

VPLIV OBDELAVE TAL NA TALNO BIOTO IN SEKVESTRACIJO OGLJIKA

Mateja Muršec, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Slovenija
mateja.mursec@um.si, ISBN: 978-961-286-433-0 (pdf), DOI: <https://doi.org/10.18690/978-961-286-433-0.4>

Povzetek

Različne tehnike obdelave tal različno učinkujejo na ekosistemske storitve tal, med drugimi tudi na biodiverzitetu in življenjske procese v tleh s tem, da vplivajo na regulacijo vode, zraka, toplote in razporeditev hranil v tleh. V kmetijstvu je cilj razviti sistem pridelavo hrane, ki je trajnosten ter ekonomičen iz vidika potrošnika in pridelovalca, hkrati pa naj ne bi dopuščal nadaljnje degradacije tal. Z namenom omiliti globalno segrevanje in izboljšati kakovost zraka in vode ter ohranjati kakovost (kmetijskih) tal, je danes pri obdelavi tal pomembno upoštevati tudi sekvestracijo oz. zadrževanje ogljika v tleh. Zaloga talnega ogljika je namreč zelo dovzetna za različne obdelave tal oz. za sisteme pridelave hrane. Takšne cilje si je zastavila ohranitvena obdelava tal, ki se je po svetu opazno razširila v devetdesetih letih prejšnjega stoletja. V Sloveniji (kot tudi v večini evropskih držav), kjer še vedno prevladuje tradicionalni način obdelave tal z oranjem (konvencionalna obdelava tal), se ohranitvena obdelava tal počasi uveljavlja tudi v zadnjih nekaj letih. Oba načina obdelave tal se razlikujeta predvsem v intenzivnosti in številu mehanskih posegov, v deležu pokritosti tal z rastlinskimi ostanki in v raznovrstnosti vegetacije.

Ključne besede

kmetijstvo, tla, ohranitvena obdelava, biota, sekvestracija ogljika

Pomen in ekosistemske storitve tal

Kljub temu da imajo tla v našem vsakdanjem življenju veliko vlogo, je nezavedanje pomena tal prisotno ne samo pri večini posameznikov, temveč tudi na globalni ravni - pri političnih, gospodarskih in socio-ekonomskih interesih. Pomanjkljivo zavedanje pomembnosti tal kot naravnega vira vodi do povečanega obsega izgub oz. degradacije kakovostnih tal, kar posledično ogroža kakovost našega življenja. Vzpodbudno je, da se v zadnjih desetletjih med kmetijskimi politikami postopoma le širi spoznanje, da je ohranjanje rodovitnosti kmetijskih tal odločilnega pomena za pridelavo kakovostne in zdrave hrane. Slednje je za pridelovalce hrane v času globalnega segrevanja postalo še poseben izziv; novim podnebnim razmeram se bomo morali prilagoditi z uporabo okolju prijaznih tehnologij in z izbiro ustreznega sortimenta.

Tla predstavljajo naravno tvorbo z velikim naborom ekosistemskih storitev oz. talnih funkcij, ki so ključnega pomena za kmetijsko, okoljsko, naravovarstveno, krajinsko in urbano rabo (slika 1). Ekosistemske storitve tal pogosto zajemajo pojem "kakovosti tal", ki je po Tóthu in

sod. (2007) definirana kot "ocena proizvodne sposobnosti tal pri izvajanju ekosistemskih in družbenih storitev z ohranjanjem svojih naravnih funkcij v primeru spremenjenih pogojev".

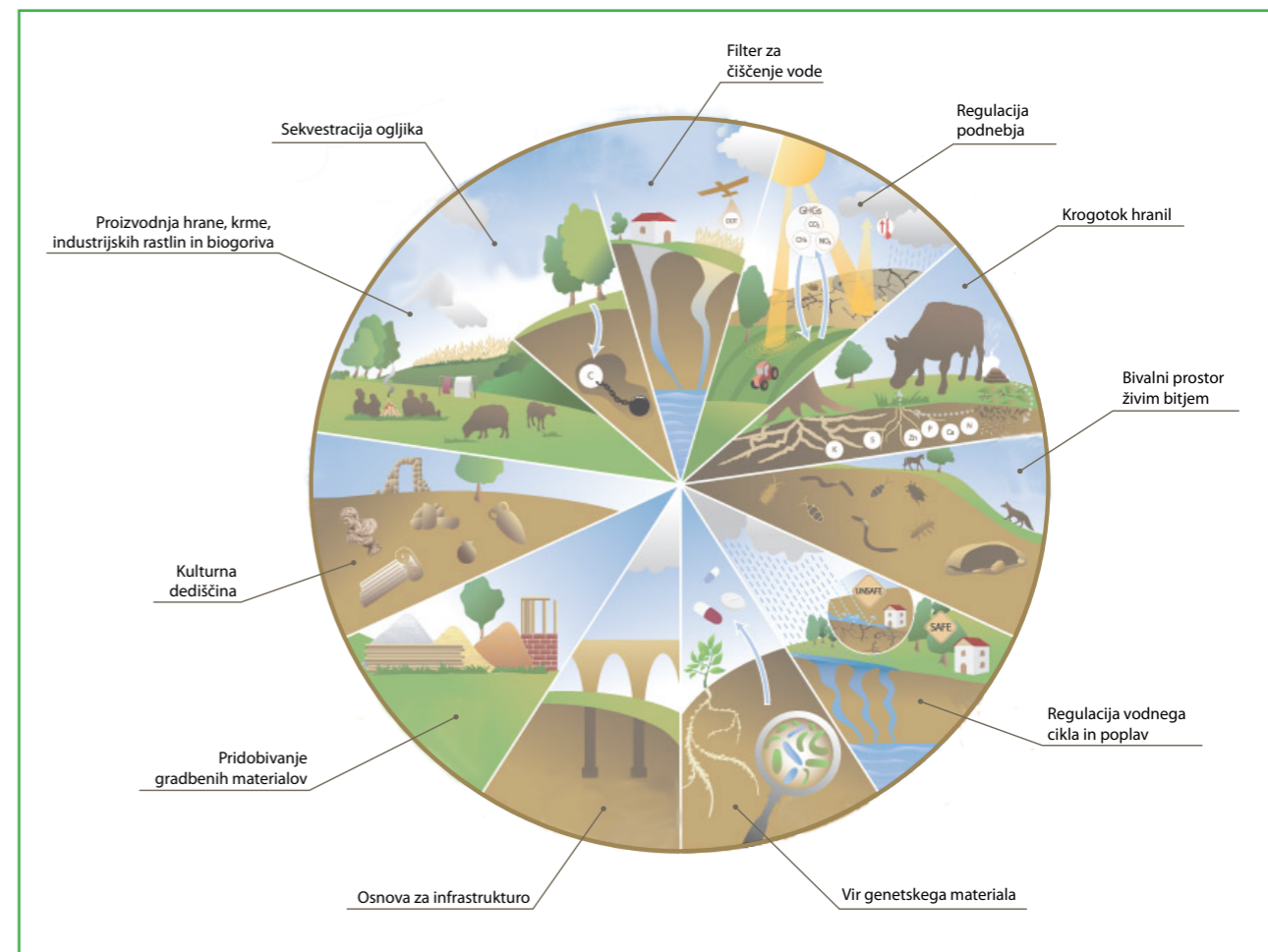
Ob tem, da tla za rastline pomenijo vir hranil, vode, kisika in jim dajejo oporo, so tla pomemben del hidrološkega cikla pri uravnavanju poplav in filtriranju vode; tla so pomemben ponor ogljika, ki zaradi uhajanja le-tega v atmosfero, vpliva tudi na klimatske spremembe; s pestro biodiverzitetjo lahko tla pripomorejo k stabilnosti ekosistemskih funkcij, k potencialnemu genetskemu viru in k obvladovanju bolezni, ki izvirajo iz tal (EASAC, 2018).

Skrb za trajnostno rabo tal zajema raziskave v zvezi z izgubami tal zaradi pozidave, zmanjšanjem kakovosti tal in vsebnosti talne organske snovi ter biodiverzitetje zaradi intenzivnega kmetijstva in gozdarstva, vodno in vetrno erozijo, zbijanjem (kompakcijo) tal, zaslanjanjem tal in onesnaževanjem s škodljivimi snovmi. V kmetijstvu predstavlja obdelava tal enega izmed osnovnih potencialnih vzrokov degradacije tal v smislu neugodnih sprememb fizikalnih lastnosti, ki nadalje vplivajo na biološke in kemijske parametre.

Ekosistemske storitve oz. funkcije tal delimo na (ITPS, 2015):

- Podporne oz. vzdrževalne storitve: nastanek tal (preperevanje primarnih mineralov in sproščanje hranil, transformacija in akumulacija talne organske snovi (TOS), strukturiranje tal za prenos vode, zraka in razporeditev korenin, tvorba sorptivne površine za zadrževanje in izmenjavo ionov), primarna proizvodnja (medij za kalitev semen in rast rastlin, preskrba rastlin s hranili in vodo), kroženje hranil (pretvorba organskega materiala s pomočjo talne biote, zadrževanje in sproščanje hranil iz aktivne talne površine).
- Regulacijske storitve: regulacija kakovosti vode (filtracija in puferna sposobnost talne vode, pretvorba talnih onesnažil), regulacija količine vode (infiltracija vode in pretok skozi tla, dreniranje odvečne vode iz tal v podzemne in površinske vode), uravnavanje podnebnih razmer (uravnavanje izpustov toplogrednih plinov), regulacija erozije (zadrževanje talnih delcev na površini tal), uravnavanje bolezni (kontrola rastlinskih, živalskih in človeških bolezni).
- Oskrbovalne storitve: oskrba s hrano (preskrba z vodo in s hranili za rast rastlin za živalsko in človeško prehrano), oskrba z vodo (zadrževanje in čiščenje vode), oskrba z gorivom in vlakninami (preskrba vode in hranil ter fizična podpora za rast rastlin za pridelavo biogoriva in vlaknin oz. industrijskih rastlin), oskrba z osnovnim talnim materialom (preskrba z vrhnjim delom tal kot substratom, šoto itd.), stabilnost površine tal (podpora človekovim dejavnostim in infrastrukturi), življenjski prostor (omogočanje habitata za talne živali, ptice itd.), genetski viri (vir unikatnih bioloških materialov).
- Kulturne storitve: estetske in duhovne (ponujanje različne naravne in kulturne krajine, vir pigmentov in barvil, prostor za umrle), dediščina (odkrivanje arheoloških iznajdb).

