

## POROČILO O REZULTATIH IN HIPOTEZAH

L4 – 2625

Celovito upravljanje malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal v kmetijskih povodjih (CeVoTaK)

Integrated management of small water retention and soil erosion prevention measures in agricultural catchments (CeVoTaK)

### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra	L4-2625
Naslov	Celovito upravljanje malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal v kmetijskih povodjih - CeVoTaK
Vodja	10024 - Marina Pintar
Tip	L - Aplikativne raziskave
Obseg učinkovitih ur raziskovalnega dela	7152
Cenovna kategorija	C
Obdobje trajanja (vključno s podaljšanjem brez sofinanciranja)	od 1. 09. 2020 do 30. 11. 2023
Matična raziskovalna organizacija	1394 - Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije Kmetijsko gozdarski zavod Murska sobota
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	382 - Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta 792 - Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo 1360 - KMETIJSKO GOZDARSKA ZBORNICA SLOVENIJE KMETIJSKO GOZDARSKI ZAVOD NOVA GORICA 148 - Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije Kmetijsko gozdarski zavod Maribor 1394 - Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije Kmetijsko gozdarski zavod Murska sobota
Raziskovalno področje po šifrantu ARIS	4 - Biotehnika 4.03 - Rastlinska produkcija in predelava 4.03.03 - Voda, kmetijski prostor, okolje
Družbeno-ekonomski cilj	08 - Kmetijstvo
Raziskovalno področje po šifrantu FORD	4 - Kmetijske vede 4.01 - Kmetijstvo, gozdarstvo in ribištvo

## 2. Povzetek raziskovalnega projekta

Cilj raziskave je bil preučiti vpliv podnebnih sprememb na okoljsko in ekonomsko trajnost gospodarjenja z vodo v kmetijskih tleh (viški, pomanjkanje) ter gospodarjenje s tlemi (erozija), z uporabo malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal.

Na območju povodij Pesnice in Vipave so tla zasičena z bazičnimi kationi (100%), imajo dobro vsebnost organske snovi (2,6-5%) in kalcijevih ionov v tleh (15-66 mmol/100g tal). Količina bazičnih kationov v tleh na območju subpanonskih povodja Ledave je med 69 in 95 odstotki, z manjšim pH tal (5,6), organsko snovjo (1,5-2,6%) in kalcijevimi ioni v tleh (6,31 in 10,0 mmol/100g tal). Na podlagi analize tal je ocena, da je erozijska ogroženost na območju Ledave velika.

Pri analizi vpliva pomanjkanja vode v tleh v nobenem povodju nismo opazili pomembnih razlik v mesečnih povprečnih vrednostih matričnega potenciala vode v tleh med rastno dobo. V najbolj sušnem obdobju meritev so bile v sušnem stanju, tako konvencionalno, kot tudi ohranitveno obdelane njive, saj tla velik del rastne dobe ne nudijo rastlinam dostope vode.

Meritve erozije na koruznem polju v letu 2021 so pokazale skupno letno količino erodirane zemljine na oranem (39,13 t/ha), kar je 39-48-krat več od direktne setve (no-till) (0,808 -1,09 t/ha), ter 5-krat več od ohranitvene minimalne obdelave tal (7,74 t/ha). Ocenjena dolgoročna izguba erodirane zemljine na oranem zemljišču je 1500 EUR/ha oz. 38 EUR/t zemljine. Dolgoročen strošek za lokalne skupnosti, ki morajo to zemljino odstranjevati iz cestišč in vodotokov je 600 EUR/ha oz. 15 EUR/t zemljine. V količini pridelka so načini pridelave med seboj primerljivi, pri čemer sta praktično identičen pridelek dosegli ohranitvena minimalna obdelava tal (40,64 t/ha) in direktna setev (no-till) z uporabo glifosata (39,89 t/ha).

Modeliranje z modelom SWAT je pokazalo, da ob izbiri učinkovitih ukrepov lahko zmanjšamo erozijo in vsaj delno povečamo zadrževanje vode, s čimer bi se lahko kmetije učinkovito spopadale s posledicami pričakovanih podnebnih sprememb. Rezultati optimizacije so pokazali, da je ekonomsko najbolj učinkovit ukrep v vseh primerih ohranitvena obdelava tal. Pri uvajanju ohranitvene obdelave se je vseeno potrebno zavedati, da predstavlja nakup potrebne mehanizacije razmeroma visok strošek.

Izbira kombiniranih optimiziranih scenarijev v nekaterih primerih privede do dileme, saj so učinki z vidika ekonomičnosti lahko zelo veliki (nekaj 10 %), pri okoljski učinkovitosti pa zelo majhni (nekaj %) ali obratno. Izhajajoč iz opravljenih analiz je skupno najvišjo oceno verjetnosti udejanjanja dobil ukrep »vključitev raznih dosevkov«, sledi pa mu »ohranitvena obdelava«. Najnižje rangiran ukrep na skupni ravni je »robní pasovi na njivah z velikim nagibom«, sledi pa mu ukrep »sprememba smeri oranja«.

