

Zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in povečanje vezave C v tla z ohranitveno obdelavo tal "ReC-Till"

(CRP V4-2022)

VSEBINSKO POROČILO – študija

Avtorji: Marjetka Suhadolc¹, Rok Mihelič¹, Klemen Eler¹, Denis Stanjko², Robert Leskovšek³, Irena Bertonec³, Anton Govednik¹, Kristina Ocvirk¹, Sara Pintarič¹, Ana Schwarzmann¹, Erik Rihter², Anže Rovanšek³, Sergeja Adamič³, Vid Naglič³, Mojca Vek³

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

² Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede

³ Kmetijski inštitut Slovenije

Datum: november 2023

Povzetek

V poljedelstvu k emisijam toplogrednih plinov (TGP) poleg obratovanja strojev v veliki meri prispevajo dihanje tal (tok CO₂ iz tal) ter sproščanje didušikovega oksida (N₂O) iz tal. Obseg emisij je odvisen od lastnosti tal, vremenskih razmer in agrotehničnih ukrepov. V konvencionalnem kmetijstvu sproščanje CO₂ povečuje intenzivna mehanska obdelava, zaradi katere je v tleh pospešena razgradnja talne organske snovi. V projektu smo v prvi fazi izdelali pregled načinov obdelave tal v svetu in EU, ki zmanjšujejo emisije TGP oz. povečujejo vezavo C v tla, za podporo odločanju pri izbiri najustrežnejšega načina glede na razmere v Sloveniji. V realnih razmerah dolgoletnih poljskih poskusov, z različno intenziteto obdelave tal (konvencionalno oranje, plitva minimalna obdelava brez obračanja tal, direktna setev brez posegov v tla oz. *no-till*) v odvisnosti od pedo-klimatskih pogojev, stopnje pokritosti tal in pestrosti dosejka, ter različnega gnojenja, smo na osnovi meritev ugotavljali doprinos ohranitvene obdelave tal k zmanjšanju emisij CO₂ in povečanju vezave C v tla. Poleg meritev emisij TGP in določanja zaloga talnega C smo izvedli meritve kakovosti njivskega agroekosistema, pri čemer smo se poglobljeno posvetili oceni kakovosti tal vključno z biotsko pestrostjo. Pripravili smo metodologijo modelne ocene bilance stabilne talne organske snovi (humusnega-C) v Excel programskem okolju za uporabo v kmetijski praksi. Preizkusili smo javno dostopne modele za ocenjevanje neto emisij TGP na ravni kmetijskih gospodarstev in pripravili priročnik za uporabo orodja *Cool farm tool*.

Summary

In agriculture, in addition to the operation of machinery, soil respiration (CO₂ flux from the soil) and the release of nitrous oxide (N₂O) from the soil are major contributors to greenhouse gas (GHG) emissions. The magnitude of emissions depends on soil properties, climate and agronomic measures. In conventional agriculture, CO₂ release is increased by intensive mechanical tillage, which accelerates the degradation of soil organic matter in the soil. In the first phase of the project, we made an overview of global and EU soil tillage practices that reduce GHG emissions or increase C sequestration in the soil to support decision-making on the most appropriate agricultural practices for the Slovenian conditions.

Under realistic conditions of long-term field trials, with different tillage intensities (conventional tillage, shallow minimum non-inversion tillage, no-till) depending on the soil-climatic conditions, the degree of soil cover and crop diversity, and different fertilisation, the contribution of conservation tillage to the reduction of GHG emissions and the increase of C sequestration in the soil was determined. In addition to the GHG emission measurements and C stocks determinations, we also measured the quality of the arable agroecosystem, with an in-depth assessment of soil quality, including biodiversity. We have developed a methodology for model-based estimation of stable soil organic matter (humus-C) balance in an Excel software environment for use in agricultural practice. We have tested publicly available models for estimating net GHG emissions at farm level and produced a manual for the use of the Cool farm tool.

1 OPIS PROBLEMA IN CILJEV

Kmetijstvo globalno prispeva znatnih 23% toplogrednih plinov (TGP), od tega okrog 13% CO₂, 44 % metana in kar 82 % N₂O (IPCC, 2014). V Sloveniji je delež emisij iz kmetijstva sicer precej nižji (10 %), vendar vseeno znaten delež teh emisij lahko pripišemo rabi kmetijskih tal in uporabi mineralnih gnojil, saj je znano, da z intenzivno obdelavo tal pospešujemo mikrobno razgradnjo organske snovi in površinsko erozijo tal, z dodajanjem mineralnega N v prekomernih in porabi rastlin neprilagojenih odmerkih pa povečujemo plinaste izgube N v obliki toplogredno zelo aktivnega N₂O. Zaradi tega je zelo pomembno globalno ter specifično po državah in regijah ugotoviti emisije toplogrednih plinov iz kmetijskih tal v različnih posevkih, pedo-klimatskih razmerah in sistemih njivske pridelave ter na podlagi tega svetovati kmetijske prakse, ki lahko zmanjšajo neto emisije TGP.

Ob globalnem segrevanju, povzročenem zaradi omenjenih antropogenih emisij TGP, se povečuje zanimanje za vezavo ogljika v kopenske ekosisteme. Za negozdne ekosisteme so tla oz. stabilna talna organska snov (humus) glavni potencial za ponor ogljika. Vezavo je možno doseči le ob spremembi trenutnega gospodarjenja s tlemi. Ocene za ZDA in EU so, da lahko s spremembo kmetijskih praks zmanjšamo emisije C za okrog 10%. Od možnih postopkov za vezavo C v tla se omenja večja pridelava rastlinske biomase z večjim deležem ostankov (dosevki kot zeleno gnojenje), dodajanje C v obliki organskih gnojil, biooglja, ipd. ali spremenjena obdelava tal (Spargo in sod., 2008). Sprememba obdelave tal pomeni preklon iz prevladujočega vsakoletnega oranja v sisteme zmanjšane oz. ohranitvene obdelave tal.

Konvencionalna obdelava tal s plugom (oranje) se uporablja že stoletja za pripravo tal za setev, zatiranje plevelov in zaoravanje žetvenih ostankov. Pri oranju z mešanjem plasti tal povečujemo zračnost tal, kar vpliva na večjo mikrobno aktivnost in s tem mineralizacijo organske snovi ter dostopnost hranil v tleh (Abdalla in sod., 2013; Lagnoul in sod., 2017). Le to na dolgi rok vodi do zmanjšanja vsebnosti organske snovi in erozijo tal (Montgomery, 2007; Six in sod., 1999). Kot alternativa oranju tal se v svetu uveljavlja ohranitvena obdelava z minimalnimi posegi v tla: bodisi plitva, minimalna obdelava brez obračanja tal bodisi direktna setev brez posegov v tla (*»no-till«*). Ohranitvena obdelava tal je potencialno lahko uspešen pristop pri zmanjševanju emisij CO₂ iz tal, saj naj bi v primerjavi s konvencionalnim oranjem ustvarila ugodnejšo bilanco C v tleh in tako pripomogla k zmanjšanju emisij CO₂ (Abdalla in sod., 2013; Forte in sod., 2017). Vendar tudi številni okoljski dejavniki, med drugimi temperatura in vlažnost tal, velikost nadzemne biomase, vsebnost hranil v tleh, vplivajo na emisije CO₂ (2016; Kainiemi in sod., 2015), zato se rezultati vpliva obdelave na emisije med študijami precej razlikujejo.

V ReC-Till projektu smo ugotavljali relativen doprinos ohranitvene obdelave tal k zmanjšanju emisij CO₂ in povečanju vezave C v tla v obliki talne org. snovi v slovenskih podnebnih razmerah in izbranih tipih tal ter sistemih pridelave. Spremenjen način obdelave pa lahko (pozitivno ali negativno) vpliva tudi na emisije drugih TGP, posebej N₂O, in druge pomembne parametre kakovosti agroekosistema (pridelek, rodovitnost tal, biotska pestrost), zato je pred vpeljevanjem v prakso pomembno celostno vrednotenje predlaganih načinov obdelave tal.

Cilji projekta ReC-Till so bili:

1. ugotoviti relativen doprinos ohranitvene obdelave tal k zmanjšanju emisij CO₂ in povečanju vezave C v tla na osnovi meritev v realnih razmerah dolgoletnih poljskih poskusov z različno intenziteto obdelave tal (konvencionalno oranje, plitva minimalna obdelava tal, direktna setev) v odvisnosti od pedo-klimatskih pogojev, stopnje pokritosti tal in pestrosti dosevka, ter gnojenja;

2. izdelati celovito oceno kakovosti njivskega agroekosistema na osnovi produktivnosti, pokritosti z rastlinskimi ostanki, kakovosti tal, biotske pestrosti na polju (vegetacija, talni organizmi) in okoljskega odtisa;
3. izdelati pregled načinov obdelave tal v svetu in EU, ki zmanjšujejo emisije TGP oz. povečujejo vezavo C v tla, za podporo odločanju pri izbiri najustreznejšega glede na pedo-klimatske razmere v Sloveniji;
4. ovrednotiti različne poznane metode in sisteme spremljanja TGP (CO_2 in N_2O) in vsebnosti talne organske snovi v poljedelstvu glede na načine obdelave tal za podporo odločanju pri zasnovi monitoringa za Slovenijo;
5. prenos pridobljenega znanja, metodologije in ekspertnih orodij v prakso.

2 KRATEK POVZETEK KLJUČNIH UGOTOVITEV IZ LITERATURE

V poljedelstvu k emisijam TGP poleg obratovanja strojev v veliki meri prispevajo dihanje tal (tok CO_2 iz tal) ter sproščanje dušikovega oksida (N_2O) iz tal, medtem, ko so emisije metana (CH_4) iz njivskih tal relativno majhne oz. zanemarljive (Ciais in sod., 2010). Obseg emisij teh plinov je odvisen od lastnosti tal, vremenskih razmer, agrotehničnih ukrepov – med temi imajo velik vpliv način mehanske obdelave in uporaba gnojil, vnos organske snovi v tla, vrsta posevka oz. kolobar idr. (Xu in sod., 2017). V konvencionalnem kmetijstvu sproščanje CO_2 povečujeta intenzivna mehanska obdelava (Al-Kaisi in Yin, 2005; Dong in sod., 2017) in drugi ukrepi, zaradi katerih je v tleh pospešena razgradnja talne organske snovi.

Eden od ukrepov, ki lahko v poljedelstvu pomembno prispevajo k povečanju vsebnosti ogljika v tleh in zmanjšanju izgub, je **zmanjšana mehanska obdelava tal** (omejeno oranje, plitvejša obdelava brez obračanja tal, ali direktna setev brez posegov v tla – »no-till«). Le-ta v splošnem rezultira v zmanjšanju dihanja tal, večji vsebnosti talne organske snovi, stabilizaciji humusa zaradi zaščite v talnih agregatih (Corbeels in sod., 2016) ter tudi zmanjšani eroziji zaradi večje pokritosti tal z organskimi ostanki (Tebrügge in sod., 1999). Kljub temu pa vse dovolj dolgo potekajoče raziskave niso odkrile enakega kopičenja vsebnosti talne organske snovi pri zmanjšani obdelavi tal, posebej če v analizah upoštevamo tudi talne horizonte pod globino obdelave (Kaurin in sod., 2015). Vezava (sekvestracija) ogljika ni odvisna le od same obdelave tal, temveč temelji na celovitem sistemu upravljanja, ki poleg obdelave vključuje tudi **stalno pokritost tal z rastlinami ali organskimi ostanki**, pa tudi bolj raznolik kolobar, vključno s prekrivnimi dosevkami. Za slednje so npr. v meta-analizi (Poeplau in Don, 2015) ugotovili sekvestracijo 0,32 t C /ha/leto, pri čemer je saturacija tal dosežena v 155 letih. Potreben je torej sistemski pristop, ki je opredeljen kot ohranitveno kmetijstvo in ima dokazano večjo zmožnost sekvestracije CO_2 -C (Drury in sod., 2006).

Za ohranitev trenutnih zalog talne organske snovi se npr. za območja pridelave pšenice v ZDA in EU ocenjuje, da je v povprečju potrebnih 5 t/ha/leto rastlinskih ostankov (Wang in sod., 2016). Povečan pridelek sicer pomeni večje količine ostankov s pozitivnim učinkom na vsebnost talne organske snovi, vendar večjih pridelkov ni možno doseči brez uporabe mineralnega N. Tako lahko predvsem v slabše prezračenih, težjih tleh ali v bolj humidnih podnebnih povečana uporaba N gnojil povzroči povečane emisije dušikovega oksida (N_2O) iz tal, kar zmanjšuje ali celo izniči ugodne učinke take pridelave na vezavo C v tla (Mei in sod., 2018; Powelson in sod., 2014). Zaradi tega je nujno povečanje vsebnosti C v tleh povezati z meritvami emisij N_2O in v ekvivalentih CO_2 izraziti neto spremembo emisij TGP iz posameznih pridelovalnih sistemov.

V **ekološkem sistemu** pridelave je mnogo manj znanega o neto emisijah TGP v primerjavi s konvencionalnimi sistemi. Tudi v ekološkem sistemu pridelave poznamo več načinov obdelave tal, vendar so ohranitveni načini posebno zahtevni zaradi večjih težav s pleveli, ki jih oranje dokaj uspešno omejuje (Bond in Grundy, 2001; Peigné in sod., 2007). Potencial zmanjšane mehanske obdelave v ekološkem kmetijstvu na sekvenciacijo C je tako slabo poznan, posebej kadar jo kombiniramo z dosevki. V razmerah, ki omejujejo amonifikacijo in nitrifikacijo, lahko vnos organske snovi stimulira denitrifikacijo in s tem emisije N_2O . Zato je v ekološkem kmetijstvu potrebno omejeno mehansko obdelavo tal in vnos organske snovi (npr. z mulčenjem, zelenim gnojenjem, uporabo dosevkov) prilagajati ciljem povečevanja zaloga C in zmanjševanja prostih oblik dušika ter njegovih izgub iz tal.

V **ekološkem poljedelstvu** so v času aktivne rasti poljščin vsebnosti talnega mineralnega dušika (N_{min}) in posledično emisije N_2O in izpiranje NO_3^- majhne, vendar obstaja možnost kopičenja in izgube N_{min} že v času staranja pridelka, še posebej po žetvi/spravilu. Tveganje izgub N_2O se poveča, ko se v tla vgradijo ali na površini pustijo velike količine zelenih rastlin ali organskih gnojil s hitro dostopnim dušikom (N) in razgradljivim ogljikom. Zamrzovanje/taljenje, sušenje/ponovno vlaženje, stisnjena in/ali vlažna tla ter mehansko mešanje ostankov pridelkov v tla še povečajo tveganje izgub N_2O . V celovitem **obtoku dušika na polju** pa so »bazalne« emisije iz zaloga dušika v organski snovi v tleh (iz humusa) najpomembnejši dejavnik za emisije N_2O v ekološkem poljedelstvu, zato je povezava med letnim vnosom dušika in letnimi skupnimi emisijami N_2O šibka. Nadaljnja redna uporaba dosevkov lahko zmanjša izpiranje NO_3^- in poveča vsebnost organske snovi v tleh, vendar obenem lahko poveča emisije N_2O . Potrebna je **optimizacija vrstenja poljščin in uporaba dosevkov**, da se izboljša sinhronost mineralizacije s privzemom dušika v pridelke za izboljšanje produktivnosti polja, kar bo hkrati zmanjšalo dolgoročno tveganje izpiranja NO_3^- in emisij N_2O (Hansen in sod., 2019).

