

# Spremljanje vsebnosti vode v tleh v povezavi s padavinami in prepuščenimi padavinami

Klaudija Lebar<sup>1</sup>, Katarina Zabret<sup>1,2</sup>, Nejc Bezak<sup>1</sup>, Mark Bryan Alivio<sup>1</sup>, Mojca Šraj<sup>1</sup>

## Povzetek

Skladiščenje vode v tleh je pomemben del hidrološkega kroga, ki vpliva na porazdelitev količine padavin, ki prispevajo k odtoku in bogatenju podtalnice. V prispevku so predstavljeni preliminarni rezultati spremljanja prostorninske vsebnosti vode z globino (PVV) na treh lokacijah raziskovalne ploskve ob stavbi OOG UL FGG v Ljubljani. Meritve se izvajajo pod dvema vrstama dreves (listavec in iglavec) in na prostem. Na prostem padavine tla dosežejo nesporedno, zato je odziv PVV predvsem tik pod površjem najhitrejši. Prepuščene padavine, ki vplivajo na PVV pod drevesi pa se običajno začnejo z določenim zamikom, kar vpliva tudi na zamik odziva PVV. Ne glede na lokacijo je odziv PVV najhitrejši in največji blizu površja tal, z globino pa se upočasnjuje in zmanjšuje. V bolj mokrih obdobjih posledično odziva PVV v globljih profilih ne moremo pripisati le enemu padavinskemu dogodku. Nasprotno pa je sicer hiter odziv PVV v sušnejših razmerah prisoten le v primeru obilnejših padavin in pod površjem, medtem ko ga v globljih profilih nismo zasledili.

**Ključne besede:** prostorninska vsebnost vode v tleh, prestrezanje padavin, prepuščene padavine, eksperimentalna ploskev

**Key words:** volumetric water content, rainfall interception, throughfall, experimental plot

## Uvod

Tla predstavljajo pomemben element vodnega oziroma hidrološkega kroga, saj stopnja vsebnosti vode v tleh neposredno vpliva na to, kolikšen delež padavin bo odtekel površinsko in kolikšen delež bo prispeval k bogatenju podtalnice oz. skladiščenju vode v tleh. Količino padavin in čas, ko padavine dosežejo tla, pa s prestrezanjem padavin dodatno uravnava vegetacijski pokrov. Številne raziskave so pokazale vpliv prisotnosti vegetacije na zmanjševanje erozivnosti padavin (Zore, Bezak, and Šraj 2022) in s tem erozije tal (Rodrigues et al. 2020), zmanjševanje površinskega odtoka (Zabret in Šraj, 2015), povečanje infiltracije v tla (Cui et al. 2022) in zadrževanje padavin (EEA 2015). Tovrstne raziskave so pomembne tudi v luči prilagajanja na podnebne spremembe, saj na naravi temelječe rešitve, imenovane tudi sonaravne rešitve (angl. *nature-based solutions*), v svetu vse bolj pridobivajo na pomenu. Ne glede na to je uspešnost vseh rešitev, tj. na naravi temelječih, inženirskih in kombiniranih, v boju z globalnimi problemi, kar podnebne spremembe in ekstremni vremenski dogodki zagotovo so, omejena in odvisna od številnih dejavnikov (Seddon et al. 2020). Za ovrednotenje in opredelitev slednjih pa so ključnega pomena dolgoročne in, kjer je mogoče, zvezne meritve različnih hidroloških in meteoroloških spremenljivk (Likens 2021).

V tem prispevku je predstavljena raziskovalna ploskev prestrezanja padavin v urbanem parku v Ljubljani, ki je bila v letu 2021 nadgrajena z monitoringom prostorninske vsebnosti vode (PVV) v tleh. Namen teh meritev, katerih preliminarne rezultate predstavljamo v prispevku, je raziskati vpliv prestrezanja padavin različnih drevesnih vrst na časovni odziv

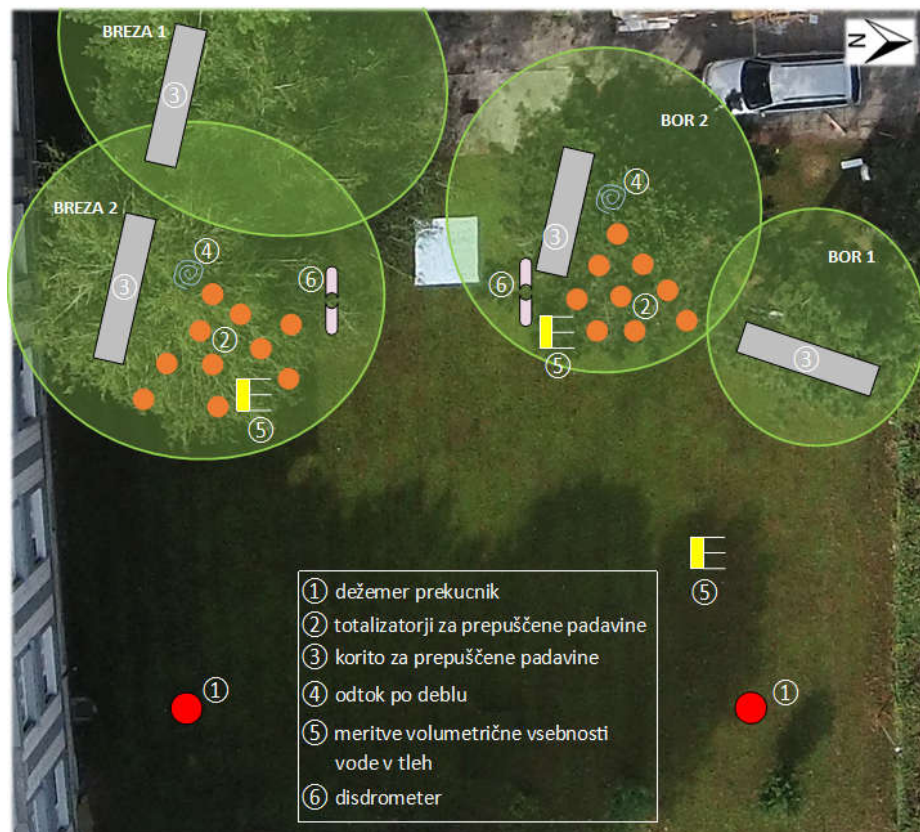
<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova c. 2, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup> Inštitut za vode Republike Slovenije, Einspielerjeva ulica 6, 1000 Ljubljana

