



Slovensko agronomsko društvo

Slovenian Society of Agronomy

Novi izzivi v agronomiji 2025

ZBORNIK SIMPOZIJA

New challenges in agronomy 2025

PROCEEDINGS OF SYMPOSIUM

Laško 2025



Slovensko agronomsko društvo

Slovenian Society of Agronomy

**NOVI IZZIVI
V AGRONOMIJI 2025**

ZBORNIK SIMPOZIJA

**NEW CHALLENGES
IN AGRONOMY 2025**

PROCEEDINGS OF SYMPOSIUM

Laško, 2025

Simpozij Novi izzivi v agronomiji 2025 z mednarodno udeležbo
Laško, 30. in 31. januar 2025

Zbornik simpozija

Uredniki:

asist. dr. Igor Šantavec
dr. Barbara Čeh
prof. dr. Denis Stajnko
dr. Peter Dolničar

Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani
Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije
Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede
Kmetijski inštitut Slovenije

Recenzenti (po abecednem vrstnem redu)

dr. Barbara Čeh, prof. dr. Franci Aco Celar, dr. Peter Dolničar, mag. Boštjan Ferenčak,
doc. dr. Matjaž Glavan, prof. dr. Denis Stajnko, asist. dr. Igor Šantavec, Igor Škerbot

Prispevki so najmanj dvojno recenzirani. Za jezikovno pravilnost odgovarjajo avtorji.
S poslanim prispevkom se avtorji strinjajo s tiskano in spletno objavo zbornika.
Uredniki zbornika ne odgovarjajo za vsebino komercialnih oglasov in sporočil.

Tisk: Grafika Gracer, d.o.o., Celje, natisnjeno v 180 izvodih

Tehnično uredil in prelom: asist. dr. Igor Šantavec

Izdalo Slovensko agronomsko društvo, Ljubljana, 2025

Copyright © Slovensko agronomsko društvo

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

63(082)

NOVI izzivi v agronomiji (simpozij) (2025 ; Laško)

Novi izzivi v agronomiji 2025 = New Challenges in Agronomy 2025 : zbornik
simpozija = proceedings of symposium : [Laško, 30. in 31. januar 2025] / [uredniki
Igor Šantavec ... et al.]. - Ljubljana : Slovensko agronomsko društvo = Slovenian
Society of Agronomy, 2025

ISBN 978-961-94613-5-8

COBISS.SI-ID 222378499

Kazalo

Novi pristopi k ocenam toplogrednega učinka metana temeljito spreminjajo obseg in strukturo izpustov toplogrednih plinov v slovenskem kmetijstvu

New approaches to assessing the greenhouse effect of methane are fundamentally changing the extent and structure of greenhouse gas emissions in Slovenian agriculture

Jože VERBIČ 8

Možnost uporabe EU seznama rastlinskih indikatorjev (EMBAL metodologija) za oceno stanja biodiverzitete izbranih kmetijskih zemljišč v Sloveniji

Potential of the EU plant indicators list (EMBAL methodology) for assessing the state of biodiversity in selected agricultural landscapes of Slovenia

Azra ŠABIĆ, Mateja GRAŠIČ in Irena BERTONCELJ 14

Vpliv obdelave tal na globinsko razporeditev talnih živali

Depth-dependent soil fauna distribution as affected by tillage practices

Vid NAGLIČ, Robert LESKOVŠEK in Irena BERTONCELJ 22

Rezultati Javne službe v vrtnarstvu v letih od 2018 do 2024

Results of Public service in vegetables and herbs from 2018 to 2024

Kristina UGRINOVIĆ 29

Javna služba v poljedelstvu v letih od 2018 do 2024

Public service in field crop production from 2018 to 2024

Peter DOLNIČAR 37

Javna služba nalog rastlinske genske banke

Public service for plant genetic resources in Slovenia

Jelka ŠUŠTAR VOZLIČ in Zlata LUTHAR 44

Zaloge organskega ogljika v tleh po tridesetih letih večletnih poskusov IOSDV v Sloveniji

Soil organic carbon stocks after three decades of long-term IOSDV experiments in Slovenia

Aleš KOLMANIČ, Vida ŽNIDARŠIČ PONGRAC, Simon OGRAJŠEK in Jože VERBIČ ... 51

Možnost uporabe VNIR spektroskopije za neposredno določanje vsebnosti organskega ogljika v tleh Slovenije

The possibility of using VNIR spectroscopy for the direct determination of organic carbon content in the soil of Slovenia

Denis STAJNKO in Fabio CASTALDI 59

Hitra in nedestruktivna metoda za določitev vsebnosti elementov v tleh

A fast and non-destructive method for determining the elemental content in soil

Nejc GOLOB, Damijana KASTELEC, Helena GRČMAN in Marko ZUPAN 66

Izzivi pri zagotavljanju rodovitnih zemljin za obnovo degradiranih območij za rastlinsko pridelavo

Challenges in providing fertile soils for the restoration of degraded areas for plant production

Anja GANTAR, Helena GRČMAN, Matjaž PIRNAT, Marko ZUPAN in Vesna ZUPANC 75

Bioplinska tehnologija – stanje in možnosti v Sloveniji

Biogas technology – status and possibilities in Slovenia

Tomaž POJE 84

Naše prve izkušnje s fenotipizacijo korenin jarega ječmena z uporabo prilagojene metode izkopa koreninskega sistema

Our first experiences into root phenotyping of spring barley using an adapted shovelomics approach

Ana KUGOVNIK, Katia BEAUCHENE, Charlotte WHITE, Timothy GEORGE, Simon OGRAJŠEK in Aleš KOLMANIČ 91

Določanje prostorske razsežnosti koreninskega sistema z uporabo invazivnega izkopa korenin in neinvazivne georadarske metode

Determining the spatial extent of the root system using invasive root excavation and non-invasive ground-penetrating radar methods

Urška BLEJEC, Branko MARUŠIČ in Matjaž GLAVAN 98

Analiza vsebnosti fitofarmaceutskih sredstev in njihovih ostankov v kmetijskih tleh in deževnikih

Analysis of the content of phytopharmaceuticals and their residues in agricultural soils and earthworms

Helena MIHEVC in Matjaž GLAVAN 105

Potenciali rabe prečiščene odpadne vode v kmetijstvu v Sloveniji

Potentials for the use of treated wastewater in agriculture in Slovenia

Darja ISTENIČ, Špela ŽELEZNIKAR, Matej RADINJA, Rozalija CVEJIČ in Matjaž GLAVAN 112

Izzivi namakanja kmetijskih zemljišč na naravovarstvenih območjih v Sloveniji

Challenges of agricultural land irrigation in nature conservation areas in Slovenia

Rozalija CVEJIČ, Klemen ELER, Cene FIŠER, Tanja ŠUMRADA, Maja ZAGMAJSTER in Matjaž GLAVAN 119

Optimizacija okoljske in ekonomske trajnosti malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal v kmetijskih povodjih

Optimizing the environmental and economic sustainability of small measures for water retention and prevention of soil erosion in agricultural river basins

Matjaž GLAVAN, Miha CURK in Anton PERPAR 126

Količina pridelka in kakovost plodov paradižnika, namakanega s prečiščeno odpadno vodo

The yield and fruit quality of tomatoes irrigated with treated wastewater

Nina KACJAN MARŠIČ, Anja VEHAR, Špela ŽELEZNIKAR, Doris POTOČNIK, Lidija STROJNIK, Helena ŠIRCELJ, Maja MIKULIČ PETKOVŠEK, Marina PINTAR, Nives OGRINC in Ester HEATH 133

Primerjava meritev vsebnosti vode v tleh in matričnega potenciala pri natančnem vodenju namakanja

The comparison of soil water content and matric potential measurements in precision irrigation management

Luka ŽVOKELJ, Matic NOČ in Matjaž GLAVAN..... 140

Izzivi rastlinske pridelave na območju suhih zadrževalnikov

Dry retention basins and crop production – past experiences

Nejc GOLOB, Mohammad YONESI, Aljaž PODLESNIK, Špela SRDOČ, Brigita DRENIK, Marko ZUPAN in Vesna ZUPANC 148

Primerjava dveh molekularnih metod za detekcijo virusov pred in po uporabi termoterapije kot metode eliminacije virusov

Comparison of two molecular methods for virus detection before and after thermotherapy as a method of virus elimination

Hana FLAJNIK, Vanja MILJANIĆ, Andreja ŠKVARČ in Nataša ŠTAJNER..... 157

Biotehnološke metode žlahtnjenja rastlin in regulativa

Biotechnological plant breeding methods and regulation

Zlata LUTHAR..... 164

Nadzor kakovosti semenskega in sadilnega materiala zelenjadnic, namenjenega ljubiteljskim pridelovalcem, v Sloveniji v obdobju 2013 do 2024 ter primerjava z obdobjem od 2006 do 2012

Control of quality of vegetable propagating and planting material intended for amateur gardeners in Slovenia in a period from 2013 to 2024 in comparison with a period from 2006 to 2012

Damjana ŽNIDAR, Romana RUTAR, Kristina UGRINOVIĆ, Drago ŽITEK in Mojca ŠKOF..... 171

Barvni parametri zbirke genskih virov listnega ohrovta (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) ter vsebnosti klorofila pred in po zmrzali

Colour parameters of collection of leafy kale genetic resources (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) and chlorophyll content before and after frost

Lovro SINKOVIČ, Mohamed NEJI, Barbara PIPAN in Vladimir MEGLIČ 179

Vrednotenje raznolikosti genskih virov česna na podlagi morfometričnih deskriptorjev

Evaluation of diversity of genetic resources of garlic based on morphometric descriptors

Lovro SINKOVIČ, Mojca ŠKOF, Marina ANTIĆ in Barbara PIPAN..... 187

Izboljšanje pokritosti tal v sistemu ohranitvenega kmetijstva z vsejavanjem prezimnih dosevkov v obstoječ sestoj neprezimnih dosevkov

Optimizing soil cover in conservation agriculture through interseeding winter-hardy cover crops into winter-kill cover crops

Robert LESKOVŠEK 194

Uporabnost kratkih krožnih bran pri obdelavi tal

The use of compact disc harrow for soil cultivation

Igor ŠANTAVEC, Matej VIDRIH in Filip VUČAJNK 202

Vpliv rastlinskega biostimulanta iz alg *Scenedesmus* sp., gojenih v redkem delu bioplinskega digestata, na rast in razvoj prosa (*Panicum miliaceum* L.)

Effect of a plant biostimulant from the alga *Scenedesmus* sp. produced on biogas digestate feed on the growth and development of millet (*Panicum miliaceum* L.).

Tanja ZRNEC DROBNJAK, Lea LAVRIČ, Lara RESMAN, Maja BERDEN ZRIMEC, Vid ŽITKO, Ana SCHWARZMANN in Rok MIHELIČ 208

Plitka zadelava prezimnih dosevkov izboljša pridelek koruze za zrnje

Shallow tillage of winter cover crops improves maize grain yields

Anže ROVANŠEK in Robert LESKOVŠEK 216

Vpliv nanostrukturiranega dušikovega gnojila nanourea na agronomske lastnosti navadne pšenice (*Triticum aestivum* L.)

Impact of nanostructured nitrogen fertilizer nano urea on agronomical traits of common wheat (*Triticum aestivum* L.)

Primož TITAN in Manfred JAKOP 223

Biostimulanti v tehnologiji pridelave solate: Pilotni poljski poskus

Biostimulants in lettuce growing technology: a pilot field experiment

Kris PIRIH, Kaja TOMASINO ROZMAN, Rozalija CVEJIČ in Ana SLATNAR 228

Vpliv terminov presajanja na količino in kakovost pridelka solate, pridelane na hidroponskem sistemu in v tleh

Effect of planting date on the quantity and quality of lettuce yields in hydroponics and in soil

Nina KACJAN MARŠIČ, Natalija GANTAR in Marko ZUPAN 236

Vpliv gnojilnih postopkov večletnih poskusov IOSDV v Sloveniji na pridelke koruznega zrnja in ozimne pšenice

Effect of fertilisation practices in long-term IOSDV experiments in Slovenia on yields of maize grain and winter wheat

Aleš KOLMANIČ, Simon OGRAJŠEK in Jože VERBIČ 244

Vpliv biorazgradljivih zastirnih folij na razvoj in pridelek bučke

The effect of biodegradable mulching films on development and yield of zucchini

Kristina UGRINOVIČ 252

Povezovanje znanja in učenja v skupnosti prakse za varnost in zdravje pri delu kmetov Integrating knowledge and learning in the community of practice for the health and occupational safety of farmers Majda ČERNIČ ISTENIČ in Mateja SLOVENC GRASSELLI	259
Pridelki poljščin v ohranitvenem kmetijstvu – rezultati večletnih poljskih poskusov v Sloveniji Crop yields in conservation agriculture – results of long-term field experiments in Slovenia Klemen ELER, Marjetka SUHADOLC, Anton GOVEDNIK, Sara MAVSAR, Sara PINTARIČ, David LENARČIČ, Kristina OCVIRK in Rok MIHELIČ	268
Gospodarjenje z rekultivacijsko plastjo in vegetacijo pod sončnimi paneli - območje Sončne elektrarne Prapretno Management of the reclaimed soil layer and vegetation under solar panels - the area of the Prapretno solar power plant Matjaž GLAVAN, Vesna ZUPANC in Matej VIDRIH	276
Pridelek in kakovost navadne melise glede na sorto in razdaljo sajenja Yield and quality of lemon balm related to variety and planting distance Nataša FERANT in Barbara ČEH	283
Modeliranje kmetijskih ukrepov za varovanje podzemnega habitata črne človeške ribice pred onesnaževanjem z nitrati Modelling of agricultural measures to protect the underground habitat of the black olm against nitrate pollution Matjaž GLAVAN, Katarina VODNIK in Rozalija CVEJIĆ	291
Povratne informacije o trajnostnosti kmetij Farm Sustainability Feedback Maja KOŽAR, Vesna TELIČ, Sara BELE in Ana DEMŠAR-BENEDIČIČ	298

Novi pristopi k ocenam toplogrednega učinka metana temeljito spreminjajo obseg in strukturo izpustov toplogrednih plinov v slovenskem kmetijstvu

Jože VERBIČ¹

Izvleček

Za kmetijstvo so značilni izpusti metana in didušikovega oksida. Metan uvrščamo med kratko obstojne toplogredne pline. Za razliko od CO₂, ki se v ozračju zadrži več stoletij, se metan po navedbah zadnjega (šestega) ocenjevalnega poročila Medvladnega odbora za podnebne spremembe (IPCC) oksidira v približno 12 letih. Metoda potencialnega globalnega segrevanja za stoletno obdobje (GWP100), ki jo uporabljamo za poročanje Okvirni konvenciji Združenih narodov o spremembi podnebja (UNFCCC), to v precejšnjem obsegu zanemarja. V zadnjem času so raziskovalci razvili metodo, ki upošteva lastnosti kratko obstojnih onesnaževal zraka (GWP*). Za to metodo je značilno, da bolje napoveduje odziv temperature zemeljskega površja na izpuste kratko obstojnih plinov kot GWP100. S primerjavo obeh metod je bilo ugotovljeno, da metoda GWP100 precenjuje prispevek slovenskega kmetijstva k globalnemu segrevanju za 3,7 krat. Z oceno po GWP100 je prispevek slovenskega kmetijstva k skupnim izpustom toplogrednih plinov v državi ocenjen na 10,56 %, po GWP* pa le na 3,99 %.

Ključne besede: toplogredni plini, kmetijstvo, metan

New approaches to assessing the greenhouse effect of methane are fundamentally changing the extent and structure of greenhouse gas emissions in Slovenian agriculture

Abstract

Agriculture is characterised by emissions of methane and nitrous oxide. Methane is classified as a short-lived greenhouse gas. Unlike CO₂, which remains in the atmosphere for centuries, methane oxidises in about 12 years, according to the latest (sixth) assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The 100-year global warming potential method (GWP100) we use for reporting to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) largely ignores this. Recently, researchers have developed a method that considers the characteristics of short-lived air pollutants (GWP*). This method is characterised by a better prediction of the response of the Earth's surface temperature to emissions of short-lived gases than GWP100. When comparing the two methods, it was found that the GWP100 method overestimates the contribution of Slovenian agriculture to global warming by a factor of 3.7. According to GWP100, the contribution of Slovenian agriculture to total greenhouse gas emissions in the country is estimated at 10.56%, while according to GWP* it is only 3.99%.

Keywords: greenhouse gases, agriculture, methane

1 UVOD

Za kmetijstvo so značilni izpusti ne-CO₂ toplogrednih plinov. Gre za metan (CH₄), ki se sprosti iz prebavil rejnih živali in iz skladišč za živinska gnojila in za didušikov oksid (N₂O), ki nastaja predvsem zaradi gnojenja kmetijskih rastlin z mineralnimi in živinskimi gnojili. Kmetovanju pripisujemo tudi posredne izpuste didušikovega oksida, ki so posledica uhajanja različnih dušikovih spojin v vode in zrak (Verbič in Pečnik, 2024). Za namene poročanja Okvirni konvenciji Združenih narodov o spremembi podnebja (UNFCCC) izpuste različnih plinov preračunamo na skupni imenovalac. Gre za preračun v ekvivalente (ekv) ogljikovega dioksida

¹ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, joze.verbic@kis.si

z upoštevanjem potenciala globalnega segrevanja za stoletno obdobje (Global Warming Potential, GWP_{100}). Metoda GWP_{100} je bila v zadnjem desetletju deležna kritik, da zanemarija obstojnost različnih toplogrednih plinov v ozračju. Za razliko od ogljikovega dioksida, ki ostane v ozračju več stoletij, in didušikovega oksida, ki je obstojen približno 110 let, se metan oksidira v približno 12 letih (IPCC, 2021). Ugotovljeno je bilo, da metoda GWP_{100} razmeroma slabo oceni odziv temperature zemeljskega površja na izpuste kratko-obstoynih toplogrednih plinov (Smith in sod., 2012) in da v primeru vzdržnih ali padajočih izpustov prikriva napredek proti podnebnemu cilju, ki ga Pariški sporazum določa v °C glede na predindustrijsko dobo (Cain in sod., 2021). Za realnejšo oceno vpliva izpustov metana na podnebje so raziskovalci nedavno razvili nov način za preračun izpustov različnih toplogrednih plinov na skupni imenovalac (Allen in sod., 2018, Cain in sod., 2019 in Allen in sod., 2021). Gre za metodo GWP^* , ki upošteva kratko obstojnost metana v ozračju. Tudi Medvladni odbor za podnebne spremembe (IPCC) je v zadnjem (šestem) ocenjevalnem poročilu navedel, da metoda GWP_{100} ni najbolj primerna za oceno kumulativnega učinka kratko-obstoynih toplogrednih plinov na podnebje (IPCC, 2022). Na podnebni konferenci UNFCCC v Sharm El-Sheikhu je bilo izglasovano, da lahko pogodbenice konvencije, ob obveznem poročanju na podlagi GWP_{100} , dodatno poročajo tudi na podlagi alternativnih metod, kot je GWP^* (UNFCCC, 2023).

Z metodo GWP^* je bilo nedavno ocenjeno, da z metodo GWP_{100} precenjujemo prispevek slovenske živinoreje k globalnemu segrevanju za 4,6 krat (Verbič, 2024). Zaradi velikega deleža izpustov živinoreje v strukturi skupnih izpustov toplogrednih plinov v kmetijstvu, se precenitev učinka živinoreje prenese tudi na celotno kmetijstvo. Namen tega prispevka je prikazati, kako posodobitev metodike za oceno toplogrednega učinka metana vpliva na skupne izpuste toplogrednih plinov v kmetijstvu in kako posodobljena metodika vpliva na razmerje med učinkom rastlinske pridelave in živinoreje.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Podatke o izpustih metana, didušikovega oksida in ogljikovega dioksida za obdobje 1985–2023 smo zajeli iz emisijskih evidenc Kmetijskega inštituta Slovenije (KIS, 2024). Gre za izvirne podatke, ki so uporabljeni za poročanje UNFCCC (Mekinda Majaron in sod., 2024), s tem da smo uporabili posodobitve ocen, ki so bile izvedene do priprave tega prispevka in bodo vključene v poročanje v letu 2025. Po zadnjem poročanju v letu 2024 je prišlo do precejšnjih popravkov celotne časovne vrste (1996–2023), saj so bile uporabljene nove ocene načina zbiranja živinskih gnojil (hlevski gnoj ali gnojevka), ki jih je nedavno objavil Statistični urad RS. Podatki o izpustih metana in didušikovega oksida so bili preračunani v ekvivalente CO_2 ob upoštevanju potencialov globalnega segrevanja za stoletno časovno obdobje (GWP_{100}), kot je trenutno v veljavi za poročanje UNFCCC (faktor 28 za metan in faktor 265 za didušikov oksid). Podatke o izpustih toplogrednih plinov (TGP) smo preračunali v ekvivalente CO_2 tudi z alternativno metodo GWP^* . Pri tem smo za didušikov oksid uporabili enak postopek kot za GWP_{100} , za metan pa metodo po Cain in sod. (2019). Upoštevali smo vse vire izpustov, ki so glede na predpisan poročevalski format pripisani sektorju kmetijstvo (Agriculture, CRF Sector 3). Izpusti, ki jih poročamo v sklopu drugih CRF sektorjev (npr. LULUCF) niso bili zajeti.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

Primerjava dveh metod (GWP_{100} in GWP^*) za preračun metana in didušikovega oksida v ekvivalente CO_2 je predstavljena v preglednici 1. Ker so izpusti metana v rastlinski pridelavi majhni in jih pri poročanju zanemarjamo, se metodi GWP_{100} in GWP^* razlikujeta le pri oceni izpustov v živinoreji. Z izjemo kozjereje, je z metodo GWP_{100} učinek na segrevanje površja precenjen pri vseh živinorejskih panogah. V absolutnem smislu so razlike med metodama

največje v govedoreji in prašičereji. Prašičereja, perutninarstvo in kunčereja izkazujejo v obdobju 2019–2023 za GWP* celo negativne vrednosti. To pomeni, da je v tem obdobju oksidacija preteklih izpustov metana presegla sprotne izpuste in da je ta razlika pokrila tudi tekoče izpuste dišikovskega oksida.

Preglednica 1: Primerjava metod GWP₁₀₀ in GWP* za preračun izpustov toplogrednih plinov v slovenskem kmetijstvu v ekvivalente CO₂[§]

Vir izpustov	Metoda GWP ₁₀₀ (kT ekv CO ₂)	Metoda GWP* (kT ekv CO ₂)	Razlika med metodama GWP* in GWP ₁₀₀ (kT ekv CO ₂)
Živinoreja (CH ₄ in N ₂ O ^{§§})			
Govedo	1165,8	261,7	-904,2
Prašiči	39,6	-233,1	-272,6
Perutnina	13,2	-39,4	-52,5
Ovce	31,3	28,5	-2,8
Koze	7,2	7,4	0,2
Konji	12,4	10,5	-1,9
Kunci	0,5	-1,8	-2,3
Živinoreja skupaj	1270,0	33,8	-1236,2
Rastlinska pridelava (N ₂ O in CO ₂)			
Neposredni izpusti (N ₂ O)			
Mineralna gnojila	114,6	114,6	0,0
Živinska gnojila	94,3	94,3	0,0
Blata čistilnih naprav	0,0	0,0	0,0
Druga organska gnojila	1,8	1,8	0,0
Blato in seč pašnih živali	34,5	34,5	0,0
Razkranjanje žetvenih ostankov	30,7	30,7	0,0
Mineralizacija/imobilizacija	0,3	0,3	0,0
Obdelovanje histosolov	7,3	7,3	0,0
Posredni izpusti (N ₂ O)			
Atmosferska depozicija	31,5	31,5	0,0
Izpiranje in odplavljanje N v vode	70,3	70,3	0,0
Izpusti CO ₂ ^{§§§}			
Apnenje	18,5	18,5	0,0
Sečnina	9,6	9,6	0,0
KAN	4,1	4,1	0,0
Rastlinska pridelava skupaj	417,4	417,4	0,0
Kmetijstvo skupaj	1687,5	451,3	-1236,2

[§] povprečje obdobja 2019–2023

^{§§} vključno s posrednimi izpusti, ki nastanejo zaradi uhajanja dušikovih spojin (predvsem amonijaka) iz hlevov in gnojišč

^{§§§} izpusti CO₂ ne zajemajo izpustov/odvzemov iz naslova rabe zemljišč, spremembe rabe zemljišč in gozdarstva (LULUCF)

Metodika GWP₁₀₀ v obdobju 2019–2023 zelo precenjuje učinek živinoreje na dodatno segrevanje površja (za 1236 kT ekv CO₂ oz. za 37,6 krat). Posledično so za enako nominalno

vrednost precenjeni tudi izpusti v celotnem kmetijstvu. Pri tem je relativna precenitev nekoliko precej manjša kot v primeru živinoreje (za 3,7 krat). Metoda, ki upošteva obstojnost metana v ozračju (GWP*), v primerjavi z GWP₁₀₀ zelo zmanjša izpuste v govedoreji (preglednica 1). Slednja je sicer tudi po GWP* najpomembnejši vir toplogrednih plinov v kmetijstvu, se pa razlike proti drugim pomembnim virom, kot sta gnojenje kmetijskih rastlin z mineralnimi in živalskimi gnojili, zelo zmanjšajo. Metoda GWP* zelo spremeni strukturo izpustov v kmetijstvu. Če po metodi GWP₁₀₀ zelo prevladujejo izpusti iz živinoreje (76,26 %), pride po metodi GWP* v ospredje rastlinska pridelava (92,50 %) (preglednica 2). Zelo se spremeni tudi ocenjen prispevek posameznih toplogrednih plinov k globalnemu segrevanju. Po metodi GWP₁₀₀ največ toplogrednega učinka prispeva metan (72,87 %). Po metodi GWP* deležev posameznih plinov k skupnim izpustom ne moremo prikazati, saj so bili izpusti metana negativni (v obdobju 2019-2023 v povprečju – 25,3 kT ekv CO₂ na leto).

Preglednica 2: Struktura izpustov v slovenskem kmetijstvu in prispevek teh izpustov k skupnim izpustom toplogrednih plinov v Sloveniji, če jih ocenimo po metodi GWP₁₀₀ ali GWP*[§]

	Delež od izpustov v kmetijstvu (%) (povprečje 2019–2023)		Delež od vseh izpustov toplogrednih plinov v Sloveniji (%) ^{§§} (povprečje 2019–2022)	
	GWP ₁₀₀	GWP*	GWP ₁₀₀	GWP*
Panoge				
Živinoreja	75,26	7,50	7,96	0,49
Rastlinska pridelava	24,74	92,50	2,59	3,50
Kmetijstvo skupaj	100,00	100,00	10,56	3,99

[§] Razhajanja med metodama GWP₁₀₀ in GWP* so precej večja, kot je bilo poročano do sedaj (npr. Verbič, 2024). Razlike so posledica posodobitve ocen emisij metana za poročanje v letu 2025. Preračuni v ekv CO₂ so ostali enaki kot v predhodnih poročanjih.

^{§§} Pri oceni prispevka kmetijstva k skupnim izpustom toplogrednih plinov v Sloveniji so bili po metodi GWP* ocenjeni tudi izpusti metana v ne-kmetijskih sektorjih, kot so npr. odpadki

Metoda preračunavanja posameznih TGP zelo vpliva tudi na strukturo vseh izpustov toplogrednih plinov v Sloveniji. Po metodi GWP₁₀₀ je prispevek slovenskega kmetijstva k skupnim izpustom (vsi sektorji) ocenjen na 10,56 %, po GWP* pa na 3,99 % (ocena za obdobje 2019-2022, pri čemer so bili pri skupnih izpustih za GWP* korigirani tudi izpusti metana iz drugih sektorjev). K razmeroma ugodnemu rezultatu za kmetijstvo po GWP* prispeva predvsem razmeroma uspešno zmanjševanje izpustov metana v preteklem obdobju. V primeru morebitnega hitrega povečevanja izpustov metana in s tem povečevanja koncentracij metana iz tega naslova v ozračju, bi namreč ocene po GWP* presegle ocene po GWP₁₀₀. V obravnavanem obdobju (2019–2023) se je to zgodilo le pri reji koz (preglednica 1).

