



CRP V4-2216

MONITORING

VODNE BILANCE TAL

PRI RAZLIČNIH NAČINIH OBDELAVE TAL



Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta



Monitoring vodne bilance tal pri različnih načinih obdelave tal

POROČILO O CILJNORAZISKOVALNEM PROJEKTU CRP V4-2216:

Ohranjanje in izboljšanje proizvodnega potenciala tal za trajnostno pridelavo oljk
GO-TO S-OIL

Naročnika:

Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
Dunajska 22
1000 Ljubljana

Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije
Bleiweisova cesta 30
1000 Ljubljana



Koper, 2026

MONITORING VODNE BILANCE TAL PRI RAZLIČNIH NAČINIH OBDELAVE TAL

Poročilo o ciljnoraziskovalnem projektu CRP V4-2216

Avtorji besedila, vsebin in rezultatov: Urša Pečan¹, Jakob Fantinič², Gašper Kozlovič², Katja Fičur², Rok Babič², Saša Volk², Miha Ocvirk³, Iztok Jože Košir³, Rok Turniški¹, Matic Noč³, Vesna Zupanc³, Jure Ferlin¹, Luka Žvokelj¹, Matjaž Pirnat¹, Maja Podgornik²

1 Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Jamnikarjeva ulica 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

2 Inštitut za oljkarstvo, Znanstveno-raziskovalno središče Koper, Garibaldijeva ulica 1, 6000 Koper, Slovenija

3 Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, Cesta Žalskega tabora 2, 3310 Žalec, Slovenija

Naziv projekta: CRP V4-2216 Ohranjanje in izboljšanje proizvodnega potenciala tal za trajnostno pridelavo oljk (GO-TO S-OIL)

Delovni sklop 1: Preučitev vpliva različnih načinov obdelave tal v oljčnih nasadih (negovana ozelenjena ledina / obdelana ledina) na fizikalne lastnosti tal in prehranjenost rastlin

Vodja projekta: Maja Podgornik

Glavni urednik založbe: Tilen Glavina

Tehnični urednici: Maja Podgornik, Alenka Obid

Oblikovanje naslovnice: Gal Vončina

Založnik: Znanstveno-raziskovalno središče Koper, Annales ZRS

Za založnika: Rado Pišot

Spletna izdaja, dostopna na: <https://doi.org/10.35469/978-961-7276-07-7>

pod licenco CC-BY-NC-ND



Koper, 2026

Za vsebino dokumenta je odgovorno Znanstveno-raziskovalno središče Koper in v nobenem pogledu ne izraža stališče financerja.

Poročilo vsebuje podatke, ki so nastali v času izvajanja raziskovalnega projekta CRP V4-2216 Ohranjanje in izboljšanje proizvodnega potenciala tal za trajnostno pridelavo oljk (GO-TO S-OIL) in ne gre za zakonsko ali podzakonsko urejanje področja

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

[COBISS.SI-ID 272403715](https://cobiss.si/id/272403715)

ISBN 978-961-7276-07-7 (PDF)

Povzetek (SLO)

V okviru projekta Go-ToS-Oil smo proučevali vpliv različnih načinov obdelave tal (negovane ozelenjene ledine in obdelane ledine) na fizikalne lastnosti tal ter dinamiko vode v treh oljčnikih (Bošamarin, Marezige, Truške) v obdobju 2023–2025. Dvakrat letno (pozimi in poleti) smo vzorčili tla za določitev gostote tal, vsebnosti vode pri pF 2,0 in pF 4,2 ter hidravlične prevodnosti, hkrati pa so merilniki kontinuirano spremljali vlažnost tal na globinah 25 in 40 cm. Izvajali smo tudi analize vsebnosti hranil in biofenolov v listih.

Rezultati so pokazali, da se fizikalne lastnosti tal spreminjajo skozi čas in so odvisne od obdelave ter globine tal. Ugotovili smo, da so razlike v vsebnosti vode glede na obdelavo tal najbolj izrazite poleti. Na lokaciji Bošamarin, kjer so bila tla globoko obdelana, je bila povprečna vsebnost vode višja na obdelanih tleh, medtem ko je bila na lokaciji Marezige največja vsebnost vode zabeležena na neobdelanih tleh, kar je verjetno posledica boljše strukture tal in manj izhlapevanja zaradi vegetacijske odeje. Na lokaciji Truške smo zaradi pomanjkanja signala na obdelanem delu ves čas imeli težave s podatki, zato interpretacija ni bila mogoča.

Na podlagi foliarnih analiz med oljkami na obdelanih in neobdelanih tleh nismo opazili statistično značilnih razlik v vsebnosti biofenolov in mineralov, predvsem zaradi heterogenosti lokacij in majhnega števila vzorčenj. Kljub temu smo zaznali višje vsebnosti skupnih biofenolov pri obdelanih oljkah v Marezigah ter razlike v posameznih mineralih (bor v Bošamarinu, dušik in kalij v Marezigah). Za potrditev trendov in ugotavljanje dejanskega vpliva obdelave na oljke je treba raziskavo nadaljevati in povečati število vzorčenj na vsaki lokaciji, s čimer bomo zagotovili dovolj obsežno bazo podatkov za izvedbo robustnih in zanesljivih statističnih analiz ter zaključkov.

Povzetek (ANG)

Within the Go-ToS-Oil project, we investigated the effects of different soil management practices (managed grass-covered no-tillage soil and tilled soil) on soil physical properties and water dynamics in three olive orchards (Bošamarin, Marezige, Truške) during the 2023–2025 period. Twice a year (in winter and summer), we sampled soil to determine bulk density, water content at pF 2.0 and pF 4.2, and saturated hydraulic conductivity, while sensors continuously monitored soil moisture at depths of 25 and 40 cm. We also analysed nutrient and phenol content in olive leaves.

The results showed that soil physical properties changed over time and were influenced by soil management and sampling depth. Differences in soil water content between treatments were most pronounced in summer. At the Bošamarin site, where deep tillage was applied, average soil water content was higher in the tilled plots. In contrast, at the Marezige site, the highest water content occurred in the non-tilled plots, likely due to better soil structure and reduced evaporation from vegetation cover. At the Truške site, data interpretation was not possible due to persistent signal issues in the tilled part of the orchard.

Based on foliar analyses, we did not observe statistically significant differences in phenol or mineral content between olive trees grown on tilled and non-tilled soils, primarily due to site heterogeneity and the limited number of samples. Nevertheless, higher levels of total phenols were detected in olives from the tilled plots in Marezige, as well as differences in certain minerals (boron in Bošamarin, nitrogen and potassium in Marezige). To confirm these trends and fully assess the impact of soil management on olive trees, further research is needed with an increased number of sampling events at each site, ensuring a sufficiently large dataset for robust and reliable statistical analysis and conclusions.

1. Uvod

Obdelovalne prakse v oljčnikih, kot so posegi v talni profil z obdelavo površine oljčnika, uporaba herbicidov in odsotnost dodajanja organske snovi v mediteranskem podnebjju, so pogosto neprimerne ter vodijo do izčrpanja organskega ogljika, erozije in degradacije vodnih virov (Kavvadias in Koubouris, 2019). Intenzivna obdelava tal po eni strani izboljša zračenje tal in posledično poveča aerobno mikrobno aktivnost, kar je na območjih s težkimi tlemi dobrodošlo. Po drugi strani pa povečana aerobna mikrobna aktivnost pospešuje razgradnjo organske snovi oziroma mineralizacijo (Lal in sod., 2007). V nenamakah mediteranskih razmerah v Španiji, kjer se oljčniki nahajajo na strmih pobočjih, po močnih padavinah prihaja do erozije tal in posledične izgube ter premeščanja na talne delce vezanega organskega ogljika v vodna telesa. Prakse trajnostnega kmetijstva z minimalno obdelavo in pokritostjo tal so učinkovite za zmanjšanje erozije in prenosa organskega ogljika (Márquez-García in sod., 2024). Med državami Mediterana so sicer občutne razlike v upravljanju oljčnikov.

V Sloveniji so zaradi podnebnih sprememb poletne suše vedno pogostejše, padavinski dogodki pa intenzivnejši. Zato lahko različni sistemi obdelave tal v slovenskih oljčnikih pomembno prispevajo k zmanjšanju erozije tal in boljši infiltraciji vode. Tla Slovenske Istre na matični podlagi iz laporja imajo veliko vsebnost gline, kar pomeni, da so tla težke teksture. Na jugozahodnem delu Slovenske Istre so se tla razvila na karbonatnih peščenjakih z apnenčastim vezivom. Takšna tla imajo večjo vsebnost peščenih in meljastih delcev ter so lažje teksture (Podgornik in sod., 2022). Zaradi strmega reliefa je večina slovenskih oljčnikov terasiranih. Glavna funkcija teras je povečanje globine tal za gojene rastline, zmanjšanje naklona in s tem zmanjšanje površinskega odtoka vode ter ublažitev erozije tal. S terasiranjem se zaradi ugodnejše topografije poveča zadrževalni čas vode na ravni površini. Zaradi daljšega zadrževanja vode na površini se poveča infiltracija vode na mestu, kjer jo gojene rastline potrebujejo (Zupanc in sod., 2018).

Večina slovenskih oljčnikov je stalno zatravljenih in se jih ne obdeluje (negovana ozelenjena ledina). Pri negovani ledini so tla ozelenjena s travno ali travno-deteljno mešanico, ki jo mulčimo ali kosimo in puščamo v oljčniku. Naravna zatravitev ima v primerjavi s setvijo travnih ali deteljno-travnih mešanic prednost, saj so rastline že prilagojene na lokalne razmere. Pri izbiri mešanice za ozelenitev površine moramo biti pozorni, da imajo rastline, ki jih posejemo v oljčniku, plitek koreninski sistem, da ne konkurirajo oljki za vodo in hranila. Zatravitev celotne površine oljčnika je priporočljiva šele, ko oljke dosežejo polno velikost. V mladem oljčniku je pomembno, da je pas pod oljkami neobdelan, kar lahko dosežemo z obdelavo, zastirko ali herbicidi (Vrhovnik in sod., 2012, cit. po Vrhovnik et al., 2019).

Znanstvena literatura podpira takšen pristop obdelave tal. Palese in sod. (2014) so v nenamakanem oljčniku na jugu Italije proučevali učinek različnih sistemov obdelave tal na strukturo tal in sposobnost shranjevanja vode v talnem profilu. Trajnosten način obdelave je vključeval odsotnost obdelave tal, spontano sukcesivno zatravitev ter letno mulčenje in vdelavo organskih ostankov po rezi. Pri konvencionalnem sistemu je bila prisotna obdelava tal brez mulčenja in vdelave ostankov po rezi oljk v tla. Trajnosten način obdelave tal je povečal sposobnost tal za zadrževanje jesensko-zimskih padavin v tleh. Pokrovnost tal z vegetacijo je izboljšala strukturo tal, ta pa je omogočila boljši sprejem padavin v tla.

Simoni in sod. (2021) so proučevali vpliv različnega upravljanja tal na talne lastnosti in skupnosti talnih členonožcev kot indikatorjev kakovosti tal. V namakanem oljčniku v polni rodnosti v Pisi (Italija) je bil en del poskusa spontano zatravljen, drugi del pa trajnostno obdelan s plitvo obdelavo tal do globine 10 cm. Oljke na zatravljenem delu so imele manjši kumulativni pridelek kot oljke na trajnostno obdelanem delu. Vzrok za to bi lahko bila prehitra zatravitev, do katere je prišlo 1,5 leta po sajenju dreves. Ko so bile krošnje oljk polno razvite, razlik v pridelku med zatravljeno in trajnostno obdelano površino ni bilo več. Spontano zatravljen del je bil v primerjavi s trajnostno obdelavo učinkovitejši pri izboljšanju talnih lastnosti, kot so višja vsebnost organskega ogljika, izboljšana struktura tal, večja sposobnost tal za zadrževanje vode in ugodnejša porazdelitev talnih por za primerno zračnost in tok vode. Izboljša se tudi biološka aktivnost tal, saj imajo talni členonožci v spontano zatravljenih oljčnikih zaradi pozitivnega vpliva zatravitve na strukturo tal in zračno-vodni režim boljše pogoje za življenje.

Zaradi težke teksture tal in pogoste uporabe težke mehanizacije v oljčnih nasadih v bolj mokrih razmerah lahko v starejših nasadih pride do zbivanja tal in pomanjkanja zraka v tleh. Bruand in Cousin (1995) sta strukturne agregate tal teksture glinasta ilovica vakuumsko nasičila in izpostavljala različnim tlakom v laboratoriju. Ugotovila sta, da v skoraj nasičenih tleh (-1 kPa) izpostavitve tal večjemu tlaku vodi do sesedanja strukturnih por. Izpostavitve tal večjemu tlaku v suhih tleh (-1000 kPa) ne povzroči sprememb v poroznosti tal.

Zaradi zbivanja tal nekateri slovenski oljkarji prisegajo na sistem obdelane ledine, kjer vrhnji sloj tal spomladi zrahljajo do globine 15 cm. Zaradi visoke povprečne letne količine padavin v slovenskih oljčnikih (Koper 988 mm; ARSO, 2025) v primerjavi s količino padavin iz študije v Španiji – 420 mm (López-Vicente in Álvarez, 2018) se slovenski oljčniki kljub obdelavi hitro spontano zatravijo. Če po obdelavi tal, ko so tla gola, pride do intenzivnih padavin, lahko pride do erozijskih procesov, vendar tla niso tako ogrožena zaradi erozije kot v bolj sušnih mediteranskih območjih (Španija, Grčija, jug Italije).