Ekosistemske storitve tal postanejo ogrožene oz. oslABLJENE v primeru degradiranih tal, kar povzroči slabše rastne razmere za pridelavo kakovostne in zdrave hrane, večje stroške pri pridelavi in zaščiti hrane in povečano tveganje za prenos bolezni v prehransko verigo, erozijske in poplavne procese ter povečan izpust anorganskega ogljika v ozračje, kar nadalje vpliva na klimatske spremembe. Časovni razponi naravnih procesov v tleh so izredno dolgotrajni, tako lahko tla iz vidika trajanja človeškega življenja obravnavamo kot le delno ali celo neobnovljiv vir (EASAC, 2018). Strategija varovanja tal je lahko uspešna le ob upoštevanju ekosistemskih storitev tal. Tako varovaje tal temelji na načelih ohranjanja funkcij tal, preprečevanja degradacije tal, blaženja njenih učinkov oz. sanacije degradiranih tal.



Slika 1. Ekosistemske storitve tal (spletni vir 1)

Načini obdelave tal

Z obdelavo tal želijo pridelovalci hrane doseči ugodne pogoje za setev ter nadaljnjo rast in razvoj kultur, tako da spreminjajo fizikalne razmere v tleh (vlaga, temperatura, zračnost), skrbijo za zaščito pred pleveli, škodljivci in boleznimi ter za rastlinske ostanke. Z tehnikami obdelave učinkujejo na življenje in procese v tleh (Plaster, 2009), vplivajo na kalitev semen. To zahteva ustrezno količino vode, zraka in toplote, s čimer se neposredno vpliva na vodni cikel, na zračnost in temperaturo tal (Stajniko, 2017).

Človek obdeluje tla že 4000 let in v tem času je razvil veliko različnih tehnik in orodij za obdelavo, radikalne spremembe v razvitih deželah so se dogajale predvsem v zadnjih 200 letih. V kmetijstvu je cilj razviti sistem pridelave hrane, ki je trajnosten ter ekonomičen iz vidika porabnika in pridelovalca, hkrati naj ne bi dopuščal nadaljnje degradacije tal (Gardiner in Miller, 2004). Pridelovalni sistemi bi se tako morali prilagoditi zmanjšanju erozije in kompakcije tal ter zmanjšani porabi naravnih virov goriva. Z namenom omiliti globalno segrevanje in izboljšati kakovost zraka in vode je danes pri obdelavi tal pomembno upoštevati tudi sekvenciranje oz. zadrževanje ogljika v tleh. Zaloga talnega ogljika je namreč zelo dovzetna za različne obdelave tal oz. za sisteme pridelave hrane. Takšne cilje si je zastavila ohranitvena (konzervirajoča, konzervacijska, trajnostna, reducirana, omejena) obdelava tal, ki se je po svetu opazno razširila v devetdesetih letih prejšnjega stoletja (Plaster, 2009). V Sloveniji (kot tudi v večini evropskih držav) še vedno prevladuje tradicionalni način obdelave tal z oranjem, tako imenovana konvencionalna obdelava tal, v zadnjih nekaj letih pa se počasi uveljavlja tudi ohranitvena obdelava tal. Oba načina obdelave tal se razlikujeta predvsem v intenzivnosti in številu mehanskih posegov (Morris in sod., 2010) ter v deležu pokritosti tal z rastlinskimi ostanke po setvi (Mihelič, 2012).

Konvencionalna obdelava tal (angl. *Conventional tillage*) je vsakoletna klasična obdelava tal najprej z obračalnim plugom (oranje), kjer plužna deska na grobo odreže in obrne brazdo z žetvenimi ali drugimi ostanki pretekle setve, plevela in hlevski gnoj. Temu sledi dopolnilna (predsetvena) obdelava tal s stroji, ki zdrobijo, zmešajo in poravnajo grobe grude v bolj fino podlago za sejanje (brananje, valjanje, ravnanje, osipavanje itd). Cilj je priprava mehke sejalne posteljice brez žetvenih ostankov. V primeru suhih in zbitih tal uporabljajo tudi globinske rahljalnike za rahljanje spodnje plasti tal, s čimer izboljšajo prodiranje in razrast korenin ter infiltracijo vode (Bernik, 2005; Mrhar, 2002; Plaster, 2009).

Večina kmetov je še vedno prepričanih, da je oranje zaradi zadovoljivih pridelkov, učinkovitega zatiranja plevelov in optimalne priprave setvene podlage sestavni del dobre kmetijske prakse (Jones in sod., 2006). Do leta 2005 so v srednji Evropi na tak način obdelovali 75 % kmetijskih zemljišč (Bernik, 2005). Na osnovi pretekle prakse se vse bolj uveljavlja mnenje, da konvencionalna obdelava tal dolgoročno vodi v degradacijo tal (uničevanje strukture, kompakcijo tal in erozijo, izgubo organske snovi in izhajanje CO₂ zaradi pospešene mineralizacije, spremenjeno biodiverziteteto) (Sullivan 2004, Soane in sod., 2012). Po podatkih iz tujih virov smo na račun konvencionalne obdelave tal na svetu v 150 letih izgubili skoraj polovico rodovitnih tal (Cosier, 2019).

Ohranitvena obdelava tal (angl. *Conservation tillage*) pomeni obdelavo, ki ohranja tla bolj naravna. Pri tem tal ne obračajo, temveč jih le rahlo dvignejo, premešajo in zrahljajo (Young in Ritz, 2000). Predstavlja sistem obdelave, pri katerem ostane vsaj 30 % obdelovalne površine pokrite z rastlinskimi ostanki predhodne kulture, kar je še posebej pomembno v kritičnem obdobju erozijskih procesov (Gardiner in Miller, 2004). Glavni cilj ohranitvene obdelave je ohranjanje in vzpodbujanje življenja v tleh in nad tlemi, pri čemer naj bi bili posegi v tla minimalni (Stajniko, 2017). Osnovni stroj je rahljalnik ali kultivator z dodanimi elementi za poravnavo in zgostitev setvenega sloja, ki deluje do globine 18 – 24 cm (Ograjšek, 2012; Bernik, 2005). Prvi poskusi take obdelave segajo v ZDA in v štirideseta leta prejšnjega stoletja, od tam se je (predvsem zaradi težav z erozijskimi procesi) v devetdesetih letih postopoma razširilo v Brazilijo, Argentino, Kanado in Avstralijo (FAO 2015). V Evropi je sprejemanje ohranitvene obdelave v primerjavi z ostalim svetom še vedno omejeno (Lahmar in sod., 2010). Vodilna država je Španija, velik napredek so dosegle tudi Finska, Švica, Nemčija, Ukrajina in Rusija (Schneider in sod., 2010). Do leta 2005 so v srednji Evropi na ta način obdelovali približno 23 % kmetijskih zemljišč (Bernik, 2005). Danes je ta način obdelave razširjen v različnih talnih tipih in klimatskih razmerah (največ v Latinski Ameriki > 50 %), vendar v svetovnem merilu na ta način pridelajo samo 5 – 10 % hrane (Baker in sod., 2007). Razlogi so verjetno v tradiciji in prepričanju kmetov, v pomanjkanju znanja in prakse, v kmetijski politiki (slabe subvencije) in v slabi razpoložljivosti mehanizacije ter ustreznih herbicidov za zatiranje plevelov (Derpsch in sod., 2010).

Ohranitvena obdelava tal ima veliko prednosti in tudi nekaj slabosti. Glavne prednosti ekonomske narave so manjša poraba delovnega časa in zmanjšane stroške za gorivo in delovno silo (Derpsch in sod., 2010). Manjši obseg in večja hitrost opravil omogoča tudi dva pridelka (kulturi) v eni sezoni (Plaster, 2009). Sicer ohranitvena obdelava tal ohranja kakovost tal, saj je površina tal večino leta prekrita z rastlinskimi ostanki, kar preprečuje vetrno in vodno erozijo. Zaradi omejene uporabe kmetijske mehanizacije preprečuje uničevanje strukture, zaskorjenost in zbijanje tal (Six in sod., 2002). Ohranitvena obdelava se kaže v povečanem številu obstojnih strukturnih mikroagregatov, v katerih je ogljik zaradi fizične zaščite v stabilnem stanju in manj podvržen mineralizaciji in izpustu CO₂ (Elliot in sod., 2000). Hkrati poviša delež mikropor za 15 – 40 % in s tem poveča količino rastlinam dostopne vode in zadrževanje vode v tleh (Bescansa in sod., 2006; Mihelič, 2012). Omejuje površinski odtok vode in s tem spiranje hranil in pesticidov iz obdelovalnih površin ter izboljša infiltracijo vode ter preprečuje dvig skeleta iz spodnjih slojev na površje. Pospešuje biološko aktivnost in biodiverziteteto ter vsebnost organske snovi oz. humusa. V sušni dobi oz. v območjih z omejeno količino padavin

so pri takšni obdelavi tla zaščitena pred neposrednim sončnim sevanjem in evaporacija je zaradi rastlinskih ostankov omejena (Sullivan 2004, Hobbs in sod., 2008; Soane in sod., 2012). Omenjene prednosti bodo v obdobju klimatskih sprememb (sušna obdobja in pogoste nevihte) morda ključnega pomena pri strategiji zaščite kmetijskih tal.

