



VPLIV OLJČNIH TROPIN NA TLA IN ODCEDNE VODE

POROČILO O
CILJNORAZISKOVALNEM PROJEKTU
CRP V4-2216

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





Univerza v Ljubljani
Biotehniška fakulteta



POROČILO O CILJNORAZISKOVALNEM PROJEKTU
CRP V4-2216

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

Delovni sklop 3: Poljski poskus za ovrednotenje vpliva uporabe oljčnih tropin na okolje

Vpliv oljčnih tropin na tla in odpadne vode

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

POROČILO O CILJNORAZISKOVALNEM PROJEKTU

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

Avtorji besedila, vsebin in rezultatov: Maja Podgornik¹, Milena Bučar-Miklavčič¹, Gašper Kozlovič¹, Jakob Fantinič¹, Rok Babič¹, Miha Ocvirk², Iztok Jože Košir², Marina Pintar³, Rok Turniški³, Urša Pečan³

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

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

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

Vodja projekta: Maja Podgornik

Glavni urednik založbe: Tilen Glavina

Tehnični uredniki: Maja Podgornik, Alenka Obid

Lektorirala: Nina Novak

Oblikovanje naslovnice: Peter Florjančič

Založnik: Znanstveno-raziskovalno središče Koper, Annales ZRS

Za založnika: Rado Pišot

Spletna izdaja, dostopna na: <https://doi.org/10.35469/978-961-7276-09-1>

pod licenco CC-BY-NC

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.

Povzetek

S projektom CRP V4-2216 Ohranjanje in izboljšanje proizvodnega potenciala tal za trajnostno pridelavo oljk (GO-TO S-OIL) smo želeli ovrednotiti neposredni učinek, ki ga imata čas in način uporabe oljčnih tropin, pridelanih v slovenskih oljarnah, na stanje tal, talno vodo, prehrano rastlin. Na območju slovenske Istre v oljčniku sorte 'Itrana' na lokaciji Marezige je bil zasnovan poljski poskus za ovrednotenje vpliva uporabe oljčnih tropin na okolje. Poskus je vključeval pet obravnav: kontrola – brez dodatka tropin – zatravljeno – obravnava 1; oljčne tropine, dodane na površino tal spomladi – obravnava 2; oljčne tropine, dodane in zdelane v tla spomladi – obravnava 3; oljčne tropine dodane na površino tal jeseni – obravnava 4; oljčne tropine dodane in vdelane v tla jeseni * – obravnava 5. Ugotovljeno je bilo, da oljčne tropine iz dvofazne predelave predstavljajo koristen organski dodatek za tla, saj izboljšujejo njihovo rodovitnost in zadrževanje vode. Vpliv oljčnih tropin na pH tal je odvisen od začetne kislosti tal. Spomladanski nanos oljčnih tropin lahko povzroči slabo ravnovesje hranil in izgubo dušika, zato je primernejši jesenski čas, ko je tveganje za izpiranje hranil in imobilizacija dušika manjše. Tropine je priporočljivo mehansko vdelati v tla, da se zmanjša možnosti točkovnega onesnaženja, vendar pa so zaradi vremenskih razmer možnosti mehanske vdelave v tla v jesenskem času lahko omejene. Za trajnostno rabo je nujno dolgoročno spremljanje vsebnosti težkih kovin, zlasti bakra in cinka, ki se lahko kumulativno nalagata ob ponavljajoči se uporabi oljčnih tropin.

Abstract

Within the CRP V4-2216 project “Preservation and enhancement of soil productive potential for the sustainable cultivation of olives (GO-TO S-OIL)”, we aimed to evaluate the direct effects of the timing and method of applying olive pomace produced in Slovenian olive mills on soil properties, soil water, and plant nutrition. A field experiment was established in an olive orchard of the cultivar Itrana in Marezige (Slovene Istria) to assess the environmental impacts of olive pomace application. The experiment comprised five treatments: a control without pomace applied on managed grass cover (treatment 1); olive pomace applied to the soil surface in spring (treatment 2); olive pomace applied and incorporated into the soil in spring (treatment 3); olive pomace applied to the soil surface in autumn (treatment 4); and olive pomace applied and incorporated into the soil in autumn (treatment 5).

The results showed that two-phase olive pomace is a valuable organic amendment, as it improves soil fertility and water retention. Its effect on soil pH depended on the initial soil acidity. Spring application of olive pomace may cause nutrient imbalances and nitrogen losses; therefore, autumn application is generally more suitable, as the risks of nutrient leaching and nitrogen immobilisation are lower during this period. Mechanical incorporation of olive pomace into the soil is recommended to reduce the risk of point-source contamination; however, in autumn, weather conditions may limit the feasibility of soil incorporation.

For sustainable long-term use, continuous monitoring of heavy metals, particularly copper and zinc, is essential, as these elements may accumulate in the soil with repeated applications of olive pomace.

1 Uvod

Ob nenadzorovanem neposrednem nanosu velikih količin rastlinske vode in oljčnih tropin na tla lahko te zaradi vsebnosti fenolnih spojin negativno vplivajo na rast rastlin in razvoj mikroorganizmov. Fenolne spojine lahko zaradi toksičnega vpliva na mikroorganizme in velike sposobnosti vezave beljakovin omejujejo proces mineralizacije dušika v tleh (De Neve in sod., 2004). Poleg tega lahko pri neprimerni uporabi zavirajo tudi arbuskularno mikorizo (simbioza med glivami iz debla Glomeromycota in večino družin kopenskih rastlin) (Martin in sod., 2002) in toksično delujejo na rastline (naravni herbicid ali zaviralec kalitve semen). Poleg tega se lahko v času delovanja oljarn (oktobra in novembra) ob nenadzorovanih velikih količinah nanosa rastlinske vode in oljčnih tropin na tla fenolne spojine izpirajo v podtalnico. Vendar so nadaljnje raziskave pokazale, da se fitotoksičnost fenolnih spojin v tleh v ugodnih okoljskih pogojih za razgradnjo hitro zmanjša (Barbera in sod., 2013, in Buchmann in sod., 2015). Barbera in sod. (2013) poročajo, da je najprimernejši čas nanosa oljčnih tropin na kmetijska zemljišča takrat, ko ugodne temperaturne in vlažne razmere v tleh spodbujajo biološko aktivnost in razgradnjo fenolnih spojin. Avtorji so ugotovili, da so fenoli v tropinah, ki so nanosene na zemljišču, zelo hitro razgradljivi. Proces razgradnje traja od meseca dni do treh mesecev. Vendar Piotrowska in sod. (2011) ter Dermeche in sod. (2013) poudarjajo, da je sposobnost tal za nevtralizacijo vnosa rastlinske vode in oljčnih tropin močno odvisna od značilnosti in tipa tal. Pri velikih količinah nanosa tropin na površino tal lahko tudi emulgirane maščobe (razpršene manjše kapljice maščob) v oljčnih tropinah ustvarijo pogoje, ki niso ugodni za ohranjanje dobre strukture tal (zlasti glinenih). Na površini tal lahko nastane nepropusten sloj, ki omeji izmenjavo plinov med tlemi in atmosfero in kroženje zraka v aktivni plasti tal, kar negativno vpliva na dihanje korenin in talnih organizmov (Nieto, 2016). Hkrati primeren nanos oljčnih tropin poveča organsko snov v tleh, ki je vir rastlinskih hranil, sodeluje pri tvorbi strukturnih agregatov, poveča kationsko izmenjalno kapaciteto tal, ki se izraža v večji sposobnosti za vezavo rastlinskih hranil (zmanjšanje izpiranja rastlinskih hranil v podtalnico), izboljša sposobnost tal za zadrževanje vode in je vir ogljika za številne talne organizme, ki so aktiven in zelo pomemben del tal. V sredozemskih tleh, v katerih je nizka vsebnost organske snovi, je gnojenje z oljčnimi tropinami priporočljiv ukrep za povečanje organske snovi (López-Piñeiro in sod. 2008, 2011). Na območjih, kjer v Sloveniji uspevajo oljke, so tla v prvem (zgornjem) horizontu slabo humozna (1–2 %) do srednje humozna (2–4 %). Optimalna vsebnost organske snovi oz. humusa v tleh se razlikuje glede na vrsto kulture (priporočena vrednost za tla oljčnih nasadov je vsaj 4 % organske snovi). Oljčne tropine in rastlinska voda imajo rahlo nizek pH (4,3–5,5) in bi lahko ob neustrezni uporabi povzročile zakisanje tal. Na srečo ima velik del Slovenije tla, razvita na matičnih podlagah z veliko Ca in Mg-kationov in karbonatov (ARSO, 2019). Pufrna sposobnost takih tal je velika, zato ni bojazni, da bi pri zmerni uporabi oljčnih tropin prišlo do zakisanja tal. Hkrati so zgornji horizonti tal na karbonatnem flišu obalnega in priobalnega območja in plitvih (skeletnih) tleh na apnencu nevtralni ali celo šibko bazični (pH > 7,2).

V okviru projekta V4-1621 Možnosti uporabe ostankov proizvodnje v oljkarstvu (1. 10. 2016–30. 9. 2019) smo v izbranih oljčnikih ovrednotili vpliv oljčnih tropin predelanih z uporabo dvofaznih dekanterjev na pH, vsebnost kalija (K_2O) v tleh, skupnega dušika (TN) v tleh in na razmerje C/N. S projektom CRP V4-2216 Ohranjanje in izboljšanje proizvodnega potenciala tal za trajnostno pridelavo oljk (GO-TO S-OIL) pa želimo ovrednotiti tudi neposredni učinek, ki ga imata čas in način uporabe oljčnih tropin, pridelanih v slovenskih oljarnah, na stanje tal, talno vodo, prehrano rastlin in biološko aktivnosti tal, saj je znano, da mineralna sestava in vsebnosti fenolov v oljčnih tropinah močno nihajo glede na dolžino skladiščenja, sortiment, tehnologijo predelave, dozorevanje oziroma pogoje pridelave oljk.

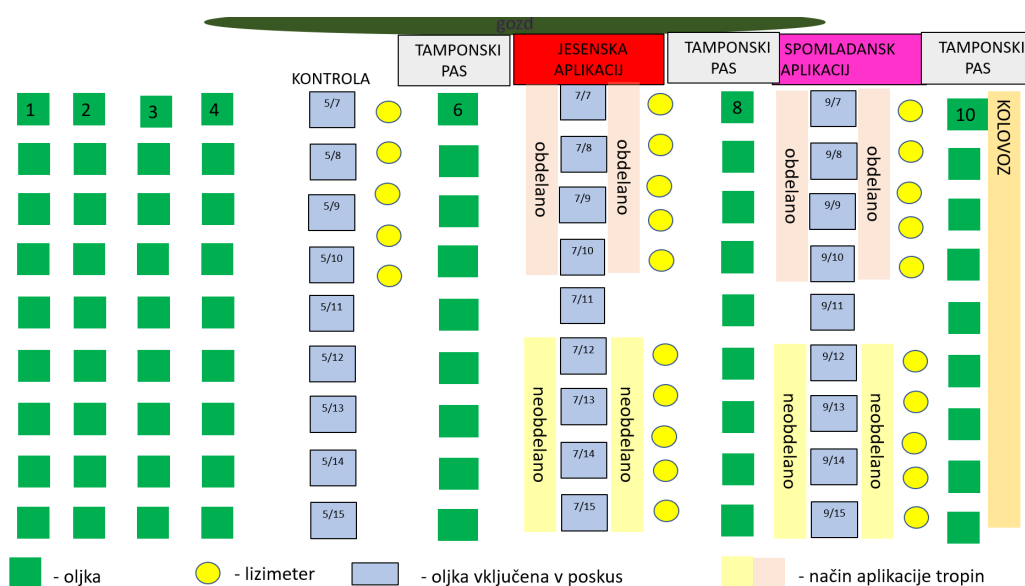
2 Material in metode

2.1 Opis lokacije in zasnova poskusa

Novembra 2022 je bil na območju slovenske Istre v oljčniku sorte 'Itrana' na lokaciji Marezige (k. o. 2611 Marezige, parc. št. 1944) (45°29'54.0"N; 13°47'29.9"E) zasnovan poljski poskus za ovrednotenje vpliva uporabe oljčnih tropin na okolje. Poskus je vključeval pet obravnav:

- kontrola – brez dodatka tropin – zatravljeno – obravnava 1;
- oljčne tropine, dodane na površino tal spomladi – obravnava 2;
- oljčne tropine, dodane in zadelane v tla spomladi – obravnava 3;
- oljčne tropine dodane na površino tal jeseni – obravnava 4;
- oljčne tropine dodane in vdelane v tla jeseni * – obravnava 5 (slika 1).