spremembe PVV v tleh med padavinskimi dogodki in ga primerjati z odzivom na odprti lokaciji, kjer dreves in posledično prestrežanja padavin ni. Z raziskavo bomo dobili vpogled tudi v sezonsko spremenljivost vplivov prestrežanja na PVV v tleh, ki so posledica letnega razvojnega cikla dreves, različnih lastnosti padavinskih dogodkov ali kombinacije obojega.

### Opis raziskovalne ploskve in metode

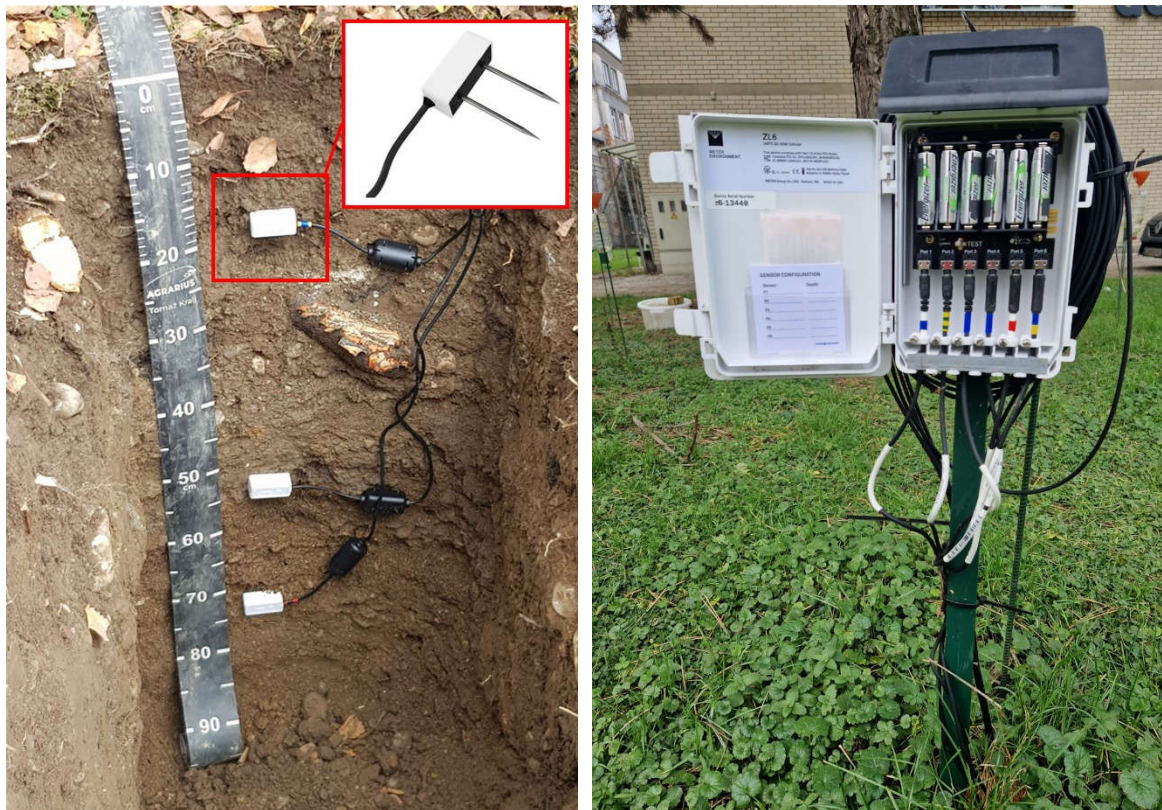
Spremljanje PVV poteka na 600 m<sup>2</sup> veliki raziskovalni ploskvi v Ljubljani ob stavbi Oddelka za okoljsko inženirstvo UL FGG. Raziskovalna ploskev je travnata površina, kjer se na zahodni strani ploskve nahajata dve skupini dreves (slika 1). Prvo skupino predstavljata brezi (*Betula pendula* Roth.), drugo skupino pa borovca (*Pinus nigra* Arnold). Na ploskvi so bile že pred približno dvema desetletjema vzpostavljene meritve prestrežanja padavin (Šraj, Lah, and Brilly 2008), vendar pa podrobnejše analize izmerjenih podatkov in ugotovitve o vplivu skupin dreves na zmanjševanje odtoka in opredelitvi najvplivnejših meteoroloških in vegetacijskih spremenljivk na proces prestrežanja padavin segajo v obdobje po letu 2014 (npr. Zabret et al., 2018; Zabret in Šraj, 2015).



