

Sestojne padavine v mešanih sestojih smreke in bukve na Pohorju

Throughfall in Mixed Beech-Spruce Forests in the Pohorje Mountains

Urša VILHAR¹

Izvleček:

Vilhar, U.: Sestojne padavine v mešanih sestojih smreke in bukve na Pohorju. *Gozdarski vestnik*, 74/2016, št. 1. V slovenščini z izvlečkom v angleščini, cit. lit. 52. Prevod avtorica, jezikovni pregled angleškega besedila Breda Misja, slovenskega pa Marjetka Šivic.

Sestojne padavine v gozdu so vsota prepuščenih padavin, ki so bodisi padle v vrzelih krošenj, v obliki kapljic odtekle z njih ali po deblih odtekle do gozdnih tal (odtok po deblu). V prispevku obravnavamo, kako v antropogenih smrekovih sestojih na Pohorju spremembe v mešanosti drevesnih vrst vplivajo na sestojne padavine. Take spremembe lahko vplivajo na hidrologijo celotnega porečja, saj večji delež listavcev v mešanih gozdovih prispeva k večjemu deležu prepuščenih padavin in odtoka po deblu ter manjšemu prestrezanju padavin v krošnjah dreves. Raziskave so potekale v štirih sestojih smreke in štirih mešanih sestojih z različnim deležem smreke in bukve v zgornjem porečju Oplotnice na Pohorju. V letih od 2008 do 2014 smo sestojne padavine za posamezne ploskve ocenili na podlagi merjenih in ocenjenih prepuščenih padavin in odtoka po deblu. Letne prepuščene padavine na ploskvah so znašale od 76 % do 82 % padavin na prostem. Letni odtok po deblu je bil zaznan le na dveh ploskvah, in sicer 3 % in 12 % padavin na prostem. Letne sestojne padavine na ploskvah so v povprečju znašale 92 % padavin na prostem, od tega 99 % v obdobju mirovanja vegetacije in 89 % v vegetacijskem obdobju. Ugotovljamo, da se z večanjem deleža smreke v lesni zalogi zmanjšujejo letne sestojne padavine. Hkrati so sestojne padavine v vegetacijskem obdobju v povprečju 10 % manjše kot v obdobju mirovanja vegetacije, kar kaže na večje prestrezanje padavin v krošnjah mešanih sestojev v času olistanja. Sestojne padavine so pomemben kazalnik za hidrološko funkcijo gozdov, saj odražajo skladiščno zmogljivost krošenj za prestrezanje padavin. Rezultati raziskave lahko pomembno prispevajo k oblikovanju usmerjenih gozdnogojitvenih ukrepov na ravni gozdnatih porečij z namenom izboljšanja hidrološke funkcije gozdov.

Ključne besede: prepuščene padavine, odtok po deblu, mešanost drevesnih vrst, smrekove monokulture, premena

Abstract:

Vilhar, U.: Throughfall in Mixed Beech-Spruce Forests in the Pohorje Mountains. *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 74/2016, vol. 1. In Slovenian, abstract in English, lit. quot. 52. Translated by the author and Breda Misja, proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Net precipitation in forests consists of water (throughfall), reaching the ground through canopy gaps or dripping from the foliage or branches and stemflow. In this study, the effect of tree species conversion in spruce monocultures into mixed deciduous-coniferous forests in Pohorje on net precipitation was investigated. Such changes might affect hydrological processes on the general catchment scale, since higher share of deciduous trees in mixed forests contributes to higher throughfall and stemflow and lower canopy interception. Four Norway spruce forests and four mixed spruce-beech forests in the Upper Oplotnica River catchment on Pohorje with varying share of spruce and beech in the growing stock were investigated. Net precipitation was estimated for each forest from measured or estimated throughfall and stemflow for the period from 2008 to 2014. Annual throughfall in selected forests ranged from 76 % to 82 % of the bulk precipitation. Annual stemflow was present only in two forests, ranging from 3 % to 12 % of the bulk precipitation, respectively. Annual net precipitation averaged to 92 % of the bulk precipitation, ranging from 99 % for the dormancy to 89 % for the growing season. Therefore, annual net precipitation was decreasing with increasing share of spruce in the growing stock, indicating higher canopy interception in mixed forests with prevailing spruce. In addition, the average net precipitation during the growing season was 10 % lower than during the dormancy, indicating higher interception during the growing season. Net precipitation is important indicator of hydrologic functions of forests (e.g. forest ecosystem services, related to water provisioning and regulating), since it is indicating the canopy interception capacity. The results of this study could contribute to the implementation of hydrology-oriented silvicultural measures on a catchment scale, aiming at improved hydrological functions of forests.

Key words: throughfall, stemflow, tree species mixture, spruce monoculture, conversion

¹ Dr. Urša Vilhar, Gozdarski inštitut Slovenije – Slovenian Forestry Institute, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Meritve padavin se v gozdni krajini, oddaljeni od urbanih središč, redko opravljajo (Sinjur in sod., 2010). Nekateri avtorji ugotavljajo (Vilhar, 2010; Sinjur in sod., 2011), da se količine padavin na raziskovalnih ploskvah v gozdnatih območjih Slovenije lahko precej razlikujejo od količin, zabeleženih na okoliških meteoroloških postajah Državne meteorološke službe, predvsem zaradi orografskih dejavnikov in vetra (Frantar, 2008).

Sestojne padavine v gozdu predstavljajo tisti delež padavin, ki se niso zadržale v krošnjah dreves ali pritalne vegetacije in izhlapele (prestrežene padavine oziroma intercepcija, I), temveč so bodisi padle skozi vrzeli v krošnjah bodisi v obliki kapljic odtekle z njih (prepuščene padavine, TF) (Rutter, 1975) ali odtekle po deblih do gozdnih tal (odtok po deblu, SF) (Levia in Frost, 2003):

$$P = TF + SF + I$$

kjer je

P	padavine
TF	prepuščene padavine
SF	odtok po deblu
I	v krošnjah izhlapele padavine (intercepcija)

Sestojne padavine so glavni vir vode in rastlinam dostopnih hranil ter so pomembne za kemične in biološke procese v tleh, vključno s pedogenezo, kopičenjem in mobilizacijo potencialno strupenih snovi ter pufrskimi odzivi gozdnih tal (Thimonier, 1998). Porazdelitev sestojnih padavin je odvisna od vrste in intenzivnosti padavin pa tudi od zgradbe gozda, mešanosti drevesnih vrst, oblike dreves in njihove prostorske razporeditve (Kimmins, 1997), hrapavosti debla in skladiščne zmogljivosti krošenj (Rejic in Smolej, 1988; Zabret, 2013). Pri prostorski razporeditvi sestojnih padavin in skladiščni zmogljivosti krošenj za padavine sta pomembna dejavnika tudi smer in hitrost vetra (Krečmer, 1967) ter izpostavljenost gozdnemu robu (Klaasen in sod., 1996).

Spremembe v zgradbi sestoja in mešanosti drevesnih vrst pomembno vplivajo na sestojne padavine in posledično tudi na hidrologijo pore-

čja, saj večji delež listavcev v mešanih gozdovih prispeva k večjemu deležu prepuščenih padavin, večjemu odtoku po deblu ter večji infiltracijski sposobnosti gozdnih tal za vodo (Wahl in sod., 2005). Številne raziskave pričajo o izboljšanju kemijskih lastnosti tal (Berger in sod., 2009), zmanjšanem vnosu dušikovih in žveplovih spojin v tla ter njihovega spiranja v podtalnico v sestojih, kjer je bil uspešno zmanjšan delež smreke in povečan delež bukve (Simončič, 1996; Rothe in sod., 2002). To se zgodi predvsem zaradi večje filtrirne površine smreke in obdobja bukve brez olistanja (Berger in sod., 2009). Zmanjšan delež smreke v mešanih sestojih iglavcev in listavcev prispeva tudi k večji pestrosti rastlinskih vrst (Máliš in sod., 2010; Vilhar in sod., 2016) ter boljšemu zagotavljanju različnih funkcij gozda (Gamfeldt in sod., 2013).

Pohorje je med območji z najbolj izrazito spremenjeno drevesno sestavo v Sloveniji (Breznikar in sod., 2006), saj je tam v 19. stoletju potekalo intenzivno golosečno gospodarjenje (Cehner, 2002). V obdobju glažutarstva so ponekod za potrebe steklarjev bukev povsem izsekali, zato se je kot dominantna vrsta ustalila navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karst.). Posledice dolgoletne zasmrečenosti sestojev so zakisavanje tal, kopičenje organske snovi, zmanjšanje rastlinske pestrosti itn. (Sušin in Kalan, 1983; Urbančič in Kutnar, 2006; Vilhar in sod., 2016). Antropogeni smrekovi sestoji, med katere sodijo sestojne zgradbe s prevladujočim deležem smreke na bukovih in jelovih rastiščih, pokrivajo 27.000 ha oziroma 45 % gozdne površine na Pohorju. Vendar sta se načrtna sanacija spremenjenih sestojih zgradb in usmerjeno gozdnogojitveno ukrepanje na mislinjskem delu Pohorja začela že v zgodnjih petdesetih letih prejšnjega stoletja in se postopno širila na njegovo celotno območje, s čimer se Pohorje uvršča med pionirje v premeni smrekovih monokultur v Evropi (Diaci, 2006).

Za gozdarsko stroko je pomembno poznavanje dolgoročnih učinkov spremembe zgradbe sestojev in mešanosti drevesnih vrst na hidrologijo gozdnatih porečij (Vilhar in Fajon, 2007), sploh z vidika doseganja dobrega ekološkega stanja na vseh vodnih telesih kot del celostnega urejanja povodij, ki ga terjata Vodna direktiva (Direktiva 2000/60/

EC Evropskega parlamenta in Sveta o določitvi okvirja za ukrepanje Skupnosti na področju politike do voda, 2000) ter Zakon o vodah z dopolnitvami (Zakon o vodah, 2002, 2008, 2012; Zakon o spremembah in dopolnitvah zakona o vodah, 2008).