*Zaradi razmočenosti terena v času jesenske uporabe ni bilo mogoče izvesti vdelave tropin v tla, zato je bila obravnava 5 v nadaljevanju izključena iz opazovanj oziroma priključena obravnavi 4. V študije so bile tako zajete štiri obravnave (1–4).



Slika 1: Zasnova poskusa v nasadu sorte 'Itrana' na lokaciji Marezige (45°29'54.0"N 13°47'29.9"E)

Da bi v študijo vključili tudi dejanske pridelovalne prakse oljkarjev in oljarjev in verodostojno ovrednotili uporabo oljčnih tropin na vsebnost hranil v listih, smo v istem poskusnem nasadu (slika 1) ob vsakem vzorčenju tal in listov dodatno odvzeli po štiri vzorce z območja nasada, kjer oljčne tropine niso bile dodane, ter štiri vzorce z območja nasada, kjer so bile tropine na površino tal nanesene jeseni. Rezultate zadnjih analiz smo vključili v interpretacijo rezultatov obravnav 1 (kontrola) in 4 (jesenska uporaba na površini tal), saj predstavljajo razmere v praksi in s tem dopolnjujejo eksperimentalne ugotovitve.



Slika 2: Poskusni oljčnik sorte 'Itrana' na lokaciji Marezige

Na izbrane poskusne površine za obravnave 2, 3 in 4 smo na kmetijsko zemljišče vnesli oljčne tropine v največjem odmerku ($87 \text{ m}^3/\text{ha}$), kot je dovoljeno z Uredbo o uporabi oljčnih tropin in rastlinske vode za gnojenje za tehnološki postopek dvofazni dekanter.

Nanos oljčnih tropin na kmetijsko površino je bil izveden na te datume:

- 4. 3. 2023,
- 18. 11. 2023,
- 25. 3. 2024,
- 9. 11. 2024.

V času spomladanskih nanosov oljčnih tropin (9. 3. 2023 in 14. 2. 2024) je bila celotna kmetijska površina pognojena z dušičnim gnojilom (UREA) v odmerku $0,5 \text{ kg N}/\text{drevo}$. Pri obravnavi 3 so bile oljčne tropine ob nanosu zadlane v tla (2023 – 23. 3. 2024; 2024 – 1. 3. 2024).



Slika 3: Spomladanski raztros tropin

2.2 Določanje pedoloških lastnosti tal

Na izbrani lokaciji je bil 1. 12. 2022 izveden izkop pedološkega profila (slika 3) do matične podlage. Morfološki opis lastnosti tal je bil narejen v skladu z navodili za opisovanje tal Guideline for soil description (FAO, 2006). V izkopanem pedološkem profilu je bilo določeno šest talnih horizontov. V petih horizontih so bili odvzeti vzorci tal za fizikalno-kemijske analize. Pedološke analize so bile izdelane v skladu z metodami, opisanimi v preglednici 1.



Slika 4: Pedološki profil tal na lokaciji Marezige

Preglednica 1: Analizne metode

Talna lastnost	Oznaka metode (ISO, SIST ISO, drugo)	Naziv standarda oziroma postopek metode
priprava vzorca	SIST ISO 11464, 1995	kakovost tal: priprava vzorcev za fizikalno-kemijske analize
pH (reakcija tal)	SIST ISO 10390, 1996	kakovost tal: ugotavljanje pH; elektrometrično merjenje v suspenziji tal z 0,01 mol/l CaCl ₂
CaCO ₃ (prosti karbonati)	SIST EN ISO 10693, 2014	kakovost tal: določanje karbonatov – volumetrijska metoda
tekstura tal (pesek, melj, glina, teksturni razred)	SIST ISO 11277, 2020	kakovost tal: določanje porazdelitve velikosti delcev v mineralnem delu tal - metoda s sejanjem in usedanjem
OS, N, C/N (organski ogljik/organska snov/razmerje C/N)	SIST ISO 10694, 1996 SIST ISO 13878, 1999	kakovost tal: določanje organskega in celotnega ogljika po suhem sežigu (elementna analiza) kakovost tal: določanje celotnega dušika s suhim sežigom (elementna analiza), izračun razmerja C/N
K ₂ O (dostopni kalij)	SIST-TS: metoda AL (Egner in sod., 1960)	amon-laktatna (AL) ekstrakcija rastlinam dostopnega kalija in določitev z absorpcijsko spektroskopijo (AAS)
P ₂ O ₅ (dostopni fosfor)	SIST-TS: metoda AL (Egner in sod., 1960)	amon-laktatna (AL) ekstrakcija rastlinam dostopnega fosforja in spektrofotometrična določitev
Ca ²⁺ (izmenljivi kalcij)	SIST ISO 13536; modificiran	amon-acetatna ekstrakcija (Soil survey laboratory methods manual, 1992)
Mg ²⁺ (izmenljivi magnezij)	SIST ISO 13536; modificiran	amon-acetatna ekstrakcija (Soil survey laboratory methods manual, 1992)
K ⁺ (izmenljivi kalij)	SIST ISO 13536; modificiran	amon-acetatna ekstrakcija (Soil survey laboratory methods manual, 1992)
Na ⁺ (izmenljivi natrij)	SIST ISO 13536; modificiran	amon-acetatna ekstrakcija (Soil survey laboratory methods manual, 1992)
S (vsota izmenljivih bazičnih kationov)	izračun: Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + K ⁺ + Na ⁺	seštevek bazičnih kationov
V (zasičenost z bazičnimi kationi)	KIK/S * 100	zasičenost z bazičnimi kationi

2.3 Analiza vsebnosti hranil v oljčnih tropinah, tleh in rastline

Da bi preučili vpliv uporabe oljčnih tropin na prehranjenost rastline in vsebnost hranil v tleh smo v letih 2023 in 2024 izvedli vzorčenje listov in tal v dveh obdobjih (1. odvzem – zgodaj spomladi in 2. odvzem – sredi poletja). Prvi odvzem vzorcev je bil izveden spomladi, tik pred uporabo oljčnih tropin in mineralnega gnojila, in sicer 20. 2. 2023 in 20. 2. 2024, za določitev začetnega stanja hranil v rastlini in tleh. Drugi odvzem vzorcev je bil izveden po končanih ključnih fenoloških fazah, v katerih je pričakovan večji odvzem hranil – 7. 7. 2023 in 15. 7. 2024. Za vsako obravnavo je bil odvzet reprezentativni vzorec listov (200 listov/obravnavo – na sredini enoletnega poganjka) in 0,5 kg vzorcev tal iz zgornje plasti (0–25 cm).

Vzorci listov so bili posušeni pri sobni temperaturi do konstantne mase. Posušeni vzorci so bili zmleti do fine konsistence. Zmlet material je bil uporabljen za določitev vsebnosti hranil: skupni dušik (N) v skladu s standardom ISO 11261:1995, skupni fosfor (kot P_2O_5), kalij (kot K_2O), kalcij (Ca), magnezij (Mg) ter mikroelementi (baker (Cu), cink (Zn), mangan (Mn) in železo (Fe)) so bili določeni po metodi Hodnika (1988), bor (B) pa po standardu NF X31-122.

Pri vsaki obravnavi je bil z uporabo travniške sonde z globine 0–30 cm odvzet povprečen vzorec tal, ki ga je sestavljalo več podvzorcev, ki so bili odvzeti med posamezno obravnavo in so bili pred analizo temeljito homogenizirani. Na homogeniziranih vzorcih so bile izvedene te kemične analize: pH-vrednost je bila določena v skladu s standardom ISO 10390:2005, vsebnost organske snovi v skladu s standardom ISO 14235:1999, skupni dušik (N) v skladu s standardom ISO 11261:1995, fosfor (kot P_2O_5), kalij (kot K_2O), kalcij (CaO), magnezij (Mg) in mikroelementi (baker (Cu), cink (Zn), mangan (Mn) in železo (Fe), izraženi v mg/kg) so bili določeni po analitičnih metodah Hodnika (1988) in Popoviča (1963).

Kemijske analize vsebnosti hranil so bile opravljene tudi na vzorcih oljčnih tropin, ki so bili odvzeti pred izvedbo nanosa na kmetijsko površino in pripravo gnojilnega načrta (6. 11. 2023 in 15. 11. 2024). V vzorcih oljčnih tropin so bili določeni celokupni fosfor, celokupni kaliji, celokupni kalciji, magneziji, bori, Fe, Mn, Cu, Zn, celokupni dušiki in dušiki v nitratni obliki.

2.4 Analiza vsebnosti fenolnih spojin v listih

Oljčne liste smo sušili na zraku pri sobni temperaturi vsaj 3 do 4 tedne oziroma, dokler se listi niso začeli drobiti pod prsti. Posušene oljčne liste smo nato s pomočjo kavnega mlinčka zmleli v prah. Zmlete oljčne liste smo shranili v plastične lončke, ki smo jih hranili pri sobni temperaturi.

Določanje preostale vlage v oljčnih listih

1 g suhega, zmletega vzorca smo stehali z natančnostjo 0,1 mg v petrijevko in ga dali sušiti v peč. Sušenje je potekalo 2 uri pri 105 °C. Po končanem sušenju smo vzorce ohladili v eksikatorju ter iz izgube mase izračunali preostalo vsebnost vlage v vzorcih. Dobljene rezultate smo uporabili za preračun vsebnosti fenolnih spojin na suho snov.

Priprava standardov za umeritveno krivuljo

Kalibracijski raztopini oleuropeina in verbaskozida smo pripravili tako, da smo stehali približno po 10 mg posameznega standarda z natančnostjo 0,01 mg in vsakega prenesli v svojo 25 mL bučko in dopolnili do oznake z metanolom.

Umeritveni krivulji smo pripravili tako, da smo na tekočinskem kromatografu injicirali različne volumne standardnih raztopin po spodnjem postopku:

Za olevropein:

- KAL 1: 0,5 µL kalibracijske raztopine olevropeina
- KAL 2: 0,75 µL kalibracijske raztopine olevropeina
- KAL 3: 1 µL kalibracijske raztopine olevropeina
- KAL 4: 5 µL kalibracijske raztopine olevropeina
- KAL 5: 10 µL kalibracijske raztopine olevropeina
- KAL 6: 15 µL kalibracijske raztopine olevropeina
- KAL 7: 20 µL kalibracijske raztopine olevropeina

Za verbaskozid:

- KAL 1: 1 µL kalibracijske raztopine verbaskozida
- KAL 2: 5 µL kalibracijske raztopine verbaskozida
- KAL 3: 10 µL kalibracijske raztopine verbaskozida
- KAL 4: 20 µL kalibracijske raztopine verbaskozida

Priprava vzorcev

V 100 mL erlenmajerico smo stehali 0,5 g uprašenega vzorca z natančnostjo 0,1 mg in ekstrahirali z 25 mL metanola na magnetnem mešalu pri 60 °C, 30 min. Ohlajen ekstrakt smo prefiltrirali skozi filter papir z modrim trakom v 50 mL merilno bučko, erlenmajerico in filter smo spirali z metanolom. Nato smo bučko dopolnili do oznake z metanolom. Po 1 mL tako dobljenega ekstrakta smo odpipetirali v 10 mL merilno bučko in dopolnili do oznake z ultra čisto vodo. Tako pripravljene vzorce smo prefiltrirali skozi PVDF ISO disc filter (Ø 13 mm, 0,45 µm) v 2 mL viala.

HPLC analiza

Analize smo izvedli na visokotlačnem tekočinskem kromatografu Agilent 1260 z diodnim detektorjem (DAD) na koloni Luna 5u PFP(2) 100A (481355-1). Uporabljen elucijski gradient je bil voda/mravljična kislina (99,9:0,1, v/v) (A) in acetonitril/metanol/mravljična kislina (49,95:49,95:0,1, v/v) (B). Pretok je bil 1 mL/min. Uporabljena sta bila dva gradientna sistema, in sicer: 0 min 4 % B, 40 min 50 % B, 45 min 60 % B, 60 min 100 % B, 70 min 100 % B, 72 min 4 %. Po analizi je sledil 10-minutni postopek za uravnoteženje in izpiranje kolone. Temperatura kolone je bila nastavljena na 20 °C, vbrizgani volumen za vsak vzorec pa je znašal 20 µL.

V ekstraktu oljčnih listov smo identificirali 13 biofenolnih spojin: 3-hidroksitirozol-O-glukozid, sekologanozid, tirozol, hidroksitirozol, hidroksioleuropein, verbaskozid, luteolin-7-O-glukozid, oleuropein, olevrozid, apigenin-7-O-glukozid, ligstrozid, luteolin in apigenin.

Kvantifikacijo biofenolov smo izvedli z uporabo zunanjega standarda. Olevropein smo uporabili za določanje koncentracij vseh asigniranih in neasigniranih biofenolov, razen za verbaskozid, kjer smo kot standard uporabili verbaskozid. Kromatogrami so bili posneti z uporabo DAD detektorja pri valovni dolžini 280 nm. Koncentracije posameznih spojin smo izračunali na podlagi umeritvenih krivulj standardov in jih izrazili kot miligrame ekvivalenta standarda na gram suhe snovi.