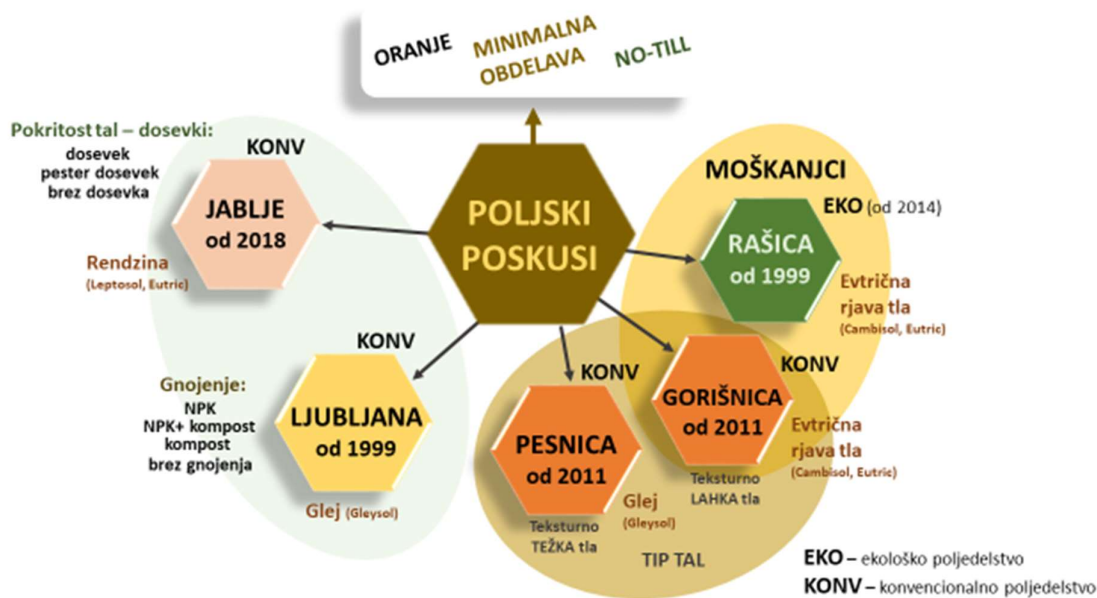
Znano je, da način obdelave tal na dolgi rok značilno vpliva na **kakovost tal** (Six in sod., 1999; Abdalla in sod., 2013; Kaurin in sod., 2015; Lognoul in sod., 2017). Ohranitveni načini obdelave tal namreč zmanjšujejo posege v talni ekosistem, kar zmanjša oksidacijo organskih snovi in poveča vsebnosti stabilne organske snovi zgornjega sloja tal v primerjavi s konvencionalnim oranjem. Posledično sta večji obstojnost strukturnih agregatov in infiltracija vode, kar preprečuje razpad strukturnih agregatov ob nalivih in s tem tudi odnašanje suspendiranih talnih delcev (Larsen in sod., 2014), zmanjšana erozija tal minimizira onesnaževanje in izgubo hranil (Carkovic in sod., 2015). Ohranitveni načini obdelave tal z dopolnjujočimi praksami ohranitvenega kmetijstva (minimalni posegi v tla, minimalna pokritost tal 30 %, pester kolobar) nadalje povečujejo biološko aktivnost. Dobro strukturna in stratificirana tla zagotavljajo pravi habitat za organizme različnih velikosti. Nasprotno pa zbita tla zmanjšujejo mikrobovo biomaso, aktivnost in pestrost (Vian in sod., 2009), pa tudi številčnost deževnikov in z njimi povezano nastajanje rogov (makropor) in glistin (Jégou in sod., 2002). Deževnike smatramo za »arhitekta« tal, saj lahko vplivajo na strukturo tal z mešanjem mineralnih in organskih komponent v agregate, z izločanjem polisaharidov lepijo talne delce in s kopanjem rogov nastajajo makropore (Blouin in sod., 2013). Zato moramo biti pozorni na medsebojne **interakcije med biotsko pestrostjo in obdelovanjem tal**. Na primer, oranje lahko uniči deževnike, razpoke in talne pore, ki jih ustvarijo korenine, medtem ko se v načinih obdelave tal brez oranja ohranja biološka makroporoznost in strukturni agregati (Shipitalo in sod., 2000). Talni mikroorganizmi so večinoma heterotrofi, omejeni z razpoložljivostjo C ali energije za razmnoževanje, zato so odvisni od prenosa organskih ostankov v globino, ki se med načini obdelave tal razlikuje. Mikrobi organske ostanke razgradijo do mineralnih snovi, pogosto sproščanje hranil ni časovno skladno s potrebami rastline. Najpomembnejši dejavniki razgradnje so vnosi in kakovost rastlinskih ostankov ter biomasa, aktivnost in pestrost organizmov v tleh (Schmidt in sod., 2011). Študije kažejo, da se tako makro in mezofauna, kot tudi talna mikrobiota odzivajo na spremembe v obdelavi tal (Cluzeau in sod., 2012; Bai in sod., 2018; Menta in sod., 2018; Kaurin in sod., 2018; Cania

in sod., 2020). Deževniki, funkcionalni geni in »bait lamina« test se kažejo kot minimalni set bioloških kazalcev kakovosti tal za spremljanje sekvestracije C in drugih ekosistemskih storitev, za učinkovit monitoring biodiverzitete tal pa je potrebno vključiti več taksonomskih skupin (Griffiths in sod., 2016).

3 METODE DELA

Pregled literature za potrebe izročkov v sklopu DS1 smo izvedli z iskanjem relevantnih ključnih besed na temo zmanjšane obdelave tal, sistemov za spremljanje TGP izpustov ter pregledom področja modelnih programov za vrednotenje in oceno razogljčenja kmetijstva.

Meritve v ostalih delovnih sklopih smo izvedli na obstoječih dolgoletnih poskusih z različnimi kombinacijami med intenziteto obdelave tal (oranje, minimalna obdelava, direktna setev), tipom gnojenja (mineralno, kompost, brez gnojenja), sistemom pridelave (ekološko, konvencionalno, vključevanje dosevkov) ter teksturo tal (teksturno težja in lažja tla) (Slika 1).



Slika 1: Shema dolgoletnih poljskih poskusov z glavnimi obravnavanji projekta »ReC-Till«

Emisije TGP

Za meritve CO₂ smo uporabili komore za dihanje tal, povezane na merilni sistem Licor, ki v merilnem ciklu ca. 5 minut poda vrednost iztoka CO₂ iz tal (μmol CO₂/m²/sek). Meritev smo na vsaki parceli posameznega poskusa ponovili v več meritvah, da bomo dobili oceno prostorske heterogenosti emisij CO₂. Hkrati smo merili tudi temperaturo tal in vsebnost vode v tleh, kar nam je omogočalo izdelavo modela odvisnosti emisij CO₂ od talne temperature.

Vzporedno z Licor sistemom smo na dolgoletnem poskusu Biotehniške fakultete izvedli meritve vseh TGP plinov (metana – CH₄, didušikovega oksida – N₂O ter CO₂) z metodo zaprte komore (Hutchinson in Mosier, 1981). Pri tej metodi se komore zapre za 45 minut in v tem času iz vsake komore vzame 4 vzorce plina (20 ml) ter shrani v pred evakuirane vial: ob času 0, 15, 30 in 45 minut po zaprtju komore. Vzorčenje plinov smo izvajali skozi celotno rastno sezono koruze v sezoni 2021. Sestava plinov je bila analizirana na GC aparatu v CREA v Gorici (IT).

Vsebnost in zaloge talnega organskega C

Za določanje vsebnosti organskega ogljika v tleh smo uporabili metodo suhega sežiga na elementarnem analizatorju (Vario MAX CN, Nemčija) (SIST ISO 10694, 1996), od katerega smo odšteli vsebnost mineralnega ogljika (karbonatov). Delež organske snovi pa smo izračunali kot količnik organskega ogljika v talnih vzorcih in deleža ogljika v organski snovi (58 %).

Za izračun zalog C v tleh smo uporabili podatke o volumski gostoti tal z odštetim deležem skeleta. Zaloge C v tleh smo izračunali po enačbi:

$$\text{Zaloga C (t Corg ha}^{-1}\text{)} = \text{Corg (\%)} \times \text{pb (g/cm}^3\text{)} \times 10$$

Produktivnost agroekosistema

Pridelek posamezne poljščine smo ugotavljali ob zrelosti na posameznih poskusnih parcelah v več ponovitvah. Vzorčne ploskve smo prilagodili posevku; za žita in druge manjše posevke smo vzorčili 1-2 m² velike ploskve, za večje posevke (koruzo in sončnice) smo vzorčili po dve vrsti 2 m dolžine. Biomaso nadzemnega dela rastlin smo vzorčili na višino, primerljivo s strojno žetvijo. Na terenu smo za manjše posevke posamezni vzorec shranili v jutaste vreče in posušili pri 40°C v sušilniku na zračno suho vlažnost. Suhe vzorce smo omlatili in pridobili uporaben pridelek zrnja oz. semen. Izračunali smo delež slame in pridelka. Za primer koruze in sončnic smo slamo stehali že na terenu in za določitev vlage vzeli le majhne podvzorce. V sušilnikih smo za te posevke sušili storže oz. koške. Za vse posevke smo v končni fazi izračunali uporaben pridelek suhe snovi na hektar. Za nekatere posevke smo določali le skupno biomaso na hektar bodisi, ker se je posevek pred žetvijo obdelal (rž kot zastirka) bodisi ker zaradi pretiranega zapleveljenja nismo dopustili tvorbe semen plevelov.

Razliko v pridelkih smo testirali z uporabo t-testov pri stopnji značilnosti 0,05. Izračunali smo relativni pridelek MT oz. NT v primerjavi z CT ($\text{MT/CT} \times 100$).

Primerjave relativnih pridelkov med posameznimi poskusi naše raziskave so le deloma mogoče, če privzamemo dovolj dolgo trajanje poskusov in posebej, če je v istem letu na poskusih posejan isti posevek.

Pokritost tal

Testirali smo določanje pokritosti tal z uporabo aplikacije Refarmo.

Rodovitnost tal

Določali smo vsebnost rastlinam dostopnih oblik kalija in fosforja po metodi Egner-Rirhm-Domingo (Egner in sod, 1960). Vsebnost kalija smo pomerili z atomsko absorpcijsko spektrometrijo (AAS, Varian AA240FS), vsebnost fosforja pa z aparatom Gallery Automated Photometric Analyzer (Thermo Scientific, ZDA). pH vzorcev smo merili v raztopni 0,01 M CaCl₂ v razmerju tla: CaCl₂ = 1 : 5 po standardu ISO 10390 (2005).

Mikrobna biomasa in sestava mikrobnih združb

Mikrobni biomasni ogljik (Cmic) smo določili s fumigacijo s kloroformom ter naknadno ekstrakcijo tal z 0,01 M CaCl₂ (ISO 14240-2, 2011). DNK iz talnih vzorcev smo ekstrahirali s pomočjo DNeasy PowerSoil Pro kompleta po navodilih proizvajalca (Qiagen, Venlo, Nizozemska). Sestavo splošne mikrobne združbe tal (bakterijska in arhejska 16S, glivna ITS) smo določili s kvantitativnim PCR-jem (qPCR) v 15

μL mešanici, ki je vsebovala 2 ng izolirane DNA, 7,5 μL 2x ABsolute Blue qPCR SYBR Green Low Rox (ThermoFischer Scientific, Waltham, Massachusetts, ZDA), po 1,5 μL »forward« in »backward« 10 μM začetnika glede na posamezen gen (bakterijska 16S (Muyzer in sod., 1993), glivna ITS (White in sod., 1990) ter arhejska 16S (Ochsenreiter in sod., 2003)).

Makrofavna in mezofavna

Deževnike smo določali v skladu s standardom ISO 23611-1 (2006), ki vključuje ročno sortiranje do globine 20 cm in ekstrakcijo z alil izotiocianatom, ki draži kožo deževnikov, da prilezejo na površje. V laboratoriju smo določali število in biomaso deževnikov.

Za ekstrakcijo ostalih nevretenčarjev iz tal smo uporabili Kempsonov ekstraktor, v katerem talne živali iz vzorca zaradi sušenja substrata in povišane temperature na površini bežijo v smeri gravitacijske sile po lijaku navzdol v pasti. Vzorce nevretenčarjev smo pregledali s pomočjo stereolupe, jih določili do reda ali razreda in jim določili EMI vrednost.

Ekološki odtis

Orodje Cool Farm Tool® smo uporabili za oceno neto izpustov TGP iz kmetijstva in za oceno sekvestracije ogljika na ravni kmetijskega gospodarstva, ki se osredotoča na kmetije, in je prilagojen gospodarjenju na posamezni kmetiji, hkrati pa zahteva le vhodne podatke, ki naj bi jih običajno imel vodja kmetije. Orodje je na voljo na spletnem naslovu <https://app.coolfarmtool.org/>.

SPionWeb® smo uporabili kot standardno metodo, ki omogoča izračun ekološkega odtisa (SPI), izpustov CO_2 (kg) in celokupnih izpustov TGP (kg), vseh vključenih podprocesov. Programska oprema je prosto dostopna na internetnem naslovu <http://spionweb.tugraz.at/>.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

V seriji dolgoletnih poljskih poskusov z različno intenziteto obdelave tal smo preverili učinkovitost ohranitvenih načinov obdelave (minimalna, plitva obdelava brez obračanja tal, direktna setev oz. *no-till*) v primerjavi s klasičnim oranjem, predvsem z vidika povečanja vezave C v tla (sekvestracije C) in zmanjšanja emisij toplogrednih plinov (TGP).

4.1 Vezava ogljika v tla v odvisnosti od obdelave tal

Na dolgoletnih poljskih poskusih smo izvedli temeljita vzorčenja tal z namenom ocene sekvestracije C v odvisnosti od kmetijskih praks. Naši rezultati z vseh dolgoletnih poskusov so pokazali, da zmanjšana intenzivnost obdelave tal vpliva na večjo vsebnost organskega ogljika (C_{org}) v zgornjih 10 cm tal v primerjavi z oranji (Preglednica 1). Potrebno je poudariti, da so spremembe v C_{org} izredno počasne in odvisne od tehnoloških ukrepov in okoljskih dejavnikov.

Prve spremembe v vsebnosti C_{org} se najprej pokažejo v zgornjem centimetru tal, posebno pri direktni setvi. V tleh najmlajšega poskusa v Jabljah (KIS) se je tako pokazala večja vsebnost C_{org} v zgornjem 0-1 cm sloju tal pri NT v primerjavi z minimalno obdelavo in oranjem v četrtem letu prehoda iz konvencionalnega oranja. Podobno smo prve razlike v C_{org} opazili v zgornjem 1 cm tal na poskusu Rašica (ULBF) ob prehodu iz minimalne obdelave tal v direktno setev. Pomembno je poudariti, da je bilo povečevanje vsebnosti C_{org} na poskusu Rašica počasno in je doseglo statistično značilno razliko med minimalno obdelavo in oranjem v zgornjem 0–10 cm sloju šele po več kot dvanajstih letih različne obdelave tal, t.j. v letu 2015.

Preglednica 1: Vsebnost organskega ogljika C_{org} (%) v tleh v odvisnosti od obdelave tal in globine vzorčenja.

Poskus	Obdelava	C_{org} (%)			
		0-1	0-10	10-20	30-60*
Jablje, KIS (začetek poskusa 2018)	NT	3.3	2.7	2.6	1.9
	E	2.8	2.6	2.6	2.1
	O	2.9	2.6	2.6	2.0
Pesnica, ULBF (začetek poskusa 2011)	NTo	3.6	3.0	2.8	1.8
	NTe	3.7	3.2	2.7	1.8
	E	3.5	3.1	2.5	1.7
	O	2.8	2.6	2.6	1.8
Gorišnica, ULBF (začetek poskusa 2011)	NTo	1.9	1.6	1.5	0.8
	NTe	2.4	2.1	1.6	1.0
	E	2.3	2.0	1.8	1.1
	O	1.6	1.5	1.5	0.9
Rašica, ULBF (začetek poskusa 1999)	NT	2.7	2.1	1.6	0.8
	MT	2.2	1.9	1.5	0.7
	O	1.3	1.4	1.4	0.6
Ljubljana, ULBF (začetek poskusa 1999)	NT-CON	3.8	2.8	2.1	0.7
	NT-MIN	4.0	2.7	2.1	0.8
	NT-MIX	5.0	3.4	2.3	0.7
	NT-ORG	7.6	3.8	2.4	0.8
	O-CON	2.3	2.0	1.9	0.6
	O-MIN	2.4	2.1	2.1	0.6
	O-MIX	2.6	2.5	2.4	0.6
	O-ORG	3.3	2.5	2.3	0.8

Oznake: E – minimalna obdelava, O – orano, NT – no till, NTo – No till 5 let po oranju, NTe – No till 5 let po minimalni obdelavi; CON-brez gnojenja, MIN – mineralno gnojenje, MIX – kombinacija, ORG- gnojenje s kompostom. Vzorčenje je potekalo jeseni 2020 za poskuse Gorišnica, Pesnica, Rašica, Ljubljana (ULBF) ter spomladi 2021 za poskus Jablje (KIS) (*vrednosti za Jablje so podane na 30-40 cm globine).

Gnojenje s kompostom značilno povečuje vsebnosti C_{org} v obeh načinih obdelave tal, tako pri oranem kot pri direktni setvi, je pa pri slednji povečanje bolj izrazito (poskus Ljubljana, ULBF) (Govednik in sod., 2023). Prehod v ekološki sistem kmetovanja (poskus Rašica, ULBF) povečuje vsebnosti C_{org} pri ohranitvenih načinih obdelave, za razliko od konvencionalnega oranja, kjer sprememb zaradi prehoda v ekološki sistem po petih letih še ni bilo (Mihelič in sod., v tisku). Povečevanje vsebnosti C_{org} v tleh je odvisno tudi od lastnosti tal (teksture) (poskus Gorišnica in Pesnica, ULBF). Rezultati kažejo, da teksturno težja tla (Pesnica) skozi čas lahko vežejo več organskega ogljika kot teksturno lažja tla.

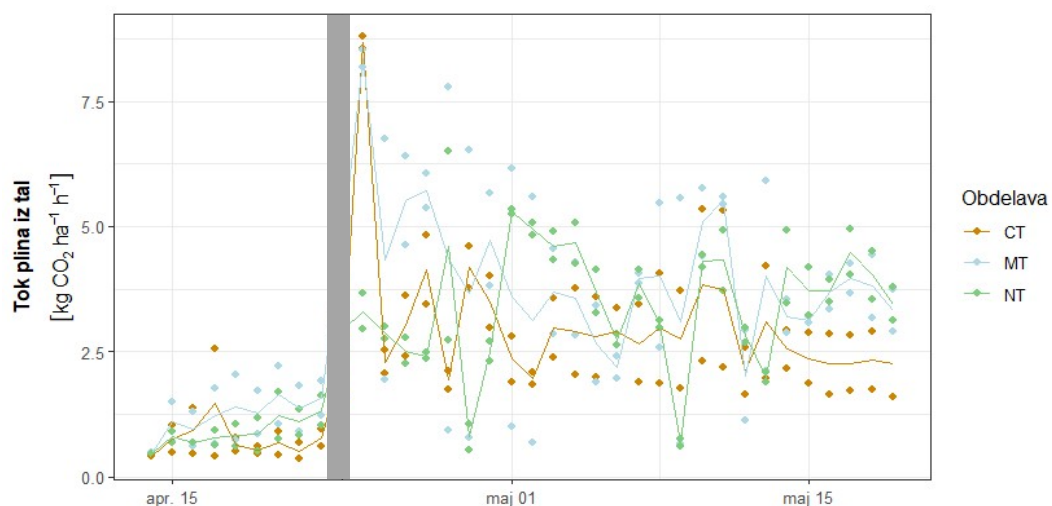
4.2 Emisije TGP v odvisnosti od obdelave tal

Meritve emisij TGP smo izvajali na vseh dolgoletnih poskusih, vendar v različnem obsegu.