V prispevku obravnavamo vpliv mešanosti drevesnih vrst na sestojne padavine v gozdovih smreke in bukve v porečju Zgornje Oplotnice na Pohorju. Sestojne padavine so pomemben kazalnik za hidrološko funkcijo gozdov, saj odražajo zadrževalno sposobnost krošenj za prestrezanje padavin. Zato rezultati raziskave lahko pomembno prispevajo k oblikovanju usmerjenih gozdnogojitvenih ukrepov na ravni gozdnatih porečij z namenom izboljšanja hidrološke funkcije gozdov.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Študijsko območje

2.1 Study area

Raziskave so potekale v zgornjem porečju Oplotnice na Pohorju ($46^{\circ} 27' N$, $15^{\circ} 23' E$) na nadmorski višini od 1100 do 1350 m. Podnebje ekoregije Pohorje je prehodno celinsko z vplivi alpskega (Kutnar in sod., 2002) in subpanonskega območja (Perko, 1998). Letna količina padavin v obdobju od 2004 do 2013 je znašala 1327 mm, povprečna temperatura zraka pa $4,7^{\circ} C$ (Vilhar in sod., 2014). Matična podlaga je kisl silikatna kamnina iz muskovitno biotitnega gnajsa s prehodi v blestnik. Prevladujejo distrični ranker, tipična distrična rjava tla, humusna distrična rjava tla in humusna rjava opodzoljena tla (Urbančič in Kutnar, 2006).

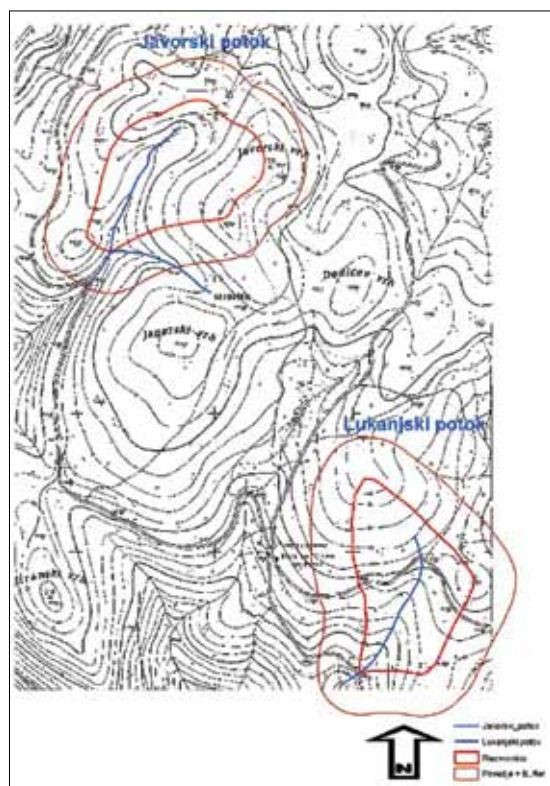
Na rastiščih kisloljubnega bukovega gozda z jelko (*Luzulo-Fagetum abietetosum*) (Urbančič in Kutnar, 2006) s prevladujočo bukvijo (*Fagus sylvatica* L.) so bile osnovane drugotne smrekove monokulture. Drugotni smrekovi sestoji se uvrščajo v gozdno združbo sekundarni gozd smreke in gozdne bekice (*Luzulo sylvaticae - Piceetum*). Zonalna bukovja višjih predelov Pohorja so *Cardamini savensi - Fagetum* KOŠ. 62 (sin. *Savensi-Fagetum*), ki se pojavljajo na rastiščih silikatnih metamorfnih in magmatskih kamninah. Bukvi sta primešani navadna jelka (*Abies alba* Mill.) in navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karst.), ponekod tudi gorski/beli javor (*Acer pseudoplatanus* L.) in jerebika (*Sorbus aucuparia* L.).

2.2 Raziskovalne ploskve

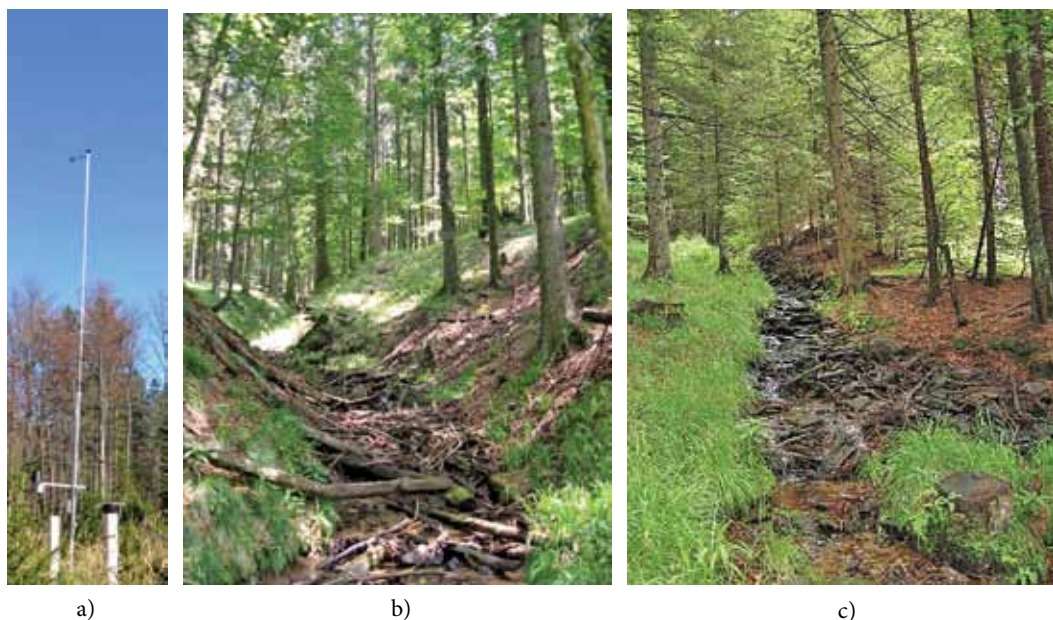
2.2 Research plots

S pomočjo sestojnih kart, gozdnogospodarskega in gozdnogojitvenih načrtov ter terenskih ogledov smo izbrali dve eksperimentalni porečji (Lukanjski potok in Javorski potok) (Slika 1). Pri izbiri smo upoštevali primerljivo velikost porečja, rastiščne razmere, lastnosti tal, rastlinske in vegetacijske značilnosti, drevesno sestavo, gospodarski razred, primerljive pretoke idr.

V vsakem od porečij smo v letu 2007 izbrali štiri raziskovalne ploskve, velikosti 20 m x 20 m, ki vključujejo štiri sestojne smreke in štiri mešane sestojne z različnim deležem smreke in bukve (Preglednica 1, Slika 3). S pomočjo satelitskih posnetkov in terenskega ogleda smo izbrali tudi ploskev na prostem, kjer smo postavili samodejno vremensko postajo, dežemere in lovilnike snega (Slika 2).



Slika 1: Eksperimentalni porečji Javorski potok in Lukanjski potok v porečju Zgornje Oplotnice na Pohorju
Figure 1: Experimental catchments Javorski potok and Lukanjski potok in the Upper Oplotnica River catchment on Pohorje



Slika 2: a) Ploskev na prostem, b) Javorski potok in c) Lukanjski potok v porečju Zgornje Oplotnice na Pohorju (foto: Urša Vilhar)

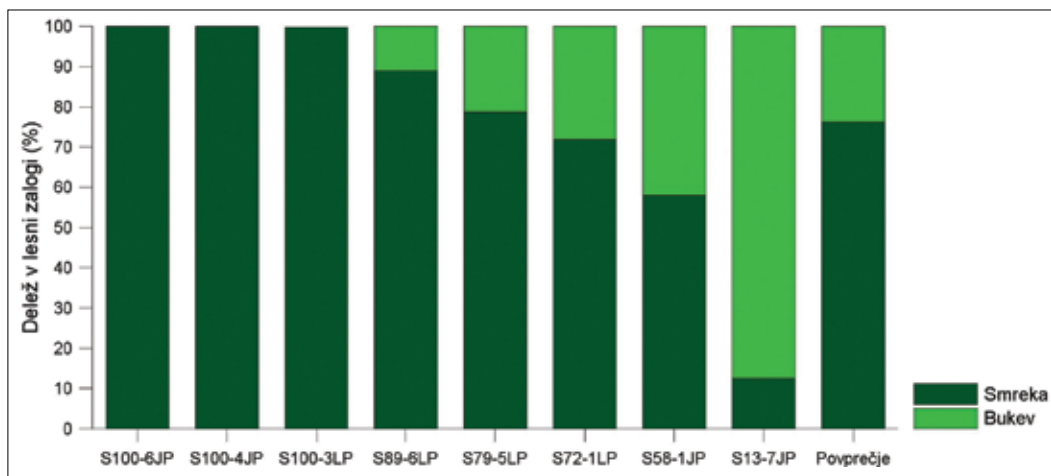
Figure 2: a) Plot with bulk precipitation, b) Javorski potok, and c) Lukanjski potok in the Upper Oplotnica catchment on Pohorje.