2.5 Analiza vsebnosti fenolnih spojin in nitratov v odcedni vodi

Zaradi zbiranja odcedne vode, v kateri smo spremljali vsebnost nitratov in biofenole, so bili 30. 11. 2022 na podlagi predhodne zakoličbe poskusa in izkopa jam vgrajeni lizimetri (5 obravnav $\times$ 5 ponovitev oz. lizimetrov). Lizimetri so bili vgrajeni na globini 60 cm. Po vgradnji je sledilo zelo slabo vreme, kar je močno vplivalo na razmočen teren ter onemogočilo dostop s strojno mehanizacijo in zagrinjanje jam, v katerih so bili vgrajeni lizimetri. Ker lizimetri niso bili stabilno pričvrščeni, jih je 8. 12. 2022 voda odplaknila.

Ponovna vgradnja lizimetrov je bila izvedena 7. 2. 2023. Na lizimetre smo nasuli prod in jih s filcem zaščitili pred usedanjem finih talnih delcev. Vsak lizimeter smo s cevmi povezali s plastičnim zbiralnikom odcedne vode, iz katerih se je po padavinskih dogodkih s peristaltično črpalko vzorčila odcedna voda. Zbiralnike smo zaščitili z lesenim ogradjem, po vgradnji smo jarke pazljivo zasuli.



Slika 5: Vgradnja lizimetrov 7. 2. 2023.

Odvzem vzorcev odcedne vode je bil izveden po vsakem večjem padavinskem dogodku, in sicer ko se je v zbiralnikih akumulirala zadostna količina vode za analize. Za določanje vsebnosti nitratov je bilo odvzetih 200 mL odcedne vode, medtem ko je bilo za analize vsebnosti posameznih in skupnih fenolov

odvzetih po 100 mL vzorca. Zbiralniki so bili izpraznjeni po odvzemu vzorca in pred padavinskim dogodkom.

Vzorci so bili odvzeti na te datume:

- 30. 3. 2023,
- 11. 8. 2023,
- 24. 10. 2023,
- 20. 11. 2023,
- 4. 12. 2023,
- 4. 1. 2024,
- 20. 2. 2024,
- 2. 4. 2024,
- 5. 8. 2024,
- 10. 9. 2024,
- 11. 12. 2024.



Slika 6: Vzorci odcedne vode

Pri vseh odvzetih vzorcih so bile opravljene analize za določitev fenolne sestave, vsebnost skupnih fenolnih spojin in nitrata v vodi.

2.5.1 Analiza vsebnosti fenolnih spojin v odcedni vodi

Odvzete vzorce vode smo takoj po vzorčenju shranili v hladilnik (8 °C) za analizo fenolnih spojin.

Priprava standardov za umeritveno krivuljo

Osnovne kalibracijske raztopine tirozola in hidroksitirozola smo pripravili tako, da smo zatehtali približno po 10 mg posameznega standarda z natančnostjo 0,01 mg v 10-mililitrsko merilno bučko in dopolnili do oznake z raztopino metanol/voda (80/20 v/v).

Delovne kalibracijske raztopine smo pripravili z redčenjem osnovne kalibracijske raztopine. Za vsako kalibracijsko točko (KAL 1–KAL 5) smo v 10-mililitrsko merilno bučko odmerili ustrezen volumen osnovne kalibracijske raztopine po tem postopku:

- KAL 1: 0,1 mL osnovne kalibracijske raztopine,

- KAL 2: 0,5 mL osnovne kalibracijske raztopine,
- KAL 3: 1,0 mL osnovne kalibracijske raztopine,
- KAL 4: 2,0 mL osnovne kalibracijske raztopine,
- KAL 5: 5,0 mL osnovne kalibracijske raztopine.

Merilne bučke smo v vseh primerih dopolnili do 10 mL z raztopino metanol/voda (80/20, v/v).

Na tekočinskem kromatografu smo injicirali po 20 µL posamezne kalibracijske raztopine.

Priprava vzorcev

5 mL vzorca smo odpipetirali v 10-mililitrsko bučko z okroglim dnom in pri 40 °C do suhega posušili na rotavaporju (BÜCHI R-210 ali BÜCHI R-300). Posušeni ostanek smo rekonstituirali z 1 mL raztopine metanol : voda 80 : 20 (V/ V). Ekstrakt vzorca smo prefiltrirali skozi Ø 13 mm ISO disc PVDF filter (0,45 µm) v 2-mililitrsko vialo.

HPLC-analiza

Za analizo biofenolov smo uporabili visokotlačni tekočinski kromatograf Agilent 1260, opremljen s trojnim kvadrupolnim masnim spektrometrom Agilent 6420 (LC-MS/MS). V odcedni vodi smo določili devet biofenolnih spojin: hidroksitirozol, tirozol, kavno kislino, vanilin, ferulno kislino, verbaskozid, oleuropein, luteolin in apigenin. Določitev posameznih spojin je temeljila na primerjavi retencijskih časov in masnih fragmentov z ustreznimi standardi, kjer so bili ti na voljo.

Kvantifikacijo biofenolov smo izvedli z uporabo zunanjih standardov. Asignirane in neasignirane biofenole smo kvantificirali glede na hidroksitirozol, razen apigenina, ki smo ga kvantificirali glede na tirozol.

Analize smo izvedli na tekočinskem kromatografu Agilent 1260 z diodnim detektorjem (DAD) na koloni Synergi 4u Hydro RP80A (H18-272538; KN18). Uporabljena elucijski gradienta sta bila voda/mravljična kislina (99,9 : 0,1, v/v) (A) in acetonitril/metanol/mravljična kislina (49,95 : 49,95 : 0,1, v/v) (B). Pretok je bil 1 mL/min. Uporabljena sta bila dva gradientna sistema, in sicer: 0 min 4 % B, 40 min 50 % B, 45 min 60 % B, 60 min 100 % B, 70 min 100 % B, 72 min 4 %. Po analizi je sledil 10-minutni postopek za uravnoteženje in izpiranje kolone. Temperatura kolone je bila nastavljena na 20 °C, vbrizgani volumen za vsak vzorec pa je znašal 20 µL.

2.5.2 Analiza vsebnosti nitratov v odcedni vodi

Odvzete vzorce vode smo takoj po vzorčenju shranili v zamrzovalno skrinjo (–16°C). Pri vseh odvzetih vzorcih so bile opravljene analize za vsebnost nitratov v vodi. To vsebnost smo določili po standardni metodi DIN EN 12014-2:2013-05 z visokoločljivim tekočinskim kromatografom HPLC.

2.6 Obdelava podatkov

Vse statistične analize so bile izvedene z uporabo statističnega programskega paketa R, ki je prostodostopno programsko orodje za statistične izračune in grafično prikazovanje podatkov. Za primerjavo povprečnih vrednosti med obravnavami je bila uporabljena enosmerna analiza variance (ANOVA). Če je ANOVA pokazala statistično značilne razlike med obravnavami, je bil za nadaljnjo primerjavo srednjih vrednosti uporabljen Duncanov test večkratnih primerjav.

3 Rezultati in diskusija

3.1 Pedološke lastnosti tal

Morfološke lastnosti tal

Tla preiskovanega območja so nastala na flišu, ki je značilna geološka formacija v Slovenskem primorju. Izmenjuje se več vrst različno zrnatih sedimentnih kamnin, pretežno peščenjakov, laporovcev in muljevcev.

Tla so bila agromeliorirana (globoko orana) do globine 60/65 cm. Plasti naravnih tal so bile premešane, zato smo horizonte označili z oznako P. Na površini se počasi oblikuje humusno akumulativni horizont A, vendar pa pri tem zaradi majhne debeline nismo mogli odvzeti reprezentativnega vzorca. Zaradi specifičnih lastnosti flišnih sedimentov, ki dopuščajo prodiranje rastlinskih korenin, smo za fizikalno-kemijske analize odvzeli tudi vzorce tal v zdrobljeni matični podlagi (horizonta C1 in C2) (preglednica 2).

Preglednica 2: Morfološke lastnosti tal

Zap. št.	Sloj	Globina	Stuktura	Konsistenca	Vlaga	Prekoreninjenost	Skelet	Novotvorbe
H1	A	0–1	grudičasta	drobljiva	svež	srednje goste		
H2	P1	1–11	poliedrična	gosta, drobljiva	svež	redke do srednje goste	< 1 %	konkrecije Fe, Mn, marmoracije
H3	P2	11–40	poliedrična	drobljiva	svež /vlažen	redke	< 1 %	marmoracije
H4	P3	40–65	poliedrična	drobljiva	svež /vlažen	posamezne	< 1 %	konkrecije Fe, Mn, marmoracije
H5	C1	65–80	brez strukture		svež /vlažen	posamezne		marmoracije
H6	C2	80–100+	brez strukture		svež /vlažen	posamezne		marmoracije

Fizikalne in kemijske lastnosti tal

Fizikalno-kemijske analize potrjujejo morfološko določeno mejo globoke obdelave, saj se lastnosti horizonta P3 (antropogeni horizont) in C1 (matična podlaga) v skoraj vseh parametrih razlikujejo (preglednica 3). Najočitnejše so razlike v teksturi, vrednosti pH in deležu organske snovi. Glede na majhno vrednost pH v matični kamnini (pH 4,4–4,5) v flišnem sedimentu na tem območju ni prisotnega kalcita oziroma laporovcev oziroma je sediment sestavljen le iz peščenjakov in muljevcev. V tem delu oljčnika gnojenje s fosforjem in kalijem ni bilo izvedeno oziroma ni bilo izdatno, da bi se povečala založenost v zgornjih horizontih.

Preglednica 3: Analitični podatki standardne pedološke analize

Številka horizonta	Oznaka horizonta	Globina (cm)	Pesek(%)	Melj (%)	Glina (%)	Tekst. razred	Organska snov (%)	C/N	N (%)	P2O5 (mmolc/100g tal)	K2O (mmolc/100g tal)
H1	A	0–1									
H2	P1	1–11	4,3	53,9	41,8	MG	1,4	13,3	0,06	0,7	14,5
H3	P2	11–40	9,8	57,0	33,2	MGI	1,7	11,1	0,09	0,7	11,8
H4	P3	40–65	10,1	54,9	35,0	MGI	1,7	11,1	0,09	1,0	13,0
H5	C1	65–80	6,1	42,5	51,4	MG	0,3	5,0	0,04	0,7	16,9
H6	C2	80–100	0,5	48,7	50,8	MG	0,3	4,0	0,05	0,7	19,6
Številka horizonta	Oznaka horizonta	Globina (cm)	pH (CaCl2)	Ca ²⁺ (mmolc/100g tal)	Mg ²⁺ (mmolc/100g tal)	K ⁺ (mmolc/100g tal)	Na ⁺ (mmolc/100g tal)	S (mmolc/100g tal)	KIK (%)	V (%)	CaCO ₃ (%)
H1	A	0–1									
H2	P1	1–11	5,6	14,22	2,01	0,35	0,11	16,7	43,84	0,7	14,5
H3	P2	11–40	5,6	12,26	1,70	0,25	0,09	14,3	33,87	0,7	11,8
H4	P3	40–65	5,7	12,31	1,64	0,26	0,10	14,3	28,42	1,0	13,0
H5	C1	65–80	4,4	14,95	2,89	0,48	0,15	18,5	45,87	0,7	16,9
H6	C2	80–100	4,5	18,20	2,78	0,46	0,15	21,6	48,65	0,7	19,6

3.2 Vsebnost hranil v oljčnih tropinah, tleh in listih

Vsebnost hranil v oljčnih tropinah

Analiza oljčnih tropin iz sistema predelave z dvofaznim dekanterjem je pokazala, da so te bogate s kalijem (K: 7,32–16,1 g/kg s. s.), vendar zelo slabo založene s kalcijem (Ca: 0,7–2,4 g/kg s. s.), fosforjem (P: 0,1–1,5 g/kg s. s.), magnezijem (Mg: 0,3–0,4 g/kg s. s.). Poleg tega je v oljčnih tropinah v primerjavi z drugimi gnojili zelo malo dušika (skupni N: 8,2–16,2 g/kg s. s.), ki pa je pretežno v organski obliki, zato rastlinam ni dostopen (rastlinam dostopen dušik (NO₃: 0,20–2,0 g/kg s. s.)). Glavno mikrohranilo v oljčnih tropinah je železo (Fe: 78,8–712,27 mg/kg s. s.). Druga mikrohranila, kot so baker (Cu), mangan (Mn) in cink (Zn), so v oljčnih tropinah prisotna v zelo majhnih količinah (preglednica 4). Rezultati izvedene analize so v skladu s prejšnjimi študijami (Podgornik in sod., 2019, in Alburquerque in sod., 2004), v katerih so prav tako navedene vsebnosti hranil v oljčnih tropinah iz sistema predelave z dvofaznim dekanterjem.