- (i) Kontinuirane (polurne) meritve emisij CO_2 na poskusnem polju na Rašici (UL-BF). (Eler in sod., članek v pripravi)
- (ii) Na ostalih ploskvah smo izvajali periodične meritve s sistemom Licor Li-6400xt (UL-BF in KIS). Za harmonizacijo postopkov periodičnih meritev dihanja tal smo v začetku marca 2021 na poskusni ploskvi IC Jablje (KIS) organizirali delavnico z namenom harmonizacije meritev Biotehniške fakultete in Kmetijskega inštituta Slovenije. Oba partnerja sta namreč izvajala periodične meritve na svojih poskusih z enakim tipom in proizvajalcem sistema za dihanje, t.j. Licor Li-6400xt. Rezultate meritev smo predstavili na simpoziju Novi izzivi v agronomiji 26.-27. januarja 2023 (Eler in sod., 2023; Rovanšek in sod., 2023).
- (iii) Na dolgoletnem poskusu ULBF v Ljubljani smo prvič v slovenskem prostoru izvedli meritve vseh treh TGP (CO_2 , N_2O in CH_4). Izdelali smo specialne merilne komore. Pri dizajnu komor smo se naslonili na harmonizirano zasnovo komor in merilnega postopka v okviru potekajočega EJP SOIL projekta SOMMIT (<https://ejpsoil.eu/>). Meritve emisij CO_2 , N_2O in CH_4 smo pilotno testirali v letu 2021 v času vegetacije koruze. Rezultati meritev N_2O v povezavi z mikrobnima združbama nitrifikatorjev in denitrifikatorjev so predstavljeni v članku poslanem v revijo STOTEN (Govednik in sod., v recenziji).

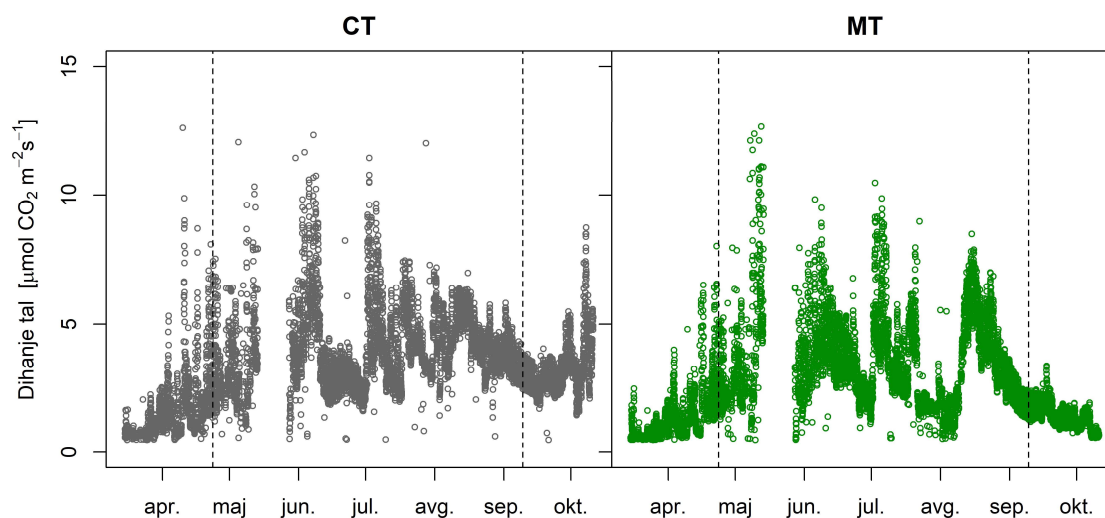
(i) Kontinuirane meritve CO_2

Na dolgoletnem poskusu **Rašica (ULBF)** smo s kontinuiranimi meritvami fluksov CO_2 , ki smo jih opravili po obdelavi tal 23. aprila 2020 proučili t.i. izdih tal, ki se zgodi neposredno po obdelavi, ko beležimo ventilacijo CO_2 , ki je skladiščen v talnih porah, v kasnejših dneh pa tudi pospešitev mikrobnega dihanja zaradi večje razpoložljivosti kisika, razbijanja talnih agregatov in pospešitvenega učinka. Primerjava parcel z različno obdelavo tal kaže povečanje emisij CO_2 iz tal, zlasti na parcelah MT (ohranitvena obdelava) in CT (oranje), na NT (brez obdelave) je bilo povečanje manj izrazito, vendar vseeno prisotno (Slika 2). Neposredno po oranju smo namreč izvedli tudi setev koruze in kaže, da tudi sejalnica za direktno setev predstavlja določen poseg v tla na območjih zadelave semen, kar vpliva na povečanje emisij za ca. 2-krat v primerjavi z emisijami pred posegom. Na CT in MT so bila povečanja 8- do 10-kratna, vendar pa emisije niso dosegale takšnih vrednosti kot na BF polju, kar pripisujemo metodološki oviri, da je merilce za kontinuirane meritve težko tako hitro namestiti nazaj na ploskev po obdelavi tal. Kaže, da smo največje emisije po obdelavi tal na poskusu Rašica torej zamudili. Emisije v kasnejših dneh po obdelavi kažejo, da so se na CT parceli emisije prej umirile kot na MT in NT, kar pripisujemo večji zapleveljenosti teh dveh parcel in večjemu doprinosu dihanja korenin k skupnim emisijam iz tal.



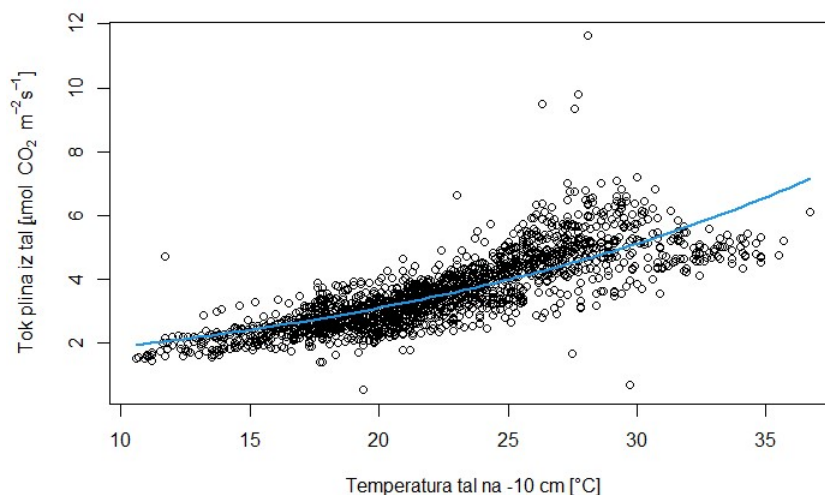
Slika 2: Emisije CO₂ iz tal na treh parcelah poskusa Rašica v Moškanjcih z različno obdelavo tal pred in po obdelavi tal (čas obdelave tal predstavlja siv pas).

Sezonski podatki meritev na dolgoletnem poskusu Rašica (ULBF) na ploskvah CT in MT kažejo velika nihanja v ravnem obdobju, s podobnim potekom emisij CO₂ med obravnavanjema (Slika 3). V grobem letni hod sledi temperaturi tal, to odvisnost pa prekinjajo bolj sušna obdobja, ki dihanje tal zmanjšajo, ter obdobja po dežju, ko se dihanje okrepi. Ocenili smo tudi kumulativno dihanje tal za obravnavano obdobje za obe ploskvi. Kumulativno dihanje tal na ploskvi MT je večino sezone sledilo tisti na CT, nekaj več razlik se je pojavilo v jeseni, ko se je dihanje na CT okrepilo, vendar ni bilo statistično značilnih razlik zaradi širokih intervalov zaupanja; skupno je bilo dihanje tal na koncu obravnavanega obdobja na ploskvi CT $24,3 \pm 5,1$ ton CO₂ ha⁻¹, na ploskvi MT pa $20,0 \pm 4,8$ ton CO₂ ha⁻¹.



Slika 3: Sezonska dinamika dihanja tal v rastni sezoni leta 2020 za ploskvi CT in MT; prikazana so polurna povprečja treh meritev oz. treh merilnih komor. Vertikalne črte prikazujejo termin obdelave tal

Podrobnejša analiza merjenih podatkov emisij CO₂ iz tal v odvisnosti od okoljskih dejavnikov, predvsem temperature, nam daje oceno t.i. Q10 vrednosti. Ta vrednost je v literaturi pogosto citirana kot orientacijska za primerjavo različnih študij med seboj, povezujejo pa jo z kazalniki razgradljivosti talne organske snovi (pH, C/N razmerje, tekstura tal, tip tal). Med različnimi obdelavami tal nismo zaznali razlik v Q10 oz. v temperaturni odvisnosti emisij CO₂ iz tal, zato smo izračunali skupen model za vse načine obdelave tal (Slika 4). Na osnovi tega modela znaša Q10 za Rašico 1.646, kar je vrednost, primerljiva z drugimi raziskavami na njivskih tleh.



Slika 4: Model odvisnosti dihanja tal od talne temperature za vsa obravnavanja dolgoletnega poskusa ULBF v Ljubljani.

(ii) Meritve CO₂s sistemom Licor

Na dolgoletnem poskusnem polju Biotehniške fakultete v Ljubljani (z začetkom l. 1999) in na poskusu Kmetijskega inštituta v Jabljah (z začetkom l. 2018) smo v sezoni 2021 harmonizirano izvajali meritve emisij CO₂ iz tal s sistemom Licor, na obeh poskusih v posevku koruze.

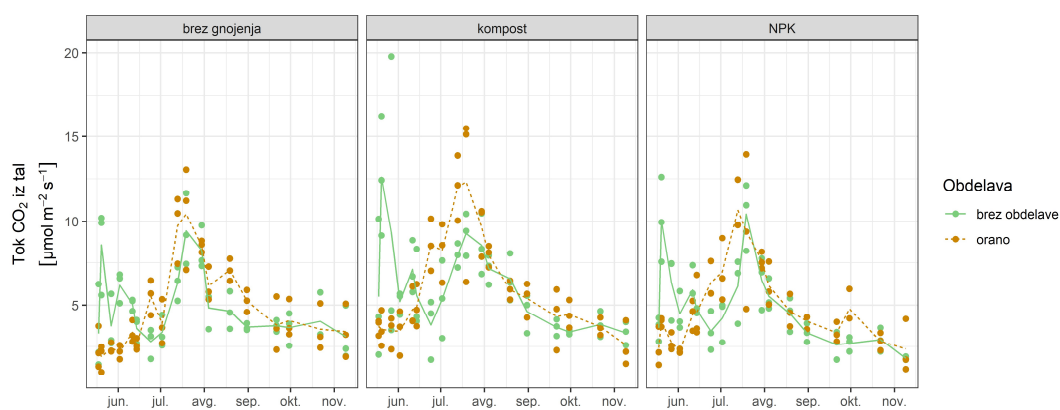
Rezultati meritev na poskusu **Ljubljana (ULBF)** (Slika 5) kažejo na večji učinek dolgoletne obdelave tal kot načina gnojenja, saj je bil tok CO₂ iz tal na no-till parcelah kmalu od setve koruze naprej večji kot na oranih parcelah, kasneje, posebej ob višku toka CO₂ iz tal sredi poletja, pa je bil na no-till parcelah nekoliko nižji. Posebej je ta razlika zaznavna na parcelah, gnojenih s kompostom, kjer očitno vdelava komposta v tla pomeni določen dodatni vir ogljika za mikrobnobno mineralizacijo. Zanimiva je podobnost tokov CO₂ med parcelami brez gnojenja in NPK gnojenimi parcelami, kar pomeni, da se znatno večja biomasa koruze na NPK parcelah ni odrazila na večjem toku CO₂, čemur bi prispevale korenine koruze. Variabilnost tokov CO₂ iz tal je bila sicer znatna, posebej takrat ko so povprečni tokovi CO₂ iz tal veliki, kar je dokaj znan pojav za te meritve. Po preprosti trapezoidni metodi smo izračunali tudi ocene skupnih emisij CO₂ iz tal od obdelave tal v maju 2021 do konca meritev novembra 2021 (Preglednica 2). Tudi tu se kažejo večji tokovi CO₂ na parcelah, gnojenih s kompostom in primerljivost tokov med negnojeno in NPK varianto. Razlike med oranimi in no-till parcelami so nekoliko manjše, so pa konsistentno tokovi CO₂ iz tal na no-till parcelah manjši kot na oranih.

Tokove CO₂ smo z večjo frekvenco merili tudi neposredno pred in takoj po obdelavi tal (Slika 6), ko predvsem pomerimo "izdih" CO₂, ki se je nakopičil v talnih porah in bil ob obdelavi izpuščen (meritve neposredno za strojem), ter domnevno v nekoliko manjši meri pospešeno mikrobnobno aktivnost zaradi

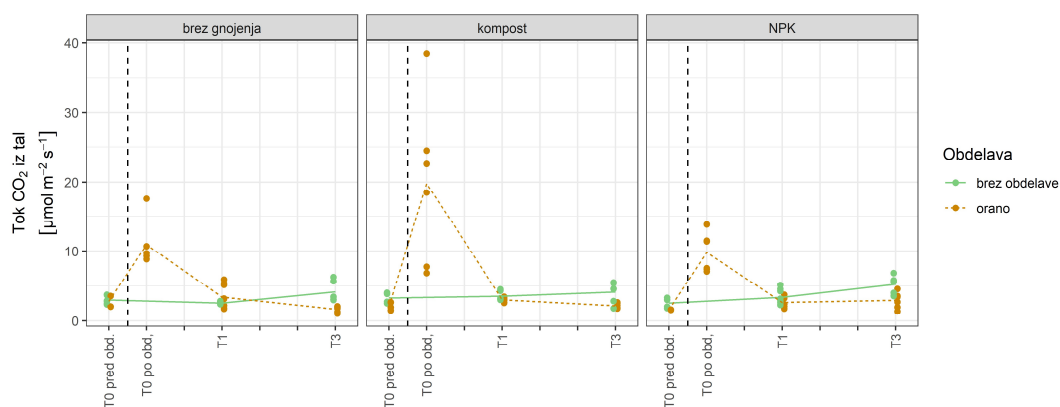
motnje. Med parcelami gnojenimi z NPK in negnojenimi parcelami nismo ugotovili značilnih razlik, parcele gnojene s kompostom pa so imele v povprečju večje emisije CO₂ iz tal na dan obdelave (T0). Parcele brez obdelave tal (no-till) so pričakovano imele v tem obdobju nizke tokove CO₂ iz tal. Naslednji dan po obdelavi (T1) so emisije CO₂ že občutno upadle in bile primerljive s tistimi na no-tillu. Tretji dan po obdelavi (T3) so bile emisije na oranih parcelah celo nižje od no-till parcel.

Preglednica 2: Kumulativni tokovi ogljika v kg C/ha za obdobje med 10.5.2021 in 9.11.2021 v posevku koruze po načinu obdelave tal in načinu gnojenja (n=3).

	negnojeno	kompost	NPK
No-till	8791	10677	8473
Orano	9302	11219	9191

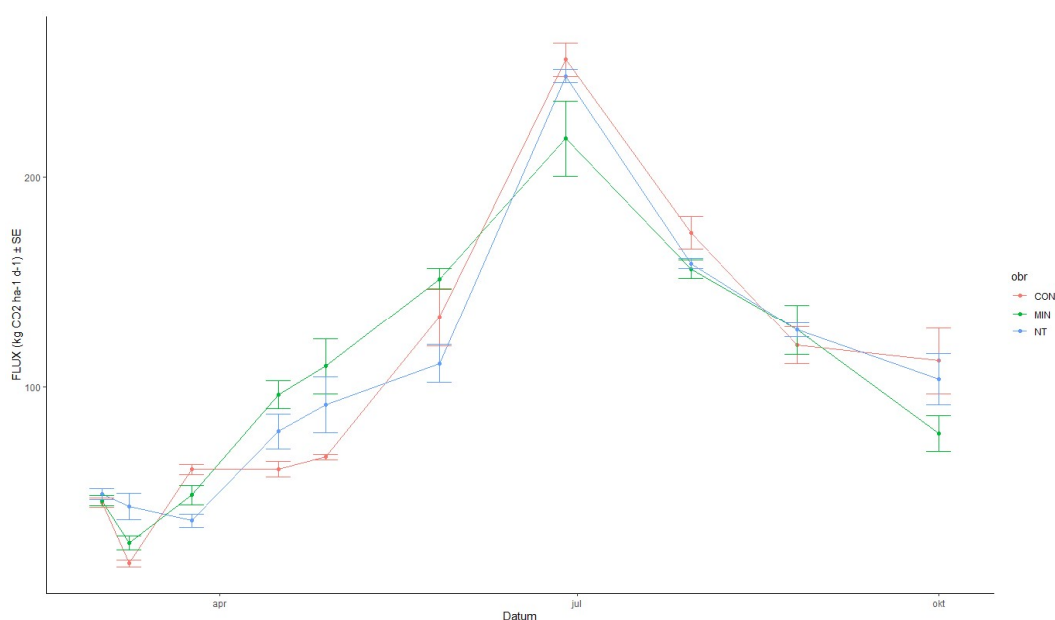


Slika 5: Sezonski potek emisij CO₂ iz tal na BF polju za parcele brez obdelave tal (no-till) in orane parcele, bodisi negnojene, bodisi gnojene s kompostom ali gnojene z NPK mineralnim gnojilom.