### English

The objective of the research was to examine the impact of climate change on the environmental and economic sustainability of agricultural soil water management (abundance, scarcity) and soil management (erosion), using small measures to retain water and prevent soil erosion. In the area of the basins of Pesnica and Vipava, the soil is saturated with basic cations (100%), has a good content of organic matter (2.6-5%) and calcium ions in the soil (15-66 mmol/100g soil). The amount of basic cations in the soil in the Ledava sub-Pannonian catchment area is between 69 and 95 %, with lower soil pH (5.6), organic matter (1.5-2.6%) and calcium ions in the soil (6.31 and 10 .0 mmol/100g of soil). Based on the soil analysis, it is estimated that the risk of erosion in the Ledava area is high.

When analysing the impact of soil water deficit in all observed catchments, we did not observe significant differences in the monthly mean values of matric soil water potential during the growing season. During the driest period of the measurements, both conventionally and conservatively cultivated fields were in a dry state since the soil does not provide plants with access to water for a large part of the growing season. Erosion measurements on a corn field in 2021 showed the total annual amount of eroded soil in arable land (39.13 t/ha), which is 39-48 times more than direct sowing (no-till) (0.808 - 1.09 t/ha), and five times more than conservation minimum tillage using foliar herbicide (7.74 t/ha). The estimated long-term loss of eroded soil on arable land is 1500 EUR/ha or 38 EUR/t of land. The long-term cost for local communities, which have to remove this soil from roads and watercourses, is 600 EUR/ha or 15 EUR/t of land. In terms of yield, the cultivation methods are comparable, with virtually identical yields achieved by conservation minimal tillage (40.64 t/ha) and direct sowing (no-till) using glyphosate (39.89 t/ha). Modelling with the SWAT model showed that by choosing effective measures, we can reduce erosion and at least partially increase water retention so that farms can effectively deal with the consequences of expected climate change. The optimisation results showed that the most economically efficient measure in all cases is conservation tillage. When introducing conservation treatment, it is still necessary to be aware that the purchase of the necessary machinery represents a relatively high cost. The effects of alternative scenarios from the point of view of the economy can be considerable (a few 10 %) and from the environmental efficiency minimal (a few %) or vice versa. Based on the analyses carried out, the overall highest rating for the probability of implementation was given to the measure "inclusion of various benefits", followed by "conservation treatment". The lowest ranked measure at the overall level is "margin strips on fields with a high slope", followed by the measure "change of ploughing direction".

### 3. Poročilo o uresničitvi predloženega programa dela oziroma ciljev na raziskovalnem projektu

Podrobnejši cilji projekta:

#### **C1 – Ovrednotiti dejanski vpliv kmetijskih malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal, za uravnavanje viškov ali pomanjkanja vode v različnih pedo-klimatskih pogojih na ravnih poljskih poskusov.**

Skladno s programom dela smo na treh lokacijah v Sloveniji – v Vipavski dolini, dolini Pesnice in dolini Ledave, v sodelovanju s sodelavci s KGZS KGZ Nova Gorica, Murska Sobota in Maribor zasnovali poljske poskuse za ugotavljanje vpliva malih ukrepov na zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal v tleh. Na vsaki od lokacij smo določili šest parcel od katerih so tri obdelane z ohranitveno obdelavo tal (direktna setev) in tri s konvencionalno obdelavo tal [1-5]. Na vseh lokacijah smo namestili avtomatske merilnike vsebnosti vode v tleh, temperature in matričnega potenciala tal na treh globinah (15, 30 in 50 cm) ter dežemere. Rezultati kažejo, da so med tremi obravnavanimi lokacijami razlike, ki izvirajo iz dolžin trajanja trajnostne obdelave tal. Dlje kot kmet izvaja trajnostno obdelavo tal (Vipava>Pesnica>Ledava), večje so razlike v zadrževanju vode v tleh. Rezultati tudi nakazujejo, da je v tleh, ki so obdelana trajnostno, na začetku rastne sezone več vode v tleh. Rezultati kažejo, da je na območju Vipavske doline na zemljiščih z ohranitveno obdelavo več vode, prav tako so na teh parcelah višje temperature tal. Na območju Pesnice in Ledave statistično značilnih razlik v količini vode nismo mogli ugotoviti [1, 3-5]. Meritve matričnega potenciala vode v tleh niso pokazale razlik v dostopnosti vode med različnimi načinoma obdelave tal. V poletnih mesecih so, ne glede na globino meritev ali način obdelave tal, vse lokacije v slabem stanju dostopnosti vode (pF 3-4) s širokimi intervali zaupanja. To pomeni, da ko nastopi kmetijska suša, je voda v tleh enakih lastnosti enako nedostopna za vse načine obdelave tal.

Na vseh lokacija smo merili tudi zbitost tal [5, 6] s penetrometrom. Meritve so bile opravljene po večdnevnih intenzivnih padavinah, da smo zagotovili čimbolj primerljive razmere glede na status vode v tleh na vseh treh območjih. Pri izračunu razlik v zbitosti tal smo razlike izračunali za 6 globin. Upor tal je bil za 0,5 MPa večji pri ohranitveni obdelavi tal v globini od 5 do 20 cm. Rezultati potrjujejo dosedanje ugotovitve, da je učinke ukrepov, kot je način obdelave tal, potrebno spremljati v večletnih poskusih.