Slika 1 – Raziskovalna ploskev prestrežanja padavin dveh skupin dreves in spremljanja časovne spremenljivosti PVV.

Raziskovalna ploskev je bila v obdobju meritev večkrat posodobljena s sodobnejšo in dodatno merilno opremo, jeseni 2021 tudi s senzorji za spremljanje PVV (slika 1). Količino padavin na prostem spremljamo z dvema avtomatskima dežemeroma Onset RG2-M (angl. *tipping bucket*), njihove lastnosti, kot so število kapljic, njihova velikost in hitrost padanja, pa z disdrometrom OTT Parsivel, nameščenim na strehi stavbe. Prepuščene padavine, tj.

padavine, ki dosežejo tla med vrzelmi drevesne krošnje oziroma prikapljujejo z listov in vej, pod obema skupinama dreves zbiramo s po dvema ostrorobima koritoma površine  $0,75 \text{ m}^2$ , enim z avtomatskim merilnikom in enim z ročnim praznjenjem in merjenjem. Dodatno prepuščene padavine zbiramo z 11 premičnimi lijakastimi merilniki z ročnim praznjenjem in tehtanjem ujete vode. Ti služijo za oceno prostorske porazdelitve prepuščenih padavin. Pod obema vrstama dreves sta nameščena tudi disdrometra (pod borom od leta 2022). Lokacije in vrste posameznih meritev so shematsko prikazane na sliki 1. Razvojni cikel dreves spremljamo z občasnimi meritvami indeksa listne površine (LAI). Izmerjene vrednosti LAI za brezo se gibljejo med  $0,5 \text{ m}^2/\text{m}^2$  v obdobju mirovanja in  $2,9 \text{ m}^2/\text{m}^2$  v obdobju olistanosti, pri boru pa so zaradi zimzelenosti manj spremenljive, in sicer med  $3,4$  in  $4,3 \text{ m}^2/\text{m}^2$ .



Slika 2 – Nameščeni senzori PVV v treh globinah (levo) in zapisovalnik podatkov s senzorjev ZL6 (desno).

Meritve PVV se izvajajo s senzorji TEROS 10 (slika 2, levo), ki so nameščeni na treh lokacijah ploskve, tj. na odprtem in pod vsako skupino dreves v treh globinah (16, 51 in 74 cm). Senzorji so s kabli povezani na zapisovalnika podatkov ZL6 (slika 2, desno), ki meritve s senzorjev zabeleži vsakih 20 minut. Točnost senzorjev po informacijah proizvajalca znaša  $\pm 3 \%$ . Ob namestitvi senzorjev, za katero so bili potrebni izkopi talnih profilov, je bila izvedena tudi pedološka analiza. Tla raziskovalne ploskve so antropogena, vendar je sestava vseh treh profilov podobna. Po teksturi v horizontih prevladuje ilovica oziroma meljasta ilovica. Laboratorijska analiza odvzetih vzorcev zemljine je pokazala, da povprečna nasičena PVV v zgornjih slojih tal na odprtem in pod brezo znaša  $0,55 \pm 0,01 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , medtem ko je pod borom malo nižja,  $0,45 \pm 0,03 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Za taka tla je v splošnem značilen velik delež por, ki imajo v primerjavi s tlemi z bolj grobo teksturo in manjšim deležem por večjo sposobnost zadrževanja vode, vendar slabšo infiltracijsko sposobnostjo (FAO, 1985). Za

vrhnji sloj pod borom je značilna nekoliko nižja poroznost in s tem večja nasipna gostota. To je z vidika opazovanja časovne spremenljivosti PVV pomembna informacija, saj manjša poroznost (Dos Santos et al. 2018) oziroma večja nasipna gostota zemljine (Bi et al., 2014) vplivata na zmanjšano sposobnost infiltracije. (Dos Santos et al. 2018; Bi et al. 2014)

Časovno spremenljivost PVV v tleh smo analizirali za posamezne padavinske dogodke iz obdobja november 2021 – junij 2022, ki smo jih med seboj ločili s štiriurnim obdobjem brez zabeleženih padavin na odprtem in prepuščenih padavin pod drevesi. Dolžina intervala brez padavin, ki ločuje dva dogodka, je bila določena na podlagi predhodnih meritev in opazovanj kot trajanje, v katerem prepuščanje padavin pod drevesi preneha (npr. Zabret in sod., 2018; Zabret in Šraj, 2021). V prispevku je podrobneje opisanih šest padavinskih dogodkov (preglednica 1), trije iz obdobja olistanosti (pomlad/poletje) in trije iz obdobja mirovanja (jesen/zima), ki se med seboj dodatno razlikujejo po količini padavin, trajanju padavin, predhodni namočenosti idr.

Preglednica 1 – Osnovne lastnosti izbranih padavinskih dogodkov, vključenih v podrobno analizo

Dogodek	Datum	Količina padavin [mm]	Trajanje padavin [ure]	Prepuščene padavine (breza) [%]	Prepuščene padavine (bor) [%]
1	1. december 2021	65	44,3	86	63
2	4. december 2021	19,8	21,1	81	50
3	19. februar 2022	13	17,8	74	29
4	21. april 2022	23,4	24,3	67	42
5	1. in 2. maj 2022	27,2	14,7	89	49
6	7. junij 2022	24,2	10,5	79	51

Poseben poudarek namenjamo predvsem spremenljivosti PVV v zgornjem sloju tal, ki najhitreje in najbolj odreagira na padavine. Preliminarni rezultati so interpretirani tudi z vidika relativnega odklona PVV ( $PVV_{rel,t,l}$ ) od povprečja v izbranem obdobju meritev na posamezni lokaciji in globini ( $PVV_{povp,l}$ ):

$$PVV_{rel,t,l} = \frac{PVV_{t,l} - PVV_{povp,l}}{PVV_{povp,l}}$$

$PVV_{t,l}$  je prostorninska vsebnost vode v tleh, izmerjena v času  $t$  vsakih 20 minut na posamezni lokaciji in globini ( $l$ ).