Preglednica 4: Sestava oljčnih tropin iz sistema pridelave z dvofaznim dekanterjem po podatkih iz literature in analizah vzorcev, odvzetih po predelavi oljk novembra v sezonah 2022, 2023 in 2024.

Parameter (na suho snov)	Enota	Značilnosti tropin letnika 2016 in 2017 (Podgornik in sod., 2019)	1. 12. 2022	6. 11. 2023	15. 11. 2024
vsebnost vlage	%, na svež vzorec	52,06–77,32	72,1	65,8	62,7
skupni N	g/kg	7,52–14,43	11,6	16,2	8,2
P	g/kg	0,41–2,02	1,5	0,8	0,1
K	g/kg	4,79–23,72	16,1	8,2	7,3
Ca	g/kg	1,41–5,16	2,4	0,7	1,6
Mg	g/kg	/	0,4	0,4	0,3
B	mg/kg	/	21,1	15,9	9,1
Zn	mg/kg	/	10,2	22,1	22,2
Cu	mg/kg	8,20–21,39	11,3	6,6	7,5
Fe	mg/kg	60,30–992,51	78,8	84,2	712,3
Mn	mg/kg	/	7,9	5,5	8,7
NO ₃	g/kg	/	0,2	2,0	1,7

Vsebnost hranil in vode v tleh in reakcija tal

Analiza vzorcev tal, odvzetih na zemljišču, kjer so bile oljčne tropine nanese v različnih obdobjih (»jeseni«, »spomladi«, »spomladi z vdelavo v tla«), in na kontrolni površini brez uporabe tropin, je pokazala, da uporaba oljčnih tropin statistično značilno vpliva na talno reakcijo (pH), vsebnost vode, fosforja (P), magnezija (Mg), cinka (Zn) in bakra (Cu) (preglednica 5).

Preglednica 5: Vsebnost hranil v tleh pri posamezni obravnavi v primerjavi z mejnimi vrednostmi

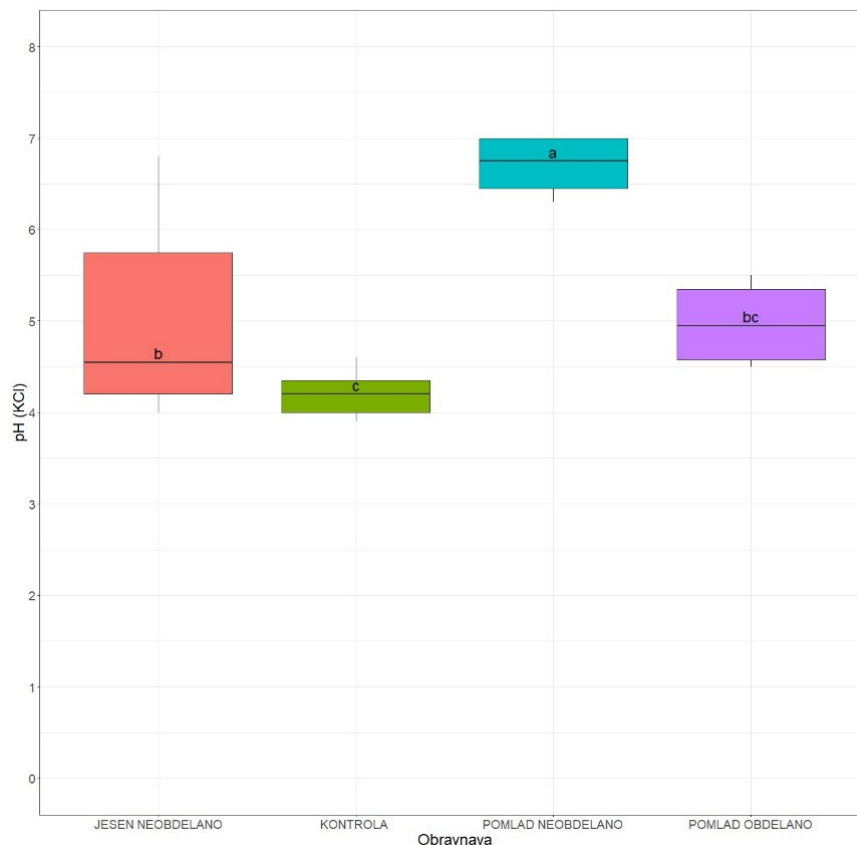
	Kontrola	Jesen – neobdelano	Pomlad – neobdelano	Pomlad –obdelano	Mejne vrednosti	Vir
Vlaga (%)	15,10 ± 2,56	16,98 ± 3,51	22,78 ± 11,41	18,13 ± 2,26		
Skupni N (%)	0,04 ± 0,03	0,06 ± 0,05	0,10 ± 0,07	0,07 ± 0,05	0,11–0,20	(García Zamorano in sod., 2010).
Nitrati (NO ₃ ⁻) mg/kg	9,87 ± 9,16	7,89 ± 7,30	8,11 ± 3,76	7,68 ± 3,54		
Amoniakalni dušik (NH ₄ -N) mg/kg	73,49 ± 44,36	88,68 ± 62,61	100,09 ± 55,86	70,75 ± 34,98		
P ₂ O ₅ (mg/100g)	0,86 ± 0,63	1,87 ± 1,38	3,58 ± 1,89	1,32 ± 0,68	13–25	(Leskovšek, 1993)
K ₂ O (mg/100g)	16,66 ± 3,70	20,48 ± 7,01	18,58 ± 3,98	17,34 ± 1,81	23–33	(Leskovšek, 1993)
B (mg/kg)	0,55 ± 0,23	0,60 ± 0,37	0,76 ± 0,43	0,60 ± 0,11	0,25–0,80	(Mihelič in sod., 2010)
Cu (mg/kg)	30,14 ± 7,29	32,22 ± 6,92	41,89 ± 7,70	39,21 ± 3,78	60	(Uradni list RS, št. 68/96, 41/04 – ZVO-1 in 44/22 – ZVO-2)
Mg (mg/100g)	31,73 ± 6,29	23,67 ± 5,43	11,71 ± 2,50	16,96 ± 1,59	10–20	(Mihelič in sod., 2010)
Zn (mg/kg)	67,48 ± 13,06	75,79 ± 18,67	114,66 ± 66,23	85,64 ± 9,49	200	(Uradni list RS, št. 68/96, 41/04 – ZVO-1 in 44/22 – ZVO-2)
Mn mg/kg	1138,70 ± 432,41	1208,09 ± 293,01	818,31 ± 434,29	718,55 ± 119,1	30–60	
Fe mg/kg	39172,89 ± 11934,21	40759,22 ± 5678,79	42188,23 ± 9886,96	42274,07 ± 5957,22	20.000 in 50.000	(Hodnik, 1988)
Organski ogljik %	0,96 ± 0,22	1,24 ± 0,40	1,32 ± 0,33	1,15 ± 0,21	/	
Organska snov (humus) %	1,67 ± 0,38	2,15 ± 0,70	2,30 ± 0,57	2,00 ± 0,36	2–4	(Giandon in Bortolami, 2007)
Razmerje C/N	24,00 ± 23,50	20,67 ± 23,91	13,20 ± 12,5	16,43 ± 14,71	10–12	(García Zamorano in sod., 2010).
pH (s KCl)	4,20 ± 0,24	5,04 ± 1,02	6,70 ± 0,36	4,98 ± 0,50	6,6–7,2 nevtralna tla	(García Zamorano in sod., 2010).

pH

Različne študije so dokazale, da imajo oljčne tropine, pridobljene iz sistema predelave z dvofaznimi dekanterji, nizko pH-vrednost. Povprečne vrednosti pH se gibljejo med 4,67 in 5,32 (Alburquerque 2003; Angeloni in sod., 2024). Iz tega je mogoče pričakovati, da nanos oljčnih tropin na tla povzroči zakisanje tal.

To je bilo tudi dokazano v raziskavi vrednotenja neposredne uporabe oljčnih tropin iz sistema predelave z dvofaznimi dekanterji na tleh z začetnimi pH-vrednostmi od 7,2 do 7,4, v kateri so Podgornik in sod. (2022) dokazali rahlo znižanje pH. Znižanje pH-vrednosti je bilo pripisano razgradnji organske snovi in nastanku organskih kislin v začetnih fazah razgradnje tropin.

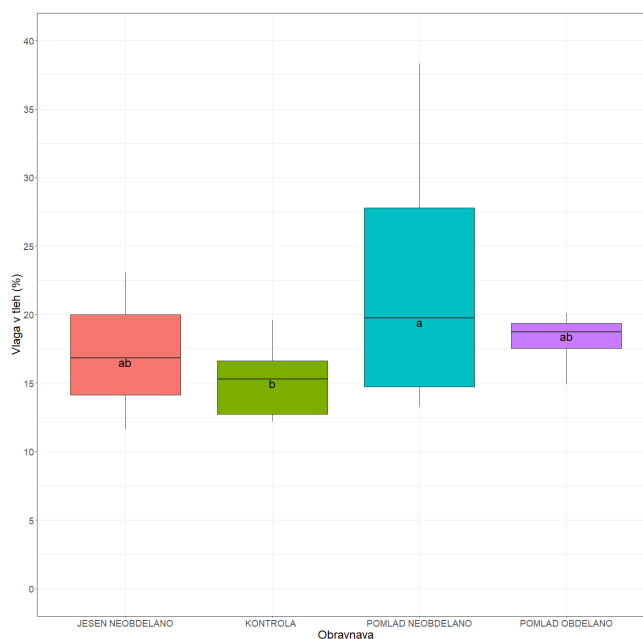
Rezultati poskusa, izvedenega v nasadu 'Itrana', pa so pokazali drugačen odziv na neposredno uporabo oljčnih tropin. Tiste, ki so bile nanesene na tla s pH-vrednostmi med 4,5 in 5,6, so prispevale k rahlemu povišanju pH (4,98–6,70), kar je verjetno posledica izmenjave protonov med talnim in dodanim humificiranim organskim materialom (Wong in sod., 2001). Najnižje pH-vrednosti tal ($4,20 \pm 0,24$) so bile zabeležene pri kontroli, kjer oljčne tropine niso bile dodane, medtem ko smo najvišje vrednosti zabeležili ($6,70 \pm 0,36$) pri spomladanski uporabi tropin, pri kateri oljčne tropine niso bile vdelane v tla (slika 7).



Slika 7: Povprečne vrednosti pH-tal v letih 2023 in 2024 za obravnave, pri katerih so bile oljčne tropine uporabljene jeseni, spomladi in spomladi z vdelavo v tla, in kontrolo, pri kateri tropine niso bile dodane.

Vsebnost vode v tleh

V vzorcih tal pri spomladanski uporabi tropin, ki niso bile zadelane v tla, smo zabeležili tudi najvišjo vsebnost vode (slika 8). Najnižja vsebnost vode v tleh je bila zabeležena pri kontroli. Z uporabo oljčnih tropin se je povečala vsebnost organske snovi v tleh, kar je pomembno vplivalo na izboljšanje vodnozadrževalnih lastnosti tal. Najvišjo povprečno vsebnost organske snovi smo zabeležili pri spomladanski obravnavi brez vdelave tropin v tla ($2,30 \pm 0,57 \%$), sledili sta jesenska ($2,15 \pm 0,70 \%$) in spomladanska ($2,00 \pm 0,36 \%$) obravnava brez vdelave tropin v tla. Najnižje vsebnosti organske snovi v tleh pa so bile zabeležene pri kontrolni obravnavi, pri kateri tropine niso bile nanese (1,67 $\pm$ 0,38 %). Pozitiven učinek uporabe oljčnih tropin je bil opazen tudi na višini travne ruše, ki je bila na obravnavanih površinah z dodanimi tropinami izrazito večja v primerjavi s kontrolo, kjer tropine niso bile nanese (slika 9).