Preglednica 1: Značilnosti raziskovalnih ploskev

Table 1: Characteristics of research plots

Ploskev	Oznaka ploskve*	Združba	Nadmorska višina (m)	Naklon (°)	Ekspozicija	Talni tip	Lesna zaloga (m ³ ha ⁻¹)	Smreka (% lesne zaloge)	Bukev (% lesne zaloge)	Sklep
Smreka - bukovo rastišče	S100-6JP	<i>Cardamine Savensi Fagetum rythidiadelph-holarelei</i>	1300	8	NW	Distric cambisols	936	100	0	vrzelast
Smreka	S100-4JP	<i>Sphagno gergensonii-Piceetum / Bazzanio Piceetum</i>	1295	3	SE	Histosols	897	100	0	normalen
Smreka	S100-3LP	<i>Sphagno - Piceetum / BazzanioPiceetum</i>	1230	5	S	Histosols	700	100	0	vrzelast
Smreka - bukovo rastišče	S89-6LP	<i>Cardamine Savensi Fagetum lycopodietosum</i>	1230	7	S	Distric cambisols	865	89	11	rahel
Smreka in bukovje	S79-5LP	<i>Cardamine Savensi Fagetum</i>	1240	10	SW	Distric cambisols	1092	79	21	normalen
Bukovje	S72-1LP	<i>Cardamine Savensi Fagetum</i>	1190	16	S	Distric cambisols	691	72	28	normalen
Smreka in bukovje	S58-1JP	<i>Luzulo Fagetum / Cardamine Savensi Fagetum var. Abies alba</i>	1290	12	E	Distric cambisols	1218	58	42	normalen
Bukovje	S13-7JP	<i>Cardamine Savensi Fagetum</i>	1305	14	NW	Distric cambisols	723	13	87	normalen

*Oznaka ploskve S predstavlja delež smreke v lesni zalogi (%). Tako za ploskev S100-6JP pomeni, da je delež smreke v lesni zalogi 100 %.



Slika 3: Delež smreke in bukve v lesni zalogi (%) na raziskovalnih ploskvah

Figure 3: Share of spruce and beech in growing stock (%) on research plots

V obeh porečjih na več kot 65 % površine prevladujejo distrična rjava tla (Kutnar in sod., 2013). Na manjših površinah se pojavljajo distrični ranker, šotna tla, oglejena tla in obrečna tla.

2.3 Meritve padavin na prostem in prepuščenih padavin v gozdu

2.3 Measurement of bulk precipitation and throughfall in forest

Meritve padavin na prostem in prepuščenih padavin v gozdu so v rednih mesečnih časovnih intervalih potekale v letih od 2008 do 2014. Količino padavin na prostem, za katero predpostavljamo, da je enaka količini padavin, ki doseže vrhove krošenj na ploskvah, smo spremljali na prostem v neposredni bližini obravnavanih sestojev. Mesečno količino padavin na prostem smo merili s tremi dežmeri z zbirno površino 452 cm². V skladu z navodili ICP Forests (Clarke in sod., 2010) so bili nameščeni 1,3 m od tal. Za vzorčenje snežnih padavin smo uporabili tri vzorčevalnike z zbirno površino 434 cm².

Za meritve količin prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju smo na vsaki od ploskev v gozdu postavili po devet dežemerov. Vegetacijsko obdobje, ki v povprečju traja od maja do oktobra, smo določili na podlagi fenološkega spremljanja dreves na ploskvi Tratice v okviru intenzivnega spremljanja stanja gozdov (IMGE) (Vilhar in sod., 2013). Trije dežmeri na vsaki od ploskev so bili

namenjeni tudi vzorčenju usedlin za kemijske analize kakovosti vode v laboratoriju za gozdno ekologijo Gozdarskega inštituta Slovenije. Nekaj meritev količin prepuščenih padavin smo opravili tudi v obdobju mirovanja vegetacije (november-marec), vendar le za dež.

2.4 Meritve odtoka po deblu

2.4 Measurements of stemflow

Meritve odtoka po deblu smo izvajali od leta 2010 do leta 2014 v rednih mesečnih časovnih intervalih na ploskvi S58 - JP1 (ki je hkrati tudi ploskev IMGE Tratice) na štirih bukvah različnih premerov (od 15 cm do 20 cm) v skladu z metodologijo ICP Forests (Clarke in sod., 2010). Za preostale ploskve smo odtok po deblu ocenili na podlagi linearne odvisnosti med deležem odtoka po deblu v padavinah na prostem (%) in temeljnico dreves (m² ha⁻¹) s štirih bukovih ploskev IMGE za obdobje mirovanja vegetacije in vegetacijsko obdobje v letih od 2004 do 2014 (Podatkovna baza Gozdarskega inštituta Slovenije). S pomočjo te odvisnosti smo izračunali letni odtok po deblu bukev na obravnavanih ploskvah (izražen kot delež v padavinah na prostem) ter tudi ločeno za obdobje mirovanja vegetacije in za vegetacijsko obdobje. Pri tem smo upoštevali vsoto temeljnic bukve v skupni temeljnici dreves na ploskvi. Odtok po deblu smreke znaša manj kot 2 % padavin na prostem (Brechtel in Pavlov, 1977), zato smo v

naši raziskavi privzeli, da je zanemarljiv (Berger in sod., 2008).

2.5 Ocena sestojnih padavin

2.5 Estimation of net precipitation

Na podlagi vsote prepuščenih padavin in odtoka po deblu smo za posamezne ploskve ocenili sestojne padavine in jih prikazali kot delež v količini padavin na prostem.

2.6 Statistične analize

2.6 Statistical analyses

Manjkajoče mesečne količine padavin na prostem smo izračunali na podlagi regresijske analize med razpoložljivimi mesečnimi količinami padavin na prostem in samodejno meteorološko postajo Rogla (Arhiv ARSO) v letih od 2008 do 2014. Manjkajoče mesečne količine prepuščenih padavin za posamezni dežemer smo izračunali na podlagi regresijske analize med izmerjenimi mesečnimi količinami prepuščenih padavin za posamezni dežemer in padavinami na prostem.

Količina padavin je kot statistični znak oziroma spremenljivka podana v intervalni skali, zato smo se pri statističnih preizkusih poslužili neparametričnih testov. Za neparametrično testiranje nekoreliranosti dveh spremenljivk smo uporabili Spearmanov korelacijski koeficient (R_s). Za testiranje enakosti median dveh spremenljivk smo uporabili Mann-Whitneyjev (Wilcoxon) test, ki temelji na vsoti rangov pri dveh neodvisnih vzorcih. Za testiranje enakosti median več spremenljivk pa smo uporabili Kruskal-Wallisov test. Tako smo testirali nekoreliranost padavin na prostem in na samodejni meteorološki postaji

Rogla. Za vsak posamezni dežemer smo testirali nekoreliranost prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju s preostalimi dežerami na isti ploskvi ter s padavinami na prostem ter enakost median med njimi. Za vsak posamezni dežemer smo ocenjene prepuščene padavine v obdobju mirovanja vegetacije primerjali s padavinami na prostem ter testirali enakost median med njimi.

Statistično izvrednotenje podatkov smo izvedli s programom Graphpad Software (2014).

3 REZULTATI

3 RESULTS

Izračun manjkajočih vrednosti za padavine na prostem in prepuščene padavine / Calculation of the missing values for bulk precipitation and throughfall

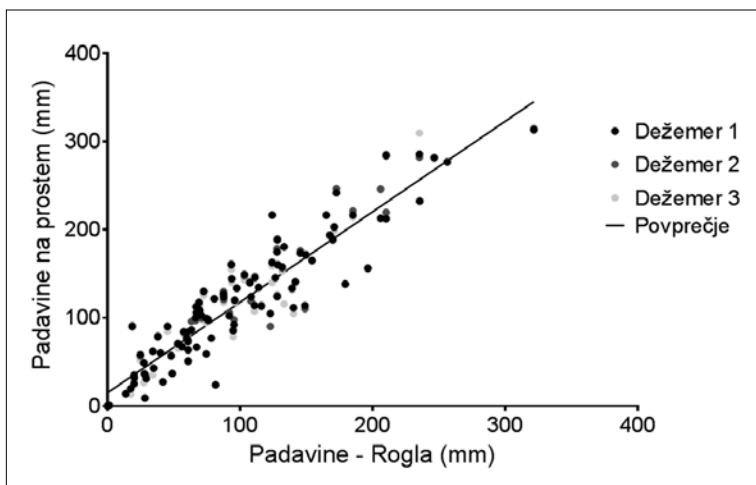
Manjkajoče vrednosti za mesečno količino padavin na prostem v letih od 2008 do 2014 (5 % podatkov) smo izračunali na podlagi regresijske analize med mesečnimi padavinami na prostem za posamezni dežemer in padavinami na postaji Rogla (Preglednica 2, Slika 4) pri $p < 0,001$.

Manjkajoče mesečne vrednosti za prepuščene padavine na ploskvah smo izračunali na podlagi linearne odvisnosti med izmerjenimi prepuščenimi padavinami za posamezni dežemer na vsaki izmed ploskev in padavinami na prostem (Slika 5). Zaradi velikega deleža manjkajočih prepuščenih padavin v obdobju mirovanja vegetacije so izračunane prepuščene padavine zgolj pomoč, ki omogoča oceno letne količine prepuščenih padavin.

Preglednica 2: Linearna odvisnost med mesečnimi prepuščenimi padavinami na prostem za tri dežemere in padavinami na prostem pri $p < 0,001$:

Table 2: Linear dependence between monthly throughfall of bulk precipitation for three rain gauges and bulk precipitation at $p < 0.001$:

Št. dežemera	Enačba	R^2
1	Padavine na prostem = 1,020 * Padavine na Rogli + 17,27	0,869
2	Padavine na prostem = 1,033 * Padavine na Rogli + 16,55	0,868
3	Padavine na prostem = 1,050 * Padavine na Rogli + 10,01	0,878
Povprečje	Padavine na prostem = 1,026 * Padavine na Rogli + 15,08	0,878



Slika 4: Linearna odvisnost med mesečnimi padavinami na prostem in padavinami na samodejni meteorološki postaji Rogla (arhiv ARSO) v letih od 2008 do 2014

Figure 4: Linear dependence between monthly bulk precipitation and precipitation on meteorological station Rogla (ARSO archive) in the years 2008 to 2014

