Za brezo smo dobili vrednosti odtoka po deblu med 1,1 in 6,7 % za bor pa vrednosti od 0 – 0,1 %.

4. RAZPRAVA IN 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*) in rdečega bora (*Pinus sylvestris*).

Natančne meritve in analiza padavin so pokazale, da je bila v obdobju meritev največja povprečna intenziteta padavin posameznega dogodka v poletnem obdobju, kar je posledica poletnih neviht. Analize so pokazale, da imajo padavinski dogodki z večjimi količinami padavin tudi večje intenzitete in obratno.

Rezultati so pokazali precej večji delež prepuščenih padavin za brezo (57-70 %) kot za bor (35-49 %). Rezultati so pričakovani in primerljivi z drugimi podobnimi študijami. Podrobnejše analize so pri obeh drevesnih vrstah pokazale naraščanje prepuščenih padavin z naraščanjem količine in intenzitete padavin.

Meritve odtoka po deblu so za brezo dale 1,1-6,7 % padavin, za bor pa je bil odtok po deblu praktično zanemarljiv. Razlog za to je potrebno iskati predvsem v veliki skladiščni zmogljivosti borove drevesne skorje in večji gostoti krošnje. Za obe drevesni vrsti je bila ugotovljena povezava med količino padavin in odtokom po deblu, povezava z intenziteto padavin pa je bila ugotovljena le za brezo. Tako je bilo za brezo za vsa obdobja ugotovljeno naraščanje količine odtoka po deblu z naraščanjem količine in intenzitete padavin.

Na osnovi osnovne bilančne enačbe (2) lahko zaključimo, da v primeru breze z mokrih krošenj izhlapi v ozračje 23-40 % padavin in v primeru bora pa kar 51-65 % padavin. Količina je odvisna od vrste dejavnikov (vegetacijskega obdobja, drevesne vrste, gostote dreves, starosti dreves, klimatskih pogojev, količine, trajanja, pogostosti in intenzitete padavin, itd.).

Iz rezultatov pa lahko zaključimo tudi to, da bi zasaditev dreves v parkih, na parkiriščih in drugih mestnih površinah učinkovito zmanjšala površinski odtok padavinske vode in s tem stroške odvodnje. Pri načrtovanju pa je pomembna seveda tudi izbira dreves.

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 Verslagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 528 s.
- LAH, A., 2007. Meritve in analiza prestreženih padavin.- Diplomaska 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 pine 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 pine 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.
- 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 jelovo-bukovega gozda v Kočevskem Rogu.- Doktorska disertacija, UL BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, 250 s.
- ZINKE, P.J., 1967. Forest interception studies in the United States.- *International Symposium on Forest Hydrology*, Pergamon Press, Oxford, s. 137-160.