Glede na to, da šesto ocenjevalno poročilo Medvladnega odbora za podnebne spremembe (IPCC, 2022) precej obširno obravnava problematiko ocenjevanja učinkov kratko-obstojnih toplogrednih plinov na podnebje in da je tudi Okvirna konvencija Združenih narodov za spremembe podnebja odločila, da lahko države dodatno poročajo tudi na podlagi alternativnih metod (UNFCCC, 2023), lahko v naslednjem desetletju pričakujemo na področju poročanja določene spremembe. Kljub precejšnemu odporu dela javnosti in stroke k spremembi načina poročanja verjetno ne bomo mogli mimo dejstva, da na spremembe koncentracij metana v ozračju vpliva predvsem dinamika izpustov in da izpustov metana v določenem letu ne moremo

obravnavati enako kot izpustov ogljikovega dioksida. Vsak enkratni izpust dolgo obstojnega toplogrednega plina pomeni dodatno segrevanje, ki ga je treba prišteti k učinku vseh izpustov tega plina v zgodovini. Pri metanu je drugače. Koncentracija v ozračju ni odvisna le od izpustov v tekočem letu, ampak tudi od obsega oksidacije metana, ki smo ga v ozračje izpustili v preteklosti. V ozračju se sproti vzpostavlja novo ravnovesje. Če letne izpuste ohranjamo na ravni iz preteklosti, se koncentracije ne spreminjajo.

Spremenjena porazdelitev izpustov med sektorji bi morala vplivati tudi na oblikovanje ukrepov za zmanjšanje izpustov. Z metodo, ki upošteva obstojnost metana v ozračju se prispevek kmetijstva k skupnim emisijam zmanjša in s tem se zmanjša tudi pomen ukrepanja na tem področju. Nove ocene učinka kmetovanja na podnebje spreminjajo tudi pogled na ukrepanje v kmetijstvu. Več pozornosti bi morali nameniti izpustom didušikovega oksida. Pri tem pa ne smemo pozabiti, da so v tem prispevku prikazane emisije tudi rezultat zmanjševanja emisij metana v preteklosti in da bi, v primeru morebitnega povečevanja izpustov metana, ocena po GWP* lahko presegla oceno na podlagi GWP₁₀₀. Če bomo izpuste metana še naprej zmanjševali se bodo zmanjšale tudi koncentracije metana v ozračju in s tem lahko dosežemo ohlajanje zemeljskega površja. Rešitev se zdi atraktivna, je pa zelo omejena. Na podlagi bilanc metana (Saunois in sod., 2020) in ob upoštevanju kratke obstojnosti metana v ozračju je mogoče oceniti, da bi se z ukinitvijo vse evropske živinoreje koncentracije metana v ozračju zmanjšale za 1,5 %.

4 SKLEPI

Sklenemo lahko, da splošno uveljavljena metoda obračunavanja ekvivalentov CO₂ (GWP₁₀₀) zelo precenjuje učinek slovenskega kmetijstva na globalno segrevanje. Precenitev je posledica neustrezne obravnave metana, ki je v ozračju obstojen le približno 12 let. Z nadaljnjim zmanjševanjem izpustov metana lahko sicer prispevamo k ohlajanju okolja, pri tem pa je potencial zaradi zmanjšanja izpustov v preteklosti in zaradi obsežnih drugih virov metana razmeroma majhen.

Zahvala. Prispevek je bil pripravljen v sklopu raziskovalnega programa »Trajnostno kmetijstvo« (P4-0133), ki ga sofinancira Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARIS) iz državne proračuna.

5 LITERATURA

- Allen, M.R., Shine, K.P., Fuglestedt, J.S., Millar, R.J., Cain, M., Frame, D.J., Macey, A.H. 2018. A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *npj Climate and Atmospheric Science*, 1: 16 (Jun 2018).
- Allen, M., Tanaka, K., Macey, A., Cain, M., Jenkins, S., Lynch, J., Smith, M. 2021. Ensuring that offsets and other internationally transferred mitigation outcomes contribute effectively to limiting global warming. *Environmental Research Letters*, 16: 074009
- Cain, M., Lynch, J., Allen, M.R., Fuglestedt, J.S., Frame D.J., Macey, A.H. 2019. Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants. *npj Climate and Atmospheric Science*, 2: 29
- Cain, M., Jenkins, S., Allen, M.R., Lynch, J., Frame, D.J., Macey, A.H., Peters, G.P. 2021. Methane and the Paris Agreement temperature goals. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 380:20200456
- IPCC 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. V: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, R.J.B., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. in Zhou, B. ur. Cambridge University Press, Cambridge United Kingdom in New York USA, 2391 s.

- IPCC 2022. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. V: Shukla, P.R., Skea, J., Slade, R., Al Khourdajie, A., van Diemen, R., McCollum, D., Pathak, M., Some, S., Vyas, P., Fradera, R., Belkacemi, M., Hasija, A., Lisboa, G., Luz, S. in Malley, J. ur. Cambridge University Press, Cambridge, UK in New York USA, 2029 s.
- KIS 2024. Emisije metana, didušikovega oksida, ogljikovega dioksida, amonijaka, NMVOC, NOX, PM10 in PM2,5 v kmetijstvu. Emisijske evidence, Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije, (16. nov. 2024, interni podatki).
- Mekinda Majaron, T., Logar, M., Verbič, J., Pečnik, Ž., Mali, Ž., Kušar, G., Stare, R. 2024. Slovenia's national inventory report 2024 : GHG emissions inventories 1986-2022: submitted under the United nations framework convention on climate change. Ljubljana: Ministry of the Environment and Spatial Planning: Slovenian Environment Agency, 2024, 395 s.
- Saunio, M., Stavert, A. R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J. G., Jackson, R. B., Raymond, P. A., Dlugokencky, E. J., Houweling, S., Patra, P. K., Ciais, P., Arora, V. K., Bastviken, D., Bergamaschi, P., Blake, D. R., Brailsford, G., Bruhwiler, L., Carlson, K. M., Carrol, M., Castaldi, S., Chandra, N., Crevoisier, C., Crill, P. M., Covey, K., Curry, C. L., Etiope, G., Frankenberg, C., Gedney, N., Hegglin, M. I., Höglund-Isaksson, L., Hugelius, G., Ishizawa, M., Ito, A., Janssens-Maenhout, G., Jensen, K. M., Joos, F., Kleinen, T., Krummel, P. B., Langenfelds, R. L., Laruelle, G. G., Liu, L., Machida, T., Maksyutov, S., McDonald, K. C., McNorton, J., Miller, P. A., Melton, J. R., Morino, I., Müller, J., Murguía-Flores, F., Naik, V., Niwa, Y., Noce, S., O'Doherty, S., Parker, R. J., Peng, C., Peng, S., Peters, G. P., Prigent, C., Prinn, R., Ramonet, M., Regnier, P., Riley, W. J., Rosentretre, J. A., Segers, A., Simpson, I. J., Shi, H., Smith, S. J., Steele, L. P., Thornton, B. F., Tian, H., Tohjima, Y., Tubiello, F. N., Tsuruta, A., Viovy, N., Voulgarakis, A., Weber, T. S., van Weele, M., van der Werf, G. R., Weiss, R. F., Worthy, D., Wunch, D., Yin, Y., Yoshida, Y., Zhang, W., Zhang, Z., Zhao, Y., Zheng, B., Zhu, Q., Zhu, Q., Zhuang, Q. 2020. The Global Methane Budget 2000–2017, Earth System Science Data, 12: 1561–1623
- Smith, S.M., Lowe, J.A., Bowerman, N.H.A., Gohar, L.K., Huntingford, C., Allen, M.R. 2012. Equivalence of greenhouse-gas emissions for peak temperature limits. Nature Climate Change, 2: 535–538
- UNFCCC 2023. Report on the Conference of the Parties on its twenty-seventh session, held in Sharm el-Sheikh from 6 to 20 November 2022. Addendum. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its twenty-seventh session. <https://unfccc.int/documents/626564>. (26. feb. 2024)
- Verbič, J. 2024. Ali je prispevek slovenske živinoreje k podnebnim spremembam precenjen? V: Mihalič, R., Ogrin, T., Margan, E. ur., Miti in resnice o varovanju okolja: Informacijska družba - IS 2024, Zbornik 27. mednarodne multikonference, zvezek D, 37-40
- Verbič, J., Pečnik, Ž. 2024. Izpusti metana in didušikovega oksida: [KM14]. Kazalci okolja v Sloveniji. Agencija RS za okolje. <https://kazalci.arso.gov.si/sl/content/izpusti-metana-didusikovega-okside-5> (18. nov. 2024)

Možnost uporabe EU seznama rastlinskih indikatorjev (EMBAL metodologija) za oceno stanja biodiverzitete izbranih kmetijskih zemljišč v Sloveniji

Azra ŠABIĆ², Mateja GRAŠIČ³ in Irena BERTONCELJ⁴

Izvleček

EMBAL metodologija je ena izmed novejših metodologij Evropske komisije za spremljanje stanja biodiverzitete na kmetijskih zemljiščih. Osnovni poudarek te metodologije je na ocenjevanju ekosistemskih storitev, predvsem opravevanja. Hkrati pa ta metodologija zajema tudi seznam vegetacijskih parametrov in rastlinskih indikatorjev – *‘ključnih taksonov’* – ki je enoten za celotno Evropo. EMBAL popisni list predvideva tudi beleženje števila barv cvetov, števila vrst cvetočih rastlin ter EUNIS habitatnih tipov. Na šestih območjih v Sloveniji smo ovrednotili, ali je ta seznam uporaben tudi za ocenjevanje intenzivnosti in ekstenzivnosti rabe travnišč. Naši rezultati so pokazali, da je predlog metodologije v svoji osnovi uporaben predvsem pri ločevanju travnišč z zelo poudarjenim tipom rabe. Med šestimi območji smo lahko na podlagi 48 popisanih transektov z gotovostjo razločili samo območje z najbolj intenzivno rabo (Suhadole) od ostalih petih bolj ali manj ekstenzivnih območij. Zato predlagamo nadgraditev seznama rastlinskih indikatorjev, ki bi bil s tem bolj prilagojen biogeografsko pestremu ozemlju Slovenije. Takšna nadgraditev bi zahtevala natančno beleženje vrst – ne le višjih taksonov, temveč tudi njihove pokrovnosti.

Ključne besede: fitoindikacija, ekstenzivna travnišča, gojenje, fizikalno-kemijski parametri tal

Potential of the EU plant indicators list (EMBAL methodology) for assessing the state of biodiversity in selected agricultural landscapes of Slovenia

Abstract

EMBAL methodology was recently launched by the European Commission, to monitor the state of biodiversity in agricultural land. Its main focus is on the evaluation of ecosystem services, mainly pollination. Additionally, EMBAL contains a uniform list of vegetation parameters and plant *‘key-taxa indicators’*, proposed for the use in entire Europe. Furthermore, the EMBAL census also records the number of flower colours, the number of species of flowering plants and the EUNIS habitat type. In six areas in Slovenia, we tried to evaluate whether this list is also useful for assessing the intensity of grassland use. Our results showed that the proposed methodology is limited to distinguishing areas with a highly pronounced type of use from the rest. On the basis of 48 surveyed transect in six selected areas, we could distinguish with certainty only the area with the most intensive use (Suhadole) from the other five, more or less extensive areas. Therefore, we propose to upgrade the list of plant indicators, which would thus be more adapted to the biogeographically varied territory of Slovenia. Such upgrade would require accurate recording of plant species and of their cover and should not be limited to higher taxa.

Keywords: phytosociology, extensive grasslands, fertilisation, soil physico-chemical parameters

1 UVOD

Fitoindikacija oz. uporaba rastlinskih vrst in združb kot kazalcev stanja v naravi je znan in uveljavljen koncept, ki temelji na dobrem poznavanju ekologije posamezne vrste ter združb, v katerih se ta vrsta pojavlja (Brunbjerg in sod., 2018). Metoda ima velik aplikativni potencial tudi pri vrednotenju uspešnosti kmetijsko-okoljskih ukrepov, ki so v državah EU del Skupne kmetijske politike in promovirajo ohranjanje pestrosti habitatov v kmetijski krajini (Höfft in

² Mag. ekol. biod., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: azra.sabic@kis.si

³ Doc. dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: mateja.grasic@kis.si

⁴ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: irena.bertoncelj@kis.si

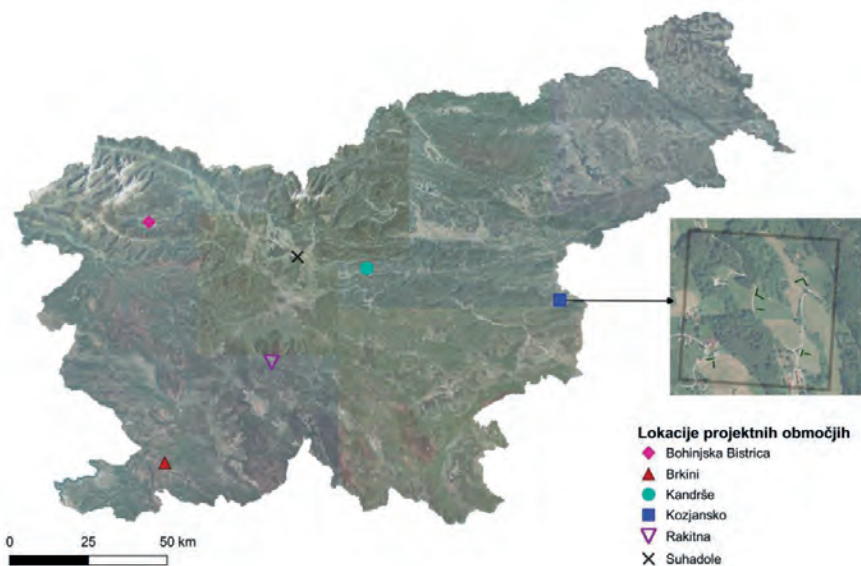
sod., 2007; Kaiser in sod., 2010). Ključna je prilagoditev osnovne metodologije končnemu cilju in zelenim rezultatom monitoringa, saj lahko različni vegetacijski podatki zagotovijo različne podatke o rastišču (Höfft in sod., 2007). Izdelava ustrezne metodologije monitoringa s pomočjo fitoindikacije je pogosto težavna in zahteva široko znanje iz različnih področij botanike (Kaiser in sod., 2010). Zato pogosto uporabimo metode iz tujine, ki se nanašajo na podobno tematiko in ponujajo predloge za izpolnjevanje istih strokovno-raziskovalnih ciljev, te metode pa potem ustrezno prilagodimo našemu podnebjju in potrebam raziskave. V svoji oceni raziskanosti populacijskih trendov rastlin in površini ter kakovosti habitatnih tipov v Sloveniji so Udovč in sod. (2020) podali oceno »neznano«. Trenutno se monitoring Natura 2000 vrst in habitatnih tipov izvaja redno in sistematično samo za 8 % vrst znotraj opredeljenih Natura 2000 območij (Udovč in sod., 2020). Glede na potrebo po vpeljavi ustrezne metodologije monitoringa rastlin smo se odločili za testiranje obstoječe in relativno nove metodologije Evropske komisije – EMBAL (European Monitoring in Agricultural Landscapes), ki se posveča tudi stanju na traviščih (EMBAL Survey Manual, 2020). EMBAL metodologija posveča veliko pozornost entomofilnim vrstam zelnatih rastlin (vrstam, ki jih oprahujejo žuželke): njihovemu številu in številu barv, ki sta posredni orodji za vrednotenje ekosistemske storitve oprahujevanja. Poleg teh parametrov metodologija vsebuje tudi dodelan seznam rastlinskih indikatorjev oz. '*ključnih taksonov*', ki je enoten za celotno Evropo. Kljub temu, da oceni intenzivnosti in ekstenzivnosti travišč nista osnovna cilja EMBAL metodologije, smo v našem delu testirali potencial uporabe metodologije z osnovnim namenom vrednotenja biodiverzitete na traviščih in poudarkom na uporabnosti vegetacijskih indikatorjev (osnovnih, taksonomskih in strukturnih).

2 MATERIALI IN METODE DELA

Terensko delo je bilo opravljeno v času optimalnega razvoja vegetacije (maj–junij 2024) na šestih projektnih območjih: Bohinjska Bistrica (deloma v Natura 2000 območju Bohinjska Bistrica in Jereka), Brkini, Rakitna (Natura 2000 območje Krmsko hribovje – Menišija), Kandrše (Natura 2000 območje Kandrše-Drtiščica), Kozjansko (Natura 2000 območje Kozjansko) in Suhadole (slika 1). Monitoring po EMBAL metodologiji se izvaja znotraj EMBAL kvadrantov, velikosti 500 × 500 metrov, katerih lokacije temeljijo na LUCAS vzorčnih točkah. Te so v obliki kvadratne mreže velikosti 2 × 2 km, razporejene po celotni Evropi. Popisi vegetacije se po EMBAL metodologiji izvajajo po transektni metodi ter samo na njivah in travnikih znotraj kvadranta. Naši popisi so zajemali le transekte na travniških površinah. Maksimalno število transektov znotraj kvadranta je 9, oz. štirje pari, ki so načeloma postavljeni vzdolž robov posamičnih parcel in označeni s črkami A– D ter številskami 1 in 2 (slika 1, detajl). Le v primeru, ko se na centralnem delu kvadranta nahaja travniška površina, je v metodologijo vključen še deveti, posamični transekt E. Vsak posamičen transekt je dolg 20 metrov. Stanje vegetacije ocenjujemo po njegovi celotni dolžini ter 1,25 metrov v desno in v levo stran od začetne točke oz. na skupni površini 50 m². Transektne popise smo opravili na skupno 48-ih transektih: 9-ih na območju Bohinjske Bistrice, 8-ih v Brkinih, 7-ih v Kandršah, 9-ihna Kozjanskem, 9-na Rakitni in 6-ih v Suhadolah.

Popis ocene vegetacijskih parametrov se izvaja po ustaljeni metodi, posplošeni za celo Evropo oz. Evropsko Unijo, ki je podrobno opisana v prosto dostopnem priročniku (EMBAL Survey Manual, 2020) s priloženimi popisnimi obrazci. Osnovni vegetacijski parametri iz splošnega transektnega popisa, na katere smo se osredotočali v analizah, so pokrovnost trav in zeli (razmerje v seštevku 100 %), EUNIS (European Nature Information System) habitatni tip rastišča, starost in tip rabe travišča. Posebnost EMBAL metodologije je določanje števila cvetočih entomofilnih zelnatih rastlin in števila barv cvetov (največ 10) ter beleženje prisotnosti in pokrovnosti t.i. *ključnih taksonov* (vrst ali skupin vrst), ki so razdeljene v taksonomske in

strukturne parametre. Med taksonomske parametre sodijo kobulnice (Apiaceae), zvončice (*Campanula* sp.), glavinci in barvilna mačina (*Centaurea* sp., *Serratula tinctoria*), osati v širšem pomenu besede (*sensu lato*, s.l.), oz. vrste iz rodov *Cirsium*, *Carduus*, *Carlina*, *Eryngium*, *Echinops*, ločja (*Juncus* sp.), spominčice (*Myosotis* sp.), kukavičevke (Orchidaceae), ščetičevke (*Scabiosa* sp., *Knautia* sp., *Succisa* sp.), klinčnice (rdeče cvetoče *Silene* sp., *Lychnis flos-cuculi*, *Dianthus* sp.), rdeče cvetoče detelje (*Trifolium* sp.), rumeno cvetoče metuljnice (*Trifolium* sp., *Medicago* sp., *Lotus* sp., *Coronilla* sp.) in modrovijolične metuljnice (*Vicia* sp., *Lathyrus* sp., *Astragalus* sp.). Med strukturne vegetacijske parametre sodijo grmovnice, kislice (brez *R. acetosa*), osati s.l., ločja, šaši (*Carex* sp.) in šašulice (*Calamagrostis* sp.). Dodatno se oceni še skupno pokrovnost metuljnic. Razen določitve ključnih taksonov EMBAL ne zahteva določitve do nivoja vrst na transektih, enako pri določanju števila barv in cvetočih vrst.



Slika 1: Lokacije 6 projektnih območij popisov vegetacije po EMBAL metodologiji, z detajlom enega popisnega kvadranta (vir podlage: INSPIRE ortofoto WMS, 2024)

Podatke o tipu, starosti in rabi travnika smo dopolnili z vprašalnikom, ki smo ga zastavili lastnikom parcel in zaprosili za informacije o morebitnemu gnojenju, paši in/ali košnji na traviščih. Te podatke smo opisali kot 'način rabe' in jih za vsak posamezen dejavnik ovrednotili na skali od 0 do 4.

Na parceli vsakega transektnega para smo na treh točkah na globini 0–10 cm vzeli vzorec tal, ga homogenizirali in izmerili pH (pH v CaCl_2), koncentracijo dostopnega fosforja (P) kot P_2O_5 mg/100 g, dostopnega kalija (K) kot K_2O mg/100 g, organske snovi (g/kg s.s.) ter delež gline v %.

Podatke smo analizirali in grafično prikazali s programom PAST, različica 4.17 (Hammer in sod., 2001). Šest območij smo definirali kot skupine, ki smo jih primerjali na podlagi več parametrov. Z ANOVA analizo variance (Tukeyev test, Copenhaver in Holland, 1988) smo primerjali razlike v številu barv cvetov in v številu cvetočih rastlin. Z ordinacijskimi analizami osnovnih komponent (PCA) smo območja primerjali na podlagi izbranih taksonomsko-

strukturnih vegetacijskih parametrov (pokrovnost trav, metuljnic, orhidej, osatov, grmovja in kislic) in talnih fizikalno-kemijskih parametrov (PCA 1) ter vegetacijskih parametrov in načina rabe (PCA 2). Medsebojne vplive vegetacijskih in talnih fizikalno-kemijskih parametrov ter parametrov načina rabe smo testirali z linearno regresijo, pri čemer smo upoštevali Pearsonov koeficient korelacije. V PCA analizi in analizi regresije smo upoštevali povprečne vrednosti vegetacijskih parametrov za transektni par, saj so talni fizikalno-kemijski parametri in elementi rabe bili podani na posamično parcelo. Vrednosti iz posamičnih transektov E, ki so se pojavljali na območjih Bohinjske Bistrice, Kandrš, Kozjanskega in Rakitne, smo upoštevali samo pri ANOVA analizi.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Fizikalno-kemijski parametri tal

Fizikalno-kemijski parametri tal so pokazali, da so tla na projektnih območjih podobna po pH vrednosti (preglednica 1). Večina območij je siromašnih glede na dostopni P razen Kozjanskega in Suhadol, ki so srednje založena (preglednica 1). V Bohinjski Bistrici so bila tla siromašna z dostopnim K, na Kozjanskem pa ekstremno založena, ostala območja so imela srednjo založenost s K. Suhadole in Kozjansko sta imela močno humusna tla, vsa ostala območja pa zelo močno humusna. Delež gline v tleh se je gibal med 20,8 in 38,4 kar tla uvršča med srednje težka in težka (preglednica 1).

Preglednica 1: Talni fizikalno-kemijski parametri projektnih območij in njihova preskrbljenost s hranili.

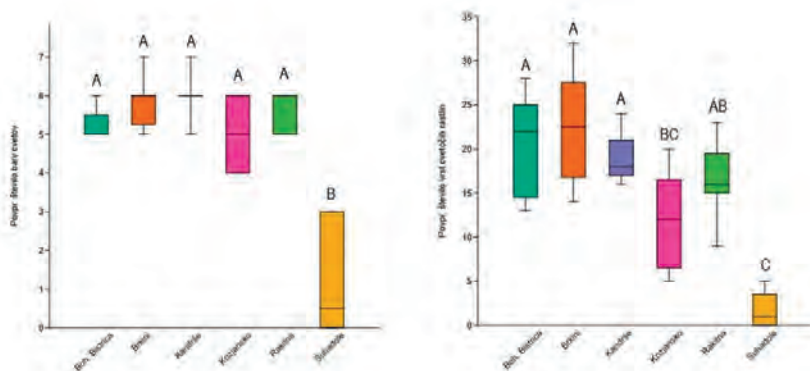
	pH	Dostopni P	Dostopni K	% talne organske snovi	% gline (<2 μ m)
Bohinjska Bistrica	6,3	siromašno	siromašno	zelo močno humusna	21,6
Brkini	6,2	siromašno	srednje	zelo močno humusna	29,2
1Kandrše	7,4	siromašno	srednje	zelo močno humusna	32,9
Kozjansko	7,5	srednje	ekstremno	močno humusna	38,4
Rakitna	7,3	siromašno	srednje	zelo močno humusna	28,8
Suhadole	6,6	srednje	srednje	močno humusna	20,8

3.2 EUNIS habitatni tipi popisanih travšč

Večino površin smo ocenili kot EUNIS habitatni tip E oz. travišča (po Davies in sod., 2004). Na območju Brkinov so bili prisotni elementi suhih travnikov, zaradi česa bi tamkajšnja popisna območja opisali kot habitatni podtip suhih travšč (E.1), medtem ko površine v Bohinjski Bistrici in Kandršah ter na Rakitni sodijo med zmerna travišča, z občasno prisotnimi elementi suhih travšč (E.2). Suhadole izstopajo kot območje z intenzivno kmetijsko rabo, zasejano s travno-deteljnimi mešanicami, kar smo opredelili kot I skupino EUNIS habitatnih tipov oz. redno ali nedavno obdelana kmetijska zemljišča. Površine na Kozjanskem zajemajo različno intenzivna zmerna travišča, vendar pa so bile na dveh (parceli s transektnimi pari B in D) opazne sledi nedavno pokošenih travno-deteljnih mešanic.

3.3 Razlike med popisanimi transekti v številu barv in številu cvetočih rastlin

Rezultati ANOVA analiz variance za število barv in število vrst med območji so pokazali statistično značilne razlike. Primerjava vrednosti števila barv je pokazala statistično pomembno nižje vrednosti v Suhadolah v primerjavi z ostalimi območji, medtem ko med ostalimi območji nismo zaznali značilnih razlik (slika 2). Primerjava števila cvetočih rastlin je pokazala statistično značilno najvišje vrednosti v Bohinjski Bistrici, Brkinih in Kandršah, srednje vrednosti na Rakitni in Kozjanskem in najnižje vrednosti v Suhadolah (slika 2). V Suhadolah smo zabeležili transekte, na katerih sta bili vrednosti obeh parametrov 0 (Suhadole B2, D1 in D2). Maksimalno število cvetočih rastlin – 32, je bilo zabeleženo na transektu A2 na Brkinih, ki je imel 7 barv cvetov. To je hkrati tudi maksimalna zabeležena vrednost števila barv. Tolikšno število barv smo zabeležili tudi na transektu B1 na Kandršah, ki pa je imel skoraj polovico (43,75%) manj cvetočih rastlin – 18.

