

Ovrednotenje ekosistemskih storitev tal v kmetijski rabi (CRP V4-2023)

VSEBINSKO POROČILO - študija

Avtorji: Anže Japelj¹, Ilona Rac², Helena Grčman², Marjetka Suhadolc², Rozalija Cvejić², Sara Mavsar², Anton Govednik², Rok Turniški², Rok Mihelič², Luka Juvančič², Borut Vrščaj³, Monika Gričnik³, Anej Gerlušnik³, Žan Rijavec³, Primož Simončič¹, Kaja Plevnik¹

¹ Gozdarski inštitut Slovenije

² Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

³ Kmetijski inštitut Slovenije

Datum: marec 2023

Izveček: Ta dokument je vsebinsko poročilo, ki je priloga Zaključnemu poročilu o rezultatih opravljenega raziskovalnega dela na projektu v okviru Ciljnega raziskovalnega programa (CRP V4-2023). Celostno povzema rezultate vseh projektnih aktivnosti in jih postavlja v širši kontekst upravljanja tla v kmetijski rabi. V uvodnem delu opredeli ključne probleme oziroma izzive ravnanja s kmetijskimi zemljišči tako na globalni kot nacionalni ravni, ki se navezujejo predvsem na dejavnike degradacije tal. Koncept ekosistemskih storitev je postavljen kot orodje za bolj celostno obravnavo koristi tal oziroma ekosistemskih storitev tal, ki so ob degradaciji ogrožene. Cilj projekta je bil pokazati kako je mogoče pristopiti k vrednotenju EST in s tem opozoriti, da tla v kmetijski rabi prinašajo ne le proizvodni potencial hrane in surovin, ampak tudi druge koristi. Nekaj teh EST (proizvodnja biomase; uravnavanje kroženja vode (zadrževanje vode in blaženje vpliva suše); vezava ogljika v tleh) v okviru vzorčnih kmetijskih zemljišč tudi poskusno biofizikalno in ekonomsko ovrednotimo. S tem je izveden empirični poskus ovrednotenja EST, na podlagi tega pa so izpostavljeni ključni izzivi ovrednotenja EST in podani predlogi ključnih poudarkov prihodnjega razvoja področja EST.

Povzetek

Razvoj in napredek človeštva prinaša mnoge koristi, hkrati pa pomeni tudi tveganja za trajnostno upravljanje z naravnimi viri. Tla so eden ključnih pogojev za obstoj in razvoj družbe, saj omogočajo predvsem kmetijsko pridelavo hrane ter surovin, poleg tega pa so s tlemi povezane tudi nekatere druge potrebe človeka. Kljub temu ravnanje s tlemi, tudi tistimi v kmetijski rabi, globalno ni trajnostno. Človeštvo je v zadnjih 150 letih izgubilo skoraj polovico najbolj rodovitnih površin in po ocenah Združenih Narodov¹ bi lahko ob takem trendu že v naslednjih 60 letih najboljših kmetijskih zemljišč zmanjkalo². Mednarodni panel za podnebne spremembe v Posebnem poročilu o podnebnih spremembah, dezertifikaciji, degradaciji tal, trajnostnem upravljanju s krajino prehranski varnosti in emisijah toplogrednih plinov degradacijo tal opisuje kot enega bistvenih groženj blaginji družbe, saj je skoraj 40 % vseh preostalih kmetijskih zemljišč na svetu močno degradiranih.

Trajnostno upravljanje s tlemi je torej ključno za blaginjo. Koncept ekosistemskih storitev (ES) je eden najnovejših odzivov ne samo evropske, ampak tudi globalne politike na dolgotrajno prakso degradacije narave saj naj bi skozi prizmo širokega niza koristi, ki jih narava zagotavlja, senzibilizirali ne samo splošno javnost, temveč tudi odločevalce in gospodarski sektor. Zavedanje o pomenu ekosistemov (in tlemi kot njih dela) je je nujno. Ekosistemske storitve tal (EST) so v tem smislu torej logična razširitev koncepta, ki smo ga v tem projektu privzeli, dodatno razvili in uporabili kot okvir ovrednotenja nekaj EST. Ob tem smo pripravili ključna izhodišča tako za biofizikalno kot ekonomsko ovrednotenje EST, opredelili metodološke pristope za ovrednotenje (kazalniki, metode njihovega ocenjevanja). Prikazali smo tudi praktične razloge za izvajanje ovrednotenja EST in hkrati opozorili na izzive, ki so se ob tem izkazali za pomembne.

Praktično smo ovrednotili tri EST proizvodnja biomase; uravnavanje kroženja vode (zadrževanje vode in blaženje vpliva suše); vezava ogljika v tleh, in sicer na izbranih lokacijah kmetijskih zemljišč. Ta so bila izbrana na podlagi celostne GIS analize pojavljanja pedosekvec v kombinaciji s kmetijskimi rabami, saj je bilo pomembno zagotoviti reprezentativen vzorec različnih razmer talnih tipov in kmetijskih kultur, ki tam lahko uspevajo. S biofizikalnim in ekonomskim ovrednotenjem smo povezali ključne elemente kaskadnega modela, saj so v analizo zajeti tako vidiki stanja tal (ekosistemov), njihova kapaciteta za zagotavljanje EST, kot tudi ekonomsko ovrednotene koristi, ki jih EST pomenijo. Za EST proizvodnja biomase smo na podlagi metode tržnih cen ocenili letne vrednosti kapacitete za proizvodnjo hrane, medtem ko smo za ostali dve EST (zadrževanje vode in blaženje vpliva suše ter vezava ogljika v tleh) uporabili stroškovni pristop. V slednjem primeru smo ekonomsko vrednotenje tudi časovno opredelili in izračunalo neto sedanjo vrednost koristi obeh EST.

Hkrati smo opravili tudi javnomnenjsko poizvedbo na nacionalni ravni, kjer smo skušali opredeliti kako blizu je koncept koristi tal ljudem, kakšen je njihov odnos do različnih EST in kakšne so njihove preference do različnih režimov upravljanja s tlemi v kmetijski rabi. Ugotovili smo, da je zavedanje o pomenu EST precejšnje, hkrati smo pokazali, da so preference do ohranitvene rabe kmetijskih zemljišč pozitivne.

Na podlagi rezultatov in izkušenj, ki so ob njihovi pripravi nastali smo pripravili tudi priporočila politiki, ki se osredotočajo predvsem na tesnejše sodelovanje strok različnih področij, potrebo po dodatnih raziskavah, predvsem v smislu odpravljanja manka podatkov in modelskih pristopov, ter nujno širšo razpravo o prednostih in zadržkih morebitnega uveljavljanja koncepta EST v Sloveniji.

¹ <https://www.worldwildlife.org/threats/soil-erosion-and-degradation>

² <https://www.sei.org/headlines/only-60-years-farming-left-if-soil-degradation-continues>

Summary

Human development and progress brings many benefits, but it also poses risks to the sustainable management of natural resources. Soils are one of the key conditions for the existence and development of society, as they enable production of food and raw materials, but they are also linked to some of the other needs of human beings. However, the management of soils, including those in agricultural use, is not sustainable globally. Humankind has lost almost half of the most fertile land in the last 150 years, and the United Nations estimate that at this rate, the best agricultural land could run out within the next 60 years. In its Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Landscape Management, Food Security and Greenhouse Gas Emissions, the International Panel on Climate Change describes land degradation as one of the most significant threats to societal well-being, with almost 40% of the world's remaining agricultural land severely degraded.

Sustainable soil management is therefore key to prosperity. The concept of ecosystem services (ES) is one of the most recent policy responses, not only in Europe but also globally, to the long-standing practice of degradation of nature, as it is intended to sensitise not only the general public, but also decision-makers and the economic sector, especially through the prism of the wide range of benefits that nature provides. Awareness of the importance of ecosystems (and soils as part of them) is needed. Soil ecosystem services (SES) are therefore in this sense a logical extension of the concept that we have adopted, further developed and used as a framework for evaluating some SESs in this project. In doing so, we have provided the key starting points for both the biophysical and economic evaluation of SESs, defined the methodological approaches for the evaluation (indicators, methods for their assessment), and illustrated the practical reasons for carrying out EST evaluation, while highlighting the challenges that have proved to be important in doing so.

Three SESs, biomass production; water cycle regulation (water retention and drought mitigation); soil carbon fixation, were practically evaluated in selected locations of agricultural lots. These were selected on the basis of an integrated GIS analysis of the occurrence of pedosequences in combination with types of agricultural use, as it was important to provide a representative sample of the different soil type conditions and crops that can thrive there. The biophysical and economic evaluation was used to link the key elements of the cascade model, as the analysis includes both aspects of soil (ecosystem) condition, its capacity to provide SESs, and the economically valued benefits of SESs. For the biomass production EST, we estimated the annual food production capacity values based on the market price method, while for the other two SESs (water retention and drought mitigation and soil carbon fixation) we used a cost approach. In the latter case, the economic valuation was also time-phased and calculated the net present value of the benefits of the two SESs.

At the same time, a national opinion poll was conducted to determine how familiar people are with the concept of soil benefits, their attitudes towards different SESs and their preferences towards different soil management regimes in agricultural use. We found that there is considerable awareness of the importance of SESs, but we also showed that preferences towards conservation use of agricultural land are positive.

Based on the results and lessons learned, we have also prepared policy recommendations, which focus mainly on closer cooperation between disciplines, the need for additional research, especially in terms of addressing the lack of data and modelling approaches, and the urgent need for a broader debate on the benefits and constraints of a possible implementation of the SES concept in Slovenia.

OPIS PROBLEMA IN CILJEV

Napredek družbi prinaša mnoge koristi, saj širi možnosti zadovoljevanja naših potreb in želja, ki s tem ravno tako postajajo vedno številčnejše. Nekateri izzivi, ki so bili v preteklosti nepremostljivi so sedaj rešljivi in predvsem na področju medicine, inženirstva in informacijske tehnologije je bil dosedanji razvoj izjemen. A ta ni prinesel le prednosti, temveč se zrcali tudi negativno, saj prinaša pritiske na okolje.. Ekonomski napredek družbe, ki običajno sledi tehnološkemu prinaša nove izzive, med drugim pri ravnanju z okoljem. Degradacija narave je izjemno pereč problem in je aktualna tema globalnih, Evropskih in nacionalnih pobud, ter politik in programov.

Poleg izgube biotske pestrosti, podnebnih sprememb, širjenja tujerodnih vrst in nezakonitega krčenja gozdov, postaja degradacija tal eden bistvenih okoljskih problemov, in to tako izrazito, da je Evropska komisija znotraj Zelenega dogovora pripravila novo Strategijo EU za tla do leta 2030, ki sicer izhaja iz ravno tako prenovljene Strategije EU za biotsko raznovrstnost do leta 2030. Usmeritve strategije bodo prispevale k ciljem Zelenega dogovora in to večplastno, saj so tla ključna ne samo za pridelavo hrane, temveč tudi drugih elementih t.i. zelenega prehoda v krožno biogospodarstvo. V okviru programa Obzorje Evropa, ki temelji na povezovanju različnih tematik, je namreč ena od tem tudi »zdravje tal in hrana«, ki je povezava z Zelenim dogovorom in Strategijo od vil do vilic. Tudi globalno je varstvo tal pomembno, saj je npr. temu posebej namenjen Cilj trajnostnega razvoja 15.3 »Do leta 2030 boriti se proti širjenju puščav, obnoviti degradirana zemljišča in tla, tudi zemljišča, prizadeta zaradi širjenja puščav, suše in poplav, ter si prizadevati za svet brez degradacije tal«.



Slika 1: Povezave med strategijo EU za tla in drugimi pobudami EU

Degradacija tal

Obseg degradacije tal je zastrašujoč, saj je človeštvo v zadnjih 150 letih izgubilo skoraj polovico najbolj rodovitnih površin in po ocenah Združenih Narodov³ bi lahko ob takem trendu že v naslednjih 60 letih najboljših kmetijskih zemljišč zmanjkalo⁴. Poleg tega Mednarodni panel za podnebne spremembe (IPCC) v svojem Posebnem poročilu o podnebnih spremembah, dezertifikaciji, degradaciji tal, trajnostnem upravljanju s krajino prehranski varnosti in emisijah toplogrednih plinov (SCRCCL) degradacijo tal opisuje kot enega bistvenih groženj blaginji družbe, saj je skoraj 40 % vseh preostalih kmetijskih zemljišč na svetu močno degradiranih. Procese degradacije sicer lahko

³ <https://www.worldwildlife.org/threats/soil-erosion-and-degradation>

⁴ <https://www.sei.org/headlines/only-60-years-farming-left-if-soil-degradation-continues>

razvrstimo tudi fizikalne, kemijske in biološke. Fizikalna degradacija pomeni strukturno razgradnjo tal preko razdiranja strukturnih agregatov, ker pomeni predvsem izgubo poroznosti tal. Ta vrsta degradacije vključuje:

- erozijo: izguba (odstranitev) tal,
- izguba zaradi pozidava: trajno pokritje tal,
- zaskorjenost: manj propustna plast na površini tal,
- zbijanje: izguba strukture tal.

Kemijska degradacija vključuje procese, ki vodijo h kemijskemu neravnovesju in med njimi so ključni:

- zaslanjevanje: kopičenje soli, kot sta natrijev in magnezijev klorid,
- izguba hranil: izluževanje in spiranje hranil,
- zakisljevanje: nižanje pH reakcije tal,
- toksifikacija: prekomerno kopičenje nekaterih elementov (aluminij, železo) in težkih kovin.

Biološka degradacija lahko pomeni prekomerno aktivnost talnih organizmov zaradi presežnega vnosa kisika (oranje, ritje živali, ...) kar lahko privede do prekomerne mineralizacije talne organske snovi in zato izgube strukture in hranil.

Dejavnik degradacije na katerega smo se osredotočili v tem projektu je pozidava kmetijskih zemljišč. Še posebno v gosto poseljenih delih zahodne Evrope, kjer je urbanizacija in gradnja spremljajoče infrastrukture zelo prisotna je pozidava kmetijskih tal pereč problem. Trajno in nepropustno pokritje tal zmanjša izmenjavo plinov, vode in energije, njihova biotska pestrost se močno spremeni, sposobnost tal za zadrževanje vode in njeno prevajanje v podtalje sta močno oslABLjeni. To pomeni, da so praktično vse koristi kmetijskih tal s pozidavo onemogočene in jih družba ne more več uživati. Tla ostanejo le še kod podlaga oziroma podorna platforma za gradnjo in odlaganje.

Koristi tal, ki so ključne za blaginjo družbe imenujemo tudi ekosistemske storitve tal (krajše EST). Ta termin v taistem kontekstu smo uporabljali tudi v tem projektu, vseh vmesnih vsebinskih in pričujočem zaključnem poročilu.

Pozidava kmetijskih zemljišč

Po podatkih okoljskih kazalnikov (KM10-3) ARSO⁵ je bilo v Sloveniji v obdobju 2009-2022 pozidanih približno 23.000 ha kmetijskih zemljišč, med njimi več kot dve tretjini te površine predstavljajo travniki. To pomeni, da je bilo v enajst letnem obdobju pozidanih približno 4 % površine kmetijskih površin v uporabi (SURS, 2020⁶), kar je nezanemarljiva izguba zemljišč v aktivni kmetijski pridelavi. Hkrati to lahko pomeni tudi znatne izgube drugih koristi kmetijskih tal.

Sistem bonitiranja kmetijskih (in gozdnih) zemljišč podaja ocene proizvodnega potenciala tal in temelji na treh elementih, in sicer lastnostih tal, reliefa in klime. Boniteta zemljišča je tudi podlaga za določanje višine odškodnine, ki jo mora investitor zagotoviti ob pozidavi kmetijskega zemljišča, a ta, kot rečeno, ne temelji tudi na razpoložljivosti drugih koristi, ki jo tla nudijo. Sistem bonitiranja je torej v tem smislu zelo ozko opredeljen in morda bi vključevanje vseh bistvenih koristi tal prineslo drugačno dinamiko pozidave, saj bi se izkazalo, da površine, ki z vidika proizvodne sposobnosti niso tako pomembne vseeno prinašajo npr. velik ponor CO₂, so del ključnega vodozbirnega območja,

⁵ <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/sprememba-rabe-zemljisc-kmetijstvo-2>

⁶ <https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/15P2000S.px/table/tableViewLayout2/>

zadržujejo večjo količino onesnažil, ki bi se v nasprotnem primeru sprale v podtalno vodo, ... V tem primeru bi bila lahko odločitev o pozidavi drugačna, saj bi bile izgube koristi tal prevelike.

Cilji projekta

Namen projekta je torej obravnavati izzive ovrednotenja EST, in sicer tako na podlagi že izvedenih raziskav na področju EST kot tudi konteksta predvidoma netrajnostnega upravljanja s kmetijskimi zemljišči v Sloveniji. Izhodi ovrednotenja EST bi namreč lahko obogatili oziroma vsebinsko razširili obstoječi sistem bonitiranja kmetijskih zemljišč in s tem v proces odločanja o pozidavi vnesli informacije o ostalih koristih kmetijskih tal, ki zato ne bi temeljil le na proizvodnem potencialu tal. V skladu z namenom so opredeljeni operativni cilji projekta:

- pregledati najsodobnejše konceptualne modele klasifikacije in biofizikalne kvantifikacije EST z ustreznimi kazalniki,
- izbrati (in morebiti prilagoditi) najustreznejši model biofizikalne kvantifikacije EST za potrebe ekonomskega ovrednotenja glavnih tipov kmetijskih tal in njihove rabe v Sloveniji,
- pregledati metode ekonomskega vrednotenja, ki so primerne za EST,
- pregledati dosedanja praktična vrednotenja na področju EST in opredeliti uporabnost rezultatov za razmere na Slovenskem,
- izdelati inventarizacijo glavnih talnih združb (5 pedosekvenc) in kmetijskih rab (njive, travniki in pašniki, trajni nasadi; različne stopnje intenzivnosti rabe) v Sloveniji ter med njimi izbrati manjše število vzorčnih zemljišč (10-15) z različnimi vrstami rabe za biofizikalno in ekonomsko vrednotenje,
- biofizikalno ovrednotiti najpomembnejše EST, ki izhajajo iz kombinacij tla x raba,
- v sodelovanju z deležniki pilotno ovrednotiti manjše število vzorčnih zemljišč (10-15) z različnimi vrstami rabe,
- senzibilizirati javnost ter oblikovati priporočila za odločevalce na področju kmetijske politike in prostorskega načrtovanja glede optimalnih načinov rabe tal glede na ugotovitve o EST in njihovih vrednostih, ki izhajajo iz različnih načinov rabe.

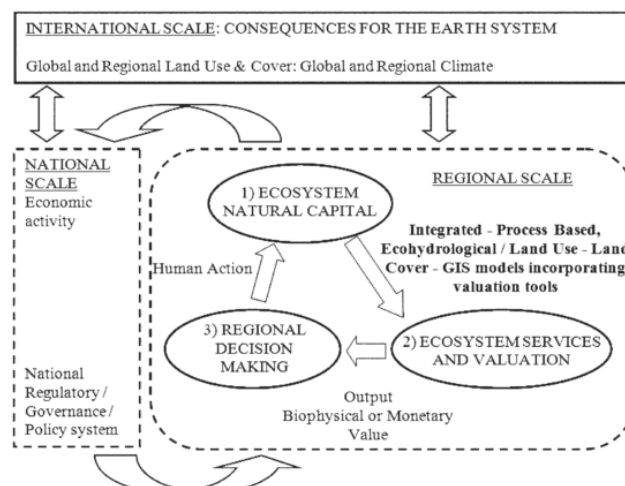
KRATEK POVZETEK KLJUČNIH UGOTOVITEV IZ LITERATURE

Ekosistemske storitve tal

Človeško zavedanje o pomenu narave sega daleč v preteklost, ko je začel aktivneje posegati v prostor in spreminjati svoje okolje, vendar pa so prvi sistematični poskusi raziskovanja odvisnosti družbe od narave precej novejši. V 40. in 50. letih prejšnjega stoletja je degradacija okolja – npr. izguba habitatov, izumiranje vrst ter izčrpavanje naravnih virov – kot problem dobila vidnejše mesto v razvoju družbe. Poseben mejnik je tudi delo Nema pomlad (izvirno Silent spring), kjer Rachel Carson (Carson 1962) opozarja na uničujoče učinke obsežne uporabe pesticidov na živalske vrste ter hkrati na druge negativne posledice takšnega ravnanja na naravo. Iskanje univerzalnega koncepta za sistematično preučevanje koristi narave in njihove pomembnosti za obstoj človeka se je nadaljevalo tudi v 60. in 70. letih, ko se je oblikovalo pojmovanje 'ekosistemske funkcije' (Odum 1959) in kasneje 'okoljske dobrine in storitve' (Vatn and Bromley 1994) ali 'okoljske ugodnosti' (Adamowicz 1991).

Izraz 'ekosistemske storitve' sta prva uporabila Paul in Anne Ehrlich (Ehrlich and Ehrlich 1981), in sicer v monografiji, kjer je obravnavana predvsem problematika odvisnosti človeške civilizacije od storitev, ki jih nudijo ekosistemi. V 90. začel koncept ES vedno močnejše uveljavljati in postal eno ključnih orodij varstva narave – predvsem po odmevni raziskavi, v kateri so Costanza, d'Arge in sod. (1997) poskusno ovrednotili vse ekosistemske storitve in prelomnega poročila Milenijske ocen ekosistemov (MEA 2005), ki je med drugim prineslo konsenz o definicijah ključne terminologije. ES so tako definirane kot »koristi, ki jih ljudje pridobijo od ekosistemov«.

Razvoj koncepta ekosistemskih storitev tal (EST) je še precej krajši od geneze ES, ki zajemajo koristi ekosistemov kot celote. Robinson, Lebron in sod. (2009) je namreč ena prvih raziskav, katere cilj je oblikovati konceptualni okvir naravnega kapitala tal, ki je temeljni pogoj za nastajanje EST. Uporabna vrednost koncepta je namreč v vključevanju lastnosti tal – tistih na katere človek nima znatnega vpliva in tiste, ki jih lažje spreminja – v sistem ES in posledično v opredeljevanju ES, ki so bistveno odvisne od tal, torej opredeljevanju EST. Po tej raziskavi so študije EST sicer pogostejše, vendar še vedno relativno redke. Teoretično-konceptualni, še bolj pa empirični članki so namreč razmeroma maloštevilni.



Slika 2: Shematski prikaz integriranega procesno-ekonomskega modela naravnega kapitala tal (Robinson, Lebron in sod. 2009).

Funkcije tal

Koncipiranje naravnega kapitala tal je pomembno za nadaljnji razvoj EST, saj jasneje opredeli pomen lastnosti tal in posredno tudi ekološko-funkcijskih procesov, ki potekajo v tleh in so temeljni pogoj za nastanek EST oziroma, EST so neposredni izid funkcij tal (Wallace 2007, Vallés-Planells, Galiana in sod. 2014). V prvi Tematski strategiji za varstvo tal (EU 2006) je opredeljenih sedem funkcij tal:

- proizvodnja hrane, biomase in surovin,
- skladičenje, filtracija in prevajanje vode, hranil, ogljika in drugih snovi,
- življenjski prostor in genski sklad,
- temelj človeške dejavnosti in krajine,
- vir surovin (pesek, glina, rudnine),
- skladišče ogljika in,
- arhiv geološke in arheološke dediščine.

Funkcije tal omejujejo tudi kapaciteto tal za zagotavljanje EST in predstavljajo mehanizme masnih in energijskih pretokov; kroženje hranil, zadrževanje vode, vgrajevanje ogljika v organsko snov, ... (Hermann, Schleifer in sod. 2011) in ravno ta vidik prihaja v ospredje obravnave funkcij tal. Ključne so namreč predvsem negativne posledice nekaterih oblik obdelave tal na rodovitnost in druge koristi tal, torej na funkcije tal, ki jih omogočajo. Funkcije tal so torej tesno povezane s kakovostjo tal v smislu kapacitete posameznih tipov tal, da delujejo v mejah naravnih ali od človeka spremenjenih ekosistemov (Karlen, Mausbach in sod. 1997) in so odvisne od kemijskih, fizikalnih in bioloških lastnosti tal (kazalniki kakovosti tal; pH, vsebnost talne organske snovi, temperatura, pestrost organizmov, globina, ...) (Bouma 2014, Adhikari and Hartemink 2016, Greiner, Keller in sod. 2017).

Empirični okviri obravnave EST

Po izidu Milenijske ocene ekosistemov se je okrepil razvoj univerzalne klasifikacije ES. Razvrstitev ES, ki so jo razvili De Groot, Wilson in sod. (2002) je postal prevladujoč primer konsistentne nomenklature ES, ki jih deli v štiri skupine; podporne, oskrbovalne, uravnalne in kulturne ES. Kasneje so se razvile mnoge druge, ki se prvenstven razlikujejo po svojih ciljih (Nahlik, Kentula in sod. 2012), med katerimi so poglavitni:

- sistemizacija in organizacija ES,
- ekonomsko vrednotenje ES,
- biofizikalna kvantifikacija ES,
- vpeljevanje koncepta ES v sisteme oblikovanja političnih in procese odločanja.

Od vseh se je do tega trenutka najbolj uveljavila Skupna mednarodna klasifikacija ES oziroma CICES V5.1 (*Common International Classification of Ecosystem Services*), ki jo pogosto privzemajo tudi raziskave EST. Vendar je klasifikacijo ES v kontekstu EST potrebno prilagajati. Jónsson and Davíðsdóttir (2016) analizirata 16 različnih empiričnih okvirov za analizo EST in ocenita koliko od štirih nujnih pogojev:

- klasifikacija EST, ki celostno (vsebinsko) vključuje vse koristi tal,
- jasna povezava med naravnim kapitalom tal funkcijami tal in tlemi,
- opredelitev potencialnih koristnikov EST,
- opredelitev metod za ekonomsko oceno EST,

izpolnjujejo. Vsi obravnavani pristopi ne ustrezajo vsaj enemu od teh pogojev, običajno pa več hkrati. V tem projektu smo privzeli analitični pristop, ki ga je razvija delovna skupina Evropske komisije za

kartiranje in ocenjevanje ES oziroma MAES (*Mapping and Assessment of Ecosystem Services*) (Van der Meulen and Maring 2018) in dodatno prilagodili (Dominati, Patterson in sod. 2010, Adhikari and Hartemink 2016).