## Rezultati in diskusija

V osemmesečnem obdobju od začetka spremljanja PVV je bilo zabeleženih 75 padavinskih dogodkov z dežjem, ki so bili v približno enakem deležu zabeleženi v obdobju mirovanja in olistanosti. Za padavinske dogodke v obdobju mirovanja je v povprečju značilno daljše trajanje v dolžini več kot 10 ur, s povprečno zabeleženo količino padavin slabih 11 mm. Skupno je v tem obdobju padlo 417 mm dežja. V fazi olistanosti, ki se je začela sredi aprila, so bili dogodki v povprečju za polovico krajši, a za 3,7-krat intenzivnejši kot dogodki v času mirovanja. Do konca junija je padlo okoli 175 mm dežja. Velja spomniti, da je bilo leto 2022 eno najbolj sušnih, saj je bil primanjkljaj padavin glede na povprečje

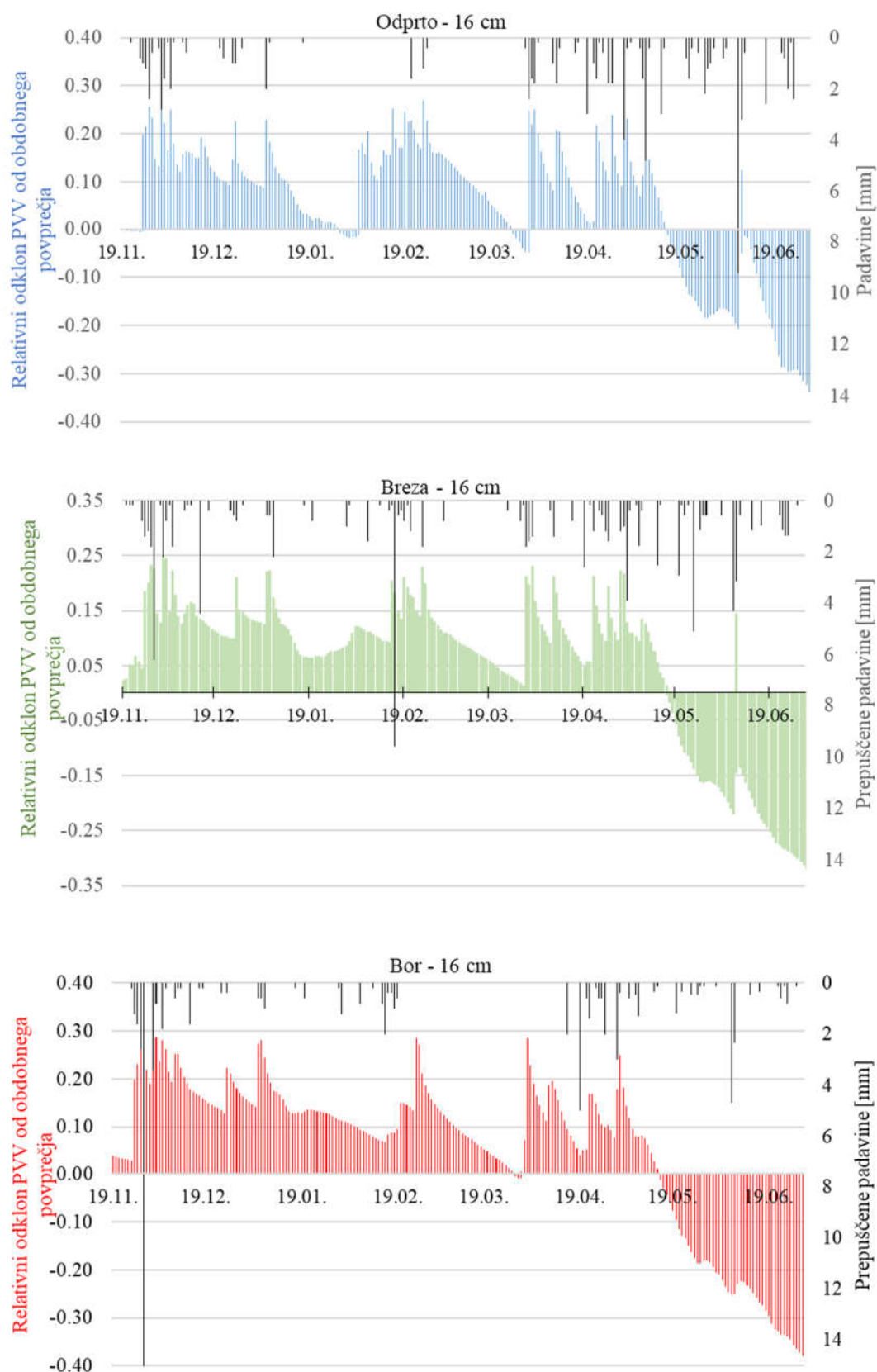


1981–2010 prisoten v vseh mesecih, razen aprila (ARSO, 2022). Prepuščene padavine so bile pod brezo zabeležene pri 54 dogodkih, v povprečju pa je breza prestregla 40 % padavin, začetek prepuščenih padavin pa je bil glede na meritve na odprtem zamaknjen za 1,5 ure. Pod borom so bile prepuščene padavine prisotne pri 44 dogodkih, pri čemer za obdobje med 19. februarjem in 11. aprilom zaradi tehničnih težav ne razpolagamo s podatki za 12 dogodkov. Delež prepuščenih padavin pod borom je v obravnavanem obdobju v povprečju znašal 38 % padavin na odprtem.