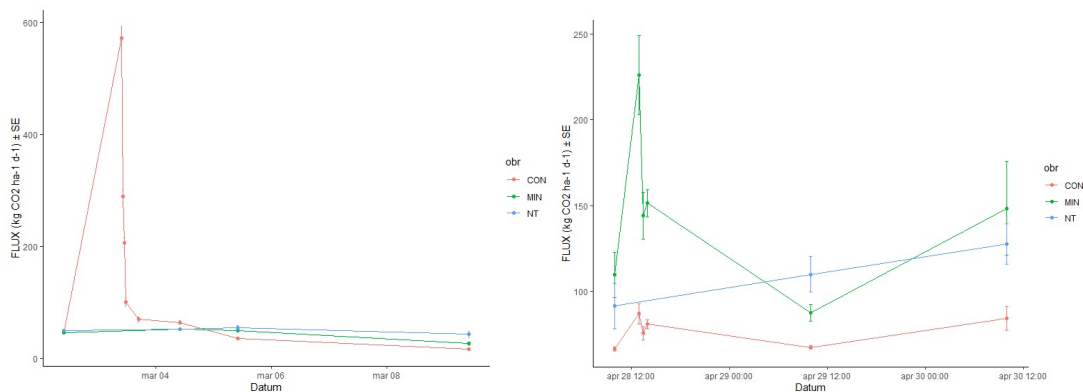
Slika 6: Kratkoročne emisije CO₂ iz tal na oranih parcelah pred in po obdelavi tal (črtna črta) v primerjavi z emisijami na parcelah brez obdelave tal (no-till). T0 je dan obdelave tal (10.5.2021), kratkoročne emisije smo spremljali naslednji dan in tretji dan po obdelavi.

Rezultati meritev na poskusu **Jablje (KIS)** kažejo, da so bile emisije CO₂ najnižje v obdobju predsetvene priprave pred začetkom rastne sezone korus in so naraščale do sredine poletja, ko so dosegle svoj vrhunec. Proti jeseni so emisije CO₂ upadale in se do konca rastne sezone spustile na vrednosti, ki so primerljive z vrednostmi ob začetku rasti posevka korus (Slika 7). Značilnih razlik v emisijah CO₂ med obravnavanji v sezonski dinamiki nismo ugotovili. V splošnem pa je bilo na začetku rastne sezone (marec) najbolj intenzivno dihanje tal opaženo v sistemu minimalne obdelave (MIN), kjer je bila predsetvena obdelava izvedena z dvema prehodoma s predsetvenikom, kar lahko nakazuje na večjo mikrobiološko aktivnost v zgornjem sloju tal, bogatemu z rastlinskimi ostanki. Na vrhuncu in tudi koncu sezone, pa je bilo dihanje v sistemu minimalne obdelave najnižje. V sistemu konvencionalne obdelave (CON) je bila konec marca, po izvedeni osnovni obdelavi tal – oranju, intenzivnost dihanja najnižja. Intenzivnost dihanja tal se je nato povečevala in na vrhuncu sezone (julij in avgust) je bila največja količina izdihanega CO₂ izmerjena prav v konvencionalno oranem sistemu (CON). Kljub malenkost večji začetni vrednosti izdihanega CO₂ v sistemu no till (NT) konec meseca marca, so se vrednosti v začetku aprila znižale, kar gre morda pripisati počasnejšemu segreganju neobdelanih tal.



Slika 7: Dihanje tal pri različnih protokolih intenzitete obdelave tal, skozi rastno dobo posevka korus na poskusu Jablje (KIS) v letu 2021 (CON – konvencionalno (oranje), MIN – plitva obdelava s predsetvenikom, NT – sistem brez obdelave tal)

Ob izvajanju tehnoloških ukrepov obdelave tal smo izhajanje CO₂ spremljali zelo intenzivno. Izkazalo se je, da je največje izhajanje CO₂ povzročila osnovna obdelava tal z oranjem, pri čemer se je izhajanje CO₂ povečalo za več kot 10-krat (Slika 8). Pri posameznih meritvah, so se vrednosti dvignile celo za več kot 20-krat. V roku ene ure po obdelavi so se te vrednosti več kot prepolovile in po sedmih urah dosegle vrednosti, ki so bile skoraj primerljive z začetno vrednostjo. Podobno dinamiko smo izmerili tudi pri dopolnilni obdelavi tal s predsetvenikom v sistemu minimalne obdelave tal. Pri tem porast izdiha CO₂ sicer ni dosegel vrednosti izmerjene pri oranju, vendar je bilo znižanje vrednosti po predsetveni obdelavi bolj intenzivno kot pri oranju. Pri obeh predsetvenih obdelavah je bil v naslednjih dneh opazen upad izhajanja CO₂, kar je lahko posledica porabe labilnih virov ogljika, ki so bili sproščeni pri obdelavi.

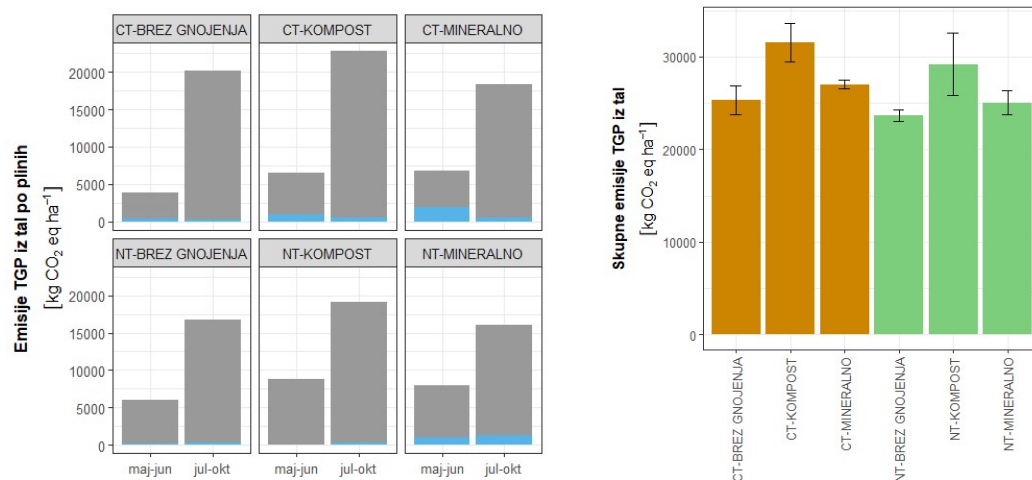


Slika 8: Dihanje tal v kratkem časovnem obdobju ob obdelavi tal z oranjem (levo) in predsetvenikom (desno) v sistemu konvencionalne obdelave na poskusu Jablje (KIS).

(iii) Meritve CO_2 , N_2O in CH_4

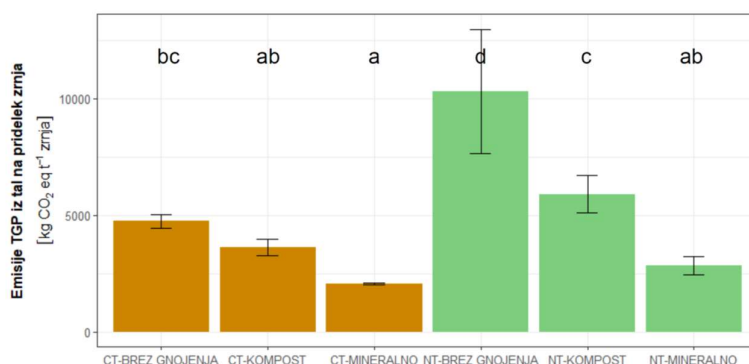
Na dolgoletnem poskusu ULBF v Ljubljani smo prvič v slovenskem prostoru izvedli meritve vseh treh TGP (CO_2 , N_2O in CH_4). Izračunali smo ekvivalente CO_2 upoštevajoč IPCC AR4 pretvorbene faktorje za metan (25) in didušikov oksid (298) ter primerjali relativne doprinose treh plinov k emisijam skupnih CO_2 ekvivalentov (CO_2eq) po obravnavanjih poskusa. Rezultati meritev emisij vseh treh toplogrednih plinov v sezoni 2021 so pokazali, da CO_2 prispeva daleč največji delež k skupnim emisijam, N_2O pa zelo malo, medtem ko se CH_4 v njivskih tleh porablja.

Rezultate emisij CO_2eq za obdobje posevka koruze v letu 2021 smo razdelili na dvoje obdobji (maj-junij in julij-oktober) (Slika 9, levo). N_2O je v relativnem smislu prispeval več v prvem obdobju, ko so bile emisije tega plina zaradi učinkov gnojenja in padavin večje. N_2O je imel v povprečju večji prispevek na parcelah z oranjem (CT); na negnojenih in s kompostom gnojenih parcelah NT je bil prispevek tega plina k emisijam CO_2eq zanemarljiv. V prvem obdobju so bile emisije CO_2eq nekoliko večje na NT parcelah, v drugem, poletno-jesenskem obdobju pa na CT parcelah. Z vidika gnojenja je nekoliko manj emisij CO_2eq na negnojenih parcelah. Kumulativne emisije CO_2eq za celo obdobje posevka se med obravnavanji mejno značilno razlikujejo ($p=0,07$); med načinoma obdelave tal razlik ni, nekoliko večje so med načini gnojenja (Slika 9, desno).



Slika 9: (levo) Vsote emisij CO₂ ekvivalentov za dve obdobji rasti koruze leta 2021 ter za posamezna obravnavanja dolgoletnega poskusa Ljubljana (ULBF) (siva barva je doprinos CO₂, modra doprinos N₂O); (desno) Skupne emisije za celo obdobje rasti koruze po obravnavanjih (ročaji predstavljajo std. napako povprečja, n=3).

Izračun specifičnih emisij CO₂eq na tono suhe snovi zrnja je pokazal večje specifične emisije oz. manjšo učinkovitost pridelave za NT parcele v primerjavi s CT parcelami, pri čemer specifične emisije padajo od parcel brez gnojenja preko parcel, gnojenih s kompostom do parcel, gnojenih z NPK gnojilom (Slika 10). Pridelek zrnja je bil na parcelah obravnavanja NT-negnojeno tako majhen, emisije CO₂eq pa ne toliko zmanjšane, da so specifične emisije tam največje. Specifične emisije na tono suhe snovi celotne nadzemne biomase koruze so bile na tem obravnavanju še posebej velike.



Slika 10: Specifične emisije CO₂ ekvivalentov na tono pridelka zrnja koruze po obravnavanjih poskusa Ljubljana (ULBF).

4.3 Kakovost agroekosistema

4.3.1 Produktivnost

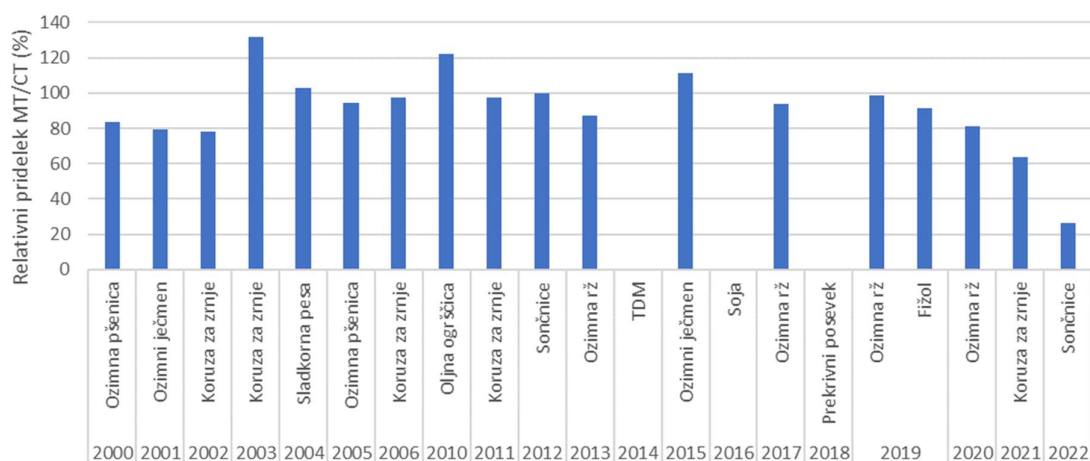
V okviru celostnih primerjav različnih kmetijskih praks in sistemov kmetovanja je primerjava pridelkov med ključnimi. Primerjava učinkov različnih načinov obdelave tal na produktivnost agroekosistema je zahtevna, saj podobno kot odzivi tal, zahteva dolgoletne poljske poskuse. Poleg tega je primerjava načinov obdelave tal lahko bolj ali pa manj neposredno vezana zgolj na obdelavo (Su in sod., 2021). Poskusov, kjer bi na dovolj dolgi rok primerjali zgolj učinke obdelave tal, druge učinke, ki načinu obdelave pritičejo (npr. pokritost tal po obdelavi, upravljanje s pleveli, kolobar), pa kontrolirali, je dokaj malo. V projektu ReC-Till smo primerjavo pridelkov izvedli na vseh obravnavanih poljskih poskusih za vsa leta, za katere imamo podatke. Poskusi ustrezajo kriterijem meta-raziskav (Pittelkow in sod., 2015; Su in sod., 2021) v tem, da gre za parne primerjave obdelav orano (CT) vs. minimalna (MT)/no till (NT), kjer so poljščine in kolobar iste, različna pa je prekritost tal z ostanki. Pridelke primerjamo znotraj posameznega poskusa in deloma med poskusi, kjer je primerjava smiselna (pedo-klimatski vplivi, različna starost poskusov).

Na dolgoletnem poljskem poskusu **Rašica (ULBF)**, z začetkom v letu 1999 in prehodom v ekološki sistem pridelave v letu 2014, večinoma nismo ugotovili razlik v pridelkih med konvencionalnim oranjem (CT) in minimalno obdelavo tal (MT); izjema sta ozimni ječmen in koruza za zrnje na začetku trajanja poskusa (2001 in 2002), kjer je bil pridelek na MT značilno manjši kot na CT (Preglednica 3, Slika 11) (Mihelič in sod., v tisku). To se sklada z drugimi poskusi, ki ugotavljajo večje razlike na začetku vpeljave zmanjšanih načinov obdelave tal kot pa v kasnejših letih (Cusser in sod., 2020; Pittelkow in sod., 2015).

Primerjava pridelkov pred prehodom na ekološko kmetovanje in po njem je težavna zaradi razmeroma majhnega nabora podatkov, ki onemogoča, da bi za dovolj veliko število let z istim posevkom opravili primerjavo. Namreč v takih primerjavah se močnejše kažejo drugi, npr. vremenski vplivi in učinki škodljivih organizmov. Kljub temu velja omeniti, da sta bila pridelka ozimne rži v letu 2020 in koruze v letu 2021 najnižja tekom trajanja poskusa, če izvajamo izjemno sušno leto 2003. To nakazuje na splošen upad pridelkov na tem poskusu, kar povezujemo predvsem z zapleveljenostjo, ki je v ekološki pridelavi nismo uspeli učinkovito odpravljati. Povprečno so bili pridelki na MT 90,1% pridelkov na CT z maksimumom 131% leta 2003 (koruza) in minimumom 26,5% leta 2022 (sončnice). Povprečna izguba ca. 10% je večja kot se kaže v globalnih primerjavah (Pittelkow in sod., 2015; Su in sod., 2021), čeprav je dosegala znosnih 5% še do vključno leta 2021. Zadnjih pet let na tem poskusu beležimo trend upadanja relativnih pridelkov na MT. Razlog je že omenjena zapleveljenost, ki smo ji morda v začetnih letih prehoda na ekološko pridelavo posvetili premalo pozornosti, zdaj pa je semenska banka plevelov v tleh tako velika, da posebej za poletne poljščine to pomeni veliko grožnjo. Deloma je neznačilnost razlik možno pripisati variabilnosti znotraj obravnavanj, čeprav variabilnost ni bila tako velika (v povprečju koeficient variacije 8%).

Preglednica 3: Pridelki poljščin na poskusu Rašica (ULBF) z različno intenzivnostjo obdelave tal (konvencionalna obdelava z oranjem (CT), minimalna obdelava (MT), direktna setev (NT)) v obdobju 2000–2020. Podatki so prikazani kot povprečja ± standardna deviacija (n = 4)

Leto	Posevek	MT (t ha ⁻¹)		CT (t ha ⁻¹)		Značilnost razlik
		Povprečje	SD	Povprečje	SD	
2000	Ozimna pšenica	6.5 ± 0.6		7.8 ± 0.3		n.s.
2001	Ozimni ječmen	5.0 ± 0.5		6.3 ± 0.1		*
2002	Koruza za zrnje	7.9 ± 0.4		10.1 ± 0.5		*
2003	Koruza za zrnje	2.9 ± 0.1		2.2 ± 0.3		n.s.
2004	Sladkorna pesa	15.6 ± 1.8		15.2 ± 1.4		n.s.
2005	Ozimna pšenica	5.0 ± 0.3		5.3 ± 0.1		n.s.
2006	Koruza za zrnje	8.0 ± 0.2		8.2 ± 0.2		n.s.
2010	Oljna ogrščica	4.4 ± 0.0		3.6 ± 0.1		n.s.
2011	Koruza za zrnje	7.4 ± 0.4		7.6 ± 0.5		n.s.
2012	Sončnice	1.6 ± 0.0		1.6 ± 0.0		n.s.
2013	Ozimna rž	4.7 ± 0.2		5.4 ± 0.3		n.s.
2014	Travno-deteljna mešanica	Pridelek ni bil merjen				
2015	Ozimni ječmen	3.9 ± 0.5		3.5 ± 0.2		n.s.
2016	Soja	Pridelek ni bil merjen				
2017	Ozimna rž	2.9 ± 0.1		3.1 ± 0.5		n.s.
2018	Prekrivni posevek	Pridelek ni bil merjen				
2019	Ozimna rž (celotna nadz. biomasa)	9.4 ± 2.4		9.5 ± 1.5		n.s.
	Fižol (celotna nadz. biomasa)	2.2 ± 0.2		2.4 ± 0.2		n.s.
2020	Ozimna rž	1.7 ± 0.2		2.1 ± 0.5		n.s.
2021	Koruza za zrnje	2.8 ± 0.7		4.4 ± 0.5		n.s.
2022	Sončnice	2.8 ± 0.7		4.4 ± 0.5		n.s.
	Povprečno razmerje (%) (MT/CT × 100)	94,9		100		n.s.



Slika 11: Relativni pridelki poljščin na poskusu Rašica (ULBF) z različno intenzivnostjo obdelave tal (konvencionalna obdelava z oranjem (CT), minimalna obdelava (MT)) v obdobju 2000–2020 za vsa leta trajanja poskusa.