Preglednica 1: Klasifikacija EST z referenco na klasifikacijo CICES (prilagojeno po Van der Meulen and Maring (2018))

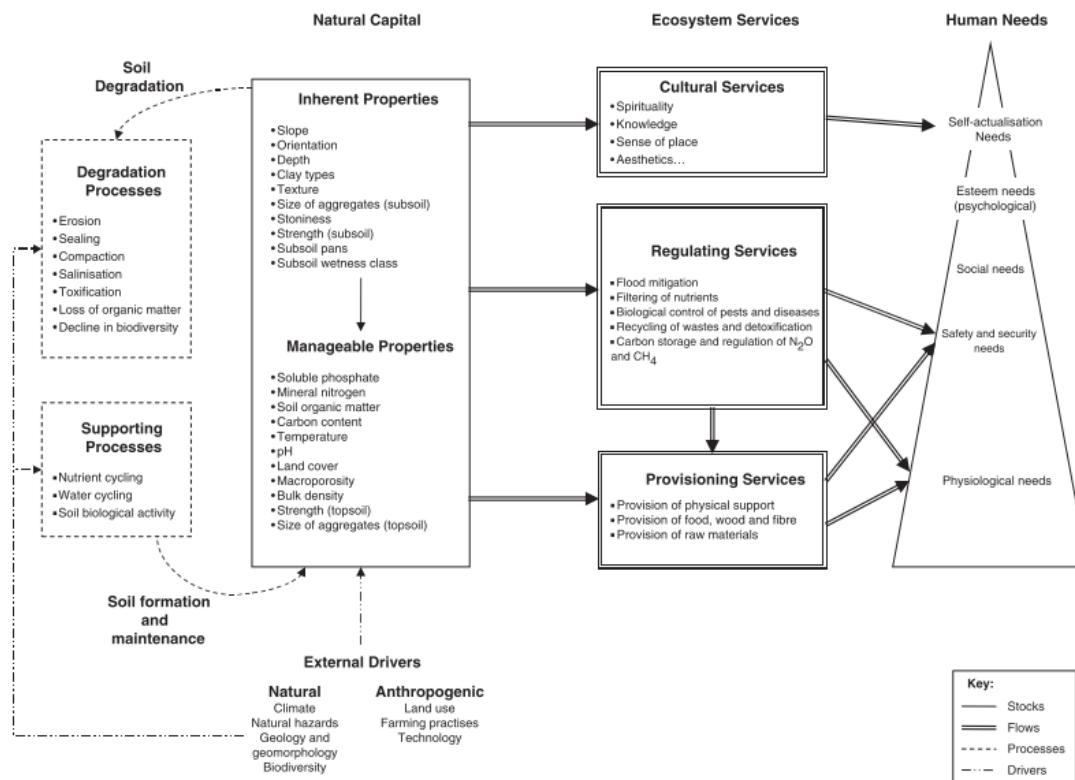
| CICES kategorija ES | Ekosistemska storitev | CICES razred ES | Primeri EST |
|----------------------|---|--|--|
| Oskrbovalne storitve | Biokemijske snovi in farmacevtske učinkovine | <i>v izvirni CICES klasifikaciji in razreda, razen v razdelku 'Surovine'</i> | Penicilin iz talnih bakterij. |
| | Hrana, les in vlakna | Kopenske rastline (tudi glive in alge) gojene kot vir energije; vlakna in druge surovine iz gojenih rastlin, gliv, alg in bakterij za neposredno rabo ali predelavo. | Pridelki po količini, vrsti, viru; surovine po količini, vrsti, rabi, mediju (krajina, tla). |
| | Voda | Talna (ali pod površinska) voda za pitje in druge namene (industrija, kmetijstvo, ...). | Talna voda kot vir za namakanje, pitno vodo ali druge namene. |
| | Nosilna kapaciteta za infrastrukturo, zgradbe in živali | <i>v izvirni CICES klasifikaciji in razreda</i> | Šotna tla imajo v primerjavi s npr. peščenimi tlemi majhno nosilno kapaciteto. |
| | Surovine | Mineralne surovine za prehrano, material ali vir energije. | Šota za energijo, glina za opeko, prod za gradnjo, itn.. |
| | Toplotna energija | Talna voda (in podtalje) kot vir energije; geotermalno. | Shranjevanje in odvzem plitke geotermalne energije, npr.: termalna energija vodonosnika ali vrtine; neposredna raba vroče vode ali pare za ogrevanje. |
| Uravnalne storitve | Prečiščevanje vode in zmanjševanje onesaženosti tal | Bioremediacija z mikroorganizmi, algami, rastlinami in živalskimi vrstami; filtracija / vezava / shranjevanje / akumulacija z mikroorganizmi algami, rastlinami in živalskimi vrstami, blaženje vpliva toksinov iz odpadkov in drugih nevarnosti zaradi abiotičnih procesov. | Atmosferski depoziti, gnojila, pesticidi ali druga onesažila se vežejo na talne agregate, na delce gline ali organske snovi, kjer se nato razgradijo (kemijsko spremeni zgradba) zaradi delovanja talnih organizmov, ki onesažila presnavljajo preko oksidativnih ali redukcijskih procesov. |
| | Urnavanje kroženja vode | Hidrološki krogotok in urnavanje tok vode (vključno z blaženjem poplav in varovanjem obalnih površin). | Blaženje poplav, polnjenje podtalnice, rastlinam dostopna voda v tleh. |
| | Biološko urnavanje populacij škodljivih organizmov in bolezni | Urnavanje škodljivcev (vključno z invazivnimi vrstami); bolezni. | Z zmanjševanjem pojavljanja, tveganja, površine, ki je zaščitena z vrsto živega sistema. |
| | Vezava ogljika | Proces mineralizacije, razgradnje in vezave ter vpliva teh dejavnikov na kakovost tal. | Ogljik je shranjen (in recikliran) v kratkoživih in stabilnejših oblikah talne organske snovi. |
| | Urnavanje bilance | Urnavanje kemijske sestave atmosfere in oceanov. | Organizmi v tleh vplivajo na tok CO ₂ , CH ₄ in N ₂ O. |

| | | | |
|-------------------|---|--|---|
| | toplogrednih plinov | | |
| | Urnvananje lokalnega podnebja / temperature | Urnvananje temperature in vlažnosti, vključno s kroženjem zraka in izhlapevanjem. | Tla so habitat za vegetacijo, ki nudi senco in hlajenje s pomočjo evapotranspiracije. Zaznano toplotno udobje je lahko boljše v okolju z rastjem. |
| | Zmanjševanje hrupa | Slabitev hrupa | Gola tla lahko absorbirajo hrupa, hkrati so substrat za rastlinstvo, ki k temu dodatno pripomore. |
| | Urnvananje kakovosti zraka | Filtracija / vezava / shranjevanje / akumulacija z mikroorganizmi, algami, rastlinami in živalskimi vrstami; blaženje učinka toksinov iz odpadkov in drugih nevšečnosti zaradi abiotskih procesov. | Tla so habitat rastlinstva, ki vpliva na kakovost zraka. |
| Kulturne storitve | Rekreacija in turizem | Lastnosti živih sistemov, ki omogočajo aktivnosti krepitve zdravja ali uživanja skozi aktivno ali globljo vključujočo izkušnjo (ang.: <i>immersive</i>); ali preko pasivne, opazovalne interakcije; naravne abiotske lastnosti narave, ki omogočajo aktivno in pasivno (eksperimentalno) izkušnjo. | Rekreacija na površinah za kampiranje, specifične krajine, kot so sipine, gore, vrtovi, igrišča. |
| | Znanje / znanstveno raziskovanje, kulturna dediščina in izobraževanje | Lastnosti živih sistemov, ki: omogočajo znanstveno raziskovanje ali ustvarjanje tradicionalnega znanja o ekologiji; omogočajo izobraževanje in učenje; so zanesljivi pričevalci kulture ali dediščine; omogočajo estetske izkušnje; naravne abiotske lastnosti narave, ki omogočajo intelektualne interakcije. | Arheologija in druge raziskave (npr. zgodovinske podnebne spremembe), geološka dediščina. |
| | Duhovne in simbolne izkušnje | Elementi živih sistemov: ki imajo simbolni, posveteni in verski pomen; rabljeno za razvedrilo ali predstavljanje; naravne abiotske lastnosti narave, ki omogočajo duhovno, simbolno in druge interakcije. | Pokrajinsko posebne lokacije, kot so bojišča, obredna mesta in pokopališča. |

Poleg razvrstitve oziroma klasifikacije EST empirični okvir za obravnavo EST vključuje še:

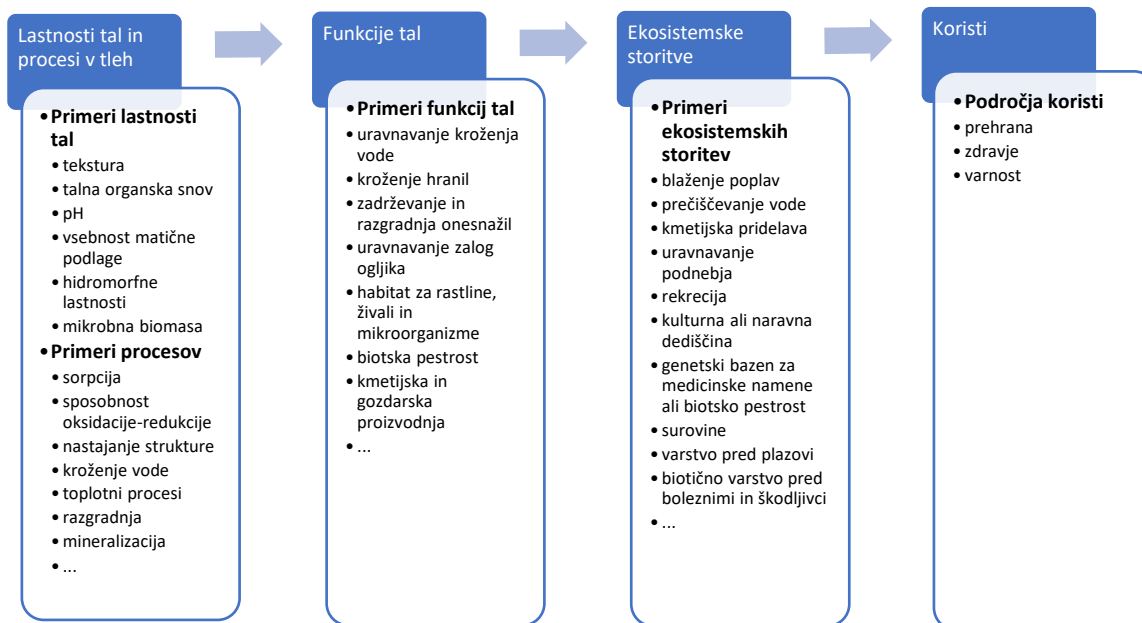
- povezavo med naravnim kapitalom, funkcijami tal in EST,
- opredelitev potencialnih koristnikov EST,
- opredelitev metode za ekonomsko oceno vsake EST.

Shematično lahko povezavo med naravnim kapitalom, funkcijami tal in EST prikažemo s sliko spodaj (Slika 3). Ta jasno prikazuje kako so različni podporni dejavniki povezavi z lastnostmi tal, ki gradijo naravni kapital tal. Hkrati imajo podporni procesi vlogo funkcij tal, katerih obstoj se zrcali v razpoložljivosti EST, z njimi pa lahko zadovoljujemo potrebe človeka.



Slika 3: Konceptualni okvir povezav med naravnim kapitalom tal, razpoložljivostjo EST in človekovimi potrebami (prilagojeno po Dominati, Patterson in sod. (2010)).

Ta prikaz je mogoče umestiti tudi v splošni kaskadni model ES (Haines-Young and Potschin 2010), ki je vesplošno uporabljen empirični okvir za obravnavo ES. Za namene tega projekta smo privzeli kaskadni model EST, ki so ga na osnovi izhodiščnega prilagodili Greiner, Keller in sod. (2017) (Slika 4).



Slika 4: Kaskadni model EST povzeto po Greiner, Keller in sod. (2017).

Deležniki oziroma tudi koristniki EST imajo lahko v kontekstu kaskadnega modela EST različne vloge (Preglednica 2, glej tudi R1.2). Poznavanje te raznolikosti je ključno za opredeljevanje kdo so tisti, ki upravljajo z ekosistemi in usmerjajo razpoložljivost EST, ter kdo so tisti, ki EST izključno koristijo in so pri tem neposredno odvisni od upravljavcev ekosistemov. Te informacije so ključne v fazah za ovrednotenjem EST, in sicer če se izkaže da so potrebe koristnikov večje od trenutno razpoložljivih kapacitet tal, da zagotavljajo te koristi. V tem primeru se lahko vzpostavi program krepitve EST, ki zajema ukrepe za krepitev, ter morebiten dogovor o kompenzaciji neposrednih upravljavcev kmetijskih zemljišč.

Preglednica 2: Skupine deležnikov v kontekstu EST

| Skupina deležnikov | Vloga deležnikov |
|---------------------------|--|
| Lastniki zemljišč | Neposredni upravljavci (upravljajo z ekosistemi) |
| Odločevalci | Posredni upravljavci (oblikovalci politik) |
| Podjetja (gospodarstvo) | Koristniki (prejemajo EST) in ponudniki (EST vključijo v izdelek/storitev) |
| Družba (splošna javnost) | Koristniki (uživajo EST) |

Lastniki zemljišč upravljajo z ekosistemi (tudi tlemi) na svojih zemljiščih in tako vplivajo na stanje ekosistemov, aktivnost funkcij tal ter posledično na razpoložljivost EST. Lastniki so torej skupina, ki je vključena v zagotavljanje bodisi ene ali več EST hkrati in s tem usmerjajo tok koristi, ki jih lahko družba prejema in tudi uživa. V tem smislu so lastniki zemljišč neposredni upravljavci in so aktualni v prvih treh kaskadah (Slika 4). Nekatere EST sicer niso pogojene z vložki človeka – predvsem uravnavalne in kulturne EST –, medtem ko je za pretežni del oskrbovalnih EST ključna intervencija lastnika zemljišča. Tako je npr. raven proizvodnje rastlinske biomase (sezonskega posevka, trajni nasadi) močno odvisna od obdelave tal, vnosa hranil, namakanja, zaščite s fitofarmaceutskimi sredstvi in protitočno infrastrukturo in v tem primeru je moč uravnavanja razpoložljivosti teh ES močno zgoščena v skupini lastnikov ekosistemov.

Odločevalci imajo pooblastila sprejemanja političnih in strokovnih odločitev o dovoljenih režimih rabe zemljišč in zato lahko vplivajo na stanje ekosistemov in s tem na razpoložljivost EST, vendar posredno. Zato so posredni upravljavci. Skozi oblikovanje sektorskih politik (kmetijstvo, varstvo narave, vodarstvo) in uresničevanje podrejenih izvedbenih programov namreč posredno vplivajo na bodisi krepitev (npr. varstvo narave) bodisi preprečevanje (npr. onesnaževanje) določenih praks upravljanja s tlemi. To je mogoče v obliki zakonskih omejitev, ki je drugačno ravnanje od predpisanega lahko celo sankcionirano, ali pa kot spodbude (finančne), ki zelen način upravljanja nagrajujejo.

Podjetja so tisti subjekti, ki najobičajneje privzemajo EST od lastnikov zemljišč in jih skozi proizvodni proces bolj ali manj spremenijo ter jim s tem ustvarijo izdelek ali storitev, ki prinaša koristnost in ima hkrati tržno vrednost (npr. predelava žita v moko in nato lahko tudi kruh ali pecivo; vino vključijo v kulinarično-turistični paket; raznolikost kmetijske krajine ponudijo v kontekstu rekreacijske dejavnosti). Izdelke in storitve, ki temeljijo na EST nato podjetja ponudijo na trgu in se tem odzivajo povpraševanju. Na tak način so podjetja pogosto vmesni člen med lastniki zemljišč in družbo in tako tudi vplivajo na razpoložljivost izdelkov in dobrin, ki temeljijo na EST.

Družba predstavlja različne skupine javnosti, ki niso zajete v prej opisanih treh skupinah in zajema končne koristnike EST. Povezani so predvsem z zadnjo kaskado (Slika 4), saj jim lahko EST prinašajo koristi. Zato družba po EST oziroma izdelkih in storitvah, ki na njih temeljijo povprašuje in jih želi uživati. Na raven povpraševanja vplivajo predvsem potrebe, med katerimi so nekatere izrazito eksistenčne in zato nujne za preživetje (npr. hrana), nekatere pa so pogojene s sistemom vrednot družbe in pri teh je povpraševanje torej posledica specifičnih socio-ekonomskih razmer (npr. tla kot

vir genetskega materiala, šota kot kurivo, prostoživeče podzemne gomoljike – tartufi). Na povpraševanje slednjih imajo posredni vpliv tudi odločevalci, ki so-ustvarjajo okolje, kjer se nekatere potrebe lažje izrazijo oziroma so dopustne.

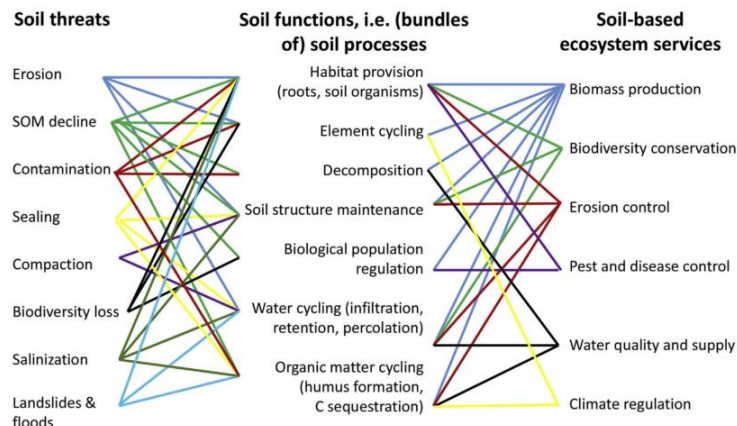


Fig. 2. Linkages between soil threats, soil functions and soil-based ecosystem services. Further developed from the scheme presented by Kibblewhite et al. (2008a) and modified by Brussaard (2012).

Biofizikalno ovrednotenje EST

Pregled raziskav s področja biofizikalnega vrednotenja EST [R1.3] je pokazal, da so tovrstne študije koncipirane na enega od dveh možnih načinov oziroma konceptualnih pristopov:

- koncept »od spodaj navzgor«, kjer ovrednotenje EST temelji na oceni funkcij vzdrževanja življenja tal. Talne lastnosti oziroma kazalniki kakovosti tal so osnova za opredeljevanje funkcij tal in posledično EST,
- koncept »od zgoraj navzdol« je aktualen v primeru vrzeli med trenutno merjenimi in razpoložljivimi ocenami tal in tistim, kar bi bilo za oceno določene funkcije tal z vidika potencialne spremembe potrebno oceniti.

V okviru prve alineje je kar nekaj raziskav (Adhikari and Hartemink 2016, Bünemann, Bongiorno in sod. 2018) že opredelilo povezavo med kazalniki lastnosti tal in EST, torej na podlagi katerih lastnosti tal je mogoče oceniti posamezno EST. Izkaže se da so:

- talni organski ogljik,
- tekstural tal,
- živi svet v tleh in
- struktura tal,

bistvene lastnosti za ocenjevanje EST oziroma, da najpogosteje kot vhodni podatek vstopajo v oceno EST. Kljub temu pa je pri oceni EST na podlagi kazalnikov kakovosti tal precej izzivov, in sicer je pogosto pomanjkanje podatkov o stanju kazalnikov, pogosto je odvisnost med kazalnikom kakovosti tal in EST nelinearna, razpoložljivi podatki o kazalnikih pogosto temeljijo na strokovni presoji, ki pa je težko preverljiv in neponovljiv način ocenjevanja. Zato je ključno, da se vzpostavlja in vzdržuje nacionalne monitoringe kakovosti tal, saj je to lahko izjemno bogat in kakovosten vir podatkov za ocenjevanje EST. To je kritično, saj je pregled nacionalnih monitoringov držav članic EU pokazal, da nobena država nima vzpostavljenega sistema monitoringa tal za kvantifikacijo vseh funkcij tal (Leeuwen in sod., 2017). Zato so smiselne iniciative na EU ravni, na primer EU EJP Soil projekt (SIREN), ki bo prispeval k razvoju minimalnega nabora podatkov s povezavami med kazalniki

kakovosti tal in kazalniki EST ter ovrednotil obstoječe in željene pristope spremljanja v smislu znanstvenih zahtev in ustreznosti za politike (glede rabe tal, groženj tlom in ES).

Preteklih raziskav biofizikalnih vrednotenj EST je relativno malo, kar lahko pomeni, da je področje še v začetnih fazah razvoja. Hkrati je pregled raziskav pokazal, da se te med seboj precej razlikujejo glede na vhodne podatke, velikost preučevanega območja, ter glede na analizo in interpretacijo. Ekspertno znanje je pogosto temelj biofizikalnih raziskav EST, kar pa ima tudi nekaj slabosti. V prostorskem kontekstu so pogosti primeri obravnave EST na ravni kmetije ali posameznega vzorčnega zemljišča, v nekaj primerih pa tudi večje zaokrožene površine, kot je vodozlivno območje.

Ključno je, da se razvijajo tudi referenčne vrednosti kazalnikov kakovosti tal v odvisnosti od pedogeografskih razmer, ki vplivajo na interpretacijo izmerjenih vrednosti. Hkrati velja na podlagi pregleda preteklih raziskav opozoriti na potrebo po zagotavljanju kakovostnih informacij o tleh, saj bi to zmanjšalo negotovosti v vseh fazah biofizikalnega ovrednotenja EST. Predpogoj je namreč zanesljivo ocenjevanje funkcij tal, tem pa mora slediti širši koncept ovrednotenja EST z namenom oblikovanja politik varovanja kmetijskih tal.

Ekonomsko vrednotenje EST

Vzgibi za uveljavljanje ekonomskega vrednotenja ES izvirajo predvsem iz ideje vključevanja vidikov narave in načine upravljanja z njo v gospodarske aktivnosti. V poznih 40. in nato 50. letih prejšnjega stoletja je obstajalo trdno prepričanje, da je degradacija okolja v veliki meri posledica dejstva, da storitve, ki jih zagotavlja narava oziroma ekosistemi, nimajo opredeljene denarne vrednosti in so zato pri ekonomskih odločitvah prezrte. Očitna rešitev naj bi torej bila v opredelitvi teh storitev, rangiranju njihove relativne pomembnosti, oceni njihovih vrednosti in pretvorbi teh vrednosti v denarne enote, ki bi jih bilo mogoče uporabiti v finančnem sektorju pri oblikovanju shem plačil ali nadomestil (Fanny, Nicolas in sod. 2015, Helm 2015). To je vodilo k razvoju metod ekonomskega vrednotenja ES, ki pa so se kasneje pričele uporabljati tudi za ekonomsko vrednotenje EST.

Pregled raziskav s področja ekonomskega vrednotenja EST [R1.4] je pokazal, da razkrivajo empirične raziskave ekonomske vrednosti EST precejšnjo mero negotovosti nakar opozorijo tudi nedavni pregledni članki, ki povzemajo večje število študij (Robinson, Fraser in sod. 2014, Baveye, Baveye in sod. 2016, Jónsson and Davíðsdóttir 2016, Van der Meulen and Maring 2018). Tudi število raziskav, ki se osredotočajo na EST se je začelo povečevati šele v zadnjih dobrih 10 letih, z nekaj zamika za dinamiko raziskav biofizikalnega vrednotenja EST. To je sicer povsem razumljivo v smislu, da ekonomsko vrednotenje EST temelji na biofizikalnih ocenah EST in je zato praviloma zaporedna faza. Ob dejstvu da upravljanje s tlemi – še posebej v kontekstu kmetijstva – vključuje sprejemanje kompromisov med vplivi rabe tal na EST in na biotsko raznovrstnost (Schwilch, Lemann in sod. 2018), pa so tovrstne raziskave izjemno pomembne. Vse bolj očitna je namreč potreba po obravnavi takšnih kompromisov tako, da lahko na podlagi njih sprejemamo odločitve o upravljanju s kmetijskimi tlemi in v skladu s tem oblikujemo tudi relevantne politike (Baveye, Baveye in sod. 2016).

Obstaja množica metodoloških pristopov ekonomskega vrednotenja ES. Harrison, Dunford in sod. (2018) so opredelili devet generičnih skupin metod za ekonomsko vrednotenje ES, vendar so mednje šteli tudi pristop prenosa koristi in osnovne metode razvrstili v drugače definirane skupine metod, kot je to v najbolj pogosto citiranih raziskavah. Hkrati so opredelili in nanizali še metode za biofizikalno oceno ES, metode za socio-kulturološko oceno ES in integrativne metode. Najpogostejše metode za ekonomsko vrednotenje ES razvrstimo v 10 tipov metod s podobnimi izhodišči (Preglednica 3).

Preglednica 3: Metode ekonomskega vrednotenja ES (Christie, Fazey in sod. 2008)

| Vrsta trga | Osnova vrednotenja | Metoda vrednotenja |
|------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Pravi trgi | Tržna cena | Metoda tržnih cen |
| | | Metoda nadomestnih stroškov |
| | Tržni stroški | Metoda stroškov preprečevanja škod |
| | | Metoda oportunitetnih stroškov |
| | | Analiza proizvodnih funkcij |
| Vpliv na proizvodnjo/dohodek | Faktor dohodka | |
| | Razkrite preference | Metoda potovalnih stroškov |
| Nadomestni trgi | | Metoda hedonističnih cen |
| | Hipotetični trgi | Izražene preference |
| Metoda diskretne izbire | | |

Pri pregledu empiričnih raziskav ekonomske vrednosti EST je očitno in pričakovano, da so metodološki pristopi k vrednotenju EST različni, večinoma pa se osredotočajo na omejeno število ekosistemskih storitev, zlasti na proizvodne in uravnalne, veliko redkeje (oz. praktično nikoli) pa na kulturne ekosistemске storitve. Tudi klasifikacije ekosistemskih storitev (MEA; *Millennium Ecosystem Assessment*, TEEB; *The Economics of Ecosystem Services and Biodiversity* in CICES; *Common International Classification of Ecosystem Services* so pri tem glavne tri), na katere se avtorji naslanjajo, so različne, in včasih sploh niso izrecno navedene – ob tem da se tudi klasifikacije še vedno razvijajo. To morda kaže na sorazmerno pragmatičnost raziskovalcev pri vrednotenju, saj je na področju raziskav o tleh prisotno veliko pomanjkanje podatkov o tleh. Pri tem je v literaturi zaznati večji konceptualni razkorak zlasti na področju podpornih ekosistemskih storitev, ki naj jih zaradi nevarnosti dvojnega štetja sploh ne bi kazalo denarno vrednotiti (Jónsson and Davíðsdóttir 2016, Dimal 2019), vendar v primeru njihove izpustitve iz vrednotenja obstaja nevarnost, da se spregledajo ekosistemске storitve, ki se ne odražajo v končnih proizvodnih ali uravnalnih storitvah (Dimal 2019).

Tudi izbrane metode denarnega vrednotenja so različne, večinoma pa temeljijo na tržnih cenah (oskrbovalne EST) in stroških nadomestitve (uravnalne EST). Pri tem celovitega teoretičnega okvirja za biofizikalno ovrednotenje na podlagi enotnega sistema kazalnikov za tla še ni (Jónsson and Davíðsdóttir 2016), zato se raziskovalci večinoma poslužujejo rabe nadomestnih (ang.: *proxy*) vrednosti ustreznih količin, ki prevedejo EST v merljive količine. Slednje se nato nadalje prevede v količine, ki tako ali drugače že nastopajo na trgu, in se EST na podlagi tržne cene pripiše monetarna vrednost. Običajno gre tukaj bodisi za metodo tržnih cen bodisi stroškov, ki lahko služijo kot ocena, ne nudijo pa celovitega vpogleda v vrednost EST. Stroškovne metode so namreč najpreprostejše in najmanj podatkovno zahtevne, vendar niso popolnoma skladne z ekonomsko teorijo, medtem ko tržne cene (npr. zemlje) ne odražajo vrednosti vseh EST, hkrati pa so podvržene izkrivljanju zaradi tržnih zgrešitev, davščin, podpor in podobno (Van der Meulen and Maring 2018).

