

## Primerjava padavin na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdov v Sloveniji

### *Comparison of Precipitation on Forest Monitoring Plots in Slovenia*

Urša VILHAR<sup>1</sup>, Rok ZUPIN<sup>2</sup>, Jurij DIACI<sup>3</sup>

#### **Izvilleček:**

Vilhar, U., Zupin, R., Diaci, J.: Primerjava padavin na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdov v Sloveniji; *Gozdarski vestnik*, 75/2017, št. 2. V slovenščini z izvillečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 51. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Količina, oblika in časovna razporeditev padavin so izrednega pomena za gozdne ekosisteme, saj pomembno vplivajo na njihovo preskrbo z vodo. Hkrati so gozdovi pomembni z vidika prestrezanja padavin in zadrževanja vode v tleh, s čimer prispevajo k uravnavanju količine vodnih virov v porečju. Natančnejše poznavanje porazdelitve padavin v gozdnih ekosistemih je vse pomembnejše tudi zaradi podnebne spremenljivosti, ki vpliva na spremembe padavinskega režima ter pogostnost in intenzivnost izrednih padavinskih dogodkov. Namen naše raziskave je bil analizirati padavine na osmih ploskvah intenzivnega monitoringa gozdov v Sloveniji v letih od 2004 do 2013, na katerih smo z rednimi dvotedenskimi meritvami spremljali padavine na prostem, prepuščene padavine, odtok po deblu ter sestojne padavine. Ugotavljali smo, v kolikšni meri je količina sestojnih padavin v gozdu odvisna od geografske lege, reliefa in mešanosti drevesnih vrst. Primerjali smo tudi padavine na prostem s padavinami najbližje postaje ARSO. Količina padavin na ploskvah se je zelo razlikovala zaradi razgibanega površja in splošne porazdelitve padavin v Sloveniji. Letne prepuščene padavine na ploskvah so znašale od 77 % do 103 % padavin na prostem. Letni odtok po deblu na ploskvah s prevladujočo bukvi je bil od 2 % do 15 % padavin na prostem. Letne sestojne padavine na ploskvah so v povprečju znašale 94 % padavin na prostem in so naraščale z nadmorsko višino ploskev. Padavine na prostem ter na najbližjih postajah ARSO so se večinoma dobro ujemale, razen na ploskvah Fondek v Trnovskem gozu in Tratice na Pohorju, ki sta v topografsko razgibanih gorovjih. V primeru nerazpoložljivosti podatkov o padavinah v topografsko razgibanih območjih je potrebna previdnost pri uporabi podatkov z najbližje postaje ARSO. Jasne povezave med količino sestojnih padavin in mešanostjo drevesnih vrst nismo ugotovili, saj je nabor ploskev v raziskavi majhen, hkrati pa so geografsko tako oddaljene, da na sestojne padavine bolj vpliva splošna porazdelitev padavin v Sloveniji. Za ugotavljanje vpliva mešanosti drevesnih vrst na sestojne padavine bi morali spremljati padavine na majhnem območju s čim bolj enotno topografijo, orografskimi dejavniki ter na več ploskvah z različnimi deleži drevesnih vrst.

**Ključne besede:** prepuščene padavine, odtok po deblu, sestojne padavine, mešanost drevesnih vrst, topografija

#### **Abstract:**

Vilhar U., Zupin R., Diaci J.: Comparison of Precipitation on Forest Monitoring Plots in Slovenia; *Gozdarski vestnik* (Professional Journal of Forestry), 75/2017, vol 2. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 51. Translated by authors and Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Temporal and spatial distribution of precipitation is of great importance for forest ecosystems, as it affects their water supply. At the same time, forests are regulating water flows and affecting the water resources availability in catchments by intercepting precipitation and soil water retention. More detailed information about precipitation distribution in forest ecosystems is necessary due to climate change, which contributes to changes in precipitation regime and frequency and intensity of extreme precipitation events. The aim of this study was to analyze the precipitation at eight forest monitoring plots in Slovenia from 2004 to 2013, where regular bi-weekly measurements of precipitation in the open, throughfall, stemflow and net precipitation was performed. Specifically, we were interested in finding out to what extent the net precipitation in forests is affected by geographical location, altitude and tree species mixture. In addition, open field precipitation was compared to the nearest station of the Slovenian Environmental Agency (ARSO). The precipitation amounts differed among the plots due to complex terrain and general spatial precipitation distribution in Slovenia. Mean annual precipitation on plots ranged from 77 % to 103 % of precipitation in the open. Mean annual stemflow on plots with prevailing beech ranged from 2 % to 15 % of precipitation in the open. Mean annual net precipitation on plots were 94 % of precipitation in the open and were increasing with the altitude. The agreement between open field precipitation and the precipitation on ARSO stations was generally good, except for the Fondek in Trnovski gozd and Tratice on Pohorje Mountains plots, which are located in mountainous regions with complex terrain. In case of

unavailable precipitation data in regions with complex topography, caution is needed when applying data from the nearest ARSO stations. Direct link between net precipitation and tree species mixture was not confirmed due to small number of forest monitoring plots. Furthermore, the plots are geographically so remote that the net precipitation is largely affected by general spatial distribution of precipitation in Slovenia. In order to assess the influence of tree species mixture on net precipitation in forests, study in smaller areas with homogene topography and orography should be preformed including a larger number of forest monitoring plots with diverse shares of tree species.

**Key words:** throughfall, stemflow, net precipitation, tree species mixture, topography

<sup>1</sup> Dr. U. V., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, [ursa.vilhar@gozdis.si](mailto:ursa.vilhar@gozdis.si)

<sup>2</sup> R.Z., Štefanja Gora 23, SI - 4207 Cerklje na Gorenjskem, Slovenija, [rok.zupin@gmail.com](mailto:rok.zupin@gmail.com)

<sup>3</sup> Prof. dr. J. D., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. [jurij.diaci@bf-unj-lj.si](mailto:jurij.diaci@bf-unj-lj.si)

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Na prostorsko in časovno porazdelitev padavin vplivajo različni dejavniki, kot so geografska lega, bližina morja, topografija, raba tal, urbanizacija in drugo (Diodato, 2005; Šraj in sod., 2008b). V Sloveniji je porazdelitev padavin zelo raznolika, kar je posledica geografske lege Slovenije, razgibanosti njenega površja in značilnosti posameznih vremenskih tipov (Cegnar, 2003; Luis in sod., 2012; Dolinar, 2016). Poleg nadmorske višine ter razporeditve gorskih grebenov in dolin vpliva na prostorsko porazdelitev padavin tudi dejstvo, da večino padavin k nam prinesejo jugozahodni vetrovi (Cegnar, 2003; Sušelj in Bergant, 2006).

Porazdelitev padavin v gozdu je odvisna od vrste in intenzivnosti padavin, pa tudi od zgradbe gozda, mešanosti drevesnih vrst, oblike dreves in njihove prostorske razporeditve (Kimmins, 1997), skladiščne zmogljivosti krošenj, hrapavosti debla (Rejic in Smolej, 1988; Zabret, 2013). Pomembni dejavniki so tudi smer in hitrost vetra (Krečmer, 1967) ter izpostavljenost gozdnemu robu (Klasen in sod., 1996). Količina, oblika in časovna porazdelitev padavin so izredno pomembne za gozdne ekosisteme, saj pomembno vplivajo na njihovo preskrbo z vodo (Vilhar in Simončič, 2012; Vilhar, 2016a). Prepuščene padavine, ki pridejo do gozdnih tal (Waldner in sod., 2014), so skupaj z odtokom po deblu pomemben vir hranil za rastline (Levia in Germer, 2015) ter so pomembne za kemične in biološke procese v tleh (Thimonier, 1998). Hkrati so gozdovi pomembni z vidika prestrezanja padavin (Siegert in sod., 2016)

in zadrževanja vode v tleh (Panagos in sod., 2015), s čimer prispevajo k uravnavanju količine vodnih virov v porečju (Pilaš in sod., 2011). Podrobnejše poznavanje prostorske in časovne porazdelitve padavin v gozdnih ekosistemih je vse pomembnejše tudi zaradi podnebne spremenljivosti, ki vpliva na spremembe padavinskega režima (Gams, 1999; Cegnar, 2003; Luis in sod., 2012) in tudi pogostost ter intenzivnost izrednih padavinskih dogodkov, kot so na primer nalivi (Sinjur in sod., 2011), neurja s točo, žled (Sinjur in sod., 2010; Marinšek in sod., 2015) ali dolgotrajnejše suše (Kajfež - Bogataj in sod., 2006).