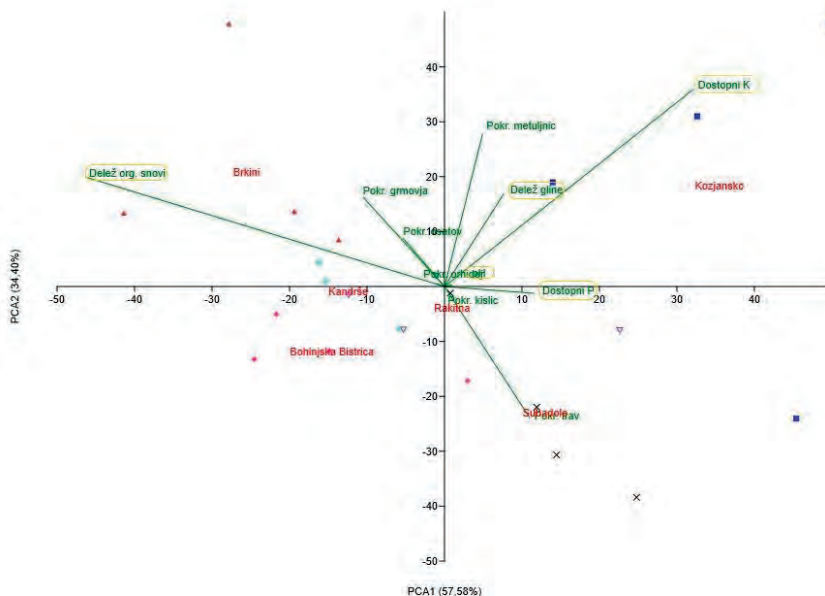


Slika 2: Srednje vrednosti in kvartili števila barv cvetov in števila vrst cvetočih rastlin za posameznih 6 območij. Različne črke kažejo statistično značilno razliko med območji

3.4 Opis popisnih transektov z EMBAL vegetacijskimi parametri, načinom rabe in talnimi fizikalno-kemičnimi parametri

Ordinacijska analiza med vegetacijskimi in fizikalno-kemičnimi parametri tal (PCA 1, slika 3) je pokazala, da so za območje Brkinov značilni parametri delež talne organske snovi ter pokrovnost metuljnic in grmovja. Za območje Kozjanskega je značilna visoka koncentracija kalija v tleh, za Suhadole pa velika pokrovnost trav. Razen deleža organske snovi, fizikalno-kemični parametri tal niso značilno prispevali h grupiranju preostalih treh območij (Bohinjska Bistrica, Kandrše in Rakitna).

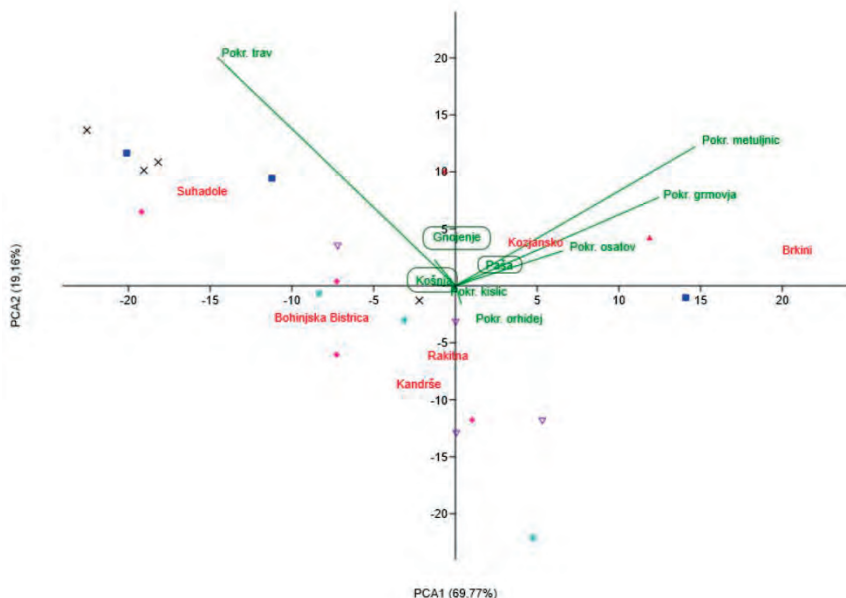
Ordinacijska analiza med vegetacijskimi parametri in načinom rabe (PCA 2, slika 4) kaže na povezavo med pašo, pokrovnostjo grmovja, osatov in metuljnic v Brkinih. Pokrovnost trav se je tudi v tej analizi izkazala kot značilen element območja Suhadole ter delno Kozjanskega. V tej analizi so se tudi preostala tri območja bolj grupirala na podlagi ekstenzivne rabe oz. košnje.



Slika 3: PCA med vegetacijskimi in talnimi fizikalno-kemičnimi parametri med 6 območji. Talni parametri so na grafu izpostavljeni z rumenimi okvirji. Oznake posameznih lokacij sledijo oznakam s slike 1

3.5 Analize korelacije in sinteza z ostalimi rezultati

Med upoštevanimi parametri smo opazili pozitivno korelacijo med številom barv in številom vrst cvetočih rastlin ($r=0,79$). Oba parametra negativno korelirata z gnojenjem in košnjo ter s pokrovnostjo trav: predvsem število barv in gnojenje ($r=-0,80$). Takšno negativno korelacijo lahko pripišemo ekstremno nizkim vrednostim števila barv cvetov iz Suhadol, saj je ta parameter s svojo nizko vrednostjo statistično značilno opisal le to območje, medtem ko med drugimi območji nismo opazili razlik (podpoglavje 3.2). Na pokrovnost trav pozitivno vpliva pogostejša košnja ($r=0,47$), ki je bila po podatkih iz vprašalnikov najbolj pogosto izvajana ravno na območju Suhadol (3–4 krat letno). Obe PCA analizi sta pokazali, da so trave, gnojenje in košnja parametri, ki najbolj ločujejo Suhadole – kot območje intenzivne rabe – od ostalih območij. Posebnost Brkinov so tudi strukturni elementi, pogojeni z ekstenzivno pašno rabo, ki pozitivno korelira s pokrovnostjo grmovja ($r=0,90$) in osatov ($r=0,79$), saj se živina tem rastlinam ob paši večinoma izogiba. Čeprav so Brkini območje z najvišjo povprečno vrednostjo števila barv cvetov (5,8) in cvetočih rastlin (22,5), statistično značilne korelacije teh parametrov s pašo nismo zasledili, zato iz raziskave ne moremo sklepati, ali je paša izključen dejavnik, ki je prispeval k večji biotski pestrosti obravnavane kmetijske površine. Če kot ključni dejavnik biotske pestrosti upoštevamo število ključnih taksonov, ugotavljamo, da nanj najbolj negativno vpliva gnojenje ($r=-0,55$) – med njimi pa predvsem na pokrovnost orhidej ($r=-0,52$), ki so v številnih literarnih virih poudarjene kot eden izmed najbolj pomembnih indikatorjev biotske pestrosti na splošno, posebej na traviščih (Đorđević in sod., 2020).



Slika 4: PCA med vegetacijskimi parametri in načinom rabe med 6 območji. Parametri načina rabe so na grafu izpostavljeni z zelenimi okvirji. Oznake posameznih lokacij sledijo oznakam s slike 1

4 SKLEPI

S pomočjo ocene parametrov iz EMBAL metodologije je možno vsaj delno pridobiti vpogled v splošno stanje biodiverzitete na travniščih. Nekateri parametri, kot so npr. ocene pokrovnosti ključnih taksonov, so se izkazali kot uporabni v Sloveniji, vendar so bile za bolj natančno interpretacijo teh rezultatov zelo uporabne tako dodatne fizikalno-kemijske analize tal kot tudi analize načina rabe zemljišč. Glede na to, da je nabor indikatorjev oz. ključnih taksonov vnaprej definiran za širše evropsko območje, je že v osnovi zastavljen zelo široko in kot takšen s ni najbolj uporaben za vrednotenje biodiverzitete in ekstenzivnosti travnišč na ožjem geografskem območju oz. v eni državi. Težave se pojavljajo tudi, če ta travnišča sodijo v isti habitatni tip, ali če se z njimi upravlja na podoben način (npr. ekstenzivna travnišča z območij Bohinjske Bistrice, Kandrš in Rakitne). Dva posebna parametra EMBAL metodologije – število barv in število cvetočih rastlin – se pri vrednotenju ekstenzivnosti posameznih rastišč prav tako nista izkazala kot sama po sebi uporabna, razen v primeru ločevanja primerov ekstremnih razlik v rabi (intenzivne Suhadole in ostala bolj ali manj ekstenzivna območja). Metodologija sicer ponuja dobra izhodišča, ki se jih za izpolnjevanje naših ciljev lahko dopolni. Za bolj podrobno oceno stanja biodiverzitete in ekstenzivnosti kmetijskih zemljišč – travnišč – v Sloveniji zato poleg predlaganih dodatnih analiz primarno predlagamo še dopolnitev s podatki o vrstni sestavi in pokrovnosti vsaj najbolj dominantnih vrst na transektih. Rastline so ena izmed najbolj dodelanih taksonomskih skupin na področju bioindikacije; tovrstni podatki na nivoju vrste zagotavljajo vpogled v splošno ekologijo rastišča in bi nam tako omogočili bolj natančno razumevanje funkcionalne pestrosti rastišča (Höfft in sod., 2007). Predlagamo tudi uvedbo rednega monitoringa, saj so za popolno razumevanje dinamike vegetacije na travniščih najbolj uporabni

podatki, pridobljeni z raziskavami iz daljšega časovnega obdobja, ki so narejene po dosledni in sistematični metodologiji.

Zahvala. Raziskava je nastala v okviru projekta CRP V4-2221 (Strokovna izhodišča za monitoring izbranih organizmov nadzemne in podzemne biote v kmetijski krajini za spremljanje učinkovitosti naravovarstvenih ukrepov Skupne kmetijske politike), ki je sofinanciran s strani Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP).

5 LITERATURA

- Brunbjerg A.K., Bruun H.H., Dalby L., Fløjgaard C., Frøslev T.G., Høye T.T., Goldberg I., Læssøe T., Hansen M.D.D., Brøndum L., Skipper L., Fog K., Ejrnæs R. 2018. Vascular plant species richness and bioindication predict multi-taxon species richness. *Methods in Ecology and Evolution*, 9: 2372-2382
- Copenhaver M.D., Holland B. 1988. Computation of the distribution of the maximum studentized range statistic with application to multiple significance testing of simple effects. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 30: 1-15
- Davies C.E., Moss D., O Hill M. 2004. EUNIS Habitat Classification Revised 2004. Report to: European Environment Agency, Paris, European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity: 310 str
- Đorđević V., Tsiiftsis S., Lakušić D., Jovanović S., Stevanović V. 2020. Orchid species richness and composition in relation to vegetation types. *Wulfenia*, 27: 183-210
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 9, 1: 9 str.
- Höfft A., Isselstein J., Gerowitt B. 2007. On transferring outcome-oriented agri-environmental reward schemes for grasslands between regions. *International Journal of Biodiversity, Science and Management*, 3: 195-208
- European Monitoring of Biodiversity in Agricultural Landscapes. EMBAL. Survey Manual 2020. A project for the European Commission Directorate General ENVIRONMENT from EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, the Institute for Agroecology and Biodiversity (IFAB) and the Environment Agency Austria (EEA). 59 str.
<https://wikis.ec.europa.eu/download/attachments/25560696/EMBAL%202021%20Survey%20Manual.pdf?api=v2>
- INSPIRE ortofoto WMS. 2024. Slovenski INSPIRE metapodatkovni sistem.
<https://eprostor.gov.si/imps/srv/slv/catalog.search#/metadata/77e0f186-3df7-4a01-980f-0d007aa92152>
- Kaiser T., Rohner M.-S., Matzdorf B., Kiesel J. 2010. Validation of grassland indicator species selected for result-oriented agri-environmental schemes. *Biodiversity and Conservation*, 19: 1297-1314
- QGIS.org. 2024. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
<http://qgis.org>
- Udovč A., Rudolf J., Perpar A., Glavan M., Črepinšek Z., Jerina K., Zupan M., Juvančič L., Rac I., Strmšek K., Novak A., Erjavec E., Šumrada T., Zagorc B., Travnika T., Bedrač M., Cunder T., Moljk B., Erker R., Verbič M., Čelik T., Vreš B., Šilc U., Denac K., Kmecl P., Koce U. 2020. Analitične podpore za večjo učinkovitost in ciljnost kmetijske politike do okolja in narave v Sloveniji. Končno poročilo v okviru CRP V4-1814. Naročnika: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano in Javna agencija za raziskovalno dejavnost. – Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.

Vpliv obdelave tal na globinsko razporeditev talnih živali

Vid NAGLIČ⁵, Robert LESKOVŠEK⁶ in Irena BERTONCELJ⁷

Izvleček

Talne živali so pomemben kazalnik zdravja tal in imajo pomembno vlogo pri razgradnji organske snovi, shranjevanju ogljika in kroženju hranil. V raziskavi smo preučili vpliv različnih načinov obdelave tal (konvencionalna in minimalna) na razporeditev in številčnost talnih živali na dveh globinah (0–10 cm in 10–20 cm). Poskus je bil izveden leta 2024 na poskusnem polju Kmetijskega inštituta Slovenije v Jabljah. Vzorci tal so bili odvzeti spomladi in jeseni. Rezultati so pokazali statistično značilno večjo številčnosti skakačev (Collembola) v zgornji plasti tal v primerjavi z globljimi plastmi, ne glede na metodo obdelave tal. Podoben trend je bil opažen pri pršicah (Acarina) pri minimalni obdelavi tal, čeprav rezultati niso bili statistično značilni. Nasprotno pa je pri konvencionalni obdelavi tal opaziti trend večje številčnosti pršic v globljih plasteh, verjetno zaradi premika organske snovi, kar pa ni podprto s statističnimi analizami. Kljub temu je minimalna obdelava ohranila večjo biotsko raznovrstnost v zgornji plasti tal, kar nakazuje, da zmanjšana obdelava ustvarja ugodne razmere za talno favno v zgornjih slojih. Vrednosti QBS-ar indeksa so prav tako nakazovale večjo biološko pestrost v globljih plasteh pri konvencionalni obdelavi, medtem ko je minimalna obdelava ohranila boljšo kakovost v zgornjem sloju tal. Ti rezultati poudarjajo vpliv metod obdelave tal na razporeditev talnih živali in nakazujejo, da ohranitvena obdelava spodbuja večjo biotsko raznovrstnost v površinskih slojih tal.

Ključne besede: mezofavna, oranje, minimalna obdelava, QBS-ar indeks, biološki indikatorji, kakovost tal

Depth-dependent soil fauna distribution as affected by tillage practices

Abstract

Soil fauna is an important indicator of soil health and plays an important role in providing key ecosystem services such as organic matter decomposition, carbon storage and nutrient cycling. This study investigated the effects of different tillage methods on the distribution and abundance of soil fauna at different depths. Conventional and minimum tillage methods were compared in field trials at the Agricultural Institute of Slovenia in Jablje. Soil samples were taken in spring and autumn 2024 from two depths (0–10 cm and 10–20 cm). The results showed a statistically significant higher abundance of springtails (Collembola) in the top layer of soil compared to the deeper one regardless of the tillage method. A similar trend was observed for mites (Acarina) under minimal tillage, although results were not statistically significant. In contrast, conventional tillage showed a trend of higher abundance of Acarina in deeper layers, possibly due to the displacement of organic matter, although this was supported statistically. However, as minimal tillage maintained higher biological diversity in the topsoil suggesting that reduced tillage creates favourable conditions for soil fauna in the upper layers. The QBS-ar index values also indicated higher biological quality in deeper layers under conventional tillage, while minimum tillage maintained better topsoil quality. These results emphasise the role of tillage practices in the distribution of soil fauna and suggest that conservation tillage promotes higher surface biodiversity.

Keywords: mesofauna, ploughing, minimum tillage, QBS-ar index, biological indicators, soil quality

1 UVOD

Tla predstavljajo temeljni naravni vir za kmetijsko proizvodnjo, vendar nedavna poročila kažejo, da je večina svetovnih tal močno ogrožena zaradi erozije, izgube zaloga ogljika v tleh in

⁵ Mag. ekol. biod., Kmetijski Inštitut Slovenije, e-pošta: vid.naglic@kis.si

⁶ Dr., Kmetijski Inštitut Slovenije, e-pošta: robert.leskovsek@kis.si

⁷ Dr., Kmetijski Inštitut Slovenije, e-pošta: irena.bertoncelj@kis.si

kemičnega onesnaženja (FAO, 2015). Kljub temu, da ima konvencionalna obdelava tal številne negativne vplive na strukturo tal, erozijo in biotsko raznovrstnost tal (Mhazo in sod., 2016; Pimentel in sod., 2005), se takšna praksa obdelave tal še vedno uporablja na več kot 75 % vseh njiv v Evropi (Eurostat, 2019; SURS, 2020). Zaradi zmanjšanja stroškov, povečane sposobnosti zadrževanja vode in zmanjšane izgube hranil zaradi izpiranja ter erozije se čedalje bolj uveljavljajo manj intenzivni načini obdelave tal (Schillinger, 2001). Med njimi je najbolj uveljavljena ohranitvena ali konzervirajoča obdelava tal, ki vključuje minimalne mehanske posege in lahko pripomore k ohranjanju strukture ter naravne biotske raznovrstnosti tal (Holland, 2004). Vendar pa je treba poudariti, da lahko tudi pri minimalnih načinih obdelave, ob nepravilni izvedbi ali neugodnih razmerah, pride do poslabšanja strukture tal. Talno mezofavno predstavlja skupina majhnih, vendar ekološko pomembnih živali, ki igrajo ključno vlogo pri razgradnji organske snovi, kroženju hranil in izboljšanju strukture tal (Lavelle in Spain, 2001). Ker je število talne mezofavne največje v zgornjem sloju tal (Changguo in sod., 2016), način obdelave tal močno vpliva na združbe talne mezofavne, kar se odraža na celotnem ekosistemu tal (Wardle in sod., 2004). Preliminarni rezultati iz pretekle raziskave (Naglič, 2023) so pokazali ugoden vpliv ohranitvene obdelave na združbo talne mezofavne v površinskem sloju tal (do 10 cm) na poskusnem polju Kmetijskega inštituta v Jabljah. Kljub temu pa ostaja globinska razporeditev talnih živali pri nas še vedno neraziskana. Pri konvencionalni obdelavi se z oranjem organska snov podorje globlje v tla, medtem ko se pri ohranitveni obdelavi tla v našem poskusu obdelajo zgolj do globine 10 cm. Zato je pomembno preučiti, ali je ohranitvena obdelava ugodneje vpliva tudi na talno mezofavno na večjih globinah, kar bi imelo pomembne implikacije za trajnostno kmetovanje in ohranjanje biotske raznovrstnosti v tleh. Identifikacija talne mezofavne na podlagi morfoloških značilnosti je zahtevna in zahteva sodelovanje specialistov iz različnih področij. Metoda QBS-ar indeksa (Soil Biological Quality) (Parisi in sod., 2005) temelji na določanju višjih taksonomskih skupin (npr. Acarina, Collembola) in ne upošteva podatkov o številčnosti organizmov, kar pa je pogosto preveč splošno za poglobljene ekološke študije vpliva obdelave tal. Cilj naše raziskave je bil preučiti vpliv in razlike med dvema načinoma obdelave tal na razporeditev in številčnost talne mezofavne po globini tal.

2 MATERIAL IN METODE DELA

2.1 Trajni poskus

Poskus je bil na njivi Infrastrukturnega centra Jablje (Lat. 46.141204 N, Lang. 14.571509) vzpostavljen leta 2018 s tremi načini obdelave tal: konvencionalna, minimalna in brez obdelave (no-till). Tla v konvencionalni obdelavi se osnovno obdelujejo z oranjem do globine 22 cm, predsetvena priprava se izvede s predsetvenikom ali vrtavkasto brano. Pri minimalni obdelavi se za osnovno obdelavo tal uporablja krožna brana do globine 8–10 cm, predsetvena priprava pa poteka na isti način kot pri konvencionalni obdelavi. V kolobar so vključene naslednje poljščine: ozimno žito, soja in koruza. Po ozimnih žitih se poseje mešanica neprezimnega dosevka. Tla na območju so glinasto-prodnata, gre za rendzine na karbonatnemrodu, letna količina padavin znaša 1300–1400 mm, povprečna temperatura je 10,6 °C (Ministrstvo za kmetijstvo, 2025). Rezultati kemijske analize tal pred odvzemom vzorcev talne biote so na globini 0–25 cm pokazali nevtralno reakcijo (pH v KCl: 6,9) ter vsebnost skupnega dušika 2,1 g kg⁻¹. Tla so dobro založena tako z dostopnim fosforjem (P₂O₅; 27 mg kg⁻¹) kakor tudi z dostopnim kalijem (K₂O; 33,0 mg kg⁻¹). Vsebnost talnega organskega ogljika je visoka in znaša 2,45 %.

2.2 Vzorčenje in analize talne mezofavne

Vzorčenje je bilo izvedeno dvakrat, spomladi (20. 3. 2024) in jeseni (30. 9. 2024). Oktobra 2022 je bila posejana pšenica, ki je bila požeta konec julija 2023. Avgusta 2023 je bil posejan prezimni dosevek. Maja 2024 je bila posejana koruza, požeta sredi septembra 2024. Pri vsaki metodi obdelave tal (konvencionalna in minimalna) smo vzeli po tri vzorce na dveh globinah (0–10 cm in 10–20 cm), kar je skupno šest vzorcev za vsako metodo obdelave. Vzorci talne mezofavne so bili nabrani s pomočjo sonde premera 11,3 cm, v skladu s protokolom QBS-ar (Parisi in sod., 2005). Tla so bila prenesena v laboratorij in iz njih so bile s segrevanjem izločene talne živali z uporabo Kempsonovega ekstraktorja (Kempson, 1963) pri 30 °C. Organizmi so bili shranjeni v 70 % etanolu. Te smo pregledali in identificirali s pomočjo stereomikroskopa ter razvrstili v taksonomske (na ravni reda ali razreda) in ekomorfološke skupine, kot to določa protokol za izračun QBS-ar indeksa. QBS-ar je bil izračunan s seštevanjem najvišjih EMI (ekomorfološki indeks) vrednosti prisotnih taksonomskih skupin. Vsaka taksonomska skupina talne mezofavne dobi oceno EMI, ki temelji na njeni prilagojenosti razmeram v tleh (edafskost). Točkovanje EMI se giblje od 1 do 20, pri čemer višji rezultat predstavlja višjo stopnjo prilagajanja edafskemu okolju. Za izračun enega QBS-ar indeksa potrebujemo tri vzorce. Za primerjavo številčnosti osebkov dveh najpogostejše zastopanih skupin smo izračunali analizo variance (ANOVA) in sicer s funkcijo aov(), ki je del osnovnega paketa R.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

Najpogostejše zastopani taksonomski skupini v študiji sta bili pršice (Acarina) in skakači (Collembola). Acarina je predstavljala približno 64,1 % celotne mezofavne, medtem ko je Collembola, porazdeljena v več ekomorfoloških skupin, predstavljala okoli 17,0 %. Preostalih 18,9 % so sestavljale druge taksonomske skupine npr. Coleoptera, Hymenoptera in Diptera. Rezultati QBS-ar nakazujejo nekatere trende pri različnih načinih obdelave tal, globinah in terminih vzorčenja, ki pa jih zaradi majhnega števila vzorcev nismo mogli statistično primerjati. Pri konvencionalni obdelavi je imel spodnji sloj tal nekoliko višjo povprečno QBS-ar vrednost v primerjavi z zgornjim (preglednica 1). Višja vrednost QBS nam pove, da ima nižja plast večjo biološko kvaliteto. Oranje prerazporedi organski material globlje v tla, kar bi lahko zagotavljalo ugodnejše pogoje za mezofavno na teh globinah in podpira hipotezo, da se talna favna seli globlje pri konvencionalni obdelavi. O podobnih rezultatih višje številčnosti Acarina in Collembola na globini 10–20 cm na orani njivi so poročali tudi Miura in sod., (2008). Nasprotno pa je minimalna obdelava tal nakazala višje ocene QBS-ar v zgornji plasti, kar nakazuje, da biološka aktivnost ostaja koncentrirana v vrhnjih slojih tal. Sezonsko gledano so bile spomladi v večini nekoliko višje ali podobne ocene QBS-ar kot jeseni (preglednica 1). Razlog za to je verjetno višja vsebnost organske snovi v tleh spomladi v primerjavi z jesenjo. Vse vrednosti QBS so bile pod vrednostjo 93, kar kaže na nižjo biološko kakovost tal v primerjavi z nekaterimi prejšnjimi študijami (Menta in sod., 2018). V predhodni študiji na isti njivi so bile povprečne vrednosti QBS-ar na globini 0-10 cm pri konvencionalni obdelavi 99 in pri minimalni obdelavi 94,7, kar je nad vrednostmi, pridobljenimi v tej študiji (Naglič, 2023). Povprečne vrednosti Razlog za to je morda v načinu vzorčenja, saj je bilo leta 2023 izvedeno samo iz zgornjih 10 cm tal in ne iz večjih globin. Vzorčenje je potekalo kasneje spomladi (6. 4. 2023), kar bi lahko vplivalo na višje vrednosti QBS-ar zaradi večje aktivnosti mezofavne v tem obdobju. Prav tako smo takrat za vsako obdelavo tal vzeli 9 vzorcev namesto treh, kot smo to storili v tej študiji, kar lahko prispeva k natančnejšim in reprezentativnejšim rezultatom. Te razlike med leti kažejo na veliko variabilnost v biološki kakovosti tal. Možni vzroki za to so različni biotski in abiotski dejavniki, kot na primer sezonska dinamika mezofavne in razlike v kmetijskih praksah med leti. Vzrok za razlike v vrednostih pa lahko pripišemo tudi drugačni metodologiji vzorčenja. Kljub

omejitvam zaradi majhnega števila vzorcev in pomanjkanju statistične primerjave QBS-ar indeksov, ti preliminarni rezultati ponujajo koristen vpogled v to, kako lahko prakse obdelovanja tal in letni časi vplivajo na biološko kakovost tal. Iz dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da konvencionalna obdelava tal verjetno preusmerja biološko aktivnost v globlje sloje, medtem ko minimalna obdelava podpira boljše pogoje v zgornji plasti tal. Pri konvencionalni obdelavi tal dvosmerna ANOVA ni pokazala statistično značilnih razlik v številčnosti skupine Acarina glede na globino (preglednica 2) ali letni čas.

Preglednica 1: Vrednosti QBS-ar indeksa v različnih načinih obdelave tal in različnih letnih časih

Obdelava	Globina	QBS-ar_Pomlad	QBS-ar_Jesen
Konvencionalna	0–10 cm	62	55
Konvencionalna	10–20 cm	71	75
Minimalna	0–10 cm	80	70
Minimalna	10–20 cm	60	30

Preglednica 2: Rezultati dvostranske ANOVE vpliva letnega časa in globine na številčnost Acarina in Collembola pri konvencionalni in minimalni obdelavi tal. Z zvezdicami so označene vrednosti, ki so statistično značilne.