Raziskave s pristopom izraženih ali razkritih preferenc, ki se običajne v kontekstu predvsem kulturnih EST oziroma pri kombinacijah več EST hkrati so večinoma povsem zanemarjene. To kaže na veliko raziskovalno vrzel na področju kulturnih ekosistemskih storitev tal. Kjer so te metode uporabljene v povezavi s tlemi, se večinoma nanašajo na preference kmetov glede uporabe drugačnih praks kmetovanja (Robinson, Fraser in sod. 2014). Bartkowski, Bartke in sod. (2020) so v najnovejši pregledni raziskavi vrednotenja ekosistemskih storitev tal analizirali 43 raziskav vrednotenja ekosistemskih storitev tal. V preglednici (Preglednica 4) je za obravnavane ekosistemске storitve (po CICES klasifikaciji) prikazano število raziskav, v okviru katerih so bile uporabljene ustrezne metode.

Preglednica 4: Pregled metod ekonomskega vrednotenja EST (Bartkowski, Bartke in sod. 2020)

| Ekosistemske storitve tal | Metoda vrednotenja ES | | | |
|--|-----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| | Metoda tržnih cen | Stroškovne metode | Razkrite preference | Izražene preference |
| Proizvodnja hrane, materiala ali pridobivanje energije | 5 | | | |
| Bioremediacija ali filtriranje/sekvestracija CO ₂ | | 2 | | |
| Nadzor nad erozijo | | 9 | 1 | 4 |
| Krogotok vode | 1 | 10 | 1 | |
| Zatiranje škodljivcev | | 3 | | |
| Regulacija kemizma v sladkih vodah | | 4 | | 1 |
| Uravnavanje podnebja | 6 | 9 | | 2 |
| Razkroj in fiksacija | 2 | 14 | | |
| Aktivne interakcije | | 1 | | |
| EST izven klasifikacije CICES | 2 | 2 | | |

Opomba: poimenovane EST v tem primeru ni popolnoma usklajeno s izhodiščno klasifikacijo (Preglednica 1), saj je lahko v tem primeru nekaj EST združenih v eno poimenovanje.

Precejšnje število raziskav se posveča izgubi ekosistemskih storitev tal zaradi različnih oblik degradacije, zlasti erozije tal. Tovrstne raziskave je mogoče opredeliti kot vrednotenja ekosistemske storitve 'blaženje erozije' po klasifikaciji CICES, obenem pa je mogoče erozijo razumeti tudi kot dejavnik, ki negativno vpliva na sveženj ekosistemskih storitev.

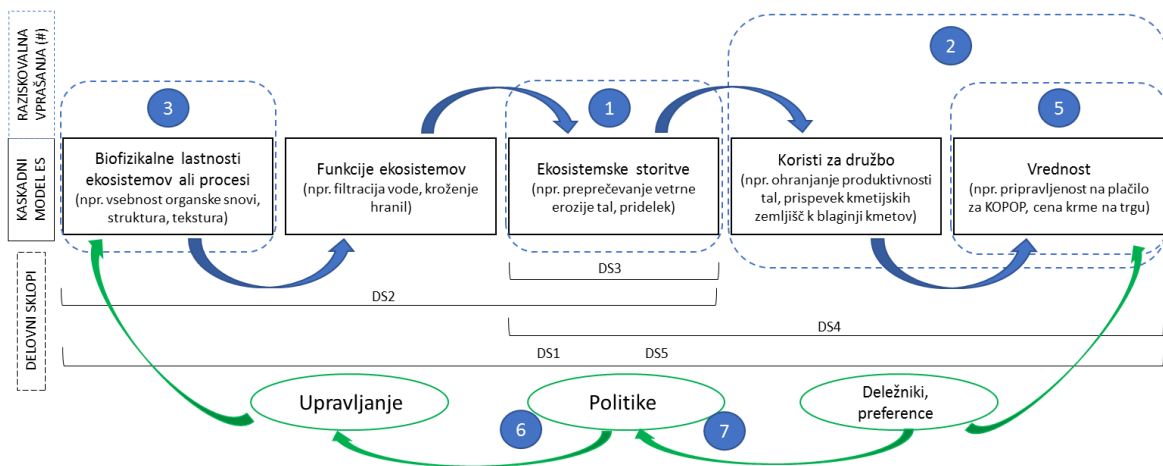
METODA DELA

Poglavje o uporabljenih metodah dela v projektu je razdeljeno na tri dele, ki sledijo konceptualnemu pristopu projekta. Ta temelji na pristopu iz širšega konteksta obravnave ES v smeri operativnih pristopov empirične obravnave biofizikalnih in ekonomskih vrednosti EST.

Konceptualni okvir raziskave

V pregledu preteklih raziskav in že obstoječih izhodišč na področju obravnave EST je izpostavljen kaskadni model obravnave ES. Ta se je izkazal kot primeren in uporaben koncept in ga zato vsaj deloma privzemamo kot temeljni konceptualni okvir te projektne raziskave. Osnovni model smo dodatno razširili (Slika 5, glej tudi R1.1) tako da smo:

- zadnjo kaskado (družba) razdelili v dve; koristi in vrednost,
- opredelili povezavo med delovnimi sklopi projekta in kaskadami,
- pokazali v okviru katere kaskade modela bodo obravnavana posamezna raziskovalna vprašanja.



Slika 5: Konceptualni okvir projekta CRP Ovrednotenje ekosistemskih storitev tal v kmetijski rabi (temelji na kaskadnem modelu ES)

Projektne aktivnosti so namreč zasnovane tako, da pokrivajo vse kaskade modela in s tem projekt karseda celostno obravnava EST. V delovnih sklopih, ki so preglednega tipa (DS1 in deloma DS2) so bila pripravljena izhodišča povezave med kazalniki kakovosti tal, funkcijami tal in EST (R1.3) in na podlagi tega so bili izbrani kazalniki za biofizikalno ovrednotenje EST (R2.2). Hkrati je bila opravljena prostorska analiza pojavljanja pedosekvenc v povezavi z rabo in talnimi tipi (R2.1) ter na podlagi narejena izbira vzorčnih zemljišč za ovrednotenje EST.

V obeh empiričnih delovnih sklopih (DS3 in DS4) je bilo opravljeno biofizikalno (R3.1 in R3.2) ter ekonomsko ovrednotenje (R4.3) EST. Zato sta oba DS zajemala predvsem kaskade EST, njih koristi in vrednosti. Zadnji delovni sklop DS5 ja zajemal priporočila politiki (R5.1), ki so bila pripravljena na podlagi izsledkov projektne raziskave in nudijo izhodišča za prihodnji razvoj področja EST v Sloveniji. Hkrati je bila pripravljena tudi zaključna delavnica (R5.2) na kateri so bili razpravljani rezultati projekta ter možnosti njihove implementacije.

Preglednica 5: Raziskovalna vprašanja v projektu CRP Ovrednotenje ekosistemskih storitev tal v kmetijski rabi

| | Raziskovalno vprašanje |
|---|---|
| 1 | Kateri modeli klasifikacije in biofizikalne kvantifikacije EST so najustreznejši za potrebe oblikovanja politik upravljanja s tlemi? |
| 2 | Kateri načini vrednotenja EST v kmetijskih ekosistemih so najustreznejši za potrebe boljšega vključevanja koncepta EST v politike, ki se nanašajo na upravljanje s tlemi? |
| 3 | Katere so ključne lastnosti tal, ki jih je treba poznati in analizirati za določanje EST |
| 4 | Kateri podatki so zbrani in dostopni preko javnih podatkovnih baz (npr. pedološka karta Slovenije, podatki ROTS, GERK, LULUCF) ter katere lastnosti je treba pridobiti za vsako konkretno lokacijo vrednotenja? |
| 5 | Kakšna je vrednost določenih vzorčnih tipov kmetijskih tal v Sloveniji z določenimi rabami, če ustrezno upoštevamo EST, ki iz njih izhajajo? |
| 6 | V katere politike, ki se dotikajo upravljanja s tlemi, lahko koncept EST koristno vstopa za potrebe usklajevanja različnih interesov rabe? |
| 7 | Katere so prednosti in slabosti trenutnega sistema določanja vrednosti (bonitiranja) kmetijskih zemljišč z vidika upoštevanja različnih EST in smotrnega upravljanja s kmetijskimi zemljišči? |

Pri obravnavi EST smo se v skladu s projektno prijavnico omejili na tri EST:

1. hrana, les vlakna (pridelava rastlinske biomase),
2. vezava ogljika v tleh,
3. uravnavanje kroženja vode (zadrževanje vode in blaženje vpliva suše).

K tem EST je dodana še biotska pestrost tal, ki sicer po nedavnih spremembah koncepta ES (European Commission 2013) ni opredeljena kot samostojna EST, temveč kot lastnost ekosistemov, ki je temeljni pogoj za obstoj ekosistemov in nastanek ES.

Vzorčna zemljišča

Izbira vzorčnih zemljišč za obravnavo EST je temeljila na GIS analizi razpoložljivih podatkov o pojavljanju pedosekvenc, talnih tipih in kmetijskih rabah. Izbranih 15 talnih tipov v okviru 5 pedosekvenc in najbolj pogoste kmetijske rabe tal so podani v preglednici spodaj (tudi R3.1 in R2.1).

Preglednica 6: Pojavljanje talnih tipov v okviru posameznih pedosekvenc in možna kmetijska raba

| Pedosekvenca | Talni tip | Možna kmetijska raba |
|--------------------------------|--|--|
| Na trdih karbonatnih kamninah | - Rendzina na apnencu - Rendzina na dolomitu - Rjava pokarbonatna tla - Rjava izprana tla | pašnik pašnik, travnik travnik, njiva njiva |
| Na mehkih karbonatnih kamninah | - Evtrična rjava tla na flišu, karbonatna - Evtrična rjava tla laporju | vinograd, sadovnjak, njiva vinograd, sadovnjak, njiva |
| Na nekarbonatnih kamninah | - Ranker, distričen - Distrična rjava tla | travnik travnik, njiva |
| Na prodih in peskih | - Rjava rendzina na produ, evtrična - Evtrična rjava tla na produ - Distrična rjava tla na produ - Obrečna tla, globoka | travnik, njiva njiva njiva njiva |
| Na glinah in ilovicah | - Amfiglej, distričen - Hipoglej, evtričen - Obrečna tla, globoko oglejena | travnik travnik, njiva njiva |

Metode biofizikalnega ovrednotenja EST

Pridelava rastlinske biomase

Za oceno proizvodne sposobnosti tal (kapaciteta za pridelavo rastlinske biomase) je bila uporabljena ocena kakovosti (boniteta) tal (Bethwell in sod., 2021). To je podatek, ki združuje informacije o lastnostih tal (t.i. točke lastnosti tal, TT, ki zajemajo podatek o teksturi, razvojni stopnji tal in geološki podlagi ter prisotnosti skeleta), katerim je dodana informacija o podnebjju in reliefu ter dodatnih ('posebnih') vplivih (Pravilnik..., 2022). Pri tem velja omeniti, da na lastnosti tal v znatni meri vpliva tudi pretekla raba (Bethwell in sod., 2021).

Bonitetne točke izražajo kakovost zemljišč glede na primernost za kmetijsko pridelavo, pri čemer več točk pomeni boljše zemljišče: najbolj kakovostno zemljišče za kmetijsko proizvodnjo v sistemu bonitiranja je ocenjeno s 100 točkami, kar pomeni absolutno najboljše zemljišče, ostala zemljišča pa relativno manj glede na to zemljišče. Bonitiranje poteka po uradnem postopku, ki ga izvaja Geodetska uprava RS (GURS); točke so pripisane vsaki parceli v zemljiškem katastru in se praviloma na kratki rok ne spreminjajo (Udovč in sod., 2013).

Vezava ogljika v tleh

Za biofizikalno oceno v tleh vezanega ogljika je bila uporabljena metoda, ki jo je predlagal Hassink (1997) in so jo modificirali Chen in sod. (2018).

Uravnavanje kroženja vode (zadrževanje vode in blaženje vpliva suše)

Kapaciteta tal za zadrževanje vode in blaženje suše je bila ocenjena na podlagi sposobnosti tal za zadrževanje vode. Ker volumska gostota tal in vodno zadrževalne lastnosti niso bile sistematično merjene v času pedološkega kartiranja, sta bili obe lastnosti tal izračunani z uporabo pedotransfernih funkcij, ki upoštevajo teksturo, organsko snov, skeletnost in globino talnega profila.

Metode ekonomskega ovrednotenja EST

Temeljno izhodišče za razvoj metodoloških pristopov ekonomskega vrednotenja in hkrati za izbiro najprimernejše metode vrednotenja je tip vrednosti, ki jo lahko pripišemo EST. Koncept celotne ekonomske vrednosti (angl. *Total economic value*, TEV) loči vrednost rabe (angl. *use value*) in nerabe (angl. *non-use value*).

Preglednica 7: Elementi celotne ekonomske vrednosti (Christie, Fazey in sod. 2008).

| Celotna ekonomska vrednost | | | | | |
|----------------------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|--------|
| Vrednost rabe | | | Vrednost nerabe | | |
| Dejanska raba | | Opcijska vrednost | Za druge | | Obstoj |
| Neposredna raba | Posredna raba | | Altruizem | Dediščinska vloga | |

Vrednost rabe se običajno deli na vrednost neposredne rabe, vrednost posredne rabe in opcijsko vrednost (vrednost, ki jo pripisujemo možnosti posredne ali neposredne rabe, četudi nečesa trenutno ne uporabljamo). Vrednost nerabe pa se nečemu pripisuje ne glede na dejansko rabo ali možnost rabe; na primer v zvezi z zavedanjem, da nekaj le obstaja, ali pa v zvezi z zavedanjem, da bo nekaj (na primer naravni vir) na voljo prihodnjim generacijam oziroma drugim (Robinson, Fraser in sod. 2014).

V nadaljevanju so nanizane in kratko opisane temeljni metodološki pristopi ekonomskega vrednotenja ES, vsako od njih se da umestiti tudi v kontekst EST (glej tudi Preglednica 3).

Metoda tržnih cen je relevantna, ko za ES, ki jo želimo vrednotiti, obstaja trg (npr. hrana, les, nelesni gozdni proizvodi, vezava ogljika). Takrat je vrednotenje mogoče izvesti na podlagi tržnih cen, pri tem pa je mogoče uporabiti standardne ekonomske metode za merjenje koristi zaradi vplivov trga – ravni ponudbe in povpraševanja pri različnih cenah. Ob tem je pomembno, da tržna cena praviloma ni enaka ekonomski vrednosti, ki jo posameznik pripiše dobrini ali storitvi na podlagi koristi, ki mu jih prinese, in odraža njegovo pripravljenost za plačilo. Ob odločitvi za plačilo posameznik primerja tržno ceno s svojo pripravljenostjo za plačilo in se za dobrino ali storitev odloči le, če je njegova pripravljenost za plačilo, torej pridobljena korist, enakovredna ali višja od tržne cene. Kadar za ES trgi obstajajo, pa naj bi bila metoda tržnih cen vendarle prva izbira za oceno vrednosti, saj predstavlja stičišče pripravljenosti za plačilo oz. prodajo vseh kupcev in prodajalcev, ki nastopajo na trgu (Christie, Fazey in sod. 2008).

Pri **stroškovnih metodah** je tržna cena dobrine ali storitve, ki je povezana z ES, približek vrednosti ES. Pri metodi nadomestnih stroškov so stroški, ki so potrebni, da se nadomesti ES (npr. nadomeščanje hranilnih snovi z dognojevanjem zaradi izgube pestrosti talnih organizmov, ki zagotavljajo kroženje hranil), približek njene vrednosti, medtem ko so stroški preprečevanja škod približek vrednosti ES, ki bi lahko bila okrnjena zaradi negativnih učinkov različnih (bodisi okoljskih bodisi človekovih) vplivov. Oportunitetni stroški kažejo na vrednost koristi, ki so bile opuščene zaradi varovanja, krepitev ali ustvarjanja določene ES (npr. opustitev intenzivne košnje zaradi krepitev naravovarstvene vloge travnika). Tudi v tem primeru so stroški približek vrednosti ekosistemske storitve (Christie, Fazey in sod. 2008).

Pri **metodi proizvodnih funkcij/faktorja dohodka** je naravno okolje obravnavano kot del proizvodnega procesa določene tržne dobrine ali storitve. Gre torej za analizo vpliva ES na dobrino ali storitev, ki je del tržne menjave, oziroma njenega vpliva na dohodek ali produktivnost (Mäler, Gren in sod. 2005). Spremembe kakovosti ali količine ES so vrednotene z oceno vpliva teh sprememb na izločke in cene tržne dobrine ali storitve, običajno s spremembo potrošnikovega presežka in dobička proizvajalca (Hanley, Shogren in sod. 2001).

Metoda potovalnih stroškov je ena izmed najstarejših metod ekonomskega vrednotenja (netržnih) ES. Spada v skupino metod izraženih preferenc, saj se naslanja na dejansko ravnanje ljudi v okviru obstoječih trgov, ki so povezani z ES. Vhodni podatki so število obiskov določenega mesta za rekreacijo in stroški, ki pri tem nastanejo. Ti zajemajo predvsem stroške poti, kot so na primer stroški goriva, stroški lastništva avtomobila in stroški vrednosti časa, ki ga posameznik nameni obisku in rekreaciji (Christie, Fazey in sod. 2008). Za nekoga, ki ravna racionalno, bodo skupni stroški vedno kvečjemu enaki največji vsoti, ki jo je pripravljen nameniti za obiske (ali manjši od nje), kar je vrednost, ki jo taisti posameznik pripisuje kraju obiska. Posameznik torej ob obiskih uživa potrošnikov presežek, ki je enak razliki med najvišjo vsoto, ki bi jo bil pripravljen plačati, in tisto, ki jo dejansko nameni za obiske. Na podlagi razmerja med obiski in potovalnimi stroški je mogoče določiti vrednost (potrošnikov presežek), ki jo rekreativec uživa (Hanley, Shogren in sod. 2001).

Metoda hedonističnih cen ravno tako spada v skupino metod razkritih preferenc, pri kateri se vrednost netržnih ES določa z opazovanjem povpraševanja po sorodni komplementarni tržni dobrini ali storitvi (Hanley, Shogren in sod. 2001). Teoretični okvir pristopa predstavljajo Lancastrova (1966) teorija potrošnje in modeli prostorskega ravnovesja (McConnell 1990), ključna pa je predpostavka, da posameznikovo koristnost pogojujejo atributi dobrine ali storitve. Ob določenih pogojih je namreč mogoče določiti vplive različnih atributov (lastnosti) dobrine in ugotoviti, kako spremembe ravni atributov vplivajo na koristnosti posameznika. To je mogoče z modeliranjem posameznikove pripravljenosti za plačilo za dobrino, ki je odvisna od ravni atributa (Verbič and Slabe Erker 2004). Metoda hedonističnih cen se najpogosteje uporablja za vrednotenje nepremičnin oziroma učinka

okolice nepremičnine (npr. tradicionalna kmetijska krajina) na pripravljenost za plačilo za njen nakup (Christie, Fazey in sod. 2008). Okolica je sicer le del svežnja atributov nepremičnine, ki so razvrščeni na naslednji način: (1) atributi nepremičnine (velikost, način gradnje in oprema, dostop, infrastruktura, itn.), (2) lokalne družbenoekonomske razmere in razpoložljivost javnih dobrin, (3) atributi lokalnega okolja (npr. kmetijska krajina) (Garrod and Willis 1999).

Kontingenčno vrednotenje spada v skupino metod izraženih preferenc, kar pomeni, da je uporabno predvsem v primerih, ko za predmet vrednotenja ni trgov (netržne dobrine in storitve), saj temelji na hipotetičnih tržnih razmerah. Pri kontingenčnem vrednotenju je posameznik postavljen pred vprašanje, kako bi ravnal, če bi obstajal trg za dobrino ali storitev (Hanley, Shogren in sod. 2001). Ker je metoda primerna tudi za dobrine in storitve z vrednostjo nerabe, je uporabna skorajda za vse ES (Pearce, Markandya in sod. 1989). Vrednotenje poteka v nekaj korakih, in sicer je treba najprej (1) opredeliti lastnosti hipotetičnega trga (opis ES in njene spremembe), (2) pridobiti odzive posameznikov na vprašanje bodisi o pripravljenosti za plačilo (ang. *Willingness to pay*, WTP) za izboljšavo ekosistemske storitve bodisi o pripravljenosti za sprejetje nadomestila (ang. *Willingness to accept*, WTA) zaradi njenega poslabšanja, (3) določiti vire pristranskosti (npr. učinek strateške in začetne pristranskosti ter pristranskost zaradi ugajanja) in zaradi njih korigirati vrednosti pripravljenosti za plačilo oziroma sprejetje, (4) obravnavati protestne odgovore, to je tiste, pri katerih je navedena pripravljenost za plačilo oziroma pripravljenost za sprejetje enaka nič, (5) oceniti mediano ali aritmetično sredino pripravljenosti za plačilo oziroma sprejetje, (6) agregirati vrednosti pripravljenosti za plačilo na raven populacije (Garrod and Willis 1999, Hanley, Shogren in sod. 2001, Bateman, Carson in sod. 2002).

Metoda diskretne izbire se je začela uveljavljati v osemdesetih letih prejšnjega stoletja, predvsem na področju raziskav transporta in okoljske ekonomike (Louviere, Hensher in sod. 2000). Metodološko izvira iz analize sestavljenih učinkov (ang. *conjoint analysis*) in odpravlja nekatere pomanjkljivosti metode kontingenčnega vrednotenja. Metoda diskretne izbire namreč omogoča obravnavo relativnih koristi zaradi sprememb (izboljšave oziroma poslabšanja) ES, pri tem lahko gre za spremembe več vidikov iste ES ali pa za spremembe več ES hkrati. Med atributi so lahko tudi denarne vrednosti, na primer strošek, ki je potreben za spremembo razpoložljivosti ES, kar omogoča oceno pripravljenosti za plačilo ali sprejetje za posamezne attribute (Bateman, Carson in sod. 2002, Christie, Fazey in sod. 2008). Metoda diskretne izbire torej nudi vpogled v podrobno strukturo preferenc posameznikov glede sprememb ekosistemskih storitev.

Poleg opisanih metodoloških pristopov obstajajo še drugi, ki sicer ne temeljijo na izhodiščih tržnega okolja, ampak vseeno omogočajo ekonomsko vrednotenje ES. To so metode participativnih pristopov vrednotenja, kot sta deliberativno oziroma **posvetovalno denarno vrednotenje** (ang. *deliberative monetary valuation*) in **mediacijsko modeliranje** (ang. *mediated modelling*) ter **metoda prenosa koristi** (ang. *benefit transfer*) (Christie, Fazey in sod. 2008). Slednja sicer ne omogoča vrednotenja neposredno, temveč omogoča prenos ocen ekonomske vrednosti ES z izvornega območja na drugo, prostorsko ločeno območje. Pred tem se na podlagi razlik med obema območjema opravijo potrebne prilagoditve izvirne ocene, ki je nato primerna za uporabo na drugem območju (Hanley, Shogren in sod. 2001, Christie, Fazey in sod. 2008).

Fokusna skupina

V sklopu aktivnosti ekonomskega vrednotenja EST je bila opravljena tudi delavnica s fokusno skupino strokovnjakov, kjer je bila opravljena razprava o primernosti različnih metod ekonomskega vrednotenja in nato za vsako od treh v tem projektu obravnavanih EST opredeljena najprimernejša (Preglednica 8).

Preglednica 8: Izbrane metode ekonomskega vrednotenja za tri v projektu obravnavane EST

| EST | Utemeljitev ES | Kazalnik ekonomskega vrednotenja ES | Metoda ekonomskega vrednotenja ES |
|--|--|---|---|
| Pridelava rastlinske biomase | Pridelava biomase je definirana kot letna količina suhe snovi, ki nastane s fotosintezo rastlin. | Tržna cena kmetijskih pridelkov [EUR/t] | Metoda tržnih cen |
| Vezava ogljika v tleh | Vezava ogljika je definirana kot letni neto tok C v tla (ne zaloga ogljika) v smislu akumulacije C v tleh. | (Družbeni) strošek CO ₂ emisij [EUR/tCO ₂] | Metoda tržnih stroškov (stroški preprečevanja škod) |
| Zadrževanje vode in blaženje vpliva suše | Tla imajo sposobnost zadrževanja vode, ki je rastlinam na voljo od tega je odvisen tudi pridelek. | Strošek dovajanja vode rastlinam z namakanjem [EUR/m ³] | Metoda tržnih stroškov (nadomestni stroški) |

REZULTATI RAZISKAVE

Prikaz rezultatov sledi konceptualnemu pristopu projektnih aktivnosti in zajema rezultate biofizikalnega [R3.1 in R3.2] in ekonomskega ovrednotenja [R4.3] treh EST. Najprej so podana izhodišča vrednotenja, ki temeljijo na preteklih sorodnih raziskavah, nato so predstavljeni metodološki pristopi za oba tipa ovrednotenja, temu sledijo rezultati izračunov. Rezultati so podani tabelarično in grafično, hkrati so izpostavljene še morebitne omejitve in potrebe po prihodnjem razvoju področja.

Pridelava rastlinske biomase

Izhodišča ovrednotenja EST

Proizvodnja biomase je EST, pri kateri se morda najočitneje odrazi razlika med storitvami in koristmi, ki jih imamo ljudje in jo poudarja sistem klasifikacije CICES (Haines-Young in Potschin, 2018; La Notte, 2022). Tukaj je namreč najbolj vidna razlika med prispevkom ekosistema (ekološkim vložkom, ki je rezultat ekoloških procesov) in človeka (človeškim vložkom; medtem ko je ta razlika morda lahko do neke mere stvar konceptualne razprave, v tem poročilu privzemamo pogled, da je 'človeški' sistem ločen od ekosistemov). Proizvodnja biomase v kmetijskih ekosistemih – agro-ekosistemih je vedno rezultat skupne proizvodnje (ang. co-production) oziroma skupnega prispevka značilnosti ekosistema in človeškega proizvodnega sistema (Bethwell in sod., 2021; La Notte, 2022; Vysna in sod., 2021). Zato uporaba izključno količine pridelka kot kazalnika za ekosistemsko storitev proizvodnje biomase ni primerna, temveč je treba za potrebe vrednotenja prispevka tal h kmetijskemu pridelku izločiti vpliv vložkov dela, znanja, energije in materiala, ki ga ima človek. V nasprotnem primeru bi lahko storili to napako, da bi kmetijskim tlem, ki so bolj kakovostna in imajo torej višji proizvodni potencial, vendar so obdelana manj intenzivno kot primerljiva ali slabša tla z vidika kmetijske pridelave, pripisali nižjo ekosistemsko storitev (La Notte, 2022). Drugi naravni dejavniki, ki vplivajo na kmetijsko proizvodnjo in med katerimi nekateri gledano v daljših časovnih obdobjih tudi interagirajo z značilnostmi tal, so podnebje (zlasti količina dežja in sončne svetlobe), relief, biotska regulacija škodljivcev in opraševanje. Ob tem Bethwell in sod. (2021) opozarjajo tudi na nujnost upoštevanja drugih zunanjih učinkov kmetijske proizvodnje, kot so vplivi prekomernega gnojenja, uporabe sredstev za varstvo rastlin in ogljični odtis rabe proizvodnih vložkov.

Biofizikalna ocena sposobnosti tal za pridelavo rastlinske biomase

Prvi korak biofizikalnega ovrednotenja te EST je bil torej izračun talnih točk in bonitete za izbrane talne tipe na osnovi pedoloških podatkov izbranih talnih profilov. Pri izračunu bonitete smo upoštevali reliefne in klimatske značilnosti lokacij, kjer so bili vzorčni profili izkopani. Različne klimatske in reliefne značilnosti prispevajo k razlikam med talnimi tipi, zato za boljšo primerljivost tal med seboj, podajamo ločeno točke lastnosti tal. Najnižje točke lastnosti tal smo izračunali na primeru rendzine na apnencu (28,5), najvišje na primeru obrečnih tal (95). Zaradi vpliva klime in reliefa, smo najnižjo boniteto izračunali na primeru rendzine na dolomitu (34,6) Najvišja boniteta je tako kot pri točkah lastnosti tal izračunana za obrečna tla (87,2).