Na dolgoletnem poljskem poskusu **Ljubljana (ULBF)**, z začetkom v letu 1999 smo izmerili večinoma nižje pridelke v NT (Preglednica 4). Značilne razlike so se pojavile skoraj izključno v koruzi, ki se je v tem poskusu izkazala kot poljščina, ki intenzivneje reagira na zmanjšano obdelavo oz. odsotnost obdelave. V povprečju vseh let/posevkov in vseh načinov gnojenja je pridelek na NT parcelah dosegal 82,9% pridelka na CT, kar je statistično značilno manj (Preglednica 5). Glede na način gnojenja (interakcija) je bil relativni pridelek NT najnižji na negnojeni varianti, kjer je dosegal 73,5% pridelka na CT. Na NT gnojenih parcelah je bil pridelek bolj primerljiv CT gnojenim parcelam, vendar so bili pridelki na NT statistično značilno vseeno manjši kot na CT.

Preglednica 4: Priderek poljščin na poskusu Ljubljana (ULBF) z različno intenzivnostjo obdelave tal (konvencionalna obdelava z oranjem (CT), direktna setev (NT)) v obdobju 2000–2020. Podatki so prikazani kot povprečja $\pm$ standardna deviacija ($n = 3$).

Leto	Posevek		NT (t ha ⁻¹)		CT (t ha ⁻¹)	
			Povprečje	SD	Povprečje	SD
2000	Koruz za zrnje	K	7,8	$\pm$ 1,15	10,5	$\pm$ 2,24
		K+NPK	6,5	$\pm$ 0,73	9,6	$\pm$ 2,05
		NPK	12,4	$\pm$ 2,37	13,1	$\pm$ 0,93
		Ø	6,2	$\pm$ 0,41	8,6	$\pm$ 0,56
2001	Ozimni ječmen	K	0,9	$\pm$ 0,23	1,3	$\pm$ 0,45
		K+NPK	1,8	$\pm$ 0,53	2,1	$\pm$ 0,12
		NPK	1,8	$\pm$ 0,66	2,9	$\pm$ 0,62
		Ø	0,6	$\pm$ 0,29	1,0	$\pm$ 0,33
2002	Koruz za zrnje	K	3,3		4,7	
		K+NPK	4,8		7,1	
		NPK	5,6		9,1	
		Ø	2,3		4,1	
		K	5		6,5	
		K+NPK	6,4		9	

2003	Koruza za zrnje	NPK	9,1			10,4		
		Ø	4			5,1		
2004	Oljna ogrščica	Pridelek ni bil merjen						
2005	Oves	K	1,1			2,6		
		K+NPK	1,6			3,0		
		NPK	2,3			3,7		
		Ø	0,7			1,8		
2006	Koruza za zrnje/bela gorjušica	Pridelek ni bil merjen						
2007	Sončnice	Pridelek ni bil merjen						
2008	Ozimna pšenica	K	1,0	±	0,16	1,5	±	0,36
		K+NPK	0,7	±	0,29	1,3	±	0,38
		NPK	0,7	±	0,02	1,1	±	0,07
		Ø	0,6	±	0,24	1,1	±	0,40
2009	Koruza za zrnje	K	5,8	±	0,2	7,3	±	0,3
		K+NPK	7,2	±	0,2	10,4	±	0,9
		NPK	10,2	±	0,8	9,7	±	0,6
		Ø	3,5	±	0,3	4,4	±	0,6
2010	Lucerna	Pridelek ni bil merjen						
2011	Lucerna	K	4,1	±	0,73	4,2	±	0,97
		K+NPK	2,4	±	0,66	4,3	±	1,31
		NPK	2,8	±	0,63	4,3	±	0,93
		Ø	2,9	±	0,85	3,8	±	1,27
2012	Lucerna	K	5,9	±	1,67	4,2	±	2,31
		K+NPK	4,9	±	1,56	6,4	±	2,25
		NPK	4,8	±	0,95	4,6	±	2,22
		Ø	4,5	±	1,53	4,4	±	1,73
2013	Koruza za zrnje	K	4,7	±	0,66	7,0	±	0,16
		K+NPK	4,2	±	0,19	6,6	±	0,37
		NPK	4,3	±	0,22	6,1	±	0,64
		Ø	4,1	±	0,25	4,9	±	0,71
2014	Soja	K	1,8	±	0,09	2,0	±	0,22
		K+NPK	1,8	±	0,10	2,1	±	0,20
		NPK	1,8	±	0,03	2,1	±	0,17
		Ø	1,7	±	0,13	1,9	±	0,23
2015	Ajda	K	0,45			0,4		
		K+NPK	0,55			Pridelek ni bil merjen		
		NPK	0,6			0,5		
		Ø	0,45			Pridelek ni bil merjen		
2016	Ozimna pšenica	K	3,8	±	0,09	3,8	±	0,34
		K+NPK	3,2	±	0,51	3,1	±	0,37
		NPK	2,9	±	0,25	3,1	±	0,17
		Ø	2,8	±	0,63	2,9	±	0,44
2017	Koruza za zrnje	Pridelek ni bil merjen						
2018	Soja	K	3,7	±	0,27	3,0	±	0,27
		K+NPK	3,4	±	0,24	3,4	±	0,67
		NPK	3,7	±	0,11	3,2	±	0,19
		Ø	2,5	±	0,20	3,2	±	0,32
2019	Rž	Pridelek ni bil merjen						
2020	Soja	K	0,9	±	0,14	0,60	±	0,07
		K+NPK	1,1	±	0,15	0,54	±	0,10
		NPK	0,9	±	0,14	0,64	±	0,38
		Ø	0,7	±	0,07	0,79	±	0,07
2021	Koruza za zrnje	K	5,0	±	0,60	8,51	±	1,02
		K+NPK	5,1	±	1,26	8,8	±	0,66
		NPK	9,0	±	1,50	13,2	±	0,35
		Ø	2,6	±	1,25	5,4	±	1,14
2022	Ajda	Pridelek ni bil merjen						
Povprečno razmerje (%) (MT/CT × 100)			82,7 ± 28,4			100		

Preglednica 5: Povprečna razmerja pridelkov MT/CT po načinih gnojenja za poskus Ljubljana (ULBF).

Gnojenje	Povprečno razmerje (%) (NT/CT*100)	SD	Značilnost (t-test)
Kompost	88,70 ±	30,21	*
Kompost+NPK	81,01 ±	37,54	*
NPK	87,52 ±	24,25	*
∅	73,52 ±	18,07	*
Skupno	82,85 ±	28,4	*

Na dolgoletnih poskusih **Gorišnica in Pesnica (ULBF)**, z začetkom v letu 2011, smo natančneje analizirali podatke za leta 2017 do 2021, saj je leta 2017 prišlo do spremenjenega režima na teh poskusih. Na minimalni obdelavi (MT) obdelavi smo tako na poskusu Gorišnica kot Pesnica beležili primerljive pridelke kot pri konvencionalnem oranju (CT). Obe varianti NT (prehod na NT iz oranja ter prehod na NT iz MT) sta kazali nekoliko manjše pridelke, vendar le na poskusu Pesnica na teksturno težjih tleh. Tudi tu se je kot bolj odzivna pokazala koruza. Na poskusu Gorišnica so bili pridelki pri obeh variantah NT primerljivi; nekoliko večji upad v primerjavi s CT smo na tem poskusu zabeležili pri ječmenu v letu 2020.

Na dolgoletnem poljskem poskusu **Jablje (KIS)** prikazujemo podatke za leta trajanja projekta (v četrtem letu poskusa). Razlike med obravnavanji so se pojavile različno po posevkih. V koruzi razlik med načini obdelave ni bilo (rel. pridelek 103,3 na MT in 103,8 na NT), kar je drugače kot v poskusih Rašica in Ljubljana, kjer se je koruza kazala kot bolj občutljiva na način obdelave tal. Leta 2022 je bil na MT pridelek ozimne pšenice značilno večji kot na CT (rel. pridelek 137,8), leta 2023 pa smo beležili znatno manjši pridelek soje na NT (rel. pridelek 37,8). Slednje je prav tako drugače kot v ostalih poskusih, kjer se soja kaže kot ustrezna poljščina za načine zmanjšane obdelave tal. Medtem ko so bili v povprečju pridelki na MT v Jabljah 120,6 % tistih na CT so bili na NT 95,6 % (Preglednica 6).

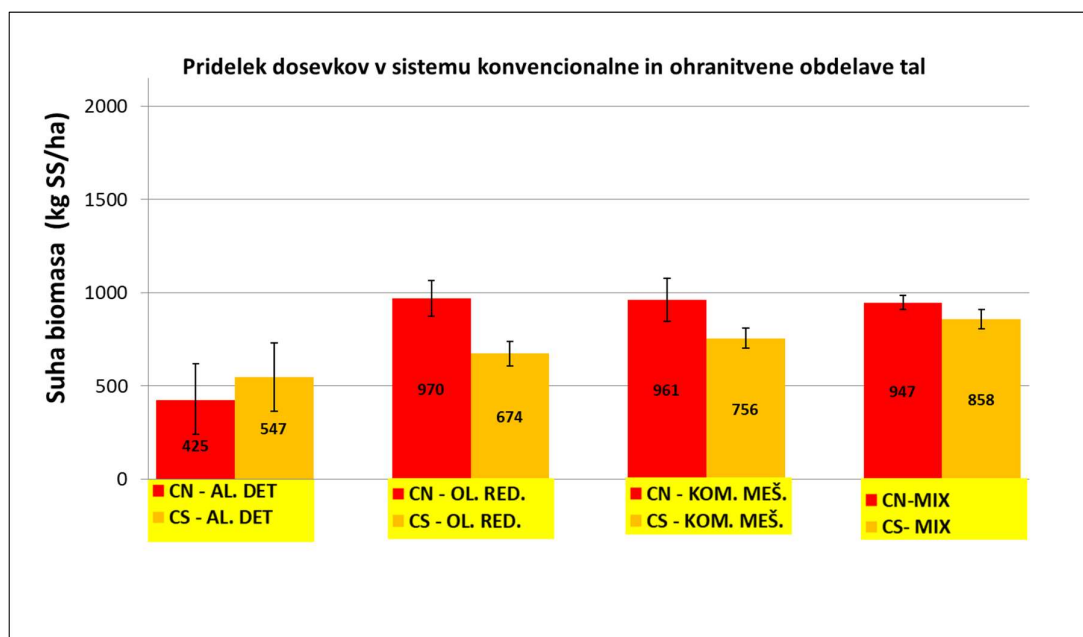
Preglednica 6: Pridelek poljščin na poskusu Jablje (KIS) z različno intenzivnostjo obdelave tal. Podatki so prikazani kot povprečja ± standardna deviacija (n = 4)

Leto	Posevek	CT (t ha ⁻¹)		MT (t ha ⁻¹)		NT (t ha ⁻¹)		
		Povprečje	SD	Povprečje	SD	Povprečje	SD	
2021	Koruza	15,27 ±	1,03	15,78 ±	0,81	15,85 ±	1,88	n.s.
2022	Ozimna pšenica	4,79 ±	0,37	6,6 ±	0,51	4,19 ±	0,28	*
2023	Soja	7,37 ±	0,83	7,1 ±	0,93	2,79 ±	0,37	*
Povprečno razmerje (%) (MT/CT × 100)		100		120,56 ± 4,21		95,64 ± 5,85		n.s.

4.3.1 Vključevanje dosevkov v kolobar

Za namen ReC-Tilla smo v Jabljah (KIS) izvedli vzporedni poskus preučevanja produktivnosti prekrivnih dosevkov aleksandrijske detelje, oljne redkve in dveh vrstno bogatih mešanic v dveh sistemih obdelave tal. V letu 2022 je bila produktivnost dosevkov bistveno manjša kot v preteklih letih, vendar smo kljub kratki rastni sezoni (posevek je po setvi 8.8. 2022 zaradi izredno sušnih razmer vzkalil šele v prvem tednu septembra) izmerili pridelke, ki niso presegli vrednosti tone suhe snovi na hektar. Med sistemi obdelave tal nismo ugotovili razlik v pridelkih prekrivnih dosevkov, ob tem je potrebno poudariti, da je bila različna obdelava šele tretje leto. Smo pa ugotovili značilne razlike med posameznimi vrstami dosevkov v tvorbi biomase ($P \leq 0,01$). Najbolj produktivne so bile oljna redkev in obe mešanici, medtem ko je bil zaradi suše pridelek aleksandrijske detelje skoraj polovico manjši (Slika 12).

Analiza prekritosti s plevi je pokazala, da je bila zapleveljenost značilno večja v ohranitvenem sistemu obdelave tal. Primerjava učinka posameznih vrst dosevkov in mešanic na razvoj plevelov je pokazala značilen učinek prekrivnih dosevkov na zmanjšano zapleveljenost, pri čemer so se najbolj izkazale mešanice, pri katerih smo ugotovili približno polovico manjšo biomaso plevela v primerjavi z neposejano kontrolo. Velikost izmerjene biomase plevela je bila povezana s produkcijo biomase prekrivnega dosevka (Linearna regresija $P \leq 0,001$; Biomasa plevela = $11,24 - 0,17 \cdot \text{Biomasa dosevka}$; $R^2=22,97$).

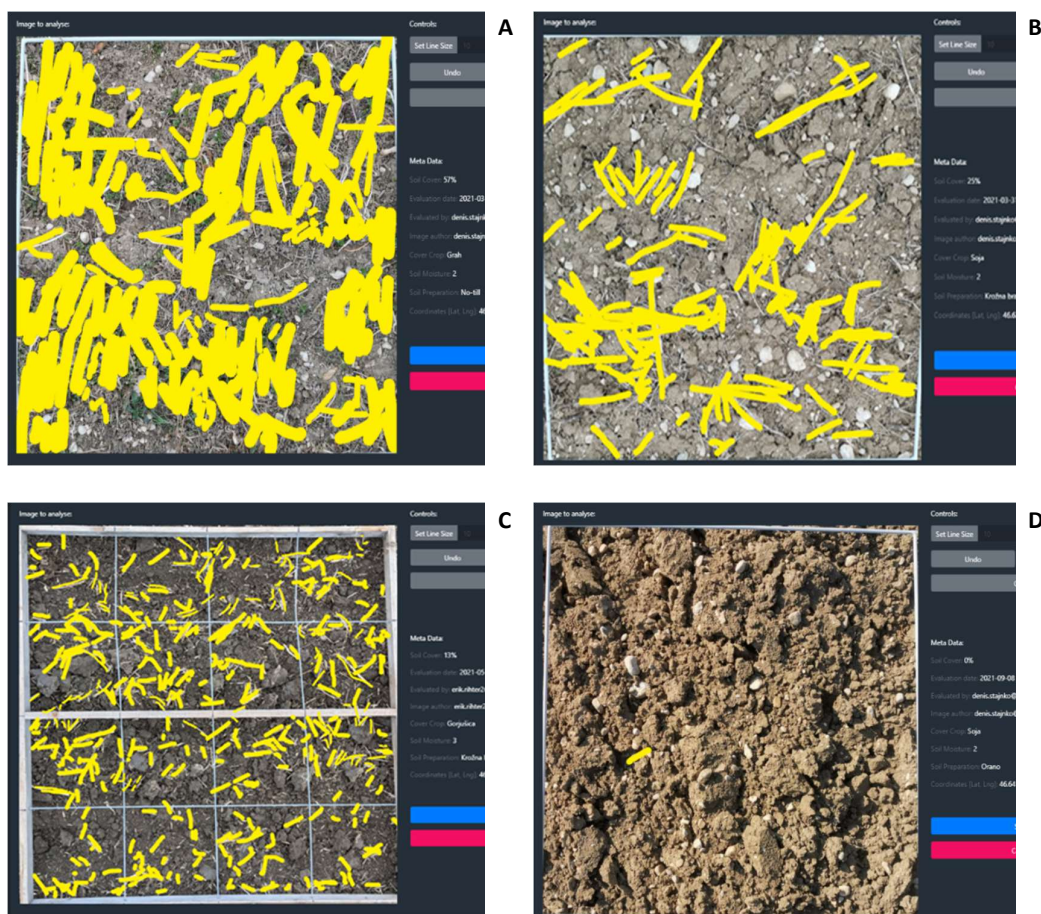


Slika 12: Povprečni pridelki (v kg SS/ha) in standardne napake povprečij posameznih vrst in vrstno bogatih mešanic prekrivnih dosevkov v odvisnosti od sistema obdelave tal na poskusu Jablje (KIS). Oznake posameznega sistema obdelave tal (CN-konvencionalna; CS-ohranitvena) ter preučevanih prekrivnih dosevkov (AL.DET-aleksandrijska detelja; OL. RED.-oljna redkev; KOM.MEŠ.-komercialna mešanica; MIX-rastnim razmeram prilagojena mešanica).

4.3.2 Pokritost tal z rastlinskimi ostanki

Za namene poskusa avtomatizacije določanja pokritosti tal z rastlinskimi ostanki je bila testirana aplikacija Refarmo. Postopek določanja pokritosti je sledeč: Najprej vnesemo osnovne podatke o parceli ali polju ter nato naložimo fotografije parcele, ki so bile posnete pravokotno na tla z višine 1 metra. Naslednji korak je izveden s strani usposobljenega strokovnjaka, ki mora rastlinske ostanke na

fotografijah natančno označiti z digitalnim markerjem, ki simulira delovanje pisala. Pri tem je možna izbira debeline črte, ki sega od 5 do 50 slikovnih pik, odvisno od velikosti označevanih ostankov. Pomembno je omeniti, da natančnost izvedene meritve kljub avtomatizaciji trenutno še vedno zahteva občutno časovno investicijo, saj je odvisna od preciznosti in natančnosti dela strokovnjaka. Tako projekt aplikacije Refarmo trenutno predstavlja upanje za izboljšanje ocenjevanja pokritosti tal, vendar pa obstaja potreba po nadaljnjem razvoju, ki bi povečal hitrost in natančnost postopka ter olajšal uporabo aplikacije za končne uporabnike. Testiranje aplikacije Refarmo prikazuje slika 13: 57 % pokritost v obravnavanju no-till po spravilu graha (fotografija A), sledi 25 % pokritost v minimalni obdelavi po spravilu soje (fotografija B), ter 13 % pokritost po spravilu gorjušice (fotografija C). Najmanjša pokritost je bila določena v obravnavanju konvencionalne obdelave po spravilu soje (fotografija D).