V preglednici 2 so zbrani statistični podatki izmerjenih vrednosti PVV na treh lokacijah in po treh globinah. Nadalje so podatki razdeljeni na celotno obdobje meritev (november 2021–junij 2022) in nato na obdobje mirovanja, ki se je zaključilo sredi aprila, ter obdobje olistanosti (pomlad-poletje). Razvidno je, da je v jesensko-zimskih mesecih vseh devet senzorjev v povprečju izmerilo višje vrednosti PVV kot v pomladno-poletnih mesecih, kar lahko pripišemo večjemu deležu prestreženih padavin in manjši kumulativni količini padavin v obdobju olistanosti. Največji razponi vrednosti PVV so pričakovano v zgornjih slojih vseh treh talnih profilov, kjer so vrednosti PVV v celotnem upoštevanem obdobju variirale med 0,17 in 0,33 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> na odprtem, med 0,14 in 0,3 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> pod borom ter med 0,21 in 0,38 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> pod brezo (preglednica 2). Kljub na prvi pogled podobnim teksturnim razredom vseh treh profilov, pa lahko glede na odziv PVV opazimo razlike med njimi. Na odprtem so bile najvišje povprečne vrednosti PVV opažene v srednjem sloju (0,35 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), ki mu sledita spodnji (0,34 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) in vrhnji sloj (0,27 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Prav tako so bile najvišje povprečne vrednosti PVV izmerjene v srednjem sloju v profilu pod brezo (0,34 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), vendar pa temu sledi vrhnji sloj (0,32 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) in šele nato najnižji sloj (0,18 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). V profilu pod borom smo zaznali naraščanje vrednosti PVV z globino, in sicer med 0,24 in 0,34 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

Preglednica 2 – Statistične vrednosti izmerjene prostorninske vsebnosti vode v tleh v globinah 16 cm, 51 cm in 74 cm pod brezo, borom in na odprtem (brez prisotnosti drev) za obdobje november 2021 – junij 2022

PVV [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	breza			bor			odprto		
	16 cm	51 cm	74 cm	16 cm	51 cm	74 cm	16 cm	51 cm	74 cm
<b>celotno obdobje</b>									
<b>povprečje</b>	0,320	0,335	0,180	0,242	0,305	0,338	0,270	0,349	0,340
<b>min</b>	0,210	0,233	0,109	0,143	0,230	0,281	0,171	0,255	0,299
<b>max</b>	0,382	0,378	0,218	0,304	0,371	0,355	0,329	0,383	0,346
<b>jesen/zima (november–prva polovica aprila)</b>									
<b>povprečje</b>	0,338	0,351	0,190	0,259	0,316	0,343	0,284	0,359	0,343
<b>min</b>	0,308	0,338	0,174	0,228	0,300	0,335	0,247	0,337	0,337
<b>max</b>	0,382	0,378	0,218	0,304	0,371	0,355	0,329	0,383	0,346
<b>pomlad/poletje (druga polovica aprila–junij)</b>									
<b>povprečje</b>	0,294	0,312	0,166	0,216	0,291	0,329	0,251	0,333	0,334
<b>min</b>	0,210	0,233	0,109	0,143	0,230	0,281	0,171	0,255	0,299
<b>max</b>	0,376	0,366	0,211	0,296	0,334	0,342	0,324	0,379	0,345



Slika 3 – Prikaz relativnih odklonov PVV glede na obdobjno povprečje v zgornjih slojih tal na odrptem (zgoraj), pod brezo (na sredini) in pod borom (spodaj). Pri brezi in boru so na sekundarni navpični osi prikazane prepuščene padavine