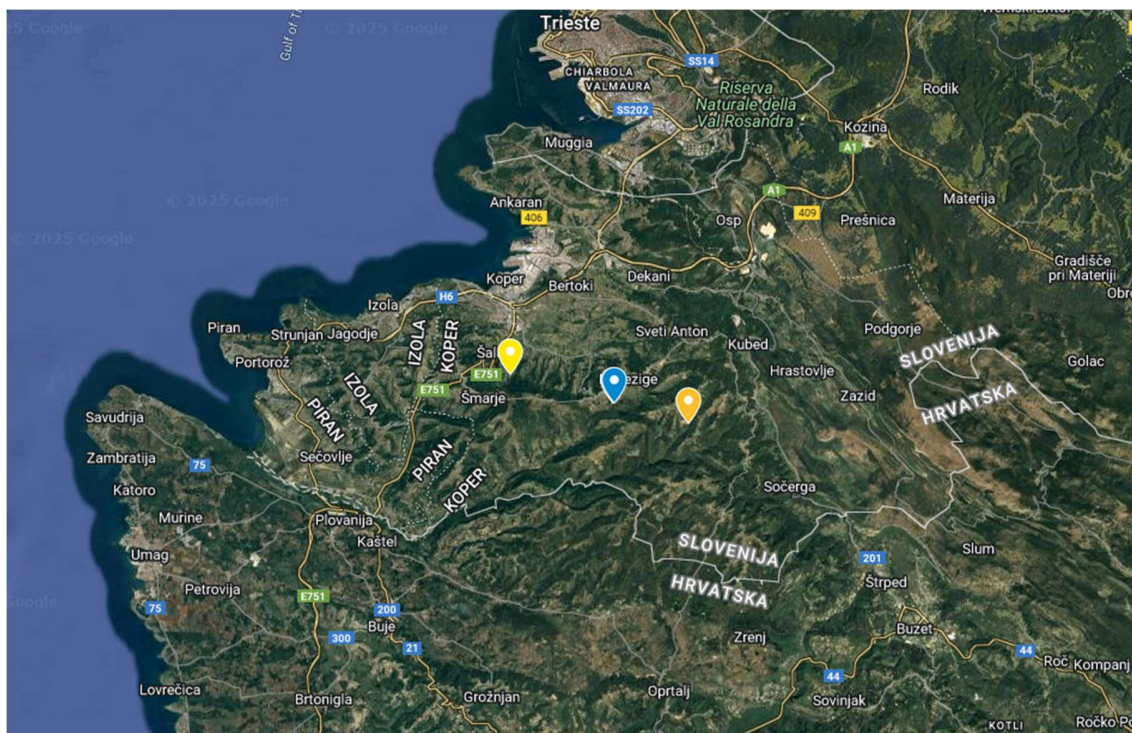
2. Materiali in metode

2.1 Lokacije in obdelava tal

V poskus smo vključili tri oljčnike, ki se nahajajo v Bošamarinu, Marezigah in Truškah (preglednica 1, slika 1). V vsakem oljčniku je bil en del neobdelan oziroma v sistemu negovane neobdelane ledine, drugi del pa je bil enkrat letno obdelan do globine 10 ali 20 cm. Oljčnika v Marezigah (slika 3) in Truškah (slika 4) sta bila obdelana do globine 10 cm, oljčnik v Bošamarinu (slika 2) pa do globine 20 cm. Obdelan del tal smo nameravali vsako leto obdelati spomladi, vendar smo morali v letih 2024 in 2025 zaradi neugodnih vremenskih razmer obdelavo zamakniti (preglednica 1).

Preglednica 1: Podatki o lokacijah oljčnikov ter obdelavi tal na obdelanem delu

Lokacija	Zemljepisna širina	Zemljepisna dolžina	Globina obdelave	Uporabljena mehanizacija	Obdelava 2023	Obdelava 2024	Obdelava 2025
Bošamarin	45°30'34.6" N	13°43'55.6" E	20 cm	plug		10. julij	5. junij
Marezige	45°29'54.0" N	13°47'29.9" E	10 cm	diskastabrana	13. - 16. marec	28. maj	25. maj
Truške	45°29'23.7" N	13°50'04.3" E	10 cm	plug motika /		ročno	ni bilo obdelano



Slika 1: Zemljevid lokacij oljčnikov, Bošamarin – rumena, Marezige – modra in Truške – oranžna (Google Maps, 2025)



Slika 2: Truške obdelano (levo) in neobdelano (desno)



Slika 3: Marezige obdelano (levo) in neobdelano (desno)



Slika 4: Bošamarin obdelano (levo) in neobdelano (desno)

2.2 Meritve fizikalnih lastnosti tal

Leta 2023 smo neporušene vzorce tal (slika 5) vzorčili dvakrat: marca, neposredno po obdelavi tal (zima 2023), in poleti (preglednica 2). Leta 2024 in 2025 smo neporušene vzorce prav tako odvzeli dvakrat, pred (zima) in po obdelavi (poletje) (preglednica 2). Vzorčenje je potekalo v medvrstnem prostoru; ob vsakem vzorčenju smo se premaknili za eno drevo stran od prejšnjega mesta, da nismo vzorčili na istem mestu.



Slika 5: Odvzem neporušenih vzorcev tal.

V laboratoriju smo na neporušenih vzorcih tal določili sposobnost tal za zadrževanje vode, gostoto tal (ρ_b) in hidravlično prevodnost nasičenih tal (K_s). Leta 2023 je bila merilna shema drugačna kot v letih 2024 in 2025 (preglednica 2, preglednica 3). Leta 2023 smo odvzeli neporušene vzorce tal ($V = 250 \text{ cm}^3$) in vodozadrževalne lastnosti analizirali z metodo evaporacije (HYPROP, METER Group, Washington, ZDA). HYPROP omogoča meritve vsebnosti vode pri različnih matričnih potencialih od nasičenja (0 kPa) do približno -100 kPa , kar ustreza pF vrednosti 3. Ob vsakem terminu smo z metodo evaporacije na vsakem obravnavanju izvedli dve ponovitvi. Neporušene vzorce tal za ostale analize smo vzorčili s cilindri volumna 100 cm^3 . V letih 2024 in 2025 smo vodozadrževalne lastnosti tal določili z metodo Sandbox (Eijkelkamp, Giesbeek, Nizozemska). S tehtanjem smo določili vsebnost vode (θ) po enotedenski izpostavitvi vzorcev različnim podtlakom, ki ustrezajo pF vrednostim 0, 0,4, 1,0, 1,5, 1,8 in 2,0. Pri metodi Sandbox smo za vsako obravnavanje izvedli šest ponovitev. Na istih vzorcih smo določili hidravlično prevodnost tal z metodo stalnega ali spremenljivega tlaka (Klute in Dirksen, 1986). Za metodo stalnega tlaka smo uporabili laboratorijski permeameter (Eijkelkamp, Giesbeek, Nizozemska).

Vsebnost vode pri pF vrednosti 4,2 oziroma pri točki venenja smo analizirali pri matričnem potencialu –1500 kPa. Meritve smo izvedli na porušenih vzorcih z uporabo tlačne posode (ISO 11274, 1998). Masne odstotke vsebnosti vode v tleh smo pomnožili s povprečno gostoto tal, da smo izračunali volumnske vsebnosti vode v tleh. Porušene vzorce smo na vseh lokacijah in globinah vzorčili pozimi 2025.

Preglednica 2: Podatki o vzorčenju tal in laboratorijskih analizah v letu 2023

Analiza	Metoda	Globina (cm)	Oznaka	Ponovitve	Zima 2023	Poletje 2023
Vodozadrževalne lastnosti tal	HYPROP	5 - 10	5	2	16. 3. 2023	28. 6. 2023
		20 - 25	25	2		
		40 - 45	40	2		
pb, Ks	tehtanje suhih tal, permeameter	5 - 10	5	3		
		20 - 25	25	3		
		40 - 45	40	3		

Preglednica 3: Podatki o vzorčenju tal in laboratorijskih analizah v letih 2024 in 2025

Analiza	Metoda	Globina (cm)	Oznaka	Pon.	Zima 2024	Poletje 2024	Zima 2025	Poletje 2025
Vodozadrževalne lastnosti tal	Sandbox	5 - 10	5	6	20. 12. 2023	Bošamarin: 8. 8. 2024 Marezige: 28. 6. 2024 Truške: 19. 9. 2024	7. 3. 2025	24. 7. 2025
		15 - 20	15	6				
		40 - 45	40	6				
pb, Ks	tehtanje suhih tal, permeameter	5 - 10	5	6				
		15 - 20	15	6				
		40 - 45	40	6				

2.3 Meritve vode v tleh

V vsakem izmed treh oljčnikov smo marca in aprila 2023 namestili merilno opremo za spremljanje količine padavin in vsebnosti vode v tleh. Na vsaki od treh lokacij (Truške, Marezige in Bošamarin) smo na delu oljčnika z različno obdelavo tal (obdelana in neobdelana tla) med dve drevesi v vrsti namestili merilnike vsebnosti vode v tleh (SM150T, Delta-T Devices, Cambridge, VB). Natančnost merilnikov je $\pm 3\%$. Merilnike smo namestili na dve globini (25 cm in 40 cm), na vsaki globini smo imeli tri ponovitve. Vsebnost vode smo merili na pol ure, podatki so se samodejno pošiljali na spletni vmesnik.

2.4 Foliarne analize

V vsakem obravnavanem oljčniku smo v letih 2024 in 2025 opravili foliarne analize, in sicer eno vzorčenje pozimi in eno poleti v vsakem letu. Liste smo vzorčili s sredine enoletnih poganjkov na višini 1,50 m, enakomerno okoli drevesa. Iz vsakega dela oljčnika (obdelanega in neobdelanega) smo vzeli 250 listov za določanje vsebnosti hranil in 50 listov za določanje vsebnosti skupnih biofenolov ter oleuropeina. Vzorce listov smo po vzorčenju posušili na sobni temperaturi do konstantne mase in jih nato zmleli. Zmlet material smo uporabili za določitev naslednjih koncentracij hranil: skupni dušik (N) v skladu z ISO 11261:1995 (SIST ISO 11261); skupni fosforjev pentoksid (P_2O_5); skupni kalijev oksid (K_2O); skupni kalcij (Ca); skupni magnezij (Mg); baker (Cu) (mg/kg), cink (Zn) (mg/kg), mangan (Mn) (mg/kg), železo (Fe) (mg/kg) v skladu s Hodnik (1988); in bor (B) (mg/kg) v skladu s standardom NF X31-122 (1993). Za analize smo uporabljali vsebnost posameznega hranila, preračunano na suho snov.

V odvzetih listih so bile izvedene tudi meritve vsebnosti oleuropeina.

Določevanje oleuropeina in sorodnih fenolnih spojin (verbaskozid, oleurozid, ligstrozid, hidroksitirozol in tirozol ter njuni glukozidi, luteolin in apigenin ter njuni 7-O-glukozidi) v oljčnih listih poteka v treh delih. Prvi del zajema pripravo vzorcev, drugi del ekstrakcijo v metanol in redčitev ekstrakta, tretji del pa kromatografsko določitev oleuropeina in sorodnih fenolnih spojin (kalibracija, snemanje kromatogramov, asignacija in kvantifikacija) z visokozmogljivo tekočinsko kromatografijo z detektorjem z nizom diod (DAD) in masno-selektivnim kvadrupolnim detektorjem (QqQ).

Prvi del določanja formalno ni del metode, vendar je ključen za natančno določitev vsebnosti oleuropeina in sekoiridoidnih glukozidov, saj lahko v primeru nepravilnega sušenja pride do reakcije znotrajcelične β -glukozidaze. Ekstrakcija bo izvedena po modificiranem postopku, temelječem na Evropski farmakopeji..

2.5 Obdelava podatkov in statistična analiza

Razlike v povprečnih vrednostih gostote tal in vsebnosti vode pri pF 2,0 smo primerjali glede na obdelavo tal ter združeno obravnavo, sestavljeno iz ravni globine in termina vzorčenja. Analizo smo izvedli za vsako lokacijo posebej z uporabo linearnega modela s tremi proučevanimi dejavniki: obdelava tal (neobdelano, obdelano) ter obravnava, sestavljena iz različnih ravni termina in globine vzorčenja (zima 2023_5 cm, zima 2023_25 cm, zima 2023_40 cm, poletje 2023_5 cm, poletje 2023_25 cm, poletje 2023_40 cm, zima 2024_5 cm, zima 2024_15 cm, zima 2024_40 cm, poletje 2024_5 cm, poletje 2024_15 cm, poletje 2024_40 cm). Razlike med kombinacijami proučevanih dejavnikov smo ovrednotili z načrtovanimi primerjavami.

Razlike v povprečni vsebnosti vode pri pF 4,2 smo za vsako lokacijo analizirali z linearnim modelom z dvema proučevanimi dejavnikoma, obdelavo tal in globino vzorčenja. Razlike smo ovrednotili z načrtovanimi primerjavami.

Zaradi velike variabilnosti meritev hidravlične prevodnosti tal, ki je posledica naključne heterogenosti tal, kot sta prisotnost skeleta in korenin (slika 6), razlik v hidravlični prevodnosti nasičenih tal nismo statistično ovrednotili.