Glavna pomanjkljivost ohranitvene obdelave tal je potreba po novi (ustreznejši) strojni mehanizaciji, ki predstavlja pridelovalcem hrane velik stroškovni zalogaj (Baker in sod., 2007; Soane in sod., 2012). Posamezni kmetovalci na splošno gojijo velik odpor do novih tehnologij, ob tem so stroji za ohranitveno obdelavo tal večinoma prirejeni velikim površinam, kar bolj ustreza večjim kmetijskim obratom (Ograjšek, 2012). Drugo veliko težavo predstavljajo pleveli, ki ob uporabi fitofarmaceutskih sredstev nenehno razvijajo odpornost (Derpsch in sod., 2010). Problem predstavljajo razni škodljivci, ki v rastlinskih ostankih najdejo varno zavetje pred neugodnimi razmerami, in tako lahko povzročajo razrast številnih bolezni, kar znatno poveča stroške za njihovo zatiranje in zahteva več teoretičnega in praktičnega znanja (Baker in sod., 2007). Najpomembnejši ukrep pri zatiranju bolezni, škodljivcev in plevelov je ustrezno kolobarjenje kultur in uporaba fitofarmaceutskih sredstev, medtem ko mehansko zatiranje plevelov dodatno pospešuje mineralizacijo TOS, in s tem izhajanja CO₂ v ozračje, ter večjo uporabo strojev ter fosilnih goriv (Derpsch in sod., 2010; Stajniko, 2017).

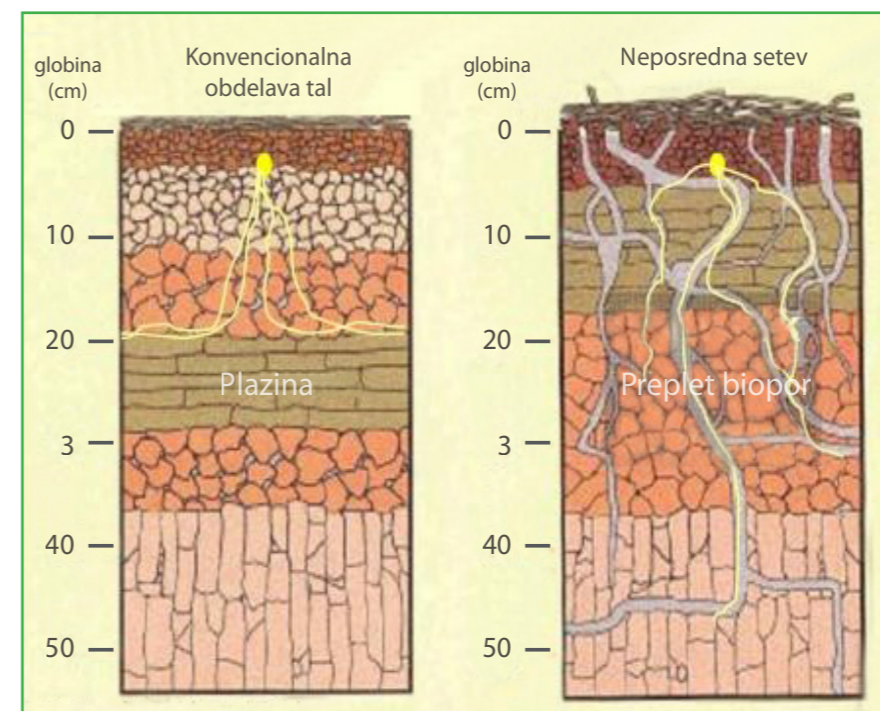
Poznamo več različic ohranitvene obdelave (obdelava z mulčenjem, vertikalna obdelava, setev v trakove, setev na grebene, neposredna setev itd.). Najvišja stopnja ohranitvene obdelave tal, kjer površina tal ostane skoraj nedotaknjena, je **neposredna (direktna) setev** (angl. *No-tillage*), kar pomeni setev v neobdelana tla ali strnišče. Potrebni so posebni stroji, kot so prekopalniki, ki obdelujejo samo setveno širino zemljišča, ali sejalnice s krožnimi setvenimi lemeži (Bernik, 2005). Neposredno setev izvajajo na velikih področjih v Ameriki, v semiaridnih podnebnih razmerah pa je nujna uporaba herbicidov, ker ni mehanskega zatiranja plevela. Razširjenost takšne obdelave tal naj bi bila pogojena predvsem s klimatskimi in talnimi razmerami, vendar zaradi manjše porabe delovnega časa in goriva nanjo vplivajo predvsem klimatske razmere. Do leta 2005 so na ta način v srednji Evropi obdelovali okoli 2 % kmetijskih zemljišč (Bernik, 2005). Pri izvajanju neposredne setve ni erozije, ker so tla dobro (do 90 %) pokrita z rastlinskimi ostanki, ki plevelom predstavljajo določeno konkurenco. Neposredna setev zmanjšuje čas in stroške obdelave, porabo energije, število prehodov po pridelovalni površini, in s tem kompakcijo tal. Rastlinski ostanki na površini ščitijo tla pred izhlapevanjem vlage in povečujejo biotsko aktivnost tal ter nastanek humusa (D'Emden in sod., 2012). Prav tako povečuje vsebnost talne organske snovi in zalogo vode v vrhnjem delu tal in od vseh obdelovalnih sistemov najbolj ugodno vpliva na sekvestracijo ogljika zaradi zmanjšane izpusta toplogrednih plinov. Po nekaterih podatkih zmanjša tudi kislost tal (Mihelič, 2012), poveča vsebnost dušika in rastlinam dostopnega fosforja in kalija v tleh ter kationsko izmenjalno kapaciteteto (Errouissi in sod. 2010). Ne obdeluje površine tal, kar ohranja kanale od deževnikov za boljšo infiltracijo vode in premeščanje hranil in pesticidov. Ob navedenem so učinki minimalne obdelave tal še izboljšanje kakovosti zraka in voda, površina je lahko zasajena/posejana v hitrejšem času in z dvojnimi posevki. Pomanjkljivost neposredne setve je težje premeščanje določenih hranil s površja tal navzdol, npr. aplicirana fosfatna in kalijeva gnojila ter apno ostajajo na površini (Plaster, 2009). Za neposredno setev niso primerne vse površine oz. vsi talni tipi, ampak le tisti z globokim profilom, lažjo teksturo, topla in s hranili bogata tla z večjo vsebnostjo humusa. Prav tako je pomembno, da gre za nezapljevaljene površine z ustreznim kolobarjem, ki ugodno vpliva na rahljanje in drenažo tal (Stajniko, 2017).

Prakticiranje ohranitvene obdelave tal v vseh načinih se v Sloveniji počasi uveljavlja, zaenkrat največ v SV delu (občine Ptuj, Puconci, Murska Sobota in Maribor). Po podatkih KOPOP so leta 2015 zabeležili 56 občin na skupno 7.319 ha zemljišč, kjer se tovrstna obdelava tal izvaja (Vučenović, 2015). Zadnje uradne statistike ni. Ocenjuje se, da na tak način obdelujejo od 8.000

do 13.000 ha (6 – 10 %) slovenskih zemljišč, pri čemer je razlaga ohranitvene obdelave zelo različna. Ohranitveno obdelavo tal v Sloveniji (formalno od 2016, sicer že dalj časa) uspešno promovira Slovensko združenje za ohranitveno obdelavo in rodovitnost tal in se v bližnji prihodnosti zavzema za pridobivanje subvencij za tovrstno kmetovanje. Na oddelku za Agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani in na Fakulteti za kmetijstvo in biosistemske vede Univerze v Mariboru že več let (od 10 do 15) izvajajo trajnostne poskuse na dveh teksturno različnih tleh (na težjih glinasto-meljastih tleh na poskusnem polju BF in na lažjih peščeno-prodnatih tleh v Moškanjcih) (Mihelič, 2012; Žigon, 2013). V Moškanjcih so rezultati plitve obdelave tal (10 – 15 cm), s stalno pokritostjo tal s strniščnimi ali vmesnimi posevki in pestrim kolobarjem pokazali skoraj enakovredne pridelke v primerjavi s klasično obdelavo tal z oranjem ob bistveno nižjih stroških in manjši potrebah po namakanju.

Preglednica 1. Prednosti in slabosti ohranitvene obdelave (Soane in sod., 2012)

OHRANITVENA OBDELAVA (NEPOSREDNA oz. DIREKTNA SETEV)	
PREDNOSTI	SLABOSTI
Povečana stabilnost strukturnih agregatov, predvsem blizu površja tal	Povečana volumska gostota tal
Zmanjšana erozija tal	Možnost površinske zbitosti tal
Povečan vertikalni in horizontalni sistem talnih por	Povečana talna vlaga blizu površja (spomladi)
Ni prenosa večjega skeleta na površje	Padeč temperature tal blizu površja (spomladi)
Povečana vsebnost talne organske mase blizu površja tal	Problemi s plazino kot posledico predhodnega oranja
Povečana biološka aktivnost, posebej deževnikov	Povečana akumulacija fosforja blizu površja (večje tveganje za izgube s površinskim odtokom)
Zmanjšana mineralizacija, in s tem izguba hranil	Povečan izpust N ₂ O
Zmanjšan izpust CO ₂ (mineralizacija, goriva)	Nepriumno za slabo strukturirana peščena tla ali slabo drenirana težja tla
Povečana infiltracija tal	Nepriumno za inkorporacijo trdih živalskih gnojil
Povečana hidravlična konduktivnost v spodnjem delu dobro strukturiranih tal	Negotov pridelek (posebej v vlažnem delu leta)
Povečana nosilnost tal (manj poškodb zaradi prometa s kmetijsko mehanizacijo)	Povečan problem glede zaščite pred pleveli, povečani stroški za herbicide in povečana odpornost na herbice
Manjši stroški za gorivo, manjša poraba delovega časa	
Možnost dodatnih jesenskih posevkov	



Slika 2. Primerjava razporeditve korenin pri konvencionalni obdelavi (levo – razporeditev korenin nad nepropustno plastjo) in neposredni setvi (desno – razporeditev korenin in biopor v globino, brez nepropustne plasti) (spletni vir 2)

Vpliv obdelave tal na talno bioto

Talna biota predstavlja živi del tal in je zelo pomembna pri izvajanju in vzdrževanju ekosistemskih storitev tal. Med talno bioto prištevamo številne predstavnike organizmov različnih velikosti in izvora (Brady in Weil, 2008):

1. Mikroorganizmi (< 0,1 mm: praživali, kotačniki in nematode kot predstavniki mikrofavne; alge, glive, aktinomicete bakterije, cianobakterije in koreninski laske kot predstavniki mikroflоре).
2. Mezoorganizmi (0,1 – 2 mm: pršice, skakači kot predstavniki favne).
3. Makroorganizmi (> 2 mm: žuželke, deževniki, stonoge, dvoživke, glodavci itd. kot predstavniki favne, ter rastlinske korenine).