Slika 13: Testiranje aplikacije Refarmo za računanje pokritosti tal z rastlinskimi ostanki.

4.3.3. Kakovost tal

Iz nabora fizikalno kemijskih kazalnikov smo za določanje kakovosti tal izbrali: založenost s hranili in organsko snovjo tal, pH, strukturo in obstojnost agregatov. Med biotskimi kazalniki pa mikrobnio biomaso in sestavo mikrobnih združb, QBS indeks za mezofavno, ter številčnost in biomaso deževnikov.

Fizikalno kemijski kazalniki kakovosti tal

Na vseh dolgoletnih poskusih ULBF ugotavljamo boljšo založenost tal s hranili (N, K, P₅) ter večjo vsebnost organske snovi predvsem v zgornjih 0-10 cm tal v obravnavanih ohranitvene obdelave tal v primerjavi z oranjem (Preglednica 7). Dodatno smo na poskusu Ljubljana (ULBF) ugotovili značilen vpliv dodatka komposta, ki je za razliko od obdelave, segal tudi v spodnjo globino 10-20 cm. Izjema pri omenjenem vplivu minimalne obdelave oz. direktne setve na rodovitnost tal je poskus Jablje (KIS), kar je pripisati kratkemu trajanju poskusa.

Večja vsebnost organske snovi tal je vplivala tudi na boljšo strukturo tal v tleh z zmanjšano intenzivnostjo obdelave tal (Preglednica 8). Medtem ko se povprečni premer agregatov (mean weight diameter – MWD) pri minimalni obdelavi v primerjavi z oranjem ni bistveno spremenil, se je obstojnost agregatov v MT primerjavi z CT znatno izboljšala v obeh opazovanih frakcijah (1-2 mm in 2-4 mm) pri obeh globinah tal (0-10 in 10 -20 cm).

Preglednica 7: Pregled izbranih fizikalno kemijskih kazalcev kakovosti tal za zgornji dve globini (0-10 ter 10-20 cm) za različne obdelave znotraj dolgoletnih poljskih poskusov Ljubljana, Pesnica, Gorišnica, Rašica in Jablje (v oklepaju so letnice začetkov poskusov). Različni načini obdelave tal so predstavljeni z naslednjimi kraticami: O – orano, E – minimalna obdelava z Eversom, NT – *no-till* ali direktna setev, NTo – direktna setev po predhodno oranem obravnavanju ter NTe – direktna setev po predhodnem obravnavanju z minimalno obdelavo tal z Eversom. Na lokaciji Ljubljana sta različna načina obdelave tal kombinirana s štirimi različnimi načini gnojenja: KON – negnojena kontrola, MIN – mineralno gnojenje, MIX – kombinacija mineralnega in gnojenja s kompostom, ORG – organsko gnojenje s kompostom.

Lokacija	Obdelava	Gnojenje	pH	Organska snov						AL-K (mg K ₂ O/100g tal)		AL-P (mg P ₂ O ₅ /100 g tal)		
				0-10	10-20	(%)		N _{tot} (%)	C/N	0-10	10-20	0-10	10-20	
Ljubljana (1999)	O	KON	6,40	6,40	3.51	3.33	0,21	0,19	10	10,03	13,57	10,57	10,80	9,20
	O	MIN	6,47	6,47	3.62	3.62	0,20	0,21	10	10,00	21,80	15,90	16,50	12,50
	O	MIX	6,63	6,63	4.25	4.08	0,25	0,24	10	9,87	26,70	18,47	26,10	20,67
	O	ORG	6,80	6,80	4.36	4.04	0,26	0,24	10	9,91	26,23	19,63	29,17	26,33
	NT	KON	6,60	6,60	4.83	3.62	0,28	0,20	10	10,33	19,80	13,13	12,20	8,93
	NT	MIN	6,53	6,53	4.71	3.56	0,30	0,28	9	8,23	29,07	17,40	15,77	10,17
	NT	MIX	6,87	6,87	5.86	3.91	0,34	0,23	10	9,83	43,63	20,73	53,40	16,23
	NT	ORG	6,97	6,97	6.55	4.08	0,51	0,25	8	9,53	41,90	17,93	64,27	19,93
Pesnica (2011)	O		5,73	5,73	4.50	4.47	0,27	0,27	10	9,80	19,40	18,98	2,05	2,73
	E		6,03	6,03	5.39	4.33	0,30	0,27	10	9,42	21,00	16,78	4,50	2,08
	NTo		5,63	5,63	5.10	4.76	0,30	0,27	10	10,50	19,25	17,10	3,70	2,05
	NTe		5,85	5,85	5.50	4.63	0,31	0,28	10	9,59	20,15	16,08	4,68	2,60
Gorišnica (2011)	O		6,18	6,18	2.67	2.50	0,14	0,14	11	10,38	16,85	17,83	6,50	5,15
	E		6,83	6,83	3.51	3.06	0,20	0,17	10	10,61	44,73	22,63	16,95	17,00
	NTo		6,13	6,13	2.80	2.51	0,15	0,14	10	10,58	29,88	20,50	6,28	5,68
	NTe		6,75	6,75	3.60	2.73	0,24	0,25	9	7,80	25,78	16,78	6,23	4,25
Rašica (1999)	O		6,45	6,45	2.35	2.41	0,15	0,15	9	9,13	34,00	39,13	31,73	32,40
	E		6,73	6,73	3.35	2.51	0,19	0,14	10	9,45	64,60	42,30	41,50	34,98
	NT		6,43	6,43	3.68	2.72	0,21	0,14	10	9,85	64,80	37,75	49,48	44,85
Jablje (2018)	O		7,40	7,40	4.55	4.47	0,29	0,28	9	9,36	32,30	33,00	30,00	26,00
	E		7,40	7,40	4.52	4.47	0,27	0,26	10	9,84	64,80	37,00	39,70	31,00
	NT		7,60	7,60	4.59	4.53	0,29	0,28	9	9,51	52,00	33,00	37,50	22,00

Preglednica 8: Deleži frakcij različnih velikosti agregatov (4-8 mm, 2-4 mm ter <2 mm) ter obstojnost agregatov dveh velikostnih razredov 1-2 ter 2-4 mm na dolgoletnem poljskem poskusu Rašica za 3 različne načine obdelave: O – orano, E – minimalna obdelava z Eversom, NT – no-till ali direktna setev.

Obdelava	Globina (cm)	Deleži frakcij			MWD	Obstojnost agregatov	
		4-8 mm	2-4 mm	<2 mm		1-2 mm	2-4 mm
O	0-10	67,1%	22,9%	10,0%	4,81	40,3%	57,3%
E		65,2%	22,3%	12,6%	4,70	75,2%	79,9%
NT		66,4%	21,9%	11,7%	4,76	69,3%	76,4%
O	10-20	70,2%	19,5%	10,3%	4,90	49,2%	49,0%
E		73,8%	16,1%	10,2%	5,01	79,6%	80,3%
NT		68,4%	17,0%	14,7%	4,76	65,6%	62,5%

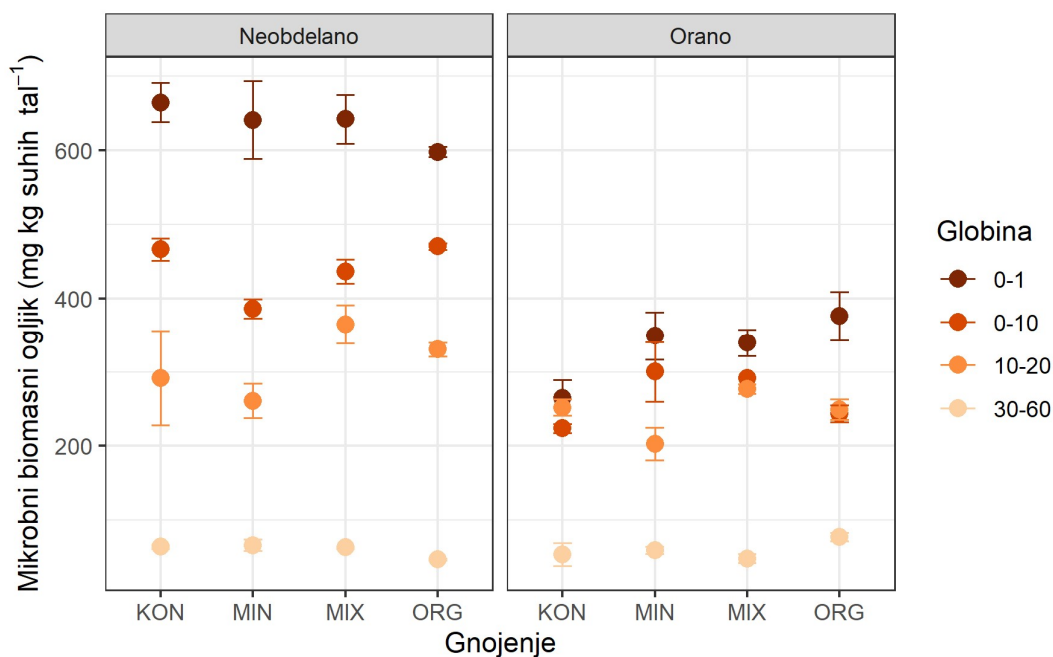
Biotski kazalniki kakovosti tal

Mikrobna biomasa

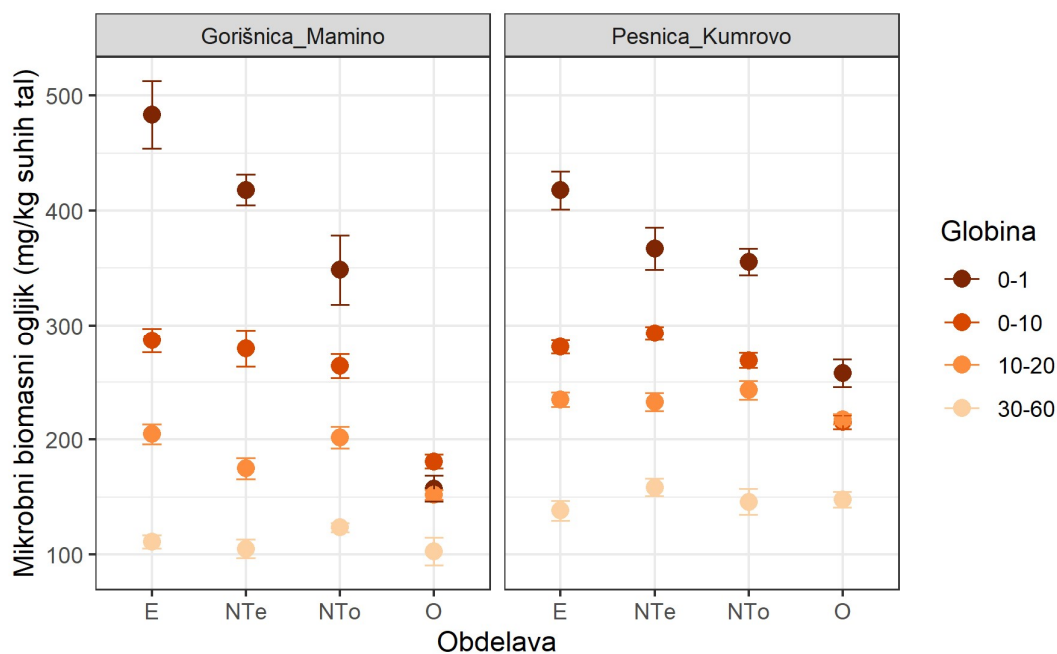
Ugotovili smo močno povezavo med mikrobnim biomasnim C in talnim organskim ogljikom (Govednik in sod., 2023). Tako je trend mikrobnega biomasnega ogljika sovpadal s padajočo distribucijo organskega ogljika po globini (Preglednica 1, Sliki 14 in 15). Na poskusu Ljubljana (ULBF) je bila v *no-till* obravnavanju značilno večja vsebnost mikrobnega biomasnega ogljika in je bila tudi bolj izrazito porazdeljena po globini, med tem ko je gnojenje tukaj imelo manjši vpliv v primerjavi z organskim ogljikom (Slika 14).

Podobno na teksturno težjih tleh Pesnica-Kumrovo ni prišlo do zelo izrazitega povečanja mikrobne biomase v primerjavi s teksturno lažjimi tlemi (Gorišnica-Mamino), kot je bilo to vidno na nivoju organskega ogljika (Preglednica 1, Slika 15). Povečanje je bilo opaziti na globinah 30-60 in 10-20 cm, med tem ko so bile vrednosti na 0-10 in 0-1 cm globine primerljive. Opazno najnižje vrednosti na globini 0-20 so bile pri oranih tleh ne glede na teksturo, med tem ko so bile vrednosti pri ostalih zmanjšanih načinih obdelave (minimalna ter *no-till*) primerljive. Na globini 30-60 cm ni bilo bistvenih razlik med različnimi obdelavami znotraj istega testnega polja.

Na poskusu Jablje (KIS) smo v obravnavanju minimalne obdelave tal izvedli pod-poskus z dosevki aleksandrijske detelje, oljne redkve in dveh vrstno bogatih mešanic (Bodenfit in KIS mix). Ugotoviti smo želeli ali imajo različni tipi posevkov ter njihova raznovrstnost vpliv na talno mikrobno biomaso. Po enem letu oz. eni sezoni poskusa značilnih razlik v mikrobni biomasni nismo ugotovili tako ne med različni dosevki, kot tudi ne v primerjavi z golimi obdelanimi in neobdelanimi tlemi. Poskus bi bilo potrebno izvajati daljše časovno obdobje.



Slika 14: Mikrobni biomasni ogljik v odvisnosti od obdelave tal (*no-till* in orano), gnojenja in globine na poskusu Ljubljana (ULBF). Oznake za gnojenje predstavljajo kontrolo (KON), mineralno gnojenje (MIN), mešano gnojenje z mineralnimi in organskimi gnojili (MIX) ter samo z organskimi gnojili gnojena tla (ORG).



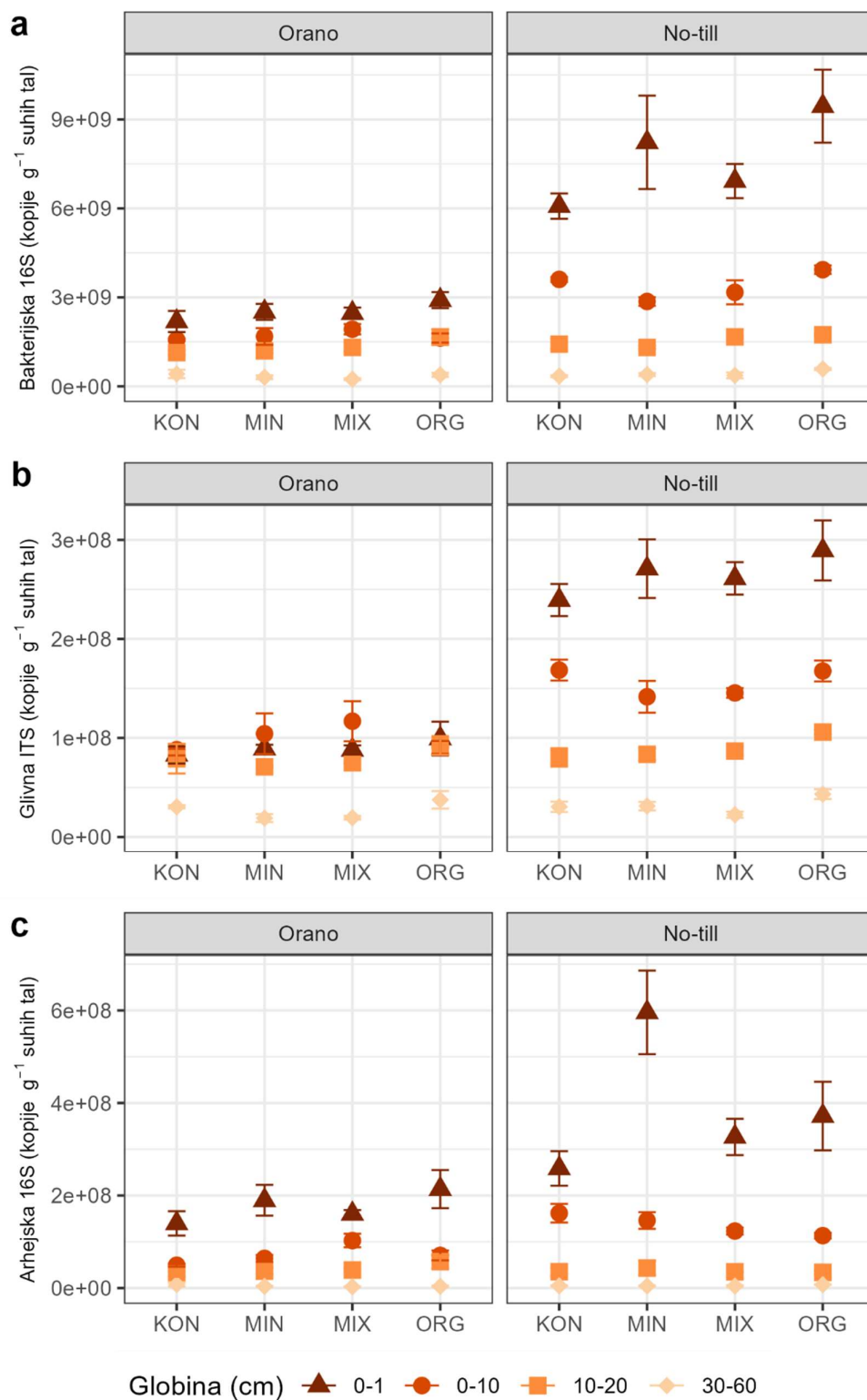
Slika 15: Mikrobni biomasni ogljik v odvisnosti od obdelave tal in globine tal na teksturno lažjih tleh poskusa Gorišnica (ULBF) ter teksturno težjih tleh poskusa Pesnica (ULBF). Preučevane so bile: minimalna obdelava z Eversom (E), no-till 5 let po prehodu iz minimalne obdelave tal z Eversom (NTe), no till 5 let po prehodu iz konvencionalnega oranja (NTo), oranje s plugom (O).