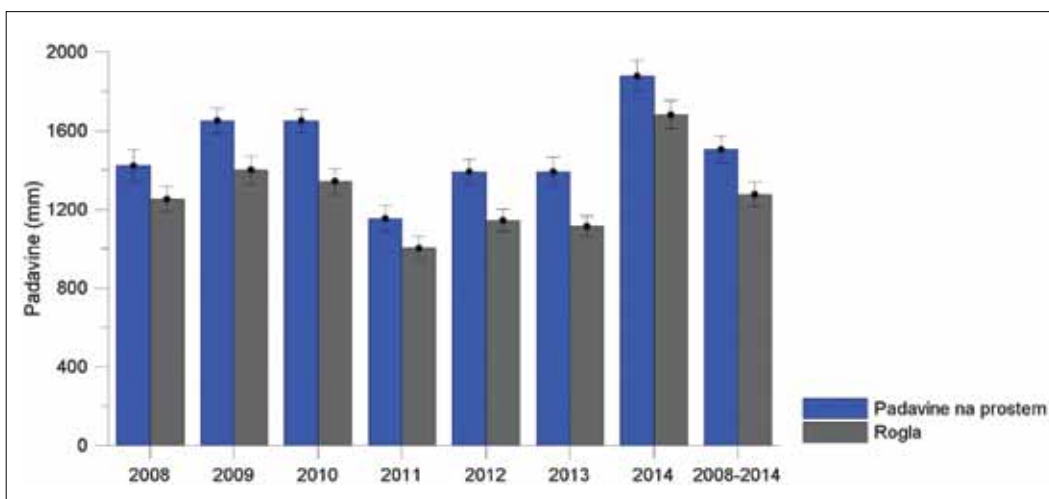
Padavine na prostem in na samodejni meteorološki postaji Rogla v letih od 2008 do 2014

Bulk precipitation and precipitation at automatic meteorological station Rogla in the years 2008 to 2014

Povprečna letna količina padavin na prostem je bila 1506 mm, kar je 18 % več kot na Rogli (1277 mm) (Slika 6). Največ padavin je padlo v letu 2014 (1879 mm na prostem in 1682 mm na Rogli), najmanj pa v letu 2011 (1154 mm na prostem in 1004 mm na Rogli). V povprečju je na prostem v obdobju mirovanja vegetacije (november–april)

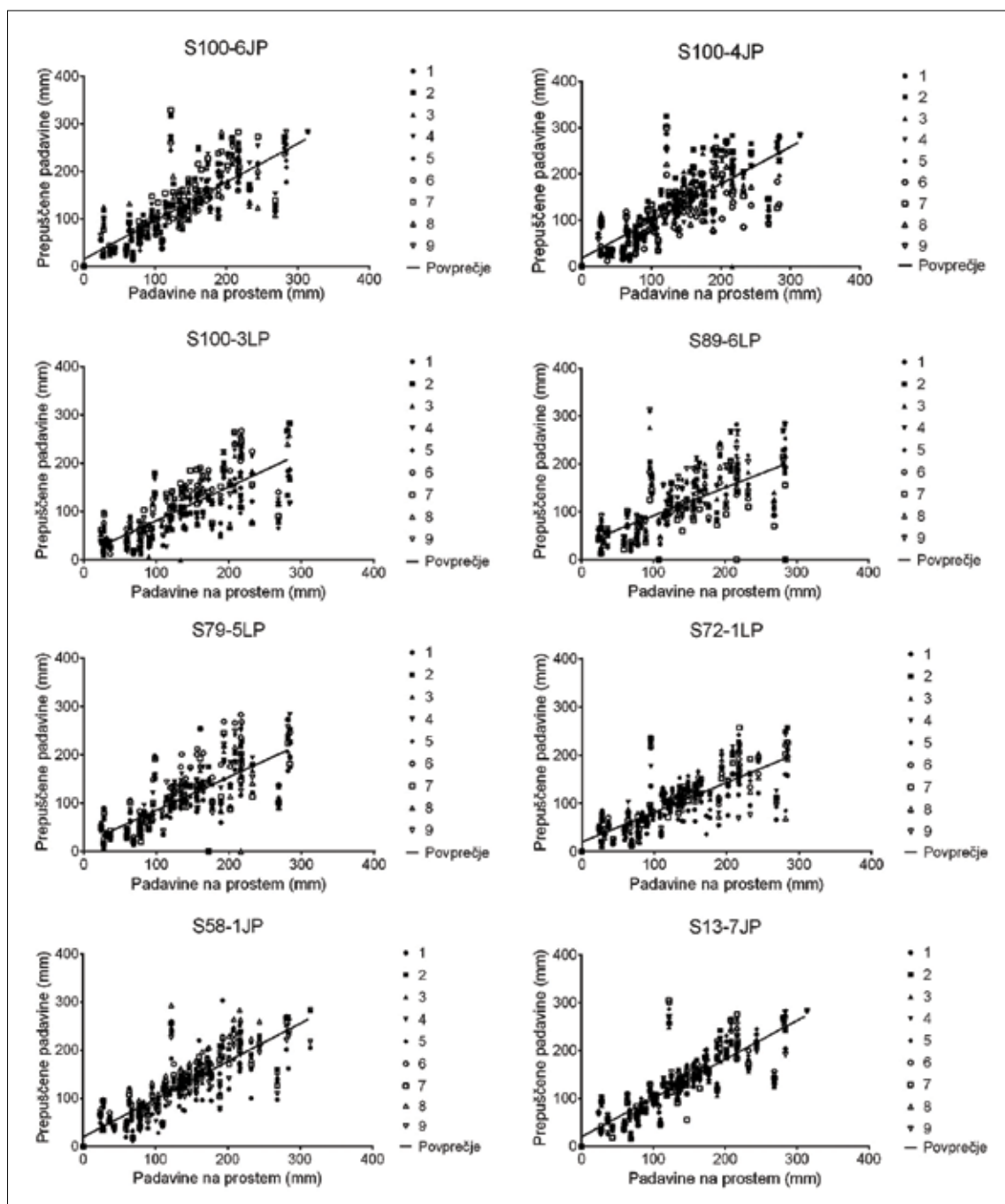
padlo 496 mm padavin, kar je 33 % letnih padavin, v vegetacijskem obdobju (maj–oktober) pa 1010 mm padavin, kar je 67 % letnih padavin.

Med tremi dežemerji na prostem nismo ugotovili statistično značilnih razlik ($H = 0,165$; $p = 0,921$), pač pa visoko stopnjo ujemanja za vse tri dežemerje ($R_s > 0,988$ pri $p < 0,001$). Tudi med mesečnimi padavinami na prostem (povprečje treh dežemerov) in padavinami na Rogli nismo ugotovili statistično značilnih razlik ($U = 3803$; $p = 0,061$), pač pa visoko stopnjo ujemanja ($R_s = 0,928$; $p < 0,000$).



Slika 6: Povprečne letne količine padavin na prostem in na samodejni meteorološki postaji Rogla (arhiv ARSO) v letih od 2008 do 2014

Figure 6: Average bulk precipitation and precipitation at automatic meteorological station Rogla (ARSO archive) in the years 2008 to 2014



Slika 5: Linearna odvisnost med izmerjenimi količinami prepuščenih padavin za vseh devet dežemerov na raziskovalnih ploskvah in padavinami na prostem v letih od 2008 do 2014

Figure 5: Linear dependence between measured throughfall for all nine rain gauges on research plots and bulk precipitation in the years 2008 to 2014.

3.1 Prepuščene padavine v vegetacijskem obdobju

3.1 Throughfall in growing season

Na vseh ploskvah v vegetacijskem obdobju v letih od 2008 do 2014 je bila povprečna izmerjena količina prepuščenih padavin 882 mm, kar je 87 % padavin na prostem. Največ prepuščenih padavin smo izmerili v vegetacijskem obdobju 2014 (1095 mm – 82 % padavin na prostem), najmanj pa v vegetacijskem obdobju 2013 (615 mm – 76 % padavin na prostem).

Največ prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju smo izmerili na ploskvi S13-JP7 (976 mm oziroma 97 % padavin na prostem), najmanj pa na ploskvi S72-LP1 (777 mm – 77 %

padavin na prostem). Primerjava izmerjenih prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju za devet dežemerov na posameznih ploskvah je pokazala, da se izmerjene prepuščene padavine statistično značilno razlikujejo na šestih ploskvah, na dveh pa ne (S100-6JP in S13-7JP) (Preglednica 3).

Rs kažejo na visoko stopnjo ujemanja med izmerjenimi prepuščenimi padavinami v vegetacijskem obdobju na devetih dežemerih na ploskvah, saj so bili vsi $Rs > 0,788$ (pri $p < 0,001$) (Preglednica 4). Izmerjene prepuščene padavine na devetih dežemerih so se najbolj ujemale na ploskvi S13-7JP, najmanj pa na ploskvah S100-4JP in S72-1LP.

Preglednica 3: Rezultati Kruskal – Wallisovega testa za testiranje enakosti median prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju za devet dežemerov na posameznih raziskovalnih ploskvah

Table 3: Results of Kruskal-Wallis test for testing equality of throughfall medians in growing season for nine rain gauges on individual research plots

Ploskev	Oznaka ploskve*	Statistično značilne razlike	H	p
Smreka – bukovo rastišče	S100-6JP	Ne	13.4	0.100
Smreka	S100-4JP	Da	21.5	0.006
Smreka	S100-3LP	Da	58.2	< 0.001
Smreka – bukovo rastišče	S89-6LP	Da	40.9	< 0.001
Smreka – bukovo rastišče	S79-5LP	Da	34.8	< 0.001
Zasmrečeno bukovje	S72-1LP	Da	17.8	0.023
Zasmrečeno bukovje	S58-1JP	Da	18.0	0.021
Bukovje	S13-7JP	Ne	4.0	0.855

Preglednica 4: Spearmanov korelacijski koeficient (Rs) za testiranje nekoreliranosti izmerjenih prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju za devet dežemerov na posameznih ploskvah (pri $p < 0,001$)

Table 4: Spearman's correlation coefficient (Rs) for testing of non-correlation of measured throughfall in growing season for nine rain gauges on individual plots (at $p < 0.001$)

Ploskev	Oznaka ploskve*	Spearmanov korelacijski koeficient (Rs)		
		Minimum	Maksimum	Povprečje
Smreka – bukovo rastišče	S100-6JP	0,863	0,986	0,942
Smreka	S100-4JP	0,788	0,977	0,897
Smreka	S100-3LP	0,812	0,974	0,909
Smreka – bukovo rastišče	S89-6LP	0,819	0,973	0,926
Smreka – bukovo rastišče	S79-5LP	0,821	0,975	0,925
Zasmrečeno bukovje	S72-1LP	0,791	0,990	0,886
Zasmrečeno bukovje	S58-1JP	0,836	0,990	0,953
Bukovje	S13-7JP	0,949	0,993	0,977