Na območju doline Ledave smo na Goričkem, na eni od parcel izvedli poskus z meritvami erozije (orano, minimalna obdelava tretirana z različnimi herbicidi v različnih razvojnih fazah plevelov, vzdolžna in prečna setev) [5, 7]. Meritve erozije na koruznem polju v letu 2021 so pokazale skupno letno količino erodirane zemljine na oranem (39,13 t/ha), kar je 39-48-krat več od direktne setve (no-till (0,808 -1,09 t/ha), ter 5-krat več od ohranitvene minimalne obdelave tal (7,74 t/ha). V količini pridelka so načini pridelave med seboj primerljivi, pri čemer sta praktično identičen pridelok dosegli ohranitvena minimalna obdelava tal (40,64 t/ha) in direktna setev (no-till) z uporabo glifosata (39,89 t/ha).

Na območju doline Vipave smo izvedli tudi poskus o razporeditvi in premeščanju radionukleotidov v tleh [5, 8]. Vzpostavljeno je bilo sodelovanje z institucijama IAEA Seibersdorf iz Avstrije in Centre national de la recherche scientifique (CNRS) iz Francije. Na podlagi rezultatov depozita 137Cs na referenčnem mestu je opaziti veliko človekovo aktivnost v prostoru in prisotnost vetrne erozije [5, 8].

[1] ZUPANC in sod. Vpliv konvencionalne in ohranitvene obdelave tal na vodno bilanco tal v treh povodjih. Novi izzivi v agronomiji, 2023. [COBISS.SI-ID 141870851]

[2] ZUPANC in sod. Inventory of soil properties and soil tillage for three soil erosion study sites. 22nd World Congress of Soil Science, 2022. [COBISS.SI-ID 118417411]

[3] NOČ in sod. Vpliv obdelave tal na vsebnost vode v tleh v sušni rastni dobi v povodju Pesnice in Vipave. 34. Mišičev vodarski dan, 2023. [COBISS.SI-ID 179600643]

[4] NOČ in PEČAN. Vsebnost vode v tleh, matrični potencial tal in zbitost tal v poljskih poskusih: Predstavitev rezultatov projekta L4-2625, 2023. [COBISS.SI-ID 177293571]

[5] PINTAR in sod. Celovito upravljanje malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal v kmetijskih povodjih: CeVoTaK : končno poročilo, 2023. [https://www.youtube.com/watch?v=6bc3QXZC\\_qM](https://www.youtube.com/watch?v=6bc3QXZC_qM) [COBISS.SI-ID 176479747]

[6] NOČ in sod. Preliminarna ocena vpliva konvencionalne in ohranitvene obdelave tal na zbitost tal. Novi izzivi v agronomiji, 2023. [COBISS.SI-ID 141855235]

[7] MIHELIC in sod. Lastnosti tal, erozija in ohranitvena obdelava tal : Predstavitev rezultatov projekta L4-2625, 2023. [COBISS.SI-ID 177291779]

[8] ZUPANC. Razporeditev in premeščanje radionukleotidov v tleh : Predstavitev rezultatov projekta L4-2625, 2023. COBISS.SI-ID 177292291]

## **C2 – Ovrednotiti dolgoročno trajnost kmetijskih malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal ob upoštevanju prilagajanja na podnebne spremembe in upoštevanju ključnih ekosistemske storitev na ravni povodja.**

Analiza ansambla modelskih simulacij podnebnih sprememb za RCP4.5 in RCP8.5 kaže zelo podobne rezultate za porečje rek Ledave in Pesnice, kot naraščanje temperature (največ pozimi, najmanj spomladi), naraščanje letne količine padavin zaradi dviga pozimi, zmanjšanje sončnega sevanja pozimi in hitrosti vetra poleti ter brez sprememb pri relativni vlažnosti zraka. Za porečje reke Vipave analiza simulacij kaže na naraščanje temperature (najmanj spomladi), naraščanje količine letnih padavin (pri RCP8.5 zaradi dviga pozimi) ter pri RCP8.5 zmanjšanje sončnega sevanja pozimi, povečanje hitrosti vetra poleti ter majhno zmanjšanje relativne vlažnosti zraka, tako na letni ravni kot poleti. Na območjih se daljšajo obdobja strnjenih dni brez padavin, kar povečuje možnost za sušo [5, 9].

Za potrebe modeliranja učinkovitosti malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal z modelom SWAT, so bili pridobljeni podatki o vremenu, rabi in lastnostih tal, reliefu, hidrologiji in kmetijskih praksah [5, 11]. Modeli so bili na vseh treh raziskovalnih lokacijah postavljeni za vodozbirno območje do točk, kjer se nahajajo merilna mesta za količinsko stanje in kakovost vode v rekah Ledavi, Vipavi in Pesnici. Modeli so bili postavljeni za obdobje 30 let (od 1990-2020). Uporabljene pridelovalne prakse so značilne za posamezno območje, pri čemer se na njivah upošteva kolobar glede na tip kmetije, ki posamezno njivo obdeluje (podatek o staležu živali). Pripravljeni so bili scenariji za modeliranje učinkovitosti ukrepov. Prvi sklop je zajemal spremembe kolobarja (vključitev zimskih ozelenitev za zmanjšanje intervala z golimi tlemi in zatravitev njiv z velikim nagibom), drugi pa spremembe obdelave tal (ohranitvena obdelava; oranje po plastnicah in vključitev robnih pasov na njivah z velikim nagibom). Simulacije so pokazale, da imajo lahko predlagani ukrepi za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal široko okno vpliva, a v povprečju so vsi scenariji (razen tistega z opustitvijo uporabe dosevkov) pokazali potencial za izboljšanje stanja. Podobno sliko kaže tudi primerjava scenarijev na ravni celotnega povodja [5, 10-12].