Namen naše raziskave je bil analizirati padavine na osmih ploskvah intenzivnega monitoringa gozdov (IMGE) v Sloveniji v letih od 2004 do 2013 (Zupin, 2016). Primerjali smo padavine na prostem, prepuščene padavine, odtok po deblu ter sestojne padavine (vsota prepuščenih padavin in odtoka po deblu). Predpostavili smo, da so bile količina, oblika in časovna razporeditev padavin odvisne od geografske lege, reliefa in mešanosti drevesnih vrst. Ugotavljali smo tudi, ali se padavine na ploskvah IMGE razlikujejo od padavin na najbližjih postajah ARSO.

## 2 METODE

### 2 METHODS

#### 2.1 Raziskovalne ploskve

##### 2.1 Research plots

Raziskave so potekale na osmih ploskvah IMGE v Sloveniji (Preglednica 1) (Krajnc in sod., 2006). Večina ploskev je bila osnovanih v letu 2004 in na njih potekajo redne meritve padavin na pro-

stem in prepuščenih padavin v sestoji skladno z navodili za intenzivno spremljanje stanja gozdov (Clarke in sod., 2010; Žlindra in sod., 2011). Na štirih ploskvah, na katerih prevladuje bukev, je bil merjen tudi odtok po deblu. Na nekaterih ploskvah so bile hidrološke meritve časoma opuščene (na primer Lontovž, Gropajski Bori, Murska Šuma), spet druge pa na novo vzpostavljene (na primer Rožnik in Tratice). Terenske meritve opravljajo skrbniki ploskev, ki so revirni gozdarji Zavoda za Gozdove Slovenije (ZGS), podatki pa se shranjujejo v podatkovni bazi IMGE Gozdarskega inštituta Slovenije.

## 2.2 Padavinski režim na ploskvah IMGE

### 2.2 Precipitation regime on forest monitoring plots

Za primerjavo padavinskega režima na ploskvah IMGE smo izračunali padavine na prostem, prepuščene padavine, odtok po deblu ter sestojne padavine (vsota prepuščenih padavin in odtoka po deblu) po časovnih intervalih meritev, po letih ter tudi ločeno za vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije. Prepuščene padavine, odtok po deblu ter sestojne padavine smo prikazali v milimetrih in kot odstotek padavin na prostem. Ugotavljali smo odvisnost padavin na prostem, prepuščenih padavin, odtoka po deblu in sestojnih padavin od geografske lege, nadmorske višine in deleža listavcev v lesni zalogi. Primerjali smo tudi letne padavine na prostem z najbližjo postajo ARSO.

## 2.3 Meritve padavin na prostem, prepuščenih padavin in odtoka po deblu

### 2.3 Measurement of open field precipitation, throughfall and stemflow

Meritve padavin na prostem in prepuščenih padavin v gozdu so potekale v rednih 14-dnevnih časovnih intervalih na vseh ploskvah, le na ploskvah Gropajski Bori in Murska Šuma so meritve potekale od leta 2011 naprej na 28 dni. Odtok po deblu smo merili v rednih 14-dnevnih časovnih intervalih v vegetacijskem obdobju na štirih ploskvah IMGE s prevladujočo bukvijo (Fondek, Borovec, Lontovž in Tratice). Nekaj meritev odtoka po deblu smo opravili tudi v obdobju mirovanja vegetacije. Metodologija je podrobneje predstavljena v prispevku Žlindra in sod. (2011). Za ploskev Rožnik, kjer uspevajo iglavci in listavci, meritev odtoka po deblu pa se ne izvaja, smo upoštevali ocene odtoka po deblu iz raziskave Kermavnarja (2015). Tako je za to ploskev ocenjen letni odtok po deblu 3,7 % padavin na prostem, v času mirovanja vegetacije 4,5 % in v vegetacijskem obdobju 3,0 % padavin na prostem. Odtok po deblu iglavcev in doba znaša manj kot 2 % padavin na prostem (Brechtel in Pavlov, 1977; Berger in sod., 2008). Zato smo predpostavili, da je odtok po deblu zanemarljiv na ploskvah, kjer so prisotni iglavci (Gropajski Bori, Brdo) ali listavci z grobim lubjem (dob v Murski Šumi).



Slika 1: Ploskev IMGE Brdo za merjenje a) padavin na prostem s skrbnikom Tomažem Polajnarjem in b) linija lijev ter žlebičev za merjenje prepuščenih padavin v sestoji. (Foto: Rok Zupin, 2016)

Figure 1: Forest monitoring plot Brdo with a) open field precipitation collectors with plot keeper Tomaž Polajnar and b) throughfall collectors and gutters in the forest. (Photo: Rok Zupin, 2016)

Preglednica 1: Značilnosti IMG E ploskev v Sloveniji in obdobje meritev  
 Table 1: Characteristics of forest monitoring plots in Slovenia and measurement period

Oznaka	Ime	Nadmorska višina (m)	Zemljepisna širina (°)	Zemljepisna dolžina (°)	Ekološka regija	Glavna drevesna vrsta	Delež listavci/ iglavci (%)	Obdobje meritev		
								Padavine na prostem	Prepuščene padavine	Odtok po deblu
2	Fondek	827	+45°59'55"	13°43'59"	Dinarska	Bukve ( <i>Fagus sylvatica</i> )	100 / 0	1.7.2004 - 24.12.2013	1.7.2004- 24.12.2013	1.7.2004- 24.12.2013
3	Gropajski Bori	420	+45°40'15"	+13°43'59"	Submedite- ranska	Črni bor ( <i>Pinus nigra</i> )	58 / 42	31.12.2008 - 24.12.2013	31.12. 2008-25.1. 2011	/
4	Brdo	471	+46°17'14"	+13°51'35"	Predalpska	Rdeči bor ( <i>Pinus sylvestris</i> )	3 / 97	1.7.2004 - 24.12.2013	1.7. 2004-24. 12.2013	/
5	Borovec	705	+45°32'12"	+14°24'00"	Dinarska	Bukve ( <i>Fagus sylvatica</i> )	100 / 0	1.7.2004 - 24.12.2013	1.7. 2004-24. 12.2013	1.7.2004- 24.12.2013
8	Lontovž	950	+46°05'45"	+14°48'00"	Predalpska	Bukve ( <i>Fagus sylvatica</i> )	93 / 7	31.12.2008 - 24.12.2013	31.12. 2008- 25.1.2011	31.12. 2008-25.1. 2011
11	Murska Šuma	170	+46°29'49"	+16°30'46"	Predpanonska	Beli gaber ( <i>Carpinus betulus</i> )	100 / 0	31.12.2008 - 24.12.2013	31.12. 2008- 25.1.2011	/
12	Tratice	1289	46°27'48"	15°23'12"	Pohorska	Bukve ( <i>Fagus sylvatica</i> )	58 / 42	20.5.2009 - 24.12.2013	20.5.2009- 24.12.2013	20.5.2009- 24.12.2013
99	Rožnik	310	46°02'47"	14°29'01"	Predalpska	Graden ( <i>Quercus petraea</i> )	65 / 35	5.1.2005 - 24.12.2013	13.9.2006- 24.12.2013	/

## 2.4 Sestojne padavine

### 2.4 Net precipitation

Na podlagi meritev prepuščenih padavin in odtoka po deblu smo za posamezne ploskve izračunali sestojne padavine in jih prikazali kot delež padavin na prostem (%). Razlika med padavinami na prostem in sestojnimi padavinami predstavlja prestrežene padavine oziroma intercepcijo krošenj.

## 2.5 Določitev vegetacijskega obdobja in obdobja mirovanja vegetacije

### 2.5 Vegetation period and dormancy

Predvsem pri listopadnih drevesih se olistanost krošnje med letom zelo spreminja, kar pomembno vpliva na prestrezanje padavin (Kermavnar, 2015; Vilhar, 2016b). Zato smo celotno obdobje meritev padavin na podlagi fenološkega razvoja dreves razdelili na dve sezoni: vegetacijsko obdobje in obdobje mirovanja vegetacije in preverili, ali se padavine sezonsko razlikujejo (Zupin, 2016). Vegetacijsko obdobje smo določili za ploskve, kjer rastejo listavci (Fondek, Borovec, Lontovž, Murska Šuma in Tratice) na podlagi večletnih opazovanj pojava fenofaze prvih listov (začetek vegetacijskega obdobja) in fenofaze splošnega odpadanja listov (kot zaključek vegetacijskega obdobja) (Vilhar, 2010b; Vilhar in sod., 2013). Za ploskev Rožnik smo podatke o trajanju vegetacijskega obdobja privzeli iz raziskave Kermavnerja (2015). Na ploskvah Brdo in Gropajski Bori prevladujejo iglavci, zato podatki o trajanju vegetacijskega obdobja na podlagi fenoloških opazovanj niso razpoložljivi. Za te ploskve smo upoštevali le podatke na letni ravni.