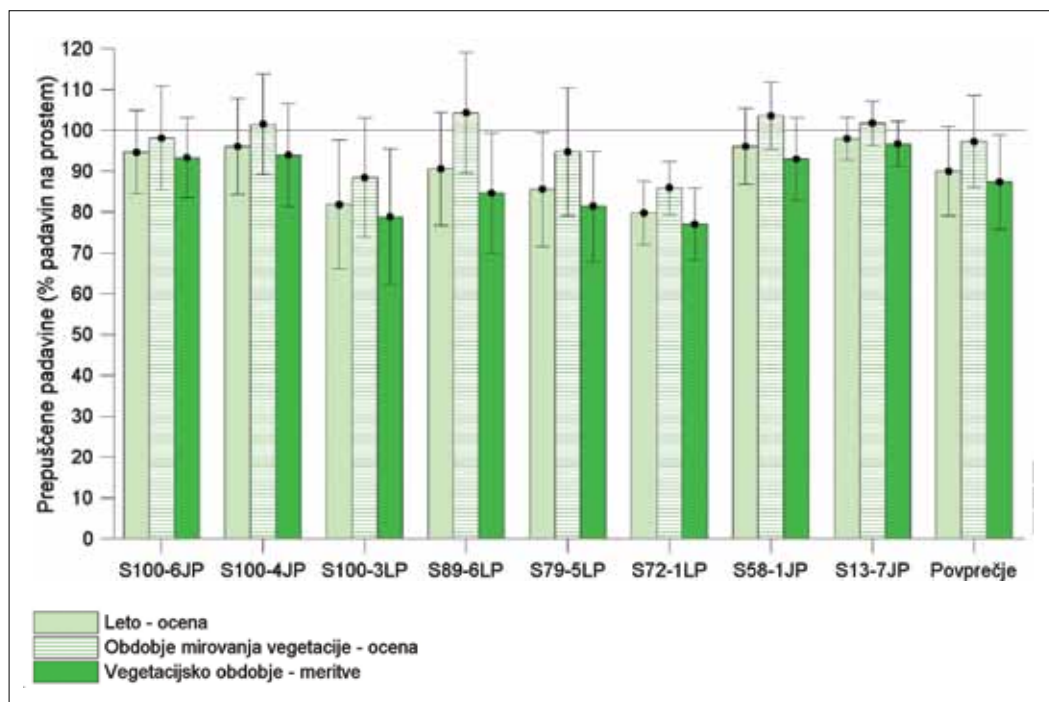
Preglednica 5: Spearmanov korelacijski koeficient (R_s) za testiranje nekoreliranosti izmerjenih padavin na prostem in prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju za devet dežemerov na posameznih ploskvah (pri $p < 0,001$)
Table 5: Spearman's correlation coefficient (R_s) for testing of non-correlation of measured bulk precipitation and throughfall in growing season for nine rain gauges on individual plots (at $p < 0,001$)

Ploskev	Oznaka ploskve*	Spearmanov korelacijski koeficient (R_s)		
		Minimum	Maksimum	Povprečje
Smreka – bukovo rastišče	S100-6JP	0,779	0,902	0,864
Smreka	S100-4JP	0,726	0,895	0,832
Smreka	S100-3LP	0,803	0,941	0,883
Smreka – bukovo rastišče	S89-6LP	0,768	0,874	0,840
Smreka – bukovo rastišče	S79-5LP	0,800	0,940	0,890
Zasmrečeno bukovje	S72-1LP	0,709	0,878	0,820
Zasmrečeno bukovje	S58-1JP	0,750	0,927	0,876
Bukovje	S13-7JP	0,859	0,907	0,887

Med padavinami na prostem in izmerjenimi prepuščenimi padavinami v vegetacijskem obdobju na devetih dežemerih na posameznih ploskvah je bilo veliko ujemanje, saj so bili vsi $R_s > 0,709$ (pri $p < 0,001$) (Preglednica 5). Najvišjo stopnjo ujemanja med padavinami na prostem in prepuščenimi padavinami na devetih dežemerih

smo ugotovili za ploskev S79-5LP, najnižjo pa za ploskev S72-1LP.

Ocenjujemo, da je bila povprečna količina prepuščenih padavin v obdobju mirovanja vegetacije 473 mm oziroma 97 % padavin na prostem (Slika 7). Največ prepuščenih padavin smo ocenili v obdobju mirovanja vegetacije 2013 (633 mm



Slika 7: Prepuščene padavine na raziskovalnih ploskvah v letih od 2008 do 2014

Figure 7: Throughfall on research plots in the years 2008 to 2014

– 89 % padavin na prostem), najmanj pa obdobju mirovanja vegetacije 2011 (300 mm – 111 % padavin na prostem). Največ prepuščenih padavin v obdobju mirovanja vegetacije smo ocenili na ploskvi S58-1JP (504 mm – 104 % padavin na prostem), ki ji sledita ploskvi S89-6LP (498 mm - 104 % padavin na prostem) in S100-4JP (495 mm – 102 % padavin na prostem). Najmanj prepuščenih padavin v obdobju mirovanja vegetacije smo ocenili na ploskvi S72-1LP (417 mm – 86 % padavin na prostem).

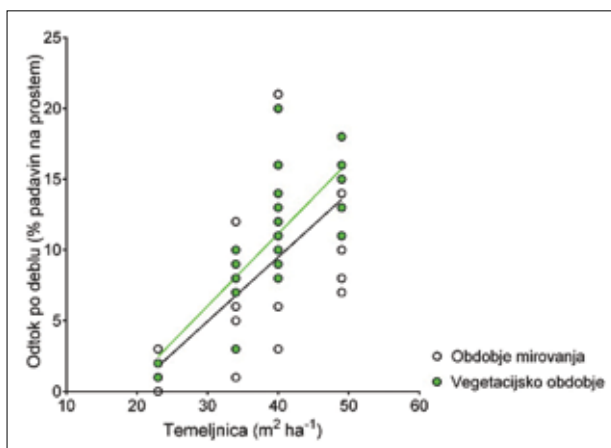
Ocenjena povprečna letna količina prepuščenih padavin na vseh ploskvah je bila 1355 mm oziroma 90 % padavin na prostem; največ v letu 2014 (1576 mm – 86 % padavin na prostem), najmanj pa v letu 2011 (1076 mm – 93 % padavin na prostem).

Na vseh ploskvah so ocenjene količine prepuščenih padavin v obdobju mirovanja vegetacije presegle izmerjene količine prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju. To smo pričakovali v sestojih z večjim deležem bukve (S79-1LP, S58-1JP, S13-7JP), ki odvržejo listje in je prestrezanje padavin manjše v obdobju mirovanja vegetacije, vendar se je podobno pokazalo tudi v čistih sestojih smreke (S100-6JP, S100-4JP, S100-3LP). Ocenjene količine prepuščenih padavin v obdobju mirovanja vegetacije so na štirih ploskvah celo presegle izmerjene količine padavin na prostem (S100-4JP in S13-7JP za 2 % ter S89-6LP in S59-1JP za 4 %).

3.2 Odtok po deblu

3.2 Stemflow

Vsota temeljnic na bukovih ploskvah IMGE je od 23 do 49 m² ha⁻¹, delež odtoka po deblu pa



Slika 8: Odtok po deblu (odstotek padavin na prostem) v odvisnosti od temeljnice (m² ha⁻¹) na bukovih ploskvah IMGE za obdobje mirovanja in vegetacijsko obdobje v letih od 2004 do 2014

Figure 8: Stemflow (percentage of bulk precipitation) depending on stand basal area (m² ha⁻¹) on beech IMGE plots for dormancy and growing season in the years from 2004 to 2014

znaša od 0 do 21 % padavin na prostem v obdobju mirovanja vegetacije (mediana 8 %) ter od 0 do 20 % padavin na prostem v vegetacijskem obdobju (mediana 10 %). Letni delež odtoka po deblu je znašal od 1 do 20 % (mediana 9 %). Stopnja linearne odvisnosti med deležem odtoka po deblu v padavinah na prostem (%) in temeljnico dreves (m² ha⁻¹) na štirih bukovih ploskvah IMGE v letih od 2004 do 2014 je višja v vegetacijskem obdobju kot v obdobju mirovanja (Preglednica 6, Slika 8).

Ocenjujemo, da je bil odtok po deblu zanemarljivo majhen (< 1 % padavin na prostem) na ploskvah z velikim deležem smreke v lesni zalogi sestoja (S100-6JP, S100-4JP ter S89-6LP) (Slika 9). Prav tako je ocenjeni deleža odtoka po deblu < 1 % padavin na prostem tudi na ploskvah, kjer je

Preglednica 6: Linearna odvisnost med odtokom po deblu (odstotek padavin na prostem) in temeljnico dreves (m² ha⁻¹) na bukovih ploskvah IMGE za obdobje mirovanja in vegetacijsko obdobje v letih od 2004 do 2014 pri $p < 0,001$:

Table 6: Linear dependence between stemflow (percentage of bulk precipitation) and stand basal area (m² ha⁻¹) on beech IMGE plots for dormancy and growing season in the years from 2004 to 2014 at $p < 0.001$:

Obdobje	Enačba	R ²
Obdobje mirovanja	Odtok po deblu (%) = 0,454 * Temeljnica (m ² ha ⁻¹) – 8,666	0,431
Vegetacijsko obdobje	Odtok po deblu (%) = 0,511 * Temeljnica (m ² ha ⁻¹) – 9,283	0,721
Leto	Odtok po deblu (%) = 0,493 * Temeljnica (m ² ha ⁻¹) – 8,985	0,732

delež smreke v lesni zalogi manjši in posledično delež bukve večji, vendar je temeljnica bukve razmeroma nizka, in sicer manj kot $20 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (S89-6LP, S79-5LP in S72-1LP). Tako smo odtok po deblu ocenili le na dveh ploskvah, in sicer je na ploskvi S13-7JP odtok po deblu predstavljal 11 % padavin na prostem v obdobju mirovanja vegetacije, 13 % v vegetacijskem obdobju in 12 % padavin na prostem na letni ravni. Sledi ploskev S58-1JP s 3 % deležem odtoka po deblu glede na padavine na prostem v obdobju mirovanja vegetacije, vegetacijskem obdobju in tudi na letni ravni.