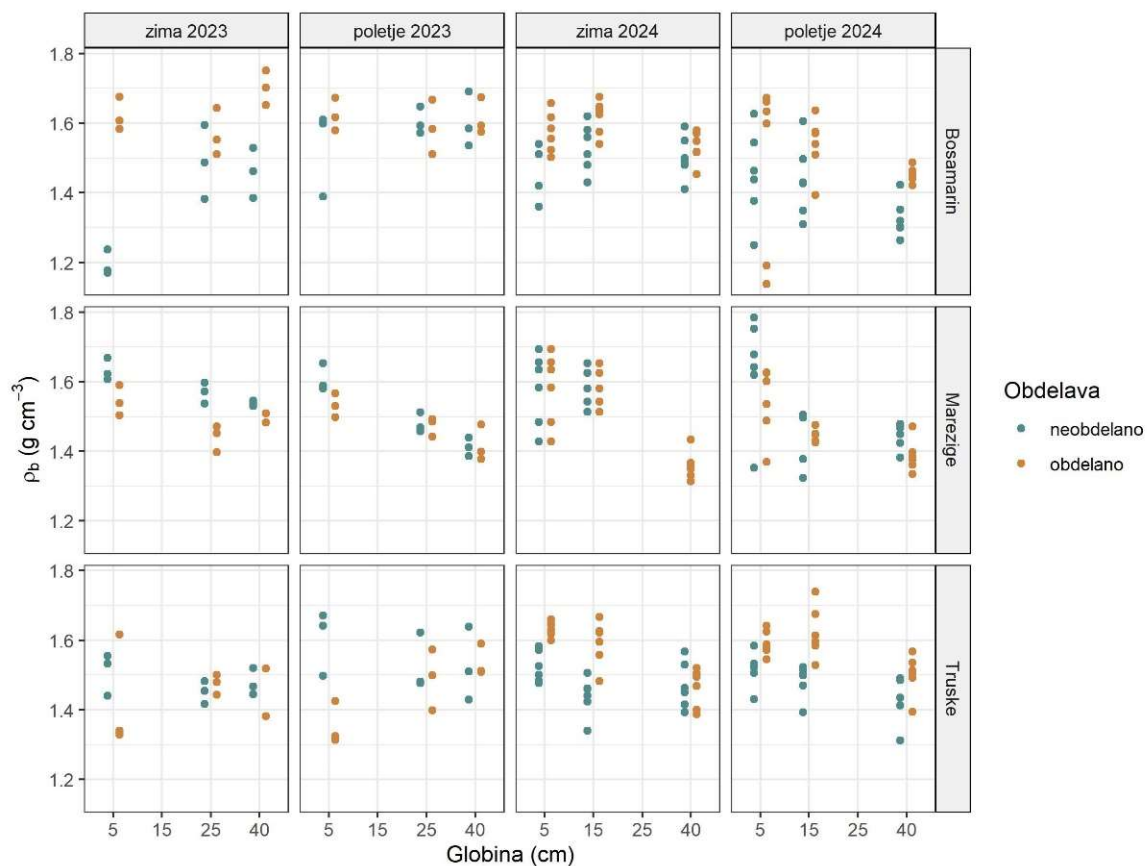
Slika 3: Heterogen vzorec tal iz oljčnika v Bošamarinu

Meritve vsebnosti vode v tleh so bile izvedene na pol ure. Najprej smo meritve grafično pregledali in odstranili nelogične vrednosti. Iz prečiščenih podatkov smo izračunali dnevna in nato mesečna povprečja. Razlike v povprečni mesečni vsebnosti vode v tleh smo za vsako lokacijo in globino ovrednotili glede na način obdelave tal. Analizo smo izvedli z linearnimi mešanimi modeli, pri čemer smo kot proučevane dejavnike upoštevali obdelavo tal (obdelano, neobdelano), globino meritev (20 cm, 40 cm) in mesec v letu (april 2023–september 2025). Lokacijo meritev za vsak merilnik in dan meritve smo v modelu upoštevali kot slučajna dejavnika.

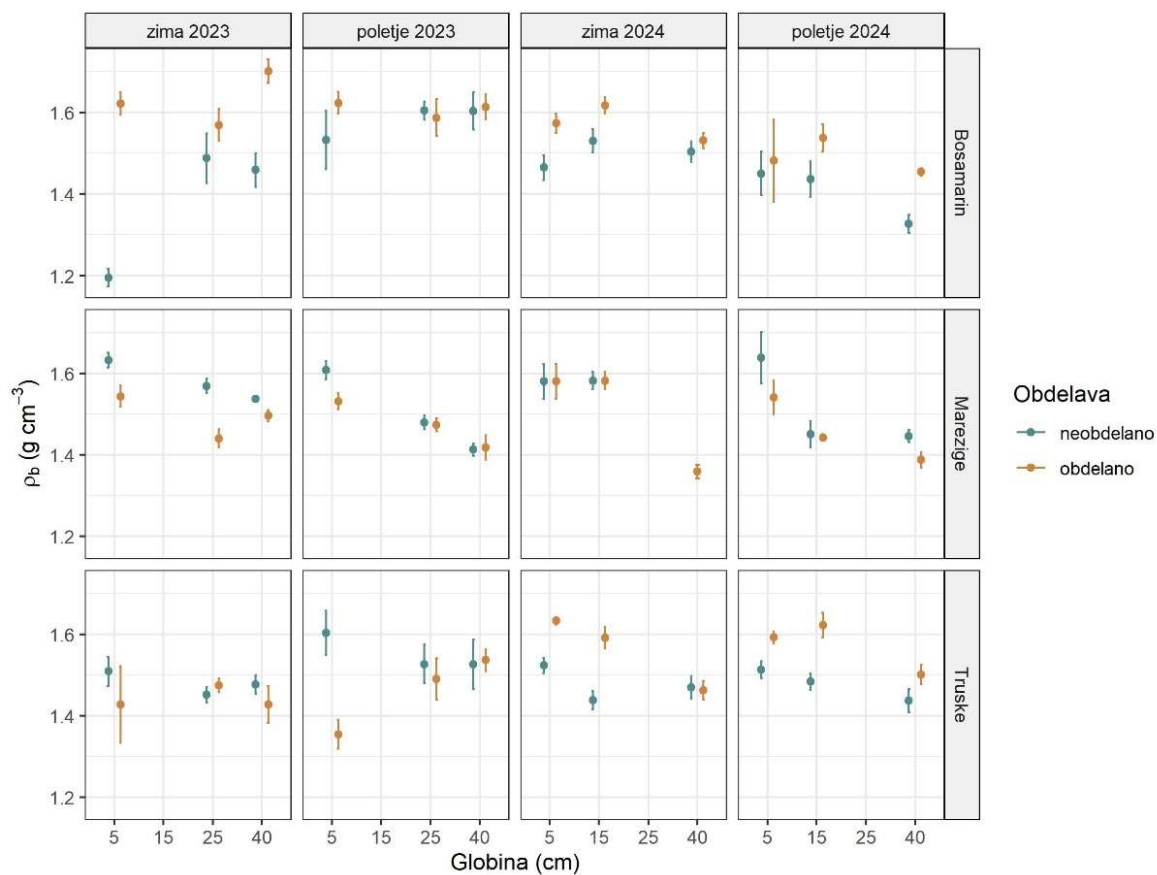
3. Rezultati in diskusija

3.1 Gostota tal

Meritve gostote tal smo najprej grafično prikazali glede na lokacijo, termin meritev, globino in obdelavo tal (slika 7). Povprečne vrednosti gostote tal s standardnimi napakami smo prikazali glede na lokacijo oljčnika, obdelavo tal, globino in termin vzorčenja (slika 8).



Slika 4: Meritve gostote tal (ρ_b), glede na lokacijo oljčnika, termin, globino meritev in način obdelave tal



Slika 5: Povprečje gostote tal \pm standardna napaka (desno), glede na lokacijo oljčnika, termin, globino meritev in način obdelave tal

Preglednica 4: p-vrednosti iz analize variance (ANOVA) za vpliv obdelave tal, termina in globine vzorčenja na gostoto tal v oljčnikih treh lokacij

Vir variabilnosti (<i>pb</i>)	Bošamarin	Marezige	Truske
Obdelava	< 0,0001	0,0001	0,0025
Obravnavanje (Termin_Globina)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Obdelava : Obravnavanje	0,0056	0,5231	< 0,0001

3.1.1 Bošamarin

Analiza variance je pokazala statistično pomembno interakcijo med obdelavo in obravnavanjem ($p = 0,0056$). Primerjave smo nadalje izvedli za kombinacije dejavnikov obdelava tal in obravnavanje, ki ju

sestavljata termin in globina vzorčenja. Pozimi 2023 je bila na globini 5 cm povprečna ρ_b za 0,43 g cm⁻³ višja na obdelanih tleh ($p < 0,0001$); pri 95 % zaupanju je bila višja v intervalu med 0,19 in 0,67 g cm⁻³. Pozimi 2023 je bila na globini 40 cm povprečna ρ_b prav tako višja na obdelanih tleh ($p = 0,0459$), in sicer za 0,24 g cm⁻³; pri 95 % zaupanju je razlika med 0,002 in 0,48 g cm⁻³. Ta podatek je z vsebinskega vidika precej nenavaden; morda smo na neobdelanem delu naleteli na del tal, ki je bil pred kratkim prekopan. Na neobdelanih tleh je bila na globini 5 cm povprečna ρ_b za 0,34 g cm⁻³ višja poleti 2023 v primerjavi z zimo 2023 ($p = 0,0007$); pri 95 % zaupanju je razlika v intervalu med 0,10 in 0,58 g cm⁻³. Tudi to je posledica nenavadno nizke ρ_b ob vzorčenju pozimi 2023. Na neobdelanih tleh je bila na globini 40 cm povprečna ρ_b za 0,18 g cm⁻³ višja pozimi 2024 v primerjavi s poletjem 2024 ($p = 0,0341$); pri 95 % zaupanju je razlika v intervalu med 0,007 in 0,35 g cm⁻³. Ostale vsebinsko smiselne primerjave so bile neznačilne.

3.1.2 Marezige

Analiza variance je pokazala statistično pomemben vpliv obravnavanja ($p < 0,0001$), zato smo primerjave nadalje izvedli za termin vzorčenja in globino meritev. Ne glede na obdelavo tal so bile statistično pomembne razlike v povprečni ρ_b med zimo 2024 in poletjem 2024 na globini 15 cm ($p = 0,0001$). Pozimi je bila povprečna ρ_b višja za 0,14 g cm⁻³; pri 95 % zaupanju v intervalu med 0,06 in 0,22 g cm⁻³.

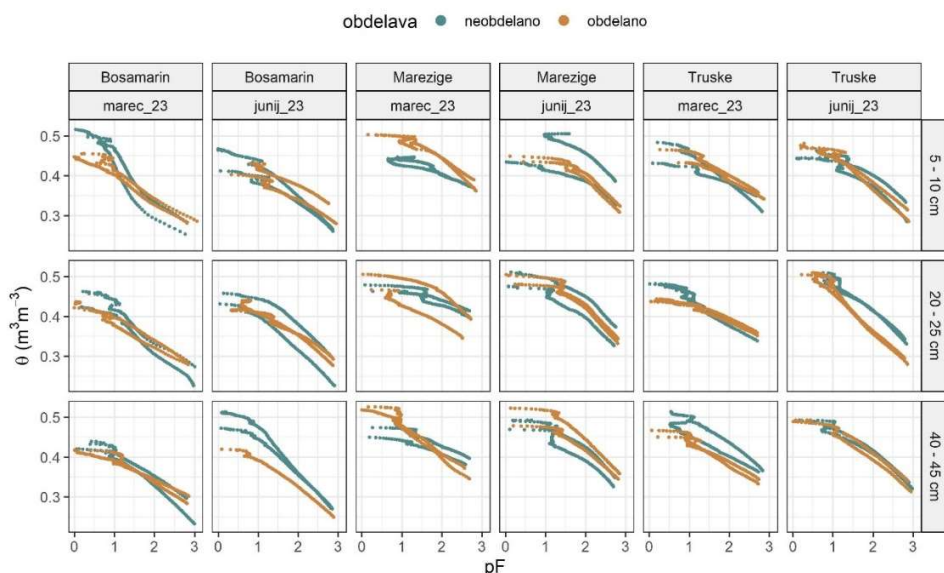
3.1.3 Truške

Analiza variance je pokazala statistično pomembno interakcijo med obdelavo in obravnavanjem ($p = 0,0056$). Primerjave smo nadalje izvedli za kombinacije dejavnikov obdelava tal in obravnavanje, ki ju sestavljata termin in globina vzorčenja. Poleti 2023 je bila na globini 5 cm povprečna ρ_b za 0,25 g cm⁻³ višja na neobdelanih tleh ($p = 0,0002$); pri 95 % zaupanju je razlika v intervalu med 0,08 in 0,41 g cm⁻³, kar je posledica obdelave tal, ki vsaj začasno zrahlja tla. Pozimi 2024 je bila na globini 5 cm povprečna ρ_b mejno višja na obdelanih tleh ($p = 0,0842$), in sicer za 0,11 g cm⁻³; pri 95 % zaupanju od -0,007 do 0,23 g cm⁻³, ter na globini 15 cm prav tako višja (0,15 g cm⁻³) na obdelanih tleh ($p = 0,0019$); pri 95 % zaupanju od 0,04 do 0,27 g cm⁻³. Tudi poleti 2024 je bila na globini 15 cm povprečna ρ_b za 0,14 g cm⁻³ višja na obdelanih tleh ($p = 0,0072$); pri 95 % zaupanju je razlika v intervalu med 0,02 in 0,26 g cm⁻³. Vzrok za višjo gostoto tal na obdelanih tleh od zime 2024 naprej bi lahko bilo poslabšanje strukture tal, zaradi česar se tla po obdelavi bolj sesedejo in imajo posledično višjo gostoto.

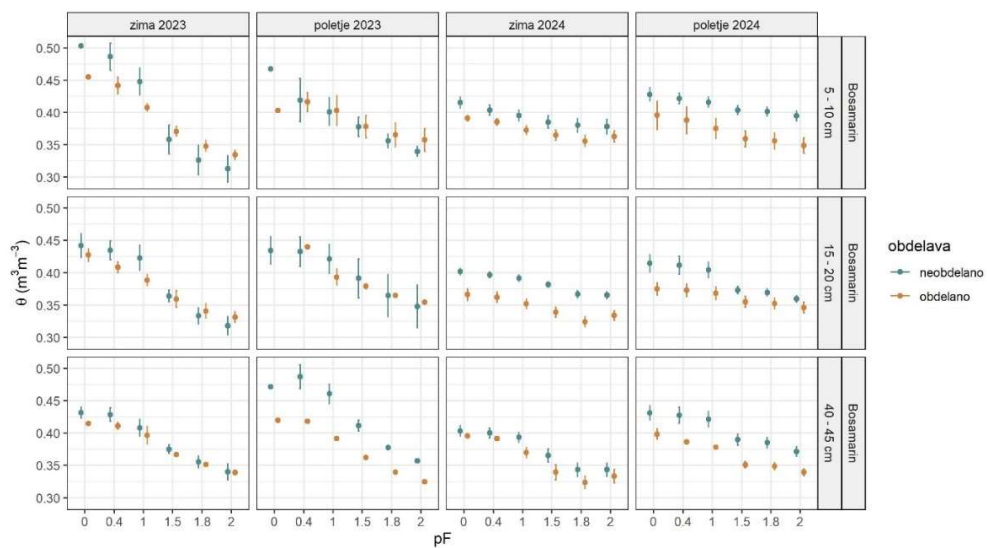
3.2 Vodnozadrževalne lastnosti

Krivulje vodozadrževalnih lastnosti tal prikazujejo razmerje med vsebnostjo vode (θ) v tleh in matričnim potencialom vode v tleh, izraženim kot pF vrednost ($pF = \log_{10}(|-hPa|)$). Prikazali smo krivulje vodozadrževalnih lastnosti tal, določene z metodo evaporacije z merilnim sistemom HYPROP (slika 9). Krivulje so prikazane glede na lokacijo oljčnika, obdelavo tal, globino in termin vzorčenja v letu 2023. Poleg obdelave se fizikalne lastnosti tal s časom spreminjajo tudi zaradi drugih dejavnikov, kot so cikli vlaženja in sušenja, zmrzal ter rast in propadanje koreninskih sistemov (Jensen in sod., 2020; Huang in sod., 2021).