## 2.6 Priprava in urejanje podatkovne baze

### 2.6 Database preparation

Na podlagi Podatkovne baze IMGE Gozdarškega inštituta Slovenije smo uredili razpoložljive podatke za padavine na prostem, prepuščene padavine in odtok po deblu na ploskvah glede na enotne časovne intervale meritev, in sicer na 14 oziroma na 28 dni. Vsak časovni interval smo uvrstili v sezono (obdobje mirovanja vegetacije, vegetacijsko obdobje) na podlagi končnega datuma časovnega intervala (Kermavnar, 2015). Bazo podatkov smo uredili v programu Microsoft Excel.

Povprečne padavine na prostem za posamezni časovni interval smo primerjali s količino padavin na najbližji postaji ARSO ter ugotavljali stopnjo odvisnosti med njimi. Določili smo tudi koeficient determinacije ( $R^2$ ), ki izraža odstotek variabilnosti odvisne spremenljivke, ki je pojasnjen z regresijskim modelom (Košmelj, 2007). V primeru manjkajočih ali nelogičnih podatkov (napaka pri vnosu, velika odstopanja) smo vrednosti izračunali z linearnim modelom na osnovi padavin na postaji ARSO in padavin na prostem. Povprečne prepuščene padavine ter odtok po deblu za posamezni časovni interval smo primerjali s padavinami na prostem, ugotavljali stopnjo odvisnosti med njimi ter določili  $R^2$ . V primeru manjkajočih ali nelogičnih vrednosti smo prepuščene padavine ter odtok po deblu izračunali z linearnim modelom glede na povprečne prepuščene padavine oziroma odtok po deblu ter padavine na prostem.

## 2.7 Statistične analize

### 2.7 Statistical analyses

Količina padavin je kot statistični znak oziroma spremenljivka podana v intervalni skali, zato smo pri statističnih preizkusih uporabili neparametrične teste. Za neparametrično testiranje koreliranosti dveh spremenljivk smo uporabili Spearmanov korelacijski koeficient ( $R_s$ ). Za testiranje enakosti median dveh spremenljivk pa smo uporabili Mann-Whitneyjev (Wilcoxon) test, ki temelji na vsoti rangov dveh neodvisnih vzorcev. Statistično izvedenost podatkov smo izvedli s programom Graphpad Software (2014).

## 3 REZULTATI

### 3 RESULTS

## 3.1 Padavine na prostem

### 3.1 Open field precipitation

Povprečna letna količina padavin na prostem je bila največja na ploskvi Fondek (1885 mm), sledila je ploskev Borovec (1672 mm). Na ploskvah Gropajski Bori, Brdo, Lontovž, Tratice in Rožnik je bila od 1310 mm do 1392 mm, najmanjša pa je bila na ploskvi Murska Šuma (775 mm) (Preglednica 2). Statistično značilne sezonske razlike med padavinami na prostem smo ugotovili le na ploskvi Murska Šuma ( $U = 0$  pri  $p < 0,001$ ), kjer

je bilo v obdobju mirovanja 28 % letnih padavin, v vegetacijskem obdobju pa 72 %. Na ploskvah Fondek, Lontovž in Rožnik je bila količina padavin na prostem v obdobju mirovanja vegetacije manjša od tiste v vegetacijskem obdobju (od 37 % do 45 % letnih padavin), vendar razlike niso bile statistično značilne. Na ploskvah Borovec in Tratice je bila količina padavin na prostem v obdobju mirovanja vegetacije malenkost večja kot v vegetacijskem obdobju (53 % oziroma 51 % letnih padavin).

Povprečna letna količina padavin na prostem se je večala z nadmorsko višino ( $R_s = 0,619$ ), vendar ne statistično značilno ( $p = 0,115$ ), saj je število obravnavanih ploskev majhno (Slika 2). Rezultati nakazujejo tudi negativno odvisnost med padavinami na prostem in zemljepisno širino in dolžino, torej se je količina padavin manjšala v smeri od juga proti severu in od zahoda proti vzhodu, vendar je  $R_s$  statistično značilen le za vegetacijsko obdobje (za zemljepisno širino je  $R_s = -0,943$ ;  $p = 0,017$ ; za zemljepisno dolžino je  $R_s = -1,000$ ;  $p = 0,003$ ).

Povprečne letne količine padavin na prostem so bile večje od padavin na najbližjih postajah ARSO na ploskvah Lontovž (105 %), Borovec (110 %) in Tratice (119 %) (Priloga 1). Na ploskvah Rožnik in Murska Šuma so bile količine zelo podobne (98 % in 99 %), na ploskvah Brdo (95 %), Gropajski Bori (85 %) in Fondek (81 %) pa so bile manjše od količin padavin na najbližjih postajah ARSO. Ugotavljamo visoko stopnjo ujemanja med padavinami na prostem in na najbližjih postajah

ARSO po časovnih intervalih (Prilogi 2 in 3). Statistično značilne razlike med količinami padavin na prostem ter na postajah ARSO smo ugotovili le za ploskvi Fondek ( $p = 0,035$ ;  $U = 28398$ ) ter Tratice ( $p = 0,048$ ;  $U = 5228$ ).

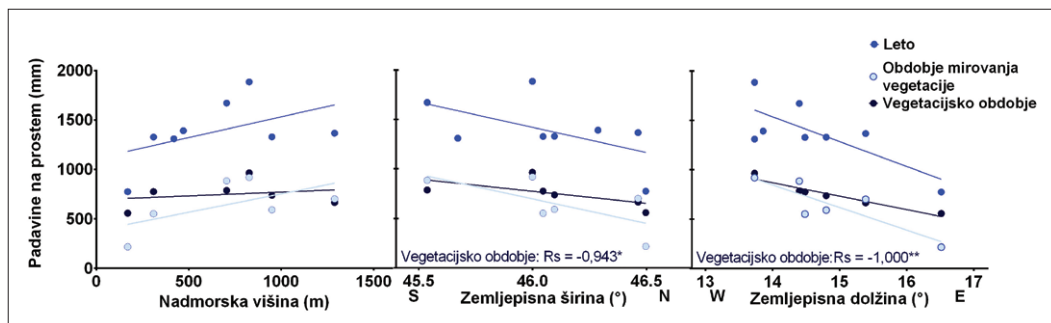
### 3.2 Prepuščene padavine

#### 3.2 Throughfall

Povprečna letna količina prepuščenih padavin je bila najvišja na ploskvi Gropajski Bori (1492 mm oziroma 91 % padavin na prostem), vendar so za to ploskev na voljo le podatki za leti 2009 in 2010 (Preglednica 2). Sledila je ploskev Fondek (1442 mm oziroma 77 % padavin na prostem), na ploskvah Rožnik, Lontovž, Borovec, Brdo in Tratice je bila količina prepuščenih padavin od 1133 mm do 1407 mm (od 82 % do 103 % padavin na prostem), najmanjša pa je bila na ploskvi Murska Šuma (713 mm oziroma 89 % padavin na prostem).