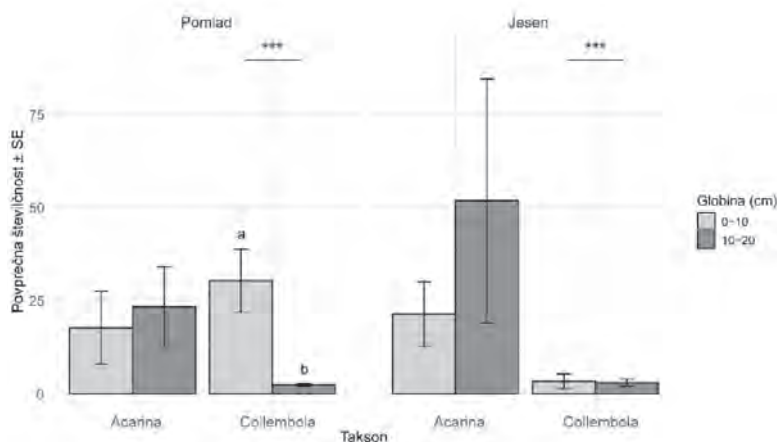
Acarina (Konvencionalna obdelava)			
Vir variabilnosti	df	F	p
Globina	1	0,202	0,663
Letni čas	1	0,580	0,465
Globina × Letni čas	1	1,919	0,198

Acarina (Minimalna obdelava)			
Vir variabilnosti	df	F	p
Globina	1	0,957	0,356
Letni čas	1	0,371	0,561
Globina × Letni čas	1	0,250	0,631

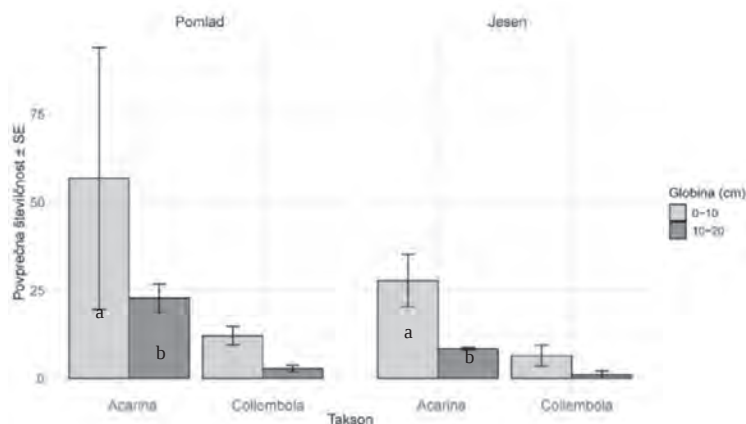
Collembola (Konvencionalna obdelava)			
Vir variabilnosti	df	F	p
Globina	1	15,401	0,004*
Letni čas	1	8,191	0,021*
Globina × Letni čas	1	0,210	0,659

Collembola (Minimalna obdelava)			
Vir variabilnosti	df	F	p
Globina	1	12,008	0,008*
Letni čas	1	2,500	0,154
Globina × Letni čas	1	0,093	0,767

Interakcija med globino in letnim časom prav tako ni bila statistično značilna. Kljub temu smo opazili, da je bilo število Acarina nekoliko višje v globlji plasti tal (10–20 cm) (slika 1), vendar ta razlika ni bila statistično značilna.



Slika 1: Povprečna številčnost Acarina in Collembola v vzorcih iz konvencionalne obdelave v različnih letnih časih in po različnih globinah. Črte prikazujejo standardno napako (SE). Črke nad stolpci prikazujejo statistično značilno razliko med številčnostjo Collembola po globini. Zvezdice nad stolpci prikazujejo statistično značilno razliko med Collembola glede na letni čas.

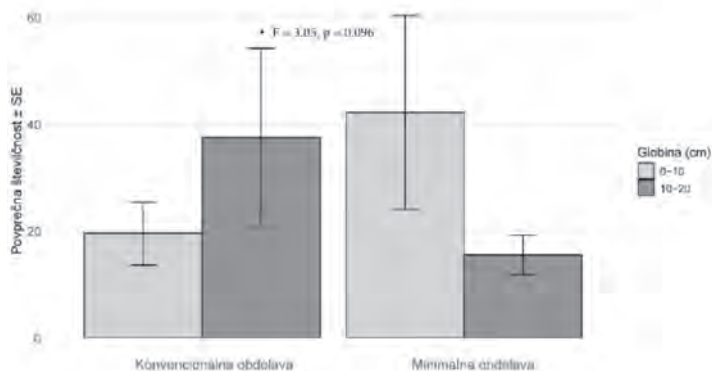


Slika 2: Povprečna številčnost Acarina in Collembola v vzorcih iz minimalne obdelave v različnih letnih časih in po različnih globinah. Črte prikazujejo standardno napako (SE). Črke nad stolpci prikazujejo statistično značilno razliko med številčnostjo Collembola po globini.

Pri Collembola smo ugotovili statistično značilen vpliv globine (preglednica 2) in letnega časa na številčnost te skupine (preglednica 2). Collembola so bile številčnejše v zgornji plasti tal (0–10 cm) ter spomladi v primerjavi z jesenjo. Interakcija med globino in letnim časom ni bila statistično značilna. Pri minimalni obdelavi tal dvosmerna ANOVA za skupino Acarina prav tako ni pokazala statistično značilnih razlik glede na globino, letni čas ali njuno interakcijo. Kljub temu smo opazili obraten trend kot pri konvencionalni obdelavi in sicer je bila večja povprečna številčnost Acarina v višjem sloju tal (0–10 cm) (slika 2). Za skupino Collembola je bil pri minimalni obdelavi tal ugotovljen statistično značilen vpliv globine, pri čemer so bile

Collembola številčneje v zgornji plasti tal (0–10 cm). Vpliv letnega časa ni bil statistično značilen, čeprav je bil opazen trend večje povprečne številčnosti spomladi. Interakcija med globino in letnim časom ni bila statistično značilna. Rezultati kažejo, da je globina tal pomemben dejavnik, ki vpliva na število Collembola, ki je bila številčnejša v zgornji plasti tal pri obeh metodah obdelave tal. Pri konvencionalni obdelavi tal je bil tudi letni čas pomemben dejavnik za Collembola, saj je bilo njihovo število večje spomladi v primerjavi z jesenjo. Pri Acarina ni bilo statistično značilnih razlik glede na globino ali letni čas pri nobeni od obdelav, kar lahko nakazuje na njihovo večjo tolerantnost na spremembe okoljskih dejavnikov ali vpliv drugih dejavnikov, ki jih v tej študiji nismo spremljali.

Pri združitvi rezultatov spomladanskega in jesenskega vzorčenja, povprečja nakazujejo večje število pršic (Acarina) v globljih slojih tal pri konvencionalni obdelavi ter v zgornjem sloju pri minimalni obdelavi. To nakazuje da oranje, ki premika organsko snov v globlje plasti, spodbuja selitev pršic v ugodnejše razmere. Ker statistična analiza ni potrdila razlik, ostaja razlaga teoretična, saj bi za potrditev bile potrebne dodatne raziskave z vključitvijo večjega števila vzorcev.



Slika 3: Povprečne številčnosti Acarina v spomladanskih in jesenskih vzorcih, glede na način obdelave in globino vzorčenja.

4 SKLEPI

Iz rezultatov lahko zaključimo, da je številčnost Collembola najvišja v zgornji plasti tal 0–10 cm, ne glede na tip obdelave tal. Številčnost Acarina je bila zelo variabilna med vzorci in posledično nismo zaznali statistično pomembnih razlik. Povprečja pa nakazujejo na višjo številčnost Acarina v globlji plasti (10–20 cm) v konvencionalni obdelavi v primerjavi z minimalno obdelavo, verjetno zaradi prerazporeditve organske snovi v globlje plasti pri oranju. Izračunane vrednosti QBS-ar indeksa so bile višje v zgornji plasti tal (0–10 cm) pri minimalni obdelavi. Ravno nasprotno so bile vrednosti QBS-ar višje v globlji plasti (10–20 cm) pri konvencionalni obdelavi tal. Ta trend je bil enak spomladi in jeseni, vendar zaradi majhnega števila vzorcev QBS-ar vrednosti nismo mogli primerjati s statističnimi orodji. Zaznali smo tudi relativno velike razlike v vrednostih QBS-ar indeksa iste njive v različnih letih, kar nakazuje na potrebo po izboljšanju metodologije ocenjevanja zdravja tal in nujnosti združevanja različnih kazalnikov pri njegovi oceni.

5 LITERATURA

- Changguo X., Linhua S., Pingjiu Z., Genxing P. 2016. The Case Study on Soil Fauna Diversity in Different Ecological System in Shilin National Park, Yunnan, China. *Acta Carsologica*, 32(2). <https://doi.org/10.3986/ac.v32i2.347>
- Eurostat. 2019. Agriculture statistics—Family farming in the EU. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Agriculture_statistics_-_family_farming_in_the_EU (12. nov. 2024)
- Holland J. M. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103(1), 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.018>
- Lavelle P., Spain A. V. 2001. *Soil Ecology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-5279-4>
- Menta C., Conti F. D., Pinto S., Bodini A. 2018. Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecological Indicators*, 85, 773–780. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.030>
- Mhazo N., Chivenge P., Chaplot V. 2016. Tillage impact on soil erosion by water: Discrepancies due to climate and soil characteristics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 231–241. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.033>
- Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. 2025. Agrometeorološka postaja. https://agromet.mkgp.gov.si/APP2/Detail?id=63&archive=0&locDet=1&metDet=0&nearby=DISTANCE_10_KM#compareCard (8. jan. 2025)
- Miura F., Nakamoto T., Kaneda S., Okano S., Nakajima M., Murakami T. 2008. Dynamics of soil biota at different depths under two contrasting tillage practices. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(2), 406–414. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.09.004>
- Naglič V. 2023. Variabilnost združbe talnih živali v kmetijskih ekosistemih v Sloveniji: magistrska naloga, Ljubljana, Biotehniška fakulteta. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=154095>
- Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C., Mozzanica E. 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105(1–2), 323–333. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.02.002>
- Pimentel D., Hepperly P., Hanson J., Douds D., Seidel R. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience*, 55(7), 573–582. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0573:EEAECO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0573:EEAECO]2.0.CO;2)
- Schillinger W. F. 2001. Minimum and Delayed Conservation Tillage for Wheat–Fallow Farming. *Soil Science Society of America Journal*, 65(4), 1203–1209. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.6541203x>
- Statistični urad Republike Slovenije (SURS). 2020. Kmetijska statistika. <https://www.stat.si/StatWeb/Field/Index/2> (3. dec. 2024)
- Wardle D. A., Bardgett R. D., Klironomos J. N., Setälä H., van der Putten W. H., Wall D. H. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304(5677), 1629–1633. <https://doi.org/10.1126/science.1094875>

Rezultati Javne službe v vrtnarstvu v letih od 2018 do 2024

Kristina UGRINOVIC⁸

Izvleček

Izvajanje strokovnih nalog s področja vrtnarstva kmetijsko ministrstvo podpira že od sredine 50-ih let prejšnjega stoletja. Z letom 2018 je bilo strokovno delo v vrtnarstvu organizirano v Javno službo v vrtnarstvu. Aktivnosti so v letih od 2018 do 2024 zajemale introdukcijo, selekcijo in žlahtnjenje ter tehnologije pridelave zelenjadnic in zelišč ter strokovno tehnično koordinacijo. V prispevku je prikazano financiranje in obseg dela v okviru strokovnih nalog za področje vrtnarstva po letu 1995 s poudarkom na aktivnostih in rezultatih zadnjih sedmih let.

Ključne besede: strokovna naloga, zelenjadnice, zelišča, žlahtnjenje, selekcija, introdukcija, rajonizacija, tehnologije

Results of Public service in vegetables and herbs from 2018 to 2024

Abstract

The professional tasks in the field of horticulture have been supported by Ministry of Agriculture since the mid-1950s. Since 2018, professional work in horticulture has been organized within the Public Service in Vegetables and Herbs. In the years from 2018 to 2024, the activities covered the introduction, selection and breeding, production technologies of vegetables and herbs, as well as professional and technical coordination. The paper presents the financing and the extent of work within the professional tasks in the field of horticulture since 1995, with an emphasis on the activities and results of the last seven years.

Keywords: professional task, horticulture, breeding, selection, introduction, regionalization, technologies

1 UVOD

Razvoj in razširjanje znanja s področja pridelave vrtnin (zelenjadnic in zelišč) ima v Slovenji sicer dolgo tradicijo, a je obseg tako pri ustvarjanju kot nadaljnjem prenosu znanja do kmetov v tej panogi tradicionalno razmeroma skromen. V zadnjih 70 letih se znanje v veliki meri razvija v okviru strokovnih nalog (v nadaljevanju SN) in projektov, ki so, kot posredna oblika podpore sektorju, financirani iz proračunskih sredstev za splošne storitve za kmetijstvo.

Izvajanje SN s področja vrtnarstva kmetijsko ministrstvo podpira že vse od sredine 50-ih let prejšnjega stoletja. Sprva so bile SN v vrtnarstvu, poimenovane *Izboljšanje sortimenta vrtnin*, osredotočene na introdukcijo sort (preskušanje drugod vzgojenih sort za pridelavo v naših agroekoloških razmerah) različnih vrst zelenjadnic ter zdravilnih rastlin in dišavnic. Podprta je bila tudi naloga *Žlahtnjenje ljubljanskega zelja in naloga Vzgoja in introdukcija novih sort fižola*. Za preskušanje tehnologij pridelave so bila sredstva občasno na voljo v okviru kratkoročnih nalog.

Tudi od leta 1991 dalje se je v vrtnarstvu preskušalo predvsem sorte zelenjadnic, sprva v okviru SN *Introdukcija poljščin in vrtnin* in po 2007 v okviru SN *Posebno preizkušanje sort*. V obdobju od 1992 do 2003 je bilo podprto tudi delovanje *Vrtnarskih centrov in postaj*, katerih namen je bil prikaz različnih sort in tehnologij pridelovanja zelenjadnic, v manjši meri pa tudi preskušanje tehnologij. Preskušanje različnih vrst zelišč, občasno tudi posameznih tehnoloških postopkov, je bilo v tem obdobju podprto v okviru naloge *Selekcija in ekološka rajonizacija zdravilnih*

⁸ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: kristina.ugrinovic@kis.si

zelišč, ki pa, kljub imenu, ni obsegala selekcije zelišč. Žlahtnjenje zelenjadnic je bilo do leta 2014, ko je zaživila SN *Žlahtnjenje rastlin*, financirano le projektno.

Z uredbo (Uradni list RS, št. 60/17, U:2884), ki je stopila v veljavo z začetkom leta 2018, je bilo strokovno delo v vrtnarstvu, ki pokriva tako zelenjadnice kot zelišča, s 7-letnim programom financirano v okviru *Javne službe v vrtnarstvu* (v nadaljevanju JS vrt). Aktivnosti so zajemale introdukcijo, selekcijo in žlahtnjenje ter tehnologije pridelave. Novost je bila vzpostavitev strokovno tehnične koordinacije, katere osnovni namen je bil krepitev odnosov in dejavnosti v sistemu prenosa znanj in inovacij v kmetijstvu (ang. Agricultural Knowledge and Innovation System – AKIS).

V prispevku je prikazano financiranje in obseg strokovnega dela v vrtnarstvu po letu 1995, s poudarkom na aktivnostih in dosežkih *Javne službe v vrtnarstvu* v letih od 2018 do 2024.

2 MATERIAL IN METODE

Podatke o sredstvih, ki so bila od leta 1995 namenjena SN v kmetijstvu, in podatke o deležu vrtnarske proizvodnje (vključuje zelenjadnice, sadike in okrasne rastline) v vrednosti kmetijske proizvodnje oziroma v vrednosti rastlinske proizvodnje po osnovnih cenah smo pridobili iz Poročil o stanju kmetijstva, živilstva, gozdarstva in ribištva, ki jih po naročilu MKGP pripravlja Kmetijski inštitut Slovenije (Volk in sod., 2005; Volk in sod., 2014; Travnikar in sod., 2024). Podatke o financiranju nalog s področja vrtnarstva smo pridobili iz letnih poročil posameznih SN v proizvodnji kmetijskih rastlin, v okviru katerih so bile v določenih obdobjih financirane naloge s tega področja, in sicer: *Vrtnarski centri in postaje* (od 1995 do 2003), *Introdukcija in ekološka rajonizacija poljščin in vrtnin* (od 1995 do 2003), *Posebno preizkušanja sort za opisno sortno listo* (od 2004 do 2017), *Introdukcija hmelja in zdravilnih rastlin* (od 1995 do 2003), *Selekcija in introdukcija hmelja in zdravilnih rastlin ter certificiranje hmelja* (2004 do 2006), *Selekcija in vzgoja novih sort sadnih rastlin in vinske trte ter selekcija in ekološka rajonizacija zdravilnih zelišč* (od 2007 do 2013), *Ekološka rajonizacija zdravilnih zelišč* (od 2014 do 2017), *Žlahtnjenje rastlin* (od 2014 do 2017), *Javna služba v vrtnarstvu* (od 2018 do 2024). Poročila so na voljo v internih arhivih KIS. Izpostaviti velja, da SN doslej niso vključevale nalog, vezanih na okrasne rastline.

Obseg financiranja posameznih sklopov SN s področja vrtnarstva (žlahtnjenje zelenjadnic, preskušanje sort in tehnologij pridelave zelenjadnic, selekcija zelišč ter preskušanje vrst, sort in tehnologij pridelave zelišč) smo opredelili z ekvivalentom polne zaposlitve (FTE) v skladu z metodologijo Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS (ARIS) za projekte cenovne kategorije C.

Družbeni odtis posameznih sklopov SN s področja vrtnarstva smo ocenili s pomočjo bibliografskih enot, ki so za sodelavce, ki so v letih od 1995 do 2024 sodelovali pri izvajanju SN, zavedene v sistemu COBISS (Kooperativni online bibliografski sistem in servisi). Upoštevali smo enote, za katere ocenjujemo, da izhajajo iz aktivnosti v okviru SN. K objavam na spletnih straneh smo šteli objave na strani JS vrt in straneh izvajalca in podizvajalcev JS vrt, in sicer Kmetijskega inštituta Slovenije (KIS), Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (BF UL), Inštituta za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (IHPS) in Kmetijsko gozdarskega zavoda Murska Sobota pri Kmetijsko gozdarski zbornici Slovenije (KGZS-KGZ MS).

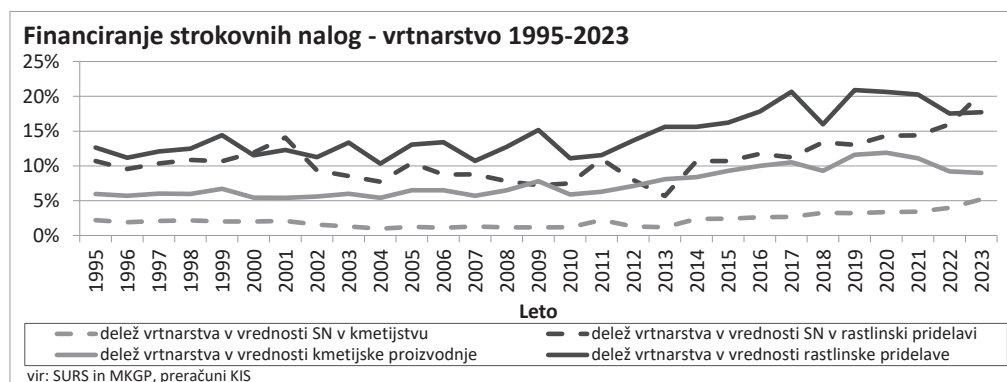
3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Financiranje strokovnih nalog s področja vrtnarstva

Kmetijsko ministrstvo na podlagi Zakona o kmetijstvu iz proračunskih sredstev za splošne storitve za kmetijstvo že od leta 2000 financira Javne službe na področju kmetijstva. Del teh so

tudi SN v proizvodnji kmetijskih rastlin, v okviru katerih so z večletnimi programi določene naloge za posamezna področja/panoge, tudi vrtnarstvo. Od 1991 do 2000 so bile, na podlagi Zakona o finančnih intervencijah v kmetijstvo, SN v rastlinski proizvodnji financirane preko plačil storitev javnim zavodom in ustanovam.

Na sliki 1 je za obdobje med letoma 1995 in 2023 grafično prikazana primerjava deleža sredstev MKGP in organa v sestavi (Fitosanitarne uprave RS do leta 2013), ki so bila v SN v kmetijstvu oziroma v SN v rastlinski proizvodnji namenjena nalogam na področju vrtnarstva, in delež vrtnarske pridelave v vrednosti kmetijske proizvodnje oziroma v vrednosti rastlinske pridelave. Financiranja posameznih sklopov SN s področja vrtnarstva v FTE je prikazano na slikah 2 in 3.



Slika 1: Delež sredstev za strokovne naloge (SN) s področja vrtnarstva glede na sredstva MKGP in organov v sestavi za SN v kmetijstvu oziroma SN v rastlinski pridelavi v primerjavi z deležem vrtnarske pridelave v vrednosti kmetijske proizvodnje oziroma v vrednosti rastlinske pridelave po osnovnih cenah v letih od 1995 do 2023

Vrednost vrtnarske pridelave tako v skupni vrednosti kmetijske proizvodnje, kjer je v zadnjih letih okoli 10 %, kot tudi v vrednosti rastlinske pridelave, kjer se vrednost vrtnarske pridelave v zadnjih letih giblje med 15 in 20 %, se kljub medletnim nihanjem v zadnjih 30 letih povečuje. V skupnih sredstvih za strokovne naloge v rastlinski pridelavi so sredstva za SN s področja vrtnarstva le ob začetku tega tisočletja dosegala enak delež, kot ga je v tistih letih imela vrtnarska pridelava v vrednosti rastlinske pridelave. Takrat je bilo strokovno delo s področja vrtnarstva financirano tako preko *Vrtnarskih centrov in postaj* kot preko *SN Introdukcija in ekološka rajonizacija poljščin in vrtnin*, skupno pa je bilo tem nalogam, brez sredstev za investicije, namenjeno med 8 in 9 FTE. Sredstva za *Vrtnarske centre in postaje* so nato kopnela. V letu 2004 sta bila oba programa združena, sredstva pa so se, tako nominalno, kot glede na delež v sredstvih za naloge v rastlinski pridelavi, še naprej zmanjševala vse do leta 2013, ko so zadostovala le še za 2,5 FTE. Izjema je bilo leto 2011, ko je MKGP vsem nalogam v rastlinski pridelavi, vključno z nalogami s področja vrtnarstva, namenilo tudi sredstva iz *Akcijskega načrta za podnebne spremembe*, del teh sredstev je bil namenjen tudi investicijam. V 2014 je MKGP pričelo financirati nalogo *Žlahtnjenje rastlin*, katere del sta bila tudi programa žlahtnjenja zelja in fižola. Šele s tem programom so sredstva za SN s področja vrtnarstva v sredstvih za SN v rastlinski pridelavi ponovno presegla 10 %, kolikor je bilo vrtnarstvu namenjeno tudi ob prelomu tisočletja, delež vrtnarstva v vrednosti rastlinske pridelave pa je v tem času že presegal 15 %. V 2016 so bila, zaradi širitve preskušanj na novo lokacijo KGZS-KGZS - Zavod MS, odobrena dodatna sredstva. Od leta 2018, ko je bilo delo SN v rastlinski

pridelavi reorganizirano in so bile Javne službe vzpostavljene po panogah rastlinske pridelave, se sredstva za naloge s področja vrtnarstva zlagoma povečujejo. V letih 2023 in 2024 so z dobrimi 9 FTE dosegla raven iz sredine 90-ih let prejšnjega stoletja, a sedaj obsegajo več področij dela - ob preskušanju sort in tehnologij pridelave zelenjadnic tudi žlahtnjenje zelenjadnic, selekcijo zelišč in preskušanje vrst, sort in tehnologij pridelave zelišč. V letu 2020 so bila dodana prva namenska sredstva za investicije. Sredstva za investicije so bila nato v letih 2022–2024 še močno povečana, velik del investicij pa usmerjen v razvoj infrastrukturnega centra Ptuj KIS, ki ga je v letu 2022 država potem, ko je Seleksijski center Ptuj odkupila od Semenarne Ljubljana, predala v upravljanje KIS. S temi sredstvi je delež sredstev za vrtnarstvo v sredstvih za SN v rastlinski pridelavi prvič presegel delež, ki ga ima vrtnarska pridelava v vrednosti rastlinske pridelave.

V sredstvih za SN v kmetijski pridelavi sredstva za naloge s področja vrtnarstva nikoli niso dosegala deleže, ki ga ima vrtnarska pridelava v vrednosti kmetijske proizvodnje.

Slovenija si v strateških dokumentih s področja kmetijstva že desetletja zadaja cilj povečati samooskrbo z zelenjadnicami in zelišči ter ugotavlja, da imata področji zaradi naravnih danosti in strukture kmetijskih gospodarstev velik potencial za razvoj. A teh usmeritev pri financiranju strokovnega dela ne upošteva. Vrtnarstvu je že desetletja, podobno kot nekaterim drugim panogam rastlinske pridelave, v sredstvih za SN namenjeno manj od prispevka panoge k vrednosti kmetijske proizvodnje, kar vsekakor ne kaže na resen namen razvoja panoge.

3.2 Žlahtnjenje zelenjadnic

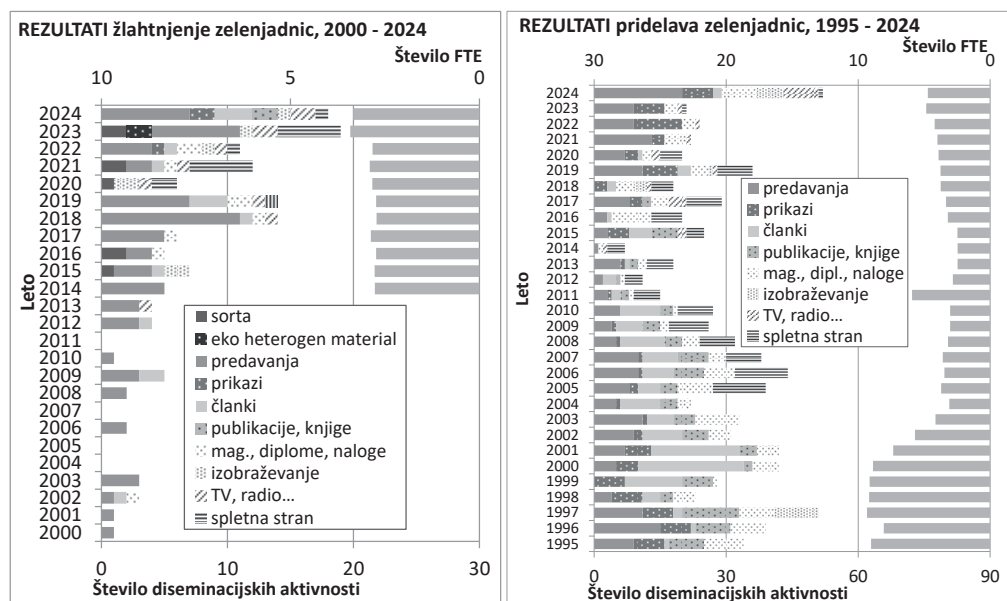
Od leta 2014 žlahtnjenje fižola teče na KIS, žlahtnjenje zelja pa na UL BF. Žlahtnjenje fižola je v preteklosti v Sloveniji potekalo predvsem z individualno odbiro iz avtohtonih populacij oziroma odbiro želenih genotipov pri populacijskem žlahtnjenju. V letu 2016 so bila prvič v večjem obsegu izvedena ročna križanja. V 2018 so v proces žlahtnjenja fižola začeli uvajati DNA markerje. Opravljena je bila genetska karakterizacija slovenskega izolata virusa BCMV/BCMN. Izvajalo se je ciljna ročna križanja izbranih starševskih genotipov nizkega fižola za namene mapiranja odpornosti proti BCMV in nižje vsebnost fitinske kisline. Ob sofinanciranju iz drugih virov so pričeli še z mapiranjem odpornosti proti *Colletotrichum lindemuthianum*. Uvedli so metodo za kvantificiranje aktivnosti inhibitorja tripsina in delež inhibicije tripsina v semenih in strokih. V 2021 je bila registrirana prva iz tega programa žlahtnjenja izhajajoča sorta nizkega fižola za stroče KIS Amand. Leta 2022 je bila registrirana vrčičarska sorta nizkega fižola za zrnje KIS Marcelijan in leta 2023 še vrčičarska sorta nizkega tipa rasti KIS Pavlin. Registrirana sta bila tudi dva ekološka heterogena materiala (EHM), KIS Bogo in KIS Deodat, oba leta 2023.