Rezultati raziskave grajenih odločitvenih dreves potrjuje, da na vsebnost vode v tleh vpliva sezonska dinamika, ki je neposredno povezana s temperaturo tal (v rastni sezoni so temperature višje), tekstura tal (glinena tla zadržijo več vode), naklon tal (večji nakloni so bolj neugodni) in obdelava kmetijskih površin [5, 13].

[9] ČREPINŠEK in POGAČAR. Podnebne spremembe in njihov vpliv na vodni krog : Predstavitev rezultatov projekta L4-2625, 2023. [COBISS.SI-ID 177295875]

[10] GLAVAN in sod. Integrated management of small water retention and soil erosion prevention measures in agricultural catchments. SWAT Conference, 2023. COBISS.SI-ID 157498627]

[11] CURK. Modeliranje dolgoročne okoljsko-ekonomske učinkovitosti ukrepov z modelom SWAT: Predstavitev rezultatov projekta L4-2625, 2023. [COBISS.SI-ID 177296899]

[12] CURK in GLAVAN. Sustainable agriculture practices for mitigating soil erosion and water scarcity : a case study in vulnerable Slovenian regions. Morocco SWAT Conference, 2024 [COBISS.SI-ID 190714883]

[13] ŠKERJANEC in RAK. Odločitvena drevesa: Predstavitev rezultatov projekta L4-2625 CeVoTaK, 2023. [COBISS.SI-ID 190728195]

### **C3 – Identificirati in določiti ekonomsko, okoljsko in socialno trajnost tehnologij kmetijskih malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal z namenom optimiziranja njihovega dolgoročnega vpliva na ravni kmetije in povodja.**

Rezultati optimizacije (okoljska-ekonomska učinkovitost) ukrepov modeliranih s modelom SWAT so pokazali, da učinkovitost različnih scenarijev na različnih talnih tipih in nagibih terena kaže določeno mero variabilnosti [5, 14-15]. Ekonomsko najbolj učinkovit ukrep je bil glede na izračune pokritij v vseh primerih ohranitvena obdelava tal. Z vidika izvajanja ukrepa je to smiselno, saj je za obdelavo tal na ta način potrebnih manj prehodov s stroji, posledično se zmanjšajo poraba časa in goriva. Pri uvajanju ukrepov se je vseeno potrebno zavedati, da njihov uvajanje, ki zahteva spremembo tehnologije in z njo mehanizacije, kar pomeni strošek, ki z vidika amortizacije ni vedno smiseln in bi zahteval stroškovno analizo poslovanja celotne kmetije, ne zgolj posameznih delov procesa kot je obdelava njiv. Rezultat nakazuje, da je uvajanje ekonomsko učinkovitih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije ekonomsko zahtevno in vključuje strokovno poznavanje naravnih dejavnikov.

Rezultati optimizacije so pokazali, da učinkovitost različnih scenarijev na različnih talnih tipih in nagibih terena kaže določeno mero variabilnosti. Ekonomsko najbolj učinkovit ukrep je bil glede na izračune pokritij v vseh primerih ohranitvena obdelava tal. Pri uvajanju ohranitvene obdelave se je vseeno potrebno zavedati, da predstavlja nakup potrebne mehanizacije razmeroma visok strošek, ki z vidika amortizacije ni smiseln na manjših kmetijah in bi zahteval stroškovno analizo poslovanja celotnega subjekta, ne zgolj posameznih njivskih kolobarjev. Pristop izračuna pokritij, ki se sicer uporablja tudi za izračunavanje nadomestil za izvajanje ukrepov kmetijske politike, je pri vseh scenarijih pokazal negativno bilanco [5, 14, 15].

Razvidno, je da se optimalnost ukrepa (okoljsko, socio-ekonomsko) razlikuje glede na teksturni razred tal in nagib terena. Prav tako ukrepi, učinkoviti pri zadrževanju vode niso nujno najbolj učinkoviti pri preprečevanju erozije. Na primer, v porečju Ledave se je kombinirano kot najbolj učinkovit, na vseh nagibih za zadrževanje vode, izkazal scenarij uvedbe prezimnih posevkov na govedorejskih njivah (Gov-PrezP), za preprečevanje erozije pa scenarij ohranitvene obdelave tal na prašičerejskih njivah (Pra-Ohr). V porečju Pesnice so se kot najbolj učinkoviti za preprečevanje erozije izkazali trije različni ukrepi – odvisno od teksturnega razreda (na ilovnatem pesku prezimni posevki na govedorejskih njivah; na meljasti glini na velikem nagibu ohranitvena obdelava na govedorejskih in na zmernem nagibu prezimni posevki na prašičerejskih njivah; ter na glinasti ilovici ohranitvena obdelava tal na prašičerejskih njivah). Vsak teksturni razred znotraj različnih porečij in tip kmetije je zato pri uvajanju ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije potrebno obravnavati ločeno, oziroma s čim večjo pozornostjo na dejavnike vpliva [5, 14, 15].

Pri izbiri kombinirano optimiziranih scenarijev smo bili v nekaterih primerih (npr. optimizacija zadrževanja vode v porečju Pesnice) v dilemi, saj so bili učinki z vidika ekonomičnosti lahko zelo veliki (več 10 %), pri okoljski učinkovitosti pa zelo majhni (nekaj %). V primeru, ko izbira okoljsko nekoliko učinkovitejšega ukrepa zelo malo izboljša okoljsko učinkovitost, hkrati pa bistveno poslabša ekonomičnost, bi bilo smiselno upoštevati tudi intenzivnost učinkovitosti na enoto površine. Oziroma, izbiro izvesti v širši javni razpravi, kjer bi lahko svoje videnje predstavili različni strokovnjaki in praktiki [5, 15].