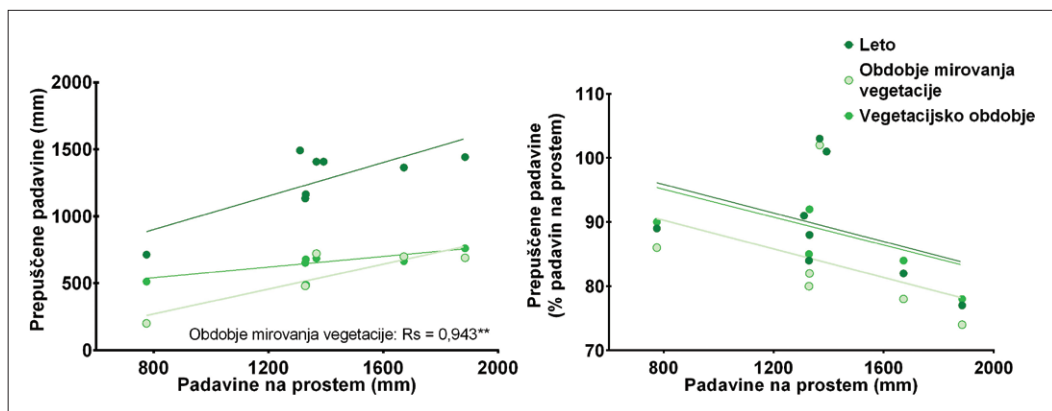
Prepuščene padavine so se večale s količino padavin na prostem (Slika 3), pri čemer je bil  $R_s$  statistično značilen le za obdobje mirovanja vegetacije ( $R_s = 0,943$ ,  $p = 0,017$ ). Hkrati se je delež prepuščenih padavin v padavinah na prostem manjšal z naraščanjem padavin na prostem, vendar  $R_s$  ni bil statistično značilen.

Posledično se je delež prepuščenih padavin v padavinah na prostem večal v smeri od juga proti severu in od zahoda proti vzhodu, vendar je bil  $R_s$  statistično značilen le za obdobje mirovanja vegetacije (Slika 4). Ugotavljamo tudi statistično značilno zmanjševanje deleža letnih prepuščenih



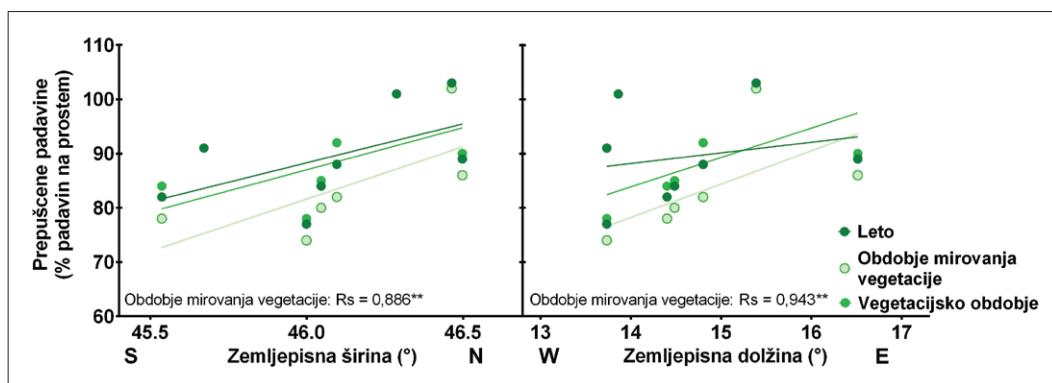
Slika 2: Povprečne letne količine padavin na prostem (mm) na ploskvah IMGE v odvisnosti od nadmorske višine (m), zemljepisne širine (°) in zemljepisne dolžine (°)

Figure 2: Mean annual open field precipitation (mm) at forest monitoring plots in relation to altitude (m), latitude (°) and longitude (°)



Slika 3: Prepuščene padavine na ploskvah IMGE a) v mm in b) kot delež prepuščenih padavin (odstotek padavin na prostem) v odvisnosti od padavin na prostem (mm)

Figure 3: Throughfall at forest monitoring plots a) in mm and b) as percentage of open field precipitation (%) in relation to open field precipitation (mm)



Slika 4: Prepuščene padavine na ploskvah IMGE (% padavin na prostem) v odvisnosti od zemljepisne širine (°) in zemljepisne dolžine (°)

Figure 4: Throughfall at forest monitoring plots (% of open field precipitation) in relation to latitude (°) and longitude (°)

padavin v padavinah na prostem z večanjem deleža listavcev v lesni zalogi ( $R_s = -0,786$ ;  $p = 0,020$ ).

Prepuščene padavine so bile v vegetacijskem obdobju večje kot v obdobju mirovanja vegetacije na ploskvah Fondek, Borovec, Lontovž in Murska Šuma, in sicer od 4 % do 10 % padavin na prostem. Statistično značilne sezonske razlike smo ugotovili le na ploskvah Lontovž ( $U = 8$  pri  $p = 0,010$ ) in Murska Šuma ( $U = 0$  pri  $p < 0,001$ ). Ugotavljamo visoko stopnjo ujemanja med prepuščenimi padavinami in padavinami na prostem po časovnih intervalih (Priloga 4 in 5). Povprečni  $R_s$  je bil 0,972, pri čemer je bilo ujemanje najboljšje na ploskvi Gropajski Bori ( $R_s = 0,990$ ) in najslabše na ploskvi Tratice ( $R_s =$

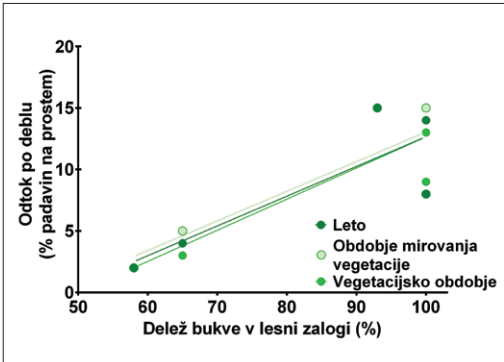
0,940). Statistično značilne razlike med prepuščenimi padavinami in padavinami na prostem smo ugotovili za ploskve IMGE Fondek ( $p = 0,002$ ;  $U = 8984$ ), Borovec ( $p = 0,003$ ,  $U = 28767$ ), Murska Šuma ( $p = 0,039$ ,  $U = 18750$ ) in Rožnik ( $p = 0,035$ ;  $U = 15794$ ). Povprečne letne količine prepuščenih padavin so bile večje od padavin na prostem le na ploskvi Tratice (103 % padavin na prostem), na preostalih pa so bile nižje.

### 3.3 Odtok po deblu

#### 3.3 Stemflow

Povprečni letni odtok po deblu na ploskvah IMGE s prevladujočo bukvi je bil največji na ploskvi Fondek (262 mm oziroma 14 % padavin na

prostem) (Preglednica 2). Sledi ploskev Lontovž (197 mm oziroma 15 % padavin na prostem), nato Borovec (137 mm oziroma 8 % padavin na prostem). Na ploskvi Tratice je bil odtok po deblu najnižji (29 mm oziroma 2 % padavin na prostem). Rezultati nakazujejo večanje deleža odtoka po deblu v padavinah na prostem z večanjem deleža bukke v lesni zalogi (Slika 5), vendar ne statistično značilno ( $p = 0,076$ ), saj je število obravnavanih ploskev majhno.



Slika 5: Odtok po deblu na ploskvah IMGE s prevladujočo bukvijo (% padavin na prostem) v odvisnosti od deleža bukke v lesni zalogi (%)

Figure 5: Stemflow at forest monitoring plots with prevailing beech (% of open field precipitation) in relation to the share of beech in growing stock (%)

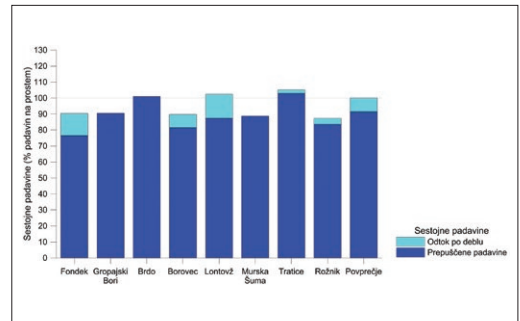
Statistično značilne sezonske razlike odtoka po deblu smo ugotovili le na ploskvi Lontovž ( $U = 16$ ;  $p = 0,030$ ). Ugotavljamo razmeroma visoko stopnjo ujemanja med odtokom po deblu in padavinami na prostem po časovnih intervalih (Priloga 6 in 7), čeprav smo ugotovili statistično značilne razlike za vse obravnavane ploskve (pri  $p < 0,001$ ). Povprečni Rs za vse IMGE ploskve s prevladujočo bukvijo je bil 0,902, pri čemer je bilo ujemanje najboljše na ploskvi Borovec ( $R_s = 0,917$ ) in najslabše na ploskvi Tratice ( $R_s = 0,876$ ).