Nekateri predstavniki talne favne in mikroorganizmov delujejo vzajemno in z rastlinami, glede na kroženja hranil in drugih medsebojnih koristi, prav tako uravnavajo svoje lastne populacije kot tudi nove populacije mikroorganizmov z biološkimi zaščitnimi mehanizmi. Talni organizmi v tleh sodelujejo pri:

- kopičenju in razgradnji organskih ostankov ter pri procesu nastajanja humusa (Buckley in Schmidt, 2003);
- vzpostavljanju biološkega kroženja snovi (hranil) med tlemi in rastlinami (Buckley in Schmidt, 2003);
- biokemičnih procesih oksidacije in redukciji mineralnih snovi (Silver in sod., 1996);
- povezovanju talnih delcev v strukturne agregate (Emerson in sod., 1986);
- rahljanju in oblikovanju talnih por, zadrževanju talne vlage ter preprečevanju erozije in zaskorjanja tal (Elliot in sod., 1996);
- naravni obrambi pred škodljivimi organizmi (Silver in sod., 1986);
- dekontaminaciji tal in vode: mikroorganizmi razgrajujejo tudi umetne organske snovi, t. i. ksenobiotike, ki se v tleh pojavijo kot posledica onesnaževanja (pesticidi, naftni derivati, topila idr.), in tako poskrbijo za dodaten vir hranil (Soulas in Lors, 1999).

Življenjski prostor vseh talnih organizmov sega od površja tal do matične kamnine, večina se jih zadržuje oz. giblje v zgornjem delu tal (do 30 cm), kjer je na voljo več hrane, zraka in vlage (več organske snovi). Predstavniki talne favne in mikroorganizmov se z načinom življenja, zgradbo in gibanjem prilagodijo fizikalno-kemičnim (abiotskim) dejavnikom okolja, torej talnemu prostoru. Med talnimi parametri na bioto v največji meri vplivajo: (1) vodno-zračne razmere v tleh s količino in sestavo talnega zraka ter s količino, sestavo in dostopnostjo talne vlage (odvisno od teksture, strukture in vsebnosti organske snovi); (2) prisotnost svetlobe z UV žarki; (3) temperatura; (4) redoks potencial; (5) reakcija tal ter (6) vsebnost organske mase in hranil, ki so v neposredni povezavi z vremenskimi razmerami (temperatura, količina in razporejenost padavin) (Mršič, 1997; Lombard in sod., 2011; Raynaud in Nunan, 2014).

Ključno vlogo pri razgradnji talne organske snovi, kroženju hranil in strukturiranju tal igrajo talni mikroorganizmi. Čeprav ogljik iz mikrobne biomase predstavlja le 1 – 2 % ogljika celotne talne biomase in mikroorganizmi predstavljajo le 0,5 vol. % talne organske mase, predstavljajo najštevilčnejšo komponento talne biote in jih najdemo skoraj vsepovsod: od talnih por, napolnjenih z zrakom ali z vodo, do površine ali notranjosti strukturnih agregatov, na ali med posameznimi talnimi delci različnih velikosti, med odmrlo organsko maso, na rastlinskih koreninah itd. (Brady in Weil, 2008; Paul in Clark, 1996). Na mikrobne združbe v tleh v veliki meri vplivajo vsebnost vode in zraka, temperatura in reakcija tal. Povišanje temperature neugodno vpliva na aktivnost gliv, medtem ko bakterije slabše prenašajo nižje temperature (večina bakterij in gliv v kmetijskih tleh optimalno deluje pri 25 – 30 °C) (Uhlirova in sod., 2005). Bakterije so v primerjavi z glivami bolj občutljive na preveliko količino vode v tleh (optimalna talna vlaga za aerobne procese je 50 – 60 % poljske kapacitete, za anaerobne pa 80 – 100 % poljske kapacitete) (Linn in Dora, 1984; Li in sod., 2014). Glede reakcije tal so bakterije bolj občutljive kot glive, ki se lažje prilagodijo kisli reakciji (Lauber in sod., 2008). Sicer je optimalni pH za večino mikroorganizmov v območju med 6 in 7, kjer je tudi dostopna večina rastlinskih hranil (Hartel, 2005).

Z različnimi posegi v tla (mehanskimi ali kemičnimi) človek spreminja okoljske (abiotske) parametre. Z obdelavo tal, z uporabo fitofarmaceutskih sredstev in gnojil, z namakanjem ali izsuševanjem, prekrivanjem tal in s kolobarjem vpliva na prisotnost, aktivnost in razporeditev talne biote (Brady in Weil, 2008; Roper in Gupta, 1995). Razne stresne okoliščine, povezane s spremembami v abiotskih dejavnikih, upočasnijo, dezaktivirajo (prehod v mirovanje) ali celo ustavijo mikrobno delovanje (Ouyang in Li, 2013). Posebnost talnih mikroorganizmov je, da zelo hitro odreagirajo na spremembe, ki jih povzročajo agrotehnični ukrepi (mehanski, kemični) ali okoljski stres. Njihova zastopanost, sestava in delovanje (biodiverziteteta, intenziteteta dihanja, mikrobna biomasa, encimska aktivnost itd.) se novim razmeram zelo hitro prilagodi. Ta sposobnost se v kmetijstvu izkorišča pri uporabi potencialnih indikatorjev (kazalcev) kakovosti in zdravja tal (Pankhurst, 1997).

Različni pridelovalni sistemi (ključni ukrepi so način obdelave tal, pokritost tal oz. upravljanje z organskimi ostanki in zatiranje plevelov) različno vplivajo na posamezne populacije talne biote in na njihovo aktivnost (Wardle, 1995). Prisotnost, biomasa in aktivnost talne biote so najbolj občutljivi na količino, kakovost in razporeditev organske mase v tleh kot osnovnega vira hrane. Nadalje je biota odvisna od strukture tal oz. od razporeditve talnih por za bivanje oz. gibanje, od vodno-zračnega režima v tleh, nanje pa posredno vplivajo tudi spremembe v medsebojnih odnosih predstavnikov prehranjevalne verige (Wardle, 1995).

Pri ohranitveni obdelavi tal zgornjo plast tal samo rahlo obdelamo in premešamo z rastlinskimi ostanki, tako se na površini ostali rastlinski ostanki razgradijo s pomočjo talnih organizmov. Nadaljnje mešanje organskih ostankov in rahljanje tal ponavadi prevzamejo deževniki in drugi predstavniki talne favne v spodnjih plasteh tal, saj je njihov življenjski prostor ostal nespremenjen v primerjavi s konvencionalno obdelavo, kjer ga z oranjem obrnemo na glavo (Stajniko, 2017).

Nemške raziskave so podale nekaj dejstev o vplivu različnih načinov obdelave tal (konvencionalna, ohranitvena obdelava in neposredna setev) na talno bioto (van Capelle in sod., 2012). Raziskovali so prisotnost, biomasa, pestrost in encimsko aktivnost mikroorganizmov, glist, deževnikov, skakačev, pršic in ugotovili specifične odzive pri posameznih populacijah. Največja pojavnost, biomasa in raznovrstnost deževnikov je bila ugotovljena v primeru neposredne setve, najmanjša pa pri konvencionalni obdelavi tal, vendar so se rezultati razlikovali glede na teksturo tal. Pri ohranitveni obdelavi in neposredni setvi je bilo največ deževnikov v meljastih in ilovnatih tleh, medtem ko je bilo pri konvencionalni obdelavi največ deževnikov v peščenih tleh (v peščenih in glinastih tleh ni bilo značilnih razlik med načini obdelave). Način obdelave tal je vplival tudi na sestavo ekoloških skupin deževnikov, saj so bili predstavniki aneocičnih in endogeičnih deževnikov bolj zastopani pri neposredni setvi, na epigeične deževnike način obdelave ni bistveno vplival (van Capelle in sod., 2012). Pri zmanjšani intenzivnosti obdelave tal se je signifikantno povečala populacija in diverziteteta glist, medtem ko so pri skakačih in pršicah ugotovili nasprotno. Za razliko od pršic in skakačev za deževnike velja, da so izredno občutljivi na mehansko obdelavo tal (van Vliet in sod., 1993). V zgornjem delu tal je bila mikrobna biomasa in aktivnost v primerjavi s konvencionalno obdelavo večja pri ohranitveni obdelavi in pri neposredni setvi. Rezultati pri deževnikih in skakačih so varirali glede na teksturo tal, pri mikroorganizmih pa glede na globino tal. V osnovi so predstavniki talne biote odvisni od okolja, predvsem od razporeditve in velikosti talnih por, nadalje so vezani na izvor hrane in če je le-ta v rizosferi, je za njihov obstoj najbolj ugoden način obdelave tal neposredna setev, kjer je najmanj mehanskih posegov (van Capelle in sod., 2012). Največjo številčnost, biomasa in raznovrstnost deževnikov v primeru neposredne setve so potrdili tudi francoski raziskovalci (Peigné s sod., 2009).

Povečano populacijo deževnikov in mikroorganizmov pri neposredni setvi so v primerjavi s konvencionalno obdelavo tal dokazali še drugi raziskovalci (Doran, 1987; Parmelee in sod., 1990). Populacija deževnikov se v primeru ohranitvene obdelave tal uspešno povečuje: v nemških raziskavah so dokazali tudi do šestkratno povečanje populacije deževnikov (Lahmar, 2008 in 2010). Po drugi strani konvencionalna obdelava tal v primerjavi z neposredno setvijo občutno zmanjšuje populacijo deževnikov (Chan, 2001; Pfiffner, 2014). Deževniki s sistemom kanalov še dodatno pripomorejo pri infiltraciji vode (Wuest, 2001) ter z načinom prehrane prispevajo k boljši strukturiranosti tal, mešajo mineralne in organske delce ter rahljajo tla (Lovrenčak, 1994).

Obdelava tal posredno učinkuje na populacijo praživali v tleh, s tem, ko vpliva na njihove okoljske pogoje in na vir hrane (Foissner, 1987). Praživali se namreč prehranjujejo z bakterijami in glivami in igrajo pomembno vlogo pri razgradnji organske mase in tudi pri vzdrževanju mikrobnih populacij (Old in Chakraborty, 1986). Podobno bi lahko zaključili s predstavniki mezo- in makrofavne, ki se prehranjujejo z mikroorganizmi in organsko snovjo: več pršic, skakačev, nematod in deževnikov so ugotovili v primeru neobdelanih in pokritih tal z rastlinskimi ostanki (Roper in Gupta, 1995).