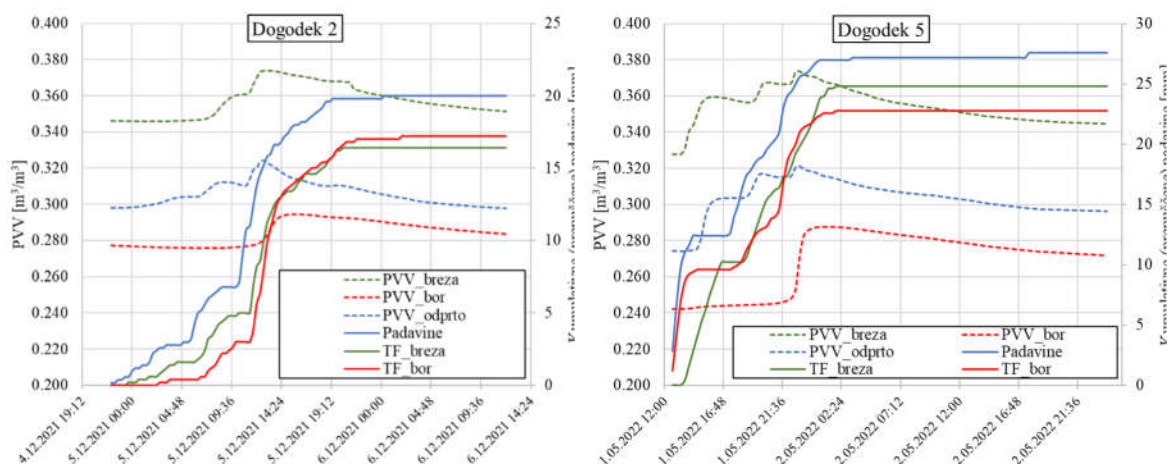
Z vidika relativne spremenljivosti PVV v obravnavanem obdobju so zelo informativni grafi, prikazani na sliki 3. Glede na obdobje meritev so bile vrednosti  $PVV_{rel}$  pozitivne (višje od povprečja) do sredine maja 2022, ko so padle pod ničlo na vseh lokacijah. Kot že omenjeno lahko razlog za suhe razmere pripišemo primanjkljaju padavin. Najhitrejša sprememba  $PVV_{rel}$  so se pričakovano zgodile v vrhnjih slojih tal, vendar pa je gledano med lokacijami do zvišanja po vnosu padavin najprej prišlo na odprtem, sledila je lokacija pod brezo in nato pod borom. Zanimiva je ugotovitev, da je do spremembe PVV v zgornjem sloju na odprtem prišlo pri tretjini zabeleženih dogodkov, po tem ko je v povprečju padlo približno 6 mm padavin in s časovnim zamikom dobrih treh ur od začetka dogodka. Za spremembo PVV v globljih slojih je bila potrebna večja kumulativna količina padavin (17 oz. 22 mm), čas do spremembe od začetka dogodka v spodnjem sloju pa je glede na zgornji sloj približno trikrat daljši. Za razliko od absolutnih vrednosti, relativne vrednosti kažejo podobne razmere na odprtem in pod brezo, kjer so bile najvišje vrednosti zaznane v zgornjih dveh slojih

Podobnost med lokacijama je opazna tudi z vidika odzivnosti na padavine oziroma prepuščene padavine. Za odziv pod brezo v globini 16 cm je bilo v povprečju potrebnih 6 mm prepuščenih padavin, do spremembe pa je prišlo v povprečju po dobrih petih urah od začetka prepuščanja padavin. Do naraščanja v srednjem in najglobljem sloju je v povprečju prišlo po 10 oziroma 13 urah. Odziv na padavine je bil najpočasnejši pod borom, kjer je bilo v povprečju potrebnih 4,5 mm prepuščenih padavin, vendar je bila sprememba opazna šele po dobrih sedmih urah. Poleg tega je do naraščanja PVV v srednjem in najglobljem sloju pod borom prišlo samo med 11 padavinskimi dogodki.

V nadaljevanju so razmere PVV opisane za izbranih šest padavinskih dogodkov, prve tri uvrščamo v obdobje mirovanja, preostale tri pa v obdobje olistanosti (preglednica 1). Med prvim dogodkom decembra 2021 je v 44,3 urah padlo 65 mm padavin, pri čemer je delež prepuščenih padavin pod brezo znašal 86 %, pod borom pa 63 %. Konica PVV je bila dosežena na vseh lokacijah hkrati, tj. nekaj več kot 18 ur po začetku dogodka, kmalu po intenzivnejših padavinah. Zanimivo je opažanje, da se prepuščene padavine niso končale kljub 11-urnemu obdobju brez padavin na prostem, kar je najverjetneje vplivalo na to, da po ponovnem pričetku padavin vrednosti PVV pod drevesi niso več naraščale, medtem ko na odprtem so. Dober dan po dogodku 1 se je začel dogodek 2 (slika 4, levo), med katerim je v slabem dnevu padlo 19,8 mm dežja. Breza je prestregla 19 % padavin, bor pa 50 %. Konice PVV so bile pod brezo in na odprtem dosežene hkrati, slabih 15 ur po začetku dogodka in tako kot v primeru dogodka 1 kmalu po intenzivnejših padavinah. Pod borom pa se je konica zamaknila še za dodatno uro in pol.

Izbrani dogodek 3 se je zgodil v februarju 2022, ko smo v slabih 18 urah zabeležili 13 mm dežja. Delež prepuščenih padavin pri boru je bil izrazito nižji kot pri prvih dveh dogodkih, saj je znašal samo 29 %. To je najverjetneje tudi razlog, da ni opaziti bistvenega odziva PVV pod borom. Najvišje vrednosti PVV pod brezo in na odprtem so bile ponovno dosežene hkrati po krajšem intenzivnejšem intervalu padavin, vendar niso tako izrazite. Četrty dogodek iz druge polovice aprila 2022 je trajal en dan, padlo pa je 23,4 mm dežja. Delež prepuščenih padavin pod brezo je nekoliko nižji (67 %) kot v primeru dogodka 2, ki je primerljiv z vidika trajanja in količine, kar bi lahko pripisali višjim vrednostim indeksa listne površine. Bor je med tem dogodkom, za katerega so značilne tri izrazite konice padavin, prestregel 58 % dežja. Prve intenzivnejše padavine so se zgodile po dveh urah, vendar niso povzročile odziva vrednosti PVV na nobeni lokaciji. Šele po drugem pojavu bolj intenzivnih padavin (po dobrih 8 urah), ko je bilo na odprtem zabeleženih 16,6 mm padavin, je prišlo do pojava konice PVV na odprtem in pod brezo. Pri boru je ponovno prišlo do časovnega zamika v konici PVV, ki se je zgodila šele po tretjem pojavu intenzivnejšega

dežja (po skupaj 9,5 mm prepuščenih padavin). Med 1. in 2. majem 2022 je v približno 15 urah padlo 27,2 mm dežja (dogodek 5) (slika 4, desno).