Pri zelju so bili, do financiranja SN Žlahtnjenje rastlin v 2014, preko projektov vzpostavljeni osnovni postopki žlahtnjenja hibridnih sort. Pridobljeni so bili prvi eksperimentalni križanci. Žlahtnjenje hibridnih sort vključuje tako klasične kot novejši biotehnoške pristope. Zajema pridobivanje čistih linij iz genetsko raznolikega materiala, določanje njihovih kombinacijskih sposobnosti in izbiro najbolj zanimivih hibridov. Razvit je bil inovativen sistem, za katerega je bila vložena tudi patentna prijava. Sistem omogoča izvedbo vseh postopkov v eni rastni sezoni. Čiste linije se pridobi s postopkom indukcije haploidov s kulturo mikrospor. Dihaploidnim čistim linijam določijo genetski profil z molekularnimi markerji ter samoinkompatibilnostni razred. Nato genetsko različne linije, posajene v prostorski izolaciji, križajo oprasevalci. Sledi saditev potomcev posamezne rastline v poljskem poskusu ter določanje starševstva izbranim hibridom. Poteka tudi vzgoja linije z vneseno citoplazmatsko moško sterilnostjo in dobrimi kombinacijskimi lastnostmi. Začeli so žlahtniti nove populacijske sorte, v katere vključujejo dednino lokalnih populacij (Kranjsko okroglo, Emona, Ljubljansko) in dednino zanimivih tujih

sort. Uvajajo preverjanje prehranske vrednosti. Prvi hibrid, ki je eden od eksperimentalnih križancev, pridobljenih pred vzpostavitvijo SN *Žlahtnjenje rastlin*, je bil v 2016 registriran z imenom Presnik F1. V 2020 je bil registriran hibrid Rožnik, v 2023 pa hibrid Kosobrin.

Oba programa žlahtnjenja zelenjadnic sta po 10-ih letih sistematičnega financiranja vzpostavila dobro delujoča sistema, ki redno generirata nove sorte. Uvedene so bile nove žlahtniteljske metode in vzpostavljena infrastruktura. Sistema bi lahko okrepili/dopolnili z mutacijskim žlahtnjenjem, genomsko selekcijo, žlahtnjenjem ekoloških sort, obogatitvijo žlahtniteljske kolekcije, digitalizacijo žlahtniteljskega materiala ter ju prenesli na sorodne vrste.

Sodelavci obeh programov so zelo aktivni tudi pri promociji žlahtnjenja in prenosu znanja. Družbeni odtis SN iz sklopa žlahtnjenja je v primerjavi z obsegom financiranja za leta od 2000 do 2024 grafično prikazan na sliki 2 (levo). Jasno je razvidno, da se je po pričetku financiranja povečalo ne le število registriranih sort, temveč tudi druge aktivnosti.



Slika 2: Diseminacijske aktivnosti in financiranje v ekvivalentu polne zaposlitve (FTE) za naloge žlahtnjenja zelenjadnic v letih od 2000 do 2024 (levo) in naloge pridelave zelenjadnic (preskušanje sort in tehnologij pridelave) v letih od 1995 do 2024 (desno)

3.3 Sorte in tehnologije pridelave zelenjadnic

Preskušanje vrednosti za pridelavo in uporabo (VPU) sort zelenjadnic v okviru različnih nalog po naročilu MKGP poteka že od leta 1967. V obdobju od 1991 do 2004 je potekalo v treh fazah t.j. predizbira (zbiranje informacij in dokumentacije, vegetacijski in tipalni poskusi) v letnem obsegu 50 do 250 sort, registracija (pogoj za trženje semenskega materiala) v letnem obsegu 10 do 50 sort in rajonizacija pridelovanja (primernost vrst in sort za pridelovanje v različnih pridelovalnih območjih) v letnem obsegu 10 do 19 vrst in od 100 do 350 sort. Preskušanje tehnologij pridelave je bilo v preteklosti občasno podprto v okviru kratkoročnih nalog. V obdobju od 1992 do 2003, ko so delovali *Vrtnarski centri in postaje*, se je v manjši meri preskušalo tudi tehnologije pridelave zelenjadnic, začelo se je preskušati tudi tehnologije hidroponske pridelave. Po vstopu Slovenije v EU se je sistem preskušanja sort spremenil,

preverjanje VPU sort pri zelenjadnicah več ni pogoj za vpis sorte na Sortno listo in dovoljeno je tržiti vse sorte, ki so vpisane v Skupni katalog sort EU. Odtlej do leta 2017 je bilo letno v preskušanja na različnih lokacijah vključenih 4 do 5 vrst s skupaj 40 do 60 sortami zelenjadnic, dodani so bili različni termini pridelave in v manjšem obsegu tehnologije pridelave ter uvajanje manj znanih oz. manj razširjenih vrst v pridelavo. Z vzpostavitev JS vrt je preverjanje VPU sort zelenjadnic postalo del te JS, poseben poudarek je bil dan tudi tehnologijam pridelave zelenjadnic.

Obseg preskušanja sort v obdobju 2018 do 2024 je ostal podoben kot v letih pred vzpostavitev JS, tj. 5 do 7 vrst in skupaj 40 do 60 sort zelenjadnic vsako leto na eni do štirih lokacijah. Večji poudarek kot v preteklosti je bil na uporabni vrednosti sort (skladiščna sposobnost, kakovost za predelavo, ocena všečnosti v laičnih degustacijah, prehranska vrednost). Pogosto so bile sorte preskušene v različnih terminih pridelovanja ter primerjalno na prostem in v enostavnih oblikah zaščitenih prostorov (tunelih).

Obseg tehnoloških poskusov se je, glede na leta pred vzpostavitev JS vrt, povečal. Na leto je bilo zasnovanih od 3 do 8 poskusov ter opravljeno od 2 do 8 preliminarne vrednotenja (predvsem pri biorazgradljivih opornih vrvcih in zastirnih folijah). Tako kot v preteklih obdobjih je bila tudi od 2018 do 2024 večina tehnoloških poskusov izvedena le na eni lokaciji, le posamezni poskusi hkrati na dveh lokacijah, saj je zaradi zahtevnosti izvedbe in pomanjkanja usposobljenega kadra take poskuse težje sočasno izvajati na več lokacijah. Večji poudarek kot v preteklosti je bil dan vplivu preskušanih tehnologij na kakovost pridelkov in okolje ter uporabnosti v spremenjenih razmerah pridelave. Glavnina preskušanj je, tako pri sortah kot tehnologijah, potekala pri pridelavi v tleh, v manjšem obsegu tudi na hidroponskih sistemih BF UL.

Družbeni odtis SN iz sklopa preskušanja sort in tehnologij pridelave zelenjadnic je, v primerjavi z obsegom financiranja za leta od 1995 do 2024 grafično prikazan na sliki 2 (desno). Razvidno je, da je z zmanjševanjem sredstev po letu 2001 najprej močno upadlo število demonstracijskih aktivnosti (prikazi), po letu 2008 pa še število strokovnih člankov. Slednje je bilo delno posledica manjšega obsega strokovnega dela kot tudi konca izhajanja nekaterih strokovnih revij. Zmanjšalo se je tudi število zaključnih nalog študentov, ki so bili na UL BF vključeni v izvajanje poskusov SN. Od leta 2005 so rezultati preskušanj sort in tudi tehnologij dostopni na spletni strani KIS oziroma od leta 2020 dalje na spletni strani JS vrt. Najmanj aktivnosti, vezanih na prenos znanja, je bilo v letih od 2011 do 2014, kar je kar 7 ali 8 let po tem, ko so se sredstva za SN občutno zmanjšala. Po letu 2015, ko so se sredstva začela počasi povečevati, se povečuje tudi število različnih oblik prenosa znanja, ponovno se povečuje tudi število demonstracij.

3.4 Selekcija zelišč

Financiranje načrtne selekcije zelišč v okviru strokovnih nalog se je pričelo v letu 2018 in je potekalo na IHPS in BF UL. Vzpostavljen je bil osnovni model sistema selekcije oz. vzgoje slovenskih sort zelišč iz akcesij, hranjenih v rastlinski genski banki, na primeru kolmeža (*Acorus calamus*), vrste, ki se razmnožuje vegetativno. V teku je tudi vzpostavljanje modela selekcije pri kumini (*Carum carvi*), vrsti, ki se razmnožuje generativno. Pri vzpostavljanju sistema selekcije so se pokazale težave z razpoložljivostjo materialov za selekcijo, saj je trenutno število zbranih samoniklih populacij zdravilnih in aromatičnih rastlin, ki bi bile primerne za selekcijsko delo, zelo skromno. Pokazalo se je tudi, da postopki registracije sort zelišč na sortno listo niso zakonsko urejeni, saj v trenutno veljavnih predpisih ni podlage za vse vrste zelišč, pri katerih poteka selekcija.

3.5 Vrste, sorte in tehnologije pridelave zelišč

V preskušanja tržno zanimivih vrst zelišč v različnih pridelovalnih območjih Slovenije (rajonizacija) so bile, tako v preteklosti kot od leta 2018 do 2024, vključene pretežno populacije, ki izvirajo iz Slovenije. Nalogi je bila v 2018 dodana introdukcija zelišč, katere namen je v naših agroekoloških razmerah preskusiti tuje tržno zanimive vrste ali sorte. Okrepilo se je preskušanje tehnologij pridelave zelišč. V zadnjih 7 letih je bilo v preverjanju VPU 6 vrst zelišč, vsaka na treh lokacijah, in po dve tuji sorti rožmarina in melise na eni lokaciji. Preskušalo se je tehnologije pridelave štirih vrst (rička, rožmarina, melise in mačje mete) na eni lokaciji. Vsi poskusi so potekali v skladu z ekološkimi smernicami v koordinaciji IHPS.

Rezultati nalog so bili v letih 2018 do 2024 predstavljeni na petih domačih simpozijih oziroma posvetih, v petih strokovnih člankih, v dveh tehnoloških listih, več radijskih nasvetih, predavanjih za študente FKBV, objavah na spletnih straneh JS vrt in IHPS, na vsakoletnih Dnevih odprtih vrat vrta IHPS s posvetom, na sejmu Agra kot tudi ob neposrednem stiku s pridelovalci, pri katerih so poskusi potekali.

3.6 Koordinacija

Financiranje strokovno tehnične koordinacije je bilo ob reorganizaciji SN v 2018 uvedeno z namenom poenotiti delovanje JS vrt in okrepiti prenos znanja med raziskovalnimi, izobraževalnimi in svetovalnimi ustanovami/slужbami. Koordinacija je bila uspešno vzpostavljena, spletna stran in vizualna podoba je bila dobro sprejeta, prenos znanja do JSKS in pridelovalcev je napredoval, zlasti se je okrepilo sodelovanje s strokovno skupino JSKS za vrtnarstvo. Izziv ostaja prenos znanja večjemu številu pridelovalcev. Sodelovanje z ostalimi JS je bilo uspešno vzpostavljeno in se je, zlasti z Javno službo zdravstvenega varstva rastlin, občutno okrepilo. Veliko časa je bilo porabljenega za administrativno-tehnično delo ter podporo MKGP, zato je zmanjkovalo časa za vsebinsko koordinacijo, ustvarjanje novega znanja in boljši ter obsežnejši prenos znanja do JSKS in pridelovalcev.

4 SKLEPI

Okrepljeno financiranje SN s področja vrtnarstva v obdobju od 2018 do 2024 kaže pričakovane rezultate. Oba programa žlahtnjenja zelenjadnic sta po 10-ih letih sistematičnega financiranja vzpostavila dobro delujoča sistema, ki redno generirata nove sorte, pri selekciji zelišč sta bila vzpostavljena osnovna sistema selekcije na primeru vrste, ki se razmnožuje vegetativno in vrste, ki se razmnožuje generativno. V okviru možnosti so bile pridobljene informacije o vrednosti izbranih sort zelenjadnic ter vrst in sort zelišč za pridelavo in uporabo, okrepilo se je preskušanje tehnologij pridelave ter sodelovanje z ostalimi javnimi službami in prenos znanja.

Če želimo v prihodnje s strokovnim delom še bolje podpreti panogo, bo potrebno raziskovalno in strokovno delo s področja pridelave zelenjadnic in zelišč še okrepiti in omogočiti bolj poglobljena znanja in specializacijo, tudi strokovnjakov. Nadgraditi je potrebno infrastrukturo poskusnih poligonov, opredeliti ključne teme raziskav v ključnih pridelovalnih sistemih za obdobje naslednjih 10 let, zbiranje podatkov in obdelavo v čim večji meri digitalizirati in avtomatizirati ter izboljšati prenos znanja kot tudi usposobljenost za to.

Zahvala. Priprava tega prispevka je bila delno financirana v okviru Javne službe v vrtnarstvu (pogodba št. 2330-24-000022).

5 LITERATURA

- Travnikar, T. (ur.), Bedrač, M., Bele, S., Bleiweis, A., Brečko, J., Kožar, M., Moljk, B., Telič, V., Zagorc, B. 2024. Poročilo o stanju kmetijstva, živilstva, gozdarstva in ribištva v letu 2023. Ljubljana, Kmetijski Inštitut Slovenije.
- Volk T., Zagorc B., Pintar M., Rednak M., Moljk B. 2005. Ocena stanja v kmetijstvu v letu 2004. Ljubljana, Kmetijski Inštitut Slovenije.
- Volk, T. (ur.), Bedrač, M., Kožar, M., Moljk, B., Pintar, M., Zagorc, B. 2014. Poročilo o stanju kmetijstva, živilstva, gozdarstva in ribištva v letu 2013. Ljubljana, Kmetijski Inštitut Slovenije.

Javna služba v poljedelstvu v letih od 2018 do 2024

Peter DOLNIČAR⁹

Izvleček

Izhodišče za sedemletni program (2018–2024) Javne službe v poljedelstvu je bila Strategiji razvoja in ukrepov kmetijske politike za poljedelstvo do leta 2020. Ključna strateška cilja sta bila povečanje pridelave in konkurenčnosti slovenskega kmetijstva. Za doseganje teh ciljev je pomemben izbor ustreznih vrst in sort poljščin, kakovostno seme in v največji možni meri uporaba sodobnih tehnologij, prilagojenih podnebnim spremembam in naravnim danostim. Javna služba v poljedelstvu ima v programu opredeljene naslednje strokovne naloge: žlahtnjenje poljščin (krompir, krmne rastline, ajda, strna žita za ekološko pridelavo), introdukcija novih sort poljščin in ugotavljanje njihove vrednosti za pridelavo (koruza, strna žita, krmne rastline, oljnice in stročnice, krompir), tehnologije pridelave poljščin in strokovno-tehnična koordinacija. Raziskave tehnologij pridelave poljščin so obsegale tehnologije gnojenja, vrstenja in gostote setve poljščin, tehnologije za izboljšanje rodovitnosti tal, tehnologije oskrbe poljščin med rastjo, tehnologije združenih setev in tehnologije zatiranja plevelov. Na podlagi javnega povabila je bilo vodenje Javne službe v poljedelstvu zaupano Kmetijskemu inštitutu Slovenije s podizvajalci Fakulteto za kmetijstvo in biosistemske vede, Biotehniško šolo Rakičan, Kmetijsko gozdarskim zavodom Nova Gorica in Grm Novo mesto – Centrom biotehnike in turizma. V prispevku prikazujemo pregled rezultatov 7-letnega obdobja dela javne službe.

Ključne besede: javna služba, poljedelstvo, žlahtnjenje rastlin, introdukcija poljščin, tehnologije pridelovanja

Public service in field crop production from 2018 to 2024

Abstract

The seven-year work programme 2018-2024 of the Public Service in Agriculture was based on the Strategy for the Development of Agricultural Policy and Agricultural Policy Measures up to 2020. The key strategic objectives were to increase production and increase the competitiveness of Slovenian agriculture. To achieve these objectives, it is important to have the right crops and varieties of crops, quality seed and the best possible technologies adapted to climate change and natural conditions. The following technical tasks are defined in the programme of the Public Service in Agriculture: breeding of crops (potatoes, fodder crops, buckwheat, winter cereals for organic production), introduction of new varieties of crops and determination of their value for processing (maize, cereals, fodder crops, oilseeds and pulses, potatoes), technologies for crop production and technical and technical coordination in the field of arable crops. Research on crop production technologies covered fertilisation technologies, crop rotation and density, fertility enhancement technologies, in-furrow crop supply technologies, combined sowing technologies and weed control technologies. Following a public invitation to tender, the Agricultural Institute of Slovenia was entrusted with the management of the Public Service in arable farming, with the subcontractors being the Faculty of Agriculture and Life Sciences, the Rakičan Biotechnical School, the Institute of agriculture and forestry Nova Gorica and Grm Novo mesto - Centre of Biotechnics and Tourism. This paper presents an overview of the results of the 7-year period of the public service.

Keywords: public service, field crops, plant breeding, variety testing, production technologies

⁹ Dr., Oddelek za rastlinsko pridelavo, Kmetijski inštitut Slovenije, e pošta: peter.dolnicar@kis.si

1 UVOD

Na podlagi strateških in razvojnih ciljev na področju poljedelstva ter na področju pridelave in zagotavljanja semena v poljedelstvu, ki jih je opredelila Strategija za izvajanje resolucije o strateških usmeritvah razvoja slovenskega kmetijstva in živilstva do leta 2020, ki jo je Vlada RS sprejela v juniju 2014, je Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano v letu 2018 vzpostavilo Javno službo v poljedelstvu. Na podlagi javnega povabila je bilo vodenje Javne službe zaupano Kmetijskemu inštitutu Slovenije (KIS) s podizvajalci Fakulteto za kmetijstvo in biosistemske vede Univerze v Mariboru, Biotehniško šolo Rakičan, Kmetijsko gozdarskim zavodom Nova Gorica in Grm Novo mesto – Centrom biotehnike in turizma.

Dolgoročni cilji javne službe so bili:

- povečanje pridelave delovno in kapitalno intenzivnih poljščin;
- povečanje konkurenčnosti pridelave poljščin s poudarkom na povečanju produktivnosti ter učinkoviti in trajnostni rabi virov;
- vzpostavitev poštenih odnosov med deležniki v verigi od pridelovalca do prodajalca;
- izboljšanje dohodkovnega položaja kmetov;
- razvoj novih slovenskih sort izbranih vrst poljščin;
- povečanje obsega pridelave semena, predvsem lokalnih sort;
- povečanje uporabe v Sloveniji pridelanega potrjenega semena za setev (tudi lokalnih sort);
- povečanje uporabe sort, ki ustrezajo slovenskim pridelovalnim razmeram.

2 MATERIAL IN METODE DELA

V Programu javne službe v poljedelstvu so bile opredeljene naslednje strokovne naloge:

- žlahtnjenje poljščin;
- introdukcija novih sort poljščin in ugotavljanje njihove vrednosti za predelavo;
- tehnologije pridelave poljščin;
- strokovno-tehnična koordinacija v poljedelstvu.

2.1 Cilji in metode žlahtnjenja poljščin

V predvidenem daljšem časovnem obdobju je bila načrtovana požlahtnitev novih sort krompirja, krmnih rastlin, ajde in strnih žit, ki:

- imajo večji in kakovostnejši pridelek;
- so odporne na škodljive organizme (biotski dejavniki);
- so prilagojene na spremenjene podnebne razmere (toleranca na abiotske dejavnike);
- imajo dobre pridelovalne lastnosti;
- so prilagojene potrebam slovenskega trga in pridelovalcev;
- zagotavljajo manjšo uporabo fitofarmacevtskih sredstev, manjšo uporabo hranil ipd..

Končni rezultat dela žlahtnjenja je vpis novih sort v sortno listo. Temu naj bi sledilo povečanje obsega slovenskega semenarstva in preskrbe z domačimi sortami in semenskim materialom. To želimo doseči s prenosom rezultatov žlahtnjenja in poznavanja novih sort preko Javne službe kmetijskega svetovanja do uporabnikov in z vzpostavitvijo sodelovanja med žlahtnitelji, semenarskimi podjetji oz. pridelovalci semenskega materiala ter pridelovalci in potrošniki novih sort.

V programih žlahtnjenja so bile uporabljene metode, opisane v letnih programih dela, ki so objavljeni na spletni strani KIS (Programi ..., b. l.).

Na IC Ptuj na KIS smo v okviru razširjenega programa Javne službe v poljedelstvu od leta 2022 izvajali pilotni projekt selekcije heterogenega materiala (pred-žlahtnjenja strnih žit) za kar smo že opravili prve setve v jeseni leta 2022 in nadaljevali z delom do konca leta 2024.

2.2 Cilji in metode introdukcije poljščin

Spremenljive vremenske in pridelovalne razmere, spremenjena struktura poljščin, zahteve za zmanjšanje vpliva rastlinske pridelave na okolje, varovanje okolja, ohranjanje biotske raznovrstnosti in spremembe v prehranskih navadah potrošnikov zahtevajo stalno prilagajanje vrstne sestave in izbiri primernih sort, ki izkazujejo visoko vrednost za pridelavo in uporabo, ustrežna velikost ter kakovost pridelka, odpornost proti boleznim in škodljivcem). Od vstopa v EU je v Sloveniji možno brez omejitev tržiti in pridelovati vse sorte, ki so vpisane v skupni katalog sort poljščin v EU. Tako vpis v Slovensko sortno listo in preizkušanje vrednosti za pridelavo in uporabo (VPU) v Sloveniji ni več edini pogoj za trženje semenskega materiala sort pri nas. Zato ne razpolagamo s podatki, ali so vse sorte, ki so v Skupnem katalogu sort poljščin in so bile vpisane s strani drugih držav, primerne za pridelovanje v naših rastnih razmerah. Zato se v introdukcijo vključujejo zlasti sorte, ki so bile registrirane v ostalih državah članicah EU.

Cilji introdukcije poljščin so bili:

- uvajanje novih sort poljščin v pridelavo v Republiki Sloveniji s preizkušanjem njihove vrednosti za pridelavo na različnih pedoklimatskih območjih;
- uvajanje opuščanih in/ali manj znanih oz. manj razširjenih lokalnih vrst in sort poljščin;
- preizkušanje uporabne vrednosti poljščin
- zagotavljanje neodvisnih strokovnih informacij o sortah, za katere obstaja povpraševanje na trgu v obliki prikazov letnih rezultatov preskušanja, izdelave priporočenih in opisnih sortnih list.

Do priprave specifičnih postopkov in metod introdukcije so se smiselno uporabljale metode, ki so bile sprejete za preizkušanje vrednosti za pridelavo in uporabo (VPU) v okviru postopkov vpisa novih sort v sortno listo in jih je sprejela Uprava za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin in so podrobneje opisane v letnih programih dela Javne službe v poljedelstvu (Programi ..., b. l.).

2.3 Cilji in metode preskušanja tehnologij pridelave poljščin

Cilji naloge so bili z iskanjem najprimernejših tehnologij pridelave najbolj razširjenih in tudi manj znanih ter manj razširjenih vrst in sort poljščin poiskati optimalne rešitve pri pridelavi poljščin za doseganje višje produktivnosti na kmetijah. Preizkušali smo različne tehnologije pridelovanja poljščin (integrirano/ekološko), in sicer:

- tehnologije, povezane z uvajanjem novih vrst kmetijskih rastlin;
- novi načini obdelave tal;
- vrstenje poljščin (kolobar), roki, oblike rastnega prostora in gostote setve;
- tehnologije gnojenja poljščin;
- tehnologije oskrbe poljščin med rastjo;
- tehnologije namakanja poljščin;
- varstvo poljščin v povezavi z Nacionalnim akcijskim načrtom za zmanjšanje rabe fitofarmaceutskih sredstev,
- tehnologije za povečanje rodovitnosti in zmanjšanje erozije tal,
- tehnologije za zmanjševanje izpustov v zrak pri gnojenju z organskimi gnojili,
- združene setve posevkov in setev v t. i. žive zastirke/prekrivke,
- in druge.

Za preizkušanje tehnologij, ki jih je treba pri posamezni vrsti poljščin preveriti, so se uporabljale metode, ki so bile opredeljene v letnih programih dela (Programi ..., b. l.).

2.4 Strokovno-tehnična koordinacija

Strokovno-tehnična koordinacija v sodelovanju z MKGP in organi v sestavi zagotavlja delovanja Javne službe v poljedelstvu in ustrezen prenos znanja med raziskovalnimi, izobraževalnimi in svetovalnimi ustanovami. Naloge strokovno-tehnične koordinacije izvaja strokovni koordinatorski javne službe.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Žlahtnjenje poljščin

Vzgojene so bile **4 nove sorte krompirja**, o katerih smo predhodno že poročali (Dolničar in sod., 2023):

2022 - KIS Tamar – pozen za ozimnico – primeren tudi za ekološko pridelovanje

2022 - KIS Mangart – pozen za ozimnico

2021 - KIS Blegoš – zgodna sorta – primeren tudi za ekološko pridelovanje

2019 - KIS Razor – pozen za ozimnico

V preskušanju za registracijo je več križancev krompirja, od katerih sta najdlje v postopku dva križanca.

KIS 11-184/257-1 je pozen krompir za ozimnico z belim mesom in rdečo kožico, ter tolerantan na sušo. V letu 2023 je končal 3 leta VPU, v 2025 konča RIN, seme bo na voljo v letu 2025 in pričakuje se vpis v sortno listo v letu 2026.

KIS 10-242/247-6 – je pozen krompir za ozimnico z belim mesom in kožico ter tolerantnostjo na sušo. Zato bo primeren za pridelovanje na lahkih tleh. V letu 2024 je končal 3 leta VPU, v 2025 konča RIN, seme je bilo voljo v letu 2024 in pričakuje se vpis v sortno listo v letu 2026.

Zaradi izjemno hude suše v letu 2022, se je preskušanje podaljšalo za eno leto, zato bosta križanca KIS 11-184/257-1 in KIS 10-242/247-6 v sortno listo vpisana eno leto pozneje, kot je bilo načrtovano. Enako velja tudi druge križance v preskušanju.

V letu 2023 je bila na sortno listo vpisana **nova sorta ajde – KIS Olga**, ki je medonosna in zelo rodovitna sorta ajde, odporna na poleganje, sledijo pa ji še druge populacije ajde. V letu 2024 je že bilo pridelano nekaj osnovnega semena sorte KIS Olga.

Pri krmnih rastlinah je še v preskušanju nekaj zanimivih klonov črne detelje in travniške bilnice. Postopek žlahtnjenja strnih žit zajemna več populacij heterogenega materiala iz prejšnjih let, razvitih v okviru projekta ECOBREED. Na IC Ptuj smo zasnovali širšo kolekcijo žlahtniteljskih materialov, ki botanično spadajo v tribus Triticeae (navadne pšenice, pire, trdih pšenic, idr.). Kolekcijo predstavljajo predvsem križanci F1, F2 in F3 generacije, ki služijo za odbiro materialov, ki izražajo nadpovprečne lastnosti v pogojih ekološke pridelave. V letih 2023 in 2024 je bilo v preskušanju 47 populacij heterogenega materiala strnih žit.

3.2 Introdukcija poljščin

Preskušanja smo izvajali na naslednjih lokacijah: koruzo na petih (Jablje, Maribor, Rakičan, Dolenjska, Primorska - Vipavska dolina), strna žita na treh (Jablje, Maribor, Rakičan), krmne rastline na dveh (Jablje, Rakičan - v zadnjih letih Ptuj), oljnice, predivnice in zrnate stročnice na dveh (Jablje in Rakičan - v zadnjih letih Ptuj) in krompir na dveh (na območju Gorenjske in v Rakičanu).

Letno je bilo v preizkušanje vključenih različno število sort in hibridov. Pri koruzi smo preizkušali 55–85 hibridov, od tega 35–60 za zrnje ter 20–25 za silažo, pri strnih žitih 65–90

sort in sicer: 30–50 sort ozimne pšenice, 20–35 sort ozimnega ječmena, 5–10 sort tritikale in do 10 sort rži, ovsa, drugih vrst strnih žit.

Vsako leto smo preizkušali 15–20 sort trav različnih vrst in okoli 20 mešanic TDM. Preskušali smo naslednje oljnice, predivnice in zrnate stročnice: sojo, krmni grah, bob, oljne buče in sončnice, število je bilo odvisno od leta.

Letno smo preizkušali 40 sort krompirja, od tega vseh 40 sort na območju Gorenjske (Lahovče, Vodice, Cerklje – odvisno od leta) in 26 sort v Rakičanu.