Preglednica 9: Točke lastnosti tal in Boniteta izbranih talnih tipov po pedosekvencah

| Pedosekvenca | Talni tip | Možna kmetijska raba | Točke lastnosti tal | Boniteta |
|--------------------------------|--|----------------------------|---------------------|----------|
| Na trdih karbonatnih kamninah | Rendzina na apnencu | pašnik | 28,5 | 39,9 |
| | Rendzina na dolomitu | pašnik, travnik | 37,5 | 34,6 |
| | Rjava pokarbonatna tla | travnik, njiva | 54,5 | 59,1 |
| | Rjava izprana tla | njiva | 54,5 | 59,1 |
| Na mehkih karbonatnih kamninah | Evtrična rjava tla na flišu (karbonatna) | vinograd, sadovnjak, njiva | 75,0 | 73,5 |
| | Evtrična rjava tla laporju | vinograd, sadovnjak, njiva | 66,0 | 65,0 |
| Na nekarbonatnih kamninah | Ranker (distričen) | travnik | 42,5 | 39,1 |
| | Distrična rjava tla | travnik, njiva | 47,0 | 47,5 |
| Na prodih in peskih | Rjava rendzina na produ (evtrična) | travnik, njiva | 69,0 | 74,3 |
| | Evtrična rjava tla na produ | njiva | 78,0 | 79,0 |
| | Distrična rjava tla na produ | njiva | 48,5 | 62,3 |
| | Obrečna tla | njiva | 95,0 | 87,2 |
| | Obrečna tla (globoka) | njiva | 95,0 | 87,2 |
| Na glinah in ilovicah | Pseudoglej | travnik | 33,5 | 51,8 |
| | Hipoglej (evtričen) | travnik, njiva | 44,0 | 59,3 |
| | Obrečna tla (glob. oglejena) | njiva | 84,0 | 82,2 |

Naslednji korak je ocena proizvodnega potenciala (Preglednica 10) v smislu možnega letnega pridelka kmetijske kulture. To je bilo za vzorčna zemljišča ocenjeno na podlagi prilagojene metodologije GURS, opisane v Udovč in sod. (2013). Ta upošteva uteženo povprečno boniteto za katastrske kulture v Sloveniji na osnovi podatkov v Zemljiškem katastru in jih po bonitetnih razredih na podlagi ekspertne ocene popravi z ustreznim korekcijskim faktorjem. Tako je bil opredeljen bonitetni faktor, s katerim je pomnožen modelski pridelek za Slovenijo, ki ga v okviru Modelnih kalkulacij na letni ravni računa Kmetijski inštitut Slovenije (Zagorc in sod., 2022).

Preglednica 10: Ocena potencialnih pridelkov izbranih kultur na vzorčnih parcelah

| Talni tip | Pridelki (kg/ha leto) | | | |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|
| | Koruza (zrnje) | Seno (trokosni travnik) | Grozdje - Primorska | Grozdje - Podravje |
| Rendzina na apnencu | | 7240,2 | | |
| Rendzina na dolomitu | | 7240,2 | | |
| Rjava pokarbonatna tla | | 10403 | | |
| Rjava izprana pokarbonatna tla | 10151,2 | | | |
| Evtrična rjava tla na flišu | | | 9953,7 | |
| Evtrična rjava tla na laporju | | | | 8447,7 |
| Ranker (distričen) | | 5658,8 | | |
| Distrična rjava tla | | 8821,6 | | |
| Rjava rendzina na produ (evtrična) | 12151,2 | | | |
| Evtrična rjava tla na produ | 12151,2 | | | |
| Distrična rjava tla na produ | 11151,2 | | | |
| Obrečna tla | 13151,2 | | | |
| Obrečna tla (globoka) | 13151,2 | | | |
| Pseudoglej | | 10403,0 | | |
| Hipoglej (evtričen) | 10151,2 | | | |
| Obrečna tla (glob. oglejena) | 12151,2 | | | |

Ekonomska ocena sposobnosti tal za pridelavo rastlinske biomase

Ekonomska vrednost EST pridelave biomase je bila ocenjena s pomočjo Modela kmetijskih gospodarstev (MKMG), orodje, ki temelji na matematičnem programiranju in omogoča različne analize na ravni proizvodnega načrta kmetijskega gospodarstva. Zasnovan je na modularnem pristopu v obliki preglednic v MS Excelu in se povezuje s sistemom MK KIS kot ključnega referenčnega vira analitičnih in ekonomskih rezultatov na ravni proizvodnih aktivnosti (Žgajnar in sod., 2022).

Modelne kalkulacije (MK) Kmetijskega inštituta Slovenije (KIS) so podatkovna zbirka oziroma orodje za spremljanje ekonomskih učinkov kmetijstva po posameznih pridelkih in proizvodih. Uporabljajo se po eni strani za redno oceno stroškov in drugih ekonomskih kazalcev pri najpomembnejših kmetijskih pridelkih v okviru strokovne naloge »Spremljanje razvoja kmetijstva v Sloveniji«, katere naročnik je Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (t.i. »referenčne MK«, izdelane za standarden nabor pridelkov). Te kalkulacije so namenjene ocenjevanju sprememb stroškov in prihodkov, ki so rezultat sprememb cen in proračunskih podpor v določenem časovnem obdobju. Drugo področje pa je uporaba sistema MK kot simulacijskega modelnega orodja (Zagorc in sod., 2022).

MK so simulacijski modeli z vgrajenimi funkcijami, ki na podlagi izbranih vhodnih tehnoloških parametrov omogočajo oceno porabe vložkov in stroškov proizvodnje pri posameznem kmetijskem proizvodu, v povezavi z vrednostjo proizvodnje pa tudi različne kazalce ekonomske uspešnosti. Neposredno vključujejo vse stroške, povezane s proizvodnjo.

Model ima nekaj temeljnih predpostavk, opisanih v Zagorc in sod. (2022), med katerimi tukaj izpostavljamo:

- splošna raven produktivnosti je povezana z velikostjo obrata,
- predpostavljena velikost in tip kmetijskega obrata sta pri različnih pridelkih različna, osnovni kriterij pa je, da obrat zagotavlja polno zaposlenost za vsaj eno delovno moč,
- izhodišče za izračun paritetnega (primerljivega) dohodka je, da je delovno mesto v kmetijstvu po opremljenosti in zahtevnosti (glede na predpostavljeno produktivnost dela in intenzivnost) primerljivo z drugimi gospodarskimi dejavnostmi v Sloveniji,
- izhodiščna intenzivnost naj bi bila reprezentativna za večje tržne pridelovalce ob upoštevanju tehnologij, ki so skladne z načeli dobre kmetijske prakse in varovanja okolja. Zato je osnovni modelski pridelek višji od povprečnega pridelka za Slovenijo,
- opredeljeni intenzivnosti so smiselno prilagojeni tehnološki parametri (npr. gnojenje, varstvo rastlin, prehrana živali), ki temeljijo na priporočilih stroke,
- tehnologije so izdelane ob predpostavki ugodnih pridelovalnih razmer (ne veljajo za območja s težjimi pridelovalnimi razmerami) in »normalne« letine (ne upoštevajo izpada pridelka zaradi suše, toče, pozebe ipd.).

V MK za posamezni kmetijski proizvod vstopajo redno posodobljene informacije, pridobljene iz uradnih virov (SURS, EUROSTAT, ipd.), domačih in tujih katalogov in tehnoloških priporočil ter raziskav, v primeru nedostopnosti uradnih podatkov (zlasti o cenah) pa tudi iz neuradnih virov. To so podatki o:

- cenah: osnovnih sredstev, kupljenega reprodukcijskega materiala in storitev, strojev, priključkov, opreme, čistih hranil, domačih živinskih gnojil, kot tudi informacije o odkupnih cenah pridelkov in druge cenovne podlage,
- produktivnosti ročnega in strojnega dela po posameznih delovnih fazah in posameznih priključkih oz. strojih, pri čemer so za vsako fazo/stroj/priključek določene funkcije porabe dela (časa) v odvisnosti od velikosti parcele, porabljenega materiala in velikosti pridelka, pri nekaterih delovnih fazah pa tudi od nagiba,
- stroških domačih strojnih storitev.

Pri oceni ekonomske vrednosti EST proizvodnje biomase velja predpostavka, da je ekonomska vrednost enaka vsoti vrednosti proizvodnje (pridelek x cena) in morebitnih proračunskih podpor (subvencij), od katere je odšteta skupna vrednost vseh stroškov proizvodnje. Za tem stoji predpostavka, da se na agregatni ravni stroški proizvodnje in proračunske podpore odražajo (prelijejo) v tržni ceni posameznega pridelka. Naš pristop torej temelji na nekoliko prilagojeni metodi tržnih cen.

Preglednica 11: Boniteta ter vrednost proizvodnje in Neto dodana vrednost (NDV) ob danih tržnih cenah (povprečje v obdobju 2020-2022). Opomba: cena sena je 0, ker seno v MK vstopa v živinorejsko proizvodnjo kot strošek.

| Lokacija vzorčnega zemljišča | Boniteta | Cena [EUR/kg] | Vrednost proizvodnje [EUR/ha leto] | NDV [EUR/ha leto] |
|------------------------------------|----------|---------------|------------------------------------|-------------------|
| Rendzina na apnencu | 39,9 | 0 | 0 | -760,51 |
| Rendzina na dolomitu | 34,6 | 0 | 0 | -760,51 |
| Rjava pokarbonatna tla | 59,1 | 0 | 0 | -1156,37 |
| Rjava izprana pokarbonatna tla | 59,1 | 0,183 | 1854,3 | 232,47 |
| Evtrična rjava tla na flišu | 73,5 | 0,557 | 5540,9 | 804,02 |
| Evtrična rjava tla na laporju | 65,0 | 0,512 | 4329,2 | -713,34 |
| Ranker (distričen) | 39,1 | 0 | 0 | -518,31 |
| Distrična rjava tla | 47,5 | 0 | 0 | -929,18 |
| Rjava rendzina na produ (evtrična) | 74,3 | 0,183 | 2219,6 | 334,26 |
| Evtrična rjava tla na produ | 79 | 0,183 | 2219,6 | 334,26 |
| Distrična rjava tla na produ | 62,3 | 0,183 | 2036,9 | 290,22 |
| Obrečna tla | 87,2 | 0,183 | 2402,3 | 393,51 |
| Obrečna tla (globoka) | 87,2 | 0,183 | 2402,3 | 393,51 |
| Pseudoglej | 51,8 | 0 | 0 | -1156,37 |
| Hipoglej (evtričen) | 59,3 | 0,183 | 1854,3 | 232,47 |
| Obrečna tla (glob. oglejena) | 82,2 | 0,183 | 2219,6 | 334,26 |

Rezultati kažejo na močen vpliv cene na ocenjeno vrednost EST. Pod predpostavko, da lahko vrednost prispevka ekosistema enačimo z vrednostjo proizvodnje, od katere odštejemo stroške, je lahko pri obstoječih (poročanih) tržnih cenah in (modelskih) stroških proizvodnje vrednost EST celo negativna, kar seveda ni smiselno. Morda bolj kot vrednost EST ti rezultati odražajo nizke cene osnovnih kmetijskih surovin, delno pa tudi nakazujejo na problematiko uporabe tržne metode vrednotenja, kot tudi na kompleksnost realnih situacij v kmetijski pridelavi, kjer v veliko primerih pridelki niti ne vstopajo na trg, temveč v lastno nadaljnjo proizvodnjo (npr. predelava grozdja v vino). Razen tega MK v svojih izračunih pri grozdju upoštevajo tudi vidik kakovosti pridelka. Tako je lahko resnični potencial za pridelavo biomase v Podravju tudi 2000 kg/ha višji, vendar bi tak pridelek močno znižal vrednost pridelanega grozdja. Zanimiva alternativa denarnemu vrednotenju bi tako lahko bilo vrednotenje energetske bilance pridelave (Agricultural biomass ..., 2015), pri katerem se vse vložke in izločke namesto na denarne enote preračuna na biofizikalne energetske enote; takšna metoda sicer ne da monetarnih rezultatov, omogoča pa vpogled v trajnost pridelave.

Izračunana vrednost EST proizvodnje biomase za izbrana vzorčna zemljišča torej nudi določen vpogled v vrednost, ki jo prispevajo zemljišča, vendar je treba biti pri interpretaciji teh vrednosti izjemno previden. Razlogi za to, poleg že omenjenih, so tudi močne predpostavke, ki jih ponovno izpostavljam v nadaljevanju.

Proizvodni potencial tal za kmetijsko pridelavo je izpeljan iz informacije o boniteti tal, ki že zajema tudi informacijo o podnebju in reliefu ter morebitnih drugih vplivih. Verjetno bi bilo boljše izhodišče za oceno gole EST informacija o talnem številu, vendar bi bilo treba za ta namen oceniti talno število za vse (ali vsaj zadosten vzorec) kmetijske parcele z določeno rabo v Sloveniji, kot tudi opredeliti funkcijsko povezavo med talnim številom in količino pridelka. Ta bi bila po vsej verjetnosti nelinearna in odvisna od kulture. Glede na omejena projektna sredstva smo se zato naslonili na obstoječe podatke o bonitetah po katastrskih kulturah in metodologijo prilagoditve bonitetnega faktorja, opisano v Udovč in sod. (2013). Ob tem kaže ponovno omeniti, da so avtorji te publikacije poudarili določene pomanjkljivosti oz. možne dodatne izboljšave te metodologije. Med drugim je bila predlagana natančnejša določitev faktorjev pridelkov (prirastkov) kot po bonitetnih razredih, ki se je zaradi precejšnje izgube informacij pri obračunavanju po bonitetnih razredih pokazala kot zaželena tudi v naši raziskavi.

Pristop, ki od seštevka vrednosti proizvodnje in proračunskih dodatkov odšteje vse stroške (vključno z amortizacijo), enači neto dodano vrednost s prispevkom ekosistema, vendar pri tem (še) ni mogoče izločiti vrednosti dežja, sončnega obsevanja in oprasha. Ravno tako neopredmetena ostaja vrednost znanja in izkušenj kmeta, kot tudi morebitni negativni doprinosi družbi (eksternalije), ki izhajajo iz kmetijske pridelave in trenutno še ne nastopajo na trgih. Po drugi strani pa tudi nizka cena kmetijskih pridelkov odraža razmeroma nizko tržno moč kmetov v močno konkurenčni situaciji; morda bolj kot kritika odprtega trga se zopet odpira vprašanje eksternalij in vpliva na EST, ki jih imajo intenzivni pridelovalni sistemi. Dodatno vprašanje, ki se ob tem poraja, je, kdo nosi vse te eksternalije proizvodnje (tako pozitivne kot negativne) in kako jih ponotranjiti: preko državne regulacije (omejitve, prepovedi, zapovedi, davki, plačila za ES), tržnih mehanizmov (zasebne certifikacijske sheme in oznake) ali kombinacije različnih mehanizmov, vključno z državnimi shemami.

Dodatna značilnost izračuna, ki izhaja iz rabe modelnih kalkulacij, je, da so stroški sorazmerni velikosti pridelka, ker MK izhajajo iz predpostavke, da različne velikosti pridelkov pomenijo različne intenzivnosti. Ustrezno se ob izračunu druge velikosti pridelka odrazijo drugi stroški, kar z vidika izolacije vrednosti prispevka ekosistema ni idealno, vendar bi bilo treba za boljšo oceno izvesti obsežne dodatne temeljne raziskave, med drugim o zgoraj omenjeni funkcijski povezavi med talnim številom (ali vsaj boniteto tal) in pridelkom, ki močno presegajo okvire tega projekta. To bi denimo pomenilo usmerjene večletne poljske poskuse, v okviru katerih bi z isto intenzivnostjo obdelovali različno kakovostne parcele oz. v idealnih razmerah parcele z različnimi lastnostmi tal in identičnimi ostalimi značilnostmi.

Vezava ogljika v tleh

Izhodišča ovrednotenja EST

Z vnašanjem organske snovi v tla se zaloga organskega ogljika v tleh povečuje, kar pomeni sekvestracijo ogljika. Ta proces je pomemben za blaženje podnebnih sprememb oz. zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, med katerimi je najpomembnejši ogljikov dioksid. Dolgoročnejšo shranjevanje ogljika v tleh omogoča le stabilno vezana organska snov, to je humificirana organska snov, ki se poveže z mineralnim delom tal v organo-mineralne komplekse. Pri tem so pomembni drobni talni delci, velikostne frakcije finega melja in gline.

S tega vidika so tla privlačen medij za blaženje podnebnih sprememb, še posebej, ker so prostorsko zelo razširjen potencialni ponor in ker je lahko shranjevanje ogljika v tleh stroškovno ugodno. Poznavanje teh procesov je ključno tako za biofizikalno kot tudi ekonomsko vrednotenje te EST, saj so lahko izhodišča za vrednotenje različna to pa vpliva seveda tudi na rezultate.

Biofizikalna ocena sposobnosti tal za vezavo ogljika

Potencial za vezavo atmosferskega ogljika smo izračunali z metodo po Hassinku (1997), ki upošteva, da se organska snov stabilno veže na fino frakcijo tal (<20 µm). Prvotna metoda Hassink (1997) je bila predvidena do 10 cm globine, Chen in sod. (2018) so izračun razširili do globine 30 cm. Upoštevali smo faktorje za različne rabe tal in izračunali:

- Cfine: Vsebnost organskega ogljika (OC) na fini frakciji tal (fini melj + glina);
- Csat: Maksimalna možna vezava OC na fino frakcijo v tleh;
- Csd: Deficit/primanjkljaj vezave OC na fino frakcijo ali višek (pozitivna vrednost = primanjkljaj; negativna vrednost = višek vezave OC nad maksimalno Csat vrednostjo).

Količino organskega C, ki je pri dani vsebnosti organske snovi in izračunani gostoti tal vezan na fini frakciji tal (fini melj in glina) do globine 30 cm (Cfin) smo izračunali na osnovi podatkov o deležu organske snovi in teksture (vsebnosti melja in gline). Izračunali smo tudi maksimalno količino organskega ogljika, ki jo tla pri dani teksturi lahko vežejo na fini melj in glino (Csat). Razlika med njima pomeni količino organskega C, ki jo tla še lahko stabilno vežejo na fino frakcijo tal (če je vrednost pozitivna), oziroma je presežek organskega ogljika v tleh, ki ni stabilno vezan na fini melj in glino (negativne vrednosti). Ob spremenjenih pogojih se nevezani ogljik sprošča v atmosfero.

V preglednici spodaj (Preglednica 12) lahko vidimo, da imajo tla različni potencial za stabilno vezavo ogljika (C_{sat}). Razlike izhajajo iz različnih lastnosti tal. Najpomembnejši dejavnik je tekstura. Peščena tla (Primer Obrečna tla, globoka) imajo bistveno nižji potencial za vezavo (47,7 t/ha) kot meljasto ilovnata tla (primer Obrečna tla, 74,8 t/ha). Vpliva lahko tudi globina tal, če so tla plitvejša kot 30 cm. Potencial za vezavo ogljika (C_{sat}) je za izbrana tla v razponu od 47,6 t/ha do 100,2 t/ha (Rjava izprana tla na apnencu). Največjo C_{sat} imajo tla pedosekvenca na trdih karbonatnih kamninah zaradi velikega deleža gline.

Preglednica 12: Izračunana zaloga ogljika vezanega na fino frakcijo tal, potencial tal

| Pedosekvenca | Talni tip | Cfin [t/ha] | Csat [t/ha] | Csd [t/ha] |
|--------------------------------|---|----------------|----------------|---------------|
| Na trdih karbonatnih kamninah | Rendzina na apnencu | 109,4 | 94,7 | -14,7 |
| | Rendzina na dolomit | 120,5 | 80,4 | -40,1 |
| | Rjava pokarbonatna tla | 64,7 | 92,2 | 27,5 |
| | Rjava izprana tla | 37,6 | 100,2 | 62,6 |
| Na mehkih karbonatnih kamninah | Evtrična rjava tla na flišu, karbonatna | 62,5 | 77,9 | 15,4 |
| | Evtrična rjava tla laporju | 38,8 | 73,2 | 34,5 |
| Na nekarbonatnih kamninah | Ranker, distričen | 101,6 | 57,0 | -44,6 |
| | Distrična rjava tla | 50,9 | 72,6 | 21,7 |
| Na prodih in peskih | Rjava rendzina na produ, evtrična | 43,8 | 59,7 | 15,9 |
| | Evtrična rjava tla na produ | 122,0 | 70,4 | -51,7 |
| | Distrična rjava tla na produ | 65,8 | 78,6 | 12,8 |
| | Obrečna tla | 73,8 | 74,8 | 1,0 |
| | Obrečna tla, globoka | 89,4 | 47,7 | -41,7 |
| Na glinah in ilovicah | Amfiglej, distričen | 75,6 | 89,1 | 13,4 |
| | Hipoglej, evtričen | 49,2 | 74,6 | 25,4 |
| | Obrečna tla, globoko oglejena | 91,0 | 47,6 | -43,5 |

Ekonomska ocena sposobnosti tal za vezavo ogljika

Obstajata dva temeljna scenarija ekonomskega vrednotenja EST zadrževanja ogljika, in sicer se razlikujeta v izhodiščnem oziroma referenčnem in ciljnem stanju količine zadržanega ogljika v tleh. Nekateri raziskave (Swinton, Lupi in sod. 2007, Nie, Guo in sod. 2020) namreč za izhodišče privzamejo v tleh obstoječo zalogo ogljika in to storitev vrednotijo v smislu bodisi zmanjševanje ali popolne izgube te zaloge. Tla so v tem primeru vir emisij CO₂, ki bi jih bilo potrebno finančno kompenzirati z nakupom emisijskih kuponov. Alternativno je kot storitev tal opredeljena kapaciteta dodatno neto akumulacije ogljika v tleh (Dominati, Mackay in sod. 2014, Kibria, Behie in sod. 2017, Kay, Graves in sod. 2019, Jost, Schönhart in sod. 2021, Georgiou, Jackson in sod. 2022, Peralta, Di Paolo in sod. 2022).

V tej raziskavi smo uporabili oba pristopa in vrednotenje te EST opredelili kot (1) ohranjanje v tleh že shranjenega ogljika, oziroma kot (2) potencialno neto akumulacijo (dodatne) količine ogljika, ki se v kmetijskih tleh še lahko shrani. S tem smo se omejili na relativno trajno obliko mineralno-vezanega organskega ogljika, na vsebnost katerega lahko izdatno vplivamo z upravljanjem (Georgiou, Jackson in sod. 2022). Poleg tega sta v tleh še dve pomembni obliki v katerih je bolj ali manj trajno shranjen ogljik; anorganski ogljik (npr. matična kamnina) in živi organizmi (Turbé, De Toni in sod. 2010).

Za ekonomsko vrednotenje EST skladiščenje ogljika je ključnih nekaj elementov:

- potencial za dodatno skladiščenje ogljika v tleh,
- obstoječa zaloga ogljika v tleh,
- časovno obdobje v katerem bi bilo mogoče doseči maksimalno količino ogljika v tleh (največje možno nasičenje)
- časovno obdobje v katerem bi bilo mogoče izničiti obstoječo zalogo ogljika v tleh,
- strošek/cena izpustov oziroma ponora CO₂.

Prvi štirje elementi so izidi biofizikalnega vrednotenja, medtem ko je zadnja ekonomska postavka. Podobno kot pri različnih pristopih definiranja izhodišča za vrednotenje – že vezan ogljik ali potencial za dodatno vezavo – je lahko tudi cena izpustov CO₂ lahko opredeljena kot:

- borzna cena emisij CO₂, ali
- družbena cena emisij CO₂ (ang.: *social cost of carbon*).

Pristop borzne cene ima obilo pomanjkljivosti, saj je cena deloma določena administrativno z upoštevanjem kvote izdaje certifikatov, načina razdeljevanja emisijskih certifikatov, neučinkovitosti sistema, ker so zajeti le nekateri sektorji itd. (Hintermann, Peterson in sod. 2016). Alternativni pristop določanja cene emisij ogljika pa širše upošteva stroške škode emisij v smislu, da temelji na funkcionalni povezavi med spremembami globalne temperature ozračja z izgubami kapitala, proizvodnje hrane in surovin, človeških življenj, ter uporabi družbene diskontne stopnje, ki omogoča primerjavo učinkov emisij na okolje v različnih časovnih razponih.

Ne povsem redke so raziskave, ki obravnavajo EST vezave ogljika na načine, ki ne temelji na ceni emisijskih certifikatov ali stroških okoljske škode, ampak izhajajo iz družbenih preferenc s poskusi diskretne izbire (Glenk and Colombo 2011, Rodriguez-Entrena, Espinosa-Goded in sod. 2014).

Ocene ekonomske vrednosti EST vezave ogljika so seveda v kontekstu navedenih izhodišč, ki se lahko med raziskavami močno razlikujejo, različne in segajo od 0 do 210 EUR/ha leto. Poleg časovne dinamike vezave ogljika v tleh, ki jo narekujejo ekološke razmere, spremenljivost ekonomske vrednosti žene tudi nihanje cene emisijskih certifikatov. Na podlagi zgoraj opredeljenih izhodišč in preteklih raziskav je splošni obrazec za ekonomsko oceno EST skladiščenje ogljika:

$$V_{EST\ sc} = \frac{\left(\frac{sC_{(T_2)} - sC_{(T_1)}}{T_2 - T_1}\right)}{A} * \frac{44}{12} * C_{CO_2}$$

kjer je $V_{EST\ sc}$ vrednost EST vezava ogljika v tleh [EUR/ha leto]; sC količina vezanega ogljika v tleh [t]; T_n ($n = 1, \dots, N$) čas v letih n ; C_{CO_2} strošek emisije CO₂ [EUR/t]; A površina zemljišča [ha]; 44/12 razmerje med molekulsko maso ogljika in ogljikovega dioksida.

EST vezava ogljika smo ocenili kot neto sedanjo vrednost EST v skladu z obema prej opredeljenima scenarijema: (1) ohranjanje v tleh že shranjenega ogljika, in (2) potencialno neto akumulacijo (dodatne) ogljika v tleh. Hkrati sicer prikazujemo tudi letne vrednosti EST, vendar ob predpostavki, da te niso časovno neomejene. Privzeli smo, da se lahko v enem trenutku uresničuje le en od obeh scenarijev, kar pomeni, da se lahko dogaja degradacija tal in izguba ogljika v tleh ali pa se količina ogljika v tleh povečuje. Zato vrednosti EST obeh scenarijev za določeno časovno obdobje ne moremo seštevati in jih je v tem smislu potrebno obravnavati ločeno. V tem smislu je oba scenarija potrebno časovno omejiti, saj niti ohranjanje že vezanega ogljika v tleh niti povečevanje njegove količine ni mogoče uresničevati neskončno dolgo.

Iz rezultatov biofizikalnega ovrednotenja te EST smo privzeli:

- dejansko zaloga organskega ogljika v tleh po posameznih talnih tipih [t/ha],
- potencialno dodatna količina ogljika v tleh po posameznih talnih tipih [t/ha].