Slika 4 – Časovni razvoj sprememb med dogodkom 2 (levo) in dogodkom 5 (desno). S prekinjenimi črtami so prikazane vrednosti PVV, s polnimi črtami pa kumulativne padavine oziroma kumulativne prepuščene padavine (TF) pod obema skupinama dreves

Delež prepuščenih padavin pri brezi je znašal kar 89 %, kar je bistveno več kot pri dogodku 4, ko je bila sicer drevesna krošnja manj olistana (nižji indeks listne površin). Prvi del intenzivnejših padavin se je zgodil takoj na začetku dogodka, kar je pod brezo in na odprtem povzročilo sicer počasnejši odziv v spremembi PVV, medtem ko do spremembe pod borom ni prišlo. Kljub temu je do konice PVV prišlo na vseh lokacijah hkrati (po 11 urah), kmalu po tretjem pojavu intenzivnejših padavin. Za doseg konice je bilo kumulativno potrebnih 25,8 mm padavin na odprtem, 20,2 mm prepuščenih padavin pod brezo in 13,1 mm prepuščenih padavin pod borom. Zadnji analizirani dogodek (dogodek 6) se je zgodil 7. junija 2022, ko so bile vrednosti relativnih odklonov PVV od povprečja že negativne, kar lahko opredelimo kot suho obdobje. Dobrih 24 mm dežja je padlo v 10,5 urah. Po krajšem in intenzivnejšem pojavu padavin (9,2 mm v 20 min) je prišlo do hitrega odziva vrednosti PVV pod brezo in na odprtem. Sledilo je upadanje PVV med peturno prekinitvijo padavin, ki pa je obrnilo smer po drugem intenzivnejšem dežju, dosežene pa so bile tudi konice PVV. Zanimivo je, da med samim dogodkom ni prišlo do sprememb PVV pod borom. Vrednosti PVV so na tej lokaciji rahlo narasle šele po dobrem dnevu.

Podobnost odzivov PVV pod brezo in na odprtem kažejo tudi podrobne analize časovnega razvoja šestih izbranih dogodkov. Za lokacijo pod borom lahko na podlagi izbranih dogodkov sklepamo, da se infiltracija v tla začne nekoliko kasneje kot na drugih dveh lokacijah, sprememba v PVV pa je tudi manj izrazita. Razlog za razlike bi lahko pripisali manj porozni zemljini zgornjega sloja tal pod borom in/ali večji odbojnosti vode pod borom, ki zmanjšuje stopnjo infiltracije. Znano je namreč, da prisotnost borovcev, katerih iglice vsebujejo znatne količine smol, voskov in aromatičnih olj, povečuje odbojnost vode na tleh (Hewelke et al. 2022; Iovino et al. 2018). V zvezi s tem bo v prihodnje na večjem številu dogodkov veljalo preveriti vplive sezonske spremenljivosti vodoodbojnosti (Buczko et al. 2006) in daljših suhih obdobj (Hewelke et al. 2018) na časovno spremenljivost PVV v tleh. Nezanemarljive so tudi vlažnostne razmere pred dogodkom. Za prve tri analizirane dogodke, ki so se zgodili v jesensko-zimskih mesecih, je bila značilnejša večja predhodna namočenost tal, zaradi česar je prišlo do konice PVV kmalu po intenzivnejšem dežju. Preostali trije



dogodki iz pomladansko-poletnega obdobja so se zaradi predhodnih suhih razmer začeli ob nižjih vrednostih PVV, opazili pa smo tudi, da do odziva v spremembi PVV ne pride hipoma, pri boru pa je bil še dodatno zakasnen ali pa ga sploh ni bilo. Sezonske vzorce v časovni spremenljivosti PVV med padavinskimi dogodki so opazili tudi Dai et al. (2022), ki so zaznali izrazite spremembe v PVV med nevihtami in padavinskimi dogodki z večjimi intenzitetami.

Podrobna preliminarna analiza šestih dogodkov tako odpira številna vprašanja, ki so pomembna za ustrezno načrtovanje dolgoročnega monitoringa. Na ta način lahko zagotovimo upoštevanje in spremljanje morebitnih vplivnih spremenljivk na odziv prostorninske vsebnosti tal, ki bi jih brez takšne analize lahko spregledali, ob upoštevanju samo karakterističnih (statističnih) vrednosti spremenljivk med dogodkom pa bi posamezni vplivi lahko bili zabrisani.

## Zaključki

V prispevku so predstavljena opažanja glede časovne spremenljivosti prostorninske vsebnosti vode v tleh med padavinskimi dogodki s poudarkom na vplivu dreves, ki del padavin prestrežejo. Preliminarni rezultati temeljijo na osemmesečnih kontinuiranih meritvah in kažejo na sezonske razlike v odzivih PVV, s hitrejšim odzivom v jesensko-zimskih mesecih, za katere je bila značilna tudi večja predhodna namočenost tal. Primerjava med tremi lokacijami kaže na podoben odziv z vidika velikosti spremembe in hitrosti odziva na odprtem in pod brezo, medtem ko je za lokacijo pod borom značilnejši nekoliko zakasnen odziv v spremembi PVV. O razlogih za podobnosti oziroma razlike bomo z gotovostjo lahko sklepali, ko bo na voljo daljši časovni niz merjenih podatkov, ki bo zajel najrazličnejše lastnosti padavinskih dogodkov in predhodnih razmer. Ne glede na to pa lahko že sedaj trdimo, da je podrobna, na dogodkih temelječa analiza, ki obravnava celoten časovni razvoj dogodka, pomembna z vidika načrtovanja dolgoročnih kontinuiranih meritev. Na ta način se za vsak dogodek posebej identificirajo pomembni vplivni dejavniki, ki bi lahko bili samo z analizo posameznih karakterističnih vrednosti izbranih spremenljivk spregledani.