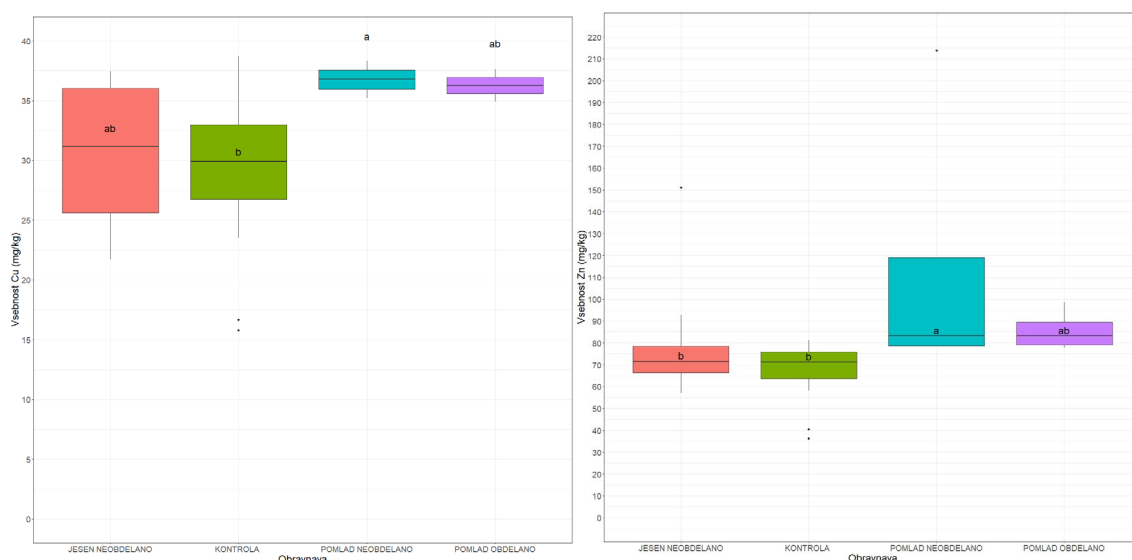
Slika 8: Povprečne vrednosti vsebnosti vode v tleh v letih 2023 in 2024 za obravnave, pri katerih so bile oljčne tropine uporabljene jeseni, spomladi in spomladi z vdelavo v tla, in kontrolo, pri kateri tropine niso bile dodane.



Slika 9: Prikaz površin z nanesenimi oljčnimi tropinami v različnih obdobjih: levo – površina v marcu, sredina – površina v septembru, desno – kontrolna površina brez uporabe tropin.

Težke kovine (Cu in Zn)

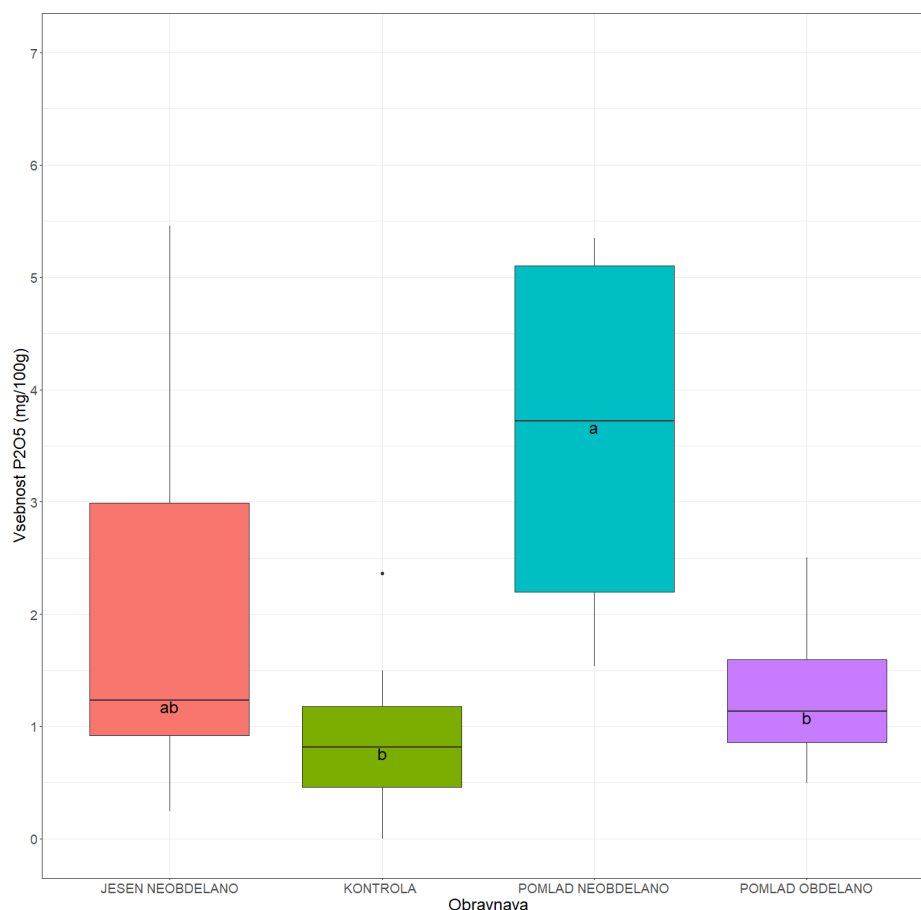
Rezultati študije, pri kateri smo v nasadu sorte 'Itrana' primerjali različne načine uporabe oljčnih tropin (jesenska uporaba, spomladanska uporaba, spomladanska uporaba z vdelavo v tla in kontrolna obravnava brez dodatka tropin), so pokazali, da lahko z vnosom oljčnih tropin v tla vplivamo tudi na vsebnosti težkih kovin v tleh. Statistično značilne razlike so bile ugotovljene pri vsebnostih bakra (Cu) in cinka (Zn) med kontrolno obravnavo in obravnavami, pri katerih so bile dodane tropine (slika 10). Z uporabo oljčnih tropin so se povečale vsebnosti Cu in Zn. Poudariti pa je treba, da v nobenem primeru niso bile presežene mejne vrednosti, ki so določene za dobro kemijsko stanje tal v Uredbi o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, št. 68/96, 41/04 – ZVO-1 in 44/22 – ZVO-2). Vsekakor pa bo z vidika morebitnega kopičenja težkih kovin v prihodnje treba proučiti dolgoročni vpliv nanosa oljčnih tropin na tla.



Slika 10: Povprečne vrednosti vsebnosti bakra (Cu) in cinka (Zn) v letih 2023 in 2024 za obravnave, pri katerih so bile oljčne tropine uporabljene jeseni, spomladi in spomladi z vdelavo v tla, in kontrolo, pri kateri tropine niso bile dodane.

Vsebnost fosforja (izražena kot P_2O_5)

Vzorci tal iz obravnave s spomladansko uporabo oljčnih tropin, pri kateri te niso bile vdelane v tla, so izkazovali najvišjo vsebnost fosforja ($3,58 \pm 0,57 \text{ mg}/100 \text{ g s. s.}$) (slika 11), medtem ko je bila najnižja vrednost tega ugotovljena pri kontrolni obravnavi ($0,86 \pm 0,63 \text{ mg}/100 \text{ g s. s.}$). Enaka porazdelitev je bila zabeležena tudi pri vrednostih pH-tal, ki je najverjetneje vplivala na višje vsebnosti dostopnega fosforja v tleh, saj je dobro znano, da kislost tal pomembno vpliva na razpoložljivost fosforja rastlinam. Dostopnost fosforja je namreč večinoma pogojena s pH-tal, saj ta neposredno določa kemijsko obliko fosforja v talni raztopini. V kislih tleh (pH 3–6) se fosfor veže z železovimi (Fe^{3+}) in aluminijevimi (Al^{3+}) kationi v netopne fosfate, medtem ko se v alkalnih pogojih (pH 7–9) veže s kalcijevimi (Ca^{2+}) kationi, kar vodi do tvorbe slabo topnih oblik, kot je apatit. Najugodnejše območje za razpoložljivost fosforja rastlinam je med pH 6 in 7, pri čemer je fosfor v talni raztopini v obliki anionov $H_2PO_4^-$ (dihidrogenfosfat) in HPO_4^{2-} (hidrogenfosfat), ki sta neposredno dostopni za rastlinsko prehrano (Minor in sod., 1993). Pri tem je treba poudariti, da so tla kljub zaznanemu povečanju vsebnosti rastlinam dostopnega fosforja po dodatku oljčnih tropin še vedno ostajala nizko založena s fosforjem.

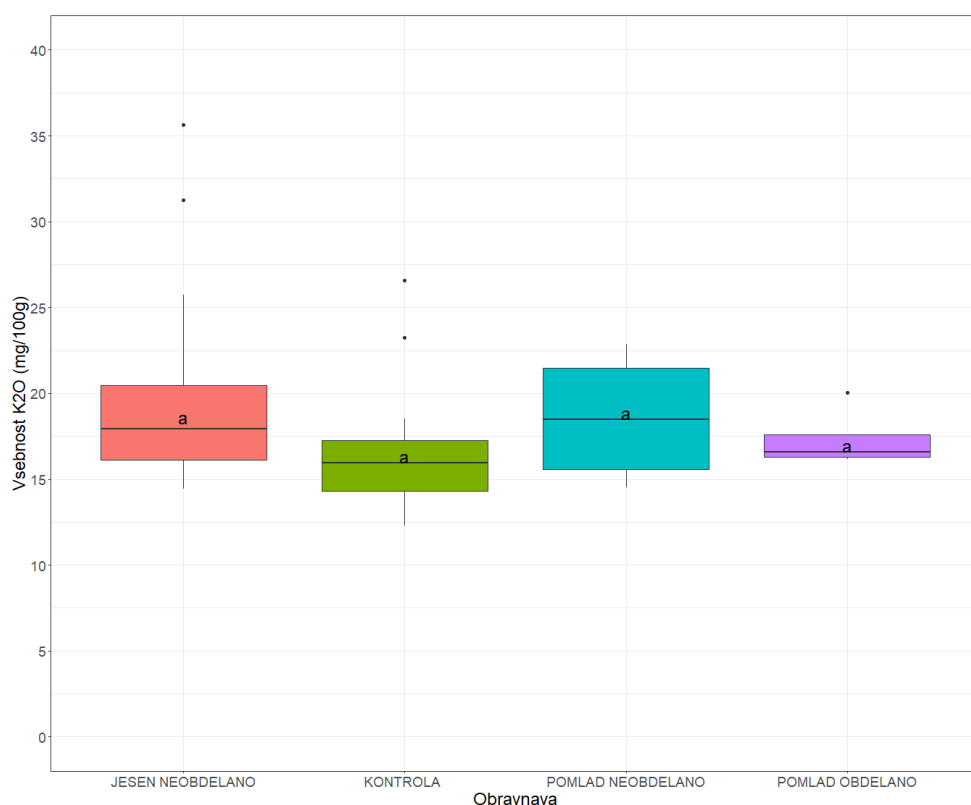


Slika 11: Povprečne vrednosti vsebnosti fosforja (izražena kot P₂O₅) v letih 2023 in 2024 za obravnave, pri katerih so bile oljčne tropine uporabljene jeseni, spomladi in spomladi z vdelavo v tla, in kontrolo, pri kateri tropine niso bile dodane.

Vsebnost magnezija in kalija (Mg in K)

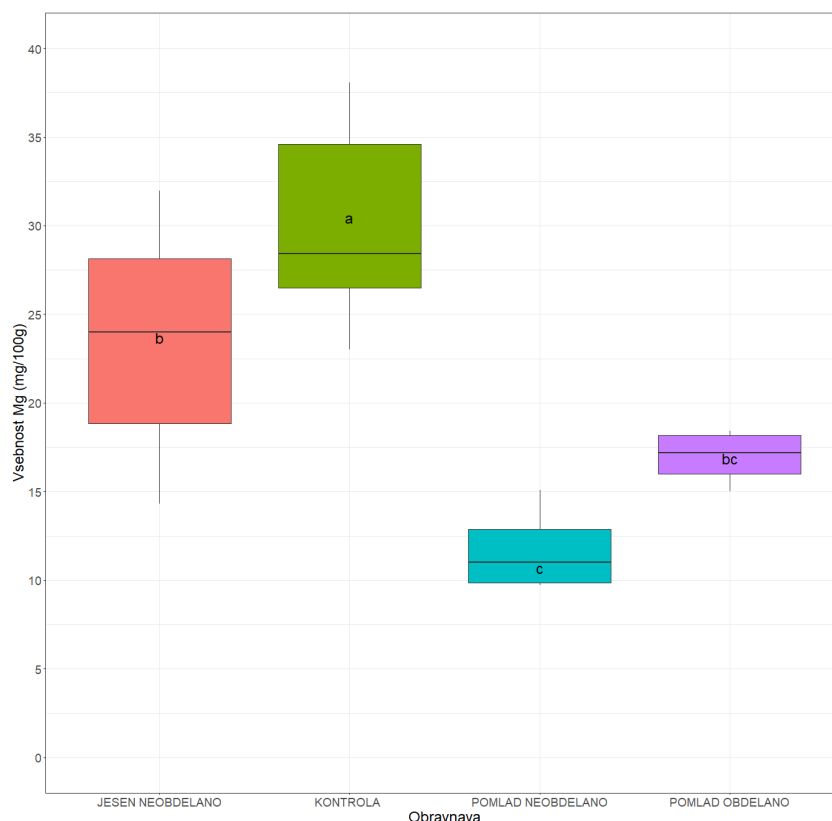
Kmetijska tla v Sloveniji so na splošno že po naravi dobro preskrbljena z magnezijem (Mg). Kljub temu pa se v vinogradih in sadovnjakih na Primorskem (Koprsko, Brda, del Krasa, Vipava) na flišni podlagi pogosto pojavlja slabša založenost tal z Mg, še posebej tam, kjer so tla pretirano gnojena – preskrbljena s kalijem (Mihelič in sod., 2010).