Ameriški raziskovalci (Wanjiru Mbutia in sod., 2015) so ugotavljali vpliv dolgoletne konvencionalne obdelave tal in neposredne setve na strukturo talnih mikroorganizmov in pri tem je setev pokazala bistveno boljše rezultate v pojavnosti biomarkerjev FAME, povezanih z Gram pozitivnimi bakterijami, aktinomicetami in mikoriznimi glivami. Količina pridelka, ključni encimi za kroženje C, N in P (β -glukozidaza, β -glukozaminidaza, fosfodiesteraza), količina talnega ogljika in dušika in izmenljivi P, K in Ca so bili povečani pri neposredni setvi v primerjavi s preoranimi tlemi. Povečane mikrobne biomase pri reducirani obdelavi tal niso ugotovili, predvidoma zaradi spremenljivosti biomase glede na čas, način vzorčenja, kulturo in in okoljske lastnosti (Carter in sod., 1999).

Podobne rezultate kot v ZDA so ugotovili tudi drugi raziskovalci (Mathew in sod., 2012), ki so v primerjavi s konvencionalno obdelavo tal ugotovili dolgoletni pozitivni vpliv neposredne setve

na povečano vsebnost organske snovi in dušika, na mikrobiološko strukturo ter biomaso in encimsko aktivnost (aktivnost fosfataze) v zgornjih 5 cm tal. Mikrobiološka struktura, ocenjena na osnovi PLFA (*phospholipid fatty acid*) in ARISA (*automated ribosomal intergenic spacer analysis*) analiz se je spreminjala glede na obdelavo in globino tal. Pokazala boljše rezultate pri biomarkerjih gliv, bakterij mikoriznih gliv in aktinomicet v primeru neposredne setve. Tudi encimska aktivnost je bila boljša v primeru neposredne setve (Dick in sod., 1996).

Konvencionalna obdelava tal vodi le do prevlade aerobnih mikroorganizmov v mikrobnii sestavi tal, medtem ko ohranitvena obdelava tal poveča mikrobno biomaso, populacijo in aktivnost v celoti (Kandeler in sod., 1999; Staley, 1999; Balota in sod., 2003).

Slovenska raziskava o vplivu ohranitvene in konvencionalne obdelave tal na mikrobno sestavo in biomaso v tleh je pokazala povečano mikrobno biomaso ter strukturno spremembo bakterij in deloma gliv v zgornjem sloju tal (0 – 10 cm) v prid ohranitveni obdelavi, medtem ko pri arhejah ni bilo razlik. V sloju pod površjem (10 – 20 cm) so mikroorganizmi zaradi bolj ugodnih razmer pri ohranitveni obdelavi tal bolje prenesli stresne pogoje suše in se hitreje regenerirali, kar dolgoročno doprinese k večji stabilnosti talnega ekosistema (Kaurin, 2015).

Roper in Gupta (1995) sta proučevala vpliv direktne setve in konvencionalne obdelave tal na sestavo talne biote in pri tem ugotovila porast mikrobne biomase, vključno s heterotrofnimi in celuloznimi mikroorganizmi, bakterijskimi fiksatorji dušika, nitrifikacijskimi in denitrifikacijskimi bakterijami, praživali in predstavniki mezo- in makrofavne v primeru pokritosti in minimalne obdelave tal. Pri neposredni setvi so ugotovili večjo koncentracijo mikroorganizmov bližje površini tal in manjše uničevanje strukture v primerjavi s konvencionalno obdelavo tal (Roper in Gupta, 1995). Porast predstavnikov talne biote naj bi bil predvsem rezultat ohranjanja organske snovi kot glavnega vira hrane in izboljšane infiltracije vode (Carter in Steed, 1992).

Prisotnost vegetacijske pokritosti oz. strnišča močno vpliva tudi na populacijsko razmerje med glivami in bakterijami. Pri neposredni setvi so ugotovili povečano razmerje med glivami in bakterijami v prid prevlade gliv (Helgason in sod., 2009). Pri neposredni setvi je zaradi več organske snovi in zaradi manj poškodovanega glivnega micelija zaradi mehanske obdelave, populacija gliv v vrhnjem delu tal tudi do trikrat večja v primerjavi s konvencionalno obdelavo tal (Roper in Gupta, 1995). Ob tem na to razmerje vpliva še tudi kemična sestava rastlinskih ostankov na površju: tista s težje razgradljivimi komponentami (npr. z več celuloze ali lignina, manj dušika) povečajo populacijo celuloznih bakterij in gliv (Gupta in Roper, 1992). Glive so sposobne razgrajevati organsko maso z manjšo vsebnostjo dušika (Burns, 1992). Porast gliv pri neposredni setvi je posledica njihovih celičnih struktur hitinske sestave, ki je bolj odporna na razgradnjo in je povezana z večjo sekvestracijo ogljika (Jastrow in sod., 2006; Waring in sod., 2013). Obdelava tal zmanjšuje razvoj mikoriznih gliv (Evans in Miller, 1990), ki povečujejo absorpcijsko sposobnost rastlin, in s tem prehrano rastlin, predvsem s fosforjem (Hayman, 1980). Brito s sodelavci (2006) je v primeru gojenja pšenice z neposredno setvijo ugotovil 6 krat večjo mikorizno populacijo kot v ornih tleh.

Sicer prisotnost organskih ostankov na površju tal pripomore k porastu bakterij, ki so vezane na dušikov cikel (amonifikacijske, nitrifikacijske in denitrifikacijske bakterije) (Roper in Gupta, 1995). Obdelava tal in sposobnost razgradnje organskih ostankov na površju sta povezana z aktivnostjo nitrogenaze, delovanje tega encima je namreč bolje v primeru, ko so organski ostanki plitvo zadelani v tla zaradi boljšega stika s talnimi mikroorganizmi in zračnostjo tal (Roper in sod., 1989).

Neposredna setev brez obdelave tal stimulira aktivnost encimov (Dick, 1984; Mikanová in sod., 2006). Encimatska aktivnost in biomaso z globino tal pada hitreje v primeru neposredne setve,

saj se z oranjem organska snov enakomerneje premeša do večje globine. V primeru neposredne setve večino organske mase ostane blizu površja, kjer se počasneje razgrajuje, in tako zadržuje večjo koncentracijo organizmov z večjo encimatsko aktivnostjo (Mikanová in sod., 2006).

Med povečano mikrobno populacijo v primeru neposredne setve so lahko tudi patogeni organizmi, ki povzročajo bolezni predvsem v primeru neustreznega kolobarja s posevki, podobne občutljivosti na določene bolezni kot predhodne kulture. Z ustreznim in preišljenim kolobarjem lahko nadaljnji razvoj bolezni prekinemo. Z vključevanjem stročnic v kolobar prispevamo k dodatnemu talnemu dušiku in stimuliramo mineralizacijske procese. Splošno povečanje mikrobne populacije v primeru rastlinskih ostankov na površju tal posledično zmanjša obseg patogenih organizmov zaradi tekmovalnih, predatorskih ali parazitskih aktivnosti oz. odnosov (Kundu in Nandi, 1985). Pri ohranitveni obdelavi oz. pri neposredni setvi se zaradi kontrole plevelov na splošno poveča zahteva po uporabi herbicidov, kar lahko zmanjša prisotnost in aktivnost nekaterih skupin mikroorganizmov (Roper in Gupta, 1995).

Ohranitvena obdelava torej poveča biološko diverziteto tal, kar povzroči obogateno mikrofloro, populacijo žuželk in večji obseg deževnikov. Nadalje omogoča ugodnejše pogoje za razrast mikoriznih gliv in za obogatitev divjih živali (fazanov, rac, zajcev itd.). Ker talna biota s svojimi aktivnostmi posredno in neposredno vpliva na velikost in kakovost pridelkov, na pojav bolezni in škodljivcev in na kakovost in obseg kroženja hranil in vode, je postalo ohranjanje njihove diverzitete ključna komponenta pri strategiji trajnostnega kmetijstva (Swift in sod., 2004). Pri tem predstavlja velik izziv razumevanje povezav med ekosistemskimi storitvami in vlogami posameznih predstavnikov talne biote (Brussaard in sod., 2007).

Vpliv ohranitvene obdelave tal na sekvestracijo ogljika

Danes je veliko pozornosti usmerjene v klimatske spremembe in globalno segrevanje, delno tudi zaradi povečane količine atmosferskega CO₂. Ena izmed rešitev je sekvestracija ogljika, kar pomeni zadrževanje ogljika v tleh oz. premeščanje le-tega v tla. Približno 2/3 ogljika v kopenski biosferi se nahaja v obliki talnega organskega ogljika. Tla so torej vir (proizvajalec CO₂ v atmosfero) in hkrati ponor (akceptor CO₂ iz atmosfere) organskega ogljika (Gardiner in Miller, 2004).