## Zahvala

Raziskava, predstavljena v prispevku, je bila finančno podprta s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna v okviru raziskovalnega programa P2-0180, raziskovalnih projektov J6-4629 in N2-0313. Dodatno je bila raziskava sofinancirana s strani Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport, Medvladnega hidrološkega programa UNESCO IHP.

## Literatura

- ARSO. (2022). Hidrološka suša površinskih voda v letu 2022 in primerjava s sušnimi leti 1993, 2003 in 2012. Ljubljana, 18 str.
- Bezak, N., Zabret, K., Šraj, M. (2018). Application of Copula Functions for Rainfall Interception Modelling. *Water* 10, no. 8: 995. <https://doi.org/10.3390/w10080995>
- Bi, Y., Zou, H., Zhu, C. (2014). Dynamic monitoring of soil bulk density and infiltration rate during coal mining in sandy land with different vegetation. *Int. J. Coal Sci. Technol.* 1, 198–206. <https://doi.org/10.1007/s40789-014-0025-2>
- Buczko, U., Bens, O., Hüttl, R.F. (2006). Water infiltration and hydrophobicity in forest soils of a pine-beech transformation chronosequence. *J. Hydrol.* 331, 383–395. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.05.023>

- Cui, Z., Huang, Z., Liu, Y., López-Vicente, M., Wu, G.L. (2022). Natural compensation mechanism of soil water infiltration through decayed roots in semi-arid vegetation species. *Sci. Total Environ.* 819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151985>
- Dai, L., Fu, R., Guo, X., Du, Y., Zhang, F., Cao, G. (2022). Soil Moisture Variations in Response to Precipitation Across Different Vegetation Types on the Northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Front. Plant Sci.* 13, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.854152>
- Dos Santos, K.F., Barbosa, F.T., Bertol, I., De Souza Werner, R., Wolschick, N.H., Mota, J.M. (2018). Study of soil physical properties and water infiltration rates in different types of land use. *Semin. Agrar.* 39, 87–98. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n1p87>
- EEA. (2015). Water-retention potential of Europe's forests: A European overview to support natural water-retention measures. Technical report, Report No. 13/2015 European Environment Agency. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 46 str.
- FAO. (1985). Introduction to irrigation. Training Manual No. 1. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Dostopno na: <https://www.fao.org/3/r4082e/r4082e00.htm> (5. januar 2023)
- Hewelke, E., Gozdowski, D., Korc, M., Małuszyńska, I., Górka, E.B., Sas, W., Mielnik, L. (2022). Influence of soil moisture on hydrophobicity and water sorptivity of sandy soil no longer under agricultural use. *Catena* 208, 105780. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105780>
- Hewelke, E., Oktaba, L., Gozdowski, D., Kondras, M., Olejniczak, I., Górka, E.B. (2018). Intensity and persistence of soil water repellency in pine forest soil in a temperate continental climate under drought conditions. *Water (Switzerland)* 10, 1121. <https://doi.org/10.3390/W10091121>
- Iovino, M., Pekárová, P., Hallett, P.D., Pekár, J., Lichner, L., Mataix-Solera, J., Alagna, V., Walsh, R., Raffan, A., Schacht, K., Rodný, M. (2018). Extent and persistence of soil water repellency induced by pines in different geographic regions. *J. Hydrol. Hydromechanics* 66, 360–368. <https://doi.org/10.2478/johh-2018-0024>
- Likens, G.E. (2021). The watershed-ecosystem approach. *Hydrol. Process.* 35, 3–5. <https://doi.org/10.1002/hyp.13977>
- Rodrigues, A.R., Botequim, B., Tavares, C., Pécurto, P., Borges, J.G. (2020). Addressing soil protection concerns in forest ecosystem management under climate change. *For. Ecosyst.* 7. <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00247-y>
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C.A.J., Smith, A., Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 375. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- Šraj, M., Lah, A., Brilly, M. (2008). Meritve in analiza prestreženih padavin navadne breze (*Betula pendula* Roth.) in rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) v urbanem okolju. *Gozdarski Vestn.* 66, 406–433.
- Zabret, K., Rakovec, J., Šraj, M. (2018). Influence of meteorological variables on rainfall partitioning for deciduous and coniferous tree species in urban area. *J. Hydrol.* 558, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.025>
- Zabret, K., Šraj, M. (2021). How Characteristics of a Rainfall event and meteorological conditions determine the development of stemflow: a case study of a birch tree. *Front. For. Glob. Change* 4:663100. Doi: 10.3389/ffgc.2021.663100
- Zabret, K., Šraj, M. (2015). Can urban trees reduce the impact of climate change on storm runoff? *Urbani Izziv* 26, 165–178. <https://doi.org/10.5379/urbani-izziv-en-2015-26-supplement-011>
- Zore, A., Bezak, N., Šraj, M. (2022). The influence of rainfall interception on the erosive power of raindrops under the birch tree. *J. Hydrol.* 613, 128478. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128478>