V okviru poskusa, v katerem smo primerjali različne načine uporabe oljčnih tropin (jesenska uporaba, spomladanska uporaba, spomladanska uporaba z vdelavo v tla in kontrolna obravnava brez dodatka tropin), nismo zaznali statistično značilnih razlik v vsebnosti kalija v tleh (slika 12), ugotovili pa smo statistično značilne razlike v vsebnosti magnezija.



Slika 12: Povprečne vrednosti vsebnosti kalija (izražena kot K₂O) v letih 2023 in 2024 za obravnave, pri katerih so bile oljčne tropine uporabljene jeseni, spomladi in spomladi z vdelavo v tla, in kontrolo, pri kateri tropine niso bile dodane.

Najvišjo vsebnost in zelo dobro založenost tal z Mg smo zabeležili pri kontroli, kjer tropine niso bile dodane ($31,73 \pm 6,29$ mg/100 g s. s.). Znatno nižje vrednosti Mg smo zabeležili pri obravnavah, kjer so bile oljčne tropine na kmetijsko površino dodane spomladi ($11,71 \pm 2,50$ mg/100 g s. s., če so bile tropine nanesene le na površino tal; $16,96 \pm 1,59$ mg/100 g s. s., če so bile vdelane v tla) (slika 13). Zmanjšano vsebnost magnezija v tleh, na katera so bile dodane oljčne tropine, je mogoče pripisati visoki vsebnosti kalija v teh. Znano je, da med kalijem in magnezijem obstaja antagonističen odnos. Presežek kalija v tleh zavira privzem magnezija v rastline, hkrati zmanjšuje njegovo vezavo na koloidne delce in povečuje tveganje za izpiranje magnezija v globlje plasti tal. Da je tako, so potrdile tudi izmerjene vrednosti magnezija v listih oljk. Najnižje vsebnosti magnezija v listih smo zabeležili pri obravnavah, kjer so bile oljčne tropine spomladi nanesene na površino tal ($0,07 \pm 0,02$ mg/100 g s. s.) oziroma vdelane v tla ($0,07 \pm 0,01$ mg/100 g s. s.) (preglednica 6). Kljub tem razlikam med obravnavami nismo ugotovili statistično značilnih razlik v vsebnosti magnezija v listih.



Slika 13: Povprečne vrednosti vsebnosti magnezija (Mg) v letih 2023 in 2024 za obravnave, pri katerih so bile oljčne tropine uporabljene jeseni, spomladi in spomladi z vdelavo v tla, in kontrolo, pri kateri tropine niso bile dodane.

Statistično značilnih razlik med obravnavami v vsebnosti bora (B), kalija (K_2O), železa (Fe), mangana (Mn), nitrata (NO_3^-), skupnega dušika (N) in organske snovi nismo zabeležili. Kljub temu je analiza vsebnosti hranil pokazala, da so bila tla gnojena z oljčnimi tropinami, v povprečju bolje založena s kalijem (K_2O), organsko snovjo, železom (Fe) in borom (B) v primerjavi s tlemi, na katera niso bile nanesene oljčne tropine (kontrola) (preglednica 5). V tleh, gnojenimi z oljčnimi tropinami, je bilo mogoče zabeležiti tudi večje vsebnosti skupnega N, čeprav so bila vsa obravnavana tla v začetku pomladi pognojena z dušičnim gnojilom (UREA) v enakem odmerku 0,5 kg N na drevo.

Zanimivo je, da so bile najvišje vsebnosti nitrata (NO_3^-) zabeležene pri kontroli ($9,87 \pm 9,16$ mg/kg). Na podlagi rezultatov s slike 14 lahko sklepamo, da so se zaloge dušika v tleh, kjer oljčne tropine niso bile dodane, zmanjšale, zaradi sprejema dušika v obliki amonijevega (NH_4^+) ali nitratnega iona (NO_3^-) v rastlino, saj so bile najvišje vsebnosti dušika v rastlini zabeležene pri kontroli. V primeru kontrole in obravnave, pri kateri so bile oljčne tropine nanesene jeseni in spomladi vdelane v tla, smo zabeležili tudi najvišje koncentracije izpiranja nitratov (slika 15). V tleh kontrolne obravnave in obravnave, pri kateri so bile oljčne tropine nanesene jeseni, smo zabeležili tudi izrazito pomanjkanje dušika, kar potrjuje tudi visoko razmerje C/N ($24,00 \pm 23,50$ oziroma $20,67 \pm 23,91$).

Res je, da smo pri kontrolni in jesenski uporabi tropin zabeležili visoko razmerje C/N, ki ni ugodno za proces mineralizacije, vendar smo hkrati zaznali tudi višjo vsebnost nitratnega dušika (NO_3^-) v tleh in višje vsebnosti dušika v rastlinski biomasi ter povečano izpiranje dušika, kar kaže, da je mineralizacija organske snovi kljub visokim vrednostim razmerja C/N potekala nemoteno.

Nasprotno pa so bila razmerja C/N pri spomladanskih uporabah tropin ($13,20 \pm 12,50$ in $16,43 \pm 14,71$) (preglednica 5) bistveno nižja, kar nakazuje potencialno ugodnejše pogoje za mineralizacijo organskih

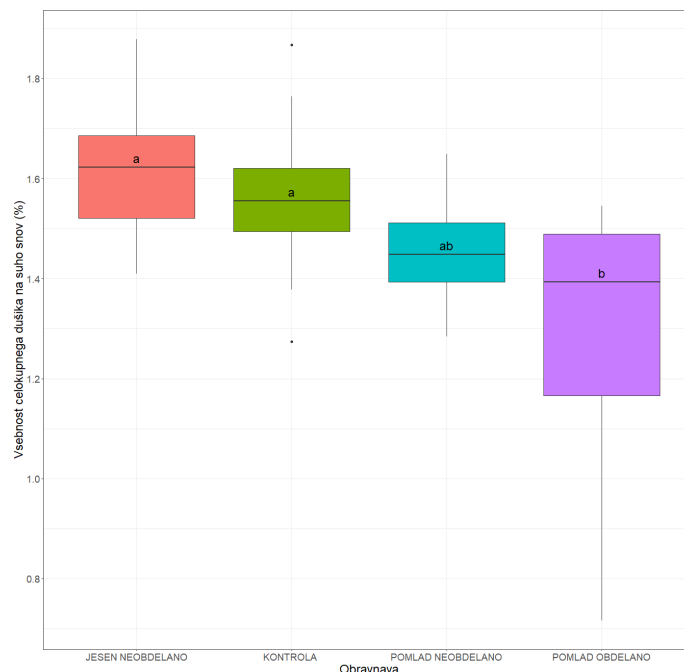
snovi. Vendar smo pri obravnavah, kjer so bile oljčne tropine uporabljene spomladi, zabeležili tudi nižje vsebnosti nitratnega dušika v tleh in zmanjšano vsebnost dušika v rastlinski biomasi, kar kaže na upočasnjeno mineralizacijo dušika. Oljčne tropine iz dvofaznega dekanterja imajo visoko razmerje med ogljikom in dušikom ($C/N = 28:1-72:1$), saj vsebujejo veliko količino ogljikovih spojin (vlaknine, lignin, celuloza) in razmeroma malo dušika. Ob previsokih vrednostih razmerja C/N pride do premajhnega sproščanja dušika iz humificirane organske mase (imobilizacije). Mikroorganizmi, ki za svoje preživetje potrebujejo dušik, začnejo uporabljati mineralni dušik, ki je prisoten v talni raztopini (NH_4^+ , NO_3^-), kar privede do mikrobne imobilizacije dušika in zmanjšanja količine dostopnega dušika za rastline (Giandon in Bortolami, 2007; García Zamorano in sod., 2010).

Dodatek mineralnega dušika so mikroorganizmi verjetno porabili za svoje delovanje, kar je posledično zmanjšalo dostopnost mineralnih oblik dušika (NH_4^+ , NO_3^-) za rastline. Poleg tega lahko zmanjšanje mineralizacije dušika pripišemo tudi prisotnosti fenolnih spojin v še nerazgrajenih tropinah, ki so najverjetneje zaradi toksičnega vpliva na mikroorganizme in velike sposobnosti vezave beljakovin omejile proces mineralizacije dušika v tleh (De Neve in sod., 2004).

Vsebnost hranil v listih

V času izvedbe poljskega poskusa za ovrednotenje vpliva uporabe oljčnih tropin na okolje smo v nasadu sorte 'Itrana' **pri različni uporabi** oljčnih tropin na kmetijskih zemljiščih (jesenska uporaba, spomladanska uporaba, spomladanska uporaba z vdelavo v tla in kontrolna obravnava brez dodatka tropin) spremljali tudi prehranjenost oljk.

Rezultati so pokazali, da uporaba oljčnih tropin vpliva na prehransko stanje oljk, zlasti glede vsebnosti celokupnega dušika v listih. Najvišje vsebnosti dušika ($1,62 \pm 0,13$ % s. s.) so bile ugotovljene pri jesenski uporabi tropin, medtem ko so bile pri spomladanski vrednosti nižje: $1,46 \pm 0,15$ % s. s. ob nanosu na površino tal in $1,26 \pm 0,38$ % s. s. pri vdelavi tropin v tla (slika 14). Predvidevamo, da je pri spomladanski uporabi prišlo do mikrobne imobilizacije dušika, zaradi česar ta rastlinam ni bil dostopen v zadostni meri.



Slika 14: Vsebnost celokupnega dušika v listih v letih 2023 in 2024 za obravnave, pri katerih so bile oljčne tropine uporabljene jeseni, spomladi in spomladi z vdelavo v tla, in kontrolo, pri kateri tropine niso bile dodane.

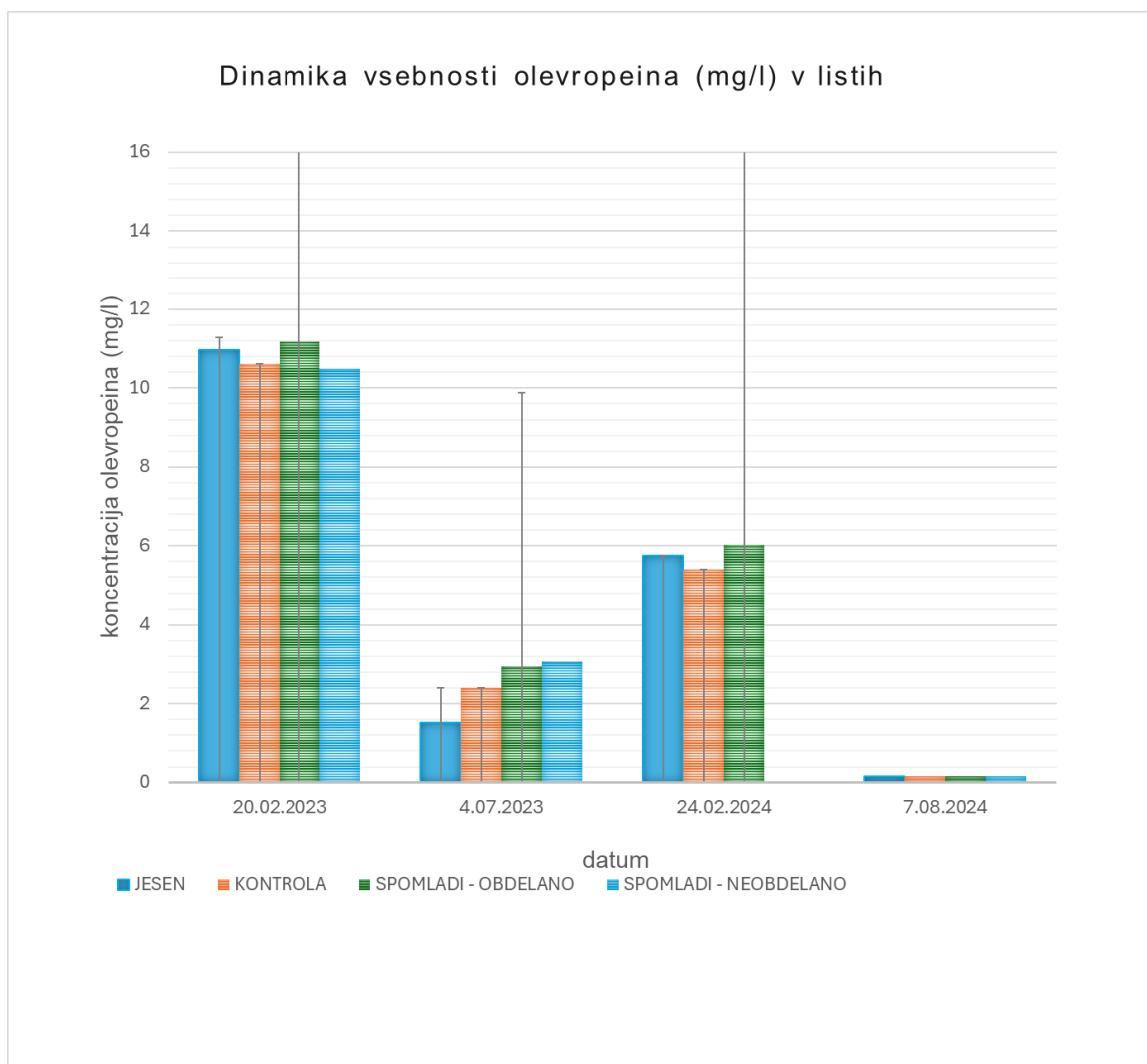
Pri drugih hranilih (P, K, Mg, Ca, ipd.) nismo zabeležili statistično značilnih razlik med obravnavami, vendar rezultati kažejo, da bi lahko uporaba oljčnih tropin, zlasti jesenska, pozitivno vplivala na prehransko stanje rastlin s fosforjem (P_2O_5) in kalijem (K_2O) (preglednica 6). Za zanesljivejšo presojo učinkov uporabe oljčnih tropin na prehranjenost rastlin bi bilo priporočljivo, da se poskusi izvajajo v daljšem časovnem obdobju (preglednica 6).