3.3 Ocena sestojnih padavin

3.3 Estimation of net precipitation

Ocenjena povprečna letna količina sestojnih padavin (vsota prepuščenih padavin in odtoka po deblu) je na vseh ploskvah predstavljala 92 % padavin na prostem, pri čemer je znašala 99 % v obdobju mirovanja vegetacije in 89 % v vegetacijskem obdobju (Slika 9). Ocenjene letne sestojne padavine so bile največje na ploskvi S13-7JP (110 % padavin na prostem), od tega 113 % v obdobju mirovanja vegetacije in 110 % v vegetacijskem obdobju. Ploskev S13-7JP ima najmanjši delež smreke v lesni zalogi, večji delež

bukve ter posledično velik delež odtoka po deblu, pa tudi velike letne količine prepuščenih padavin (98 % padavin na prostem). Podobno ugotavljamo za ploskev S58-1JP, kjer je ocena letnih sestojnih padavin 99 % padavin na prostem, od tega 97 % v obdobju mirovanja vegetacije in 107 % v vegetacijskem obdobju.

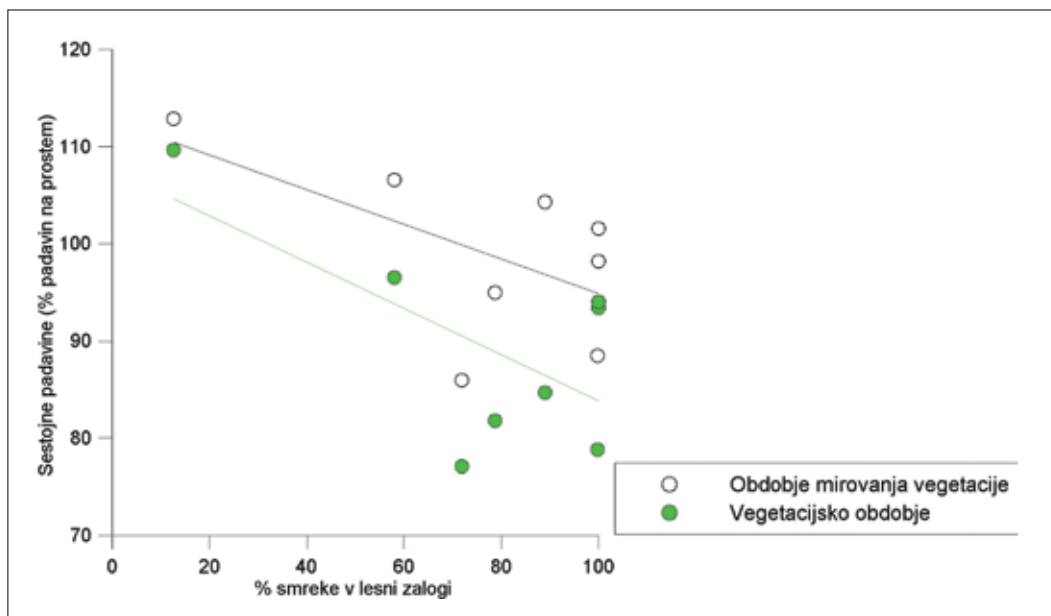
Najmanj letnih sestojnih padavin smo ocenili na ploskvi S72-1LP (80 % padavin na prostem), od tega 86 % padavin na prostem v obdobju mirovanja vegetacije in 77 % v vegetacijskem obdobju. Sledi ploskev S100-3LP z 82 % letnih sestojnih padavin v padavinah na prostem, od tega 88 % padavin na prostem v obdobju mirovanja vegetacije in 79 % v vegetacijskem obdobju.

Skupne ocene za obdobje med letoma 2008 in 2014 nakazujejo zmanjševanje deleža sestojnih padavin (odstotek padavin na prostem) z večanjem deleža smreke v lesni zalogi (Slika 10). Povezava med oceno letnih sestojnih padavin ter deležem smreke v lesni zalogi na posamezni ploskvi je statistično značilna ($R_s = 0,421$; $p < 0,05$). V obdobju mirovanja vegetacije je ujemanje med sestojnimi padavinami (% padavin na prostem) in deležem smreke v lesni zalogi na posamezni ploskvi malenkost slabše ($R_s = 0,340$; $p < 0,05$) kot v vegetacijskem obdobju ($R_s = 0,421$; $p < 0,05$) in na letni ravni ($R_s = 0,421$; $p < 0,05$).



Slika 9: Letna ocena sestojnih padavin (vsota prepuščenih padavin in odtoka po deblu) kot odstotek padavin na prostem na raziskovalnih ploskvah v letih od 2008 do 2014

Figure 9: Annual estimation of net precipitation (sum of throughfall and stemflow) as a percentage of bulk precipitation on research plots in the years from 2008 to 2014



Slika 10: Delež sestojnih padavin (odstotek padavin na prostem) v odvisnosti od deleža smreke v lesni zalogi (odstotkov) v obdobju od leta 2008 do leta 2014 na posameznih ploskvah

Figure 10: Share of net precipitation (a percentage of bulk precipitation) depending on share of spruce in growing stock (percentage) in the period from the year 2008 to 2014 on individual plots

Delež sestojnih padavin glede na padavine na prostem je bil v povprečju 10 % večji v obdobju mirovanja vegetacije kot v vegetacijskem obdobju, pri čemer je bila razlika največja na ploskvi S89-6LP (20 %), sledi ploskev S79-5LP (13 %) in najmanjša na ploskvah S100-6JP (5 %) in S13-7JP (3 %).

4 RAZPRAVA 4 DISCUSSION

Sestojne padavine kot vsota prepuščenih padavin ter odtoka po deblu so pomemben kazalnik za hidrološko funkcijo gozdov, predvsem z vidika uravnavanja vodnega režima z zadrževanjem prestreženih padavin v krošnjah dreves. V raziskavi ugotovljamo, da mešanost drevesnih vrst v gozdovih smreke in bukve v porečju Zgornje Oplotnice na Pohorju pomembno vpliva na količino sestojnih padavin. Z večanjem deleža smreke v lesni zalogi so se letne sestojne padavine zmanjševale, kar kaže na večjo sposobnost zadrževanja vode v krošnjah mešanih sestojev, v katerih prevladuje smreka. Hkrati so bile sestojne padavine na obravnavanih ploskvah v

vegetacijskem obdobju v povprečju 10 % manjše kot v obdobju mirovanja vegetacije, kar kaže na večje prestrezanje padavin v krošnjah mešanih sestojev v času olistanja.

V obdobju od leta 2008 do leta 2014 je bila povprečna letna količina padavin na prostem 1506 mm, kar je 18 % več, kot je bilo izmerjeno na samodejni meteorološki postaji Državne meteorološke službe na Rogli. Takšni odkloni padavin so pričakovani (Vilhar, 2010; Sinjur in sod., 2011), saj obravnavane ploskve ležijo v masivu Pohorja, kjer je kljub majhni razliki v zračni razdalji (3,4 km) in nadmorski višini (203 m) od ploskve na prostem (n.v. 1289 m) do postaje Rogla (n.v. 1492 m) lahko precejšen vpliv orografskih dejavnikov in vetra na razporeditev padavin na prostem (Frantar, 2008). Ugotovljamo, da je v primeru nerazpoložljivosti podatkov za padavine na obravnavanih raziskovalnih ploskvah neustrezna uporaba mesečnih količin padavin s samodejne meteorološke postaje Rogla, zato priporočamo uporabo izpeljanih transfernih funkcij.

Največ padavin na prostem in prepuščenih padavin smo izmerili v letu 2014, najmanj pa

v letu 2011, pri čemer je v povprečju v obdobju mirovanja padla ena tretjina letnih padavin, v vegetacijskem obdobju pa še preostali dve tretjini.

Naša raziskava podaja dokaj zanesljive rezultate za prepuščene padavine na obravnavanih raziskovalnih ploskvah v vegetacijskem obdobju, medtem ko so prepuščene padavine v obdobju mirovanja, odtok po deblu ter sestojne padavine le ocenjene. Ugotavljamo, da so v vegetacijskem obdobju prepuščene padavine v povprečju znašale 87 % padavin na prostem, pri čemer jih je največ padlo v vegetacijskem obdobju leta 2014 (82 % padavin na prostem) in najmanj v vegetacijskem obdobju leta 2013 (76 % padavin na prostem). Največ prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju smo izmerili na ploskvi S13-JP7 (97 % padavin na prostem), najmanj pa na ploskvi S72-LP1 (77 % padavin na prostem). Rezultati ustrezajo 85 % do 93 % odstotkom prepuščenih padavin v mešanih sestojih jelke in bukve Kočevskega roga (Vilhar, 2010), 82 % v bukovem sestoju na Zavodnjah (Simončič, 1996) ter so nekoliko višji od bukovega sestoja v avstrijskih Kalkalpen (od 72 % do 80 %) (Katzensteiner, 2000). V nekaterih mesecih so izmerjene količine prepuščenih padavin presegle količine padavin, izmerjene na prostem, kar navajajo tudi drugi viri (Krečmer, 1967; Smolej, 1978; Šraj in sod., 2008; Vilhar, 2010). To je najverjetneje posledica stekanja v krošnjah zadržanih padavin po vejah neposredno v dežemere. Pomembno je tudi vprašanje zadostnega števila dežemerov. Glede na to, da smo ugotovili statistično značilne razlike med mesečnimi količinami prepuščenih padavin za posamezne dežemere na šestih ploskvah, na dveh pa ne, sklepamo, da jih je bilo premalo. Navodila ICP Forests (Clarke in sod., 2010) priporočajo uporabo vsaj 10 do 15 vzorčevalnikov za prepuščene padavine na sestoj, saj je tudi pri tem številu v homogenem sestoju za letno količino padavin težko doseči natančnost 10 % in manj (Draaijers in sod., 2001; Zlindra in sod., 2011). V tako heterogenih sestojih bi lahko meritve prepuščenih padavin izboljšali z več dežemeri na ploskev ter z njihovo sistematično-naključno razporeditvijo, kakršno priporočajo v strukturno in vrstno pestrih urbanih gozdovih (Zlindra in sod., 2011; Verlič in sod., 2014).