Sekvestracija ogljika v tleh predstavlja zelo pomembno komponento pri bilanci ogljika v okolju (Lal, 2007) in obdelava tal lahko nanjo učinkuje na različne načine. O dolgoročnemu vplivu obdelave tal na izpuste CO₂ je bolj malo znanega, večina raziskav se je oredotočila na kratkoročne izpuste plinov iz vrhnjega dela tal (do globine 30 cm) (Yang in sod., 2008), pri katerih so ugotovili tudi do 25 % večjo akumulacijo ogljika pri neposredni setvi kot v zoranih tleh (Sombbrero in De Benito, 2010), predvsem zaradi zmanjšane uporabe goriva in povečane količine organske snovi. Zadnje raziskave so pokazale, da so rezultati o sekvestraciji ogljika zelo variabilni glede na globino vzorčenja. Znatne količine akumuliranega C so v globini tal pod 30 cm izmerili tudi v oranah tleh (Snyder in sod., 2009) in ob upoštevanju zaloga ogljika do večjih globin razlike med različnimi obdelavami tal niso več tako velike (Luo in sod., 2010). Glede sekvestracije talnega ogljika so mnenja deljena, večina raziskav namreč temelji na analizi plitvo odvzetih talnih vzorcev (pretežno do 30 cm globine) in ne upošteva celotnega talnega profila, kar je pokazalo tudi drugačne rezultate. Variabilnost sekvestracije ogljika v tleh je močno povezana s podnebniimi razmerami (količina in razporeditev padavin, temperatura) in talnimi razmerami (tekstura, poroznost, količina organske snovi, biološka kativnost), pa tudi s pridelovalnimi sistemi in z leti trajanja določenega načina obdelave tal. Manjše razlike glede na obdelavo tal so evropski raziskovalci ugotovili v hladni in vlažni klimi (Škotska, Švica), kjer je oksidacija zadelanih organskih ostankov počasna (Anken in sod., 2009; Sun in sod., 2010). V sušni klimi je lahko mineralizacija organske snovi na površini tal bolj intenzivna, kot če je z oranjem zadelana v tla (Six in sod., 2004). Spremenljivost zaloga ogljika še ni docela razložena, zato so potrebne nadaljne raziskave, ki

bodo ob načinu obdelave upoštevale talni tip, klimo, kulturo oz. rabo tal in celotno globino tal. Nadalje je za sekvestracijo ogljika pomembna kemijska sestava organske snovi (C/N razmerje, razmerje med različno stabilnimi in velikimi frakcijami) (Mrabet, 2006).

Zaradi nepravilne obdelave tal, in s tem razgradnje organske snovi, naj bi iz tal izgubili kar 50 % zalog organskega ogljika (Birkás, 2008). Pri mineralizaciji organske snovi se zaradi povečane aktivnosti oz. dihanja talnih mikroorganizmov sprošča CO₂, kar je še posebej izrazito na zoranih njivah v toplem delu leta. Izguba organske snovi je ena izmed razlogov za nadaljnjo degradacijo tal, saj je bistvenega pomena za rodovitnost tal. Rezultat neustrezne obdelave tal je torej dvojna okoljska škoda: s konvencionalno obdelavo tal se je delež talne organske snovi zmanjšal in z mineralizacijo nastali CO₂ se je sprostil iz tal v ozračje (Triplett in Dick, 2008). V devetdesetih letih, ko je postala popularna ohranitvena obdelava tal, se je stanje talne organske snovi spet izboljšalo (Gardiner in Miller, 2004).

Izpusti CO₂ lahko izvirajo tudi pri uporabi goriva za kmetijsko mehanizacijo in pri obdelavi iz tal. Pri konvencionalni obdelavi tal, kjer se uporablja bistveno več mehanizacije, so tudi izpusti CO₂ bistveno večji kot pri ohranitveni obdelavi tal. Količina porabljenega goriva zelo variira, odvisno od talnega tipa, vrste in moči stroja, globine obdelave itd. (Arvidsson, 2010). Izpusti CO₂ so lahko kratkoročni (neposredno po obdelavi tal) in dolgoročni (čez celotno rastno sezono). Neposredno po oranju se CO₂ nekaj dni pospešeno sprošča iz tal, izpusti so tudi do 40 % večji v primerjavi z neposredno setvijo (Álvaro-Fuentes in sod., 2008). Sicer je letošnja količina sproščenega CO₂ prav tako večja v primeru oranja (za 20 %), predvsem zaradi pospešene mineralizacije talne organske snovi in tudi zaradi pospešenega dihanja korenin (Almaraz in sod., 2009). V določenih pogojih so bili večji izpusti CO₂ ugotovljeni tudi v primeru direktne setve (Almaraz in sod., 2009), kar nakazuje na veliko odvisnost od talnih in vremenskih razmer.

Tla obravnavajo kot enega izmed virov toplogrednih plinov, vendar so dosedanje raziskave ponavadi omejene le na meritev posamezne vrste plina in na le izbranih talnih tipih. Rezultati so zelo spremenljivi, saj so odvisni od veliko dejavnikov, kot so vremenski dejavniki in tehnologija pridelave hrane. Regina in Alakukku (2010) sta na Finskem 10 mesecev spremljala sproščeno količino treh različnih toplogrednih plinov: CO₂, N₂O in CH₄ na obdelovalnih površinah s 5–7 let trajajočo neposredno setvijo. Ugotovila sta, da je v primeru neposredne setve večji izpust N₂O zaradi večje vlage (maks. pri 60 – 80 % zapolnjenost talnih por z vodo) in manjše zračnosti v bolj kompaktnih tleh kot v preoranih tleh, saj ta plin nastaja pri procesu denitrifikacije v anerobnih pogojih. Pri še večji talni vlagi se N₂O pri denitrifikaciji reducira do N₂. Določeno količino tega plina v primeru neposredne setve prispeva tudi povečana populacija deževnikov, saj ga proizvaja s prebavnim sistemom. Six je s sodelavci (2004) ugotovil večji izpust N₂O samo v prvih desetih letih, nakar se je postopoma manjšal, kar bi lahko pomenilo počasno reorganizacijo strukture in sistema talnih por pri neposredni setvi. V zračnih tleh so npr. pri neposredni setvi ugotovili manjši izpust N₂O v primerjavi z oranimi tlemi (Mutegi in sod., 2010), kar potrjuje, da je ta plin tesno vezan z mikrobiološko aktivnostjo in tako tudi z okoljskimi dejavniki in virom hrane v tleh. V primeru zaoranih ostankov stročnic v tla so izpusti N₂O še toliko večji kot pri neposredni setvi, torej ohranitvena obdelava tal predstavlja prednost pri uporabi stročnic v kolobarju (Almaraz in sod., 2009).

V Evropi so podatki o izpustih metana zelo skromni, sicer so rezultati raziskav zelo različni. Regina in Alakukku (2010) predvidevata, da obdelava tal na izpust metana ne vpliva bistveno. V primeru neposredne setve se lahko proizvede majhen izpust metana, ki je lahko pozitiven ali negativen, odvisno od talnih razmer. V ZDA so pri neposredni setvi ugotovili povečano oksidacijo metana v primerjavi z reducirano in konvencionalno obdelavo (Ussiri in sod., 2009).

N ₂ O (310 x CO ₂)	CO ₂	CO ₂	CO ₂
↑	↑	↑	↓
Denitrifikacija	Oksidacija TOS	Uporaba goriva	Sekvestracija TOS
DS > 0	DS < 0	DS << 0	DS >=< 0

*TOS = talna organska snov; DS = neposredna setev; O = oranje

Slika 3. Prikaz splošnega vpliva neposredne setve in oranja na bilanco ogljika (Soane in sod., 2012)

Klimatske spremembe že vplivajo na naša življenja in na življenja drugih živih bitij. Z uveljavitvijo ohranitvene obdelave tal je obseg globalnega segrevanja možno zmanjšati s povečevano sekvestracijo ogljika, s katero presežemo izpust treh glavnih biogenih toplogrednih plinov (CO₂, N₂O in metana) (slika 3).

Zaključek

Tla s svojimi karakteristikami in procesi predstavljajo zelo kompleksen in unikaten medij, torej je optimalno obdelavo tal na splošno izredno težko priporočiti. Obdelava tal se mora na vsaki obdelovalni površini z ustrezno mehanizacijo, globino in intenzivnostjo pridelave prilagoditi specifičnim talnim in tudi podnebnim razmeram. Pri tem je velik poudarek na uporabi širokega kolobarja z zadostnim vnosom organske snovi z namenom tvorbe humusa in zmanjšane potrebe po uporabi mineralnih gnojil ter herbicidov (Dumansky in sod. 2014; Stajniko, 2017).

Ohranitvena obdelava tal predstavlja dobro možnost zaščite tal proti eroziji, povečani talni bioti, zmanjšanim stroškom obdelave in porabi goriva. Glede sekvestracije talnega ogljika večina dosedanjih raziskav kaže manj izpustov CO₂ pri neposredni setvi v primerjavi s konvencionalno rabo, seveda so potrebne še nadaljne raziskave z upoštevanjem celotne globine tal.

Različice ohranitvene obdelave tal s stalno ali delno pokritostjo tal ter s primernim kolobarjenjem v zadnjih desetletjih predstavljajo dobro rešitev za usklajevanje med proizvodnjo hrane in varovanjem okolja (Conti, 2015). V južni in osrednji Evropi ohranitvena obdelava tal predstavlja dobro alternativo v primeru klimatskih sprememb s pogostimi vročimi in sušnimi poletji ter toplimi in vlažnimi zimami, v katerih je treba s pokritostjo in močno reducirano obdelavo tal ohranjati talno vlago (Birkás in sod., 2008). Prav tako je reducirana obdelava tal dobra izbira za severno Evropo, kjer napovedujejo mile in mokre zime z manj snega in tako večjo nevarnostjo erozije, površinskega odtoka in izpiranja hranil pri oranih površinah (Muukkonen in sod., 2009).

Ohranitvena obdelava tal v različnih izvedbah je nadvse priporočljiva za vodovarstvena območja (VVO), saj zmanjšuje obremenitev podtalnice zaradi izpiranja nitratov in fitofarmaceutskih sredstev (Lešnik in Flisar Novak, 2018); za nagnjene terene, kjer so še posebej izpostavljeni erozijskim procesom (Derpsch in sod., 2010), hkrati predstavlja velik izziv v pridelavi hrane ob klimatskih spremembah zaradi možnosti dvojnih posevkov. Glede na to da je kar 70 % slovenskih njiv lociranih na ranljivih VVO, zaradi pester razgibanosti reliefa in (s tem nevarnost erozije) in zaradi težav s sušo ohranitvena obdelava tal pri nas predstavlja okolju prijazno rešitev pri pridelavi hrane. V Sloveniji v primerjavi z nekaterimi ostalimi deli

sveta še vedno razpolagamo z zavidljivo količino vode, neugodno razporeditev padavin, in s tem zadrževanje vode v sušnem obdobju lahko ublažimo s stalno pokritostjo tal ter ustrezno količino organske mase v tleh.