Preglednica 6: Vsebnost makro- in mikrohranil v listih pri posamezni obravnavi v primerjavi z mejnimi vrednostmi

	Kontrola	Jesen – neobdelano	Pomlad – neobdelano	Pomlad – obdelano	Mejne vrednosti (Fernandez- Escobar, 2017)
Celokupni dušik % (s. s.)	$1,56 \pm 0,15$	$1,62 \pm 0,13$	$1,46 \pm 0,15$	$1,26 \pm 0,38$	1,5–2,0
Fosfor kot P_2O_5 mg/100g (s. s.)	$0,09 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,02$	0,1–0,3
Kalij kot K_2O mg/100g (s. s.)	$0,70 \pm 0,11$	$0,75 \pm 0,22$	$0,67 \pm 0,17$	$0,69 \pm 0,13$	0,8–1,0
Bor (B) mg/kg (s. s.)	$12,62 \pm 2,55$	$13,01 \pm 2,95$	$11,92 \pm 4,60$	$13,89 \pm 5,09$	19–150
Baker (Cu) mg/kg (s. s.)	$30,15 \pm 8,49$	$30,37 \pm 11,53$	$55,25 \pm 26,61$	$30,77 \pm 14,88$	4–9
Kalcij kot CaO % (s. s.)	$1,83 \pm 0,69$	$1,82 \pm 0,63$	$1,70 \pm 0,89$	$1,49 \pm 0,54$	1,0–1,43
Magnezij mg/100g (s. s.)	$0,08 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,01$	0,1–0,16
Cink (Zn) mg/kg (s. s.)	$15,43 \pm 5,05$	$16,06 \pm 4,21$	$15,94 \pm 2,91$	$13,56 \pm 4,10$	10–24
Mangan (Mn) mg/kg (s. s.)	$19,69 \pm 11,68$	$19,59 \pm 12,81$	$12,80 \pm 12,35$	$15,96 \pm 10,76$	20–36
Železo (Fe) mg/kg (s. s.)	$60,98 \pm 24,09$	$61,65 \pm 22,47$	$55,25 \pm 26,61$	$65,15 \pm 25,11$	90–124

Vsebnost olevropeina v listih

V okviru poskusa, v katerem smo primerjali različne načine uporabe oljčnih tropin (jesenska uporaba, spomladanska uporaba, spomladanska uporaba z vdelavo v tla in kontrolna obravnava brez dodatka tropin), so analize vsebnosti olevropeina v listih pokazale, da način uporabe oljčnih tropin na kmetijski zemljiščih ne vpliva na vsebnost olevropeina v listih, prepričani pa smo, da na to vpliva obdobje vzorčenja. V poletnih mesecih so bile pri vseh obravnavah zabeležene nizke vrednosti (slika 15).



Slika 15: Dinamika vsebnosti oleuropeina v listih na lokaciji Marezige

3.3 Analiza vsebnosti fenolnih spojin in nitratov v odcedni vodi

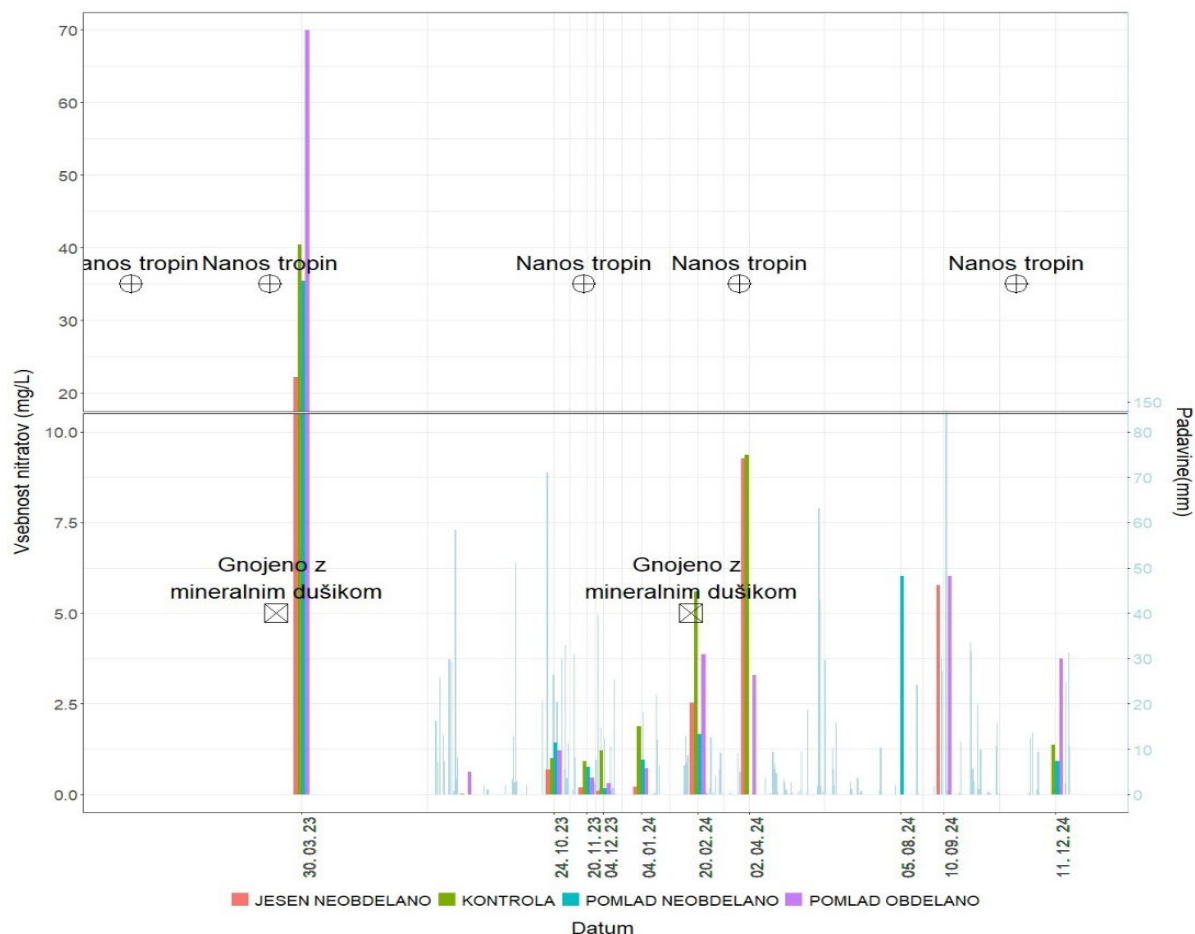
Vsebnosti nitratov v odcedni vodi

Analiza koncentracije nitratov v odcedni vodi (slika 16) je pokazala, da se je koncentracija nitratov v odcedni vodi leta 2023 najbolj povečala pri vseh obravnavah, ko so bile oljke gnojene z 0,5 kg/N na drevo (9. 3. 2023). Podoben trend smo zabeležili tudi v letu 2024. Večje vsebnosti nitratov so bile zabeležene po opravljenem gnojenju (14. 2. 2024) 20. 2. in 2. 4. 2024. Na podlagi koncentracij nitratov v odcedni vodi, količine odcedne vode in količine padavin smo ocenili, da se je na leto iz tal izpiralo 12–24 % dodanega dušika. Vpliv količine uporabljenih oljčnih tropin na izpiranje nitratov v odcedno vodo je bil zanemarljiv.

V obravnavah, pri katerih so bile na poskusno površino dodane oljčne tropine, smo izstopajoče izpiranje nitratov zabeležili tudi v poletnem obdobju (tropine, dodane spomladi na površino tal) in jeseni (tropine, dodane spomladi in vdane v tla, in tiste, dodane jeseni na površino tal).

Izpiranje nitratov v avgustu na površinah, kjer so bile dodane oljčne tropine, so najverjetneje posledica spomladanske začasne imobilizacije dušika. Oljčne tropine iz dvofaznega dekanterja imajo visoko razmerje C/N (28:1–72:1), kar pomeni, da mikroorganizmi za razgradnjo organske snovi (oljčnih tropin) potrebujejo dodaten dušik. Posledično postane dušik začasno manj dostopen rastlinam, ki ga črpajo iz

tal, in s tem manj dostopen rastlinam. Zato se lahko pri razgradnji oljčnih tropin v tleh dušik veže na mikrobnno biomaso, kar v spomladanskih mesecih zmanjša razpoložljivost mineralnega dušika (npr. NO_3^- , NH_4^+) za rastline. Po podatkih Fangueiro in sod. (2015) naj bi intenzivna imobilizacija mineralnega dušika potekala v prvih petih dneh po nanosu tropin. Pri ugodnih vremenskih razmerah (padavine, temperatura) in ugodnem razmerju C/N (manjše od 1 : 15) pa se pospeši mikrobiološka aktivnost in s tem mineralizacija organske snovi, kar bi lahko bil vzrok za poletno in jesensko izpiranje nitratov.



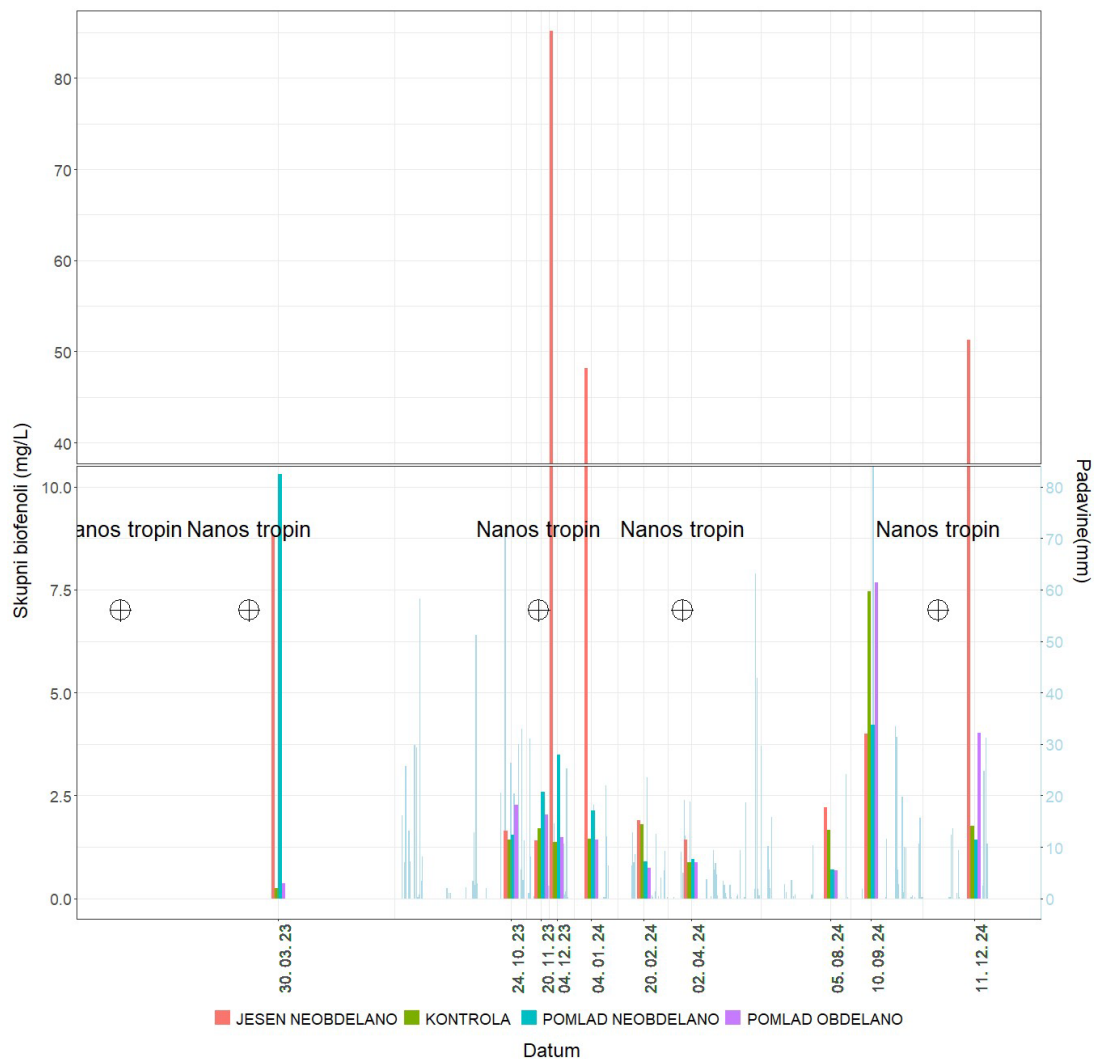
Slika 16: Dinamika vsebnosti nitratov v odcedni vodi, vzorčeni od 30. 3. 2023 do 11. 12. 2024 ob večjih padavinskih dogodkih.