Dodatno smo opredelili časovni interval trajanja posameznega scenarija, in sicer:

- časovno obdobje v katerem se ob pozidavi vsa zaloga ogljika v tleh izniči [let],
- časovno obdobje v katerem se proste kapacitete vezave ogljika v tleh napolnijo [let].

Za obdobje v katerem se ob pozidavi zaradi degradacije talne organske snovi popolnoma izniči zaloga ogljik v tleh smo privzeli 20 let (Ministry of environment and spatial planning 2022), četudi je to verjetno pretežno administrativna predpostavka z ciljem poročanja o nacionalnih emisijah sektorja LULUCF.

Pri časovnem obdobju v katerem se lahko 'proste' kapacitete tal za vezavo ogljika napolnijo in tla dosežejo popolno saturacijo v smislu vezave ogljika ni mogoče privzeti enovite vrednosti. Na podlagi preteklih raziskav smo opredelili, da je lahko letna stopnja vezave ogljik v tleh 300 kg/ha leto (Engels, Reinhold in sod. 2010), ker se v nasprotnem primeru lahko poruši C/N razmerje. Torej je to obdobje različno za vsak talni tip, ker talni vzorci izkazujejo različne kapacitete za dodatno vezavo.

Dodatni vhodni podatek je strošek emisij CO₂, kjer smo zanj privzeli vrednost iz Sklepa o povprečni ceni emisijskih kuponov v letu 2022⁷.

Ob tem smo privzeli nekaj predpostavk:

- v primeru dodatne vezave (neto akumulacije) ogljika v tleh smo predpostavili, da je sprememba količine ogljika v času linearna in da se le neprekinjeno povečuje,
- strošek emisij CO₂ ostaja v času nespremenjen.

Dinamika vezave ogljika v tleh ni linearna, ampak je lahko v prvem obdobju hitrejša, ko pa se količina bliža točki saturacije, ta limitira in se povečuje z manjšo hitrostjo. Tega pri izračunu neto sedanje vrednosti nismo upoštevali.

V scenariju povečevanja zaloge ogljika v tleh le neprekinjena akumulacija ni povsem verjetna, saj se lahko pri obdelavi tal izmenjujejo obdobja izgube in povečevanja količine ogljika. Da bi to zajeli v izračun ekonomske vrednosti EST bi morali zanesljivo predvideti pojavljanje obeh možnosti v prihodnosti in oceniti ali se v posameznem letu zaloga ogljika v tleh bodisi povečuje bodisi zmanjšuje.

Pomembna predpostavka je tudi nespremenljiva cena emisij CO₂. Zanja smo privzeli vrednost iz leta 2022, in sicer 79,75 EUR/t CO₂, ki je bila objavljena v sklepu Ministrstva za okolje in prostor. Ta vrednost izhaja iz povprečne cene EU sistema trgovana z emisijskimi kuponi ETS. Vrednost je v času močno spremenljiva in jo je zato izjemno težko napovedovati za prihodnje. Privzeli smo, da bo ostala v prihodnje enaka.

V nadaljevanju so prikazani rezultati ekonomskega vrednotenja EST skladiščenja ogljika v tleh za posamezne vzorčne meritve v okviru posameznega talnega tipa (Preglednica 13).

⁷ https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Podnebne-spremembe/sklep_o_povprečni_ceni_emisijskih_kuponov_2022.pdf

Preglednica 13: Rezultati ekonomskega ovrednotenja EST vezava ogljika v tleh za talne tipe po posameznih pedosekvencah.

| Pedosekvenca | Talni tip | Letna vrednost EST [EUR/ha leto] | | Neto sedanja vrednost EST [EUR/ha (let) ¹] (3 % o.m.) | |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|--|---|
| | | Scenarij: pozidava | Scenarij: akumulacija CO ₂ | Scenarij: pozidava (20 let) | Scenarij: akumulacija CO ₂ |
| Na trdih karbonatnih kamninah | Rendzina na apnencu | 1454,02 | 0,00 | 23867,80 | 0 |
| | Rendzina na dolomitu | 1602,21 | 0,00 | 26300,27 | 0 |
| | Rjava pokarbonatna tla | 860,01 | 87,73 | 14117,03 | 2813,37 (92) |
| | Rjava pokarbonatna izprana tla | 499,61 | 87,73 | 8201,18 | 3005,64 (209) |
| Na mehkih karbonatnih kamninah | Evtrična rjava tla na flišu (karb.) | 831,18 | 87,73 | 13643,80 | 2364,30 (52) |
| | Evtrična rjava tla laporju | 515,08 | 87,73 | 8455,13 | 2911,30 (115) |
| Na nekarbonatnih kamninah | Ranker (distričen) | 1350,73 | 0,00 | 22172,23 | 0 |
| | Distrična rjava tla | 676,37 | 87,73 | 11102,55 | 2663,78 (73) |
| Na prodih in peskih | Rjava rendzina na produ (evtrična) | 582,70 | 87,73 | 9565,11 | 2383,16 (53) |
| | Evtrična rjava tla na produ | 1622,17 | 0,00 | 26627,93 | 0 |
| | Distrična rjava tla na produ | 875,06 | 87,73 | 14364,11 | 2166,93 (43) |
| | Obrečna tla, globoka | 1084,30 | 0,00 | 17798,83 | 0 |
| Na glinah in ilovicah | Psevdoglej | 1005,51 | 87,73 | 16505,41 | 2215,43 (45) |
| | Hipoglej, evtričen | 653,40 | 87,73 | 10725,54 | 2767,73 (85) |
| | Obrečna tla, globoko oglejena | 1209,99 | 0,00 | 19861,97 | 0,00 |

¹ Št. let, ki je potrebnih za doseg popolne saturacije tal z ogljikom; o.m. obrestna (diskontna) mera za izračun neto sedanje vrednosti.

Uravnavanje kroženja vode (zadrževanje vode in blaženje vpliva suše)

Izhodišča ovrednotenja EST

Tla imajo sposobnost prestrezanja, zadrževanja in prevajanja vode bodisi horizontalno bodisi vertikalno. To se nanaša na eno od funkcij tal – kroženje vode (Dominati, Patterson in sod. 2010, Greiner, Keller in sod. 2017, Drobnik, Greiner in sod. 2018) –, ki vključuje fizikalne procese v tleh, ti pa omogočajo vodi prehajanje v tla, kjer se bodisi zadrži (shrani) in tla zapusti kasneje bodisi iz tal odteče. Voda v tleh je namreč ključni dejavnik mnogih kemičnih in bioloških procesov in je zatorej bistvena pri nastajanju tal in njihovem delovanju (funkcioniranju). Neprekinjeno gibanje vode v tleh omogoča tudi prenos hranil, kar pa spreminja kemično ravnovesje v tleh in povzroča transformacije tal. Zato je kroženje vode v tleh opredeljen kot eden od procesov, ki podpirajo nastanek in ohranjanje tal (Dominati, Patterson in sod. 2010) (Slika 3).

Funkcija kroženja vode v tleh lahko omogoča nekaj različnih EST – Dominati, Patterson in sod. (2010), Adhikari and Hartemink (2016), Greiner, Keller in sod. (2017) navajajo vsaj tri:

- zadrževanje vode in preprečevanje (blaženje) poplav,
- prečiščevanje vode in njeno prevajanje v podtalje (napajanje vodonosnika),
- zadrževanje vode in razpoložljivost rastlinam (rastlinam dostopna voda in blaženje suše).

V projektni skupini je bil sprejet sklep, da se obravnava tretja EST, torej EST zadrževanja in prevajanja vode v smislu rastlinam dostopne vode v tleh in blaženje suše.

Rastlinam dostopna voda, ki je zadržana v tleh je eden ključnih pogojev za rast kmetijskih kultur in samoniklega rastja (gozdovi, mejice, mokrišča, ...) in je za pretežen del kmetijstva ena bistvenih omejitev pridelave. Tla, ki imajo večjo kapaciteto zadrževanja vode torej (v kombinaciji z razpoložljivostjo hranil, pH, teksturo, globino talnih horizontov, spodobnosti infiltracije (Pintar 2006) omogočajo trajnejše za rast rastlin ugodne pogoje in posledično bolj zanesljivo rastlinsko proizvodnjo. Na količino padavinske vode, ki jo tla lahko zadržijo na masno enoto tal, vplivata v največji meri tekstura in vsebnost organske snovi. Na skupno količino rastlinam dostopne vode, ki jo tla zadržijo v prostornini tal, pa vpliva še gostota tal, skeletnost in predvsem skupna globina tal.

Vsebnost vode v tleh, ki je rastlinam dostopna, se giba v razponu od poljske kapacitete (PK) do točke venenja (TV), pomembna pa je tudi t.i. kritična točka, ki je nad točko venenja vendar označuje vsebnost vode v tleh pod katero je rastlina v sušnem stresu in del energije, ki bi jo porabila za rast namenja za premagovanje tenzije vode (Pintar 2006). Okvirne vrednosti rastlinam razpoložljive vode v tleh so 25-100 mm/m tal pri lahkih, 100-175 mm/m tal pri srednje težkih in 175-250 mm/m tal pri težkih tleh (Černe 2020). Za konkretne talne profile, ki so bili obravnavani v tem projektu so v preglednici spodaj podane njihove globine in izračunana količina rastlinam dostopne vode.

Preglednica 14: Globina tal in vodozadrževalne sposobnosti tal

| Pedosekvenca | Talni tip | Globina tal (cm) | Rastlinam dostopna voda Interval med poljsko kapaciteto in točko venenja (mm/m) |
|----------------------------------|--|------------------|---|
| 1 Na trdih karbonatnih kamninah | Rendzina na apnencu | 34 | 77 |
| | Rendzina na dolomit | 25 | 69 |
| | Rjava pokarbonatna tla | 90 | 170 |
| | Rjava izprana tla | 100 | 160 |
| 2 Na mehkih karbonatnih kamninah | Evtrična rjava tla na flišu (karbonatna) | 101 | 190 |
| | Evtrična rjava tla laporju | 85 | 150 |
| 3 Na nekarbonatnih kamninah | Ranker (distričen) | 25 | 69 |
| | Distrična rjava tla | 110 | 200 |
| 4 Na prodih in peskih | Rjava rendzina na produ (evtrična) | 30 | 60 |
| | Evtrična rjava tla na produ | 40 | 91 |
| | Distrična rjava tla na produ | 50 | 98 |
| | Obrečna tla | 71 | 140 |
| | Obrečna tla (globoka) | 150 | 280 |
| 5 Na glinah in ilovicah | Amfiglej (distričen) | 80 | 140 |
| | Hipoglej (evtričen) | 100 | 180 |
| | Obrečna tla (globoko oglejena) | 110 | 220 |

Biofizikalna ocena sposobnosti tal za zadrževanje vode in razpoložljivost rastlinam

Prvi korak ocene EST je bil izračun volumske gostote tal. Ta je bila izračunana z uporabo pedotransferne funkcije, ki so jo za slovenka gozdna tla razvili Urbančič in sod. (2007). Za tla, ki imajo koncentracijo organskega ogljika (%C_{org}) >5 %, se upošteva le koncentracija organskega ogljika (%C_{org}); za tla z manj kot 5 % organskega ogljika (%C_{org}), pa je potrebno upoštevati tudi vsebnost glin (%glina):

$$\rho_i = \left\{ \begin{array}{l} 1 / (0,625 + 0,05 \cdot \% C_{org} + 0,0015 \cdot \% glina) \rightarrow \text{če je } \% C_{org} \leq 5\% \\ 1,55 - 0,0814 \cdot \% C_{org} \rightarrow \text{če je } 5\% < \% C_{org} \leq 15\% \\ 0,725 - 0,337 \cdot \log_{10} \% C_{org} \rightarrow \text{če je } \% C_{org} \geq 15\% \end{array} \right\}$$

kjer je ρ_i [g/cm³] – volumska gostota tal horizonta i , %glina [%] – delež glin v horizontu i , %C_{org} – delež organskega ogljika v horizontu i .

Poljska kapaciteta je količina vode v tleh, ki jo tla lahko zadržijo, potem, ko odteče gravitacijska voda. Matrični potencial je -0,33 bar (pF = 2,5). Točka venenja je količina vode v tleh, ko rastline permanentno ovenejo. Matrični potencial je -15 bar (pF = 4,2). Rastlinam dostopna voda je količina vode v tleh med poljsko kapaciteto in točko venenja. Matrični potencial je med -0,33 in -15 bar. Za izračun vseh treh parametrov smo uporabili pedotransferno funkcijo, ki so jih razvili Teepe in sod. (2003).

$$RDV = (0,417 - 0,164x(pb) - 0,00124x(\% glina) + 0,00061x(\% melj)) \times \text{debelina horizonta (mm)}$$

$$TV = 0,154365 + 0,002341 \times (\% glina) - 0,001086 \times (\% pesek)$$

$$PK = RDV + TV$$

Za modeliranje količine rastlinam dostopne vode, ki jo nudijo posamezna tla v izbranem letu je bil uporabljen program CROPWAT 8.0. CROPWAT je orodje za simulacijo potreb po vodi, ki so ga razvili na odseku za tla in vodo (Land and Water Development Division) pri Organizaciji Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (FAO, 2018a).

Gre za vodnobilančni program za simulacijo potreb rastlin po vodi in potreb po vodi za namakanje upošteva lastnosti tal, klime in rastline. Omogoča simulacijo namakanja upošteva različne pristope vodenja namakanja. S simulacijo potreb po vodi za namakanje je mogoče oblikovati urnik namakanja. Program omogoča simulacijo urnika namakanja za območje z več kulturami (Smith, 1992). Vodno bilanco tal s programom simuliramo na dnevni skali in predpostavki več različnih pristopov k vodenju namakanja.

S simulacijo za daljše obdobje v preteklosti (npr. 10 ali 30 letno obdobje) je mogoč vpogled v pričakovane potrebe po vodi za namakanje na določenem območju. Ta informacija pomaga pri odločitvah kot so dimenzioniranje namakalnega sistema, rezervaciji vodnega vira (ko zaprosimo za vodno dovoljenje), v kolikor se gradi nov vodni vir, npr. zadrževalnik, pa tudi pri dimenzioniranju letega. Potrebe po vodi za namakanje je mogoče simulirati tudi za prihodnje za pričakovane klimatološke pogoje (npr. višjo povprečno temperaturo zraka, in spremenjen vzorec in količino padavin). Primeren je za presojo ustreznosti namakanja, ki se izvaja v praksi, npr. na kmetijskem gospodarstvu in tako omogoča evalvacijo kmetove namakalne prakse. Program omogoča oceno pridelka gojene rastline pri različnih stopnjah razpoložljivosti vode v času vegetacije. Simulacije se izvajajo na lokalnih podatkih o tleh, klimi in rastlini.

Vhodni podatki za modelsko orodje so:

- dnevne padavine na letni ravni,
- referenčna evapotranspiracija,
- podatki o rastlini (jablana, trta in koruza),
- podatki o tleh,
- strategija namakanja: razpršilci za koruso in kapljično namakanje za jablo in trto.

Za posamezno kmetijsko kulturo je bila izračunana je bila dejanska potreba po vodi za namakanje (mm), ki predstavlja vsoto obdobjnega neto obrok namakanja (mm) in deficita vode v tleh po/v času spravila (mm) ter količino padavin, ki ostane v tleh po izgubi padavin zaradi preseganja vodnozadrževalnih lastnosti tal (odtok skozi talni profil) in padavin, ki presegajo infiltracijsko sposobnost tal (površinski odtok); ta količina padavin je enaka ekosistemski funkciji tal.

Izračuni kapacitete tal za zadrževanje rastlinam dostopne vode so bili pripravljene ločeno za tri kmetijske kulture, ki na njih lahko uspevajo: trta, nasad jablo in korusa. Za vsako kulturo in tri različno tipična leta (nadpovprečno mokro, srednje in nadpovprečno suho) smo izračunali dejansko potrebo po vodi za namakanje (mm), ki predstavlja vsoto obdobjnega neto obrok namakanja (mm) in deficita vode v tleh po/v času spravila (mm) ter količino padavin, ki ostane v tleh po izgubi padavin zaradi preseganja vodnozadrževalnih lastnosti tal (odtok skozi talni profil) in padavin, ki presegajo infiltracijsko sposobnost tal (površinski odtok); ta količina padavin zrcali EST zadrževanje vode in razpoložljivost rastlinam.

V treh preglednicah v nadaljevanju (Preglednica 15, Preglednica 16, Preglednica 17) so izračuni za izbrane kmetijske kulture. Zaradi primerjave talnih tipov med seboj, so izračuni narejeni za vse talne tipe, čeprav je znano, da pridelava posameznih kultur poteka samo na določenih talnih tipih. Pridelava vinske trte in jablove večinoma poteka na pedosekvenci na mehkih karbonatnih kamninah (evtrična rjava tla na flišu in evtrična rjava tla laporovcu), pridelava korusa pa na nekaterih talnih tipih

na pedosekvenci prodi in peski (evtrična rjava tla, distrična rjava tla, obrečna tla), pedosekvenci na glinah in ilovicah (obrečna tla globoko oglejena), na trdih karbonatnih podlagah (rjava pokarbonatna tla, rjava izprana tla).

Preglednica 15: Izračunane potrebe po vodi (mm), potrebe po vodi, ki jih zagotovijo tla in potrebe po vodi, ki jih lahko zagotovi namakanje za koruzo, na primeru treh modelnih let: A suho leto 1992, B srednje mokro leto 2013 in C mokro leto 2004. Talne tipe, kjer v največji meri poteka pridelava koruze smo obarvali sivo.

| Pedosekvenca | KORUZA | A | | | B | | | C | | |
|--------------|---|----------------------|---|--|----------------------|---|--|----------------------|---|--|
| | Talni tip | potrebe po vodi (mm) | potrebe po vodi, ki jih zagotovijo tla (mm) | potrebe po vodi, ki jih zadosti namakanje (mm) | potrebe po vodi (mm) | potrebe po vodi, ki jih zagotovijo tla (mm) | potrebe po vodi, ki jih zadosti namakanje (mm) | potrebe po vodi (mm) | potrebe po vodi, ki jih zagotovijo tla (mm) | potrebe po vodi, ki jih zadosti namakanje (mm) |
| 1 | Rendzina na apnencu | 344 | 94,2 | 249,9 | 356,8 | 58,6 | 298,2 | 311,3 | 69,8 | 241,5 |
| | Rendzina na dolomit | 344 | 94,2 | 249,9 | 356,8 | 58,6 | 298,2 | 311,3 | 69,8 | 241,5 |
| | Rjava pokarbonatna tla | 344 | 96,7 | 247,8 | 356,8 | 68,3 | 288,5 | 311,3 | 72,7 | 238,6 |
| | Rjava izprana tla | 344 | 111,1 | 233 | 356,8 | 62,5 | 294,3 | 311,3 | 120,6 | 190,7 |
| 2 | Evtrična rjava tla na flišu, karbonatna | 344 | 110,7 | 233,3 | 356,8 | 99,4 | 257,4 | 311,3 | 126,9 | 184,4 |
| | Evtrična rjava tla laporju | 344 | 112,3 | 231,7 | 356,8 | 105,2 | 251,6 | 311,3 | 128,2 | 183,1 |
| 3 | Ranker, distričen | 344 | 137,6 | 206,5 | 356,8 | 111,4 | 245,4 | 311,3 | 153,4 | 157,9 |
| | Distrična rjava tla | 344 | 137,6 | 206,5 | 356,8 | 130,1 | 226,7 | 311,3 | 153,4 | 157,9 |
| 4 | Rjava rendzina na produ, evtrična | 344 | 151,6 | 192,4 | 356,8 | 118,8 | 238 | 311,3 | 147,1 | 164,1 |
| | Evtrična rjava tla na produ | 344 | 164,9 | 179,2 | 356,8 | 152,3 | 231,5 | 311,3 | 163,5 | 147,8 |
| | Distrična rjava tla na produ | 344 | 175,3 | 168,8 | 356,8 | 112,9 | 243,9 | 311,3 | 169,6 | 141,7 |
| | Obrečna tla | 344 | 184,3 | 159,7 | 356,8 | 113,2 | 243,6 | 311,3 | 158,2 | 153,1 |
| | Obrečna tla, globoka | 344 | 180,3 | 163,8 | 356,8 | 141,5 | 215,4 | 311,3 | 175,4 | 135,6 |
| 5 | Amfiglej, distričen | 344 | 170 | 174 | 356,8 | 153,9 | 202,9 | 311,3 | 194,1 | 117,2 |
| | Hipoglej, evtričen | 344 | 185,3 | 158,8 | 356,8 | 164,7 | 192,1 | 311,3 | 261,4 | 49,9 |
| | Obrečna tla, globoko oglejena | 344 | 189 | 155 | 356,8 | 130,1 | 226,7 | 311,3 | 286,8 | 24,5 |

Preglednica 16: Izračunane potrebe po vodi (mm), potrebe po vodi, ki jih zagotovijo tla in potrebe po vodi, ki jih lahko zagotovi namakanje za trto, na primeru treh modelnih let: A suho leto 1992, B srednje mokro leto 2013 in C mokro leto 2004. Talne tipe, kjer v največji meri poteka pridelava trte smo obarvali sivo.

| Pedosekvenca | TRTA | A | | | B | | | C | | |
|--------------|---|----------------------|--|--|----------------------|---|--|----------------------|---|--|
| | Talni tip | potrebe po vodi (mm) | potrebe po vodi, ki jih zagotovijo tla(mm) | potrebe po vodi, ki jih zadosti namakanje (mm) | potrebe po vodi (mm) | potrebe po vodi, ki jih zagotovijo tla (mm) | potrebe po vodi, ki jih zadosti namakanje (mm) | potrebe po vodi (mm) | potrebe po vodi, ki jih zagotovijo tla (mm) | potrebe po vodi, ki jih zadosti namakanje (mm) |
| 1 | Rendzina na apnencu | 486,6 | 152,2 | 334,4 | 490,3 | 140,4 | 349,9 | 432,7 | 140,3 | 292,3 |
| | Rendzina na dolomit | 486,6 | 152,2 | 334,4 | 490,3 | 140,4 | 349,9 | 432,7 | 140,3 | 292,3 |
| | Rjava pokarbonatna tla | 486,6 | 153,9 | 332,7 | 490,3 | 148,7 | 341,6 | 432,7 | 144,5 | 288,2 |
| | Rjava izprana tla | 486,6 | 176,9 | 309,7 | 490,3 | 147,3 | 342,9 | 432,7 | 194,2 | 238,4 |
| 2 | Evtrična rjava tla na flišu, karbonatna | 486,6 | 228,3 | 258,3 | 490,3 | 199,8 | 290,5 | 432,7 | 252,2 | 180,5 |
| | Evtrična rjava tla laporju | 486,6 | 248,5 | 238,1 | 490,3 | 199,3 | 291 | 432,7 | 236,8 | 195,9 |
| 3 | Ranker, distričen | 486,6 | 353,4 | 133,2 | 490,3 | 285,2 | 205,1 | 432,7 | 431,6 | 1,1 |
| | Distrična rjava tla | 486,6 | 286,4 | 200,2 | 490,3 | 314,7 | 175,6 | 432,7 | 426,5 | 6,2 |
| 4 | Rjava rendzina na produ, evtrična | 486,6 | 271,7 | 214,9 | 490,3 | 297,1 | 193,2 | 432,7 | 415,8 | 16,9 |
| | Evtrična rjava tla na produ | 486,6 | 341,9 | 144,7 | 490,3 | 333,4 | 156,8 | 432,7 | 406,3 | 26,3 |
| | Distrična rjava tla na produ | 486,6 | 345,4 | 141,2 | 490,3 | 362,5 | 127,8 | 432,7 | 410,7 | 22 |
| | Obrečna tla | 486,6 | 303,3 | 183,3 | 490,3 | 320,4 | 169,9 | 432,7 | 501,5 | 0 |
| | Obrečna tla, globoka | 486,6 | 292,7 | 193,9 | 490,3 | 314,7 | 175,6 | 432,7 | 501,5 | 0 |
| 5 | Amfiglej, distričen | 486,6 | 285,2 | 201,4 | 490,3 | 309,3 | 181 | 432,7 | 501,5 | 0 |
| | Hipoglej, evtričen | 486,6 | 358,7 | 127,9 | 490,3 | 420 | 70,2 | 432,7 | 501,5 | 0 |
| | Obrečna tla, globoko oglejena | 486,6 | 361,3 | 125,3 | 490,3 | 399,7 | 90,5 | 432,7 | 501,5 | 0 |

Preglednica 17: Izračunane potrebe po vodi (mm), potrebe po vodi, ki jih zagotovijo tla in potrebe po vodi, ki jih lahko zagotovi namakanje za jablano, na primeru treh modelnih let: A suho leto 1992, B srednje mokro leto 2013 in C mokro leto 2004. Talne tipe, kjer v največji meri poteka pridelava jablane smo obarvali sivo.

| Pedosekvenca | JABLANA | A | | | B | | | C | | |
|--------------|---|----------------------|---|--|----------------------|---|--|----------------------|---|--|
| | Talni tip | potrebe po vodi (mm) | potrebe po vodi, ki jih zagotovi tla (mm) | potrebe po vodi, ki jih zadosti namakanje (mm) | potrebe po vodi (mm) | potrebe po vodi, ki jih zagotovi tla (mm) | potrebe po vodi, ki jih zadosti namakanje (mm) | potrebe po vodi (mm) | potrebe po vodi, ki jih zagotovi tla (mm) | potrebe po vodi, ki jih zadosti namakanje (mm) |
| 1 | Rendzina na apnencu | 486,6 | 152,2 | 334,4 | 490,3 | 140,4 | 349,9 | 432,7 | 140,3 | 292,3 |
| | Rendzina na dolomit | 486,6 | 152,2 | 334,4 | 490,3 | 140,4 | 349,9 | 432,7 | 140,3 | 292,3 |
| | Rjava pokarbonatna tla | 486,6 | 153,9 | 332,7 | 490,3 | 148,7 | 341,6 | 432,7 | 144,5 | 288,2 |
| | Rjava izprana tla | 486,6 | 176,9 | 309,7 | 490,3 | 147,3 | 342,9 | 432,7 | 194,2 | 238,4 |
| 2 | Evtrična rjava tla na flišu, karbonatna | 486,6 | 228,3 | 258,3 | 490,3 | 199,8 | 290,5 | 432,7 | 252,2 | 180,5 |
| | Evtrična rjava tla laporju | 486,6 | 248,5 | 238,1 | 490,3 | 199,3 | 291 | 432,7 | 236,8 | 195,9 |
| 3 | Ranker, distričen | 486,6 | 353,4 | 133,2 | 490,3 | 285,2 | 205,1 | 432,7 | 431,6 | 1,1 |
| | Distrična rjava tla | 486,6 | 286,4 | 200,2 | 490,3 | 314,7 | 175,6 | 432,7 | 426,5 | 6,2 |
| 4 | Rjava rendzina na produ, evtrična | 486,6 | 271,7 | 214,9 | 490,3 | 297,1 | 193,2 | 432,7 | 415,8 | 16,9 |
| | Evtrična rjava tla na produ | 486,6 | 341,9 | 144,7 | 490,3 | 333,4 | 156,8 | 432,7 | 406,3 | 26,3 |
| | Distrična rjava tla na produ | 486,6 | 345,4 | 141,2 | 490,3 | 362,5 | 127,8 | 432,7 | 410,7 | 22 |
| | Obrečna tla | 486,6 | 303,3 | 183,3 | 490,3 | 320,4 | 169,9 | 432,7 | 501,5 | 0 |
| | Obrečna tla, globoka | 486,6 | 292,7 | 193,9 | 490,3 | 314,7 | 175,6 | 432,7 | 501,5 | 0 |
| 5 | Amfiglej, distričen | 486,6 | 285,2 | 201,4 | 490,3 | 309,3 | 181 | 432,7 | 501,5 | 0 |
| | Hipoglej, evtričen | 486,6 | 358,7 | 127,9 | 490,3 | 420 | 70,2 | 432,7 | 501,5 | 0 |
| | Obrečna tla, globoko oglejena | 486,6 | 361,3 | 125,3 | 490,3 | 399,7 | 90,5 | 432,7 | 501,5 | 0 |

Ekonomska ocena sposobnosti tal za zadrževanje vode in razpoložljivost rastlinam

Sposobnost tal za zadrževanje vode v smislu EST so npr. raziskovali (Priha and Smolander 1999, Xu, Zhang in sod. 2015), ekonomsko pa so to korist ovrednotili Sandhu, Wratten in sod. (2008), Biao, Wenhua in sod. (2010), Fan, Henriksen in sod. (2016), Kibria, Behie in sod. (2017), Liu, Jiang in sod. (2017). Vrednotenje je bilo vedno opravljeno s stroškovnim pristopom, kjer so raziskave EST rastlinam razpoložljive vode ocenili na podlagi stroškov dovajanja vode z namakanjem, ki bi jo bilo

treba rastlinam dodati, če tla ne bi imela sposobnosti zadrževanja vode. Fan, Henriksen in sod. (2016) v višini 9,32 USD/t vode, Sandhu, Wratten in sod. (2008) v višini 33 USD/75 mm vode na hektar in Porter, Costanza in sod. (2009) v višini 20 USD/100 mm vode na hektar. Ti stroški se lahko med državami in regijami močno razlikujejo, nanje pa poleg očitnega dejavnika razpoložljivosti vodnih virov za namakanje vplivajo še (Pimentel, Houser in sod. 1997, Pintar 2006):

- stroški vzpostavitve in vzdrževanja namakalnega sistema,
- stroški dela pri upravljanju z namakalnim sistemom,
- stroški energije za črpanje vode,
- okoljske dajatve.