Sestava mikrobnih združb

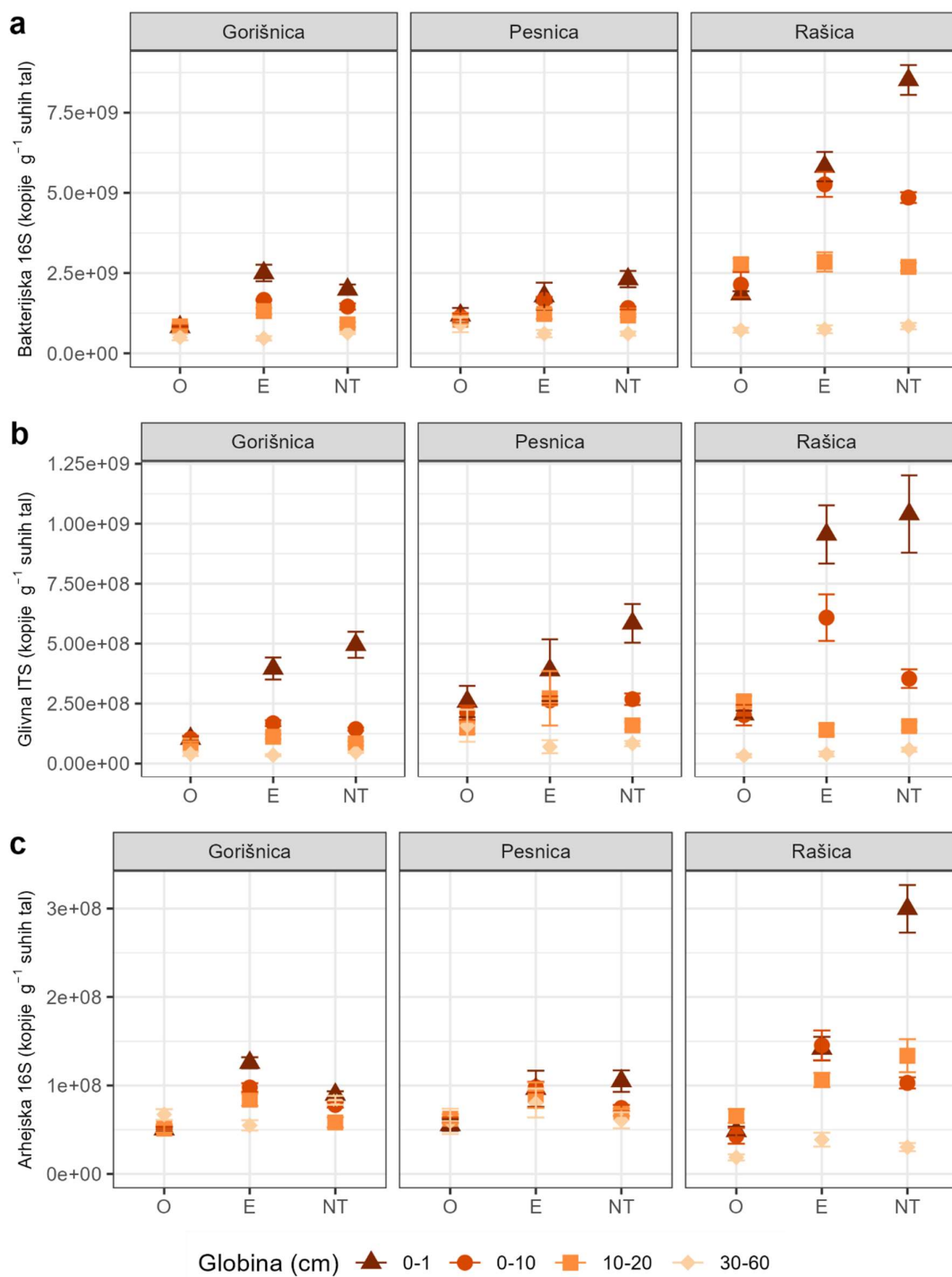
Številčnosti mikrobnih združb (bakterij, gliv in arhej), določena z metodo qPCR tarčnih genov, na dolgoletnih poskusih ULBF (Ljubljana, Rašica, Pesnica, Gorišnica) so pokazala podoben trend kot mikrobna biomasa, ki je sledil porazdelitvi organskega ogljika v tleh (Sliki 16 in 17). Tako je bila v tleh z ohranitvenimi načini obdelave tal opazna stratifikacija številčnosti bakterij, arhej in gliv z globino, ki je pri oranih tleh ni bilo. Zanimivo se je z globino značilno povečevalo razmerje med bakterijami in glivami (16S/ITS), predvsem na račun hitrejšega zmanjševanja številčnosti gliv. Kaže, da so spremenjeni pogoji v tleh z globino, vključno z zmanjševanjem organske snovi in hranil, bolj vplivali na združbo gliv kot na združbo bakterij. Ta ugotovitev, ki bi jo bilo sicer potrebno dodatno potrditi s kombiniranjem drugih metod določanja mikrobnih združb, kot sta na primer PLFA ali metabarkodiranje, bi lahko pomembno prispevala k razlagi mehanizmov, ki vplivajo na vezavo organskega ogljika v profilu tal kot posledice agrotehničnih praks.

Zanimiv rezultat je tudi večja številčnost preučevanih mikrobnih združb v tleh poskusa Rašica v primerjavi s poskusom Pesnica, saj smo, glede na lažjo teksturo tal in s tem manjšo vsebnost organskega ogljika, pričakovali manjše vrednosti v primerjavi s poskusom Pesnica oziroma primerljive s poskusom Gorišnica, ki ima podobno lažjo teksturo (Sliki 1 in 17). Domnevamo, da je povečana številčnost bakterij in gliv na poskusu Rašica povezana s povečano količino rastlinskih eksudatov zaradi pogoste zapleveljenosti tega poskusa, ki je v ekološkem sistemu pridelave.

Bolj podroben opis vpliva obdelave tal na mikrobno biomaso ter mikrobne združbe v tleh je v izročku DS3-6: »Biomasa in sestava mikrobnih združb v odvisnosti od obdelave tal«.



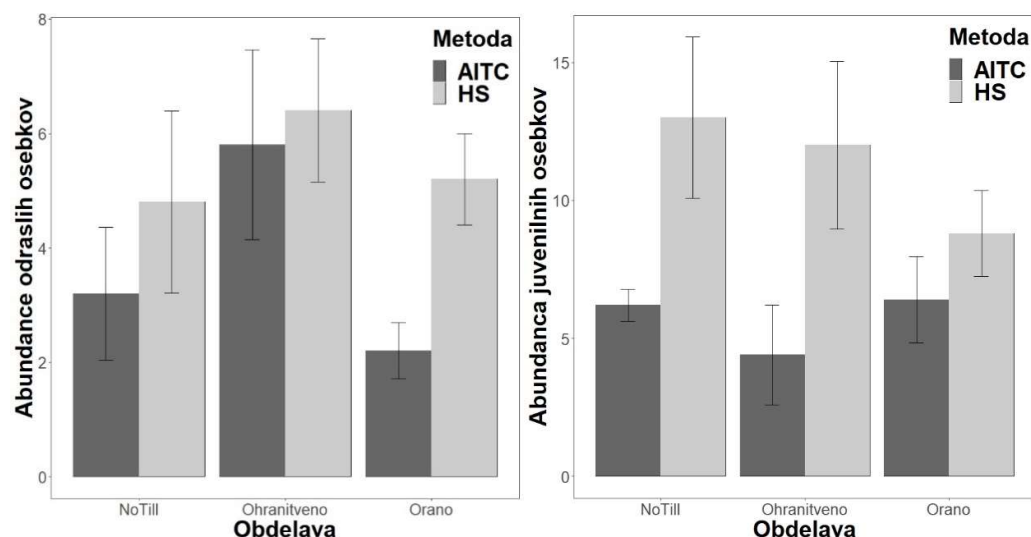
Slika 16: Številčnost bakterij (a), gliv (b) ter arhej (c) v odvisnosti od obdelave tal (orano in no-till), gnojenja in globine na poskusu Ljubljana (ULBF). Oznake za gnojenje predstavljajo kontrolo (KON), mineralno gnojenje (MIN), mešano gnojenje z mineralnimi in organskimi gnojili (MIX) ter samo z organskimi gnojili gnojena tla (ORG).



Slika 17: Številčnost bakterij (a), gliv (b) ter arhej (c) v odvisnosti od obdelave in globine na dolgoletnih poskusih ULBF Gorišnica, Pesnica in Rašica. Preučevani so bili naslednji načini obdelave tal: oranje s plugom (O), minimalna obdelava tal z Eversom (E) in direktna setev oz. no-till (NT).

Deževniki

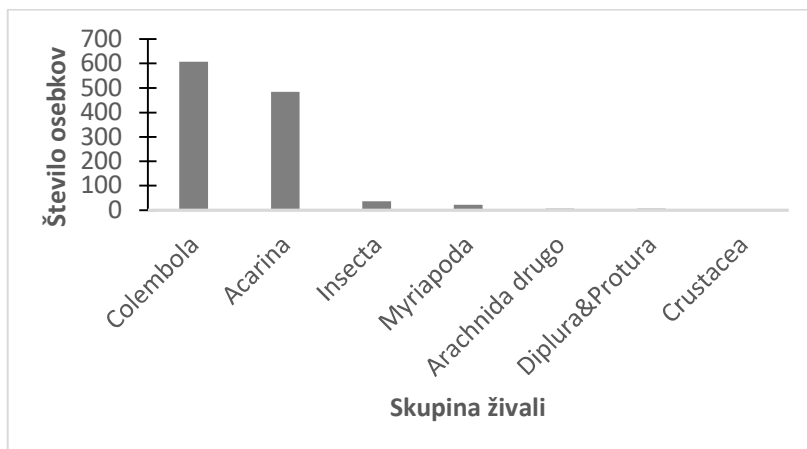
Razlike med sistemi različne obdelave tal (oranje, ohranitvena obdelava ter no-till) so se za deževnike pokazale po relativno kratkem času – 3 leta po začetku poskusa. Številčnost odraslih deževnikov je bila značilno večja pri minimalni obdelavi tal (ohranitveni) v primerjavi z no-till in oranjem (Slika 18). Podoben trend smo opazili tudi številčnosti juvenilnih deževnikov ter pri skupni biomasii deževnikov, vendar razlike niso bile statistično značilne.



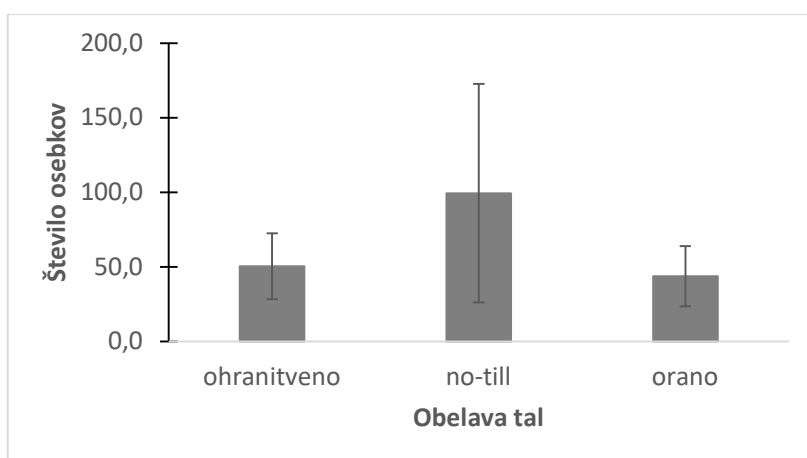
Slika 18: Abundanca (številčnost) odraslih (levo) in juvenilnih (desno) deževnikov v treh različnih sistemih obdelave tal na poskusu Jablje (KIS).

Mezofavna

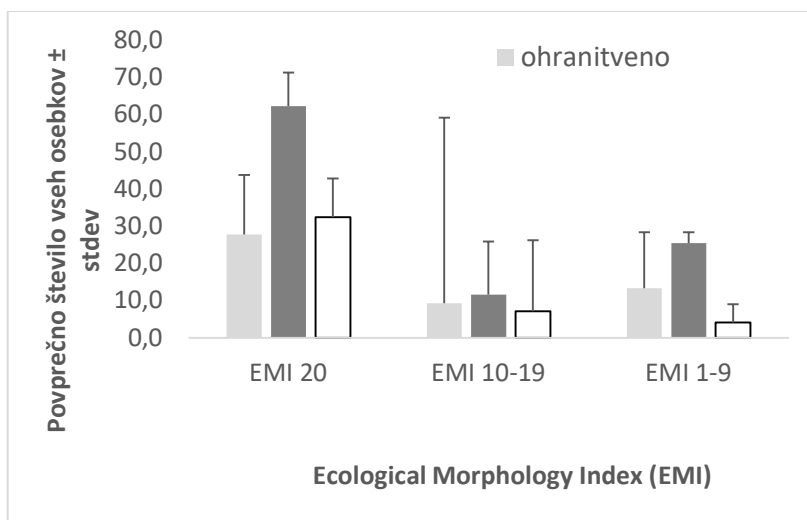
Razlike med sistemi obdelave so se za talne členonožce pokazale po štirih letih od vzpostavitve trajnega poskusa. Variabilnost števila osebkov mezofaune med vzorci je bila zelo velika, daleč najštevilčnejši so bili predstavniki skupin skakačev in pršic (Slika 19). Primerjava povprečja skupnega števila osebkov med minimalno ohranitveno obdelavo, no-till in konvencionalnim oranjem je pokazala, da smo največ nevretenčarjev ujeli v vzorcih *no-till* (Slika 20). V povprečju je bilo največ na edafsko življenje dobro prilagojenih živali v *no-till*, v minimalni ohranitveni obdelavi in oranju pa manj (Slika 21). Bolj podroben opis vpliva obdelave na talne živali je v izročku DS3-4: »Biodiverziteta izbrane skupine talnih živali v odvisnosti od obdelave tal«.



Slika 19: Skupno število ulovljenih osebkov v vseh vzorcih iz sedmih sistematskih skupin na poskusu Jablje (KIS).



Slika 20: Število osebkov vseh sistematskih skupin talnih živali v vzorcih ohranitvene, »no-till« in konvencionalne obdelave z oranjem na poskusu Jablje (KIS).



Slika 21: Vpliv načina obdelave na število živali v različnih EMI razredih. Višje EMI vrednosti nakazujejo na večjo prilagojenost živali na edafsko življenje v globljih plasteh tal in posledično večjo občutljivost na spremembe v obdelavi tal.

4.4 Ocenjevanje ekološkega odtisa ter neto izpustov TGP z modelnimi aplikacijami

Za ocenjevanje ekološkega odtisa ter neto izpustov TGP smo preizkusili programa SPionWeb in Cool Farm Tool (CFT®). V rezultatih med njima nismo ugotovili statistično značilnih razlik, zato smo se odločili za novejši program CFT®. Modelni rezultati izračunov izpustov TGP z uporabo orodja CFT® so pokazali, da ustvarja pridelava z oranjem na poskusnem polju Mezgovci za 18,64 % večje izpuste v primerjavi z ohranitveno pridelavo, medtem ko so na poskusnem polju Moškanjci le-ti za isti primer večji za 10,86% (Preglednica 9). Podrobnejša analiza glavnih podprocesov je pokazala, da z uporabo mineralnih gnojil in FFS značilno povečamo izpuste CO₂, saj je proizvodnja in uporaba vseh kemijskih pripravkov zelo obremenjujoča za okolje. Mineralna gnojila so tudi najpomembnejši vir izpustov TGP, zlasti diduškovega oksida. Glede na modelne izračune obeh orodij (Preglednica 9) lahko zaključimo, da ima ohranitvena obdelava tal v povprečju vseh poljščin manjše izpuste TGP v primerjavi z oranjem, kar je pripisati predvsem manjši uporabi kmetijske mehanizacije, saj je vložek materialov približno enak. Priročnik za uporabo aplikacije Cool Farm Tool z vključenimi modelnimi izračuni je pripravljen kot izroček DS4-2: »Priročnik za uporabo orodja cool farm tool za ocenjevanje neto emisij toplogrednih plinov (TGP) na ravni kmetijskih gospodarstev«.

Preglednica 9: Izpusti TGP(kg CO₂equ/ kg SS) vseh poljščin za različne pridelovalne sisteme na dveh lokacijah v obdobju 2012–2016 z orodjem SPI in kalkulatorjem CFT.