### 3.4 Sestojne padavine

#### 3.4 Net precipitation

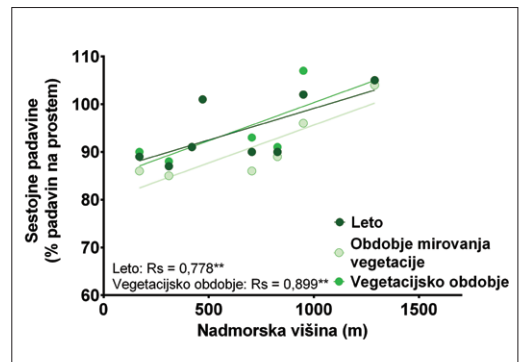
Povprečne letne sestojne padavine na vseh ploskvah so bile 94 % padavin na prostem, pri čemer je bil največji delež na ploskvi Tratice (105 % padavin na prostem), sledili sta ji ploskvi Lontovž

(102 %) in Brdo (101 %), najmanjši delež pa je bil na ploskvi Rožnik (87 %) (Slika 6, Preglednica 2). V vegetacijskem obdobju je bil v povprečju delež sestojnih padavin večji (96 % padavin na prostem) kot v obdobju mirovanja vegetacije (91 % padavin na prostem). Največja sezonska razlika je bila na ploskvi Lontovž, kjer je bil delež sestojnih padavin v obdobju mirovanja vegetacije 96 % in v vegetacijskem obdobju 107 % padavin na prostem. Povprečne letne sestojne padavine so na treh ploskvah presegle izmerjene količine padavin na prostem (Brdo za 1 %, Lontovž za 2 % in Tratice za 5 %) (Slika 6). Delež sestojnih padavin v padavinah na prostem se je večal z nadmorsko višino ploskev, pri čemer je bil Rs statistično značilen za sestojne padavine v letu in v obdobju mirovanja vegetacije (Slika 7).



Slika 6: Letne sestojne padavine na ploskvah IMGE (% padavin na prostem)

Figure 6: Annual net precipitation on forest monitoring plots (% of open field precipitation)



Slika 7: Letne sestojne padavine na ploskvah IMGE (% padavin na prostem) v odvisnosti od nadmorske višine (m)

Figure 7: Mean annual net precipitation (% of open field precipitation) in relation to altitude (m)



Preglednica 2: Padavine na prostem, prepuščene padavine, odtok po deblu, sestojne padavine in prestrežene padavine na ploskvah IMGGE (mm in % padavin na prostem) (Table 2: Open field precipitation, throughfall, stemflow, net precipitation and interception on forest monitoring plots (in mm and % of open field precipitation))

Ploskev	Sezona	Padavine na prostem		Prepuščene padavine		Odtok po deblu		Sestojne padavine		Prestrežene padavine	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Fondek	1 <sup>1</sup>	920	74	690	74	134	15	825	89	95	11
	2 <sup>2</sup>	965	78	760	78	128	13	888	91	78	9
Borovec	Leto	1885	77	1442	77	262	14	1704	90	181	10
	1	885	78	699	78	70	8	769	86	116	14
Lontovž <sup>a</sup>	2	788	84	665	84	67	9	732	93	56	7
	Leto	1672	82	1364	82	137	8	1501	90	172	10
Murska Šuma	1	592	82	486	82	87	15	574	96	18	4
	2	738	92	678	92	109	15	787	107	-49	-7
Tratice <sup>b</sup>	Leto	1330	88	1164	88	197	15	1361	102	-30	-2
	1	217	86 <sup>a</sup>	201 <sup>a</sup>	86 <sup>a</sup>	/	/	201 <sup>a</sup>	86 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>
Rožnik	2	558	90 <sup>a</sup>	512 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	/	/	512 <sup>a</sup>	90 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>
	Leto	775	89 <sup>a</sup>	713 <sup>a</sup>	89 <sup>a</sup>	/	/	713 <sup>a</sup>	89 <sup>a</sup>	62 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>
Brdo	1	701	102	721	102	15	2	735	104	-34	-4
	2	666	103	686	103	14	2	700	105	-34	-5
Gropajski Bori	Leto	1367	103	1407	103	29	2	1436	105	-68	-5
	1	552 <sup>c</sup>	80 <sup>d</sup>	480 <sup>d</sup>	80 <sup>d</sup>	27 <sup>e</sup>	5 <sup>e</sup>	507 <sup>d</sup>	85 <sup>d</sup>	45 <sup>d</sup>	15 <sup>d</sup>
Borovje	2	776 <sup>c</sup>	85 <sup>d</sup>	652 <sup>d</sup>	85 <sup>d</sup>	23 <sup>e</sup>	3 <sup>e</sup>	675 <sup>d</sup>	88 <sup>d</sup>	100 <sup>d</sup>	12 <sup>d</sup>
	Leto	1328 <sup>c</sup>	84 <sup>d</sup>	1133 <sup>d</sup>	84 <sup>d</sup>	49 <sup>e</sup>	4 <sup>e</sup>	1182 <sup>d</sup>	87 <sup>d</sup>	146 <sup>d</sup>	13 <sup>d</sup>
Gropajski Bori	Leto	1392	101	1407	101	/	/	1407	101	-15	-1
	Leto	1310 <sup>f</sup>	91 <sup>g</sup>	1492 <sup>g</sup>	91 <sup>g</sup>	/	/	1492 <sup>g</sup>	91 <sup>g</sup>	157 <sup>g</sup>	9 <sup>g</sup>

<sup>1</sup>1 – obdobje mirovanja vegetacije; <sup>2</sup>2 – vegetacijsko obdobje; <sup>a</sup>2004 do 2010; <sup>b</sup>2010 do 2013; <sup>c</sup>2005 do 2013; <sup>d</sup>2007 do 2013; <sup>e</sup>povzeto po Kermačnar, 2015; <sup>f</sup>2009 do 2013; <sup>g</sup>2009 do 2010

#### 4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

#### 4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Količina padavin se je na ploskvah IMGE zelo razlikovala, kar smo zaradi razgibanosti reliefa in splošne porazdelitve padavin v Sloveniji (Cegnar, 2003) tudi pričakovali. Padavine na prostem in tudi delež sestojnih padavin v padavinah na prostem so se večali z nadmorsko višino ploskev. Pomembna je tudi geografska lega ploskev, saj se je količina padavin na prostem manjšala v smeri od juga proti severu ter od zahoda proti vzhodu, kar je bilo še posebno izrazito v vegetacijskem obdobju. V Sloveniji se količina padavin veča od Primorja do vrha alpskodinarske pregrade, nato pa se z oddaljenostjo od morja proti severovzhodu države manjša (Cegnar, 2003). Na skrajnem severovzhodu države je po navadi padavin manj kot 800 mm (*ibid.*), kar se ujema z rezultati naše raziskave, saj smo najmanjšo letno količino padavin na prostem izmerili na ploskvi Murska šuma (775 mm).

Količine padavin na prostem ter na najbližjih postajah ARSO so se dobro ujemale. Statistično značilne razlike smo ugotovili le na ploskvah Fondek v Trnovskem gozu in Tratice na Pohorju. Obe ploskvi sta v reliefno razgibanih gorovjih, kjer se količina padavin razlikuje že na majhnih razdaljah in nadmorski višini (Barry, 2001). Tudi Vilhar (2016b) navaja, da se v masivu Pohorja padavine na majhnih razdaljah zelo razlikujejo zaradi vpliva orografskih dejavnikov in vetra na razporeditev padavin (Diodato, 2005; Frantar, 2008). V primeru nerazpoložljivosti podatkov o padavinah v topografsko in reliefno razgibanih območjih je potrebna previdnost pri uporabi podatkov z najbližje postaje ARSO (Vilhar, 2010a; 2016b). Priporočamo vsaj nekajletne meritve padavin na prostem v neposredni bližini raziskovalnih ploskev v gozdu ter uporabo izpeljanih transfernih funkcij za daljše časovne nize.

Povprečna letna količina prepuščenih padavin se je med ploskvami zelo razlikovala in je znašala od 77 % (ploskev Fondek) do 103 % padavin na prostem (ploskev Tratice). Podoben delež prepuščenih padavin je bil v mešanih sestojih jelke in bukve Kočevskega roga (od 85 % do 93 %) (Vilhar, 2010a), 82 % v bukovem sestoju na Zavodnjah (Simončič, 1996), nekoliko manjši

pa v bukovem gozdu v avstrijskih Kalkalpen (od 72 % do 80 %) (Katzensteiner, 2000) ter v gozdu toploljubnih listavcev v porečju Dragonje (67 % do 71 %) (Šraj in sod., 2008a). Na ploskvi Tratice so izmerjene količine prepuščenih padavin presegle padavine na prostem. To je lahko posledica večjega vrtinčenja zraka na prostem v primerjavi z gozdom, pri čemer v dežemere na prostem pade manjša količina padavin. Lahko pa tudi oblikovanost krošenj dreves in vej prispeva k stekanju večje količine padavin v dežemere v gozdu, kar ugotavljajo številni avtorji (Krečmer, 1967; Smolej, 1978; Vilhar, 2010a; Kermavnar, 2015; Siegert in sod., 2016; Vilhar, 2016b).