Postavljena je bila metodologija za ovrednotenje ekonomske učinkovitosti ukrepov, ki je bila izračunana na osnovi modelnih kalkulacij [5, 14]. Kazalnik ekonomske učinkovitosti je izračun pokritja stroškov pridelave za posamezne scenarije. Izhajajoč iz opravljenih analiz je skupno najvišjo oceno verjetnosti udejanjanja dobil ukrep »vključitev raznih dosevkov«, sledi pa mu »ohranitvena obdelava«. Najnižje rangiran ukrep na skupni ravni je »robni pasovi na njivah z velikim nagibom«, sledi pa mu ukrep »sprememba smeri oranja«. Na podlagi izvedenih socio-ekonomskih analiz lahko zaključimo, da največjo sprejemljivost in izvedljivost izkazujeta ukrepa ohranitvena obdelava in vključitev raznih dosevkov/zimskih ozelenitev za zmanjšanje intervala z golimi tlemi, pri čemer pa mora biti izvajanje teh ukrepov ustrezno podprto s ciljnim ukrepi SKP. Predvsem pri izvajanju ukrepa ohranitvena obdelava je pomembo, da imajo kmetje možnost pridobiti tudi podpore za nakup ustrezne specialne mehanizacije, saj je to iz strani kmetov prepoznano kot slabost.

[14] UDOVČ in sod. Kazalniki in analiza socio-ekonomske trajnosti ukrepov: Predstavitev rezultatov projekta L4-2625 CeVoTaK, 2023. [COBISS.SI-ID 177298435]

[15] CURK in GLAVAN. Integrated solutions for sustainable agriculture: unveiling the nexus of environmental and economic viability in three Slovenian catchments. SWAT Conference, 2024. [COBISS.SI-ID 190722051]

## 4. Ocena stopnje uresničitve programa dela raziskovalnega projekta in zastavljenih ciljev

### 4.1 Stopnja uresničitve podrobnejših ciljev projekta

C1 – Ovrednotiti dejanski vpliv kmetijskih malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal, za uravnavanje viškov ali pomanjkanja vode v različnih pedo-klimatskih pogojih na ravni poljskih poskusov.

Ocena stopnje uresničitve: 100%

C2 – Ovrednotiti dolgoročno trajnost kmetijskih malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal ob upoštevanju prilagajanja na podnebne spremembe in upoštevanju ključnih ekosistemske storitev na ravni povodja.

Ocena stopnje uresničitve: 100%

C3 – Identificirati in določiti ekonomsko, okoljsko in socialno trajnost tehnologij kmetijskih malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal z namenom optimiziranja njihovega dolgoročnega vpliva na ravni kmetije in povodja.

Ocena stopnje uresničitve: 100%

Za preverjanje učinkovitosti izbranega kmetijskega ukrepa za zadrževanje vode v tleh in preprečevanja erozije tal na kmetijskih zemljiščih smo pripravili poljske poskuse. Glede na obseg finančnih sredstev smo se po analizi ukrepov odločili za ohranitveno oz. konzervirajočo obdelavo tal, kjer se opusti obračanje/oranje tal, obdeluje se le plitev zgornji sloj. Poskus smo zasnovali na kmetijskih površinah v treh topološko in pedo-klimatsko različnih povodjih rek Ledave, Pesnice in Vipave. Vsa tri povodja so močno izpostavljena različnim vremenskim pojavom od katerih sta najbolj izrazita suša in poplave. Poljske poskuse na ohranitveno in konvencionalno obdelanih kmetijskih zemljiščih (18 parcel, 6 v vsakem povodju), kjer so kmetje izvajali svoje običajne prakse, smo izvajali nepretrgoma dve leti. Na izbranih poskusnih ploskvah smo izvajali redne meritve vsebnosti vode v tleh, matričnega potenciala in temperature, s sklenjenimi avtomatskimi meritvami in na nekajminutni časovni skali. Dodatno so se izvajale tudi meritve standardnih lastnosti tal za oceno stanja kakovosti tal v laboratoriju in zbitosti tal na terenu. Na izbrani parceli v povodju Ledave smo ovrednotili premik talnih delcev oziroma sedimenta zaradi erozije. Določeno je bilo referenčno mesto za radionuklide in opravljen odvzem neporušenih vzorcev tal za izhodiščni depozit, kar je služilo za oceno premika talnih mas na pripadajoči površini. Rezultate smo integrirali in izvedli multifaktorsko analizo za oceno učinkovitosti malih ukrepov za zadrževanje vode (količina, kakovost) v različnih topografski in pedo-klimatskih pogojih ter letnih časih.

Iz podatkovnih baz smo pridobili različne prostorske in tabelarične podatke o značilnostih topografije, tal, rabe tal, posevkih, vremena, hidrologije in kakovosti vode. Za posamezna povodja in/ali izbrana pod-povodja, kjer se umeščajo ukrepi so bili izdelani celoviti modeli povodij z orodjem Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Izvedli smo hidrološko-hidravlično analizo izbranih ukrepov.