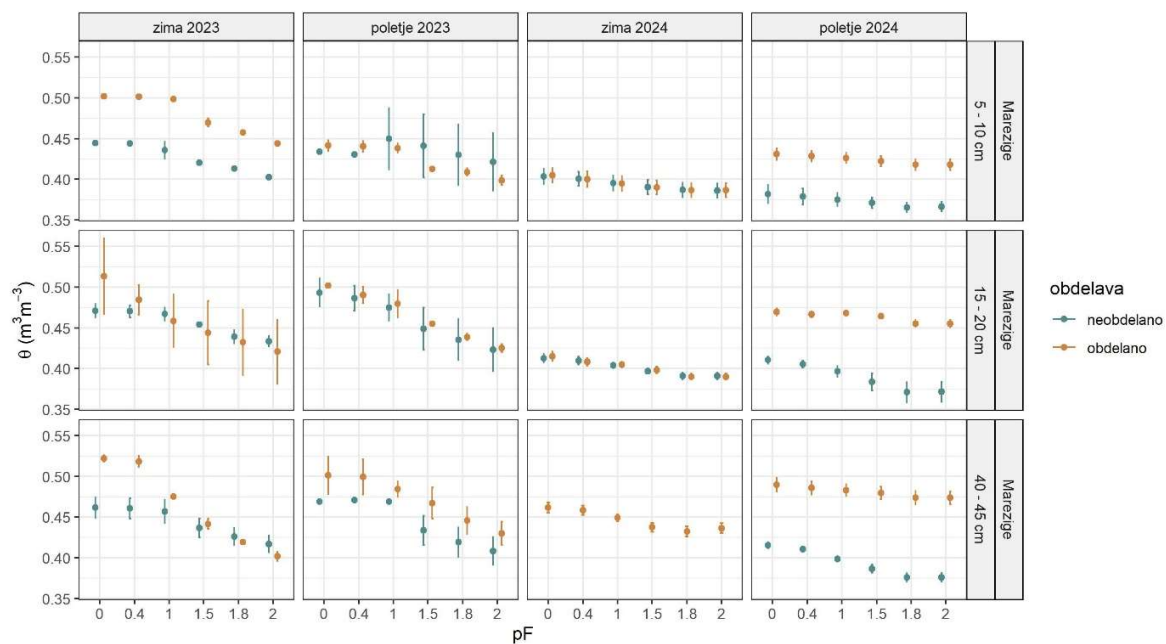
Leta 2024 smo namesto metode evaporacije vsebnost vode pri izbranih pF vrednostih začeli določati z metodo Sandbox, ki omogoča izvedbo več ponovitev hkrati ter določitev hidravlične prevodnosti nasičenih tal na istih vzorcih. Princip metode Sandbox se razlikuje od metode evaporacije, saj temelji na drenaži vode iz vzorcev, ki se dotikajo peska, izpostavljenega različnim podtlakom (do pF 2). Da smo lahko krivulje vodozadrževalnih lastnosti tal primerjali med različnimi termini in metodami, smo iz HYPROP krivulj izbrali pF vrednosti, ki ustrezajo pF vrednostim metode Sandbox (0, 0,4, 1, 1,5, 1,8 in 2). Vsebnosti vode za izbrane pF vrednosti smo tako lahko skupaj prikazali za vse štiri termine vzorčenja za vsako lokacijo posebej (slike 10–12). Iz slik je razvidno, da so krivulje na območju pF 0 do 2, določene z različnima metodama, nekoliko različne. Z merilnim sistemom HYPROP dosežejo višje vsebnosti vode ob nasičenju. V Bošamarinu se v letu 2024 kaže, da neobdelana tla na vseh globinah, z izjemo zime 2024 na 40 cm, pri izbrani pF vrednosti zadržijo več vode (slika 10). V Marezigah pozimi 2023 na 5 cm in poleti 2024 na vseh globinah obdelana tla zadržijo višjo vsebnost vode pri izbrani pF vrednosti (slika 11). Podobno kot v Bošamarinu se tudi v Truškah v letu 2024, z izjemo zime 2024 na globini 40 cm, kaže, da neobdelana tla pri izbrani pF vrednosti zadržijo več vode.



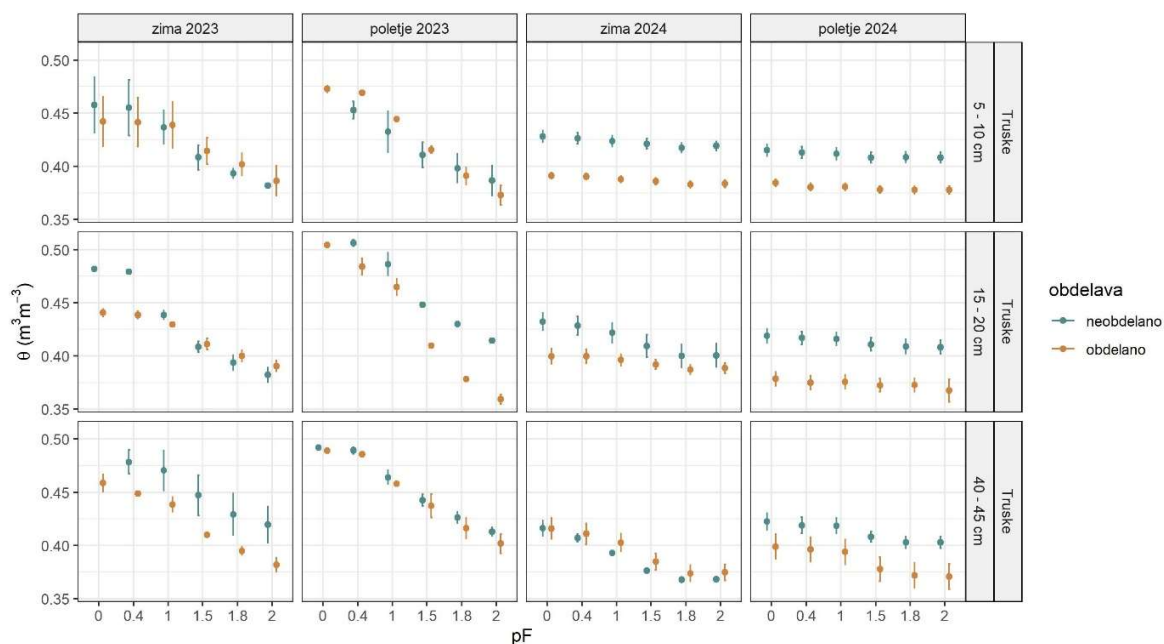
Slika 6: Krivulje vodozadrževalnih lastnosti tal, glede na lokacijo oljčnika, termin, globino vzorčenja in način obdelave tal določene z metodo evaporacije



Slika 7: Vsebnost vode pri izbranih pF vrednostih v oljčniku v Bošamarinu, glede na termin, globino vzorčenja in način obdelave tal



Slika 8: Vsebnost vode pri izbranih pF vrednostih v oljčniku v Marezigah, glede na termin, globino vzorčenja in način obdelave tal



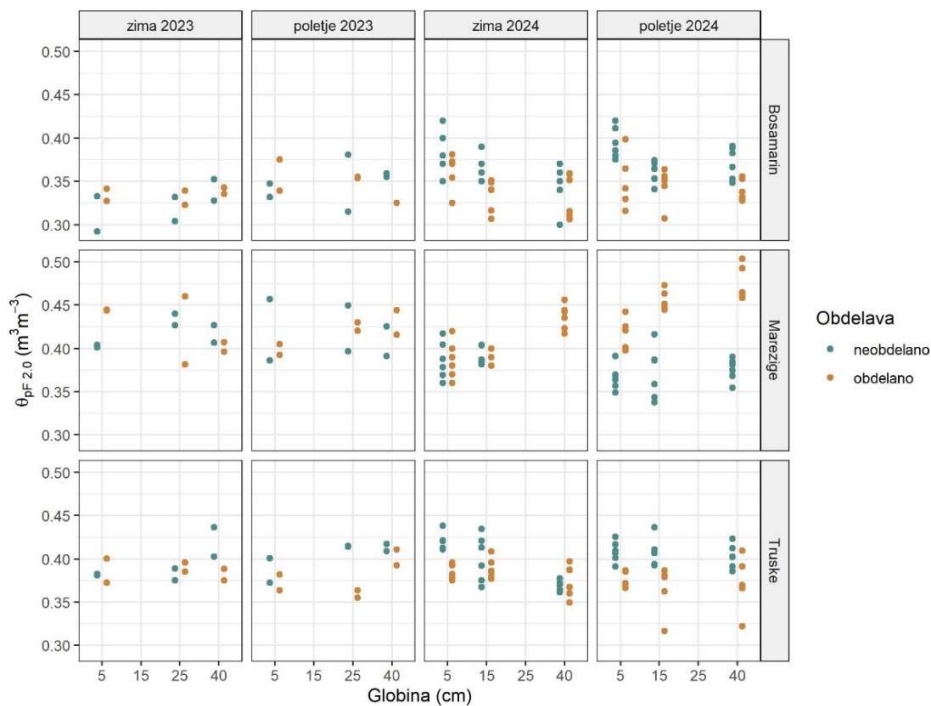
Slika 9: Vsebnost vode pri izbranih pF vrednostih v oljčniku v Truškah, glede na termin, globino vzorčenja in način obdelave tal

3.2.1 Vsebnost vode pri pF 2,0

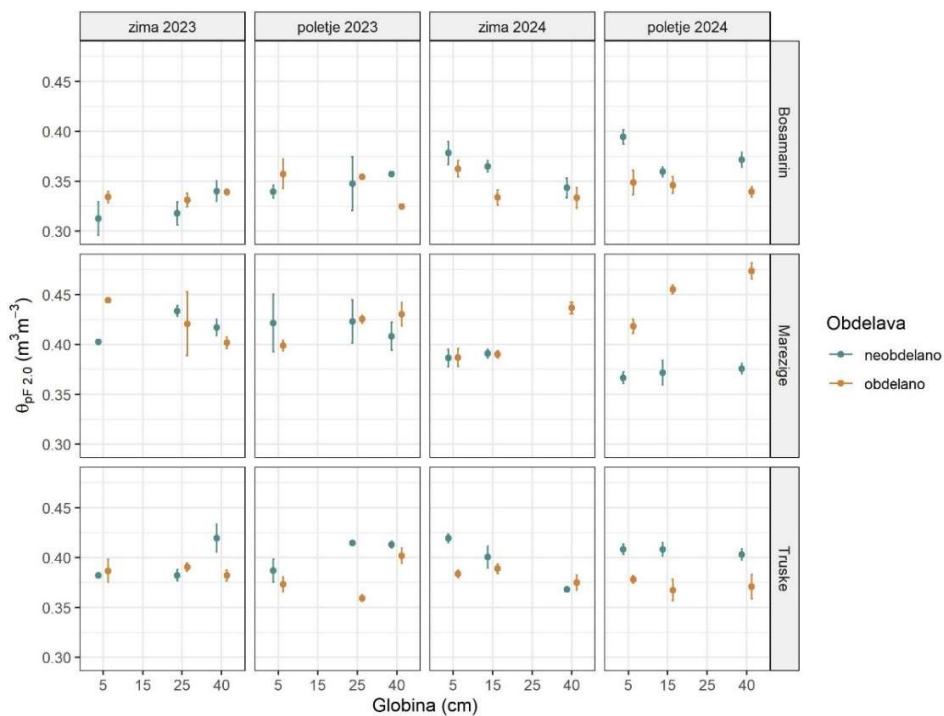
Preglednica 5: p-vrednosti iz analize variance (ANOVA) za vpliv obdelave tal, termina in globine vzorčenja na vsebnost vode pri pF 2,0 v oljčnikih treh lokacij

Vir variabilnosti ($\theta_{pF\ 2,0}$)	Bošamarin	Marezige	Truške
Obdelava	0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Obravnavanje (Termin_Globina)	0,0002	< 0,0001	0,0046
Obdelava : Obravnavanje	0,0674	< 0,0001	0,0072

Meritve vsebnosti vode v tleh pri pF 2,0, ki v določenih tleh predstavlja poljsko kapaciteto tal za vodo, smo grafično prikazali za obravnavane lokacije, obdelavo tal in globino vzorčenja (slika 13). V nadaljevanju smo izračunali povprečja in jih prikazali skupaj s standardnimi napakami (slika 14).



Slika 10: Meritve vsebnosti vode pri pF 2,0 ($\theta_{pF2.0}$), glede na lokacijo oljčnika, termin, globino meritev in način obdelave tal



Slika 11: Povprečje vsebnosti vode pri pF 2,0 ($\theta_{pF2.0}$) \pm standardna napaka, glede na lokacijo oljčnika, termin, globino meritev in način obdelave tal

3.2.1.1 Bošamarin

Analiza variance je pokazala statistično mejno pomembno interakcijo med obdelavo in obravnavanjem ($p=0,0674$), zato smo primerjave najprej izvedli za kombinacije dejavnikov obdelava tal in obravnavanje, ki ju sestavljata termina in globine vzorčenja. Poleti 2024 je na 5 cm povprečna vsebnost vode pri pF 2,0 za $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ višja na neobdelanih tleh ($p=0,0064$). Pri 95 % zaupanju je razlika na intervalu od 0,01 do $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Ostale vsebinsko zanimive primerjave obdelave in obravnavanja so se izkazale za nepomembne. Zaradi mejne statistične pomembnosti interakcije obdelave in obravnavanja smo v nadaljevanju primerjave naredili samo za obravnavanje (termin_globina) ($p=0,0002$), vendar ni bilo pomembnih razlik med vsebinsko smiselnimi primerjavami.