Na prepuščene padavine je pomembno vplivala splošna porazdelitev padavin v Sloveniji, kar je bilo še posebno izrazito v obdobju mirovanja vegetacije. Sezonske razlike prepuščenih padavin smo ugotovili le na ploskvah Lontovž in Murska šuma, kjer so bile večje v vegetacijskem obdobju kot v obdobju mirovanja vegetacije. Pričakovali smo sicer manj prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju zaradi večjega prestrezanja krošenj, vendar številni avtorji poročajo o večjem deležu prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju zaradi večje intenzivnosti padavin v primerjavi z obdobjem mirovanja vegetacije (Vilhar, 2006; Šraj in sod., 2008b; Perez in sod., 2013; Kermavnar, 2015). V času poletnih neviht (nalivov) se skladiščna zmogljivost krošenj zapolni bistveno hitreje, kar posledično povzroči kapljanje padavinske vode na tla in večjo količino prepuščenih padavin (Kermavnar, 2015).

Povprečni letni odtok po deblu je na ploskvah s prevladujočo bukvijo znašal od 2 % (Tratice) do 15 % padavin na prostem (Lontovž). V mešanem gozdu listavcev in iglavcev je bil odtok po deblu manjši, z večanjem deleža bukve v lesni zalogi pa se je delež odtoka v padavinah na prostem večal. Podoben delež odtoka po deblu je bil ugotovljen v bukovih gozdovih v Sloveniji (od 5 % do 14 % padavin na prostem) (Vilhar in sod., 2012), 5 % v bukovem sestoju na Zavodnjah (Simončič, 1996) ter od 6 % do 7 % v mešanem gozdu jelke in bukve v Kočevskem Rogu (Vilhar, 2009). Sezonske razlike odtoka po deblu smo ugotovili le na ploskvi Lontovž, čeprav je bil v povprečju delež odtoka v padavinah na prostem za obe sezoni 15 %.

Povprečni delež sestojnih padavin v padavinah na prostem je bil od 87 % (ploskev Rožnik) do 105 % (ploskev Tratice). Podoben delež sestojnih padavin je bil v mešanih gozdovih smreke in bukve na Pohorju (od 80 % do 110 %) (Vilhar, 2016b), v nižinskem poplavnem gozdu (93 %) in obrežnem rdečeborovju (96 %) ob reki Savi (Kermavnar, 2015) ter od 86 % do 99 % v mešanih gozdovih jelke in bukve v Kočevskem Rogu (Vilhar, 2009). Nekoliko manjše količine sestojnih padavin so bile v gozdu toploljubnih listavcev v porečju Dragonje (75 %) (Šraj in sod., 2008a). Na treh ploskvah so izmerjene količine sestojnih padavin presegle padavine na prostem, kar je lahko posledica napak pri meritvah prepuščenih padavin ali precenjenega deleža odtoka po deblu. V nekaterih primerih se zaradi specifične oblikovanosti krošenj (vejni kot) nadstojnih dreves prepuščene padavine koncentrirajo na določenih mestih sestoja (angl. »drip points«; Šraj in sod., 2008a), kar lahko prispeva k večji količini prepuščenih padavin v primerjavi s padavinami na prostem (Asadian, 2010). Lahko pa je vzrok tudi velika prostorska spremenljivost padavin na majhnih razdaljah v reliefno razgibanem območju, kot ugotavljajo tudi drugi avtorji (Krečmer, 1967; Šraj in sod., 2008b; Vilhar, 2010a; Kermavnar, 2015; Siegert in sod., 2016; Vilhar, 2016b). Meritve padavin in odtoka po deblu bi lahko izboljšali z meritvami padavin nad krošnjami dreves neposredno v gozdu, pa tudi z večjim številom vzorčevalnikov (Draaijers in sod., 2001; Zlindra in sod., 2011). Tudi primerjava padavin, merjenih za različna obdobja, je vprašljiva, saj so prepuščene padavine odvisne tudi od lastnosti padavin in drugih klimatoloških spremenljivk (npr. veter), ki pa se od leta do leta lahko zelo razlikujejo (Vilhar, 2010a; Kermavnar, 2015; Vilhar, 2016b).

V vegetacijskem obdobju je bil delež sestojnih padavin večji (96 % padavin na prostem) kot v obdobju mirovanja vegetacije (91 %), kar je bilo najbolj izrazito na ploskvah Lontovž (razlika 11 % padavin na prostem) in Borovec (razlika 7 % padavin na prostem). Delež sestojnih padavin v padavinah na prostem se je večal z nadmorsko višino kot tudi količina padavin na prostem. Jasne povezave med padavinskim režimom in mešanostjo drevesnih vrst nismo ugotovili. Rezultati

raziskave sicer nakazujejo, da se z večanjem deleža listavcev v lesni zalogi manjša delež prepuščenih padavin in večja delež odtoka po deblu v padavinah na prostem. Vendar je nabor ploskev v raziskavi premajhen, hkrati pa so geografsko tako oddaljene, da na razlike v padavinskem režimu v gozdu bolj vplivajo topografija, relief (Siegert in sod., 2016; Vilhar, 2016b), geografska lega (Cegnar, 2003), intenzivnost padavin (Šraj in sod., 2008b; Kermavnar, 2015) kot pa mešanost drevesnih vrst. Za ugotavljanje vpliva mešanosti drevesnih vrst na prostorsko in časovno razporeditev padavin v gozdu bi morali spremljati padavine na majhnem območju s čim enotnejšo topografijo, reliefom, orografskimi dejavniki ter obravnavati več ploskev z različnimi deleži drevesnih vrst (Siegert in sod., 2016; Vilhar, 2016b).

## 5 POVZETEK

Na prostorsko in časovno porazdelitev padavin vplivajo različni dejavniki, kot so geografska lega, bližina morja, topografija, raba tal, urbanizacija in drugo. Porazdelitev padavin v Sloveniji je zelo raznolika, kar je posledica geografske lege Slovenije, razgibanosti njenega površja in značilnosti posameznih vremenskih tipov. Porazdelitev padavin v gozdu je odvisna od vrste in intenzivnosti padavin, pa tudi od zgradbe gozda, mešanosti drevesnih vrst, oblike dreves in njihove prostorske razporeditve (Kimmins, 1997), skladiščne zmogljivosti krošenj, hrapavosti debla. Pomembni dejavniki so tudi smer in hitrost vetra ter izpostavljenost gozdnemu robu (Klaasen in sod., 1996). Količina, oblika in časovna porazdelitev padavin so izredno pomembni za gozdne ekosisteme, saj pomembno vplivajo na njihovo preskrbo z vodo.

Namen naše raziskave je bil analizirati padavine na osmih ploskvah intenzivnega monitoringa gozdov (IMGE) v Sloveniji v letih od 2004 do 2013. Primerjali smo količine padavin na prostem, prepuščenih padavin, odtok po deblu ter količine sestojnih padavin (vsota prepuščenih padavin in odtoka po deblu), ki so bile merjene v rednih 14-dnevnih časovnih intervalih. Predpostavili smo, da so bile količina, oblika in časovna razporeditev padavin odvisne od geografske lege, reliefa in mešanosti drevesnih vrst. Ugotavljali smo tudi,

ali se padavine na ploskvah IMGE razlikujejo od padavin na najbližjih postajah ARSO.