Vsebnosti fenolnih spojin v odcedni vodi

Analiza je pokazala, da so bile vsebnosti fenolnih spojin v odcedni vodi zaznane med 4. in 47. dnev po nanosu oljčnih tropin na površino tal spomladi in jeseni. Najvišja koncentracija skupnih fenolnih spojin (751,20 mg/L) je bila zaznana v vzorcu izcedne vode, odvzetem 14. 12. 2023 po nanosu oljčnih tropin jeseni. V letu 2024 je bila najvišja izmerjena koncentracija fenolnih spojin v izcedni vodi (228,30 mg/L) zabeležena v vzorcu, odvzetem 11. 12., takoj po nanosu oljčnih tropin. Nasprotno so bile zelo nizke koncentracije ugotovljene pri kontroli (naravno prisotni zaradi mulčenja vej in ostankov obrezovanja) in spomladanski obravnavi, kjer so bile tropine po nanosu vdelane v tla. Glede na veliko variabilnost vsebnosti fenolnih spojin v odvzetih vzorcih izcedne vode predvidevamo, da je vzrok lahko povezan s prostorskimi razlikami v premikanju vode skozi talni profil. Zaradi prisotnosti razpok v tleh na kmetijskih zemljiščih lahko prihaja do odtekanja vode po razpokah. Če oljčne tropine niso zadelane v

tla po površinskem nanosu, lahko pride do lokalnega točkovnega onesnaževanja, tudi če so tropine enakomerno porazdeljene po kmetijski površini.

V jesenskem obdobju leta 2024 je bilo opaženo tudi nepričakovano povečanje vsebnosti fenolnih spojin v odcedni vodi še pred nanosom oljčnih tropin. Pojav je najverjetneje posledica ugodnih vremenskih razmer, ki so pospešile razgradnjo listnega odpada in organske snovi v tleh. Razkroj teh materialov je omogočil sproščanje fenolnih spojin.



Slika 17: Vsebnosti skupnih biofenolov v odcedni vodi, vzorčeni od 30. 3. 2023 do 20. 2. 2024.

4. Zaključki

Oljčne tropine iz sistema predelave z dvofaznim dekanterjem so pomemben vir hranil v tleh in prispevajo k povečanju vsebnosti organske snovi, kar pomembno vpliva na izboljšanje vodno zadrževalnih lastnosti tal. Čeprav lahko oljčne tropin znižajo pH nevtralnih ali alkalnih tal, smo pri kislih tleh opazili rahlo zvišanje pH, kar je verjetno posledica izmenjave protonov med talnim in dodanim humificiranim organskim materialom.

Z vnosom oljčnih tropin v tla lahko vplivamo tudi na vsebnost težkih kovin. Statistično značilne razlike so bile ugotovljene pri vsebnosti bakra (Cu) in cinka (Zn), vendar zabeležene vsebnosti ne presegajo mejnih vrednosti, določenih z veljavnimi uredbami. Zaradi morebitnega kopičenja težkih kovin je priporočljivo dolgoročno proučevanje vpliva vnosa oljčnih tropin v tla.

Ob spomladanskem nanosu oljčnih tropin na kmetijsko zemljišče se lahko v tleh poveča vsebnost kalija in znatno zmanjša vsebnost magnezija. Presežek kalija zavira privzem magnezija v rastline, zmanjšuje njegovo vezavo v tleh in povečuje tveganje za izpiranje. Hkrati lahko ob spomladanskem nanosu pride do začasne imobilizacije dušika, ki se lahko ob ugodnih vremenskih razmerah in primernem razmerju C/N ($< 1 : 15$) sprošča in izpira v globlje plasti tal v obdobju, ko rastline ne potrebujejo dušika.

V poletno-jesenskem času smo zaradi razgradnje organske snovi ob ugodnih vremenskih pogojih zaznali izpiranje fenolnih spojin. Najvišje vrednosti so bile pri nekaterih vzorcih zabeležene jeseni takoj po nanosu oljčnih tropin. Nasprotno so bile zelo nizke koncentracije ugotovljene pri kontroli (naravno prisotni zaradi mulčenja vej in ostankov obrezovanja) in spomladanski obravnavi, kjer so bile tropine po nanosu vdelane v tla. Glede na veliko variabilnost vsebnosti fenolnih spojin v odvzetih vzorcih izcedne vode predvidevamo, da je vzrok lahko povezan s prostorskimi razlikami v premikanju vode skozi talni profil. Zaradi prisotnosti razpok v tleh na kmetijskih zemljiščih lahko prihaja do odtekanja vode po razpokah.

Iz zgoraj navedenega izhaja, da spomladanski nanos oljčnih tropin lahko povzroči slabo ravnovesje hranil in izgubo dušika, zato je jesensko obdobje primernejši čas za njihovo uporabo, saj je tveganje za izpiranje hranil in imobilizacijo dušika manjše. Priporočljivo je, da se tropine po nanosu mehansko vdelajo v tla, kar zmanjša možnost točkovnega onesnaženja zaradi odtekanja vode skozi razpoke v talnem profilu. Vendar pa so zaradi vremenskih razmer možnosti mehanske vdelave v tla v jesenskem času lahko omejene. Za zagotavljanje varne in trajnostne rabe oljčnih tropin v kmetijstvu je nujna vzpostavitev dolgoročnega spremljanja vsebnosti težkih kovin v tleh, zlasti bakra in cinka, ki se lahko ob ponavljajoči uporabi kumulativno nalagata v tleh.

5. Zahvala

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

6. Literatura

Albuquerque, J. A., González, J., García, D., in Cegarra, J. (2004). Agrochemical characterisation of "alperujo", a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology*, 91(2), 195–200.

- Angeloni, G., Spadi, A., Corti, F., Calcaprina, M., Carpi, G., Maioli, F., Parenti, A., in Masella, P. (2024). Advancing circular economy in olive oil production: Comparing maturation systems for vermicompost creation from olive pomace. *Biomass*, 4(4), 1178–1190. <https://doi.org/10.3390/biomass4040065>.
- Barbera, A. C., Maucieri, C., Cavallaro, V., Ioppolo, A., in Spagna, G. (2013). Effects of spreading olive mill wastewater on soil properties and crops: A review. *Agricultural Water Management*, 119, 43–53.
- Buchmann, C., Felten, A., Peikert, B., Muñoz, K., Bandow, N., Dag, A., in Schaumann, G. E. (2015). Development of phytotoxicity and composition of a soil treated with olive mill wastewater (OMW): An incubation study. *Plant and Soil*, 386(1), 99–112.
- De Neve, S., Sáez, S. G., Chaves Daguilar, B., Sleutel, S., in Hofman, G. (2004). Manipulating N mineralization from high N crop residues using on- and off-farm organic materials. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 127–134.
- Dermeche, S., Nadour, M., Larroche, C., Moulti-Mati, F., in Michaud, P. (2013). Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies. *Process Biochemistry*, 48, 1532–1552.
- Fangueiro, D., Hjorth, M., in Gioelli, F. (2015). Acidification of animal slurry – A review. *Journal of Environmental Management*, 149, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.001>.
- Fernández-Escobar R. (2017). Fertilización. V: El Cultivo del Olivo. Barranco D., Fernández-Escobar R., Rallo L. (eds.). Mundi-Prensa, Madrid: 463-489.
- FAO (2006). Guideline for soil description (4th ed.). Rim: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Giandon P., Bortolami P. (2007). L'interpretazione delle analisi del terreno, Strumento per la sostenibilità ambientale. Veneto agricoltura: 70 str.
- García Zamorano, F., Ruiz Coleto, F., Cano Rodríguez, J., Pérez García, J., Molina de la Rosa, J. L., in Cabra-Priego, C. I. F. A. (2010). Suelo, riego, nutrición y medio ambiente en el olivar. Junta de Andalucía: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- Hodnik, A. (1988). Kemične analize talnih vzorcev, rastlinskih vzorcev in odcednih vod. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
- Leskovšek, Mirko. Jezik: Slovenski. Celje: ČZP Kmečki glas, 1993. 197 strani.
- López-Piñeiro, A., Albarrán, A., Rato Nunes, J. M., in Barreto, C. (2008). Short and medium-term effects of two-phase olive mill waste application on olive grove production and soil properties under semiarid Mediterranean conditions. *Bioresource Technology*, 99, 7982–7987.
- López-Piñeiro, A., Albarrán, A., Rato Nunes, J. M., Peña, D., in Cabrera, D. (2011). Cumulative and residual effects of two-phase olive mill waste on olive grove production and soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 75, 1061–1069.
- Martin, J., Sampedro, I., Garcia-Romera, I., Garcia-Garrido, J. M., in Ocampo, J. A. (2002). Arbuscular mycorrhizal colonization and growth of soybean (*Glycine max*) and lettuce (*Lactuca sativa*) and phytotoxic effects of olive mill residues. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1769–1775.
- Mihelič, Rok (ur.), Jurij Čop, Marijana Jakše, Franci Štampar, Dušica Majer, Stanislav Tojnko, Stanislav Vršič. (2010). Smernice za strokovno utemeljeno gnojenje. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano

Minor, H. C., Stecker, J., in Brown, J. R. (1993). Phosphorus in Missouri soils. MU Guide G9180. Columbia: University of Missouri Extension.

Nieto, L. M., 2016: Universidad de Jaen. La industria del aceite de oliva y el medio ambiente

Piotrowska, A., Rao, M. A., Scotti, R., in Gianfreda, L. (2011). Changes in soil chemical and biochemical properties following amendment with crude and dephenolized olive mill waste (OMW). *Geoderma*, 161, 8–15.

Podgornik, M.; Bučar-Miklavčič, M.; Levart, A.; Salobir, J.; Rezar, V.; Butinar, B. Chemical Characteristics of Two-Phase Olive-Mill Waste and Evaluation of Their Direct Soil Application in Humid Mediterranean Regions. *Agronomy* 2022, 12, 1621. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071621>

Popovič, Ž. (1963). *Agrohemija*. Beograd: Naučna knjiga.

Prus, T., Kralj, T., Vrščaj, B., Zupan, M., in Grčman, H. (2015). Slovenska klasifikacija tal. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta in Kmetijski inštitut Slovenije.

Wong, M. T. F., in Swift, R. S. (2001). Application of fresh and humified organic matter to ameliorate soil acidity. V: R. S. Swift in K. M. Spark (ur.), *Understanding and Managing Organic Matter in Soils, Sediments, and Waters* (pp. xx–xx). International Humic Substances Society (IHSS).

ISO 10390:2005. Soil quality – Determination of pH. Ženeva: International Organization for Standardization.

ISO 11261:1995. Soil quality – Determination of total nitrogen – Modified Kjeldahl method. Ženeva: ISO.

ISO 14235:1999. Soil quality – Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo.

NF X 31-122 (1993). Extraction du bore soluble à l'eau bouillante. V: *Qualité des sols*. Pariz: AFNOR.

DIN EN 12014-2:2013-05. Foodstuffs – Determination of nitrate and/or nitrite content – Part 2: HPLC/IC method for the determination of nitrate content of vegetables and vegetable products. Berlin: Beuth Verlag.

Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh. Uradni list RS, št. 68/96, 41/04 – ZVO-1, 44/22 – ZVO-2.