Vsi letni rezultati preskušanja so objavljeni na spletni strani KIS in JS v poljedelstvu (Javna ..., 2025). Pri koruzi, strnih žitih in krompirju vsako leto pripravimo priporočeno sortno listo, ki je objavljena prav tam, ter na spletnih straneh JSKS in v strokovnem časopisu.

3.3 Tehnologije pridelovanja poljščin

V času trajanja JS v poljedelstvu je v okviru preskušanja tehnologij potekalo 22 različnih poskusov, od katerih smo jih zaključili 14 (preglednica 1). Trajna poskusa v okviru IOSDV preskušanja sta potekala vseh sedem let v Jabljah in Rakičanu. Tehnološki poskusi običajno trajajo tri leta oziroma do pridobitve zadovoljivih rezultatov. Rezultati so objavljeni na različnih spletnih straneh, strokovnem časopisu in kongresih.

Preglednica 1: Pregled izvedenih tehnoloških poskusov v okviru JS v poljedelstvu od leta 2018 do 2024 (z rdečo so obarvani preskusi, ki so se končali do konca leta 2024)

	Tehnološki preskusi	Leto						
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Preučevanje vpliva gnojenja z mineralnim dušikom in žveplom na količino in kakovost dveh sort krušnih pšenice (Olimpija, Vulkan)	DA	Z					
2	Primerjava načinov gnojenja in dognojevanja korusze z dušikom na razvoj in pridelke različnih hibridov korusze	DA	DA	DA	Z			
3	Preučevanje vpliva uporabe zeolita pri pridelavi krompirja in korusze na rast, razvoj, pridelek in komponente pridelka	DA	DA	DA	Z			
4	Preučevanje tehnologij setve korusze za zrnje in silažo s spremenjenimi oblikami rastnega prostora	DA	Z					
5	Preučevanje vpliva kombinacij združene setve različnih hibridov korusze na razvoj, pridelke in parametre pridelkov pri pridelavi korusze za zrnje in silažo	DA	DA	DA	Z			
6	Preučevanje rokov žetve sort pšenice v povezavi s kakovostjo in pojavi glivičnih bolezni in sekundarnih metabolitov (mikotoksini)	-	DA	DA	DA	Z		
7	Preučevanje dolgoročnih vplivov pridelovalnih sistemov na mineralizacijo in vsebnosti organske snovi v tleh v različnih pedo-klimatskih pogojih - IOSDV	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
8	Preizkušanje uporabe podsevkov metuljnic pri pridelavi strnih žit	DA	DA	DA	Z			
9	Preizkušanje možnosti nekemičnega varstva oljnih buč pred pleveli z dosevki	-	DA	DA	DA	DA	Z	
10	Optimiziranje uničenja krompirjeveke pri jedlnem in semenskem krompirju	-	-	DA	DA		Z	
11	Preučevanje uporabe sredstev za preprečevanje kalitve med rastjo na izboljšanje kakovosti in povečanje tržnega pridelka jedlnega krompirja (zmanjševanje pojava fizioloških napak, ki jih povzročajo sušni, vročinski in drugi stres med rastjo)	-	-	DA	DA	DA	Z	
12	Preučevanje vpliva gnojenja z žveplom na pridelek sejaneja travinja	-	-	DA	DA	DA	Z	
13	Preučevanje vpliva sprotnega gnojenja trajnega travinja s fosforjem in kalijem	-	-	DA	DA	DA	DA	DA
14	Vpliv poznega spravila korusze ter neustrezne manipulacije po žetvi na prisotnost mikotoksinov				DA	DA	DA	DA
15	Preučitev kombinacij različnih metuljnic in mešanic za zeleno gnojenje				DA	DA	DA	DA
16	Preizkušanje možnosti združene pridelave korusze za zrnje in visokega fižola				DA	DA	DA	Z
17	Možnosti zatiranja Cyperusa v različnih kulturah: korusa, žita, krompir, buče, zelenjava					DA	DA	DA
18	Ohranitveni način pridelave poljščin					DA	DA	DA
19	Vpliv folarnega dognojevanja v korusi (z različnimi pripravki)					DA	DA	DA
20	Preučevanje možnosti povečanja izkoristka N gnojil in učinkovitosti uporabe mikrobnih stimulansov simbiotske vezave N						DA	DA
21	Preizkušanje možnosti energijsko bogatih voluminoznih mešanic za nadomeščanje koruszne silaže na tleh s veganjem za sušo						DA	DA
22	Preskušanje prezimnih in neprezimnih mešanic dosevkov						DA	DA

Legenda: Z - poskus zaključen

3.4 Strokovno-tehnična koordinacija

Strokovni koordinator je v okviru JS v poljedelstvu opravljal naslednje naloge:

- strokovno vodenje in tehnična koordinacija javne službe;
- usmerjanje in strokovna podpora pri posameznih strokovnih področjih;

- priprava letnega programa dela javne službe in poročila o delu javne službe ter spremljanje njegovih ciljev in kazalnikov, spremljanje ter analiziranje stanja na področju dela javne službe;
- sodelovanje z ministrstvom in drugimi ministrstvi pri pripravi nacionalne strategije ter nacionalne zakonodaje na področju dela javne službe;
- sodelovanje pri oblikovanju prioritet javne službe in drugih javnih služb v pristojnosti ministrstva v povezavi s Programom razvoja podeželja in drugimi podporami ministrstva, Nacionalnim akcijskim programom za doseganje trajnostne rabe fitofarmaceutskih sredstev, ciljnim raziskovalnimi projekti in drugimi projekti, ki jih sofinancira ministrstvo;
- sodelovanje z javno službo kmetijskega svetovanja in javno službo zdravstvenega varstva rastlin, znanstvenoraziskovalnimi ustanovami, podjetji in pridelovalci, skupinami in organizacijami pridelovalcev oziroma njihovimi združenji ter drugo strokovno javnostjo in nevladnimi organizacijami in vključevanje njihovih potreb v programe dela javne službe;
- izvajanje oziroma koordinacija usposabljanj in prikazov poskusov iz nalog javne službe in njihovih rezultatov kmetijskim svetovalcem, tehnologom podjetij in pridelovalcem;
- pripravljanje in izvajanje strokovnih posvetov na področju dela javne službe in objavljane informacijskega materiala v medijih;
- sodelovanje v strokovnih delovnih skupinah za posamezna področja v kmetijstvu;
- sodelovanje na drugih strokovnih srečanjih na mednarodni, nacionalni in lokalni ravni.

4 SKLEPI

Ključna strateška cilja vseh nalog Javnih služb v rastlinski pridelavi sta povečanje pridelave in povečanje konkurenčnosti slovenskega kmetijstva. Za doseganje teh ciljev so pomembne ustrezne vrste in sorte poljščin, kar dosežemo s: programi žlahtnjenja novih domačih sort, introdukcijo tujih sort, kakovostnim semenom ter tehnologijami prilagojenimi na podnebne spremembe in naravne danosti Slovenije.

V zadnjih sedmih letih smo pospešili programe žlahtnjenja poljščin in vzgojili več novih sort krompirja in eno sorto ajde. V procesu odbire so številni zanimivi križanci krompirja in populacije krmnih rastlin, ajde ter strnih žit, od katerih bodo v naslednjem obdobju programa JS nekatere registrirane kot nove sorte, primerne za konvencionalno in ekološko pridelavo.

Programi introdukcije novih tujih sort imajo dolgoletno tradicijo in zagotavljajo pridelovalcem neodvisne informacije o njihovi primernosti za pridelovanje v naših pedoklimatskih razmerah. Raziskave tehnologij pridelave poljščin so obsegale tehnologije gnojenja, vrstenja in gostote poljščin, tehnologije za povečanje rodovitnosti tal, tehnologije oskrbe poljščin med rastjo, tehnologije združenih setev in tehnologije zatiranja plevelov. Posamezne raziskave so pazljivo izbrane v sodelovanju z JSKS, da kar najbolj odražajo izzive, s katerimi se soočajo pridelovalci v praksi.

Širjenje rezultatov strokovno raziskovalnega dela do pridelovalcev in zainteresirane javnosti poteka na različne načine preko:

- vsakoletnih dnevov polja, kjer pridelovalcem pokažemo rezultate našega dela,
- objav letnih rezultatov preskušanj na spletnih straneh KIS-a in javne službe,
- objav priporočenih sortnih list in izborov v strokovnem časopisu in na spletnih straneh KIS-a in JSKS,
- preko vsakodnevnih stikov in izobraževanj, ki jih ima JSKS za pridelovalce in zainteresirano javnost,
- udeležbe in predstavitev na kmetijskih sejnih (G. Radgona, Komenda, lokalni sejmi),

- objav na domačih in mednarodnih znanstvenih in strokovnih dogodkih.

V prihodnje si želimo povečati nabor programov žlahtnjenja sort kmetijskih rastlin še na nove vrste, predvsem pa okrepiti programe žlahtnjenja, introdukcije in tehnoloških preskusov za potrebe ekološkega kmetijstva, ki pred nas postavlja povsem nove, še zahtevnejše izzive. Vse pa bo predvsem odvisno od višine javnih sredstev, ki bodo na voljo.

5 LITERATURA

Dolničar, P., Mavrič Pleško, I., Kolmanič, A., Širca, S., Simončič, A., 2023. KIS Blegoš, KIS Mangart in KIS Tamar – nove slovenske sorte krompirja = KIS Blegoš, KIS Mangart and KIS Tamar - new Slovenian potato varieties. V: Čeh, B.1 (ur.), et al. Novi izzivi v agronomiji 2023 = New Challenges in Agronomy 2023: program simpozija in povzetki prispevkov, ki niso objavljeni v zborniku = symposium program and summaries.

Javna služba v poljedelstvu. 2025. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije,
<https://poljedelstvo.javnaslužba.si/> (6. jan. 2025)

Programi in poročila Javne službe v poljedelstvu. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije,
https://www.kis.si/JS_POLJEDELSTVO/Programi_in_porocila_JS_Poljedelstvo/ (3. dec. 2024)

Javna služba nalog rastlinske genske banke

Jelka ŠUŠTAR VOZLIČ¹⁰ in Zlata LUTHAR¹¹

Izvleček

Rastlinski genski viri (RGV) predstavljajo osnovo za zagotavljanje prehranske varnosti, ohranjanje biotske raznovrstnosti in trajnostno kmetijstvo. Za njihovo ohranjanje in trajnostno rabo od leta 2018 skrbimo v okviru javne službe nalog rastlinske genske banke (JSRGB). Glavni cilji programa JSRGB, ki so opredeljeni tudi v Mednarodni pogodbi o rastlinskih genskih virih za prehrano in kmetijstvo in drugih dokumentih, so zagotavljanje trajnega in varnega hranjenja zbranih RGV, njihovo dokumentiranje in vrednotenje, zagotavljanje trajnostne rabe z ustreznim sistemom nadzorovane izmenjave in kontinuirano zbiranje ogroženih genskih virov. Naloge izvajamo v okviru letnih programov dela za zbirke krmnih rastlin, žit, vrtnin, krompirja, hmelja, sadnih rastlin, jagodičja, vinske trte in zdravilnih ter aromatičnih rastlin. Skupno v okviru JSRGB ohranjamo preko 5500 RGV, ki pretežno izvirajo iz Slovenije. Genske vire ohranjamo *ex situ* v obliki semen, trajnih nasadov in/ali v *in vitro* razmerah. Manj pozornosti je bilo v preteklem srednjeročnem obdobju namenjenega ohranjanju *in situ* divjih sorodnikov kmetijskih rastlin, divjim rastlinam za prehrano in ohranjanju rastlinskih genskih virov na kmetijah. Zato je potrebno te naloge prioritarno vključiti v naslednje obdobje. Prav tako moramo za vse genske vire, ki jih ohranjamo v obliki semena, zagotoviti dolgoročno hranjenje pri -20 °C, za najpomembnejše genske vire pa varnostno hranjenje na drugi lokaciji.

Ključne besede: rastlinski genski viri, ohranjanje, trajnostna raba, zbirke

Public service for plant genetic resources in Slovenia

Abstract

The main objectives of the JSRGB program, defined in accordance with the International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture and other documents, are to ensure long-term and safe storage of collected, well characterized and documented plant genetic resources, as well as their sustainable use, exchange and continuous collection of new genetic resources. The tasks are carried out within the framework of the annual work programs for collections of fodder plants, cereals, vegetables, potatoes, hops, fruit plants, berries, grapevine and medicinal and aromatic plants. The total collection comprises more than 5500 accessions, which were mainly collected or originate from the territory of Slovenia. They are conserved *ex situ* in the form of seeds, plant collections and/or in *in vitro* conditions. Less attention in the last period was given to *in situ* conservation, i.e. conservation of crop wild relatives, wild food plants and on-farm conservation of plant genetic resources. These tasks have to be addressed in the next medium-term program. In addition, long-term conservation at -20 °C for all accessions that are preserved in the form of seeds needs to be established, and safety duplication for the most important accessions ensured.

Keywords: plant genetic resources, conservation, sustainable use, collections

1 UVOD

Rastlinski genski viri (RGV) predstavljajo osnovni vir raznolikosti za pridobivanje novih sort kmetijskih rastlin, prilagojenih spreminjajočim razmeram v okolju, različnim tehnologijam pridelave ter okusu in zahtevam potrošnika. Najdragocenejši vir predstavljajo avtohtoni RGV (samonikle vrste, divji sorodniki kmetijskih rastlin in divje rastline za prehrano) in lokalne sorte ter populacije, ki so s svojo genetsko raznolikostjo in prilagodljivostjo danim talnim in

¹⁰ Izr. prof., dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: jelka.vozlic@kis.si

¹¹ Prof. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, e-pošta: zlata.luthar@bf.uni-lj.si

podnebnim razmeram dragocen vir za žlahtnjenje novih sort, hkrati pa so pomemben narodov zaklad, s katerim je potrebno trajnostno ravnati in ga ohraniti za prihodnje rodove.

Številni dejavniki, kot so podnebne spremembe, spremembe v rabi kmetijskih zemljišč in gospodarjenju z njimi in čezmerno izkoriščanje naravnih virov, povzročajo izgubo RGV in ožjenje biotske raznovrstnosti. K ohranjanju in trajnostni rabi RGV nas zavezujejo različni mednarodni dokumenti kot tudi nacionalna zakonodaja. Krovni dokumenti na mednarodnem področju so Konvencija o biološki raznovrstnosti (CBD, 1992), Mednarodna pogodba o rastlinskih genskih virih za prehrano in kmetijstvo (v nadaljevanju: Mednarodna pogodba) (ITPGRFA, 2001) in Nagojski protokol o dostopu do genskih virov in delitvi koristi, ki izhajajo iz njihove uporabe (Nagoya protocol, 2010). Prva dva dokumenta je ratificirala tudi Slovenija (Zakon..., 1996, 2005), Nagojski protokol pa je le podpisala, ratificirala pa ga še ni. Kot pristojni organ za izvajanje Mednarodne pogodbe je določeno Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP). Ukrepi, ki jih morajo upoštevati podpisnice Mednarodne pogodbe, so opredeljeni v Drugem svetovnem akcijskem načrtu za ohranjanje in trajnostno rabo RGV za prehrano in kmetijstvo (FAO, 2012), in obsegajo 18 prednostnih dejavnosti na področjih: i) ohranjanja in upravljanja RGV *in situ* in *ex situ*, ii) trajnostne rabe RGV, iii) krepitev institucionalnih in človeških zmogljivosti. Leta 2021 je bila sprejeta Evropska strategija za genske vire (GenRes Bridge, 2021), ki jo na področju RGV dopolnjuje Evropska strategija za RGV (ECPGR, 2021). Opredeljeni so ukrepi za preoblikovanje ohranjanja in trajnostne rabe RGV na vseevropskem nivoju na področju *in situ* in *ex situ* ohranjanja ter ohranjanja in upravljanja RGV na kmetijah.

V Sloveniji se je zbiranje in proučevanje RGV začelo že pred drugo svetovno vojno in nadaljevalo po njej, predvsem za namene žlahtnjenja novih sort kmetijskih rastlin. Zaradi nepravilnega hranjenja se večina teh virov ni ohranila. Sistematično zbiranje RGV in skrb za njihovo ohranjanje se je začelo v okviru Banke biljnih gena Jugoslavije leta 1989 in od leta 1996 do konca leta 2017 nadaljevalo v okviru Nacionalnega programa Slovenska rastlinska genska banka. Pravno podlago za ureditev področja ohranjanja in trajnostne rabe RGV predstavlja Zakon o kmetijstvu (Zakon ..., 2022), ki kot cilje kmetijske politike navaja tudi ohranjanje genskih virov kot področje javnih služb ohranjanja in trajnostne rabe RGV, ki se izvaja v okviru nalog genske banke in so v zakonu podrobneje opredeljene. Leta 2017 sta bila sprejeta Uredba o javni službi nalog rastlinske genske banke (Uredba ..., 2017) in Pravilnik o merilih, postopkih in metodah za ohranjanje in trajnostno rabo RGV ter o pogojih za opravljanje javne službe nalog rastlinske genske banke (Pravilnik ..., 2017).

V prispevku so predstavljeni rezultati izvajanja programa JSRGB v obdobju 2018 do 2024 za posamezne naloge in zbirke RGV. V sklepnem delu so povzeti rezultati in opredeljeni prioritetni cilji na področju ohranjanja in trajnostne rabe RGV za naslednje srednjeročno obdobje.

2 IZVAJANJE PROGRAMA V OBDOBJU 2018-2024

Program JSRGB za obdobje 2018-2024 je opredeljen v prilogi Uredbe o JSRGB (Uredba ..., 2017). Dolgoročni cilji programa so skladni z Mednarodno pogodbo (ITPGRFA, 2001), za ohranjanje biotske raznovrstnosti v kmetijstvu pa se v okviru JSRGB izvajajo naslednje naloge:

- zbiranje, evidentiranje in ohranjanje avtohtonega genskega materiala;
- razmnoževanje in zagotavljanje trajnostne rabe RGV;
- opisovanje in vrednotenje akcesij po mednarodnih deskriptorjih oziroma v skladu s priročnikom javne službe;
- administrativno-tehnične naloge v povezavi z evidentiranjem in upravljanjem RGV;
- strokovno-tehnična koordinacija, izobraževanje, usposabljanje in ozaveščanje javnosti;
- sodelovanje z mednarodnimi organizacijami in omrežji na področju RGV.

V obdobju 2018–2024 sta naloge JSRGB izvajala dva izvajalca, Kmetijski inštitut Slovenije (KIS) za program JSRGB-KIS in Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani (BF) za program JSRGB-BF. Podizvajalca pri obeh programih sta bila Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (IHPS) in Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede Univerze v Mariboru (FKBV).

2.1 Zbiranje, evidentiranje in ohranjanje RGV

2.1.1 Zbiranje, evidentiranje in ohranjanje RGV *ex situ*

RGV ohranjamo *ex situ* na štirih institucijah (KIS, BF, IHPS; FKBV) in sicer: i) v obliki semena (krmne rastline, žita, vrtnine, zdravilne in aromatične rastline), ii) v obliki kolekcijskih nasadov (*in vivo – ex situ*) (sadne rastline, hmelj, jagodičje, vinska trta, zdravilne in aromatične rastline) in iii) v *in vitro* razmerah (krompir, vrtnine, hmelj, vinska trta, zdravilne in aromatične rastline idr.). Skupno ohranjamo 5570 RGV, ki predstavljajo 248 vrst kmetijskih rastlin. Od tega je 204 vrst na KIS, 31 na BF, 36 na IHPS in 8 vrst na FKBV. V sedemletnem obdobju se je število akcesij povečalo za 110 vzorcev. V preglednici 1 je podan pregled števila RGV (akcesij) za posamezno zbirko in lokacijo hranjenja ter naveden kurator in/ali skrbnik zbirke (preglednica 1).

Preglednica 1: Število genskih virov (akcesij) za posamezno zbirko RGV, lokacija zbirke in kurator oziroma skrbnik zbirke (december 2023)

Zbirka (lokacija)	Kurator/skrbnik zbirke	Število akcesij
Zbirka krmnih rastlin (KIS)	Janko Verbič	1033
Zbirka krmnih rastlin (BF)	Jure Čop	260
Zbirka krompirja (KIS)	Peter Dolničar	32
Zbirka vrtnin (KIS)	Jelka Šuštar Vozlič / Mojca Škof	1468
Zbirka hmelja (IHPS)	Andreja Čerenak	263
Zbirka jagodičja (KIS)	Nika Cvelbar Weber	165
Zbirka jagodičja (FKBV)	Metka Šiško	39
Zbirka vinske trte (KIS)	Anastazija Jež Krebelj	90
Zbirka vinske trte (FKBV)	Stanko Vršič / Borut Pulko	295
Zbirka žit (BF)	Zlata Luthar	471
Zbirka žit-koruza (BF)	Igor Šantavec	615
Zbirka žit (KIS)	Andrej Zemljčič	108
Zbirka sadnih rastlin (BF)	Gregor Osterc	184
Zbirka sadnih rastlin (FKBV)	Metka Šiško	250
Zbirka ZAR* (BF)	Dea Baričević	163
Zbirka ZAR*(IHPS)	Nataša Ferant	134

*ZAR – zdravilne in aromatične rastline

Zbirke RGV nekaterih vrst kmetijskih rastlin (koruza, vinska trta, ajda, fižol, solata) predstavljajo skoraj vso gensko raznolikost posamezne vrste v Sloveniji. Pri drugih vrstah pa je delež genske raznolikosti in raznovrstnosti v zbirkah *ex situ* manjši. Manjkajočo raznolikost je večinoma mogoče dopolniti z zbiranjem, kjer je to še možno. Pri posameznih vrstah kmetijskih rastlin, npr. pri pšenici, pa je bila genska erozija v preteklosti tako velika, da so se RGV izgubili in jih ni mogoče obnoviti. Preveriti bo potrebno možnosti izpopolnitve obstoječih zbirk z izmenjavo slovenskih RGV iz drugih genskih bank v Evropi in svetu (repatriacija).

Zbirke RGV so urejene, za vse akcesije so na voljo osnovni podatki o vzorcu (t.i. multicrop passport podatki), ki so vpisani v Zbirko podatkov rastlinske genske banke. Za vse RGV, ki jih ohranjamo v obliki semen, še ni vzpostavljeno dolgoročno hranjenje pri -20 °C. Prav tako ni vzpostavljeno varnostno hranjenje najpomembnejših akcesij na drugi lokaciji. Za določene RGV bo potrebno vpeljati metode hranjenja v *in vitro* razmerah. Tudi kolekcijski nasadi še nimajo zagotovljenega varnostnega dvojnika. Pri vzpostavitvi dodatnih kolekcijskih nasadov obstaja možnost sodelovanja z botaničnimi vrtovi, regijskimi in krajinskimi parki, zainteresiranimi in izbranimi posamezniki ter z drugimi izobraževalnimi ustanovami. V zbirke RGV *ex situ* bi bilo treba prenesti in vključiti manjkajoče vzorce akcesij, ki so v zasebnih zbirkah.

2.1.2 Zbiranje, evidentiranje in ohranjanje RGV *in situ*

Ohranjanja RGV *in situ* vključuje tako ohranjanje RGV na kmetijah kot ohranjanje divjih sorodnikov kmetijskih rastlin in divjih rastlin za prehrano.

Ohranjanje in upravljanje RGV na kmetijah prispeva k ohranjanju in trajnostni rabi RGV in je dopolnjujoč (in z njim prepleten) pristop ohranjanju RGV *ex situ*. Pozitivne strani takega načina ohranjanja se odražajo na različnih nivojih in prispevajo k: i) ohranjanju tradicionalnih znanj in veščin povezanih z RGV in s tem k ohranjanju kulturne dediščine, ii) nadaljnjemu razvoju RGV in prilagajanju spreminjajočim se razmeram pridelovanja, iii) povečani raznolikosti in večji izbiri potrošnika, iv) zagotavljanju ekosistemskih koristi in priložnosti za razvoj lokalnih in nišnih produktov na trgu. V Sloveniji se doslej z ohranjanjem RGV iz rastlinske genske banke na kmetijah načrtno nismo ukvarjali. V projektni nalogi PRP je bil izveden pilotni monitoring za jabolane in hruške na nivoju celotne države, za ostale RGV pa na treh izbranih območjih v Sloveniji (Šuštar Vozlič in sod., 2023a). Ugotovili smo, da število pridelovalcev starih lokalnih sort upada, zato smo pripravili nabor opozorilnih sistemov pred izgubo rastlinskih genskih virov, ki jih je potrebno čim prej nasloviti, da ne izgubimo dragocenih genskih virov, ki še obstajajo na terenu, a jim grozi genska erozija. Te informacije bodo (ob dopolnitvah) tudi osnova pri izdelavi strategije za ohranjanje in upravljanje RGV na kmetijah.

Na področju ohranjanja divjih sorodnikov kmetijskih rastlin in divjih rastlin za prehrano v preteklem obdobju ni bilo veliko narejenega, to področje je zapostavljeno tudi na evropskem nivoju (ECPGR, 2021). Čeprav so bila razvita številna orodja kot pomoč pri načrtovanju ohranjanja, so le redke države oz. regije že razvile strategijo za njihovo ohranjanje (npr. Nordijske države, Češka) (Šuštar Vozlič in sod., 2023b). V Sloveniji divje sorodnike kmetijskih rastlin najdemo pri travniških vrstah (trave in detelje), zdravilnih in aromatičnih rastlinah, nekaterih zelenjadnicah, poljščinah in sadnih rastlinah. Celovitega seznama še nimamo narejenega, prav tako ni posebnih zavarovanih območij, ki bi bila namenjena samo ohranjanju RGV *in situ*. Zato je nujno pripraviti nacionalno strategijo, ki bo podlaga za urejanje tega področja.

2.2 Razmnoževanje in zagotavljanje trajnostne rabe RGV

Cilj razmnoževanja je zagotavljanje dolgoročne ohranitve akcesij v zbirkah RGV in zagotavljanje ustreznih količin vzorcev za izmenjavo. Razmnoževanje akcesij opredelimo v letnih programih dela, na podlagi kalivosti in/ali količine semena (če se akcesija razmnožuje generativno) oziroma razpoložljivosti sadilnega materiala (če se razmnožuje vegetativno ali *in vitro*). Izmenjava akcesij poteka za domače in tuje povpraševalce v okviru večstranskega sistema za izmenjavo RGV (ITPGRFA, 2001). Izročitev materiala iz genske banke se izvede s tipskim sporazumom za izmenjavo RGV (ang. Standard Material Transfer Agreement - SMTA) med gensko banko oziroma kuratorjem posamezne zbirke RGV in povpraševalcem, glede na

količino semenskega materiala akcesije, ki je na voljo. O izdanih SMTA se vodi evidenca in letno poroča na ministrstvo.

S priključitvijo Seleksijsko poskusnega centra Ptuj h KIS-u leta 2022 smo program JSRGB-KIS dopolnili z nalogami za spodbujanje ohranjanja in ponovne uporabe lokalnih sort in populacij. V zadnjih desetletjih se je s specializacijo in intenziviranjem rastlinske pridelave zelo zmanjšalo število gojenih vrst in sort kmetijskih rastlin. To je vodilo ne samo v ožjenje genske raznolikosti med vrstami, ampak tudi znotraj vrst, saj so nove sorte izpodrinile stare lokalne sorte in populacije. Z namenom povečanja pridelave semenskega materiala premalo uporabljenih vrst oz. lokalnih sort, zlasti zelenjadnic, v okviru programa letno razmnožujemo izbrane sorte dvoletnih rastlinskih vrst in prezimnih sort, kot tudi izbrane sorte enoletnic s predhodno pripravljenega prednostnega seznama.