Odtok po deblu smo ocenili na podlagi podatkov za bukove ploskve intenzivnega spremljanja stanja gozdov, kjer je znašal od 8 % (obdobje mirovanja vegetacije) do 10 % (vegetacijsko obdobje). Odtok po deblu smreke znaša manj kot 2 % padavin na prostem (Brechtel in Pavlov, 1977), zato smo v naši raziskavi privzeli, da je zanemarljiv (Berger in sod., 2008). Tako smo ocenili, da je bil letni odtok po deblu večji od 1 % padavin na prostem le na dveh ploskvah, in sicer na ploskvi S58-1JP 3 % glede na padavine na prostem in na ploskvi S13-7JP 12 % glede na padavine na prostem, kjer je največji delež bukve v lesni zalogi sestoja. Rezultati ustrezajo deležu odtoka po deblu v listnatih gozdovih zmernega pasu, ki je od 5 % do 10 % letne količine padavin (Crockford in Richardson, 2000; Price in Carlyle-Moses, 2003). V nekaterih primerih je zaradi gladke skorje in navzgor raščenih vej, ki usmerjajo padavinsko vodo k deblu (Rejic in Smolej, 1988), odtok po deblu razmeroma velik in lahko znaša tudi več kot 20 % letne količine padavin (Brechtel in Pavlov, 1977; Peck, 2004). V Sloveniji je odtok po deblu v bukovih gozdovih znašal od 5 % do 14 % padavin v vegetacijskem obdobju (Vilhar in sod., 2012), v bukovem sestoju na Zavodnjah 5 % padavin v vegetacijskem obdobju (Simončič, 1996), v mešanih sestojih bukve in jelke pa od 6 % do 7 % (Vilhar, 2009). Zaradi majhnega deleža je pomen odtoka po deblu v vodni bilanci gozda pogosto podcenjen, vendar kot točkovni vnos vode in hranil ob deblu dreves vpliva na odtok, erozijo tal, podtalnico, prostorsko porazdelitev vode v tleh, kemizem talne raztopine ter razporeditev pritalne vegetacije in epifitov (Levia in Frost, 2003). Oceno odtoka po deblu bi lahko izboljšali z meritvami odtoka po deblu na več raziskovalnih ploskvah ter na večjem številu dreves z različnimi prsnimi premeri. Navodila ICP Forests (Clarke in sod., 2010) priporočajo uporabo vsaj 5 do 10 vzorčevalnikov za merjenje odtoka vode po deblu, saj je tudi pri tem številu v homogenem sestoju težko doseči natančnost vsaj 10 % (Draaijers in sod., 2001).

Na podlagi merjenih in izračunanih prepuščenih padavin ter odtoka po deblu ocenjujemo, da so sestojne padavine na obravnavanih ploskvah v povprečju znašale 92 % padavin na prostem,

od tega 99 % v obdobju mirovanja vegetacije in 89 % v vegetacijskem obdobju. Rezultati ustrezajo deležu sestojnih padavin v bukovih gozdovih srednje Evrope, kjer sestojne padavine pomenijo od 73 % do 95 % letne količine padavin (Peck, 2004). V Sloveniji so v bukovih gozdovih sestojne padavine znašale od 86 % do 99 % padavin v vegetacijskem obdobju (Vilhar in sod., 2012), v mešanih gozdovih bukve in jelke od 87 % do 92 % (Vilhar, 2009) ter v mešanem gozdu listavcev in iglavcev v Ljubljani 82 % padavin v vegetacijskem obdobju (Kermavnar, 2015).

Rezultati nakazujejo zmanjševanje deleža sestojnih padavin z večanjem deleža smreke v lesni zalogi, pri čemer je ta povezava bolj izražena na letni ravni in v vegetacijskem obdobju kot v obdobju mirovanja vegetacije. To potrjujejo tudi raziskave v smrekovih monokulturah, kjer sestojne padavine predstavljajo od 74 % letnih padavin v avstrijskih Kalkalpah (Katzensteiner, 2000) do 84 % letnih padavin na severu Velike Britanije (Cape in sod., 1991) in so manjše kot v sestojih listavcev.

Delež sestojnih padavin je bil v povprečju 10 % višji v obdobju mirovanja vegetacije kot v vegetacijskem obdobju, pri čemer je bila razlika najmanjša v sestojih s prevladujočo smreko (S100-6JP) ali bukvijo (S13-7JP). Jasne povezave med deležem bukve v lesni zalogi ter večjim deležem sestojnih padavin v obdobju mirovanja vegetacije, ko bukve niso olistane, nismo ugotovili. Razlog je premajhen nabor ploskev ter pomanjkljiva ocena prepuščenih padavin in odtoka po deblu v obdobju mirovanja vegetacije, saj smo pri oceni lahko upoštevali le meritve dežja, snežnih padavin pa nismo spremljali. Za boljšo oceno sestojnih padavin bi potrebovali več ploskev z različnimi deleži obravnavanih drevesnih vrst v lesni zalogi, na katerih bi vse leto spremljali prepuščene padavine (dež in sneg) in tudi odtok po deblu.

Na podlagi naše raziskave ugotavljamo, da večji delež bukve v mešanih gozdovih smreke in bukve v porečju Zgornje Oplotnice na Pohorju prispeva k večjemu deležu prepuščenih padavin, večjemu odtoku po deblu ter posledično k večjemu deležu sestojnih padavin. To je eden od pomembnih dolgoročnih učinkov premene antropogenih smrekovih sestojev na Pohorju,

ki morda prispeva k spremembam hidrologije gozdnatih porečij na Pohorju.

5 ZAHVALA

5 ACKNOWLEDGEMENT

Raziskava je bila financirana v okviru Podoktorskega raziskovalnega projekta Ohranjanje kakovosti in količine vodnih virov v gozdnem prostoru; Interreg IIIA projekta Forest & Water; CRP Konkurenčnost Slovenije 2006–2013: Ohranjanje kakovosti vodnih virov v gozdnem prostoru; Javne gozdarske službe: Usmerjanje in strokovno vodenje spremljanja stanja razvrednotenja in poškodovanosti gozdov (RPG), Sklop 1.2: Raziskave gozdnih rastišč in njihovega razvrednotenja kot podlage za načrtovanje in gospodarjenje z gozdovi ter Sklop 1.3: Intenzivno spremljanje vpliva onesnaženosti zraka na gozdove v skladu s Pravilnikom o varstvu gozdov in Konvencije UNECE CLRTAP, financirane s strani Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano; ter Programske skupine za gozdno biologijo, ekologijo in tehnologijo, financirane s strani Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport Slovenije.

Zasnova, vzpostavitev ter dolgoletno izvajanje raziskav ne bi bili mogoči brez sodelovanja številnih sodelavcev. Za pomoč pri izboru eksperimentalnih porečij se zahvaljujem Primožu Simončiču z Gozdarskega inštituta Slovenije, Andreju Vidmarju in Mojci Šraj s Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za okoljsko gradbeništvo, Univerza v Ljubljani, ter sodelavcem Zavoda za gozdove Slovenije Igorju Aheju, mag. Andreju Breznikarju, mag. Matjažu Zupaniču, Krajevna enota Slovenska Bistrica, Območna enota Maribor. Za pomoč pri terenskem delu in meritvah se zahvaljujem sodelavcem Tini Brišnik, Andreju Verliču, Iztoku Sinjurju, Samu Grbcu, Mitju Ferlanu, Mateju Ruplu ter za laboratorijske analize Magdi Špenko, Nataliji Senčar, Danielu Žlindri; vsi sodelavci Gozdarskega inštituta Slovenije.

6 VIRI

6 REFERENCES

Arhiv Agencije za okolje Republike Slovenije (ARSO) Berger, T. W., Inselsbacher, E., Mutsch, F., Pfeffer, M., 2009. Nutrient cycling and soil leaching in eighteen pure and mixed stands of beech (*Fagus sylvatica*) and