Vsekakor je pri prehodu na ohranitveni način obdelave tal potrebno veliko znanja in predvsem velika mera potrpežljivosti, saj se izboljšave v kakovost tal pokažejo komaj v nekaj letih (predvsem glede infiltracije vode in sestave talne favne) in tako trajnostno pridelamo zdravo in kakovostno hrano. Ob veliko prednostih ima ohranitvena raba tal tudi nekaj pomanjkljivosti: zaradi omejene obdelave tal postane velik izziv predvsem zaščita rastlin pred pleveli, in s tem povečana zahteva po uporabi herbicidov, kar predstavlja tveganje za okolje (Plaster, 2009; Conti, 2015). Prav to lahko predstavlja dodatni izziv, da s primernimi načini pripomoremo k večji pestrosti talnih organizmov, ki so med seboj tesno povezani v prehranjevalni verigi in ki medsebojno tudi uravnavajo obseg populacij. Velika biodiverziteteta talnega prostora omogoča večjo stabilnost tal glede ekosistemskih storitev ter tako večjo odpornost kulturnih rastlin na biotske in abiotske strese.

Literatura

1. Almaraz J. J., Zhou X, Mabood F, Madramootoo C, Rochette P, Ma B. L., Smith D. L., 2009. Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in southwestern Quebec. *Soil Tillage Res.*, 104: 134–139.
2. Álvaro-Fuentes J., López M. V., Cantero-Martinez C., Arrúe J. L., 2008. Tillage effects on soil organic carbon fractions in Mediterranean dryland agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72: 541–547.
3. Anken T., Hermle S., Leifelt J., Weisskopf P., 2009. The effects of tillage systems on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. *Proceedings of 18th Int. Conf., Int. Soil Tillage Research Org., Izmir, Turkey, Paper T1-033*, 1–9.
4. Arvidsson J., 2010. Energy use efficiency in different tillage systems for winter wheat on a clay and silt loam in Sweden. *Eur. J. Agron.*, 33: 250–256.
5. Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E., Hobbs P. R., 2007b. *No-Tillage Seeding in Conservation Agriculture*. 2nd ed. Rome, CABI and FAO: 326 str.
6. Baker J. M., Ochsner T. E., Venterea R. T., Griffis T. J., 2007a. Tillage and soil carbon sequestration-What do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118: 1–5.
7. Balota E. L., Colozzi-Filho A, Andrade D. S., Dick R. P., 2003. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. *Biology and Fertility of Soils*, no. 1, 38: 15–20.
8. Bernik R., 2005. Tehnika v kmetijstvu, obdelava tal, setev in gnojenje, predavanja za študente agronomije in zootehnike. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, 139 str.
9. Bescansa P. J., Imaz MJ, Virto I, Enrique A, Hoogmoed W. B., 2006. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil and Tillage Research*, 87: 19–27.
10. Birkás, M., 2008. *Environmentally-sound adoptable tillage*. 1st ed. Budapest, Akadémiai Kiadó: 354 str.
11. Brady N. C., Weil RR. 2008. *Organisms and ecology of the soil. V: the nature and Properties of soils*. Brady N. C., Weil RR (eds.). Pearson Prentice Hall: 443–495.
12. Brito I., de Carvalho M., van Tuinen D., Goss M., 2006. Effects of soil management on the arbuscular mycorrhizal fungi in fall-sown crops in Mediterranean climates. *Proc. 17th Conf. ISTRO, Kiel, Germany*, 622–628.
13. Brussaard L., de Ruiter P. C., Brown G. G., 2007. Soil Biodiversity for agricultural sustainability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121: 233–244.
14. Buckley D. H., Schmidt T. M., 2003. The structure of microbial communities in soil: patterns of microbial distribution their dynamic nature and the lasting impact of cultivation. *Environmental Microbiology*, 5: 441–452.
15. Burns R. G., 1982. Carbon mineralization by mixed cultures. In: 'Microbial Interactions and Communities'. (Eds Bull A. T., Slater J. H.), Academic Press: New York, 475.
16. Carter M. R., Gregorich E. G., Angers D.A., Beare M. H., Sparling G. P., Wardle D. A., Voroney R. P., 1999. Interpretation of microbial biomass measurements for soil quality assessment in humid regions. *Canadian Journal of Soil Science* 79: 507–520.
17. Carter M. R., Mele P. M., 1992. Changes in microbial biomass and structural stability at the surface of a duplex soil under direct drilling and stubble retention in northeastern Victoria. *Australian Journal of Soil Research*, 30: 493–503.
18. Chan K. Y., 2001. An overview of some tillage impactson earthworm population abundance and diversity – implications for functioning in soils. *Soil & Tillage Research* 57(4): 179–191.
19. Conti F. D., 2015. Conservation Agriculture and Soil Fauna: Only Benefits or also Potential Threats? A review. *EC Agriculture* 2.5: 473–482.
20. Cosier S., 2019. The world needs topsoil to grow 95 % of its food – but it's rapidly disappearing. *The Gardian (elektronski vir)* <https://www.theguardian.com/us-news/2019/may/30> (1.12.2019).
21. D'Emden F. H., Kuehne G., Llewellyn R. S. 2012., Extensive use of no-tillage in grain growing regions of Australia. *Field Crops Research*, 132:204–212.
22. Derpsch R., Friedrich T., Kassam A., Hongwen L., 2010. Current status of adoption of notill farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(1): 1–26.
23. Dick W. A., 1984. Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 569–574.
24. Dick R. P., Breakwell D. P., Turco R. F., 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators, in *Methods for Assessing Soil Quality*, Doran J. W., Jones A. J., Eds. Soil Science Society of America, Madison, Wis, USA, 247–271.
25. Doran J. W., 1987. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. *Biol. Fert. Soils* 5: 68–75.
26. Elliot W. J., Page-Dumroese D., Robichaud P. R., 1996. The Effects of Forest Management on Erosion and Soil Productivity. An invited paper Presented at the Symposium on Soil Quality and Erosion Interaction sponsored by The Soil and Water Conservation Society of America, July 7, 1996, Keystone, CO, 16.
27. Emerson W. W., Foster R. C., Oades J. M., 1986. Organo-mineral Complexes in Relation to Soil Aggregation and Structure. In: *Interactions of soil minerals with natural organics and microbes*. Soil Science Society of America Journal Special Pub., Madison, Wisconsin, USA, 17:521–548.
28. Errouissi F., Ben-Hammouda M., Moussa-Machraoui S. B., Noura S., 2010. Comparative effects of conventional and no-tillage management on some soil Properties under Mediterranean semi-arid conditions in northwestern Tunisia. *Soil & tillage research*, 106.
29. European Academies Science Advisory Council, 2018. Opportunities for soil sustainability in Europe. EASAC policy report 36, Halle (Saale). Germany, 41 str.
30. Evans D. G., Miller M. H., 1990. The role of the external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular mycorrhizae colonization of maize. *New Phytology*, 114: 65–71.
31. FAO, AQUASTAT 2015: Conservation agriculture adoption. (elektronski vir) <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html> (26. 7. 2015)
32. Foissner W., 1987. Soil Protozoa: fundamental Problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to the literature. *Progress in Protistology*, 2: 69–212.