3.2.1.2 Marezige

Analiza variance je pokazala statistično pomembno interakcijo med obdelavo in obravnavanjem ($p<0,0001$). Primerjave smo nato izvedli za kombinacije dejavnikov obdelava tal in obravnavanje, ki se sestavljata termin in globina vzorčenja. Poleti 2024 so bile statistično pomembne razlike v povprečni vsebnosti vode pri pF 2,0 na vseh globinah. V vseh primerih so bile povprečne vsebnosti vode pri pF 2,0 višje na obdelanih tleh. Na globini 5 cm je povprečna vsebnost vode pri pF 2,0 za $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ višja pri 95 % zaupanju pa na intervalu med 0,02 in $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p=0,0004$). Na globini 15 cm je v povprečju višja za $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju pa na intervalu med 0,05 in $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p<0,0001$) ter na globini 40 cm je v povprečju višja za $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju pa na intervalu med 0,06 in $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p<0,0001$). Glede na to, da so bile razlike prisotne ne vseh globinah, tudi pod globino obdelave tal (10 cm), je ta razlika verjetno posledica naravne heterogenosti tal. Leta 2024 je povprečna vsebnost vode pri pF 2,0 na obdelani površini na globini 15 cm in 40 cm statistično pomembno višja poleti v primerjavi z zimo. Na 15 cm je povprečna razlika $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju na intervalu med 0,03 in $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p<0,0001$) ter na 40 cm je povprečna razlika $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju na intervalu med 0,002 in $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p=0,0301$).

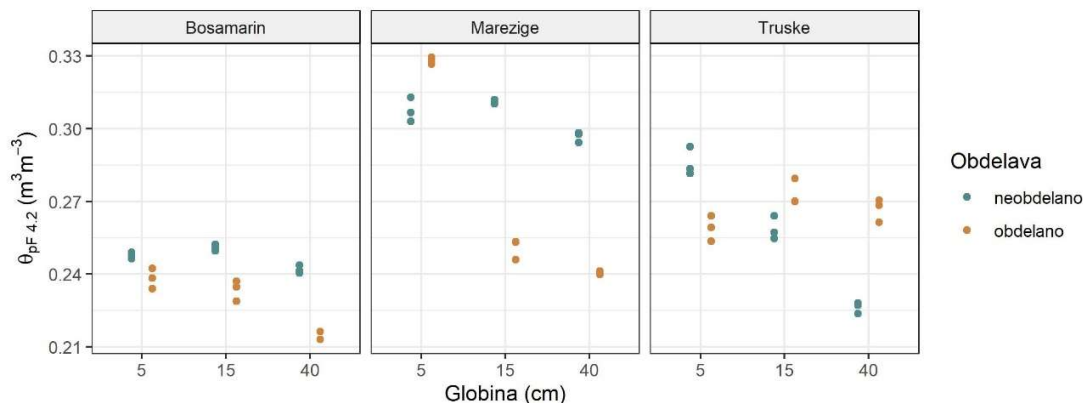
3.2.1.3 Truške

Analiza variance je pokazala statistično pomembno interakcijo med obdelavo in obravnavanjem ($p<0,0001$). Primerjave smo v nadaljevanju naredili za kombinacije dejavnikov obdelava tal in obravnavanje, ki se sestavljata termin in globina vzorčenja. Poleti 2023 je na globini 25 cm vsebnost vode pri pF 2,0 za $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ višja na neobdelanem delu ($p=0,0328$), pri 95 % zaupanju je razlika na intervalu od 0,002 do $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Pozimi 2024 je bila na globini 5 cm povprečna vsebnost vode pri pF 2,0 za $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ višja na neobdelanih tleh ($p=0,0103$), pri 95 % zaupanju je razlika na intervalu od 0,005 do $0,007 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Poleti 2024 je povprečna vsebnost vode pri pF 2,0 na vseh globinah višja na neobdelanih tleh. Na globini 5 cm je mejno višja ($p=0,0513$), s povprečno razliko $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju je razlika na intervalu od 0,00007 do $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Na globini 15 cm je povprečna razlika $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju pa na intervalu od 0,01 do $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p=0,0015$). Na globini 40 cm je povprečna razlika $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju pa na intervalu od 0,002 do $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p=0,0311$). Na neobdelanem delu oljčnika je na

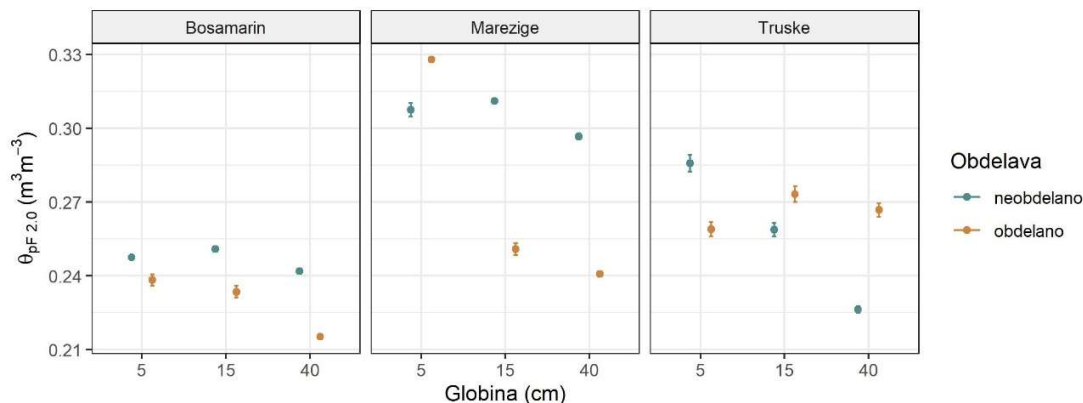
globini 40 cm povprečna vsebnost vode pri pF 2,0 za $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ višja pozimi v primerjavi s poletjem 2024 ($p=0,0133$), pri 95 % zaupanju je razlika na intervalu med $0,004$ in $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

3.2.2 Vsebnost vode pri pF 4,2

Vsebnost vode pri pF 4,2 oziroma pri točki venenja smo prikazali glede na lokacijo, obdelavo in globino vzorčenja (Slika 12) ter s povprečji in standardnimi napakami (Slika 13). Tla v Bošamarinu imajo na obdelanem in neobdelani delu precej primerljivo vsebnost vode pri pF 4,2. V oljčniku v Marezigah pa so razlike med obdelanimi in neobdelani tlemi velike, zlasti na globinah na 15 in 40 cm, kjer neobdelan del tal pri pF 4,2 zadrži skoraj $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ več vode.



Slika 12: Meritve vsebnosti vode pri pF 4,2 ($\vartheta_{pF4,2}$), glede na lokacijo oljčnika, globino meritev in način obdelave tal



Slika 13: Povprečje vsebnosti vode pri pF 4,2 ($\vartheta_{pF4,2}$) \pm standardna napaka, glede na lokacijo oljčnika, globino meritev in način obdelave tal

Analiza variance je pokazala statistično pomembno interakcijo med obdelavo tal in globino meritev na vseh lokacijah: Bošamarin ($p=0,0004$), Marezige ($p=0,0150$) in Truške ($p<0,0001$). Z načrtovanimi primerjavami smo na vsaki lokaciji in globini določili razlike med obdelanim in neobdelanim delom oljčnika.

3.2.2.1 *Bošamarin*

Na vseh globinah je povprečna vsebnost vode v tleh pri pF 4,2 statistično značilno višja na neobdelanih tleh. Na globini 5 cm je v povprečju višja za $0,009 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju na intervalu med 0,003 in $0,015 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p=0,0036$). Na globini 15 cm je povprečna razlika $0,017 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju na intervalu med 0,011 in $0,023 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p<0,0001$). Na globini 40 cm je povprečna razlika $0,027 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju na intervalu med 0,021 in $0,033 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p<0,0001$).

3.2.2.2 *Marezige*

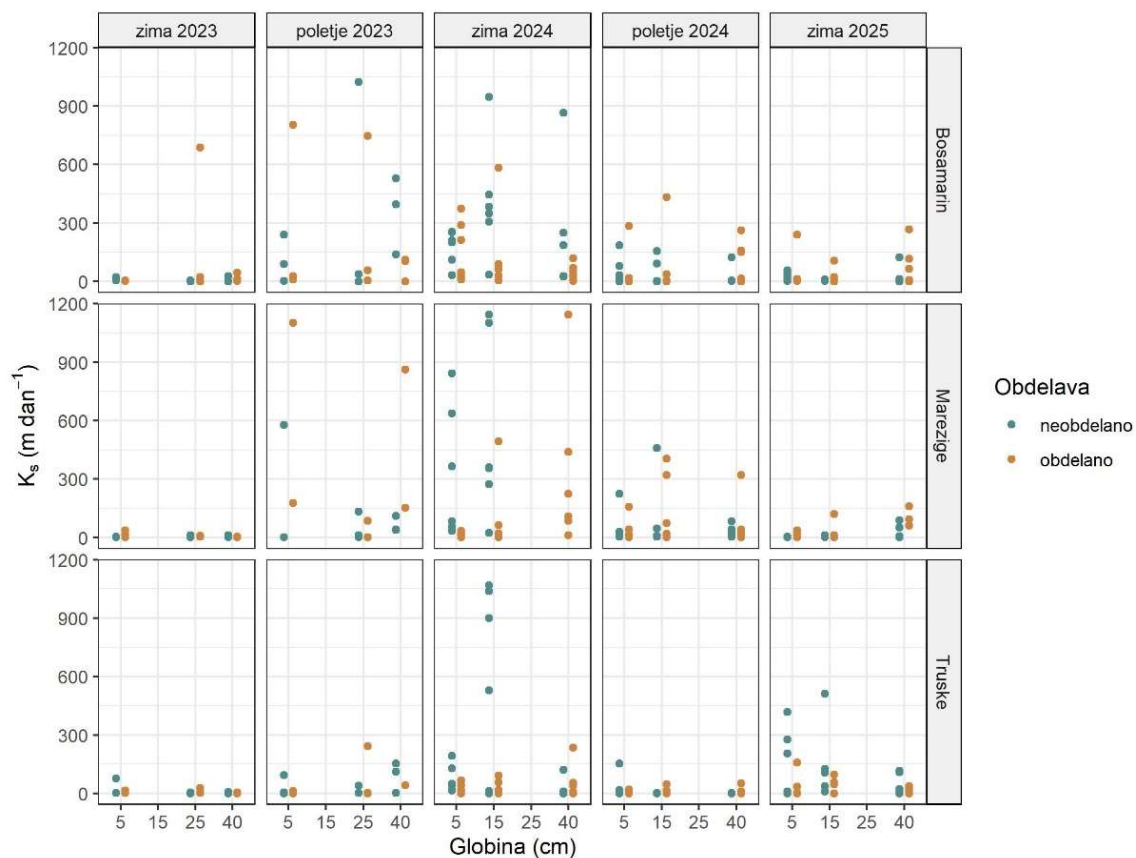
Na globini 5 cm je povprečna vsebnost vode pri pF 4,2 za $0,021 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ višja na obdelanih tleh ($p<0,0001$), pri 95 % zaupanju na intervalu med 0,014 in $0,027 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Na globini 15 cm in 40 cm pa je višja na neobdelanih tleh. Na 15 cm je v povprečju višja za $0,060 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju na intervalu od 0,054 in $0,067 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p<0,0001$). Na globini 40 cm je v povprečju višja za $0,056 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju na intervalu od 0,050 in $0,063 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p<0,0001$).

3.2.2.3 *Truške*

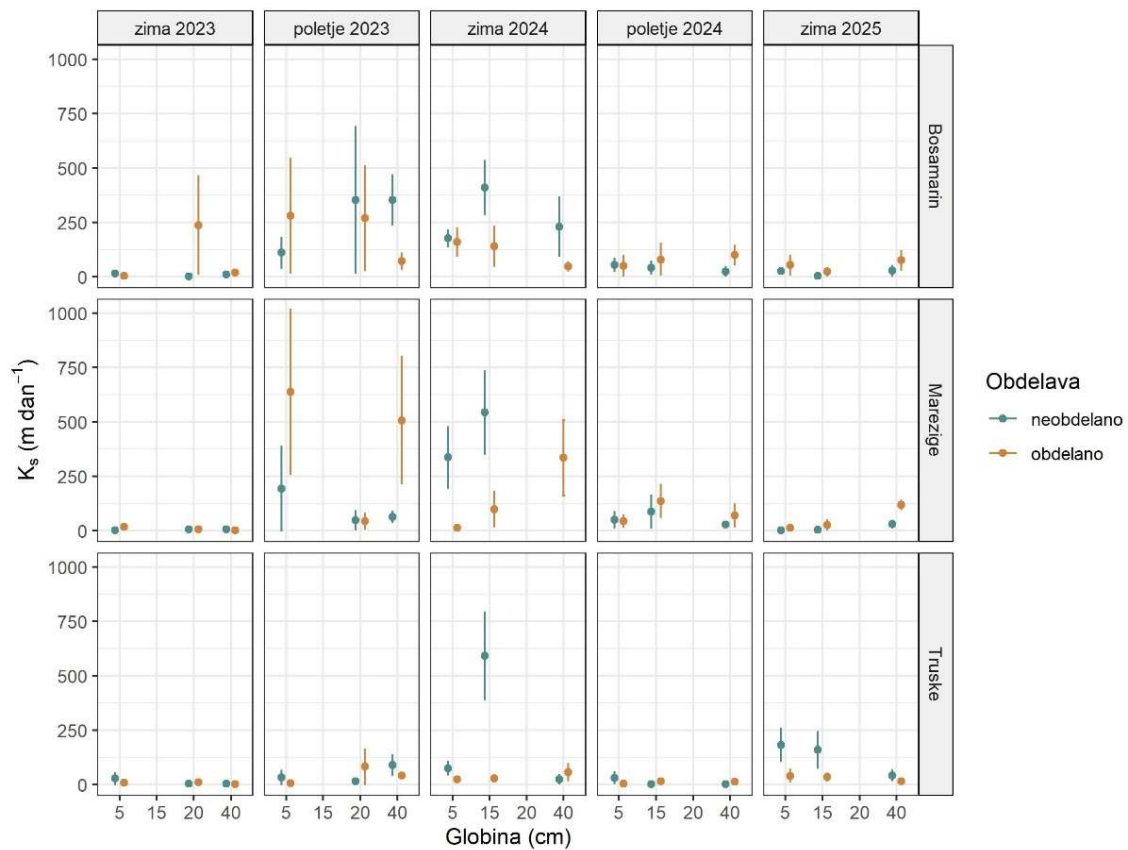
Na globini 5 cm je povprečna vsebnost vode pri pF 4,2 za $0,023 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ višja na neobdelanih tleh ($p=0,0001$), pri 95 % zaupanju na intervalu med 0,016 in $0,038 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Na globinah 15 in 40 cm pa je povprečna vsebnost vode pri pF 4,2 višja na obdelanih tleh. Na 15 cm je v povprečju višja za $0,015 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju na intervalu od 0,004 in $0,025 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p<0,0102$). Na globini 40 cm je v povprečju višja za $0,040 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pri 95 % zaupanju na intervalu od 0,029 in $0,051 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p<0,0001$).