- spruce (*Picea abies*). *Forest Ecology and Management*, 258, 11: 2578–2592.
- Berger, T. W., Untersteiner, H., Schume, H., Jost, G., 2008. Throughfall fluxes in a secondary spruce (*Picea abies*), a beech (*Fagus sylvatica*) and a mixed spruce-beech stand. *Forest Ecology and Management*, 255, 5-6: 605–618.
- Brechtel, H. M., Pavlov, M. B., 1977. Niederschlagbilanz von Waldbestaenden verschiedener Baumarten und Altersklassen in der Rhein-Main-Ebene, Hessische Forstliche Versuchsanstalt, Institut fuer Forsthydrologie: str. 80.
- Breznikar, A., Mlinšek, G., Cehner, M., Grecs, Z., Čater, M., 2006. Strategije sanacije antropogenih smrekovih sestojev na Pohorju. V: Splošne ekološke in gozdno-gojitvene osnove za posadajno bukve (*Fagus sylvatica* L.) v antropogenih smrekovih sestojih. P. Simončič, M. Čater. (ur.). Ljubljana, *Silva Slovenica*, Gozdarski Inštitut Slovenije: 129: 143–153.
- Cape, J. N., Brown, A. H. F., Robertson, S. M. C., Howson, G., Paterson, I. S., 1991. Interspecies comparison of throughfall and stemflow at three sites in northern Britain. *Forest Ecology and Management*, 46, 3–4: 165–177.
- Cehner, M., 2002. Gozdnogospodarski podatki o raziskovalni ploskvi Brička - projekt SUSTMAN. Mislinja, ZAVOD ZA GOZDOVE SLOVENIJE, Območna enota Slovenj Gradec, Krajevna Enota Mislinja: str. 1.
- Clarke, N., Žlindra, D., Ulrich, E., Mosello, R., Derome, J., Derome, K., König, N., Lövblad, 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. (ur.). Hamburg, United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, ICP Forests: Part XIV: 66.
- 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, 16-17: 2903–2920.
- Diaci, J., 2006. Ekološke osnove in gozdno-gojitveni ukrepi pri vnosu bukve v antropogene smrekove sestojne na Pohorju. V: Splošne ekološke in gozdno-gojitvene osnove za posadajno bukve (*Fagus sylvatica* L.) v antropogenih smrekovih sestojih. P. Simončič, M. Čater. (ur.). Ljubljana, *Silva Slovenica*, Gozdarski Inštitut Slovenije: 129: 56–67.
- Direktiva 2000/60/EC Evropskega parlamenta in Sveta o določitvi okvirja za ukrepanje Skupnosti na področju politike do voda. 2000. 2000/60/EC.
- Draaijers, G. P. J., Bleeker, A., Van Der Veen, D., Erisma, J. W., Moels, H., Fonteijn, P., Geusenbroek, M., 2001. Field inter-comparison of throughfall, stemflow and precipitation measurements performed within the framework of the Pan European Intensive Monitoring Program of EU/ICP Forests, TNO, EU Comission: str. 221.
- Frantar, P. (ur.). 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. Ljubljana, MOP-ARSO: str. 119.
- Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M. C., Froberg, M., Stendahl, J., Philipson, C. D., Mikusinski, G., Andersson, E., Westerlund, B., Andren, H., Moberg, F., Moen, J., Bengtsson, J. 2013. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nat Commun*, 4, 1340.
- Graphpad Software., 2014. GraphPad Prism. La Jolla California USA, Software MacKiev: 1992–2014str.
- Katzensteiner, K., 2000. Wasser- und Stoffhaushalt von Waldecosystemen in den noerdlichen Kalkalpen. Wien, Universitaet fuer Bodenkultur: 159 str.
- Kermavnar, J., 2015. Sestojne padavine v izbranih urbanih gozdovih Ljubljane. Stand precipitation in selected urban forests in the city of Ljubljana. Biotehniška fakulteta. Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 103 str.
- Kimmins, J. P., 1997. *Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Management*. 2. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall: 596 str.
- Klaasen, W., Lankreijer, H. J. M., Veen, A. W. L., 1996. Rainfall interception near a forest edge. *Journal of Hydrology*, 185, 349–361.
- Krečmer, V., 1967. Das Mikroklima der Kieferlochkahl-schlaege. IV Teil: Vertikale Niederschlaege, Luftfeuchtigkeit. *Wetter und Leben*, 19, 9–10: 203–214.
- Kutnar, L., Vilhar, U., Urbančič, M., Cojzer, M., Kopal, M., Cenčič, L., Simončič, P., 2013. Vegetacijske, talne in hidrološke razmere ter spremljanje stanja gozdov v GGE Osankarica na Pohorju. 5. delavnica Javne gozdarske službe na OE ZGS Maribor. Pohorje, Zavod za gozdove, Območna enota Maribor, Gozdarski inštitut Slovenije: 65 str.
- Kutnar, L., Zupančič, M., Robič, D., Zupančič, N., Žitnik, S., Kralj, T., Tavčar, I., Dolinar, M., Zrnec, C., Kraigher, H., 2002. Razmejitev provenienčnih območij gozdnih drevesnih vrst v Sloveniji na osnovi ekoloških regij. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 67, 73–117.
- 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.
- Máliš, F., Vladovič, J., Čaboun, V., Vodálová, A., 2010. The influence of *Picea abies* on herb vegetation in

- forest plant communities of the Veporské vrchy Mts. *Journal of Forest Science*, 56, 2: 58–67.
- Peck, A. K., 2004. Hydrometeorologische und mikroklimatische Kennzeichen von Buchenwäldern. Freiburg, Meteorologisches Institut der Universität Freiburg: str. 187.
- Perko, D., 1998. Slovenija - pokrajine in ljudje. Ljubljana, Mladinska knjiga: 735 str.
- 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.
- Podatkovna baza Gozdarskega inštituta Slovenije
- Rejic, M., Smolej, I., 1988. Sladkovodni ekosistemi in varstvo voda, Gozdna hidrologija. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, BF, VTOZD za gozdarstvo: 225 str.
- Rothe, A., Huber, C., Kreutzer, K., Weis, W., 2002. Deposition and soil leaching in stands of Norway spruce and European Beech: Results from the Höglwald research in comparison with other European case studies. *Plant and Soil*, 240, 33–45.
- Rutter, A. J. 1975. The Hydrological Cycle in Vegetation. V: *Vegetation and Atmosphere*. M. J. L., Academic press London, New York, San Francisco.
- Simončič, P., 1996. Odziv gozdnega ekosistema na vplive kislih odložin s poudarkom na preučevanju prehranskih razmer za smreko (*Picea abies* (L.) Karst.) in bukev (*Fagus sylvatica* L.) v vplivnem območju TE Šoštanj. Oddelek za gozdarstvo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 153 str.
- Sinjur, I., Ferlan, M., Demšar, M., Vertačnik, G., Simončič, P., 2011. Meritve padavin med orografskim proženjem na območju Travlanske gore 8. septembra 2010. Precipitation measurements during the orographic triggering on the area of Travlanska gora on September 8, 2010. *Gozdarski vestnik*, 69, 5/6: 301–311.
- Sinjur, I., Ferlan, M., Simončič, P., Vilhar, U., 2010. Mreža meteoroloških postaj Gozdarskega inštituta Slovenije. The Meteorological Stations Net of the Forestry Institute of Slovenia. *Gozdarski vestnik*, 68, 1: 41–46
- Smolej, I., 1978. Porazdelitev dežja v sestojni odprtini. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 16, 1: 83–108.
- Šraj, M., Brilly, M., Mikoš, M., 2008. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 121–134.
- Sušin, J., Kalan, J., 1983. Nekatere kemične lastnosti tal pod smrekovimi nasadi. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 22, 125.
- Thimonier, A., 1998. Measurement of Atmospheric Deposition under Forest Canopies: Some Recommendations for Equipment and Sampling Design. *Environmental Monitoring and Assessment*, 52, 353–387.
- Urbančič, M., Kutnar, L., 2006. Site conditions of the Brička plot and comparison with other SUSTMAN plots. V: *Splošne ekološke in gozdnogojitvene osnove za podsadnjo bukve (*Fagus sylvatica* L.) v antropogenih smrekovih sestojih*. P. Simončič, M. Čater. (ur.). Ljubljana, *Silva Slovenica*, Gozdarski inštitut Slovenije: 129: 68–85.
- Verlič, A., Eler, K., Ferlan, M., Flajšman, K., De Groot, M., Hauptman, T., Jurc, D., Kobač, 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. EMoNFUr – establishing a monitoring network to assess lowland forest and urban plantation in Lombardy and urban forest in Slovenia: final project report. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije. Slovenian Forestry Institute: str. 156.
- Vilhar, U. (ur.). 2009. Vpliv gospodarjenja na vodno bilanco jelovo-bukovih gozdov Dinarskega krasa. Influence of management on water balance of the silver fir-beech forests in the dinaric karst. *Studia forestalia Slovenica*. Ljubljana Gozdarski inštitut Slovenije: str. 122.
- Vilhar, U., 2010. Padavinski režim v vrzelih in sestojih dinarskega jelovo-bukovega gozda. Precipitation regime in gaps and mature stands of Dinaric silver fir-beech forests. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 91, 3–10.
- Vilhar, U., Fajon, Š., 2007. Vpliv gozda in gozdnogojitvenih ukrepov na hidrološki režim vodozbirnega območja. V: *Gozd in voda: rezultati projekta [Interreg III A]*. M. Kovač. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije: 16–21.
- Vilhar, U., Kobač, M., Simončič, P., 2012. Kroženje vode v bukovih gozdovih. V: *Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje*. A. Bončina. (ur.). Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani: 103–113.
- Vilhar, U., Kutnar, L., Urbančič, M., Simončič, P., 2016. Mikrorastiščne razmere kot pomemben dejavnik premene smrekovih monokultur na bukovih rastiščih. Microsite conditions as a major factor in the conversion of spruce monocultures on beech sites. *Gozdarski vestnik*, 74, 1: in print.
- Vilhar, U., Skudnik, M., Ferlan, M., Simončič, P., 2014. Influence of meteorological conditions and crown defoliation on tree phenology in intensive forest monitoring plots in Slovenia. Vpliv vremenskih

- spremenljivk in osutosti krošenj na fenološke faze dreves na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov v Sloveniji. *Acta Silvae et Ligni*, 105, 1–15.
- Vilhar, U., Skudnik, M., Simončič, P., 2013. Fenološke faze dreves na ploskvah Intenzivnega monitoringa gozdov v Sloveniji. Phenological phases of trees on the Intensive monitoring plots in Slovenia. *Acta Silvae et Ligni*, 100, 5–17.
- Wahl, N. A., Wöllecke, B., Bens, O., Hüttl, R. F., 2005. Can forest transformation help reducing floods in forested watersheds? Certain aspects on soil hydraulics and organic matter properties. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30, 8–10: 611–621.
- Zabret, K. 2013. Vpliv značilnosti drevesnih vrst na prestrezanje padavin. The influence of tree characteristics on rainfall interception. *Acta hydrotechnica*, 26, 45: 99–116.
- Zakon o spremembah in dopolnitvah zakona o vodah. 2008. Uradni list RS, št. 57/08.
- Zakon o vodah. 2002, 2008, 2012. Uradni list RS, št. 67/2002, 57/2008, 57/2012.
- Zlindra, D., Eler, K., Clarke, N., Simončič, P., 2011. Towards harmonization of forest deposition collectors - case study of comparing collector designs. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 4, 5: 218–225.