V okviru modeliranja smo pripravili več scenarijev, kjer smo modelirali različen obseg ukrepov v kmetijskem prostoru ter vpliv in učinkovitost malih ukrepov za zadrževanje voda in preprečevanje erozije tal, z namenom, da dosežemo optimalno razmerje med socio-ekonomsko vzdržnostjo pridelave in okoljskimi učinki. Za preverbo vpliva podnebja na učinkovitost izbranih ukrepov, smo uporabili več simulacij regionalnih podnebnih modelov (RCM) iz projekta EURO-CORDEX in jih prilagodili za območja raziskovanja. Rezultati so bili analizirani z uporabo večkriterijskih odločitvenih dreves, s katerimi smo določili generične vzorce v merjenih in modeliranih podatkih. Pripravili smo analizo in ocenili učinke ukrepov na povečanje zadrževanja in dostopnost hranil v tleh. Rezultati so predstavljeni v tabelarični, grafični in prostorski obliki in zajemajo vodni kroga, kroga hranil in erozijo tal.

Pripravili smo celovito analizo in oceno trajnosti preučevanih ukrepov, ki se bo osredotočila na ekonomske in okoljske vidike iz vidika umestitve, vzdrževanja in dolgoročnih koristi. Oblikovani so bili kazalniki okoljske in socio-ekonomske trajnosti malih ukrepov za zadrževanje vode na ravni kmetije. Za analizo socio-ekonomske trajnosti smo izvedli anketo deležnikov, ki je poleg zajemanja standardnih kazalnikov socio-ekonomske trajnosti omogočila pridobivanje podatkov o vidikih pripravljenosti, izvedljivosti in motivacije za izvedbo ukrepov. Izvedena je bila družbena in ekonomska analizo stroškov in koristi. Pripravljena je bila oceno in priporočila o ekonomski trajnosti ukrepov z vidika umestitve, vzdrževanja in dolgoročnih koristi. Izvedena je bila navzkrižna analiza med rezultati ankete deležnikov in ekonomsko analizo obravnavanih ukrepov. Rezultati so bili integrirali in izvedena multifaktorsko analizo za optimiziranje ekonomske in okoljske učinkovitost malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije z vidika trajnosti ukrepov.

## 4.2 Vrednotenje rezultatov hipotez

H1 – Mali ukrepi za zadrževanje vode imajo vpliv na količino vode v tleh in stopnjo erozije tal in olajšajo prilaganje kmetijskih gospodarstev na podnebne spremembe, še posebno skozi spremembo načina obdelave tal in učinkovite rabe vode.

Hipotezo potrdimo, saj je iz rezultatov terenskih meritev in modeliranja razvidno, da ob izbiri učinkovitih ukrepov lahko zmanjšamo erozijo in vsaj delno povečamo zadrževanje vode, s čimer bi se lahko kmetije učinkovito spopadale s posledicami pričakovanih podnebnih sprememb.

H2 – Mali ukrepi za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal krepijo trajnost kmetijske pridelave in funkcije lokalnih ekosistemov.

Hipotezo potrdimo, saj je optimizacija v procesu modeliranja na prostorski ravni za posameznega celotna porečja pokazala, da ob kombinaciji ukrepov in njihovi pravilni prostorski umestitvi krepijo trajnost kmetijske pridelave in posledično funkcije lokalnih ekosistemov. Pomembno je kombinirati učinkovite ukrepe tako za cilj zadrževanja vode kot preprečevanja erozije. Njihovo umeščanje v prostor mora biti usklajeno za posamezen tip in teksturi razred tal, nagib terena ter vrsto rabe kmetijskega zemljišča. Na primeru vseh treh porečij smo s pripravo optimiziranih scenarijev dosegli učinek lokalno izboljšane stanja tako z vidika zadrževanja vode kot preprečevanja erozije.

H3 – Posamezni ukrepi ali kombinacije več izbranih ukrepov omogočajo izbiro tehnologij, ki so prilagojene za individualne kmetije izpostavljene specifičnim podnebnim, talnim, okoljskim, socialnim in ekonomskim razmeram.

Hipotezo potrdimo, saj je optimizacija scenarijev kombiniranih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije pokazala veliko mero variabilnosti v učinkovitosti okoljskih in socio-ekonomskih kazalnikov, zato je pri uvajanju ukrepov v prostor nujno upoštevati lastnosti tal, nagib terena, rabo zemljišč, tehnologijo pridelave posameznega tipa znotraj posameznega porečja in ob tem upoštevati podnebne spremembe.

## 5. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine

### 5.1 Pomen za razvoj znanost

Rezultati pozitivno vplivajo na razvoj znanosti na področju upravljanja manj poznanih naravnih rešitev in tehnik za upravljanje poplav, suš in erozije, to-je kmetijskih malih naravnih ukrepov za zadrževanje voda v tleh in preprečevanje v erozije tal. Projekt je izboljšal najsodobnejšo oceno in poznavanje številnih koristi omenjenih ukrepov in pogojev, pod katerimi so najbolj učinkoviti z znanstvenega vidika in vidika deležnikov. Z zajetjem širokega spektra značilnosti tal, podnebja in upravljanja je projekt dosegel boljše razumevanje: (1) pod katerimi vremenskimi/podnebnimi razmerami (vključno z možnimi prihodnjimi razmerami, ki temeljijo na scenarijih), (2) v katerem obsegu (polje/porečje), (3) na kateri lokaciji v povodju (vključno z velikostjo zajete površine) in (4) v kombinaciji s katerimi drugimi ukrepi se mali ukrepi za zadrževanje vode in preprečevanje erozije najbolj obnesejo glede na okoljske kot tudi socialno-ekonomske kazalnike. To nam je omogočilo boljše razumevanje odnosov med kmetijskimi sistemi, različnimi krajinskimi značilnostmi ter specifičnimi naravnimi zadrževalnimi ukrepi in zmogljivostmi ob upoštevanju naravnih in malih tehničnih rešitev.