TGP (kg CO ₂ equ/kg SS)									
		Mezgovci-Kumrovo				Moškanjci-Mamino			
Leto	Kultura	KON(SPI)	KON(CFT)	OHR (SPI)	OHR (CFT)	KON(SPI)	KON(CFT)	OHR(SPI)	OHR(CFT)
2012	Koruza	0,22	0,14	0,16	0,10	0,53	0,33	0,40	0,24
2013	Rž	0,18	0,12	0,12	0,08	0,15	0,10	0,13	0,08
2014	Oljna ogrščica	0,49	0,31	0,42	0,28	0,63	0,44	0,56	0,42
2015	Pšenica	0,50	0,33	0,41	0,26	0,42	0,27	0,39	0,25
2016	Koruza	0,11	0,07	0,09	0,06	0,20	0,13	0,23	0,15
Skupaj		1,50	0,97	1,22	0,78	1,93	1,27	1,72	1,14

5 Zaključki in priporočila naročniku

V poljedelstvu so emisije toplogrednih plinov odvisne od več dejavnikov, vključno z obratovanjem strojev, dihanjem tal (izpust CO_2) in sproščanjem didušikovega oksida (N_2O). Konvencionalno kmetijstvo s pogosto mehansko obdelavo tal povečuje izpuste CO_2 , saj spodbuja razgradnjo organske snovi. Projekt se osredotoča na iskanje načinov obdelave tal, ki zmanjšujejo emisije TGP. Na dolgoletnih poljskih poskusih smo preučevali učinke različnih načinov obdelave tal na izpuste CO_2 , N_2O in vezavo ogljika v tla. Rezultati kažejo, da zmanjšana intenzivnost obdelave tal povečuje vsebnost organskega ogljika v tleh, kar pozitivno vpliva na njihove lastnosti in zmanjšuje učinke podnebnih sprememb. Vendar pa so specifične emisije (CO_2eq na tono suhe snovi zrnja) v no-till načinu lahko večje zaradi manjšega pridelka. Uporabljali smo orodje Cool farm tool za oceno emisij TGP, pri čemer so se izkazale razlike med različnimi tipi tal. Mineralna gnojila so pomemben vir izpustov, zlasti didušikovega oksida. Poudarjamo počasnost sprememb v vsebnosti organskega ogljika v tleh, ki je odvisna od različnih dejavnikov. Rezultati kažejo, da prekrivni dosevki pomembno zmanjšujejo zapleveljenost in so ključni za ohranjanje trajnostnih pridelovalnih sistemov. Zmanjšana intenzivnost obdelave tal pozitivno vpliva na življenje v tleh, kar se kaže v večji biomasi in številčnosti organizmov. Pridobljena znanja smo prenesli kmetom in študentom ter sodelovali s kmetijsko svetovalno službo, prispevajoč k razvoju trajnostne kmetijske prakse v Sloveniji.

Interdisciplinarnost raziskovalnega tima je omogočila celovit agro-ekosistemski vpogled v procese v različnih poljedelskih, pedo-klimatskih območjih v Sloveniji. Ministrstvu za kmetijstvo (MKGP) in Ministrstvu za znanost oz. agenciji za raziskovalno dejavnost (ARIS) priporočamo, da nadaljujeta s sofinanciranjem tovrstnih raziskav, zlasti tistih, ki se izvajajo v okviru dolgoletnih poljskih poskusov, saj se značilni rezultati različnih kmetijskih tehnologij, kot so načini obdelave tal in gnojenja (organsko, mineralno), odražajo na parametrih kakovosti tal v daljšem časovnem nizu, v soodvisnosti od vrste tal in spreminjajoče se klime določenega območja. Rezultati CRP projekta ReC-Till so zato zelo pomembni za usmerjanje kmetijskih praks in za snovanje trajnostne kmetijske politike. Naši podatki so npr. neposredno uporabni za pripravo izračunov vpliva ohranitvene obdelave tal na vezavo ogljika v kmetijska tla. Rezultati projekta pomagajo pri uresničevanju ciljev evropskega zelenega dogovora. Lahko bomo izboljšali nacionalne modelne izračune LULUCF. Dolgoletni poljski poskusi so lahko osnova za pripravo bolj realnih podlag za t.i. »Carbon farming« in program »Od vil do vilic«. Nenazadnje je pomembno poudariti, da smo s tovrstnimi raziskavami ujeli ostale raziskovalce v Evropi in z njimi v EU raziskovalnih programih soustvarjamo bazo novih znanj, ki jih sproti prenašamo na generacije študentov univerzitetnih smeri ter do kmetijskih svetovalcev in kmetov, tudi preko nacionalnih in mednarodnih združenj.

6 Viri

- Abdalla M., Osborne B., Lanigan G., Forristal D., Williams M., Smith P., Jones M.B. 2013. Conservation tillage systems: a review of its consequences for greenhouse gas emissions. *Soil Use Manage*, 29: 199–209. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/sum.12030>.
- Al-Kaisi, M.M., Yin, X., 2005. Tillage and Crop Residue Effects on Soil Carbon and Carbon Dioxide Emission in Corn–Soybean Rotations. *J. Environ. Qual.* 34, 437. doi:10.2134/jeq2005.0437
- Bai, Z., Caspari, T., Gonzalez, M. R., Batjes, N. H., Mäder, P., Bünemann, E. K., Mihelič R., ... Tóth, Z. 2018. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 265, 1–7. doi: 10.1016/j.agee.2018.05.028 .
- Blouin, M., Hodson, M.E., Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J.E., Cluzeau, D., Brun, J.J. (2013): A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science* 64, 161-182.
- Bond, W., Grundy, A.C., 2001. Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Res.* doi:10.1046/j.1365-3180.2001.00246.x
- Cania B., Vestergaard G., Suhadolc M., Mihelič R., Krauss M., Fliessbach A., Mäder P., Szumetda A., Schloter M., Schulz S. 2020. Site-Specific Conditions Change the Response of Bacterial Producers of Soil Structure-Stabilizing Agents Such as Exopolysaccharides and Lipopolysaccharides to Tillage Intensity. *Frontiers in Microbiology*, 11: 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00568>
- Carkovic, A.B., Pasten, P.A., Bonilla, C.A., 2015. Sediment composition for the assessment of water erosion and nonpoint source pollution in natural and fire-affected landscapes. *Sci. Total Environ.* 512, 26–35.
- Ciais, P., Wattenbach, M., Vuichard, N., Smith, P., Piao, S.L., Don, A., Luyssaert, S., Janssens, I.A., Bondeau, A., Dechow, R., Leip, A., Smith, P.C., Beer, C., Vand der Werf, G.R., Gervois, S., Van Oost, K., Tomelleri, E., Freibauer, A., Schulze, E.D., 2010. The European carbon balance. Part 2: croplands. *Glob. Chang. Biol.* 16, 1409–1428. doi:10.1111/j.1365-2486.2009.02055.x
- Cluzeau, D., Guernion, M., Chaussod, R., Martin-Laurent, F., Villenave, C., Cortet, J., Pérès, G. 2012. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. *European Journal of Soil Biology*, 49, 63–72. doi: 10.1016/j.ejsobi.2011.11.003.
- Corbeels, M., Marchão, R.L., Neto, M.S., Ferreira, E.G., Madari, B.E., Scopel, E., Brito, O.R., 2016. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. *Sci. Rep.* 6, 21450. doi:10.1038/srep21450
- Cusser, S., Bahlai, C., Swinton, S.M., Robertson, G.P., Haddad, N.M., 2020. Long-term research avoids spurious and misleading trends in sustainability attributes of no-till. *Glob. Chang. Biol.* 26, 3715–3725. <https://doi.org/10.1111/gcb.15080>
- Dong, W., Liu, E., Wang, J., Yan, C., Li, J., Zhang, Y., 2017. Impact of tillage management on the short- and long-term soil carbon dioxide emissions in the dryland of Loess Plateau in China. *Geoderma* 307, 38–45. doi:10.1016/j.geoderma.2017.07.036
- Drury, C.F., Reynolds, W.D., Tan, C.S., Welacky, T.W., Calder, W., McLaughlin, N.B., 2006. Emissions of Nitrous Oxide and Carbon Dioxide: Influence of Tillage Type and Nitrogen Placement Depth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 570. doi:10.2136/sssaj2005.0042
- Egnér, H. A. N. S., Riehm, H., & Domingo, W. R. (1960). Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler*, 26, 199-215.

- Eler, K., Mihelič, R., Govednik, A., Pintarič, S., Lenarčič, D., Suhadolc, M., et al. Emisije CO₂ in dihanje tal ob različnih agrotehničnih ukrepih ter v interakciji z okoljskimi dejavniki – nekateri rezultati dveh dolgoročnih poljskih poskusov = CO₂ emissions and soil respiration as affected by different agrotechnical measures and environmental factors – some results of two long-term field experiments. V: ČEH, Barbara (ur.), et al. Novi izzivi v agronomiji 2023 = New Challenges in Agronomy 2023 : program simpozija in povzetki prispevkov, ki niso objavljeni v zborniku = symposium program and summaries : [Laško, 26. in 27. januar 2023]. Laško: Slovensko agronomsko društvo = Slovenian Society of Agronomy, 2023. Str. 20-21. ISBN 978-961-94613-2-7. https://www.agronomsko-drustvo.si/wp-content/uploads/2023/01/NIA_2023_program.pdf. [COBISS.SI-ID 141784835]
- Forte A., Fiorentino N., Fagnano M., Fierro A. 2017. Mitigation impact of minimum tillage on CO₂ and N₂O emissions from a Mediterranean maize cropped soil under low-water input management. *Soil and Tillage Research*. 166: 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.09.014>
- Govednik, A., Potočnik, Z., Eler, K., Mihelič, R., Suhadolc, M., 2023. Combined effects of long-term tillage and fertilisation regimes on soil organic carbon, microbial biomass, and abundance of the total microbial communities and N-functional guilds. *Appl. Soil Ecol.* 188, 104876. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104876>
- Govednik, A., Eler, K., Mihelič, R., Suhadolc, M. Mineral and organic fertilisation influence ammonia oxidisers and denitrifiers and nitrous oxide emissions in a long-term tillage experiment. *Science of the Total Environment* (*in revision*)
- Griffiths, B.S., Römbke, J., Schmelz, R.M., Scheffczyk, A., Faber, J.H., Bloem, J., Pérès, G., Cluzeau, D., Chabbi, A., Suhadolc, M., Sousa, J.P., Martins Da Silva, P., Carvalho, F., Mendes, S., Morais, P., Francisco, R., Pereira, C., Bonkowski, M., Geisen, S., Bardgett, R.D., De Vries, F.T., Bolger, T., Dirilgen, T., Schmidt, O., Winding, A., Hendriksen, N.B., Johansen, A., Philippot, L., Plassart, P., Bru, D., Thomson, B., Griffiths, R.I., Bailey, M.J., Keith, A., Rutgers, M., Mulder, C., Hannula, S.E., Creamer, R., Stone, D., 2016. Selecting cost effective and policy-relevant biological indicators for European monitoring of soil biodiversity and ecosystem function. *Ecol. Indic.* 69, 213–223. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.023>
- Hansen S. et al. 2019. Reviews and syntheses: Review of causes and sources of N₂O emissions and NO₃ leaching from organic arable crop rotations. *Biogeosciences*, 16, 2795–2819, 2019; <https://doi.org/10.5194/bg-16-2795-2019>
- Hutchinson, G. L., & Mosier, A. R. (1981). Improved Soil Cover Method for Field Measurement of Nitrous Oxide Fluxes. *Soil Science Society of America Journal*, 45(2), 311–316. <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500020017x>
- IPCC, 2014. Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E.A. Elsiddig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N.H. Ravindranath, C.W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello, 2014: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jégou, D., Brunotte, J., Rogasik, H., Capowiez, Y., Diestel, H., Schrader, S., Cluzeau, D. (2002): Impact of soil compaction on earthworm burrow systems using X-ray computed tomography: preliminary study. *European Journal of Soil Biology* 38, 329-336.
- Kainiemi V., Arvidsson J., Kätterer T. 2015. Effects of autumn tillage and residue management on soil respiration in a long-term field experiment in Sweden. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178: 189–198. <https://doi.org/10.1002/jpln.201400080>
- Kaurin A., Mihelič R., Kastelec D., Grčman H., Bru D., Philippot L., Suhadolc M., 2018. Resilience of bacteria, archaea, fungi and N-cycling microbial guilds under plough and conservation tillage, to

- agricultural drought. *Soil Biology & Biochemistry*, 2018: 120, p. 233-245
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.02.007>.
- Kaurin, A., Mihelič, R., Kastelec, D., Schlöter, M., Suhadolc, M., Grčman, H., 2015. Consequences of minimum soil tillage on abiotic soil properties and composition of microbial communities in a shallow Cambisol originated from fluvioglacial deposits. *Biol. Fertil. Soils* 51, 923–933. doi:10.1007/s00374-015-1037-9
- Larsen, E., Grossman, J., Edgell, J., Hoyt, G., Osmond, D., Hu, S.J., 2014. Soil biological properties, soil losses and corn yield in long-term organic and conventional farming systems. *Soil Tillage Res.* 139, 37–45.
- Lognoul M., Theodorakopoulos N., Hiel M. P., Regaert D., Broux F., Heinesch B., Bodson B., Vandenbol M., Aubinet M. 2017. Impact of tillage on greenhouse gas emissions by an agricultural crop and dynamics of N₂O fluxes: Insights from automated closed chamber measurements. *Soil and Tillage Research*, 167: 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.11.008>
- Mei, K., Wang, Z., Huang, H., Zhang, C., Shang, X., Dahlgren, R.A., Zhang, M., Xia, F., 2018. Stimulation of N₂O emission by conservation tillage management in agricultural lands: A meta-analysis. *Soil Tillage Res.* 182, 86–93. doi:10.1016/j.still.2018.05.006
- Menta, C., Conti, F. D., Pinto, S. 2018. Microarthropods biodiversity in natural, seminatural and cultivated soils—QBS-ar approach. *Applied Soil Ecology*, 123, 740–743. doi: 10.1016/j.apsoil.2017.05.020.
- Mihelič, R., Pintarič, S., Eler, K., Suhadolc, M. Effects of Transitioning from Conventional to Organic Farming on Soil Organic Carbon and Microbial Community: A Comparison of Long-Term Non-Inversion Minimum Tillage and Conventional Tillage. *Biology and Fertility of Soils*. 2023, v tisku.
- Montgomery D.R. 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 33:13268-13272.
- Muyzer, G., De Waal, E.C., Uitterlinden, A.G., 1993. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Appl. Environ. Microbiol.* 59, 695–700. <https://doi.org/10.1128/aem.59.3.695-700.1993>
- Ochsenreiter, T., Selezi, D., Quaiser, A., Bonch-Osmolovskaya, L., Schleper, C., 2003. Diversity and abundance of Crenarchaeota in terrestrial habitats studied by 16S RNA surveys and real time PCR. *Environ. Microbiol.* 5, 787–797. <https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.2003.00476.x>
- Peigné, J., Ball, B.C., Roger-Estrade, J., David, C., 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use Manag.* 23, 129–144. doi:10.1111/j.1475-2743.2006.00082.x
- Pittelkow, C.M., Linquist, B.A., Lundy, M.E., Liang, X., van Groenigen, K.J., Lee, J., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., van Kessel, C., 2015b. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *F. Crop. Res.* 183, 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.020>
- Poeplau, C., Don, A., 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 200, 33–41. doi:10.1016/j.agee.2014.10.024
- Powlson, D.S., Stirling, C.M., Jat, M.L., Gerard, B.G., Palm, C.A., Sanchez, P.A., Cassman, K.G., 2014. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nat. Clim. Chang.* 4, 678–683. doi:10.1038/nclimate2292
- Rovanšek, A., Leskovšek, R. Ugotavljanje količine izpustov CO₂ pri različnih sistemih obdelave tal = Determining the amount of soil CO₂ emissions from different tillage systems. V: ČEH, Barbara (ur.), et al. *Novi izzivi v agronomiji 2023 = New Challenges in Agronomy 2023 : zbornik simpozija = proceedings of symposium* : [Laško, 26. in 27. januar 2023]. Laško: Slovensko agronomsko društvo = Slovenian Society of Agronomy, 2023. Str. 31-38, ilustr. ISBN 978-961-94613-3-4. [COBISS.SI-ID 151177987]

- Schmidt, M.W.I., Torn, M.S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I.A., Kleber, M., Kogel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D.A.C., Nannipieri, P., Rasse, D.P., Weiner, S., Trumbore, S.E. (2011): Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, 49-56.
- Shipitalo, M.J., Dick, W.A., Edwards, W.M. (2000): Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil and Tillage Research* 53, 167-183.
- Six J., Elliott E.T., Paustian K. 1999. Aggregate and Soil Organic Matter Dynamics under Conventional and No-Tillage Systems. *Soil Science Society of America Journal*, 63:1350–1358
- Spargo, J.T., Alley, M.M., Follett, R.F., Wallace, J. V., 2008. Soil carbon sequestration with continuous no-till management of grain cropping systems in the Virginia coastal plain. *Soil Tillage Res.* 100, 133–140. doi:10.1016/j.still.2008.05.010
- Su, Y., Gabrielle, B., Makowski, D., 2021. A global dataset for crop production under conventional tillage and no tillage systems. *Sci. Data* 8, 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00817-x>
- Tebrügge, F., Düring, R. -a., Du, R., Tebru, F., 1999. Reducing tillage intensity - A review of results from a long-term study in Germany. *Soil Tillage Res.* 53, 15–28. doi:10.1016/S0167-1987(99)00073-2
- Vian, J.F., Peigne, J., Chaussod, R., Roger-Estrade, J. (2009): Effects of four tillage systems on soil structure and soil microbial biomass in organic farming. *Soil Use and Management* 25, 1-10.
- Wang, G., Luo, Z., Han, P., Chen, H., Xu, J., 2016. Critical carbon input to maintain current soil organic carbon stocks in global wheat systems. *Sci. Rep.* 6, 1–8. doi:10.1038/srep19327
- White, T.J., Bruns, T., Lee, S., Taylor, J., 1990. Amplification and Direct Sequencing of Fungal Ribosomal Rna Genes for Phylogenetics. *PCR Protoc.* 315–322. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-372180-8.50042-1>
- Xu, C., Han, X., Bol, R., Smith, P., Wu, W., Meng, F., 2017. Impacts of natural factors and farming practices on greenhouse gas emissions in the North China Plain: A meta-analysis. *Ecol. Evol.* 7, 6702–6715. doi:10.1002/ece3.3211