Pimentel, Houser in sod. (1997), Allen, Pereira in sod. (1998) sta dve pogosto citirani raziskavi, ki te dejavnike podrobneje obravnavata in dokazujeta, da stroški dovajanja vode posevkom niso zanemarljivi, namakanje lahko povzroča prevelike odvzeme vode iz bodisi podtalnih vodonosnikov bodisi površinskih voda in lahko hkrati vodi v zaslanjevanje tal ter večje izpiranje hranil. Potrebno je upoštevati tudi učinkovitost namakanja, saj del dovedene vode izhlapi, del pa bodisi površinsko bodisi horizontalno odteče, ne da bo jo lahko korenine sprejele – 8-40% (Pintar 2006). Ravno zato je sposobnost tal, da del padavinske vode zadržijo in je ta na voljo rastlinam, ključna lastnost, ki pri kmetovanju prinaša velike koristi. Ekonomska ocena EST zadrževanja vode torej temelji na količini vode, ki jo tla zadržijo in je rastlinam na razpolago za rast. Manjša kot je ta sposobnost, manjša je vrednost te EST, saj je potrebno več vode nadomestiti z namakanjem, da zagotovimo neprekinjeno ugodne pogoje za rast.

Povzemajoč pretekle sorodne raziskave in tu nanizana izhodišča je mogoče opredeliti splošni obrazec za ekonomsko vrednotenje te EST:

$$V_{EST\ zv} = \frac{Q_{zv} \times C_{ns}}{A}$$

kjer je $V_{EST\ zv}$ vrednost EST zadrževanja vode [EUR/ha leto]; Q_{zv} količina v tleh zadržane in rastlinam razpoložljive vode [m^3 /leto]; C_{ns} stroški namakanja (vzpostavitev in vzdrževanje, delo, energija, dajatve (cena vode) in prispevki) [EUR/l]; A površina zemljišča [ha].

Za izračun ocene ekonomske vrednosti EST rastlinam dostopna voda smo uporabili podatke biofizikalnega ovrednotenja [R3.1], in sicer za iste talne vzorce petih pedosekvenc in iste tri kulture na njih: trta, nasad jablan in koruza. Hkrati smo izračune pripravili za razmere v letu za nadpovprečnimi, povprečnimi in podpovprečnimi padavinami. V skladu s stroškovnim pristopom izračuna ekonomske vrednosti smo uporabili tudi podatke o stroških (Preglednica 18).

Preglednica 18: Privzeti letni stroški namakanja različnih kultur za izračun ekonomske vrednosti EST zadrževanje in prevajane vode (rastlinam dostopna voda in blaženje suše)

| Stroški | Koruza | Jablana | Trta |
|--|--------|---------|--------|
| Vodno povračilo [EUR/ m^3] | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 |
| Energija za črpanje [EUR/ m^3] | 0,0900 | 0,0675 | 0,0675 |
| Vzdrževanje, zavarovanje, delo [EUR/ha leto pri 1000 m^3 /ha leto] | 20 | 20 | 20 |
| Amortizacija [EUR/ha leto] | 533,3 | 866,7 | 866,7 |

Podatki o stroških so privzeti po pavšalnih informacijah kmetijske svetovalne službe⁸⁹¹⁰, ki nudi usmeritve za načrtovanje namakalnega sistema. V primeru razpoložljivosti podatkov za točno določene razmere bi lahko uporabili te in na tak način izračunali ekonomsko vrednost EST za izbrano pilotno zemljišče ali širše območje.

V nadaljevanju so prikazani izračuni ekonomske vrednosti (Slika 6, Slika 7, Slika 8) za vse tri obravnavane kulture na petih pedosekvencah, in sicer v obliki letne vrednosti EST in neto sedanje vrednosti EST za obdobje 15 let ob obrestni meri 3 %. Časovno obdobje se predvidoma ujema z življenjsko dobo namakalnega sistema, kljub dejstvu, da je to obdobje mogoče podaljšati s primernim vzdrževanjem. To je posplošeno izhodišče. Obrestna mera je ravno tako privzeta po priporočilih Svetovne banke, saj naj bi se letne obrestne mere za okoljske raziskave gibale med 2-5 %.

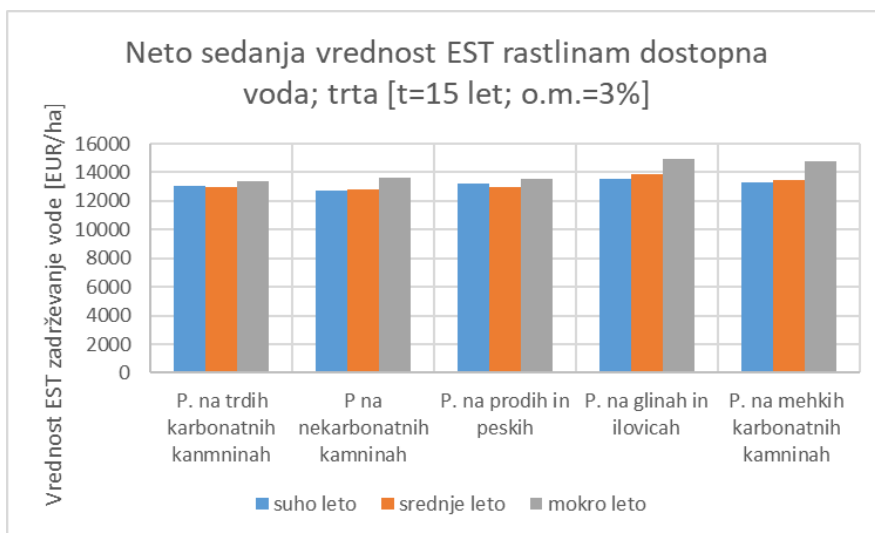
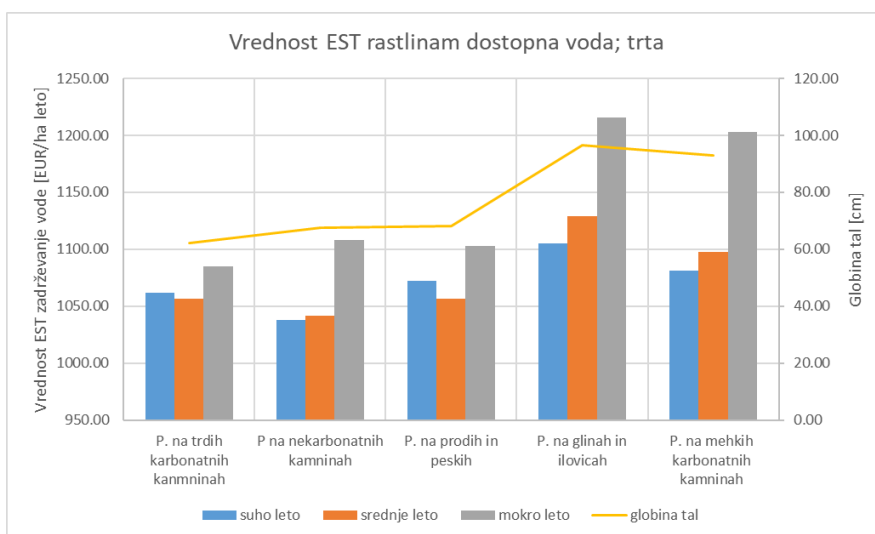
Očitno je, da kmetijska kultura vpliva na letne vrednosti EST, predvsem preko globine koreninjenja, ki povečuje rastlinam dostopno vodo, saj rastlina tako lahko izkoristi vodo tudi nižje v tleh kar povečuje celotno količino izkoristljive vode. Pri trti in jablani so vrednosti EST višje kot pri koruzi.

V kontekstu različnih pedosekvenc je vzorec podoben saj lahko globlja tla v splošnem zadržijo več vode kot plitkejša in je zato razpoložljivost vode v takih tleh praviloma večja. Zato so ekonomske vrednosti EST višje pri globljih tleh.

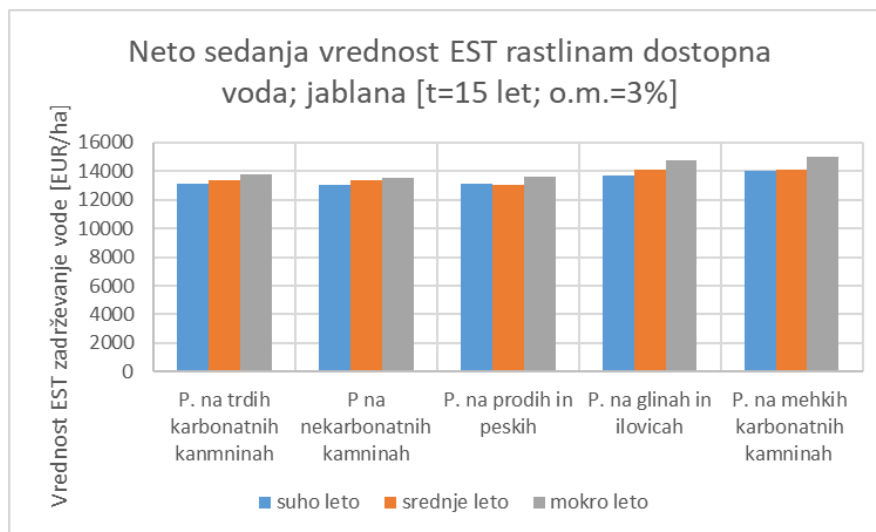
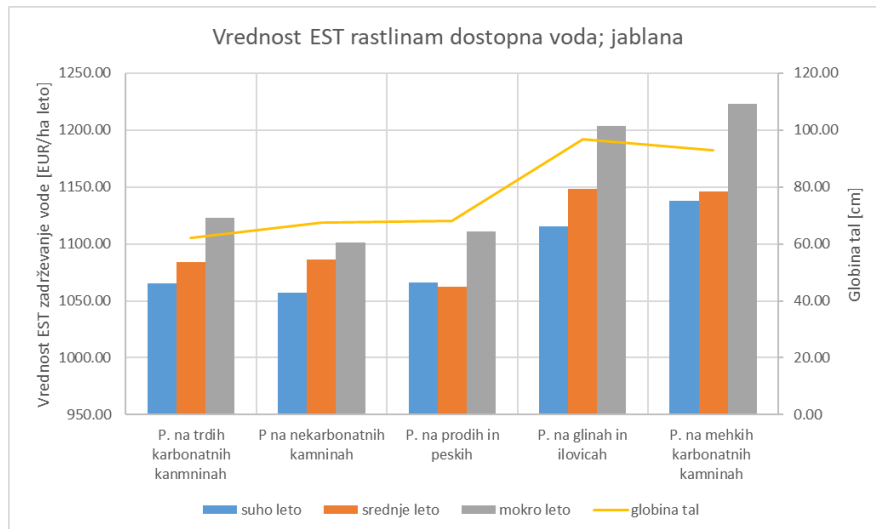
⁸ <https://www.kgz-ptuj.si/nasveti/agrarna-ekonomika/ArtMID/812/ArticleID/974>

⁹ https://www.kgzs.si/uploads/dokumenti/strokovna_gradiva/tehnoloska_navodila_koncna_16.12.2020.pdf

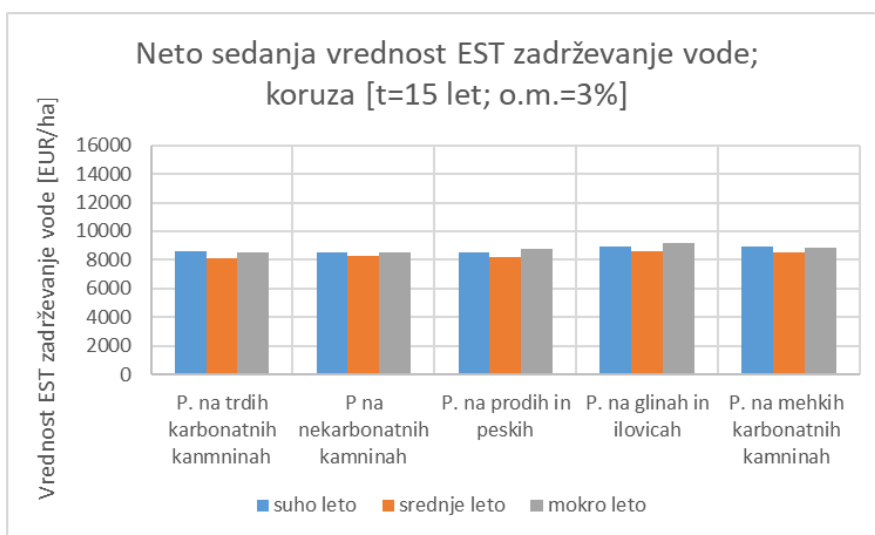
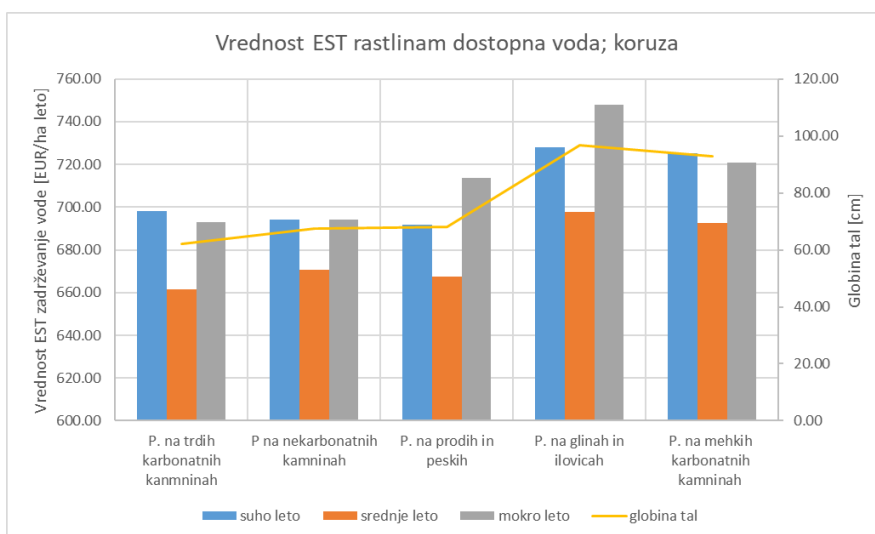
¹⁰ <https://www.kgz-ptuj.si/Portals/0/dopisi%20linki/OBVEZNOSTI%20IZ%20VD%20ZA%20NAMAKANJE.pdf?ver=2019-11-04-133225-560>



Slika 6: Rezultati ekonomskega ovrednotenja EST zadrževanje vode in razpoložljivost rastlinam (rastlinam dostopna voda in blaženje suše) za kulturo trte. Ocene so izražene kot (1) letne vrednosti [EUR/leto ha] in kot (2) neto sedanja vrednost za 15-letno obdobje pri 3% diskontni stopnji [EUR/ha]. Rezultati so prikazani po pedosekvencah.



Slika 7: Rezultati ekonomskega ovrednotenja EST zadrževanje vode in razpoložljivost rastlinam (rastlinam dostopna voda in blaženje suše) za kulturo jabolane. Ocene so izražene kot (1) letne vrednosti [EUR/leto ha] in kot (2) neto sedanja vrednost za 15-letno obdobje pri 3% diskontni stopnji [EUR/ha]. Rezultati so prikazani po pedosekvencah.



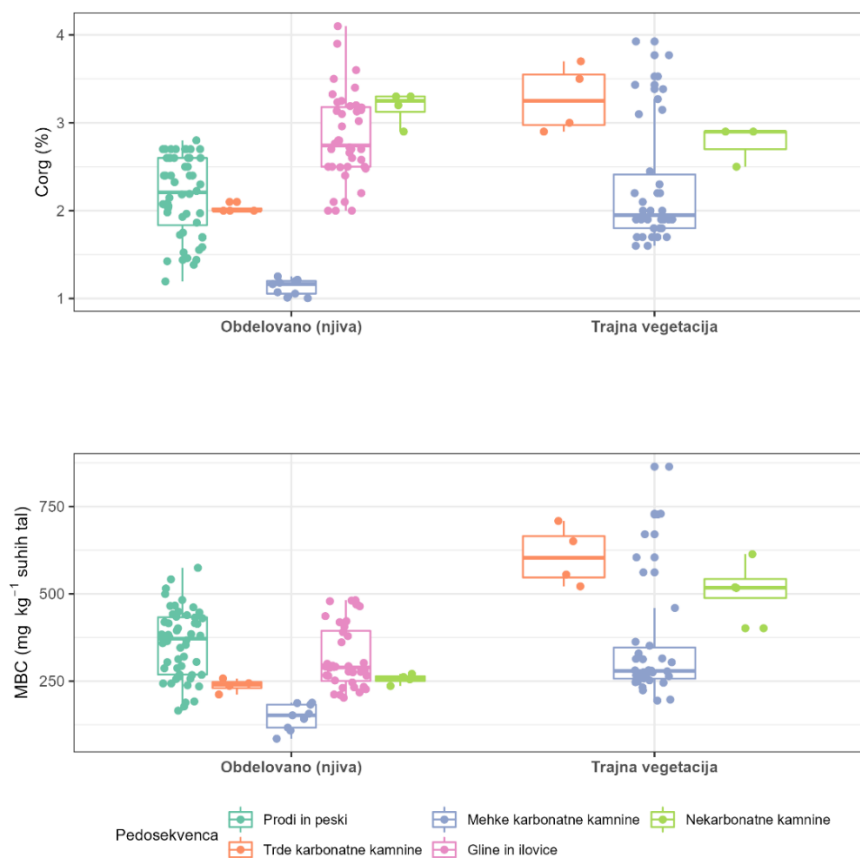
Slika 8: Rezultati ekonomskega ovrednotenja EST zadrževanje vode in razpoložljivost rastlinam (rastlinam dostopna voda in blaženje suše) za kulturo koroze. Ocene so izražene kot (1) letne vrednosti [EUR/leto ha] in kot (2) neto sedanja vrednost za 15-letno obdobje pri 3% diskontni stopnji [EUR/ha]. Rezultati so prikazani po pedosekvencah.

Biotska raznovrstnost tal

Biotska pestrost tal ni bila obravnavana kot ostale tri EST, ker tudi ta vidik v aktualni različici mednarodne klasifikacije ES (CICES) ni več obravnavana kot ES, temveč je izvzeta kot lastnosti ekosistemov, ki pa je ključna za obstoj oziroma je pogoj za razpoložljivost ES. V kontekstu tleh velja enak konceptualni pristop. V tem kontekstu je biotska pestrost tal izjemno pomemben element tudi kot dejavnik skoraj vseh ostalih EST, saj je pogoj za aktivno in trajno potekanje številnih funkcij tal.

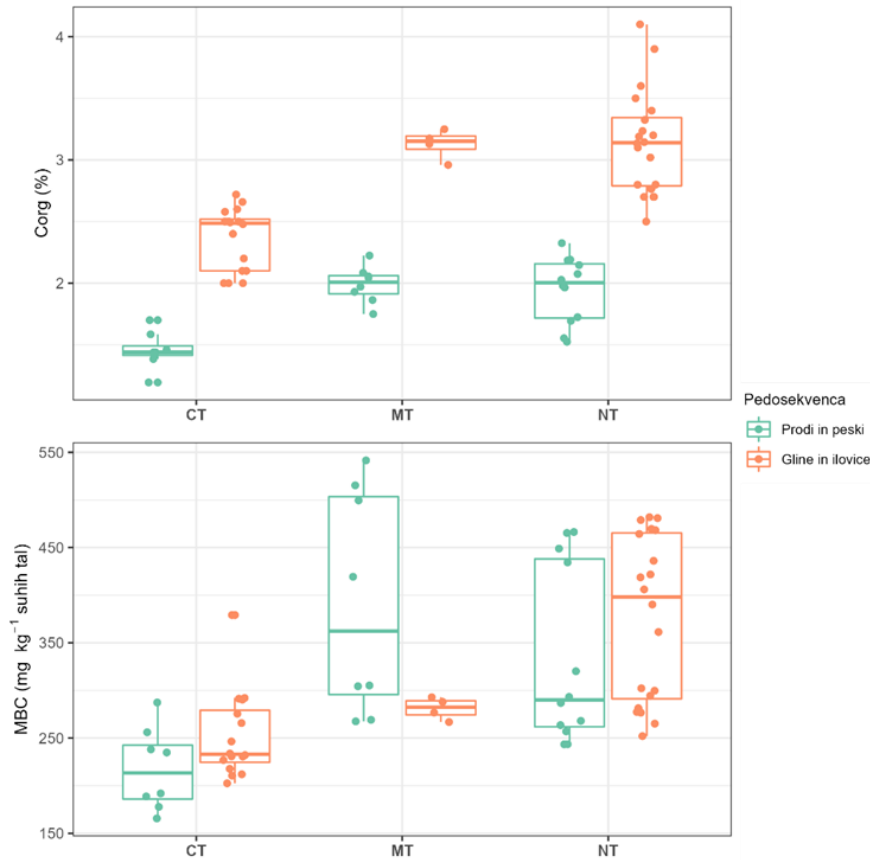
V tej raziskavi je bila biotska pestrost obravnavana le za en talni tip v pedosekvenci in sicer v vseh primerih iz razreda kambičnih tal. Prav tako je bil iz množice biotskih kazalnikov izbran le eden (mikrobno biomaso) in je prikazan skupaj z vsebnostjo organske snovi. Omenjena kazalnika sta namreč prepoznana kot ena izmed najpomembnejših v svoji skupini kazalnikov (Bunneman s sodelavci 2018). Med kemijskimi je to vsebnost skupnega organskega ogljika (Corg), med biotskimi pa mikrobna biomasa oz. mikrobni biomasni ogljik (MBC). Kot približek MBC smo ponekod uporabili skupno ekstrahirano DNA (Fornasier in sod. 2014). Za ponazoritev kompleksnosti spremljanja biotskih kazalnikov kakovosti tal smo v nekatere prikaze, poleg rezultatov analiz izvedenih za namen tega projekta, vključili tudi rezultate nekaterih preteklih raziskav.

Rezultati kažejo, da so lahko znotraj iste pedosekvence in rabe tal veliki razponi tako v vsebnosti organske snovi kot mikrobne biomase (Slika 9). Ugotovimo lahko tudi povezanost obeh kazalnikov ne glede na pedosekvenco ali rabo tal (Slika 9). Kjer lahko primerjamo pedosekvence glede na rabo, lahko ugotovimo večje vsebnosti obeh kazalnikov (Corg in MBC) v trajni vegetaciji (travnik ali zatravljen medvrstni prostor) v primerjavi z obdelovanimi tlemi (njiva ali obdelovan medvrstni prostor).

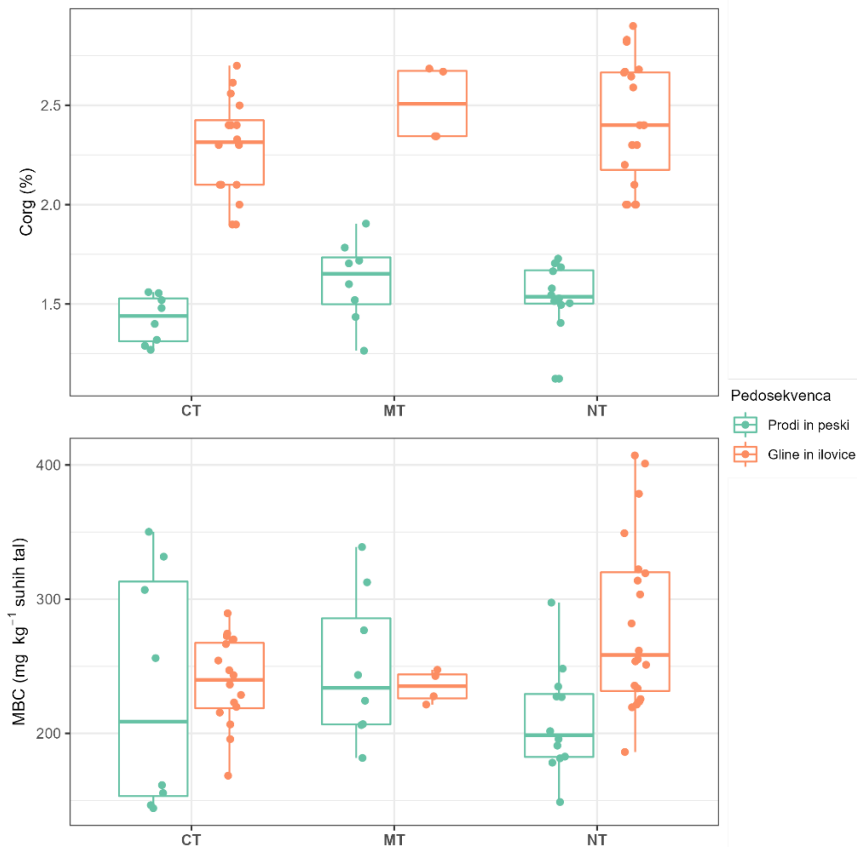


Slika 9: Prikaz odvisnosti organskega ogljika (Corg) (zgoraj) ter mikrobnega biomasnega ogljika (MBC) (spodaj) od rabe tal v različnih pedosekvencah

Za tla na glinah in ilovicah je znano, da lahko vežejo večjo količino Corg v primerjavi s tlemi na prodih in peskih, kar potrjujejo tudi naši rezultati (Slika 10 in Slika 11 (zgoraj)). Razlog za to so glineni minerali, ki vežejo organski ogljik ter ga stabilizirajo v organo-mineralne komplekse. Ne glede na medsebojno povezanost talnega organskega ogljika in mikrobnega ogljika pa je vpliv teksture na mikrobnega ogljika manjši (Slika 10 in Slika 11 (spodaj)). V zgornji globini tal je opazen izrazit vpliv obdelave tal tako na Corg kot na mikrobnega C (Slika 2), in sicer je, ne glede na teksturo, povečana vsebnost obeh pri zmanjšanih intenzitetah obdelave (MT in NT) v primerjavi z oranimi tlemi (CT). Na spodnji 10-20 cm globini ugotavljamo podoben trend za Corg, medtem ko ni vidnih razlik med obdelavami na nivoju mikrobnega ogljika (Slika 11).