33. Gardiner D. T., Miller R. W., 2004. Soil in our environment. 10th edition, Pearson Education, New Jersey, 382–405.
34. Gupta R., Roper M. M., 1992. Seasonal changes in microbial Properties in soil as influenced by crop residue and soil management systems. 4th National Soils Conference, April 1992, Adelaide, Australia.
35. Hartel P. G., 2005. The soil habitat. V: Principles and applications of soil microbiology. Sylvia D. M., Fuhrmann J. J., Hartel P. G., Zuberer D. A. (eds.). 2nd ed. Pearson Prentice Hall: 26–53.
36. Hayman D. S., 1980. Mycorrhiza and crop Production. *Nature*, 287: 687–688.
37. Helgason B. L., Walley F. L., Germida J. J., 2009. Fungal and bacterial abundance in long-term no-till and intensive-till soils of the Northern Great Plains. *Soil Science Society of America Journal*, 73(1): 120–127.
38. Hobbs P., Sayre K., Gupta R., 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 543–555.
39. ITPS, 2015. Status of the World's Soil Resources - Main Report. Food and Agricultural Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils Rome.
40. Jastrow J. D., Amonette J. E., Bailey V. L., 2006. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climatic Change*, 80:5–23.
41. Jones C. A., Basch G., Baylis A. D., Bazzoni D., Bigs J., Bradbury R. B., Chaney K., Deeks L. K., Field R., Gomez J. A., Jones R. J. A., Jordan V., Lane M. C. G., Leake A., Livermore M., Owens P. N., Ritz K., Sturny W. G., Thomas F., 2006. Conservation agriculture in Europe: an approach to sustainable crop Production by Protecting soil and water? Bracknell, UK, Jealott's Hill: 110 str.
42. Kandeler E., Tschirko D., Spiegel H., 1999. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralisation and enzyme activities of a chernozem under different tillage management. *Biology and Fertility of Soils*, 28 (4): 343–351.
43. Kaurin A., 2015. Vpliv ohranitvene obdelave na lastnosti tal in strukturo mikrobnih združb v dveh pedo-klimatskih okoljih. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 101 str.
44. Kundu P. K., Nandi B., 1985. Control of Rhizoctonia disease of cauliflower by competitive inhibition of the pathogen using organic amendments in soil. *Plant and Soil*, 83: 357–62.
45. Lahmar R., 2010. Adoption of conservation agriculture in Europe. Lessons of the KASSA Project. *Land Use Policy*, 27: 4–10.
46. Lal R., 2007. Farming carbon. *Soil Tillage Res.* 96: 1–5.
47. Lauber C. L., Strickland M. S., Bradford M. A., Fierer N., 2008. The influence of soil Properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 2407–2415.
48. Lešnik M., Flisar Novak Z., 2018. Izzivi uvajanja konzervirajoče (ohranitvene) obdelave tal. 5. Lombergarjev poljedelski posvet, Maribor, 6. dec. 2018.
49. Li Y., Liu Y. H., Wang Y. L., Niu L., Xu X., Tian Y.Q., 2014. Interactive effects of soil temperature and moisture on soil N mineralization in a *Stipa krylovii* grassland in Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Land*, 6: 571–580.
50. Linn D. M., Doran J. W., 1984. Effect of water filled pore space on CO₂ and N₂O Production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 1267–1272.
51. Lombard N., Prestat E., van Elsas J. D., Simonet P., 2011. Soilspecific limitations for access and analysis of soil microbial communities by metagenomics. *FEMS Microbiology Ecology*, 78: 31–49.
52. Lovrenčak F., 1994: Pedogeografija. Znanstvena založba Filozofske fakultete, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
53. Luo Z., Wang E., Sun O. J., 2010. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agric. Ecosys. Environ.*, 139: 224–231.
54. Mathew R. P., Feng Y., Githinji L., Ankumah R., Balkcom K. S., 2012. Impact of no-tillage and conventional tillage systems on soil microbial communities *Appl. Environ. Soil Sci.*, vol. 2012, 10 str.
55. Mihelič R., 2012. Ohranitvena (konzervacijska) obdelava tal. *Kmečki glas* 69, (9. maj), str. 10. Ljubljana.
56. Mikanová O., Javušek M., Vach M., Markupová A., 2006. The influence of tillage on selected biological parameters. *Plant Soil Environ.*, 52: 271–274.
57. Morris N. L., Miller P. C. H., Orson J. H., Froud-Williams R. J., 2010. The adoption of noninversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment - A review. *Soil and Tillage Research*, 108: 1–15.
58. Mrabet R., 2006. Soil quality and carbon sequestration: Impacts of no-tillage system. In: Arrue Ugarte J. L., Cantero-Martínez C. (ed.). *Troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct*. Zaragoza: CIHEAM, p. 43–55.
59. Mrhar M., 2002. Tlom Prijazna obdelava. Slovenj Gradec, Kmetijska založba: 41–115.
60. Mršič N., 1997. Živali naših tal. Uvod v pedozoologijo - sistematika in ekologija s splošnim Pregledom talnih živali. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 416 str.
61. Muukkonen P., Hartikainen H., Alakukku L., 2009. Effect of soil structure disturbance on erosion and phosphorus losses from a Finnish clay soil. *Soil Tillage Res.* 103: 84–91.
62. Mutegi J. K., Lars J., Munkholm J., Petersen B. M., Hansen E. M., Petersen S. O., 2010. Nitrous oxide emissions and controls as influenced by tillage and crop residue management strategy. *Soil Biology Biochemistry* 42: 1701–1711.
63. Ograjšek S., 2012. Ohranitvena obdelava tal - stanje v Sloveniji. Diplomsko delo. Oddelek za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
64. Old K. M., Chakraborty S., 1986. Mycophagous soil amoebae: their biology and significance in the ecology of soil borne plant pathogens. *Progress in Protistology* 1: 163–194.
65. Ouyang Y., Li X., 2013. Recent research Progress on soil microbial responses to drying-rewetting cycles. *Acta Ecologica Sinica*, 33: 1–6.
66. Pankhurst C. E., Doube B. M., Gupta V. V. S. R., 1997. Biological indicators of soil health. Wallingford, UK, CAB International, 451 str.
67. Parmelee R. W., Beare M. H., Cheng W., Hendrix P. F., Rider S. J., Crossley D. A. Jr., Coleman D. C., 1990. Earthworms and enchytraeids in conventional and no-tillage agroecosystems: a biocide approach to assess their role in organic matter breakdown, *Biol. Fert. Soils*, 10: 1–10.
68. Paul E. A., Clark F. E., 1996. Soil microbiology and biochemistry. London, UK, Academic Press, 12–33.
69. Peigné J., Cannavaciolo M., Gautronneau Y., Aveline A., Giteau J. L., Cluzeau D., 2009. Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil Tillage Res.*, 104: 207–214.
70. Pfiffner L., 2014. Earthworms-Architects of fertile soils, Technical Guide on Earthworms, Order No. 1629. Research institute of Organic Agriculture FiBL in Tilman-ORG. Switzerland, 9 str.
71. Plaster E.J., 2009. Soil Science and Management. 5th edition, Delmar Cengage Learning, United States, 345–365.
72. Raynaud X., Nunan N., 2014. Spatial ecology of bacteria at the microscale in soil. *PLoS ONE*, 9, 1: e87217, doi: 10.1371/journal.pone.0087217: 9 str.
73. Regina K., Alakukku L., 2010. Greenhouse gas fluxes in varying soils types under conventional and no-tillage Practices. *Soil Tillage Res.*, 109: 144–152.
74. Roper M. M., Gupta V. V. S. R., 1995. Management Practices and soil biota. *Aust. J. Soil Res.*, 33: 321–339.
75. Roper M. M., Marschke G. W., Smith N. A., 1989. Nitrogenase activity (C₂H₂ reduction) in soils following wheat straw retention: effects of straw management. *Australian Journal of Agricultural Research*, 40: 241–53.

76. Schneider F., Ledermann T., Fry P., Rist S., 2009. Soilconservation in Swiss agriculture- Approaching abstract andsymbolic meanings in farmers'life-worlds. *Land Use Policy*. Corrected Proof.
77. Silver M., Ehrlich H. L., Ivarson K. C., 1996. Soil Mineral Transformation Mediated by Soil Microbes. - In: Huang P. M., Schnitzer M., Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America, 17: 497–520.
78. Six J., Elliott E. T., Paustian K., 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology & Biochemistry*, 32(14): 2099–2103.
79. Six J., Feller C., Deneff K., Ogle S. M., de Moraes Sa J. C., Albrecht A., 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - effects of no-tillage. *Agronomie*, 22: 755–775.
80. Six J., Ogle S. M., Breidt F. J., Conant R. T., Mosier A. R., Paustian K., 2004. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when Practised in the long term. *Glob. Change Biol.*, 10: 155–160.
81. Snyder C. S., Bruulsema T. W., Jensen T. L., Fixen P. E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agric., Ecosys. Envir.*, 133: 247–266.
82. Sombbrero A., de Benito A., 2010. Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castille-Leon, Spain. *Soil Tillage Res.*, 107: 64–70.
83. Soane B. D., Ball B. C., Arvidsson J., Basch G., Moreno E., Roger-Estrade J., 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop Production and the environment. *Soil and Tillage Research*, 118: 66–87.
84. Soulas G., Lors C., 1999. Perspectives and limitations in a assessing side-effects of pesticides on the soil microflora. In: *Microbial Biosystems: New Frontiers*. - Proceedings of the 8th International Symposium on Microbial Ecology Bell CR, Brylinsky M, Johnson-Green P (eds). Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada.
85. Stajniko D., 2017. Obdelovanje tal in Protierozijska zaščita na vodovarstvenih območjih. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede in Kmetijsko gozdarski zavod Murska Sobota, 100 s.
86. Sullivan P., 2004. Sustainable Soil Management: Soil Systems Guide. ATTRA National Sustainable Agriculture Information Service (elektronski vir) http://soilslab.cfr.washington.edu/Watershed_Stewardship/Sustainable_soil.PDF. (18.5.2012)
87. Sun B., Hallett P. D., Caul S., Daniell T. J., Hopkins D. W., 2010. Distribution of soil carbon and microbial biomass in arable soils different tillage regimes. *Plant and Soil*, 338: 17–25.
88. Swift M. J., Izac A. M. N., van Noordwijk M., 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes- are we asking the right questions? *Agric. Ecosyst. Environ.*, 104: 113–134.
89. Tóth G., Stolbovoy V., Montanarella L., 2007. Soil Quality and Sustainability Evaluation - An Integrated Approach to Support Soil-Related Policies of the European Union. EUR 22721 EN, Office for Official Publications Of the European Communities, Luxemburg, 40 str.
90. Triplett G. B., Dick W. A., 2008. No-Tillagr Crop Production: Avolution in Agriculture. *Agronomy Journal*, 100: 153–165.
91. Uhlirova E., Elhottova D., Triska J., Šantruckova H., 2005. Physiology and microbial community structure in soil at extreme water content. *Folia Microbiologica*, 50, 2: 161–166.
92. Ussiri, D. A. N., Lal R., Jarecki M. K., 2009. Nitrous oxide and methane emissions from longterm tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. *Soil Tillage Res.*, 104: 247–255.
93. Van Capelle C., Schrader S., Brunotte J., 2012. Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota - A review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology*, 50: 165–181.
94. Van Vliet P. C. J., West L. T., Hendrix P. F., Coleman D. C., 1993. The influence of Enchytraeidae (Oligochaeta) on the soil porosity of small microcosms, *Geoderma*, 56; 287–299.
95. Vučenović D., 2015. Ohranitvena obdelava: Primerjava lastnosti mehansko obdelanih in neobdelanih Prsti. *Geografski obzornik*, letn. 63, št. 2/3: 47–55.
96. Wanjiru Mbuthia L., Acosta-Martínez V., DeBruyn J., Schaeffer S., Tyler D., Odoi E., Mpheshea M., Walker F., Eash N., 2015. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implication for soil quality. *Soil Biology & Biochemistry*, 89: 24–34.
97. Wardle D. A., 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *Advances in Ecological Research* 26: 105–185.
98. Waring B. G., Averill C., Hawkes C. V., 2013. Differences in fungal and bacterial physiology alter soil carbon and nitrogen cycling: insights from meta-analysis and theoretical models. *Ecology Letters*, 16: 887–894.
99. Wuest S. B., 2001. Earthworm, infiltration, and tillage relationships in a dryland pea-wheat rotation. *Applied Soil Ecology*, 18: 187–192.
100. Yang X. M., Drury C. F., Reynolds W. D., Tan C. S., 2008. Impacts of long-term and recently imposed tillage practices on the vertical distribution of soil organic carbon. *Soil Tillage Res.*, 100: 120–124.
101. Young I. M., Ritz K., 2000. Tillage, habitat space and function of soil microbes. *Soil and Tillage Research*, 53: 201–213.
102. Žigon P., 2013. Dostopnost hranil v odvisnosti od intenzitete obdelave tal. Magistrsko delo. Oddelek za agronomijo Biotehniške fakultete. Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

Spletni viri

1. Ekosistemske storitve tal. FAO, 2015. Dostopno na: <https://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/284478> [2.11.2020].
2. Primerjava razporeditve korenin pri konvencionalni obdelavi in direktni setvi. Biota Gardens, 2016. Dostopno na: <http://www.biotagardens.com/blog/2016/3/31/6m5h9rhp86ibdqu1shw976a1m00bk0> [2.11.2020].