3.3 Hidravlična prevodnost nasičenih tal

Grafično smo prikazali meritve hidravlične prevodnosti nasičenih tal (Slika 14). Meritve so zelo variabilne, kar je posledica naravne heterogenosti tal. Najmanjša variabilnost meritev je na lokaciji v Truškah. Velika variabilnost meritev je opazna poleti 2023 in pozimi 2024 (Slika 15).



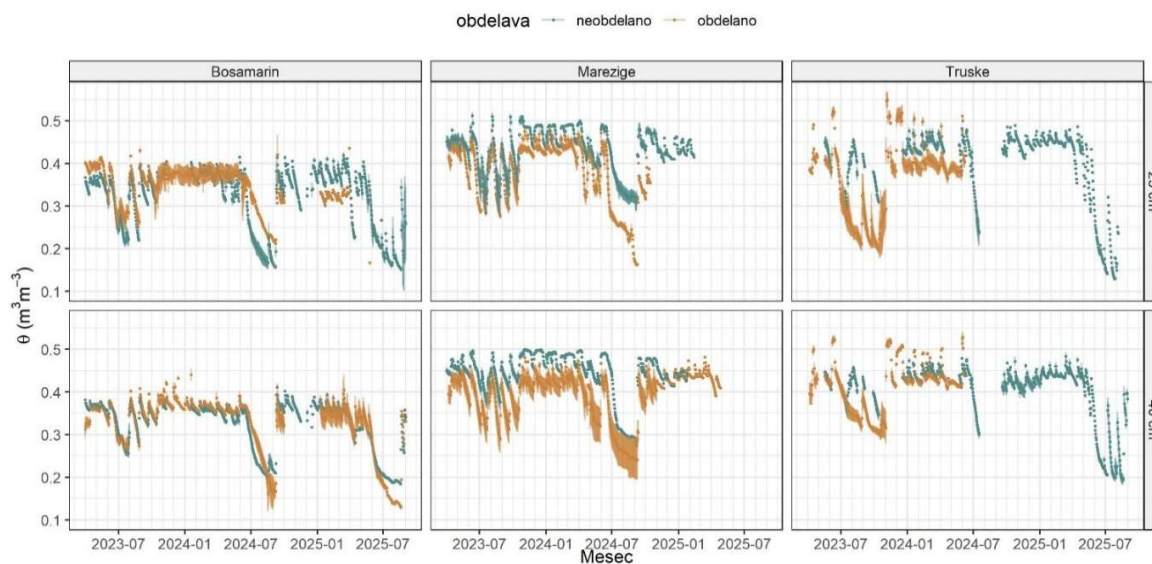
Slika 14: Meritve hidravlične prevodnosti nasičenih tal glede na lokacijo oljčnika, termin, globino meritev in način obdelave tal



Slika 15: Povprečne hidravlične prevodnosti nasičenih tal \pm standardna napaka, glede na lokacijo oljčnika, termin, globino meritev in način obdelave tal

3.4 Meritve vsebnosti vode v tleh

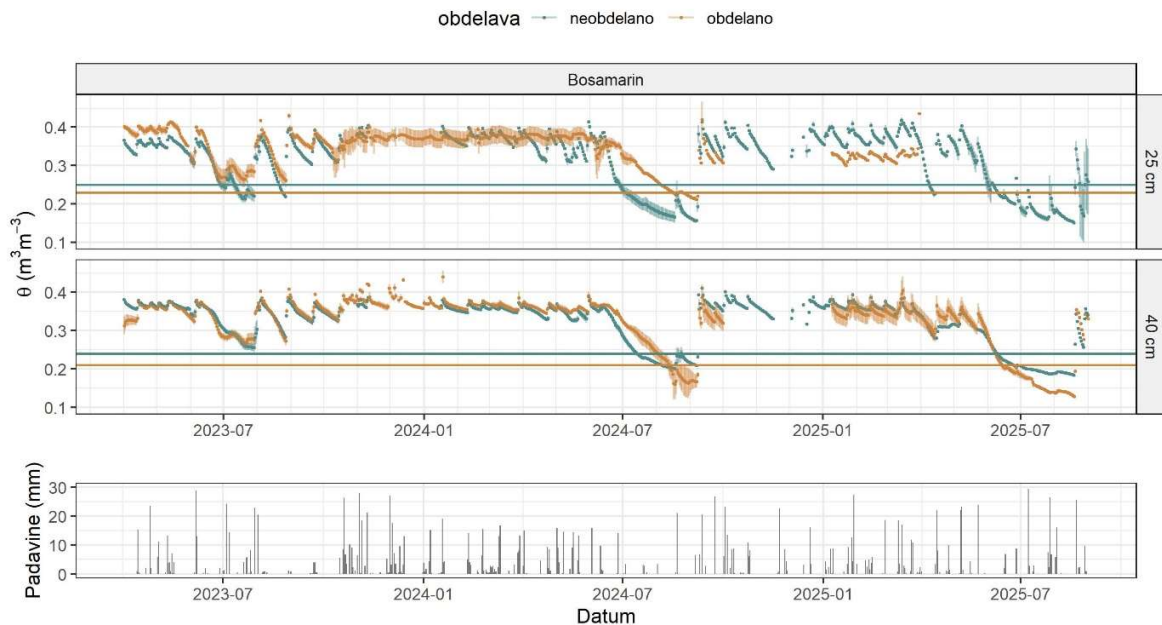
Meritve vsebnosti vode v tleh smo grafično prikazali za vse lokacije in globine glede na obdelavo tal (Slika 16). V Marezigah in Truškah so vsebnosti vode v tleh v primerjavi z Bošamarinom ves čas višje na obeh globinah.



Slika 16: Dnevne povprečne vsebnosti vode v tleh (θ) \pm standardna napaka na podlagi treh ponovitev (od poletja 2024 sta po dve ali ena ponovitev), časovne vrste so prikazane glede na lokacijo oljčnika, globino meritev in način obdelave tal v obdobju meritev od 1.4.2023 do 1.9.2025

3.4.1 Bošamarin

Grafično smo prikazali dnevne povprečne vrednosti skupaj s standardno napako ter dnevno količino padavin z merilne postaje Strunjan (ARSO, 2025) (Slika 17Slika 16). Ravni črti na vsaki globini prikazujeta povprečno vsebnost vode pri pF 4,2 oziroma pri točki venenja za vsak način obdelave tal. Kadar je vsebnost vode pod to mejo voda rastlinam ni več dostopna. Od aprila 2025 zaradi težav z merilno opremo, na 25 cm globine pri obdelanih tleh ni več meritev. Glede na obdelavo tal večino leta ni opaziti izrazitih razlik v vsebnosti vode v tleh. Opazno višja vsebnost vode na obdelanih tleh je bil poletje 2024.

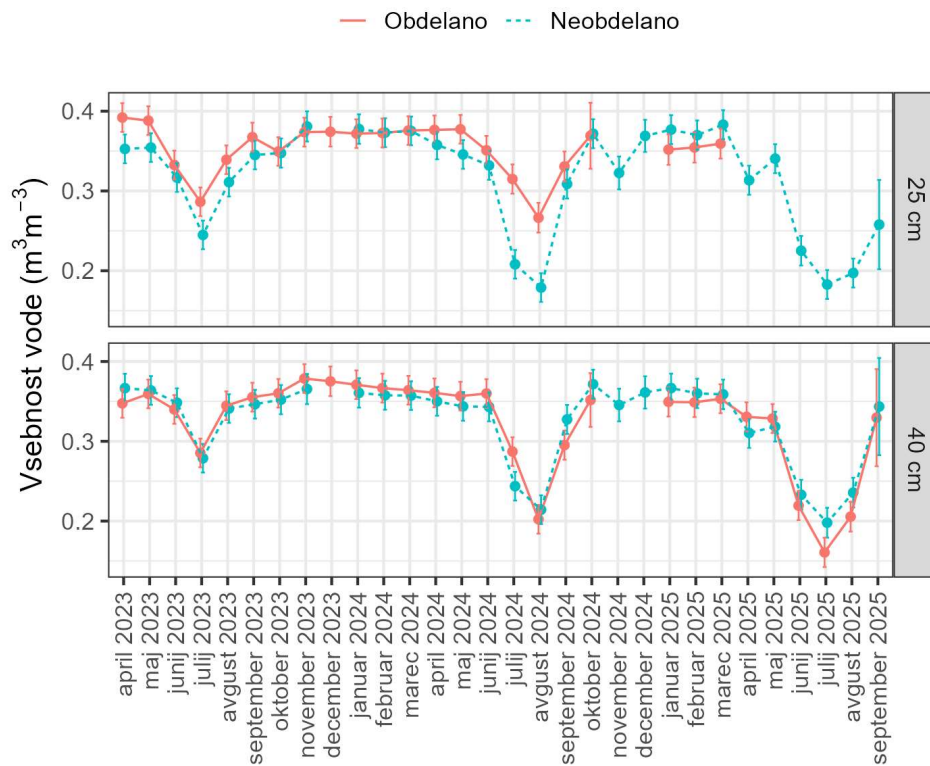


Slika 17: Dnevne povprečne vsebnosti vode v tleh (θ) \pm standardna napaka meritev v oljčniku v Bošamarinu (1. 4. 2023 do 1. 9. 2025), prikazano glede na način obdelave tal in globino meritev. Spodaj so prikazane dnevne padavine iz merilne postaje Strunjan (ARSO, 2025)

IZ dnevni povprečnih vrednosti smo izračunali mesečna povprečja, ki so prav tako prikazana s standardno napako (Slika 18). Za vsako globino posebej smo ovrednotili razlike v povprečni mesečni vsebnosti vode v tleh, v odvisnosti od obdelave tal.

Na globini 25 cm je bila leta 2023 povprečna θ na obdelanih tleh aprila višja in sicer za $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p=0,0260$; 95 % IZ od $0,002$ do $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) in julija prav tako za $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p=0,0121$; 95 % IZ od $0,004$ do $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Najbolj izrazite razlike v mesečni povprečni θ med obdelavama, na globini 25 cm so opazne poleti 2024. Vsebnost vode je julija in avgusta višja na obdelanih tleh. Julija je povprečna razlika $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p<0,0001$; 95 % IZ od $0,07$ do $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) in avgusta $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p<0,0001$; 95 % IZ od $0,05$ do $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

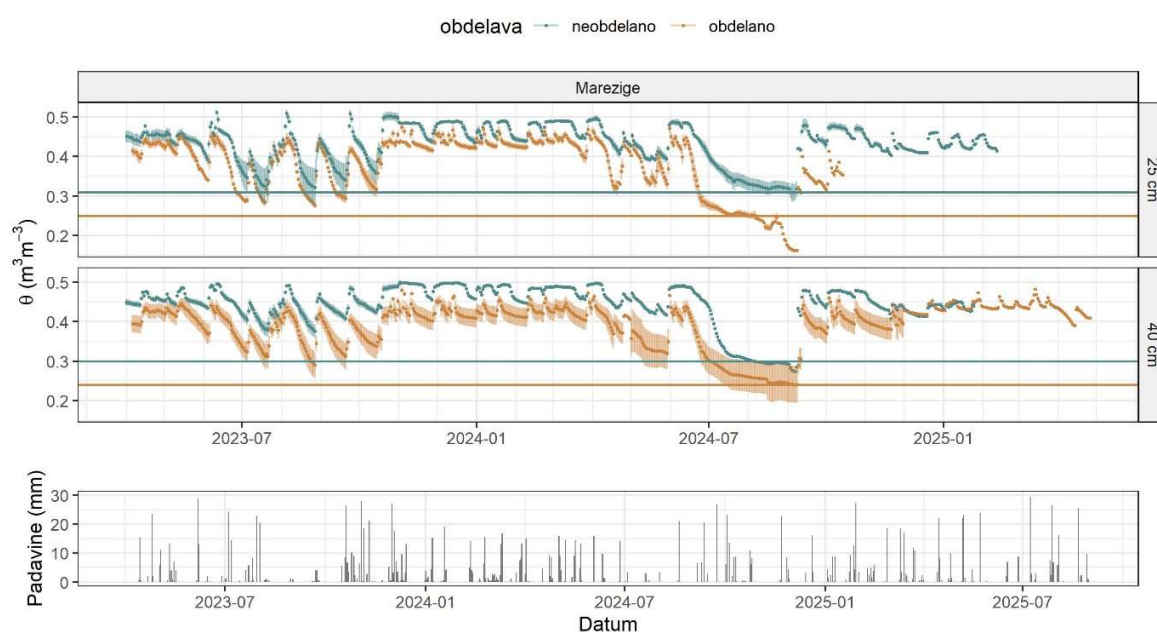
Na globini 40 cm je julija 2024 povprečna θ za $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ višja na obdelanih tleh ($p=0,0064$; 95 % IZ od $0,006$ do $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Na globini 40 cm pa je julija 2025 povprečna θ za $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ višja na neobdelanih tleh ($p=0,0802$; 95 % IZ od $0,002$ do $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).



Slika 18: Mesečne povprečne vsebnosti vode v tleh ± standardna napaka meritev v oljčniku v Bošamarinu, glede na obdelavo tal in globino meritev

3.4.2 Marezige

Grafično smo prikazali dnevne povprečne vrednosti skupaj s standardno napako in dnevnimi padavinami iz merilne postaje Strunjan (ARSO, 2025) (Slika 19/Slika 16). Ravni črti na vsaki globini prikazujeta povprečno vsebnost vode pri pF 4,2 oziroma pri točki venenja za vsak način obdelave tal. Od novembra 2024 zaradi težav z merilno opremo, na 25 cm pri obdelanih tleh ni več meritev. Na isti globini na neobdelanih tleh meritev ni od februarja 2025. Na globini 40 cm ni meritev na neobdelanih tleh od februarja 2025 naprej in na obdelanih od maja 2025. V letu 2024 se nakazuje, da je vsebnost vode v tleh višja na neobdelanih tleh. Tla imajo glede na obdelavo, na obeh globinah različne vsebnosti vode pri točki venenja, kar pomeni, da oba dela oljčnika med seboj nista najbolj primerljiva z vidika rastlinam dostopne vode v suhem območju. A kljub temu poleti 2024 na globini 25 cm, povprečna vsebnost vode pade pod pF 4,2 na obdelanem delu, na neobdelanem pa ne.