Večji pomen ima za razvoj metod ocene ekonomske trajnosti ukrepov z upoštevanjem podnebnih sprememb do konca stoletja (2100), na ravni kmetije in malih povodij kot zaokroženih celot. Rezultati imajo neposreden vpliv na razvoj raziskovalnega področja in stroke saj so bili v okviru diseminacija rezultati posredovani več mednarodnimi organizacijami (GWP CEE, EIP Water, EIP Agri in NWRM Initiative).

Dolgoročno je projekt znanosti prispeval s testiranjem različnih metod in odpravo pomanjkanja podatkov ter tako prispeval k zmanjšanju negotovosti pri okoljskem vrednotenju kmetijsko-okoljsko-podnebnih ukrepov s področja zadrževanja vode v tleh in varovanja tal pred erozijo.

Modeli porečij pripravljene v projektu so javno dostopni in na voljo za uporabo znanstveni in strokovni skupnosti v drugih okoljskih študijah s področja vrednotenja kmetijsko-okoljsko-podnebnih ukrepov. Vsi protokoli in priporočila najboljših praks pripravljena v projektu so dostopne preko spletne strani projekta in objavljeni v prosti-dostopnih publikacijah.

The results have a positive impact on the development of science in managing less known natural techniques for flood, drought and erosion management, known as agricultural small natural water retention in the soil and soil erosion prevention measures (NSWRM). The project advanced state-of-the-art evaluation and knowledge of the multiple benefits of NSWRM measures and the conditions under which they perform most effectively from a scientific and stakeholder perspective.

Capturing a wide range of soil, climate, and management characteristics, the project achieved an increased understanding: (1) under which weather/climate conditions (including scenario-based possible future conditions), (2) on which scale (field/catchment), (3) on which location in the catchment (including the area size taken), and (4) in combination with which other measures NSWRM perform best, considering both environmental but also socio-economic indicators. This enabled us to achieve an increased understanding of the relationships among agricultural systems, different landscape characteristics and specific natural water retention measures and capacities while also taking into account natural and small technical solutions.

The particular impact was made with an assessment of the economic sustainability of measures taking into account climate change by the end of the century (2100) at the farm level and in small river catchments as an integrated unit. The results have a direct impact on the development of the research field and profession, as in the dissemination, we will share the results with several international organisations (GWP CEE, EIP Water, EIP Agri and NWRM Initiative).

In the long term, the project contributes to the science by testing different methods and filling gaps in the lack of data, thus contributing to the reduction of the uncertainty in the environmental evaluation of agro-environmental-climate measures in the field of soil water retention and soil erosion protection.

The catchment models prepared in the project are public and available for use by the scientific and professional community in other environmental studies in the field of evaluation of agri-environment-climate measures. All protocols and best practice recommendations developed in the project are accessible through the project website and published in open-source publications.

## 5.2 Pomen za razvoj Slovenije

Projekt ima neposreden pomen na kmetijsko gozdarske zavode, ki so partnerji v projektu. Izkušnje pridobljene neposredno v projektu prenašajo na kmete na svojih območjih ter preko Kmetijsko gozdarske zbornice na celotno članstvo (kmetje, kmetijska podjetja). Rezultati prispevajo k večjemu znanju kmetov, ki so v projektu sodelovali s poskusnimi parcelami. Tako jim je bilo omogočena lažja prilagoditev upravljanja zemljišč in izboljšanje trajnost njihovega načina gospodarjenja s tlemi, kar bo stabiliziralo pridelek in dohodek.

Rezultati projekta (analize, modeliranje) so relevantni za ustvarjalce vodne in kmetijske politike, saj ponujajo podrobne okoljske, socialne in ekonomske analize ukrepov, kar nudi podporo pri odločanju in vključevanje ukrepov v okviru načrtov upravljanja voda (NUV) in Strateškega načrta za kmetijstvo Skupne kmetijske politike (SKP).

Ministrstvo za kmetijstvo, ki je partner v projektu in ki skrbi za ustrezno izvajanje evropske kmetijske politike bo rezultate projekta neposredno uporabilo v pripravi ukrepov za upravljanje tal kot naravnega vira in prilagajanje kmetijstva strožjim okoljskim regulacijam in izrednim podnebnim razmeram. Prav tako bodo rezultati projekta služili za določitev najprimernejših območji izvajanja ukrepov s čimer bi za razpoložljiva finančna sredstva dobili najboljši okoljski učinek. Vse to bo pripomoglo k dopolnitvi Strateškega načrta za kmetijstvo Slovenije, kot tudi širše v regiji.

Rezultati imajo neposreden pomen na svetovalna podjetja in izvajalce del s področja kmetijstva, hidrologije in upravljanja z zemljišči. Z novim znanjem bodo lahko svetovali klientom in povečevali razumevanje razmerij med kmetijskimi sistemi, različnimi lastnostmi krajine in specifičnih ukrepov preučevanih v projektu.