Količina padavin se je na ploskvah IMGE zelo razlikovala, kar smo zaradi razgibanosti reliefa in splošne porazdelitve padavin v Sloveniji tudi pričakovali. Količina padavin na prostem in tudi delež sestojnih padavin v padavinah na prostem sta se večala z nadmorsko višino ploskev. Pomembna je tudi geografska lega ploskev, saj se je količina padavin na prostem manjšala v smeri od juga proti severu ter od zahoda proti vzhodu, kar je bilo še posebno izrazito v vegetacijskem obdobju. Količine padavin na prostem ter na najbližjih postajah ARSO so se dobro ujemale, razen na ploskvah Fondek v Trnovskem gozu in Tratice na Pohorju. Obe ploskvi sta v reliefno razgibanih gorovjih, kjer se količina padavin razlikuje že na majhnih razdaljah in nadmorski višini. V primeru nerazpoložljivosti podatkov o padavinah v topografsko in reliefno razgibanih območjih je potrebna previdnost pri uporabi podatkov z najbližje postaje ARSO. Priporočamo vsaj nekajletne meritve količine padavin na prostem v neposredni bližini raziskovalnih ploskev v gozdu ter uporabo izpeljanih transfernih funkcij za daljše časovne nize.

Tudi povprečna letna količina prepuščenih padavin se je med ploskvami zelo razlikovala in je znašala od 77 % (ploskev Fondek) do 103 % padavin na prostem (ploskev Tratice). Na prepuščene padavine je pomembno vplivala splošna porazdelitev padavin v Sloveniji, kar je bilo še posebno izrazito v obdobju mirovanja vegetacije. Sezonske razlike prepuščenih padavin smo ugotovili le na ploskvah Lontovž in Murska šuma, kjer so bile količine prepuščenih padavin večje v vegetacijskem obdobju kot v obdobju mirovanja vegetacije. Pričakovali smo sicer manj prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju zaradi večjega prestrežanja krošenj, vendar številni avtorji poročajo o večjem deležu prepuščenih padavin v vegetacijskem obdobju zaradi večje intenzivnosti padavin v primerjavi z obdobjem mirovanja vegetacije. Povprečni letni odtok po deblu je na ploskvah s prevladujočo bukvijo znašal od 2 % (Tratice) do 15 % padavin na prostem (Lontovž). V mešanem gozdu listavcev in iglavcev je bil odtok po deblu

manjši, z večanjem deleža bukve v lesni zalogi pa se je delež odtoka v padavinah na prostem večal. Povprečni delež sestojnih padavin v padavinah na prostem je bil od 87 % (ploskev Rožnik) do 105 % (ploskev Tratice). Delež sestojnih padavin v padavinah na prostem se je večal z nadmorsko višino kot tudi količina padavin na prostem.

Jasne povezave med količino sestojnih padavin in mešanostjo drevesnih vrst nismo ugotovili, saj je nabor ploskev v raziskavi majhen, hkrati pa so geografsko tako oddaljene, da na sestojne padavine bolj vpliva splošna porazdelitev padavin v Sloveniji. Za ugotavljanje vpliva mešanosti drevesnih vrst na sestojne padavine bi morali spremljati padavine na majhnem območju s čim enotnejšo topografijo, orografskimi dejavniki ter na več ploskvah z različnimi deleži drevesnih vrst.

## 5 SUMMARY

Spatial and temporal distribution of precipitation is affected by diverse factors, e.g. geographical location, vicinity of the sea, topography, soil use, urbanization etc. In Slovenia, there is a very diverse distribution of precipitation, which originates in Slovenian geographical location, complex terrain and characteristics of individual weather types. Distribution of precipitation in forest also depends on the type and intensity of precipitation on one hand and forest structure, tree species mixture, shape of trees and their spatial distribution (Kimmins, 1998), storage capacity of the canopy, and stem roughness on the other. Important factors are also direction and velocity of the wind and exposure to the forest edge (Klaasen et al., 1996). Amount, type and temporal distribution of precipitation are extremely important for forest ecosystems, since they affect their water supply significantly.

The aim of our study was to analyze precipitation on 8 forest monitoring plots (IMGE) in Slovenia in period 2004 to 2013. We compared amounts of open field precipitation, throughfall, stemflow and amounts of net precipitation (sum of throughfall and stemflow), measured in regular 14 day temporal intervals. We assumed that amount, type and temporal distribution of precipitation depended on geographic location,

relief and tree species mixture. In addition, we were also establishing whether precipitation on forest monitoring plots differ from precipitation at the nearest ARSO (Slovenian Environmental Agency) stations.

The precipitation amount differed very much on different forest monitoring plots, which was expected because of relief diversity and general distribution of precipitation in Slovenia. Amount of open field precipitation and also the share of net precipitation within the net precipitation were increasing with the altitude of the plots. Also geographical location of the plots played an important role, since the amount of the open field precipitation was decreasing from south to north and from west to east, which was particularly distinct during the vegetation period. Amounts of the open field precipitation and the ones at the nearest ARSO stations agreed well except for the Fondek in Trnovski gozd and Tratice on Pohorje Mountains plots. Both plots are situated in mountainous regions with complex terrain, where the precipitation amount differs already at small distances and altitudes. In case of unavailable precipitation data in regions with complex topography and terrain, caution is needed when applying data from the nearest ARSO station. We recommend at least a few years of measuring the open field precipitation amount in the direct vicinity of research plots in the forest and implementation of the derived transfer functions for longer temporal series.

Also mean annual throughfall amount differed largely among plots and amounted from 77 % (Fondek plot) to 103 % of open field precipitation (Tratice plot). The throughfall was significantly affected by the general distribution of precipitation in Slovenia, prominently noticeable during the dormancy period. Seasonal differences of throughfall was established only on plots Lanovž and Murska šuma, where the throughfall amounts were larger in vegetation period than in dormancy. We expected less throughfall in vegetation period due to larger catchments of the canopy, but numerous authors report about a larger share of throughfall in vegetation period due to larger precipitation intensity in comparison with dormancy period.

Mean annual stemflow on plots with prevailing beech amounted from 2 % (Tratice) to 15 % of open field precipitation (Lontovž). In mixed coniferous and deciduous forests, mean net precipitation in open field precipitation increased with altitude; the same is true for the amount of open field precipitation.

Clear connection between the amount of net precipitation and tree species mixture was not found, since the set of study plots is small and they are geographically so remote, that the net precipitation is largely affected by the general distribution of precipitation in Slovenia. In order to assess the impact of tree species mixture on net precipitation, study in smaller areas with homogeneous topography and orography should be performed including a larger number of forest monitoring plots with diverse shares of tree species.

## 6 ZAHVALA

## 6 ACKNOWLEDGEMENT

Raziskava je nastala v okviru diplomske naloge na Visokošolskem strokovnem študiju Oddelka za gozdarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, Javne gozdarske službe Usmerjanje in strokovno vodenje spremljanja stanja razvrednotenja in poškodovanosti gozdov (RPG), 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 dolgoterno izvajanje intenzivnega monitoringa gozdov v Sloveniji ne bi bilo mogoče brez sodelovanja številnih sodelavcev Gozdarskega inštituta Slovenije: Primož Simončič, Matej Rupel in Daniel Žlindra. Zahvaljujemo se vsem skrbnikom ploskev, ki so opravljali vzorčenja in meritve: Heleni Zorn, Darju Grudnu, Boštjanu Komjancu (ZGS – OE Tolmin), Mateju Kravanji, Edvinu Drobnojaku (ZGS – OE Sežana), Tomažu Polajnarju (ZGS – OE Kranj), Dragu Verešu, Janezu Šubicu (ZGS – KE Kočevska Reka), Igorju Aheju (ZGS – OE Maribor), Milanu Bajdi, Boštjanu Pihlerju (ZGS – OE Ljubljana), Andreju Sarjašu (ZGS – OE Murska Sobota).