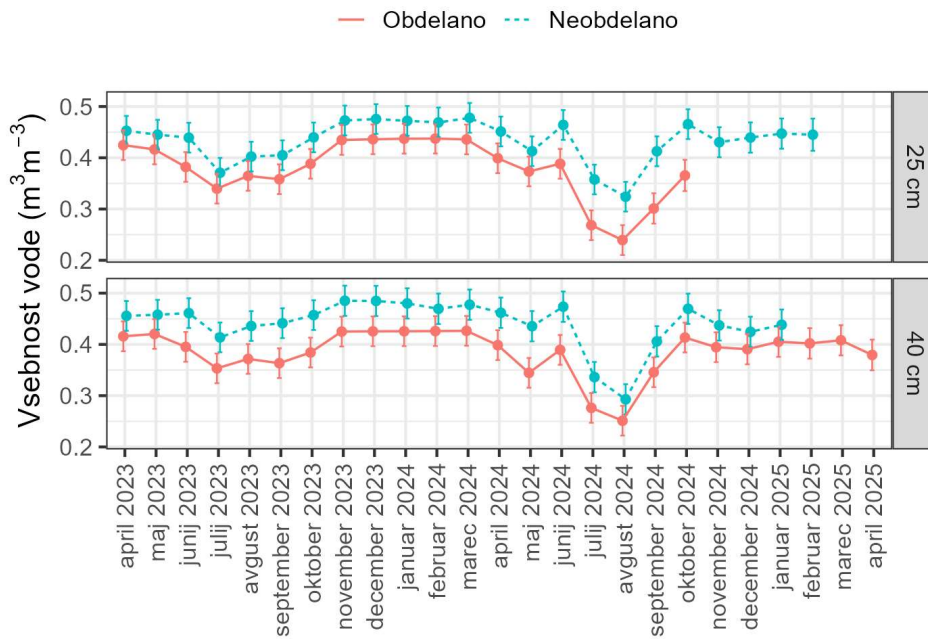
Slika 19: Dnevne povprečne vsebnosti vode v tleh (θ) \pm standardna napaka meritev v oljčniku v Marezigah (1. 4. 2023 do 1. 9. 2025), prikazano glede na način obdelave tal in globino meritev. Spodaj so prikazane dnevne padavine iz merilne postaje Strunjan (ARSO, 2025)

V nadaljevanju smo iz dnevnih povprečnih vrednosti generirali mesečna povprečja, prav tako prikazana s standardno napako (Slika 20). Za vsako globino posebej smo ovrednotili razlike v poprečni mesečni vsebnosti vode v tleh, v odvisnosti od obdelave tal.

Na globini 25 cm je poleti 2024 povprečna θ višja na neobdelanih tleh in sicer od junija do oktobra. Junija je za $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p=0,0052$; 95 % IZ od $0,01$ do $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), julija za $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p=0,0003$; 95 % IZ od $0,003$ do $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), avgusta za $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p=0,0008$; 95 % IZ od $0,02$ do $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), septembra za

0,11 m³ m⁻³ ($p < 0,0001$; 95 % IZ od 0,05 do 0,18 m³ m⁻³) in oktobra za 0,10 m³ m⁻³ ($p < 0,0001$; 95 % IZ od 0,03 do 0,17 m³ m⁻³).

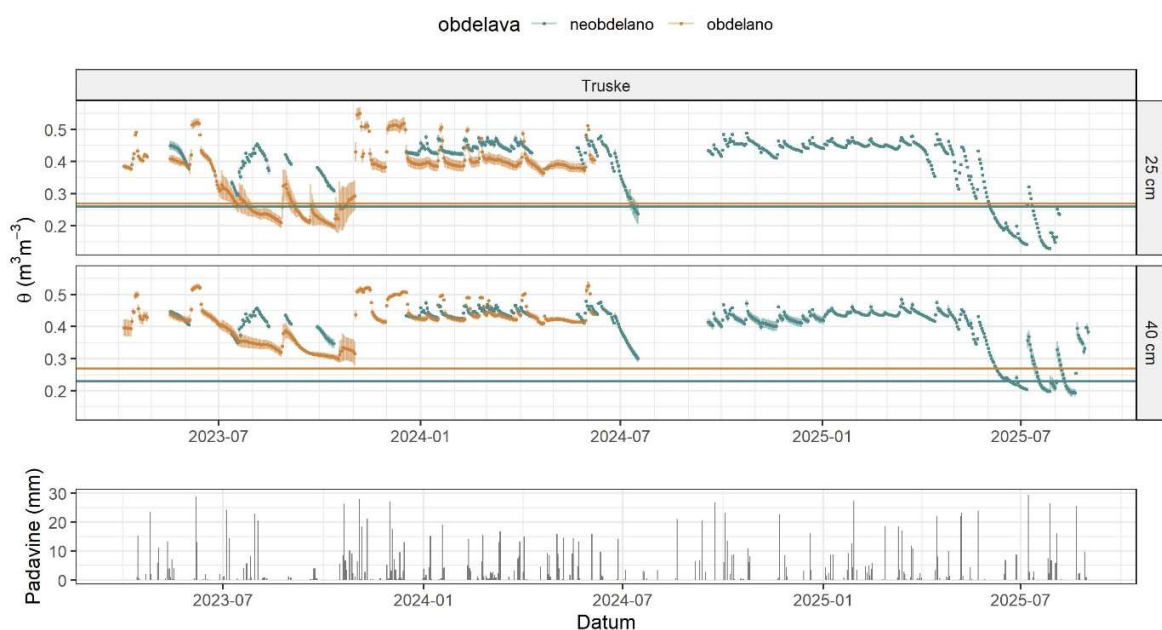
Tudi na globini 40 cm je v letu 2024 povprečna ϑ poleti višja na neobdelanih tleh (junij, avgust, september in oktober). Junija je za 0,07 m³ m⁻³ ($p = 0,0351$; 95 % IZ od 0,002 do 0,13 m³ m⁻³), avgusta za 0,06 m³ m⁻³ ($p = 0,0472$; 95 % IZ od 0,003 do 0,13 m³ m⁻³), septembra za 0,08 m³ m⁻³ ($p = 0,0032$; 95 % IZ od 0,01 do 0,14 m³ m⁻³) in oktobra za 0,07 m³ m⁻³ ($p = 0,0090$; 95 % IZ od 0,01 do 0,14 m³ m⁻³).



Slika 20: Mesečne povprečne vsebnosti vode v tleh ± standardna napaka meritev v oljčniku v Bošamarinu, glede na obdelavo tal in globino meritev

3.4.3 Truške

Grafično smo prikazali dnevne povprečne vrednosti skupaj s standardno napako in dnevnimi padavinami iz merilne postaje Strunjan (ARSO, 2025) (Slika 21/Slika 16). Ravni črti na vsaki globini prikazujeta povprečno vsebnost vode pri pF 4,2 oziroma pri točki venenja za vsak način obdelave tal. Od julija do oktobra 2023 je bila povprečna vsebnost vode v tleh, pogosto pod točko venenja na obdelanem delu oljčnika. V Truškah smo imeli sicer največje težave z meritvami, saj se za prenos podatkov potrebuje signal, na obdelanem delu oljčnika pa ni signala oziroma je zelo slab. Zato na obeh globinah od julija 2024 meritev ni na obdelanem delu.

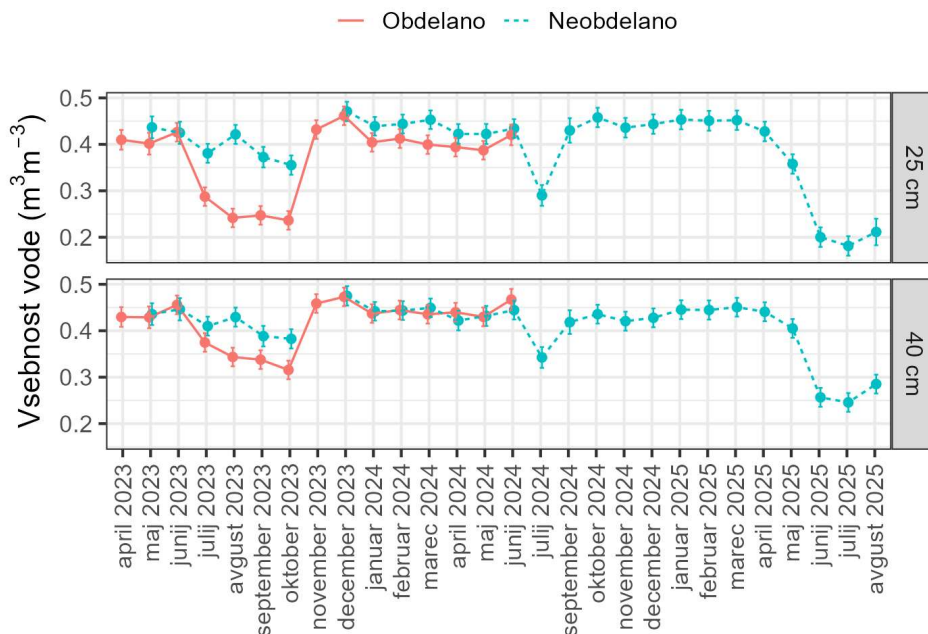


Slika 21: Dnevne povprečne vsebnosti vode v tleh (θ) \pm standardna napaka meritev v oljčniku v Truškah (1. 4. 2023 do 1. 9. 2025), prikazano glede na način obdelave tal in globino meritev. Spodaj so prikazane dnevne padavine iz merilne postaje Strunjan (ARSO, 2025)

V nadaljevanju smo iz dnevni povprečnih vrednosti generirali mesečna povprečja, prav tako prikazana s standardno napako (Slika 22). Za vsako globino posebej smo ovrednotili razlike v poprečni mesečni vsebnosti vode v tleh, v odvisnosti od obdelave tal.

Na globini 25 cm je v poletu 2023 povprečna θ višja na neobdelanih tleh in sicer od julija do oktobra. Julija je višja za $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p < 0,0001$; 95 % IZ od $0,05$ do $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), avgusta za $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p < 0,0001$; 95 % IZ od $0,14$ do $0,22 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), septembra za $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p < 0,0001$; 95 % IZ od $0,08$ do $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) in oktobra za $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p < 0,0001$; 95 % IZ od $0,08$ do $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Marca 2024 je povprečna vsebnost vode za $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ višja na neobdelanih tleh ($p = 0,0004$). Pri 95 % zaupanju na intervalu med $0,02$ in $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Tudi na globini 40 cm je avgusta, septembra in oktobra 2023 povprečna θ višja na neobdelanih tleh. Avgusta je višja za $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p < 0,0001$; 95 % IZ od $0,05$ do $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), septembra za $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p = 0,0034$; 95 % IZ od $0,01$ do $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) in oktobra za $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ($p < 0,0001$; 95 % IZ od $0,03$ do $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).



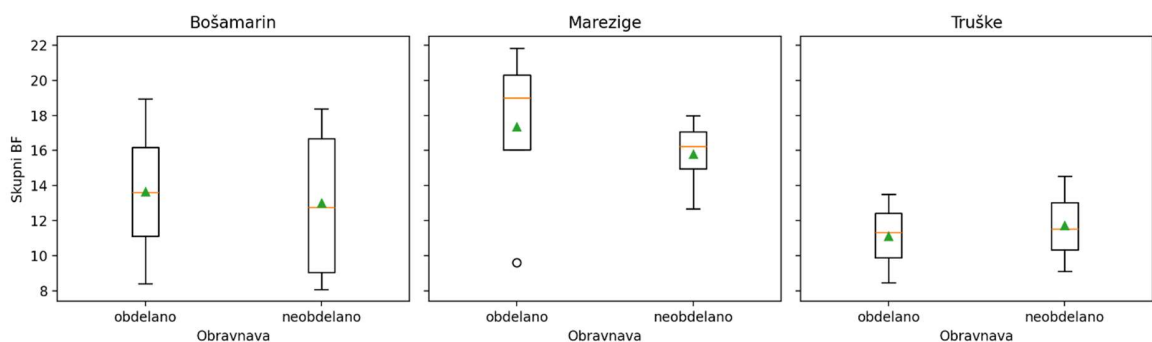
Slika 22: Mesečne povprečne vsebnosti vode v tleh \pm standardna napaka meritev v oljčniku v Truškah, glede na obdelavo tal in globino meritev

3.5 Rezultati foliarnih analiz

Zaradi majhnega števila vzorcev statistična obdelava podatkov ni bila izvedljiva, zato so v nadaljevanju predstavljene predvsem povprečne vrednosti in opazni trendi med oljkami na obdelanih ter tistimi na neobdelanih tleh. Kljub temu da statistično značilnih razlik zaradi omejenega obsega vzorčenja nismo mogli potrditi, so se med obravnavami pokazale nekatere zanimive razlike.

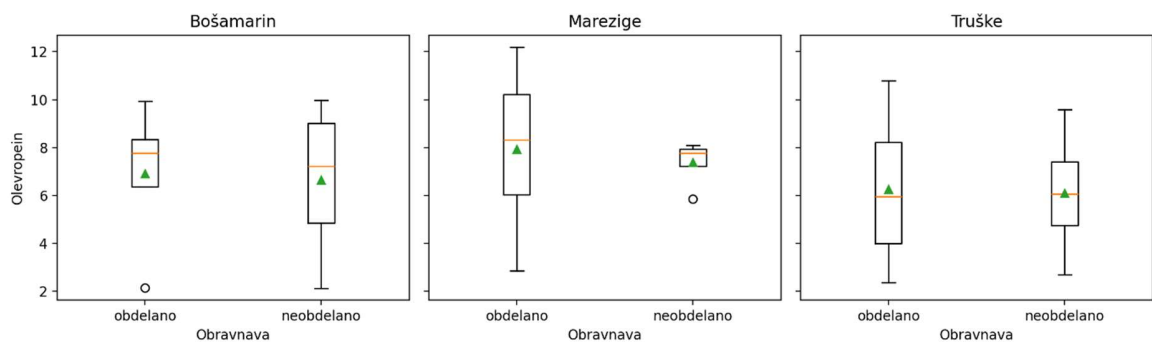
3.5.1 Skupni biofenoli in oleuropein

Rezultati skupnih biofenolov (slika 26) kažejo, da na lokacijah Bošamarin, Truške in Marezige ni bilo izrazitih razlik med obdelanimi in neobdelanimi tlemi. Vendar se je v Marezigah pojavil jasen trend višjih vrednosti biofenolov pri oljkah na obdelanih tleh: povprečno $17,34 \text{ mg/kg}$, medtem ko so oljke na neobdelanih tleh vsebovale $15,87 \text{ mg/kg}$ skupnih biofenolov. Čeprav ta razlika ni statistično značilna, lahko nakazuje povečan stres zaradi mehanske obdelave tal. Poškodbe korenin v zgornjih slojih tal bi lahko sprožile fiziološki odziv rastlin in povečano sintezo biofenolov.