Znanje pridobljeno v projektu, njegovo razširjanje v javnosti in izobraževanje ciljnih skupin dolgoročno okrepi okoljske učinke in učinke preučevanih ukrepov. Tako pričakujemo izboljšanje široke palete ekosistemov odvisnih od zadostnih količin vode, zmanjšanje nevarnosti poplav, izboljšanje kakovosti vode in zmanjšanje erozije tal, blažnje pomanjkanje vode, stabilno kmetijsko pridelavo, povečanje sposobnosti prilagajanj ekosistemov in izboljšanje prilagajanja kmetijstva na podnebne spremembe. Iz sociološkega vidika bodo rezultati o preučevanih ukrepih opolnomočili zainteresirane kmete, da bodo sposobni prilagoditi gospodarjenje v smeri povečanj dostopne vode in njene učinkovite rabe ter preprečevanja erozije, kar bo ohranilo dohodek in na dolgoročno okrepilo položaj kmetov. Splošna javnost bo dobila vpogled v razumevanje izzivov kmetijstva in vodarstva ter številnih prednosti preučevanih malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije.

The project has a direct impact on the Units of agriculture and forest extension service that are partners in the project. Experiences gained in the project were transferred directly to farmers in their areas and through the Chamber of Agriculture and Forestry to their broader membership (farmers, agricultural holdings). The results help to increase the



knowledge of farmers participating in the project with experimental parcels. Participating farmers will be able to adjust the land management and improve the sustainability of soil management, which will stabilise crop yields and income.

The results of the project (analysis, modelling) are relevant for the creators of the water and agricultural policy, as they will offer detailed environmental, social and economic analyses of the measures, which will provide support in the decision-making and integration of the measures in the framework of the River Basin Management Plans (RBMPs) under Water Framework Directive (WFD) and the Strategic plans for agriculture of EU Common Agricultural Policy (CAP).

The Ministry of Agriculture, which is a partner in the project and takes care of the proper implementation of European agricultural policy, will directly use the project results in the preparation of soil management measures as a natural resource and adapting agriculture to stricter environmental regulations and extreme climatic conditions. The results of the project identify the most appropriate areas for implementation of the measures, thereby obtaining the best environmental impact of the available financial resources. All this would help to complement the Strategic plan for agriculture of the Republic of Slovenia as well as for the broader region.

The results are directly relevant to consulting firms and contractors in the fields of agriculture, hydrology and land management. With this new knowledge, they will be able to advise clients and increase their understanding of the relationships between agricultural systems, the different landscape features and the specific measures studied in the project.

The knowledge gained in the project, its dissemination to the public, and the education of target groups will, in the long term, enhance the environment and the effects of the measures studied. Thus, we expect to improve a wide range of ecosystems dependent on sufficient water availability, reduce flood risk, improve water quality and reduce soil erosion, mitigate water scarcity, secure, stable agricultural production, increase ecosystem adaptability and improve the adaptation of agriculture to climate changes. From a sociological point of view, the results of the studied measures empower interested farmers to be able to adapt their management towards increasing water availability and its efficient use, as well as soil erosion prevention, which will preserve income and strengthen the farmers' socio-economic position in the long term. The general public gained insight into understanding the challenges of agriculture and water management and the many benefits of small water retention and soil erosion prevention measures.

## 6. Pomen raziskovanja za sofinancerje

Sofinancer: Ministrstvo Republike Slovenije za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano

### 6.1 Komentar

Rezultati projekta CeVoTaK pozitivno vplivajo na razvoj znanosti pri upravljanju manj poznanih naravnih tehnik za upravljanje poplav, suš in erozije, to-je kmetijskih malih naravnih ukrepov za zadrževanje voda v tleh in preprečevanje v erozije tal. Podrobna ekonomska analiza raziskave je jasno pokazala, kakšen je ekonomski učinek ukrepov za kmetijska gospodarstva. Rezultati prispevajo k zmanjšanju negotovosti pri okoljskem vrednotenju kmetijsko-okoljsko-podnebnih ukrepov s področja zadrževanja vode v tleh in varovanja tal pred erozijo. Modeli porečij, pripravljene v projektu, so javno objavljeni in na voljo za uporabo znanstveni in strokovni skupnosti v drugih okoljskih študijah s področja vrednotenja kmetijsko-okoljsko-podnebnih ukrepov. Vsi protokoli in priporočila najboljših praks, pripravljene v projektu, so dostopni preko spletne strani projekta in objavljeni v prosti-dostopnih znanstvenih revijah. Rezultati so uporabni za kmetijsko gozdarske zavode, ki so bili partnerji v projektu, saj se izkušnje, pridobljene neposredno v projektu, prenašajo na kmetijske pridelovalce. Prav tako so rezultati projekta (analize, modeliranje) relevantni za načrtovalce vodne in kmetijske politike, saj nudijo podrobne okoljske, socialne in ekonomske analize ukrepov.

### 6.2 Ocena

Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano rezultate projekta neposredno uporablja pri pripravi ukrepov za upravljanje tal kot naravnega vira in prilagajanja kmetijstva strožjim okoljskim regulacijam in izrednim podnebnim razmeram.

Pripravil: doc. dr. Matjaž Glavan, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani  
Ljubljana, 2. 4. 2024