## 7 VIRI

## 7 REFERENCES

- Arhiv Agencije za okolje Republike Slovenije. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive> (2016)
- Asadian, Y. 2010. Rainfall interception in an urban environment. University of British Columbia, Faculty of Graduate Studies. Vancouver, The University of British Columbia: 87 str.
- Barry, R. 2001. Mountain weather and climate. - 2nd ed. 2. New York, Routledge, a division of Routledge, Chapman and Hall, Inc.: 402 str.
- 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. Niederschlagsbilanz von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen in der Rhein-Main-Ebene, Hessische Forstliche Versuchsanstalt, Institut fuer Forsthydrologie: str. 80.
- Cegnar, T. 2003. Podnebne spremembe in padavinski režim. 14. MIŠIČEV VODARSKI DAN 2003str.
- Clarke, N., Žlindra, D., Ulrich, E., Mosello, R., Derome, J., Derome, K., König, N., Lövsblad, 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.
- Diodato, N. 2005. The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain. *International Journal of Climatology*, 25, 3: 351–363.
- Dolinar, M. 2016. Monthly gridded datasets for temperature and precipitation over Slovenia. *Geostatistic and Machine Learning (GeoMLA). Applications in Climate and Environmental Sciences*. Belgrade, Serbia, DHMZ, SEA, GFUB: 50-55 str.
- 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 Commission: str. 221.
- Frantar, P. (ur.). 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. Ljubljana, MOP-ARSO: str. 119.
- Gams, I. 1999. Spremenljivi sezonski padavinski režimi in njegov vpliv na suše in povodnji. *Ujma*, 13, 195–198.
- Graphpad Software. 2014. GraphPad Prism. La Jolla California USA, Software MacKiev: 1992-2014str.
- Kajfež - Bogataj, L., Bergant, K., Črepinšek, Z., Cegnar, T., Sušnik, A. 2006. Scenariji podnebnih sprememb kot temelj za oceno ogroženosti z vremensko pogojenimi naravnimi nesrečami v prihodnosti, Uprava RS za zaščito in reševanje: str.
- Katzensteiner, K. 2000. Wasser- und Stoffhaushalt von Waldekosystemen in den noerdlichen Kalkalpen. Wien, Universitaet fuer Bodenkultur: 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: str.
- Klaasen, W., Lankreijer, H. J. M., Veen, A. W. L. 1996. Rainfall interception near a forest edge. *Journal of Hydrology*, 185, 349–361.
- Košmelj, K. 2007. *Uporabna statistika*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: str.
- Krajnc, N., Mavsar, R., Vilhar, U., Simončič, P. 2006. Intenzivni monitoring gozdnih ekosistemov in program Forest Focus v Sloveniji. Intensive monitoring of forest ecosystems and Forest Focus program in Slovenia. V: *Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Monitoring the management of forests and forest landscapes. Gozdarski študijski dnevi 2006*. D. Hladnik.(ur.). Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta. Department of Forestry and Renewable Forest Resources, Biotechnical Faculty: 111–124.
- Krečmer, V. 1967. Das Mikroklima der Kieferlochkahlschlaege. IV Teil: Vertikale Niederschlaege, Luftfeuchtigkeit. *Wetter und Leben*, 19, 9-10: 203–214.
- Levia, D. F., Germer, S. 2015. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. *Reviews of Geophysics*, 53, 3: 673–714.
- Luis, M., Čufar, K., Saz, M., Longares, L., Ceglar, A., Kajfež-Bogataj, L. 2012. Trends in seasonal precipitation and temperature in Slovenia during 1951–2007. *Regional Environmental Change*, 1–10.
- Marinšek, A., Celarc, B., Grah, A., Kokalj, Ž., Nagel, T. A., Ogris, N., Oštir, K., Planinšek, Š., Roženberger, D., Veljanovski, T., Vochl, S., Železnik, P., Kobler, A. 2015. Žledolom in njegove posledice na razvoj gozdov - pregled dosedanjih znanj. Impacts of ice storms on forest development - a review. *Gozdarski vestnik*, 73, 9: 392–405.

- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, 54, 438–447.
- Perez, M. F. M., Cañas, J. R., Arellano, R. P., Cienfuegos, I. 2013. Distribution of incident rainfall through vegetation in a watershed located in southern Spain. *EGU, Geophysical Research Abstracts*, EGU str.
- Pilaš, I., Feger, K.-H., Vilhar, U., Wahren, A. 2011. Multidimensionality of scales and approaches for forest-water interactions. V: *Forest management and the water cycle: an ecosystem-based approach*. M. Bredemeier (ur.). Dordrecht, New York, Springer: 212: 351–380.
- Rejic, M., Smolej, I. 1988. Sladkovodni ekosistemi in varstvo voda, *Gozdna hidrologija*. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, BF, VTOZD za gozdarstvo: str.
- Siegert, C. M., Levia, D. F., Hudson, S. A., Dowtin, A. L., Zhang, F., Mitchell, M. J. 2016. Small-scale topographic variability influences tree species distribution and canopy throughfall partitioning in a temperate deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, 359, 109–117.
- 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 Travljanske gore 8. septembra 2010. Precipitation measurements during the orographic triggering on the area of Travljska gora on September 8, 2010. *Gozdarski vestnik*, 69, 5/6: 301–311.
- Sinjur, I., Kolšek, M., Race, M., Vertačnik, G. 2010. Žled v Sloveniji januarja 2010. Sleet in Slovenia in January 2010. *Gozdarski vestnik*, 68, 2: 123–130.
- Smolej, I. 1978. Porazdelitev dežja v sestojni odprtini. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 16, 1: 83–108.
- Šraj, M., Brilly, M., Mikoš, M. 2008a. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 121–134.
- Šraj, M., Lah, A., Brilly, M. 2008b. Meritve in analiza prestreženih padavin navadne breze (*Betula pendula* Roth.) in rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) v urbanem okolju. Measurements and Analysis of Intercepted Precipitation of Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Urban Area. *Gozdarski vestnik*, 66, 9: 406–416.
- Sušelj, K., Bergant, K. 2006. Sredozemski oscilacijski indeks in vpliv na podnebje Slovenije. Raziskave s področja geodezije in geofizike. K. Kozmus, M. Kuhar. Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineeringstr.
- Thimonier, A. 1998. Measurement of Atmospheric Deposition under Forest Canopies: Some Recommendations for Equipment and Sampling Design. *Environmental Monitoring and Assessment*, 52, 353–387.
- Vilhar, U. 2006. Vodna bilanca dinarskega jelovo-bukovega gozda na Kočevskem rogu. *WATER BALANCE OF A DINARIC SILVER FIR - BEECH FOREST IN KOČEVSKI ROG*. Biotehniška fakulteta, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 246 str.
- Vilhar, U. (ur.). 2009. Vpliv gospodarjenja na vodno bilanco jelovo-bukovih gozdov Dinarskega krasi. 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. 2010a. 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. 2010b. Priročnik za fenološka opazovanja v okviru Intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov (Raven II). Dopolnitve in prilagoditev za Slovenijo. Ljubljana, International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. Expert Panel on Meteorology and Phenology. Gozdarski inštitut Slovenije: 17 str.
- Vilhar, U. 2016a. Comparison of drought stress indices in beech forests: a modelling study. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 9, 635–642.
- Vilhar, U. 2016b. Sestojne padavine v mešanih sestojih smreke in bukve na Pohorju. Throughfall in mixed beech-spruce forest in the Pohorje mountains. *Gozdarski vestnik*, 74, 1: 28–45.
- Vilhar, U., Kopal, 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., Simončič, P. 2012. Water status and drought stress after gap formation in managed and semi-natural silver fir - beech forests. *European Journal of Forest research*, 131, 5: 1381–1397.
- 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.
- Waldner, P., Marchetto, A., Thimonier, A., Schmitt, M., Rogora, M., Granke, O., Mues, V., Hansen, K., Pihl Karlsson, G., Žlindra, D., Clarke, N., Verstraeten, A., Lazdins, A., Schimming, C., Iacoban, C., Lindroos, A.-J., Vanguelova, E., Benham, S., Meesenburg, H., Nicolas, M., Kowalska, A., Apuhtin, V., Napa, U., Lachmanová, Z., Kristoefel, F., Bleeker, A., Ingerslev, M., Vesterdal, L., Molina, J., Fischer, U., Seidling, W., Jonard, M., O'dea, P., Johnson, J., Fischer, R., Lorenz, M. 2014. Detection of temporal trends in atmospheric deposition of inorganic nitrogen and sulphate to forests in Europe. *Atmospheric Environment*, 95, 0: 363–374.
- Zabret, K. 2013. Vpliv značilnosti drevesnih vrst na prestrazanje padavin. The influence of tree characteristics on rainfall interception. *Acta hydrotechnica*, 26, 45: 99–116.
- Žlindra, 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.
- Žlindra, D., Skudnik, M., Rupel, M., Simončič, P. 2011. Meritve kakovosti padavin na prostem in v sestoji na ploskvah intenzivnega spremljanja gozdnih ekosistemov. Measuring of precipitation quality in the open and in a stand on the plots for intensive monitoring of forest ecosystems. *Gozdarski vestnik*, 69, 5/6: 279–288.
- Zupin, R. 2016. Padavinski režim na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdov v Sloveniji v letih od 2004 do 2013. Precipitation regime in the forest monitoring plots in Slovenia from 2004 to 2013. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. University of Ljubljana: 73 str.