2.3 Opisovanje in vrednotenje akcesij iz zbirk RGV

Da bi bili čim bolj uporabni v procesu žlahtnjenja ali za neposredno uporabo na kmetijah, morajo biti RGV dobro opisani in ovrednoteni. Za posamezno zbirko in/ali vrsto RGV letno določimo akcesije, za katere naredimo osnovni opis in vrednotenje. Opisovanje in vrednotenje izvajamo po mednarodnih deskriptorjih. Cilja, da postopno opravimo osnovne opise in vrednotenje za vse akcesije, ki jih ohranjamo v okviru JSRGB, še nismo dosegli, zato bomo z delom nadaljevali tudi v prihodnje.

2.4 Administrativno-tehnične naloge

Uredili smo Zbirko podatkov rastlinske genske banke, ki vsebuje osnovne podatke o RGV, ki jih ohranjamo v zbirkah v okviru JSRGB. Zbirko podatkov sproti dopolnjujemo z vnosom novih akcesij. V zaključni fazi je priprava nove aplikacije, ko bo prenos izveden, bodo podatki tudi javno dostopni. Osnovni podatki o RGV, ki jih hranimo v okviru zbirk KIS in delno BF, so javno dostopni v mednarodni bazi EURISCO. Administrativno-tehnične naloge obsegajo tudi pripravo programov in poročil.

2.5 Strokovno tehnična koordinacija, izobraževanje, ozaveščanje javnosti

Namen strokovno-tehnične koordinacije je enotno in usklajeno delovanje na področju ohranjanja in trajnostne rabe RGV na nacionalni ravni in na ravni posameznih zbirk RGV. V preteklem obdobju smo vzpostavili dobro sodelovanje vseh akterjev, tako kuratorjev, skrbnikov zbirk in sodelavcev na vseh institucijah, vključenih v JSRGB, kot tudi odgovornih na MKGP. Sodelovanje smo vzpostavili tudi z drugimi ministrstvi in drugimi javnimi službami na področju dela JSRGB. Pomemben del strokovno-tehnične koordinacije je tudi zastopanje Slovenije v mednarodnih institucijah in omrežjih. Strokovno-tehnična koordinatorica je članica usmerjevalnega odbora ECPGR, v katerega so vključeni nacionalni koordinatorji za rastlinske genske vire posameznih evropskih držav. Članstvo omogoča neposredno sodelovanje pri pripravi ciljev programa ECPGR za posamezno štiriletno fazo razvoja in njihovo implementacijo na nacionalni nivo. Vključeni smo tudi v Evropsko mrežo vodij rastlinskih genskih bank, ki deluje pod okriljem ECPGR. Prav tako spremljamo aktivnosti Komisije za genske vire pri FAO in delovne skupine za genske vire pri Svetu Evrope, kar vse nam omogoča, da je delo skladno z mednarodnimi standardi. Enkrat letno organiziramo posvet o ohranjanju in trajnostni rabi rastlinskih genskih virov. Skrbimo tudi za ozaveščanje strokovne in splošne javnosti ter študentov univerz o pomenu ohranjanja in trajnostne rabe RGV.

2.6 Mednarodno sodelovanje

Delo na področju ohranjanja in trajnostne rabe RGV je močno vpeto v mednarodni okvir. Kuratorji, skrbniki zbirk in sodelavci JSRGB smo člani posameznih delovnih skupin ECPGR, kjer aktivno sodelujemo na področju dela v okviru svojih zbirk. Povezovanje nam omogoča tudi vključitev v različne projekte, tako ECPGR kot druge mednarodne projekte s področja ohranjanja, trajnostne rabe in vrednotenja RGV.

3 ZBIRKE RGV

Naloge izvajamo po mednarodno priznanih postopkih, ki so skladni s standardi Organizacije združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (FAO, 2014) in z metodami Evropskega kooperativnega programa za RGV (v nadaljevanju: ECPGR). Za upravljanje zbirk in izvedbo nalog smo pripravili tudi Operativni priročnik rastlinske genske banke RS ter splošna navodila za posamezne faze dela in navodila za upravljanje posameznih zbirk RGV. Zaradi specifičnosti pri izvajanju nalog so posamezne vrste s podobnimi lastnostmi vključene v zbirke, ki razpolagajo z infrastrukturo in opremo prilagojeno njihovim potrebam hranjenja. Tako v sklopu JSRGB deluje 9 zbirk in sicer zbirke krmnih rastlin, vrtnin, žit, krompirja, hmelja, sadnih rastlin, jagodičja, vinske trte ter zdravilnih in aromatičnih rastlin, ki lahko zadostijo morfološkim in fiziološkim lastnostim vrste in trajnostnemu ohranjanju (preglednica 1).

4 SKLEPI

V okviru programa dela JSRGB v obdobju 2018–2024 smo vzpostavili dobro sodelovanje med kuratorji, skrbniki zbirk in sodelavci JSRGB ter odgovornim ministrstvom, kar je omogočilo realizacijo večine zastavljenih ciljev programa, skladno z danimi finančnimi možnostmi in vremenskimi razmerami v rastni dobi. V posamezne zbirke smo vključili nove genske vire, letno smo razmnožili genske vire, ki jim je padla kalivost oziroma nismo imeli na voljo dovolj materiala. Izbrane genske vire smo opisali in ovrednotili. Poenotili smo upravljanje zbirk RGV in okrepili mednarodno sodelovanje.

V letu 2025 bomo za naslednje srednjeročno obdobje pripravili celovit nacionalni program ohranjanja rastlinskih genskih virov za prehrano in kmetijstvo, ki bo naslovil cilje, opredeljene v mednarodnih dokumentih in strategijah (ECPGR, 2021) in bo v skladu z nacionalnimi smernicami razvoja vključeval tudi naloge, ki jih v preteklem obdobju nismo v celoti realizirali oziroma niso bile vključene v program. Med slednjimi so predvsem: i) *in situ* ohranjanje divjih sorodnikov kmetijskih rastlin in divjih rastlin za prehrano ter izdelava nacionalne strategije za ohranjanje in ii) vzpostavitev ohranjanja rastlinskih genskih virov na kmetijah. Prav tako moramo vzpostaviti dolgoročno hranjenje rastlinskih genskih virov, ki se razmnožujejo v obliki semena in vzpostaviti varno hranjenje dvojnikov najpomembnejših rastlinskih genskih virov.

Ena od mednarodnih zavez je tudi vzpostavitev sistema kakovosti za upravljanje rastlinskih genskih bank. V okviru tega bomo nagradili in dopolnili že obstoječe dokumente sistema kakovosti in sistem kakovosti uvedli v izvajanje nalog JSRGB.

Zahvala. Zahvaljujemo se Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano za financiranje programa javne službe nalog rastlinske genske banke v obdobju 2018–2024. Zahvala velja tudi vsem kuratorjem, skrbnikom zbirk in sodelavcem JSRGB za njihovo predano delo, ki nepogrešljivo prispeva k realizaciji skupnih ciljev programa.

5 LITERATURA

CBD. 1992. Convention on Biological Diversity, <https://www.cbd.int/convention/text>

- ECPGR. 2021. Plant Genetic Resources Strategy for Europe. European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources, Rome, Italy: 91 str.,
https://www.ecpgr.org/fileadmin/bioversity/publications/pdfs/PGR_STRATEGY_LP_22_Nov_revised.pdf
- FAO 2012. Second global plan of action for plant genetic resources for food and agriculture. Rome, FAO: 96 str.,
https://www.genres.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Publikationen/PGR_GPA_Langfassung.pdf
- FAO. 2014. Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rev. ed. Rome GenRes Bridge Project Consortium, ECPGR, ERFp and EUFORGEN. 2021. Genetic Resources Strategy for Europe. European Forest Institute. ECPGR Secretariat, ERFp Secretariat, EUFORGEN Secretariat, Rome, Paris, Barcelona, 80 str.,
<https://www.genresbridge.eu/fileadmin/templates/Genres/Uploads/Documents/GRS4E.pdf>
- ITPGRFA. 2001. International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture.
<https://www.fao.org/plant-treaty/en/>
- Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from their Utilization to the Convention on Biological Diversity. 2011. United Nations, Secretariat of the Convention on Biological Diversity. <https://www.cbd.int/abs/text/>
- Pravilnik o merilih, postopkih in metodah za ohranjanje in trajnostno rabo rastlinskih genskih virov za prehrano in kmetijstvo ter o pogojih za opravljanje javne službe nalog rastlinske genske banke. 2017. Uradni list RS, št. 62/17, <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=PRAV13173>
- Šuštar Vozlič J, Luthar Z, Osterc G Usenik V., Verbič J., Baričević D., Vršič S., Jež Krebelj A., Ferant N., Šantavec I., Ugrinović K., Šuklje Antalick K., Zemljič A., Lukač B.. 2023a. Pregled, inventarizacija in monitoring rastlinskih genskih virov za prehrano in kmetijstvo, ki se ohranjajo *in situ* na kmetijskih gospodarstvih. V: Čeh B. in sod. (ur). Novi izzivi v agronomiji 2023. Zbornik simpozija, SAD: 191-197.
- Šuštar Vozlič J., Šabić A., Lukač B., Verbič J. 2023b. Divji sorodniki kmetijskih rastlin in divje rastline za prehrano: jih poznamo dovolj in primerno ohranjamo? V: 7. posvet o ohranjanju in trajnostni rabi rastlinskih genskih virov, Čerenak A (ur.). Žalec, 24. maj 2023b. Žalec: Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije: 6-9,
https://www.ihps.si/wp-content/uploads/2016/08/Izvlecki_predavanj_koncna_brocura_2023-1.pdf
- Uredba o javni službi nalog rastlinske genske banke. 2017. Ur. l. RS št. 60/17,
<https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED7577>
- Zakon o ratifikaciji Konvencije o biološki raznovrstnosti (MKBR). 1996. Uradni list RS št. 7/96,
<https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO785>
- Zakon o kmetijstvu. 2022. Uradni list RS, št. 45/08, 57/12, 90/12 – ZdzPVHVVR, 26/14, 32/15, 27/17, 22/18, 86/21 – odl. US, 123/21 in 44/22. Neuradno prečiščeno besedilo št. 9,
<http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO4716>
- Zakon o ratifikaciji Mednarodne pogodbe o rastlinskih genskih virih za prehrano in kmetijstvo. 2005. Ur. l. RS, št. 18/05, <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO3966>

Zaloge organskega ogljika v tleh po tridesetih letih večletnih poskusov IOSDV v Sloveniji

Aleš KOLMANIČ¹², Vida ŽNIDARŠIČ PONGRAC¹³, Simon OGRAJŠEK¹⁴ in Jože VERBIČ¹⁵

Izvleček

Kmetijske prakse imajo pomemben vpliv na zaloge organskega ogljika (C) v tleh. Da bi preverili dolgoročne učinke uporabe organskih gnojil (kontrola brez gnojenja z organskimi gnojili, hlevski gnoj, zaoravanje rastlinske biomase) v kombinaciji z dušikom (N) iz mineralnih gnojil (kontrola, N1, N2 in N3) na zaloge organskega ogljika v tleh, smo v letu 2023 vzorčili tla na večletnih poskusih v Jabljah in Rakičanu, postavljenih v letu 1993. Rezultati kažejo povečanje zalog ogljika pri gnojenju s hlevskim gnojem in zaoravanju rastlinske biomase. V povprečju so se v Rakičanu zaloge organskega C v zgornjih 25 cm tal pri uporabi hlevskega gnoja povečale za 11,8 t/ha (0,41 t/ha na leto) v Jabljah pa za 3,5 t/ha (0,12 t/ha na leto). Pri zaoravanju rastlinske biomase so se v Rakičanu zaloge organskega C povečale za 7,0 t/ha (0,24 t/ha na leto), v Jabljah pa za 2,5 t/ha (0,09 t/ha na leto). Praksa odvzema celotne nadzemne rastlinske biomase brez uporabe hlevskega gnoja je v Jabljah zmanjšala zaloge organskega C v tleh (za 0,7 t/ha oz. za 0,02 t/ha na leto). Učinek uporabe N iz mineralnih gnojil na zaloge C v tleh je bil izrazit le pri zadelavi žetvenih ostankov, kjer smo z večanjem odmerka N večali količino nadzemne biomase in s tem tudi količino C, ki smo ga vnesli v tla. V Rakičanu je zaloga organskega C v tleh do globine 90 cm manjša za 28 t/ha, povečevanje zalog v tleh pa je bilo v enakem obdobju približno trikrat hitrejša kot v Jabljah.

Ključne besede: dolgoletni poskusi, IOSDV, gnojenje, hlevski gnoj, žetveni ostanki, mineralni dušik, tla, organski ogljik

Soil organic carbon stocks after three decades of long-term IOSDV experiments in Slovenia

Abstract

Agricultural practices significantly impact soil organic carbon (SOC) stocks. To study the long-term effects of organic fertilisers (control with no organic fertilisation, manure, and incorporation of plant biomass) in combination with nitrogen (N) from mineral fertilisers (control, N1, N2, and N3) on SOC stocks, soil samples were collected in 2023 from long-term experiments in Jablje and Rakičan, established in 1993. Results showed an increase in SOC stocks with manure application and incorporation of plant biomass. Manure application raised SOC stocks in the top 25 cm by 11.8 t/ha (0.41 t/ha per year) in Rakičan and by 3.5 t/ha (0.12 t/ha per year) in Jablje. By incorporating plant biomass, SOC stocks increased by 7.0 t/ha (0.24 t/ha per year) and by 2.5 t/ha (0.09 t/ha per year), respectively. Removing aboveground plant biomass without applying manure reduced SOC stocks in Jablje by 0.7 t/ha (0.02 t/ha per year). The effect of N from mineral fertilisers on SOC stocks was seen only with crop residue incorporation, where increasing N rates increased aboveground biomass and thus the amount of carbon input into the soil. In the Rakičan, SOC stocks to a depth of 90 cm were 28 t/ha lower, but the increase in stocks was approximately three times faster compared to Jablje.

Keywords: long term trials, fertilisation, cattle manure, crop residues, mineral nitrogen, soils, organic carbon

¹² Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: ales.kolmanic@kis.si

¹³ Mag. inž. agr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: simon.ograjsek@kis.si

¹⁴ Mag., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: vida.pongrac-znidarsic@kis.si

¹⁵ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: joze.verbic@kis.si

1 UVOD

Evropska Unija (EU) si je zadala cilj doseganja ogljične (C) nevtralnosti do leta 2050. Zaveze EU k doseganju C nevtralnosti vključujejo tudi povečanje vloge sektorja rabe zemljišč, sprememb rabe zemljišč ter gozdarstvo (t.i. LULUCF). Revidirani cilji LULUCF predvidevajo dvig količin odstranjenega ogljikovega dioksida (CO_2) iz atmosfere na 310 Mt CO_2 ekvivalentov v letu 2030, kar predstavlja približno 35 % povečanje glede na leto 2021. Pričakovano je, da se bodo v kmetijstvu povečale aktivnosti izvajanja ukrepov za izboljšanje zaloga organskega C v kmetijskih tleh. Zaloge organskega C v tleh predstavljajo del organske snovi v tleh. Organska snov v tleh je pomemben kazalec njihove kakovosti in rodovitnosti. Sestavljajo jo živi in mrtvi organizmi v tleh ter njihovi organski izločki in produkti njihove razgradnje. Vpliva na številne kemijske, fizikalne in biološke lastnosti tal (Craswell in Lefroy, 2001). Z biološkega vidika je organska snov pomemben vir energije in hranil (predvsem dušika, fosforja in žvepla) za talne organizme in rastline. Kmetijska tla so lahko v primeru dobrega gospodarjenja ponor CO_2 , v primeru slabega gospodarjenja pa so lahko tudi vir emisij (Söderström in sod., 2014). Kmetijske prakse, ki ne vračajo organskih ostankov v tla in/ali spodbujajo mineralizacijo organske snovi, manjšajo zaloge C v tleh. S praksami, kot so ustrezno kolobarjenje, ozelenitve strnišč z dosevki, gnojenje z organskimi gnojili, puščanje žetvenih ostankov in uvajanje načinov zmanjšane obdelave tal pa na drugi strani lahko povečujejo zaloge C v tleh (Söderström in sod., 2014).

Izziv ostaja pri spremljanju in vrednotenju učinka praks na zaloge organskega C v tleh. Zaloge v tleh so namreč dinamične in v odvisnosti tudi od mnogih okoljskih dejavnikov. Posledično so spremembe in trendi v zalogah organskega C zanesljivejše šele skozi daljše obdobje. Pomembna raziskovalna orodja za odkrivanje morebitnih sprememb, ki jih povzročajo kmetijske prakse, so večletni poskusi (Onofri in sod., 2016, Körschens in sod., 2013). Z njimi so že večkrat dokazali, da se lahko dolgoročni odzivi na preučevane dejavnike bistveno razlikujejo od kratkoročnih. V Sloveniji že od leta 1993 potekata dva večletna poskusa po shemi IOSDV (mednarodni trajni poskusi z organskim dušikom), ki ju je zasnoval prof. dr. Anton Tajnšek. V letu 2023 po nespremenjeni metodologiji potekajo že 30 let. Rezultate poskusov do leta 2010 so med drugimi objavili Tajnšek in sod. (2013a in 2013b), rezultate iz vzorčenja v letu 2021 pa Kolmanič in sod. (2022).

Namen prispevka je predstaviti ugotovitve o učinkih uporabe organskih gnojil (kontrola brez gnojenja z organskimi gnojili, zaoravanje hlevskega gnoja, zaoravanje žetvenih ostankov) v kombinaciji z različnimi odmerki N iz mineralnih gnojil na zaloge organskega ogljika v tleh po 30 letih izvajanja večletnih gnojilnih poskusov v Jabljah in Rakičanu.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Trajna poskusa IOSDV potekata v Rakičanu (severovzhodna Slovenija, 46°39'N, 16°11'E, nadmorska višina 186 m) in Jabljah (46°08'35.7"N 14°33'23.6"E, nadmorska višina 304 m). V Rakičanu je dolgoletno povprečje temperatur (1981–2020) 10,4 °C, dolgoletno letno povprečje padavin pa 807 mm. Povprečna dolžina rastne dobe je 246 dni (1981–2010). Tla spadajo med izprana rjava tla s prevladujočo teksturo ilovnati pesek. V Jabljah je dolgoletno povprečje temperatur (1981–2020) 9,5 °C, dolgoletno letno povprečje padavin pa 1352 mm. Povprečna dolžina rastne dobe v obdobju 1981–2010 je bila 258 dni. Tla spadajo v tip psevdoglejenih tal s prevladujočo teksturo ilovnati melj. Kolobar na trajnih poskusih sestavljajo koruza, ozimna pšenica in ozimni ječmen (Rakičan) ali oves (Jablje). Poskus je zasnovan tako, da so navedene poljščine posejane vsako leto na eni izmed treh osnovnih parcel (A, B in C). V letu 2023 je na vzorčenih osnovnih parcelah (A v Rakičanu in B v Jabljah) rasla ozimna pšenica. Osnovna

parcela se deli na dve pod-parceli, vsaka je dolga 90 metrov in široka 5 metrov. Obravnavanja so razporejena na pod-parcelah, velikost vsakega obravnavanja je 30 m² (5 × 6 m).

Glavna dejavnika v poskusih sta gnojenje z organskimi gnojili ter gnojenje z dušikom (N) iz mineralnih gnojil. Obravnavanja vključujejo kontrolo brez gnojenja (sistem A), gnojenje s hlevskim gnojem v količini 30 t/ha vsako tretje leto (sistem B) ter vsakoletno zaoravanje žetvenih ostankov poljščin in prezimnega dosevka vsako tretje leto (sistem C). Z N iz mineralnih gnojil gnojimo v štirih količinah, označenih z N0 (kontrola), N1, N2 in N3. Obravnavanja z organskimi in mineralnimi gnojili so razporejena znotraj osnovnih podparcel v treh ponovitvah. Zasnovo kolobarja in gnojilnih obravnavanj prikazujemo v preglednici 1. Dognovanje z N gnojili potekajo glede na fenološki razvoj posevkov (pri žitih v fazi razraščanja, kolenčenja in klasenja, pri koruzi pred vznikom rastlin ter v fazi 4–5 razvitih listov).

Preglednica 1: Zasnova kolobarja in gnojilnih obravnavanj v večletnih poskusih IOSDV

	Koruzna	Ozimna pšenica	Ozimni ječmen / jari oves
	količina dodanega N (kg/ha) z mineralnimi gnojili		
Sistem A: brez organskega gnojenja			
A–N0	0	0	0
A–N3	300	195	165
Sistem B: 30 t/ha hlevskega gnoja pred koruzo			
B–N0	0	0	0
B–N1	100	65	55
B–N2	200	130	110
B–N3	300	195	165
Sistem C ¹ : zaoravanje rastlinske biomase (žetveni ostanki ter zeleno gnojenje)			
C–N0	0	0	0
C–N1	100	65	55
C–N2	200	130	110
C–N3	300	195	165

¹ Pri oranju za setev nove nove poljščine v tla zadelamo žetvene ostanke (biomaso) predhodne poljščine (pred setvijo ozimne pšenice zaorjemo koruznico, pred setvijo ječmena/ovsa zaorjemo pšenično slamo, po pravilu pridelka ječmena/ovsa zaorjemo ječmenovo/ovseno slamo in nato posejemo oljno redkev, ki jo v tla zaorjemo pri osnovni obdelavi za setev koruze).

Obdelava tal v poskusu je konvencionalna z vsakoletnim oranjem do globine 25 cm. Gnojenje s fosforjem in kalijem je enako za vse parcele. Vzorčenje tal smo izvajali v januarju in februarju 2023 na vseh ponovitvah in sicer do globine 90 cm po 30 cm slojih ter vzorec 0–25 cm. Za vzorčenje smo uporabili sondo s premerom 5 cm. V Rakičanu smo vzorčili na osnovni parceli A (skrajno leva), v Jabljah pa na osnovni parceli B (sredinska). Vsebnost organskega C v vzorcih tal smo določali z oksidacijo v raztopini kalijevega dikromata po modificirani metodi ISO 14235:1999. Intenziteto zelenega obarvanja smo merili spektrofotometrično. Zaloge organskega C v tleh smo preračunali po enačbi 1.

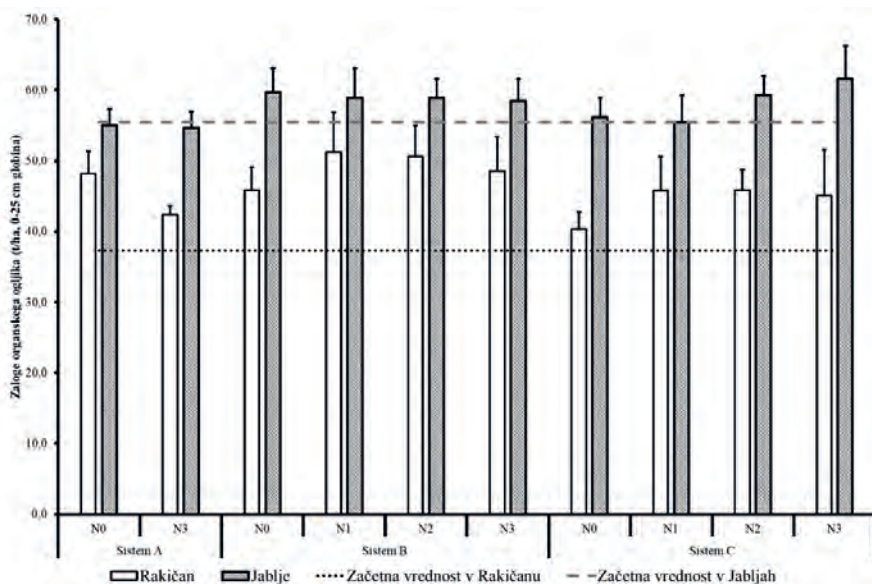
$$\text{Zaloge organsko vezanega ogljika (t/ha)} = \text{vsebnost organskega ogljika (g/kg tal)} \times \text{specifična gostota tal (g/cm}^3\text{)} \times \text{globina vzorčenja (m)} \times 10000 \text{ m}^2 \quad (1)$$

Za specifično gostoto smo v Rakičanu uporabili vrednost $1,61 \text{ g/cm}^3$ (globina 0–25 cm) in v Jabljah $1,55 \text{ g/cm}^3$ (0–25 cm) (Tajnšek, 2003a). Pri preračunu zalog C smo predpostavili, da se specifična gostota z globino povečuje za $0,03 \text{ g/cm}^3$ na 10 cm. Za začetno količino organsko vezanega C v tleh smo uporabili vrednosti, kot jih navaja Tajnšek (2003a).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Rakičan

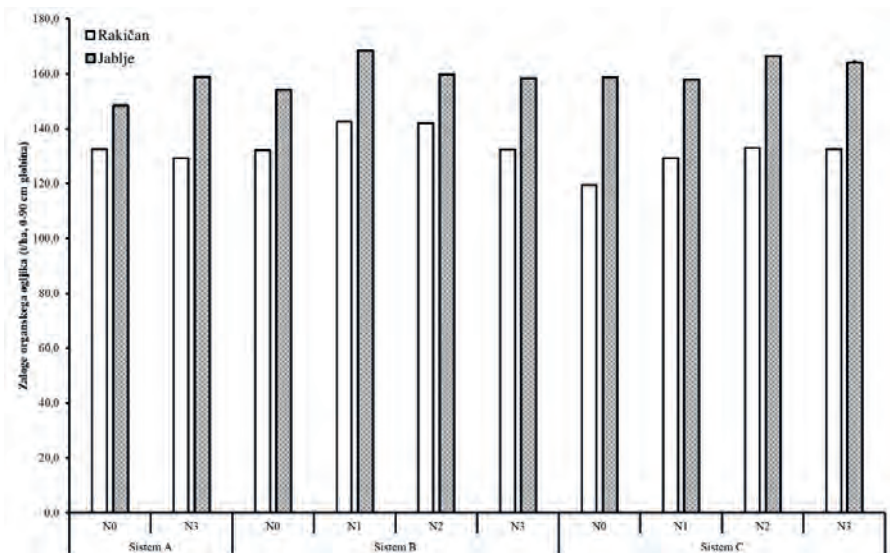
Zaloge C v talnem sloju do 25 cm so najmanjše, kjer ne gnojimo z organskimi gnojili, in največje, kjer uporabljamo hlevski gnoj (slika 1). Najmanj C v tleh je pri kombinaciji, kjer ne gnojimo z organskimi gnojili (sistem A) in uporabljamo N3 količino N iz mineralnih gnojil (A-N3, $42,4 \text{ t/ha}$), največ pa pri kombinaciji gnojenja s hlevskim gnojem (sistem B) ter N1 iz mineralnih gnojil (B-N1, $51,2 \text{ t/ha}$). V 30 letih izvajanja poskusa smo zaloge organskega C v tleh do globine 25 cm s hlevskim gnojem povečali za 31 % oz. $11,8 \text{ t/ha}$ (začetna vrednost $37,3 \text{ t/ha}$). Opazna je večja zaloga C, kjer hlevski gnoj kombiniramo z uporabo N iz mineralnih gnojil (za približno 5 t/ha). Med načinoma brez gnojenja z organskimi gnojili (sistem A) in zaoravanjem žetvenih ostankov (sistem C) nismo zaznali značilnih razlik, saj so se pri obeh zaloge povečale za približno 20–21 %. Povprečno letno povečanje organskega C v tleh je $0,41 \text{ t/ha}$ pri gnojenju s hlevskim gnojem ter približno $0,24 \text{ t/ha}$, kjer žetvene ostanke odstranjujemo ali zaoravamo. Povečevanje zalog C v obravnavanjih, kjer v tla ne vnašamo organske snovi (sistem A), je neobičajno in ga še ne znamo popolnoma pojasniti. Da pri tem ne gre za napako vzorčenja, potrjujejo pretekle objave s poskusa (Tajnšek, 2003a, Tajnšek in sod., 2013, Kolmanič in sod., 2021), a je pri tem načinu kljub temu v letu 2023 opazno precejšnje povečanje zalog. Vzroke za to pripisujemo predvsem zapleveljenosti površin in podzemni biomasii poljščin in vnosu C v tla preko tega, a celovite razlage opaženega večanja zalog C pri tej praksi še nimamo. Dodatna zanimivost je tudi dobra rodovitnost kontrolnih, z N iz mineralnih gnojil negojenih parcel, pri čemer Tajnšek (2003b) navaja, da je vzrok za opaženo mogoče tudi premik N s podzemnimi tokovi iz sosednjih njiv. Opaženo prispeva k večji nadzemni in podzemni biomasii ter aktivnejši fotosintezi in s tem večji količini koreninskih izločkov, kar bi lahko deloma pripomoglo k opaženemu kljub odstranjevanju nadzemne biomase. Povečevanje odmerkov N iz mineralnih gnojil ne kaže vzorca naraščanja zalog, so pa opazne večje zaloge C, kjer se dodaja N iz mineralnih gnojil. Primerjava rezultatov vzorčenja iz leta 2020 (Kolmanič in sod., 2021) z vzorčenjem v letu 2023 kaže primerljive zaloge z izjemo sistema A-N0. Manjše zaloge organskega C v letu 2023 opažamo v obravnavanjih, kjer zaoravamo žetvene ostanke (zmanjšanje za 3 t/ha), kar pripisujemo vplivu suše v letu 2022 na zmanjšanje biomase koruze. Razporeditev zalog C do globine 90 cm prikazujemo na sliki 2. Skupna količina organskega C do globine 90 cm tal je med 120 t/ha (C-N0) ter 143 t/ha (B-N1). V povprečju je največ zalog C v globini 0–30 cm, kjer je 43 % celotne količine organskega C, sledijo zaloge v globini 30–60 cm, kjer je 33 % celotne količine, najmanj C pa je v globini 60–90 cm, kjer je 24 % celotne količine. Razlika med najslabšo in najboljšo prakso je približno 23 t/ha zalog organskega C do globine 90 cm. Pri gnojenju s hlevskim gnojem je bilo do globine 90 cm vezanega v povprečju 137 t/ha organskega C, pri zaoravanju rastlinske biomase pa približno 129 t/ha . V primerjavi z letom 2020 opažamo manjše zaloge organskega C, v povprečju za približno 7 t/ha . Manjše zaloge opažamo v vseh vzorčenih slojih in po celotni globini profila. Začetnih vrednosti zalog organskega C v sloju do 90 cm tal, na katere bi primerjali aktualne analize, nimamo.