Slika 23: Vsebnost skupnih biofenolov v listih glede na lokacijo in obdelavo

Pri pregledu podatkov o vsebnosti oleuropeina (slika 27) se med obravnavami ni pokazala razlika, kar pomeni, da višje vrednosti skupnih biofenolov v Marezigah niso posledica kopičenja oleuropeina. To nakazuje, da je do povečanja prispevala druga spojina oziroma skupina spojin, ki v okviru te analize ni bila zajeta.



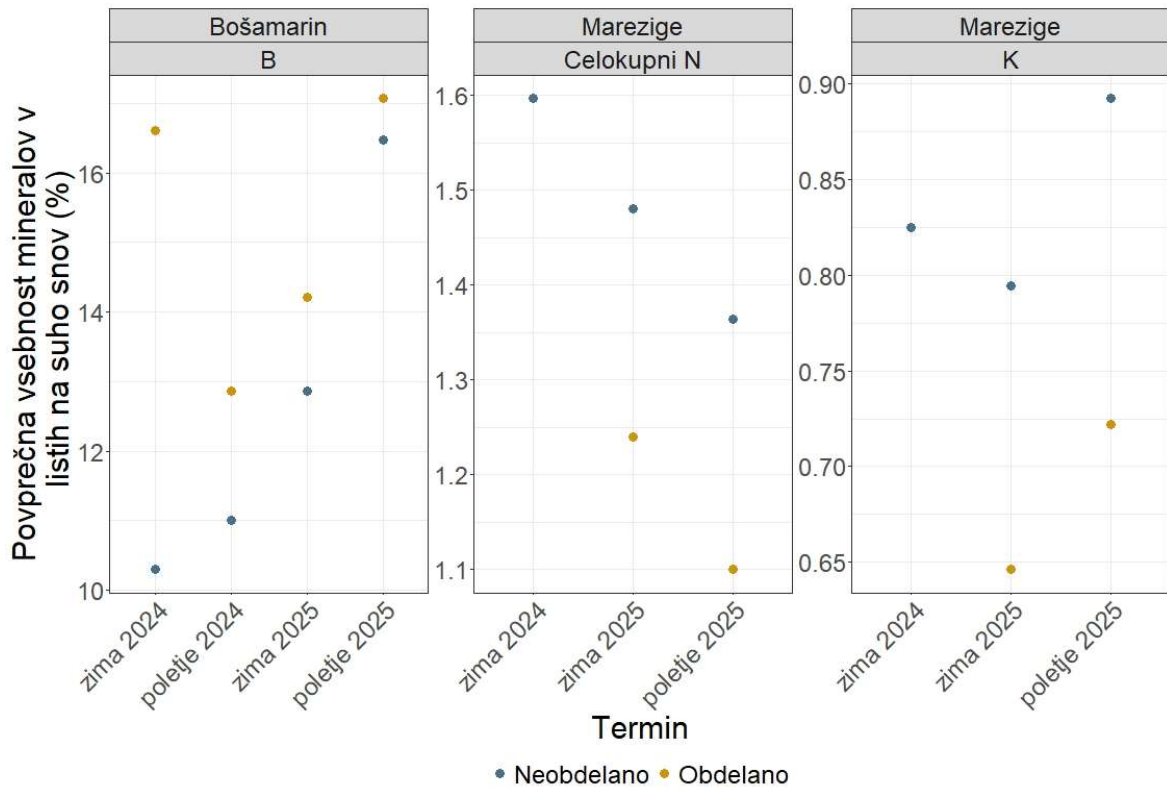
Slika 24: Vsebnost oleuropeina v listih glede na lokacijo in obdelavo

3.5.2 Vsebnost mineralov

Prehranjenost rastlin smo ocenjevali z foliarno analizo hranil v listih. Statistično značilnih razlik med oljkami na obdelanih in neobdelanih tleh v vsebnosti hranil nismo potrdili, kar je posledica majhnega števila vzorcev in velike prostorske raznolikosti med lokacijami. Zaradi razlik v mikroklimi, reliefu in tleh združevanje podatkov med lokacijami ne bi bilo smiselno, so pa se skozi več časovnih terminov pokazale določene ponavljajoče se razlike.

Na lokaciji Bošamarin so imele oljke na obdelanih tleh višje povprečne vrednosti bora ($15,2 \pm 1,99$ %) kot oljke na neobdelanih tleh ($12,7 \pm 2,76$ %). Na lokaciji Marezige pa so bile višje vrednosti na neobdelanih tleh, in sicer pri celokupnem dušiku ($1,48 \pm 0,12$ % v primerjavi z $1,17 \pm 0,10$ % na obdelanih tleh) ter pri

kaliju ($0,84 \pm 0,05$ % v primerjavi z $0,68 \pm 0,05$ %). Čeprav te razlike niso statistično značilne, kažejo na možen vpliv obdelave tal na mobilnost in dostopnost posameznih mineralov, kar bo treba preveriti v obsežnejših, ponovljenih vzorčenjih.



Slika 25: Vsebnost bora, celokupnega dušika in kalija v listih na suho snov (%) skozi celotno obdobje vzorčenja v odvisnosti od obdelave in po lokacijah

4. Sklepi

V treh oljčnikih (Bošamarin, Marezige, Truške) smo v letih 2023–2025 dvakrat letno (pozimi in poleti) vzorčili tla za določitev fizikalnih lastnosti. Zaradi okvare merilne opreme Sandbox vzorcev iz leta 2025 še nismo analizirali. Merili smo gostoto tal, vsebnost vode pri pF 2,0 in 4,2 ter hidravlično prevodnost nasičenih tal. Za gostoto tal in vsebnost vode pri pF 2,0 smo za vsako lokacijo ovrednotili razlike v povprečnih vrednostih glede na obdelavo tal, globino in termin vzorčenja. Meritve vsebnosti vode pri pF 4,2 so bile izvedene le enkrat, zato so bile razlike v povprečnih vrednostih odvisne le od obdelave in globine. Iz krivulj vodozadrževalnih lastnosti je razvidno, da so tla prostorsko variabilna. Tudi pod globino obdelave (10 do 20 cm) so razlike v krivuljah med obdelanim in neobdelanim delom. Ugotovili smo, da se fizikalne lastnosti tal spreminjajo v času in so odvisne od obdelave ter globine.

Od aprila 2023 do septembra 2025 smo v vsakem oljčniku na dveh delih z različno obdelavo tal neprekinjeno merili vsebnost vode v tleh. Na vsaki lokaciji smo za vsak mesec in globino primerjali povprečno vsebnost vode v tleh. Razlike glede na obdelavo tal so najbolj opazne v poletnih mesecih. V Bošamarinu je bila na 25 cm vsebnost vode višja aprila in julija 2023 ter julija in avgusta 2024. Na globini 40 cm pa le julija 2024. V vseh primerih je bila povprečna vsebnost vode višja na obdelanih tleh. V Marezigah je bila na 25 cm povprečna vsebnost vode od junija do oktobra 2024 višja na neobdelanih tleh. Tudi na 40 cm je bila junija, avgusta, septembra in oktobra višja na neobdelanih tleh. V Truškah smo zaradi pomanjkanja signala na obdelanem delu ves čas imeli težave s podatki, od julija 2024 podatkov ni več. Razlike v povprečni vsebnosti vode na 25 cm so bile od julija do oktobra 2023 in marca 2024, vsebnost vode je bila višja na neobdelanih tleh. Na 40 cm je bila vsebnost vode prav tako višja na neobdelanih tleh, in sicer od avgusta do oktobra 2023.

Na podlagi foliarnih analiz med oljkami na obdelanih in neobdelanih tleh nismo opazili statistično značilnih razlik v vsebnosti biofenolov in mineralov, predvsem zaradi heterogenosti lokacij in majhnega števila vzorčenj. Kljub temu smo zaznali višje vsebnosti skupnih biofenolov pri obdelanih oljkah v Marezigah ter razlike v posameznih mineralih (bor v Bošamarinu, dušik in kalij v Marezigah). Za potrditev trendov in ugotavljanje dejanskega vpliva obdelave na oljke je treba raziskavo nadaljevati in povečati število vzorčenj na vsaki lokaciji, s čimer bomo zagotovili dovolj obsežno bazo podatkov za izvedbo robustnih in zanesljivih statističnih analiz ter zaključkov.

5. Zahvala

Avtorji se zahvaljujejo financerjem projekta (Javni agenciji za raziskovalno dejavnost, Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano), Sandiju Babiču, Danijelu Sbadinu, Anej Rodic in sodelavcem Inštituta za oljkarstvo ZRS Koper ter vsem, ki so med letoma 2022 in 2025 kakor koli sodelovali pri izvedbi raziskave.

6. Viri in literatura

- ARSO. 2025. Agencija RS za okolje. Koper. Podnebni diagram. https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/statistike_1950_2020/koper/ (13. okt. 2025)
- Bruand A., Cousin I., 1995. Variation of textural porosity of a clay-loam soil during compaction. *European Journal of Soil Science* 46, 377–385. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01334.x>
- Google Maps. 2025. Zemljevid lokacij. <https://www.google.com/maps/> (6. nov. 2025)
- Huang X., Wang H., Zhang M., Horn R., Ren T. 2021. Soil water retention dynamics in a Mollisol during a maize growing season under contrasting tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 209: 104953, <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104953>
- Hodnik, A., 1988. Chemical analyses of soil and plant samples and leachate (Kemične analize talnih vzorcev, rastlinskih vzorcev in ocednih vod, in: Biotechnical Faculty. Ljubljana, Slovenija, 4–95
- ISO 11274. Soil quality — Determination of the water-retention characteristic – Laboratory methods, 1998: 20 str.
- Jensen J.L., Schjøning P., Watts C., Christensen B., Munkholm L. 2019. Soil water retention: Uni-modal models of pore-size distribution neglect impacts of soil management. *Soil Science Society of America Journal*, 83: 18 26, <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.06.0238>
- Kavvadias V., Koubouris G., 2019. Sustainable Soil Management Practices in Olive Groves, in: Panpatte, D.G., Jhala, Y.K. (Eds.), *Soil Fertility Management for Sustainable Development*. Springer, Singapore, pp. 167–188. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5904-0_8
- Klute A., Dirksen C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods, V: *Methods of soil analysis*. John Wiley & Sons: 687-734, <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c28>
- Lal R., Reicosky D.C., Hanson J.D., 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research* 93, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.11.004>
- López-Vicente M., Álvarez S., 2018. Stability and patterns of topsoil water content in rainfed vineyards, olive groves, and cereal fields under different soil and tillage conditions. *Agricultural Water Management* 201, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.004>
- Márquez-García F., Hayas A., Peña A., Ordóñez-Fernández R., González-Sánchez E.J., 2024. Influence of cover crops and tillage on organic carbon loss in Mediterranean olive orchards. *Soil and Tillage Research* 235, 105905. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105905>
- NF X 31-122. Extraction du bore soluble à l'eau bouillante, 1993. , in: *Qualité des sols*. AFNOR, pp. 91–95.
- Palese A.M., Vignozzi N., Celano G., Agnelli A.E., Pagliai M., Xiloyannis C., 2014. Influence of soil management on soil physical characteristics and water storage in a mature rainfed olive orchard. *Soil and Tillage Research* 144, 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.010>
- Podgornik M., Fantinič J., Bučar-Miklavčič M., Valenčič V., Butinar B., Vodnik D., Gramc H., Kastelec D., Ferlan M., Pintar M. (2022) Oljka, sušne razmere, tla in deficitno namakanje. ZRS Koper, Inštitut za oljkarstvo, Annales ZRS.
- Simoni S., Caruso G., Vignozzi N., Gucci R., Valboa G., Pellegrini S., Palai G., Goggioli D., Gagnarli E., 2021. Effect of Long-Term Soil Management Practices on Tree Growth, Yield and Soil Biodiversity in a High-Density Olive Agro-Ecosystem. *Agronomy* 11, 1036. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061036>
- SIST ISO 11261:1995 - Soil quality - Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method
- Vrhovnik I., Prgomet Ž., Podgornik M. 2012. Ukrepi za zmanjšanje suše in erozije v oljčnikih. V: Mrzlič, D., Arnuš, L., Trajnostni razvoj oljkarstva z zmanjšano porabo fitofarmaceutskih sredstev in hranil : projekt ZOOb Zmanjšanje onesnaževanja in ohranjanje biotske pestrosti v kmetijstvu s poudarkom na oljkarstvu. Nova Gorica: KGZS – Kmetijsko gozdarski zavod. 2012, 29–38.

- Vrhovnik I., Vesel V., Jančar M., Fantinič J., Podgornik M., 2019. Tehnološka priporočila za pridelavo sorte Istrska belica, Spletna izd. ed. Znanstveno-raziskovalno središče Koper, Annales ZRS, Koper.
- Zupanc V., Pintar M., Podgornik M., 2018. Olive production on cultivated terraces in northern Istria. *Annales-Anali za Istrske in Mediteranske Studije - Series Historia et Sociologia* 28, 795–810. <https://doi.org/10.19233/ASHS.2018.48>
- SSSA. 2008. Alphabetical listing of soil terms, A-Z. Glossary of soil science terms. Soil Science Society of America. John Wiley & Sons: 75 str.
- Romano N., Santini A. 2002. Field. V: Methods of soil analysis. Part 4 - Physical methods. SSSA Book Series. Dane J.H. in Topp G.C. (ur.), Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America Book Series: 721-738