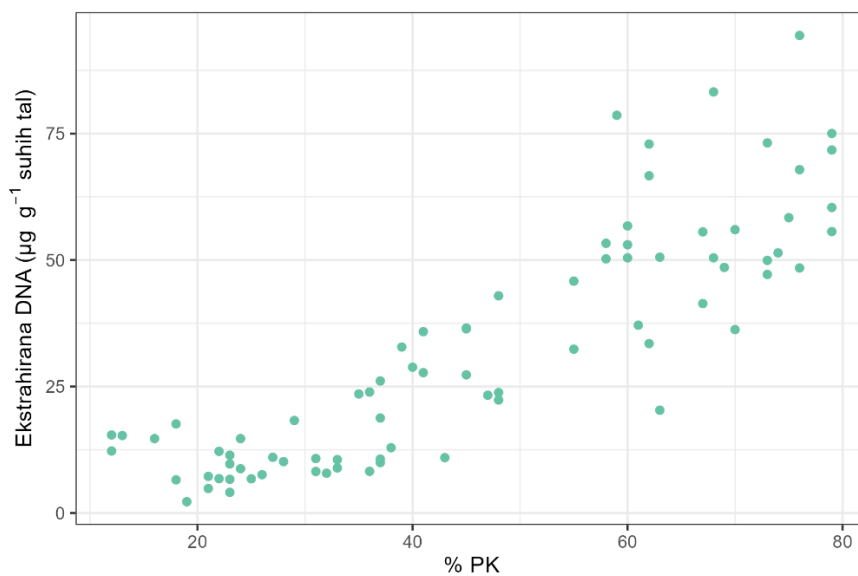


Slika 10: Prikaz odvisnosti organskega ogljika (Corg) (zgoraj) ter mikrobnega biomasnega ogljika (MBC) (spodaj) od različnih intenzitet obdelave njivskih tal v zgornjih 0-10 cm pri pedosekvencama prodi in peski ter gline in ilovice. Predstavljene so obdelave CT (konvencionalno oranje), MT (minimalna obdelava do 15 cm brez obračanja tal) ter NT (direktna setev ali no-till)



Slika 11: Prikaz odvisnosti organskega ogljika (Corg) (zgoraj) ter mikrobnega biomasnega ogljika (MBC) (spodaj) od različnih intenzitet obdelave njivskih tal v spodnjih 10-20 cm pri pedosekvencah prodi in peski ter gline in ilovice. Predstavljene so obdelave CT (konvencionalno oranje), MT (minimalna obdelava do 15 cm brez obračanja tal) ter NT (direktna setev ali no-till)

Poudariti velja, da ima lahko sezonska variabilnost vremenskih razmer v tleh velik vpliv na biotske kazalnike. Na primer, mikrobnna biomasa je povezana z vsebnostjo vode v tleh. S povečevanjem vsebnosti vode v tleh narašča tudi velikost mikrobnne biomase, ocenjene s skupno ekstrahirano DNA (Slika 4). Pomembno je poudariti, da so analize izvedene v tleh istega polja v isti rastni sezoni, mikrobi pa so se na vodne razmere v tleh zelo hitro odzivali, tako na sušo kot na ponovno vlaženje tal s padavinami.

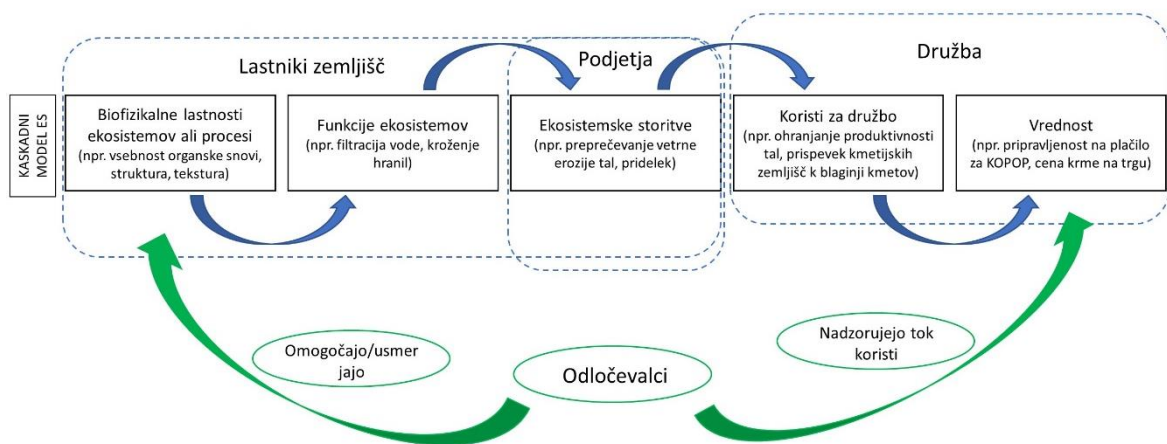


Slika 12: Odvisnost skupne ekstrahirane DNA iz tal od vsebnosti vode v tleh (izražene v % poljske kapacitete)

Ključni sklep tega dela raziskave je, da bi bilo zaradi velike raznovrstnosti tal v kombinaciji z različnimi rabami tal za vrednotenje kakovosti tal in posledično tudi EST v slovenskem prostoru potrebno dolgoletno spremljanje biotske pestrosti tal. Tako bi bilo mogoče pridobiti nize podatkov za posamezne kombinacije tal, klime in rabe tal, ki bi omogočali določitev referenčnih vrednosti ter s tem možno interpretacijo rezultatov posameznih kazalnikov.

Javnomnenjska raziskava o poznavanju EST ter preferencah za njihovo ohranjanje in krepitev

Raziskava preferenc javnosti do EST in kako naj se upravljanje z njimi v prihodnje spremeni je razširitev izvirnega programa projekta Ovrednotenje ekosistemskih storitev tal v kmetijski rabi. Sprva je bila predvideno le ovrednotenje EST v smislu kapacitete tal, da zagotavljajo storitve, ne pa tudi vidik mnenja javnosti o njih, ki lahko posredno zrcali povpraševanje po EST oziroma koristi, ki jih prinašajo. Ta vidik se umešča v kaskadni model ES, ki je bil ravno v tem projektu razširjen (izdelka R1.1 in R4.2) na pet kaskad (dodan element vrednosti), hkrati, pa so vanj umeščeni tudi deležniki, ki so ključni za neprekinjeno povezavo med ekosistemi (oziroma tlemi v kmetijski rabi), ekosistemskimi storitvami in koristniki (Slika 13). Javnomnenjska raziskava torej zajema predvsem zadnji dve kaskadi modela.



Slika 13: Kaskadni model (prilagojen za projekt Ovrednotenje ekosistemskih storitev tal v kmetijski rabi)

Zasnova vprašalnika

Vprašalnik je bil zasnovan z različnimi tipi vprašanj: izbirna vprašanja z vnaprej ponujenimi možnostmi, vprašanja z rangi pomembnosti, izklicna vprašanja o pripravljenosti na plačilo (kontingenčno vrednotenje). Po vsebini so bila vprašanja strnjena v štiri sklope:

1. poznavanje koncepta EST ter odnosu do posameznih EST v smislu pomembnosti;
2. preference do spremenjenega režima rabe kmetijskih zemljišč v kontekstu preprečevanja degradacije in krepitev EST vezava atmosferskega ogljika v tleh in pronicanje padavinske vode v podtalje (kontingenčno vrednotenje);
3. vključenost v kmetijsko obdelavo tal;
4. socio-demografske lastnosti.

Javnomnenjska raziskava je bila izvedena na reprezentativnem vzorcu (N=622) polnoletnih prebivalcev Slovenije, ki ga je na spletnem panelu respondentov opravila agencija za opravljanje javnomnenjskih raziskav. Analitični okvir obravnave odgovorov je podrobneje predstavljen v izdelku R4.3. Sklop vprašanj, ki so bila zasnovana v formatu kontingenčnega vrednotenja, so zajemala tri scenarije spremenjenih režimov upravljanja s kmetijskimi tlemi:

- zaviranje pozidave kmetijskih zemljišč,
- krepitev EST vezava ogljika v tleh,
- krepitev EST prečiščevanje vode in njeno prevajanje v podtalje (napajanje vodonosnika).

Vsi trije scenariji med seboj niso neposredno primerljivi v smislu obravnave posameznih EST, saj je prvi opredeljen veliko bolj splošno, ker pozidava oslabi oziroma popolnoma izniči razpoložljivost

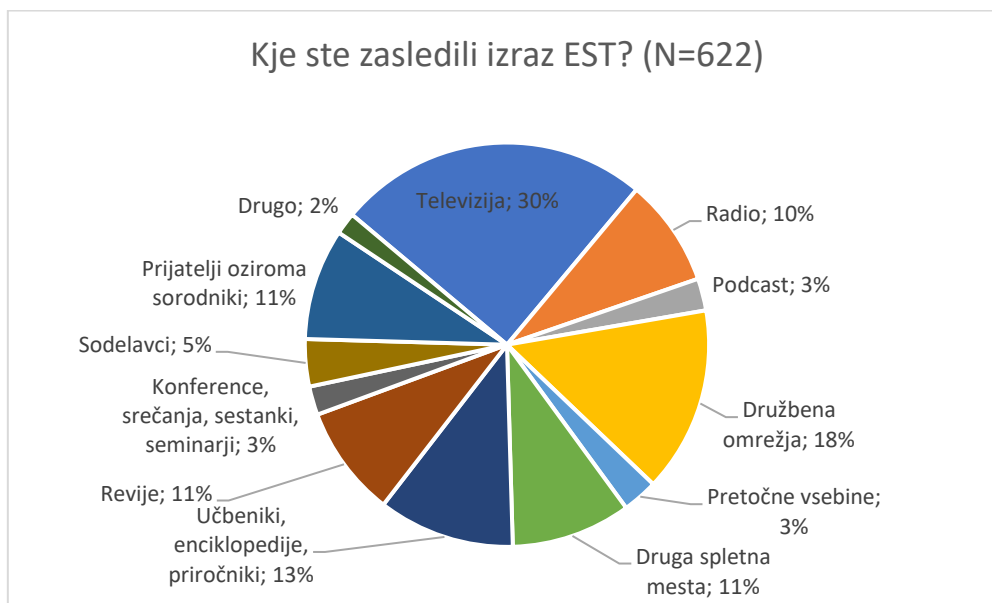
skoraj vseh EST, medtem ko sta drugi in tretji scenarij omejena na posamezno EST. Razlika med njimi je tudi v tem, da prvi obravnava problematiko varstva tal in ohranjanja obstoječih EST, drugi in tretji pa sta osredotočena na krepitev trenutne razpoložljivosti EST, torej predvidevata izboljšanje trenutnega stanja.

Razlogi za izbiro teh scenarijev so: (1) problematika pozidave zrcali eno ključnih izhodišč relevantnosti pričujoče raziskave, kar predstavlja enega najpomembnejših delavnikov degradacije tal; (2) krepitev kapacitete tal za vezavo atmosferskega ogljika je vključeno kot komplementarno vrednotenje na podlagi družbene cene (stroška) ogljika; (3) krepitev kapacitete tal za prečiščevanje vode in njeno prevajanje v podtalje pa je dodaten vidik EST sposobnost tal za zadrževanje in prevajanje vode, ki v stroškovni pristop vrednotenja ni bil vključen in je za javnomnenjsko raziskavo bolj primeren, ker je splošni javnosti problemsko bližje.

Rezultati javnomnenjske raziskave

Poznavanje izraza ekosistemske storitve tal je morda na nepričakovano visoki ravni, saj je več kot polovica (53 %) anketirancev odgovorila, da je za EST že slišala. Verjetno je delež anketirancev, ki so že slišali prav za izraz EST manjši, vendar ker so bile te v uvodnem besedilu vprašalnika opredeljene kot dobrine in storitve to pomeni, da je bila kontekst percepcije izraza EST posplošen, zato so anketiranci lažje našli praktičen primer EST iz vsakodnevnega življenja, kot je npr. hrana. Delež pritrilnih odgovorov je zato višji.

Vir te informacije (vsak je lahko označil več možnosti) je v največ primerih televizija (skoraj tretjina anketirancev), nato družbena omrežja (skoraj petina), sledijo učbeniki, enciklopedije in priročniki (dobra desetina), ostale je označila približno desetina anketirancev ali manj.



Pri označevanju katere od naštetih koristi narave so neločljivo povezane s tlemi in so EST, so anketiranci precej konsistentno pritrilno odgovarjali in večkrat označili tiste EST, ki so v resnici bolj očitno povezave s tlemi. V približno več kot 90 % so anketiranci kot EST označili kmetijsko pridelavo, rast lesa, pitno vodo, vir mineralov in geotermalno energije. Tudi pri označevanju pomembnosti EST za družbo so prve tri v več kot 90 % opredelili za bodisi pomembne ali zelo pomembne, vir termalne energije v malo manjšem deležu.

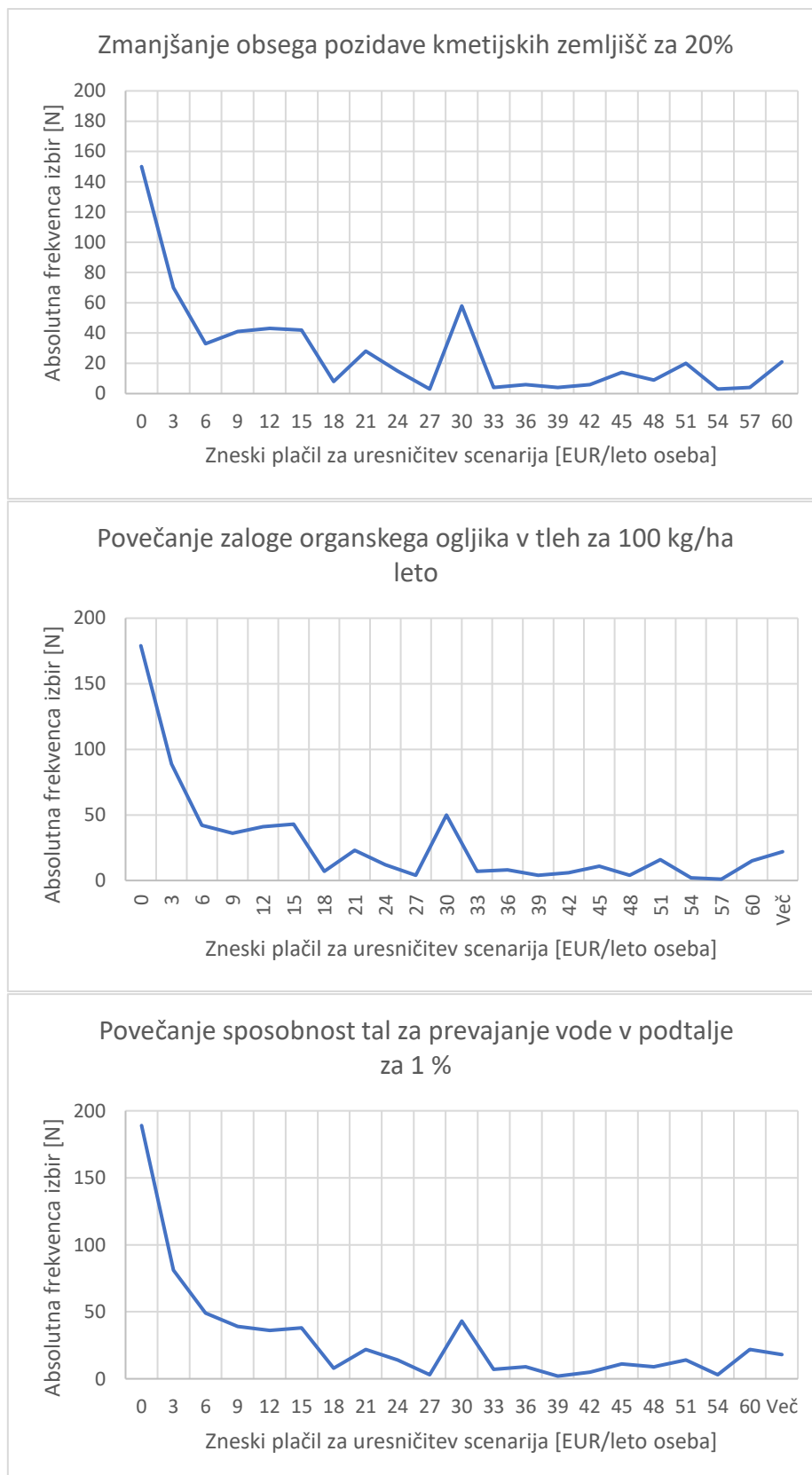
So pa anketiranci najmanjkrat označili, da so tla pomemben oziroma zelo pomemben vir prostora za gradnjo stavb in infrastrukture, ker verjetno zrcali mnenje, da naj ima ta raba kmetijskih zemljišč najnižjo prioriteto. Tudi relativno visok delež tistih, ki so označili, da je ta korist bodisi nepomembna bodisi sploh nepomembna (6,9 %) odraža enako sporočilo.

Preglednica 19: Deleži odgovorov na vprašanji, katere koristi narave so neločljivo povezane s tlemi (DA) in kako pomembne so te koristi za družbo (5-stopnjeska lestvica) [N=622]

| Koristi narave | DA | sploh ni pomembno | ni pomembno | niti pomembno niti nepomembno | pomembno | zelo pomembno |
|---|-------|-------------------|-------------|-------------------------------|----------|---------------|
| Kmetijska pridelava hrane in surovin | 98,6% | 0,5% | 1,4% | 4,2% | 26,7% | 67,2% |
| Rast lesa v gozdu | 98,6% | 0,3% | 0,5% | 4,5% | 27,7% | 67,0% |
| Pitna voda (podtalnica) | 96,5% | 0,0% | 0,3% | 2,9% | 14,5% | 82,3% |
| Prostor za gradnjo stavb in infrastr. | 64,5% | 1,3% | 5,6% | 28,6% | 38,6% | 25,9% |
| Vir mineralnih surovin in virov energije | 92,4% | 0,6% | 1,6% | 9,5% | 45,0% | 43,2% |
| Geotermalna energija | 89,4% | 0,6% | 2,7% | 17,0% | 43,2% | 36,3% |
| Zadrževanje onesnažil iz zraka in vode | 66,1% | 0,8% | 1,4% | 11,7% | 36,0% | 50,0% |
| Zadrževanje vode in blaženje posledic poplav | 83,8% | 0,5% | 1,8% | 9,5% | 35,0% | 53,2% |
| Uravnavanje populacij škodljivcev in zaviranje bolezni | 66,1% | 0,6% | 2,4% | 12,1% | 41,5% | 43,4% |
| Skladiščenje ogljika v tleh | 58,8% | 0,8% | 4,8% | 17,5% | 44,1% | 32,8% |
| Uravnavanje lokalne klime (temperatura, vlažnost zraka) | 66,4% | 1,1% | 2,3% | 13,3% | 41,6% | 41,6% |
| Blaženje hrupa | 45,5% | 1,4% | 3,9% | 19,6% | 43,7% | 31,4% |
| Možnosti za rekreacijo na prostem | 67,0% | 0,8% | 2,3% | 16,9% | 41,0% | 39,1% |
| Raziskovanje in izobraževanja o naravi | 67,8% | 0,5% | 1,6% | 15,3% | 44,2% | 38,4% |
| Duhovni in simbolni pomen narave | 63,0% | 2,9% | 5,9% | 21,1% | 37,9% | 32,2% |

Pri kontingenčnem vrednotenju smo za vse scenarije spremenjenih režimov upravljanja s kmetijskimi tlemi uporabili enako lestvico zneskov hipotetičnih plačil od 0 do 60 EUR/leto oseba in dodali možnost 'več'. Za izbire posameznih vrednosti smo za vse tri scenarije prikazali porazdelitve izbir in izračunali temeljne statistike.

Porazdelitve frekvenc izbir posameznih zneskov plačil za uresničitev posameznega scenarija so izrazito desno asimetrične, torej višje frekvence pri nižjih plačilih in nižje pri višjih (Slika 14). Hkrati je pri vseh porazdelitvah očiten vrh pri vrednosti 30 EUR/leto oseba.



Slika 14: Frekvenčna porazdelitev anketirancevih izbir posameznih vrednosti plačil (pripravljenost na plačilo)

Nadaljnja analiza je pokazala, da sta obe srednji vrednosti pripravljenosti na plačilo za scenarij zaviranja pozidave višji (19,88 oziroma 15,00 EUR/leto oseba) kot za krepitev vezave ogljika v tleh in napajanje vodonosnika, sicer ne za veliko, pa vendar. Preference za uresničitev tega scenarija so torej

višje kot za ostala dva kar pomeni, da ima ta scenarij pri javnosti prioriteto. To je verjetno pričakovano, saj je bil ravno ta v smislu bližine problematike splošni javnosti res najbližji, ker se skoraj vsakdo s pozidavo sreča vsaj nekajkrat. Izzivi bilance toplogrednih plinov so ljudem manj očitni (tudi arti. sred. PNP je najnižja), podobno velja za vlogo tal pri prevajanju vode v podtalje (arti. sred. PNP je malenkost višja).

Preglednica 20: Statistike pripravljenosti na plačilo za vse tri scenarije sprememb upravljanja s kmetijskimi zemljišči

| Scenarij | Zaviranje pozidave kmetijskih zemljišč | Krepitev vezave ogljika v tleh | Krepitev prečiščevanje vode in njeno prevajanje v podtalje (napajanje vodonosnika) |
|--------------------------------------|--|--------------------------------|--|
| Mediana (PNP) | 15,00 | 12,00 | 12,00 |
| Aritmetična sredina (PNP) | 19,88 | 16,69 | 17,23 |
| Neodvisne spremen. [β (s.e.)] | Regresijski model (PNP=odvisna spremenljivka) | | |
| Starost | -0,11* (0,05) | - | - |
| Spol | - | - | - |
| Izobrazba | - | - | - |
| Konstanta | 25,28*** (2,69) | - | - |
| Protestni odgovori [n (% od N)] | 99 (15,9 %) | 118 (19,0 %) | 128 (20,6 %) |
| Biasni odgovori [n (% od N)] | 14 (2,3 %) | 4 (0,6 %) | 2 (0,3 %) |

Porazdelitev PNP smo obravnavali tudi v smislu odvisnosti (korelacije) od anketirančevih socio-demografskih lastnosti in za vsak scenarij prilagodili preprost linearnih regresijski model. Le v primeru PNP za zaviranje pozidave smo ugotovili, da obstaja statistično značilna povezava s starostjo. PNP pada s starostjo anketiranca, torej starejši so hipotetično pripravljeno plačati manj za zaviranje pozidave kmetijskih zemljišč. Pri ostalih scenarijih se za statistično značilen prediktor ni izkazala nobena od treh uporabljenih spremenljivk – socio-demografske značilnosti. Tudi delež protestnih odgovorov je najnižji pri zaviranju pozidave, kar ravno tako zrcali pomembnost problematike za družbo.

Pregled predlaganih biofizikalnih izhodišč posameznih EST in metod ekonomskega vrednotenja EST

Poleg analitičnega pristopa ovrednotenja treh EST v pred-prejšnjem poglavju, kjer so opredeljena izhodišča vrednotenja EST, ključni biofizikalni parametri, kazalnik ekonomske vrednosti in metoda ocene kazalnika smo pripravili pregled teh ključnih informacij tudi za ostale EST (Preglednica 7). Ta pregled omogoča odločevalcem izbrati najprimernejši empirični okvir ekonomskega ovrednotenja izbrane EST. Pregled deloma temelji na preteklih raziskavah, pretežni del pa je nastal v tem projektu. Pretekle pregledne raziskave so namreč v tem kontekstu običajno skromne in podajajo predloge za najprimernejšo metodo vrednotenja bodisi zelo splošno, le z navedbo metode, bodisi le za nekaj EST. Podrobnejša izhodišča za vrednotenje so vedno zelo okvirno opredeljena.

V izhodiščih in parametrih kvantifikacije EST so pri nekaterih EST zajeti tudi elementi, ki zrcalijo vložek človeka – energija, delo, ... Predvsem pri nekaterih oskrbovalnih EST je očitno, da brez človekovega posredovanja ne morejo obstajati – hrana, surovine ... To pojasnjuje koncept t.i. *co-produced ecosystem services* (CpES), ki sicer ločuje med ES, ki nastajajo v okviru eko-fizioloških procesov v ekosistemih neodvisno od človeka in tistimi, kjer je potrebno aktivno delovanje človeka. To lahko zrcali tudi nekonsistentnost CICES klasifikacije ES, saj ta neposredno ne ločuje med temeljnimi elementi kaskadnega modela: razpoložljivost (zaloga) – raba (tok) – povpraševanje (koristi). V primeru CpES bi bilo treba klasifikacijo ES razširiti in predvsem v kontekstu kazalnikov za ovrednotenje ES kaskado razpoložljivosti ločiti na dve pod-kaskadi. Na tisto, ki (1) temelji na stanju eko-fizioloških procesov v ekosistemih in zrcali kapaciteto ekosistemov, ter tisto, ki (2) je posledica kapacitete ekosistemov in hkratnega vložka človeka v obliki energije, dela in surovin.

Preglednica 21: Opis izhodišč ovrednotenja posameznih EST, parametri biofizikalnega ovrednotenja, ter kazalnik ekonomske vrednosti EST in metoda za oceno kazalnika ekonomske vrednosti EST. (delno prilagojeno po Dominati, Mackay in sod. (2014), Jónsson and Davíðsdóttir (2016), Greiner, Keller in sod. (2017), Drobnik, Greiner in sod. (2018), delno rezultat te raziskave)

| CICES kategorija ES | Ekosistemska storitev tal | Izhodišča vrednotenja EST | Parametri biofizikalne kvantifikacije EST | Kazalnik ekonomske vrednosti EST | Metoda ekonomskega vrednotenja EST |
|----------------------|---|--|---|--|---|
| Oskrbovalne storitve | Biokemijske snovi in farmacevtske učinkovine | Pestrost talne biote ustvarja potencial za raznolike metabolite | Raznovrstnost talne biote, razpoložljivost metabolitov | Vrednost biokemijskih snovi in farmacevtskih učinkovin [EUR/ha leto] | Tržna cena biokemijskih snovi in farmacevtskih učinkovin |
| | Hrana, les in vlakna | Rodovitnost tal omogoča pridelavo rastlinske biomase. | Pridelek [t/ha leto], gnojila [kg/ha leto], delo [h/ha leto], energija [kW/ha leto] | Vrednost pridelka [EUR/ha leto] | Tržne cene hrane, lesa in vlaken |
| | Voda | Prečiščevanje vode in njeno prevajanje v podtalje (napajanje vodonosnika). | Padavine [mm/leto, vse ostale enako], prestrezanje, evapotranspiracija, površinski odtok, infiltracija, gravitacijski tok, horizontalni tokovi, energija črpanja vode [EUR/l], delo [h/ha leto] | Vrednost vode [EUR/l], ki preide v vodonosnik [l/ha leto] | Tržna cena pitne vode, ki jo lahko načrpamo iz vodonosnika |
| | | Zadrževanje vode in prevajanje vode (rastlinam dostopna voda in blaženje suše). | | Stroški namakanja za dodatno vodo, ki jo je treba dovesti rastlinam [EUR/ha leto] | Metoda nadomestnih stroškov (dodatni nadomestni stroški namakanja ob izgubi ali slabitvi EST) |
| | Nosilna kapaciteta za infrastrukturo, zgradbe in živali | Tla so lahko podlaga za postavitev infrastrukture in objektov. | Volumska gostota tal [g/cm ³], naklon [%] | Stroški temeljenja [EUR/m ²] ob določeni nosilnosti tal [kg/m ²] | Metoda nadomestnih stroškov (dodatni nadomestni stroški temeljenja ob manjši nosilnosti tal) |
| | Surovine | Tla so vir mineralov (prod, pesek, rude), plemenitih kovin, ogljiko-vodikov (npr. naftni skrilavci). | Tekstura (deležni mineralnih delcev tal glede na njihovo velikost), skelet (% in velikost), energija za pridobivanje surovin [kW/t], delo [h/ha leto] | Vrednost [EUR/ha leto] mineralov, rude, ogljiko-vodikov | Tržnih cene surovin |
| | Toplotna energija | Tla imajo sposobnost zadrževanja toplotne energije. | Volumska gostota tal [g/cm ³], vsebnost vode [mm vode/100 mm tal], razmerje med dovedeno in dobljeno energijo (COP; grelno število) | Vrednost iz tal pridobljene toplotne energije [EUR/m ² leto] | Tržna cena toplotne energije |

| | | | | | |
|--------------------|---|--|--|--|--|
| Uravnalne storitve | Prečiščevanje vode in zmanjševanje onesnaženosti tal | Tla lahko del onesnažil zadržijo oziroma se razgradijo v manj škodljive frakcije. | Volumska gostota tal [g/cm ³], vsebnost talne organske snovi [%], vsebnost vode [mm vode/100 mm tal], globina tal [cm] | Stroški prečiščevanja vode [EUR/l], ki je načrpana iz vodonosnika [l/ha leto] | Metoda nadomestnih stroškov (dodatni stroški nadomestnega čiščenja vode ob izgubi ali slabitvi EST) |
| | Urnavanje kroženja vode | Tla lahko zadržijo vodo in tako blažijo posledice poplav. | Padavine [mm/leto, vse ostale enako], prestrezanje rastlin, evapotranspiracija, površinski odtok, infiltracija, gravitacijski tok, horizontalni tokovi. | Vrednost preprečene škode [EUR/ha leto] na infrastrukturi in objektih zaradi dela padavinske vode, ki se zadrži v tleh. | Metoda stroškov preprečevanja škode (koliko več škode bi nastalo ob izgubi ali slabitvi EST) |
| | Biološko uravnavanje populacij škodljivih organizmov in bolezni | Tla so habitat vrstam, ki vplivajo na populacijsko dinamiko drugih vrst; te lahko povzročajo ekonomsko škodo. | Tekstura tal (deležni mineralnih delcev tal glede na njihovo velikost), pH, globina tal [cm], skelet (% in velikost) | Vrednost preprečene škode [EUR/ha leto] na kmetijskih kulturah zaradi obstoja populacij naravnih sovražnikov. | Metoda stroškov preprečevanja škode (koliko več škode na kmetijskih kulturah bi nastalo ob izgubi ali slabitvi EST) |
| | Vezava ogljika | Tla lahko shranjujejo ogljik in tako zmanjšujejo vsebnost CO ₂ v ozračju. | Volumska gostota tal [g/cm ³], vsebnost talne organske snovi [%], globina tal [cm], skelet (% in velikost) | Vrednost neto akumulacije C [EUR/tC; družbeni stroški emisij CO ₂] v tleh oziroma manj emisij [EUR/ha leto]. | Metoda stroškov preprečevanja škode (koliko več gospodarske, okoljske in družbene škode bi nastalo zaradi emisij CO ₂ ob izgubi ali slabitvi EST) |
| | Urnavanje lokalnega podnebja / temperature | Tla s kapaciteto shranjevanja toplote in vode blažijo temperaturne ekstreme. | Volumska gostota tal [g/cm ³], vsebnost vode [mm vode/100 mm tal], globina tal [cm] | Blaženje max in min temperatur [°C] zraka, ki zmanjšujejo toplotno obremenitev ljudi. | Metoda nadomestnih stroškov (dodatni stroški hlajenja oziroma ogrevanja stavb ob izgubi ali slabitvi EST) |
| | Zmanjševanje hrupa | Tla lahko blažijo hrup. | Volumska gostota tal [g/cm ³] | Zmanjševanje hrupa [dB/m], ki izboljšuje ugodje ljudi. | Metode izraženih preferenc; kontingenčno vrednotenje oziroma poskusi diskretne izbire (pripravljenost na plačilo za ohranjanje kmetijskih tal) |
| | Urnavanje kakovosti zraka | Tla so habitat za rastline, alge, glive in živali, ki ustvarjajo kisik in presnavljajo nekatera zračna onesnažila ter vire smradu. | Tekstura tal (deležni mineralnih delcev tal glede na njihovo velikost), pH, globina tal [cm], skelet (% in velikost), vsebnost vode [mm vode/100 mm tal] | Zmanjševanje vsebnosti trdnih delcev [ppm], neprijetnih vonjav, drugih zračnih onesnažil. | Metode izraženih preferenc; kontingenčno vrednotenje oziroma poskusi diskretne izbire (pripravljenost na plačilo za ohranjanje kmetijskih tal) |

| | | | | | |
|-------------------|---|--|---|---|--|
| Kulturne storitve | Rekreacija in turizem | Tla so lahko podlaga za postavitev infrastrukture in objektov | Volumska gostota tal [g/cm ³], naklon [%], globina tal [cm] | Stroški nadomeščanja erodiranih tleh zaradi rekreacije in turizma [EUR/m ²] in stroški dodatnega temeljenja [EUR/m ²] ob določeni nosilnosti tal [kg/m ²] | Metoda nadomestnih stroškov (dodatni nadomestni stroški nadomeščanja tal in temeljenja ob manjši nosilnosti tal) |
| | Znanje / znanstveno raziskovanje, kulturna dediščina in izobraževanje | Tla so kompleksen del ekosistema, kar omogoča raziskovanje ter učenje, hkrati se v tleh ohrani arheološka dediščina. | <i>Ni preteklih raziskav, ki bo obravnavale kvantifikacijo te EST.</i> | Ohranjanje zdravih tal. | Metode izraženih preferenc; kontingenčno vrednotenje oziroma poskusi diskretne izbire (pripravljenost na plačilo za ohranjanje kmetijskih tal) |
| | Duhovne in simbolne izkušnje | | | | |

Zaključki in priporočila naročniku

Vključevanje ES v politike EU še vedno močno v povojih, saj se področje ES še vedno razvija. To zajema tako klasifikacije, indikatorje in metode njihovega merjenja, pojavlja pa se tudi precej nejasnosti in osebnih interpretacij pri uporabi samega pojma. Nekaterim deležnikom, zlasti pripadnikom splošne javnosti, pojem tudi ni znan ali intuitivno razumljiv, in v politikah se pogosto pojavlja le kot koncept oz. termin, ni pa v celoti integriran. Integracija po drugi strani zahteva integracijo obsežnega interdisciplinarnega znanja s področja naravoslovja in družboslovja, kar terja pogosto manjkajoča sredstva (čas in denar), v veliko pa so nezadostne tudi kompetence, sodelovanje med oblikovalci politik in znanostjo pa je šibko. Delno je to lahko povezano tudi z obstoječimi odnosi moči na konkretnem področju politike, kot tudi s pomanjkanjem interesa znanstvenikov in uradnikov za privzemanje nove znanstvene paradigme.

Za naslavljanje tega problema je nujno tesnejše sodelovanje tako med znanstveniki različnih disciplin (ki naj jih, kolikor je le možno, odločevalci spodbujajo) kot med uradniki iz različnih sektorjev. To je seveda povezano z ustreznimi sredstvi, pa tudi z izboljševanjem kompetenc med samim uradništvom na dotične področju. Konkretno je treba pri vključevanju koncepta ES v politike poglobljati razumevanje celotne verige ES od stanja ekosistema do koristnikov ter vpliva različnih politik na zagotavljanje ES in upoštevati pomen povpraševanja po ES in neenakosti moči ter različnih vrednostnih sistemov različnih deležnikov, ki se jih politika (v konkretnem primeru najbolj kmetijska politika in prostorsko načrtovanje) posredno ali neposredno dotika. Vzporedno z vključevanjem različnih deležnikov v različne faze oblikovanja politik pa je priporočljivo v razpravo, zlasti pri oblikovanju ciljnih vrednosti indikatorjev v okviru ukrepov, vključevati strokovno znanje, ki izhaja iz primerljivih pristopov in orodij vrednotenja ES. V strokovni literaturi se kot dobra izhodiščna točka za vključevanje ES v obstoječe politične mehanizme priporoča (strateška) presoja vplivov na okolje, saj omogoča presojo kompromisov (*trade-offs* - tako med različnimi ES kot med deležniki).

Naša raziskava je pokazala, da imamo v vseh delih verige zagotavljanja ES tal še vedno precejšnje vrzeli v znanju, pa tudi v podatkovnih virih. Na področju vključevanja ES v politike na področju kmetijskih tal je zato priporočljivo krepiti ter širiti znanje in zavedanje o vplivu različnih praks upravljanja na tla in posledično ES. Pri tem je treba upoštevati značilnosti (kmetijskih) tal in dejstvo, da se lahko spremembe v praksah v nekaterih primerih odrazijo le počasi, meritve pa so odvisne od številnih dejavnikov; zato je treba biti previden pri oblikovanju ukrepov, zlasti rezultatsko usmerjenih ukrepov, ki tveganje pogosto prevalijo na kmeta. Obenem pa morajo oblikovani ukrepi, ob tem da ekonomsko odtehtajo prakse, ki so z vidika zagotavljanja ES neugodne, biti učinkoviti v tem smislu, da dejansko lahko dosežejo pozitivne spremembe pri eni ES brez neugodnih vplivov na druge.

Celotno poročilo s priporočili je priloženo (R5.1).

Viri

- Adamowicz, W. L. (1991). "Valuation of environmental amenities."
- Adhikari, K. and A. E. Hartemink (2016). "Linking soils to ecosystem services - A global review." Geoderma **262**: 101-111.
- Allen, R., L. Pereira and M. Smith (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56.
- Bartkowski, B., S. Bartke, K. Helming, C. Paul, A. K. Techen and B. Hansjurgens (2020). "Potential of the economic valuation of soil-based ecosystem services to inform sustainable soil management and policy." PeerJ **8**: 31.
- Bateman, I. J., R. T. Carson, B. Day, M. Hanemann, N. Hanley, T. Hett, M. Jones-Lee, G. Loomes, S. Mourato and E. Özdemiroglu (2002). Economic valuation with stated preference techniques: a manual. Cheltenham, UK, Edward Elgar Publishing.
- Baveye, P. C., J. Baveye and J. Gowdy (2016). "Soil "ecosystem" services and natural capital: critical appraisal of research on uncertain ground." Frontiers in Environmental Science **4**: 41.
- Bethwell C., Burkhard B., Daedlow K., Sattler C., Reckling M., Zander P. 2021. Towards an enhanced indication of provisioning ecosystem services in agro-ecosystems, Environmental Monitoring and Assessment, 193(1): 269. , <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08816-y>
- Biao, Z., L. Wenhua, X. Gadi and X. Yu (2010). "Water conservation of forest ecosystem in Beijing and its value." Ecological Economics **69**(7): 1416-1426.
- Bouma, J. (2014). "Soil science contributions towards Sustainable Development Goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services." Journal of Plant Nutrition and Soil Science **177**(2): 111-120.
- Bünemann, E. K., G. Bongiorno, Z. Bai, R. E. Creamer, G. De Deyn, R. de Goede, L. Fleskens, V. Geissen, T. W. Kuyper, P. Mäder, M. Pulleman, W. Sukkel, J. W. van Groenigen and L. Brussaard (2018). "Soil quality – A critical review." Soil Biology and Biochemistry **120**: 105-125.
- Carson, R. (1962). Silent spring. Boston, Houghton Mifflin Company.
- Chen, S., Martin, M. P., Saby, N. P. A., Walter, C., Angers, D. A., & Arrouays, D. (2018). Fine resolution map of top- and subsoil carbon sequestration potential in France. *Science of the Total Environment*, 630, 389–400. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.209>
- Christie, M., I. Fazey, R. Cooper, T. Hyde, A. Deri, L. Hughes, G. Bush, L. Brander, A. Nahman and W. de Lange (2008). An evaluation of economic and non-economic techniques for assessing the importance of biodiversity to people in developing countries. London, Defra.
- Commission of the European Union. Joint Research Centre. 2015. Agricultural biomass as provisioning ecosystem service: quantification of energy flows., Publications Office, LU.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. De Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill and J. Paruelo (1997). "The value of the world's ecosystem services and natural capital." Ecological Economics **25**(1): 3-15.
- Černe, M. (2020). Tehnološka navodila za namakanje.
- De Groot, R. S., M. A. Wilson and R. M. Boumans (2002). "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services." Ecological Economics **41**(3): 393-408.
- Dimal, M. O. R. (2019). Valuing soil's economic worth. PhD Dissertation, University of Twente.
- Dominati, E., A. Mackay, S. Green and M. Patterson (2014). "A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: A case study of pastoral agriculture in New Zealand." Ecological Economics **100**: 119-129.
- Dominati, E., A. Mackay, B. Lynch, N. Heath and I. Millner (2014). "An ecosystem services approach to the quantification of shallow mass movement erosion and the value of soil conservation practices." Ecosystem Services **9**: 204-215.
- Dominati, E., M. Patterson and A. Mackay (2010). "A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils." Ecological Economics **69**(9): 1858-1868.
- Drobnik, T., L. Greiner, A. Keller and A. Grêt-Regamey (2018). "Soil quality indicators—From soil functions to ecosystem services." Ecological indicators **94**: 151-169.

Ehrlich, P. R. and A. H. Ehrlich (1981). Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species. California, Random House.

Engels, C., J. Reinhold, T. Ebertseder and J. Heyn (2010). Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen, Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V. (VDLUFA): 355.

EU (2006). Tematska strategija za varstvo tal. Bruselj, Evropska Komisija. SEC(2006)620] [SEC(2006)1165] /* KOM/2006/0231 končno.

European Commission (2013). Mapping and assessment of ecosystems and their services an analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020 : discussion paper - final, April 2013. Luxembourg, Directorate-General for the Environment.

Fan, F., C. B. Henriksen and J. Porter (2016). "Valuation of ecosystem services in organic cereal crop production systems with different management practices in relation to organic matter input." Ecosystem Services **22**: 117-127.

Fanny, B., D. Nicolas, J. Sander, G.-B. Erik and D. Marc (2015). "How (not) to perform ecosystem service valuations: pricing gorillas in the mist." Biodiversity and conservation **24**(1): 187-197.

FAO, 2018: CROPWAT: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>

Fornasier, F., Ascher, J., Ceccherini, M.T., Tomat, E., Pietramellara, G., 2014. A simplified rapid, low-cost and versatile DNA-based assessment of soil microbial biomass. Ecological Indicators **45**, 75–82. doi:10.1016/j.ecolind.2014.03.028

Garrod, G. and K. G. Willis (1999). Economic valuation of the environment: methods and case studies. Cheltenham, Edward Elgar Publishing.

Georgiou, K., R. B. Jackson, O. Vindušková, R. Z. Abramoff, A. Ahlström, W. Feng, J. W. Harden, A. F. Pellegrini, H. W. Polley and J. L. Soong (2022). "Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon." Nature communications **13**(1): 3797.

Glenk, K. and S. Colombo (2011). "Designing policies to mitigate the agricultural contribution to climate change: an assessment of soil based carbon sequestration and its ancillary effects." Climatic Change **105**(1): 43-66.

Greiner, L., A. Keller, A. Gret-Regamey and A. Papritz (2017). "Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services." Land Use Policy **69**: 224-237.

Haines-Young, R. and M. Potschin (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. Ecosystem Ecology: a new synthesis. D. Raffaelli and C. Frid. Cambridge, CUP: 110-139.

Haines-Young R., Potschin M. 2018. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 - Guidance on the Application of the Revised Structure.

Hanley, N., J. F. Shogren and B. White (2001). Introduction to Environmental Economics. New York, Oxford University Press.

Harrison, P. A., R. Dunford, D. N. Barton, E. Kelemen, B. Martín-López, L. Norton, M. Termansen, H. Saarikoski, K. Hendriks, E. Gómez-Baggethun, B. Czúcz, M. García-Llorente, D. Howard, S. Jacobs, M. Karlsen, L. Kopperoinen, A. Madsen, G. Rusch, M. van Eupen, P. Verweij, R. Smith, D. Tuomasjukka and G. Zulian (2018). "Selecting methods for ecosystem service assessment: A decision tree approach." Ecosystem Services **29**: 481-498.

Hassink, J. (1997). The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. Plant and Soil, **191**, 77–87. <https://www.researchgate.net/publication/40154117>

Helm, D. (2015). Natural capital: valuing the planet, Yale University Press.

Hermann, A., S. Schleifer and T. Wrška (2011). "The concept of ecosystem services regarding landscape research: a review." Living Reviews in Landscape Research **5**(1): 1-37.

Hintermann, B., S. Peterson and W. Rickels (2016). "Price and Market Behavior in Phase II of the EU ETS: A Review of the Literature." Review of Environmental Economics and Policy **10**(1): 108-128.

Jónsson, J. Ö. G. and B. Davíðsdóttir (2016). "Classification and valuation of soil ecosystem services." Agricultural Systems **145**: 24-38.

- Jost, E., M. Schönhart, R. Skalský, J. Balkovič, E. Schmid and H. Mitter (2021). "Dynamic soil functions assessment employing land use and climate scenarios at regional scale." Journal of Environmental Management **287**: 112318.
- Karlen, D. L., M. J. Mausbach, J. W. Doran, R. G. Cline, R. F. Harris and G. E. Schuman (1997). "Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial)." Soil Science Society of America Journal **61**(1): 4-10.
- Kay, S., A. Graves, J. H. N. Palma, G. Moreno, J. V. Roces-Díaz, S. Aviron, D. Chouvardas, J. Crous-Duran, N. Ferreiro-Domínguez, S. García de Jalón, V. Măcicășan, M. R. Mosquera-Losada, A. Pantera, J. J. Santiago-Freijanes, E. Szerencsits, M. Torralba, P. J. Burgess and F. Herzog (2019). "Agroforestry is paying off – Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems." Ecosystem Services **36**: 100896.
- Kibria, A. S. M. G., A. Behie, R. Costanza, C. Groves and T. Farrell (2017). "The value of ecosystem services obtained from the protected forest of Cambodia: The case of Veun Sai-Siem Pang National Park." Ecosystem Services **26**: 27-36.
- La Notte A. 2022. Ecologically Intermediate and Economically Final: The Role of the Ecosystem Services Framework in Measuring Sustainability in Agri-Food Systems, *Land*, 11(1)., <https://doi.org/10.3390/land11010084>
- Lancaster, K. J. (1966). "A new approach to consumer theory." The journal of political economy: 132-157.
- Liu, X., M. Jiang, G. Dong, Z. Zhang and X. Wang (2017). "Ecosystem Service Comparison before and after Marshland Conversion to Paddy Field in the Sanjiang Plain, Northeast China." Wetlands **37**(3): 593-600.
- Louviere, J. J., D. A. Hensher and J. D. Swait (2000). Stated choice methods: analysis and applications. Cambridge, Cambridge University Press.
- Mäler, K.-G., I.-M. Gren and C. Folke (2005). Multiple use of environmental resources: a household production function approach to valuing natural capital. Dimensions of Environmental and Ecological Economics. N. C. Sahu and A. K. Choudhury. Hyderabad, Universities Press: 277-292.
- McConnell, K. E. (1990). "Double counting in hedonic and travel cost models." Land Economics **66**(2): 121-127.
- MEA (2005). Ecosystem and Human Well-being: Synthesis. Washington, Island Press.
- Ministry of environment and spatial planning (2022). Slovenia's National Inventory Report 2022: GHG emissions inventories 1986-2020. T. Mekinda Majaron. Ljubljana, Slovenia: 403.
- Nahlik, A. M., M. E. Kentula, M. S. Fennessy and D. H. Landers (2012). "Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem service concepts into practice." Ecological Economics **77**(0): 27-35.
- Nie, W., H. Guo, L. Yang, Y. Xu, G. Li, X. Ruan, Y. Zhu, L. Chen and S. A. Banwart (2020). "Economic Valuation of Earth's Critical Zone: A Pilot Study of the Zhangxi Catchment, China." Sustainability **12**(4): 1699.
- Odum, E. P. (1959). Fundamentals of ecology. Philadelphia, PA, W. B. Saunders.
- Pearce, D. W., A. Markandya and E. Barbier (1989). Blueprint for a green economy. London, Earthscan.
- Peralta, G., L. Di Paolo, I. Luotto, C. Omuto, M. Mainka, K. Viatkin and Y. Yigini (2022). Global soil organic carbon sequestration potential map (GSOCseq v1. 1)–Technical manual, Food & Agriculture Org.
- Pimentel, D., J. Houser, E. Preiss, O. White, H. Fang, L. Mesnick, T. Barsky, S. Tariche, J. Schreck and S. Alpert (1997). "Water resources: agriculture, the environment, and society." BioScience **47**(2): 97-106.
- Pintar, M. (2006). Osnove namakanja s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v zahodni, osrednji in južni Sloveniji, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.
- Porter, J., R. Costanza, H. Sandhu, L. Sigsgaard and S. Wratten (2009). "The value of producing food, energy, and ecosystem services within an agro-ecosystem." AMBIO: A Journal of the Human Environment **38**(4): 186-193.

Priha, O. and A. Smolander (1999). "Nitrogen transformations in soil under *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* at two forest sites." Soil Biology and Biochemistry **31**(7): 965-977.

Robinson, D., I. Fraser, E. Dominati, B. Davíðsdóttir, J. Jónsson, L. Jones, S. Jones, M. Tuller, I. Lebron and K. Bristow (2014). "On the value of soil resources in the context of natural capital and ecosystem service delivery." Soil Science Society of America Journal **78**(3): 685-700.

Robinson, D. A., I. Lebron and H. Vereecken (2009). "On the Definition of the Natural Capital of Soils: A Framework for Description, Evaluation, and Monitoring." Soil Science Society of America Journal **73**(6): 1904-1911.

Rodriguez-Entrena, M., M. Espinosa-Goded and J. Barreiro-Hurle (2014). "The role of ancillary benefits on the value of agricultural soils carbon sequestration programmes: Evidence from a latent class approach to Andalusian olive groves." Ecological Economics **99**: 63-73.

Sandhu, H. S., S. D. Wratten, R. Cullen and B. Case (2008). "The future of farming: The value of ecosystem services in conventional and organic arable land. An experimental approach." Ecological Economics **64**(4): 835-848.

Schwilch, G., T. Lemann, Ö. Berglund, C. Camarotto, A. Cerdà, I. N. Daliakopoulos, S. Kohnová, D. Krzeminska, T. Maraňón, R. Rietra, G. Siebielec, J. Thorsson, M. Tibbett, S. Valente, H. Van Delden, J. Van den Akker, S. Verzaandvoort, N. O. Vrínceanu, C. Zoumides and R. Hessel (2018). "Assessing Impacts of Soil Management Measures on Ecosystem Services." Sustainability **10**(12): 4416.

Smith, M. 1992. CROPWAT A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and drainage paper 46. FAO, Rome: 126:
https://books.google.si/books?id=p9tB2ht47NAC&redir_esc=y

Swinton, S. M., F. Lupi, G. P. Robertson and S. K. Hamilton (2007). "Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits." Ecological Economics **64**(2): 245-252.

Teepe, R., Dilling, H., Beese, F., 2003. Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. *J. Plant Nutr. Soil Sc.* **166**, 111-119.

Turbé, A., A. De Toni, P. Benito, P. Lavelle, P. Lavelle, N. Ruiz Camacho, W. H. Van Der Putten, E. Labouze and S. Mudgal (2010). Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers.

Udovč A., Perpar A., Glavan M., Krč J., Miličić V. 2013- Strokovna presoja postopka in vsebine izračuna katastrskega dohodka po ZUKD-1. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.

Urbančič M., Kobal M., Zupan M., Šporar M., Eler K., Simončič P. 2007. Organska snov v gozdnih tleh. v. (Knapič M. ur.) Strategija varovanja tal v Sloveniji, 217-230 str.

Vallés-Planells, M., F. Galiana and V. Van Eetvelde (2014). "A Classification of Landscape Services to Support Local Landscape Planning." Ecology and Society **19**(1): 1-11.

Van der Meulen, S. and L. Maring (2018). Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: Soil ecosystems. Providing support in relation to the implementation of the EU Soil strategy, Deltares: 139.

Vatn, A. and D. W. Bromley (1994). "Choices without prices without apologies." Journal of environmental economics and management **26**(2): 129-148.

Verbič, M. and R. Slabe Erker (2004). Smernice za ekonomsko vrednotenje naravne in kulturne dediščine. Ljubljana, Inštitut za ekonomska raziskovanja.

Vysna V., Maes J., Petersen J.E., La Notte A., Vallecillo S., Aizpurua N., Ivits E., Teller A. 2021. Accounting for ecosystems and their services in the European Union (INCA) - 2021 edition, Publications office of the European Union, Luxembourg.

Zagorc B., Moljk B., Brečko J. 2022. Metodologija in pojasnila k modelnim kalkulacijam Kmetijskega inštituta Slovenije. Ljubljana: Kmetijski inštitut Slovenije.

Žgajnar J., Kavčič S., Tomšič M., Zagorc B., Brečko J., Hiti Dvoršak A., Moljk B., Jerič D. 2022. Katalog tipičnih kmetijskih gospodarstev. Ljubljana: Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani.

Wallace, K. J. (2007). "Classification of ecosystem services: Problems and solutions." Biological Conservation **139**(3-4): 235-246.

Xu, S., L. Zhang, N. B. McLaughlin, J. Mi, Q. Chen and J. Liu (2015). "Effect of synthetic and natural water absorbing soil amendment soil physical properties under potato production in a semi-arid region." Soil and Tillage Research **148**: 31-39.

Priloge vsebinskemu poročilu

1. Podroben načrt raziskave (R1.1)
2. Rezultati analize deležnikov (R1.2)
3. Pregled novejšje znanstvene literature s področja klasifikacije ter izbire fizikalno-kemijskih in bioloških kazalnikov in metod za ocenjevanje ekosistemskih storitev tal (R1.3)
4. Pregled literature – ekonomsko vrednotenje EST (R1.4)
5. Prostorska (GIS) analiza pojavljanja pedosekvenc (R2.1)
6. Biofizikalna kvantifikacija ekosistemskih storitev tal (3.1)
7. Biofizikalna kvantifikacija na osnovi razpoložljivih kazalnikov – rezultatu R3.1
komplementarna raziskava (R3.1a)
8. Ovrednotenje biotske pestrosti tal (R3.2)
9. Definicija ključnih elementov ekonomskega vrednotenja (R4.2)
10. Ekonomsko vrednotenje EST (R4.3)
11. Priporočila politiki (R5.1)