Slika 1: Zaloge organskega ogljika v t/ha (0–25 cm) s standardnim odklonom glede na rezultate vzorčenja v letu 2024. S črtami so označene zaloge iz začetka poskusov iz leta 1993. Legenda oznak pridelovalnih načinov je prikazana v preglednici 1

3.2 Jablje

V primerjavi z Rakičanom je povečanje zalog v Jabljah približno štirikrat manjše, a so zaloge v zgornjih 25 cm tal v Jabljah v povprečju večje za približno 12 t/ha. Zaloge organskega C so med 54,6 t/ha (A-N3) ter 61,6 t/ha (C-N2). Razlike v zalogah med uporabo hlevskega gnoja in zaoravanjem žetvenih ostankov so majhne in manjše kot v Rakičanu. Je pa jasno viden učinek odvzema celotne nadzemne biomase brez uporabe organskih gnojil (sistem A), kjer so tla s to prakso postala vir emisij in so svojo zalogo C zmanjšala. Pri gnojenju s hlevskim gnojem so se zaloge glede na začetno stanje v povprečju povečale za 3,5 t/ha (6,3 %, začetna vrednost 55,49 t/ha), pri obravnavanjih z zaoravanjem žetvenih ostankov pa za 2,5 t/ha (4,7 %). Povečevanje zalog pri gnojenju s hlevskim gnojem je v povprečju 0,12 t/ha letno, pri zaoravanju žetvenih ostankov pa 0,09 t/ha letno. Na obravnavanjih brez zaoravanja žetvenih ostankov in brez gnojenja s hlevskim gnojem so se zaloge organskega C zmanjšale v povprečju za 0,7 t/ha (-0,02 t/ha na leto). Kombiniranje gnojenja z N iz mineralnih gnojil pri zaoravanju hlevskega gnoja ne kaže jasne tendence v smeri povečevanja ali zmanjševanja zalog organskega C v tleh. Opaženo pojasnjujemo z zasnovo poskusa, kjer v teh obravnavanjih nadzemno biomaso odstranjujemo in zato povečanje nadzemne biomase, zaradi uporabe N, nima večjega vpliva na zaloge C v tleh. Tudi pri obravnavanjih z zaoravanjem žetvenih ostankov je bil učinek dodatnega gnojenja z N iz mineralnih gnojil na zaloge C neznačilen, z večanjem zalog C pri odmerkih N2 ter N3. Pri primerjavi rezultatov vzorčenja iz leta 2023 z rezultati vzorčenja v letu 2020 (Kolmanič in sod., 2021) ne opazimo značilnih razlik v zalogah organskega C v sloju tal 0–25 cm z izjemo sistema A, kjer smo pri vzorčenju v letu 2023 zaznali približno 3 t/ha večje zaloge.



Slika 2: Vpliv dolgoročnega gnojenja s hlevskim gnojem, zadelovanja žetvenih ostankov in gnojenja z mineralnimi gnojili na zaloge organskega ogljika v njivskih tleh do globine 90 cm (v t/ha). Legenda oznak pridelovalnih načinov je prikazana v preglednici 1

Razlike v zalogah organskega C do globine 90 cm prikazujemo na sliki 2. Zaloge organskega C v tem sloju znašajo med 148 t/ha (A-N0) in 166 t/ha (C-N2) in kažejo razliko med najslabšo in najboljšo prakso v količini približno 18 t/ha organskega C do globine 90 cm. Pri gnojenju s hlevskim gnojem je bilo do globine 90 cm vezanega v povprečju 160 t/ha organskega C, pri zaoravanju rastlinske biomase približno 162 t/ha, kjer pa teh praks ne izvajamo pa 154 t/ha. V primerjavi z Rakičanom imamo v Jabljah v letu 2023 v povprečju približno 28 t/ha več organskega C do globine tal 90 cm. Razporeditev organskega C po talnih slojih do 90 cm kaže, da je 46 % C v sloju 0–30 cm, 33 % v sloju 30–60 cm ter 21 % v sloju 60–90 cm. V primerjavi z Rakičanom je v Jabljah večji delež C v sloju do 60 cm tal in manjši v sloju od 60 do 90 cm, kar je najverjetneje povezano z razlikami med tipoma tal. Začetnih vrednosti zalog organskega C v sloju do 90 cm tal, na katere bi primerjali aktualne analize, nimamo.

4 SKLEPI

Vzorčenje v letu 2023 smo izvedli v enakem kolobarnem členu kot v letu 2020 za setvijo pšenice, pred katero se v sistemu C zaorjejo žetveni ostanki koruze, leto prej pa se v sistemu B (pred setvijo koruze) doda hlevski gnoj. Vzorčenje je obenem potekalo po zaključenem desetem ciklu tri-letnega kolobarja, kar omogoča primerjave tako z začetkom poskusa kot z letom 2020. Zadnji rezultati ponovno potrjujejo, da sta tako gnojenje s hlevskim gnojem kot zaoravanje biomase žetvenih ostankov in občasne ozelenitve ugodni s stališča večanja zalog organskega C v tleh tudi pri konvencionalni obdelavi tal z vsakokratnim letnim oranjem. V povprečju so se v tem času zaloge do globine 25 cm tal pri gnojenju s hlevskim gnojem vsako tretjo leto povečale za 11,8 t/ha, v Jabljah pa za 3,5 t/ha. Pri zaoravanju rastlinske biomase je bilo povečanje zalog v Rakičanu 7,0 t/ha, v Jabljah pa 2,6 t/ha. Praksa odvzema celotne nadzemne rastlinske biomase brez zaoravanja hlevskega gnoja je z vidika zalog organskega C v tleh nezaželena, a podatki vzorčenja v letu 2023 nakazujejo, da verjetno okoljske razmere s humidno klimo omogočajo

naravno poraslost površin s pleveli med dvema glavnima posevkoma, kar lahko neugodne učinke teh praks na zaloge organskega C precej omili.

Učinek uporabe N iz mineralnih gnojil na zaloge C v tleh je bil opazen le pri zaoravanju žetvenih ostankov, kjer smo z večanjem odmerka N večali količino biomase in s tem tudi količino C, ki smo ga vnesli v tla. V poskusu v Rakičanu je opazna manjša zaloga organskega C v tleh kot v poskusu v Jabljah, povečevanje zalog v tleh pa je bilo približno trikrat hitrejše. Vseeno pa tla v Rakičanu vsebujejo tudi po 30 letih približno 28 t/ha manj organskega C do globine 90 cm. Pri razporejenosti C med talnimi sloji je v Jabljah vezan večji delež C do globine 60 cm kot v Rakičanu. Primerjava rezultatov vzorčenja iz leta 2020 ter leta 2023 nakazuje, da se lahko zaloge organskega C tudi v krajšem obdobju precej spremenijo zaradi okoljskih vplivov. Razlike so manjše, kjer dodajamo hlevski gnoj, večje pa tam kjer zaoravamo rastlinsko biomaso. V letu 2023 so se zaloge organskega C do globine 60 cm zmanjšale, kar pripisujemo vplivu suše na biomaso koruznice v letu 2022. Sklepamo, da vnos biomase koruznice ni nadomestil izgub C iz tal in posledično se je predvsem zaloga labilnega C v tleh zmanjšala.

Praksa z zaoravanjem žetvenih ostankov in občasno ozelenitvijo (sistem C) je v večletnih poskusih primerljiva z gnojenjem s hlevskim gnojem (sistem B), kar potrjujejo pomen ukrepov ohranjanja žetvenih ostankov na njivah in ozelenitve njiv za večanje zalog organskega C tudi v luči zmanjševanja dostopnosti do hlevskega gnoja. A je po drugi strani vnos C z biomaso rastlin odvisen od vremenskih dejavnikov ter agronomskih praks. Npr., v našem primeru je že ena suša, ki je zmanjšala količino koruznice, pomembno vplivala na bilanco in nakazuje, kako hitro se lahko labilni C iz tal izgublja. V poskusih se tudi jasno nakazuje razlika v potencialu tal za vezavo organskega C pri enakih praksah. Med drugim je ta potencial odvisen tudi od začetnega stanja zalog organskega C, pri čemer manjše kot so zaloge, večje in hitrejše je lahko povečanje v enakem časovnem obdobju ter obratno. To lahko pomembno vpliva na pričakovano učinkovitost vezave C v tla in bi bilo smiselno upoštevati pri projekcijah.

Zahvala. Raziskava je sofinancirana v okviru programa Javnih služb v poljedelstvu, ki ga financira Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, programske skupine Agrobiodiverziteta (P4-0072), ki jo sofinancira Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS, ter iz sredstev evropskega programa Interreg Srednja Evropa 2021–2027 s številko pogodbe CE0100255 (projekt z akronimom Carbon Farming CE). Za pomoč pri vzdrževanju in vzorčenju večletnih poskusov IOSDV se zahvaljujemo številnim sodelavcem Kmetijskega inštituta Slovenije.

5 LITERATURA

- Craswell, E. T., Lefroy, R. D. B. 2001. The role and function of organic matter in tropical soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61: 7-18.
- Körschens, M., Albert, E., Armbruster, M., Barkusky, D., Baumecker, M., Behle-Schalk, L., Bischoff, R., Čergan, Z., Ellmer, F., Herbst, F., Hoffmann, S., Hofmann, B., Kismanyoky, T., Kubat, J., Kunzova, E., Lopez-Fando, C., Merbach, I., Merbach, I., Pardor, T. M., Rogasik, J., Rühlmann, J., Spiegel, H., Schulz, E., Tajnsek, A., Toth, Z., Wegener, H., Zorn, W. 2013. Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59, 8: 1017–1040.
- Onofri, A., Seddaiu, G., Piepho, H. P. 2016. Long-term Experiments with cropping systems: Case studies on data analysis. *European Journal of Agronomy*, 77: 223-236.
- Söderström, Bo., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Jørgensen, H. B. 2014. What are the effects of agricultural management on soil organic carbon (SOC) stocks? *Environmental Evidence*, 3: 2-8.

- Tajnšek, A. 2003a. Namen in cilj trajnih poljskih poskusov IOSDV Jablje in IOSDV Rakičan. V: Tajnšek, A. (ur.), Čeh. B. B. (ur.), Kocjan Ačko, D. Deset let trajnih poskusov IOSDV v Sloveniji, Jablje in Rakičan 1933-2003. Zbornik posveta. Slovensko agronomsko društvo: 25–34.
- Tajnšek, A. 2003b. Vsebnost humusa in nekatere fizikalne lastnosti tal v odvisnosti od gnojenja z organskimi gnojili in dušikom v IOSDV Jablje in IOSDV Rakičan. V: Tajnšek, A. (ur.), Čeh. B. B. (ur.), Kocjan Ačko, D. Deset let trajnih poskusov IOSDV v Sloveniji, Jablje in Rakičan 1933-2003. Zbornik posveta. Slovensko agronomsko društvo: 7–22.
- Tajnšek, A., Čergan, Z., Čeh, B. 2013. Results of the long-term field experiment IOSDV Rakičan at the beginning of the 21st century. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59, 8: 1109–1119.
- Kolmanič A., Žnidaršič Pongrac V., Verbič J. Dolgoročni učinek različnih kmetijskih praks na zaloge organskega ogljika v njivskih tleh. V: Čeh in sod. (ur.). *Novi izzivi v agronomiji 2021 (New challenges in agronomy 2021)*. Zbornik simpozija. Slovensko agronomsko društvo: 12–18.

Možnost uporabe VNIR spektroskopije za neposredno določanje vsebnosti organskega ogljika v tleh Slovenije

Denis STAJNKO¹⁶ in Fabio CASTALDI¹⁷

Izvleček

Vidna–bližnje–infrardeča (VNIR) spektroskopija je ena najbolj obetavnih tehnik daljinskega zaznavanja številnih informacij o tleh. Da bi zagotovili uspešno uporabo te tehnike v praksi, so zelo pomembne učinkovite metode za odpravo učinkov vsebnosti vode v tleh na odčitane spektre posameznih tal. V članku so povzete prednosti in slabosti spektroskopije za merjenje organskega ogljika v tleh (SOC). Iz rezultatov meritev na dveh trajnih poskusih v Sloveniji se vidijo različni spektri, ki so odvisno tudi od načina obdelave, ki pomembno vpliva na zaloge organskega ogljika. Vendar je za natančno oceno njegove vsebnosti potrebno uporabiti dodatne kalibracije in zapletene statistične analize. Prihodnje raziskave bi morale biti zato osredotočene na širši nabor različnih tipov tal z različnim deležem gline, priporočljivi pa bi bili tudi sistematični poskusi z različnimi vsebnostmi organskega ogljika, ki bi omogočili opredelitev mejnih vrednosti za učinkovito uporabo obravnavanih metod.

Ključne besede: VNIR spektroskopija, tla, organski ogljik, vsebnost, določanje vzorčenja

The possibility of using VNIR spectroscopy for the direct determination of organic carbon content in the soil of Slovenia

Abstract

Visible-near-infrared (VNIR) spectroscopy is one of the most promising techniques for the non-invasive detection of a wide range of soil information. In order to ensure the successful application of this technique in the field, effective methods to eliminate the influence of soil moisture on the read spectrum of individual soils are very important. The article summarizes the advantages and disadvantages of spectroscopy for soil organic carbon measurement. From the results of measurements at two permanent experiments in Slovenia, different spectra can be seen, which also depend on the soil tillage, which has a significant effect on organic carbon stocks. However, an accurate assessment of its content requires additional calibration in completed statistical analyses. Future research should therefore be aimed at a wider range of different soil types, field conditions, and systematic experiments with different organic carbon contents would also be recommended, which would enable the definition of threshold values for the effective use of the discussed methods.

Key words: spectroscopy, soil, SOC, sampling

1 UVOD

Določanje vsebnosti organskega ogljika v tleh (SOC) je zelo pomembno zaradi dolgoročnega upravljanja s talnim C in potencialno sekvstracijo CO₂ v tla. V svetu se v zadnjih dveh desetletjih pojavlja vedno večje zanimanje za izdelavo kart organskega C v tleh in kvantificiranja količin C v tleh z namenom obračunavanja sekvstracije C, vendar je to izjemno težko, saj je SOC v tleh tako v prostoru in času zelo spremenljiv ter odvisen od načina obdelave tal (Morgan et al., 2009).

Konvencionalne laboratorijske analize tal so časovno, stroškovno in delovno intenzivne in več ne zadoščajo sodobnim potrebam po večjem številu analiziranih vzorcev in pretoku zadostnih količin podatkov pri pogostem in natančnejšem merjenju SOC, zato se razvijajo in preizkušajo

¹⁶ Red. prof., dr. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, e-pošta: denis.stajnko@um.si

¹⁷ Dr., raziskovalec, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Firenze, Italy e-pošta: fabio.castaldi@cnr.it

alternativne metode določanje C tako v laboratoriju kot na terenu s pomočjo bližnjega in daljinskega zaznavanja (Viscarra Rossel et al., 2010).

Tehnike vidne–bližnje–infrardeče (VNIR) spektroskopije zaznavanja lahko potencialno zmanjšajo stroške, povezane z zbiranjem vzorcev, registracijo, pakiranjem, transportom, sušenjem, mletjem, presejevanjem in uporabo kemikalij ter ohranjajo verodostojne informacije. V nasprotju z laboratorijskimi metodami, kjer se vzorci večinoma sušijo na zraku, sodobne tehnike omogočajo hitro in relativno odčitavanje rezultatov in situ (Roudier et al. 2017).

V zadnjih letih je merjenje odbojnosti tal v elektromagnetnem spektru 400–2500 nm je postalo rutinsko opravilo za daljinsko zaznavanje lastnosti tal, kar je omogočilo ustvarjanje spektralnih knjižnic tal (SSL-Soil Spectra Libraries) skupaj z metapodatki in situ pa vsebujejo opise tal, vremenske podatke in geografske koordinate (Knadel et al., 2022).

Narava organske snovi v tleh (SOM-Soil Organic Matter) je odgovorna za številne lastnosti tal, kot so specifična gostota tal, zadrževanje vode, stabilnost strukturah agregatov tal, in predstavlja enega glavnih virov v globalnem ciklu ogljika (Stevens, 2008). Ker je SOM skoncentriran v zgornjem sloju tal, je izpostavljen sončnemu sevanju, zato ga je možno oceniti s tehnologijo VNIR spektroskopije. Poleg tega je SOM sestavljen iz edinstvenih spektralnih odtisov, ki jih je mogoče povezati z vsebnostjo, zrelostjo in razgrajenostjo organske snovi (Ben-Dor, 2016).

V zadnjih desetletjih se spektroskopska tehnika VNIR čedalje bolj uporablja tudi v pedologiji, kjer se je izkazala kot najbolj obetavna metoda za merjenje SOC. Različne valovne dolžine elektromagnetnega spektra (vidni (400–700 nm), NIR (700–1000 nm) in SWIR (1000–2500 nm) vsebujejo koristne informacije o organski in anorganski snovi v tleh. Vendar, izmerjeni spektri ne izvirajo samo iz odbojnosti funkcionalnih skupin O–H, SO₄ in CO₃, ampak tudi iz kombinacij z značilnostmi spektrov H₂O, CH₄ in CO₂ (Viscarra Rossel et al., 2010).

Glavna pomanjkljivost VNIR spektroskopije je njena velika odvisnost od vsebnosti vlage v tleh, saj večja vsebnost vode zmanjšuje odbojnost žarkov od vrhnje plasti tal (nizka odbojnost) in povzroča navidezno manjše vsebnosti SOC.

VNIR zaznava vodo v treh spektralnih oblikah in absorpcijskih spektrih; v mrežah mineralov (2200 nm), kot higroskopska voda (adsorbirana voda na površini glinenih mineralov (1400 in 1900 nm)) ter prosta voda, ki je v talnih porah (1400 in 1900 nm) (Ben-Dor, 2016). Med letom oziroma različnimi termini vzorčenja se oblike in razporeditve vode v talnih porah zelo spreminjajo, zato pri razlagi rezultatov predstavljajo tako veliko motnjo, da enoznačna harmonizacija izmerjenih vrednosti in korelacija s spektri, izmerjenimi v laboratoriju, nista možni. Z večanjem deleža SOC prihaja do večjih napak pri natančnosti ocene z uporabo spektrov VNIR (Cao et al., 2020), saj se pri visoki vsebnosti vlage spektri absorpcije vode prekrivajo s spektri organske snovi in mineralov v tleh (Cheng et al., 2005).

Namen raziskave je bil proučiti učinkovitost naprav VNIR spektroskopije za: (i) merjenje vlage v tleh s časovno-prostorsko reflektometrijo (Time Domain Reflectometry (TDR), (ii) napovedovanje organskega ogljika v tleh (SOC) v vzorcih tal, pridobljenih iz večletnih poljskih poskusov v Sloveniji, ki vključujejo različne načine obdelave tal.

2 MATERIAL IN METODE DELA

2.1 Opis uporabljenih senzorjev

Izračun vsebnosti SOC z VNIR spektroskopijo je možen neposredno na terenu šele z vključevanjem dodatnih meritev fizikalnih parametrov tal, kot so vlaga, tekstura, pH, električna prevodnost tal (ang. electroconductivity (EC) in vsebnost gline. Prve je možno izmeriti s senzorjem TDR, vsebnost gline pa z meritvami odboja tal s ASD spektorradiometrom.

2.1.1 TDR senzor

S senzorjem Fieldscout TDR 350 (Spectrum Technologies, Inc) smo iz neporušenega talnega vzorca neposredno izmerili vsebnosti vode (v vol. %), količini skupnih raztopljenih snovi, skupnih suspendiranih snovi, temperaturi tal in EC. Te podatke smo potrebovali zaradi korekcije izmerjenih spektrov odbojev posameznih vzorcev.

2.1.2 Spektroradiometer

Za merjenje spektrov odboja talnih vzorcev smo uporabili inštrument ASD FieldSpec 4, Malvern Panalytical, ki zajema spektralno območje 350–2500 nm. Zunanja kontaktna sonda je bila povezana s kablom iz optičnih vlaken detektorja in virom svetlobe na osebni računalnik, ki je neposredno shranjeval vrednosti meritev ter GPS lokacije.

2.2 Lokacije in obdelava vzorcev

Vzorci za testiranje VNIR spektroskopije smo zbrali na dveh lokacijah; Ljubljana, BF polje (Lat. 46.048.168, Lang. 14.471.084), Moškanjci, parcela Mamino (Lat. 46.408.573, Lang. 16.002.008). Na vsaki lokaciji je bila parcela razdeljena še glede na dva načina obdelave tal in sicer v obravnavanje direktna setev in konvencionalna obdelava tal.

Protokol za zbiranje in pripravo vzorcev je vključeval različne načine merjenje spektrov odboja talnih vzorcev, pri čemer je bila vsaka meritev opravljena v petih ponovitvah:

- Naravna površina groba – odstranjen zgornji 10 cm sloj tal
- Naravna površina poravnana – odstranjen zgornji 10 cm sloj, tla sploščena in zgoščena
- Odvzem vzorca tal s suličasto sondo in merjenje na površini vzorca
- Zračno sušen vzorec – nepresejano
- Zračno sušen vzorec – presejano <2 mm

Ko so bili odvzeti vzorci preneseni v laboratorij, je bil za kalibracijo VIS-NIR spektra vzorcev uporabljen laboratorijski protokol z neodvisnim nizoma podatkov, ki jih predstavlja niz podatkov peska 'Lucky Bay'.

2.2.1 Laboratorijske meritve

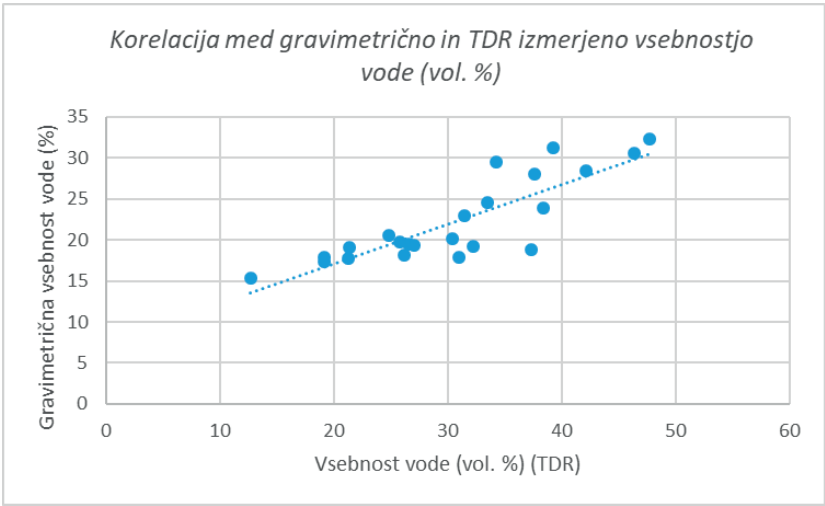
V laboratoriju smo zračno posušene, zmlete in presejane vzorce uporabili za izračun gravimetrične vsebnosti vode ter za ločene meritve spektrov tal s senzorjem Fieldscout TDR 350. Spektre smo izmerili tudi iz ponovno namočenih vzorcev, potem ko smo jih namakali v petrijevkah do zasičenja tal in 24 ur odcejali pod vplivom gravitacije. Da bi preprečili razlike na površini mokrih in suhih vzorcev, smo petrijevke pokrili za dve uri pred zajemanjem spektrov. Med sušenjem so bile meritve izvedene štirikrat.

Podatke smo statistično obdelali s programom SPSS. Analizo variance smo naredili z uporabo več faktorske analize. Kjer je analiza pokazala statistično značilne razlike ($p \leq 0,05$), smo razlike med obravnavanji preverili z Duncanovim testom za primerjavo mnogoterih obravnavanj ($\alpha = 0,05$).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Natančnost meritev TDR

Iz slike 1 je razvidno, da so izmerjene vsebnosti vode v tleh s TDR v tesni korelaciji z laboratorijsko gravimetrično določeno vsebnostjo vode ($r^2=0,7179$), zato smemo TDR meritve neposredno uporabiti za korekcijo spektrov.



Slika 1: Korelacija med gravimetrično (laboratorijsko) in volumnsko vsebnostjo vode (TDR).

3.2 Laboratorijske vrednosti SOC

V preglednici 1 so prikazane laboratorijsko določene vrednosti SOC z dveh lokacij in dveh načinov obdelave ter treh globlinah.

Preglednica 1: Vsebnost SOC na različnih globlinah v odvisnosti od globine, vrste obdelave in lokacije (n=5, pri vsakem vzorcu tal).

Globina (cm)	SOC (%)	
	BF (Direktna setev)	BF (Konvencionalno)
0-10	2.59±0.05 ^{aAA}	2.39±0.03 ^{aBA}
10-20	1.64±0.03 ^{bBA}	2.23±0.05 ^{bAA}
20-30	0.64±0.06 ^{cBB}	1.88±0.08 ^{cAA}
Moškanjci		
	(Direktna setev)	(Konvencionalno)
0-10	1.96±0.01 ^{aAB}	1.64 ±0.01 ^{aBB}
10-20	1.33±0.01 ^{bBB}	1.40±0.01 ^{bAB}
20-30	1.03±0.01 ^{cBA}	1.33±0.01 ^{cAB}

^{a,b,c} Različne črke označujejo statistično značilne razlike med različno globino tal znotraj iste lokacije in obdelave glede na Duncanov test (p<0,05)

^{A,B,C} Različne črke označujejo statistično značilne razlike med različnimi načini obdelave znotraj iste lokacije in globine obdelave glede na Duncanov test (p<0,05)

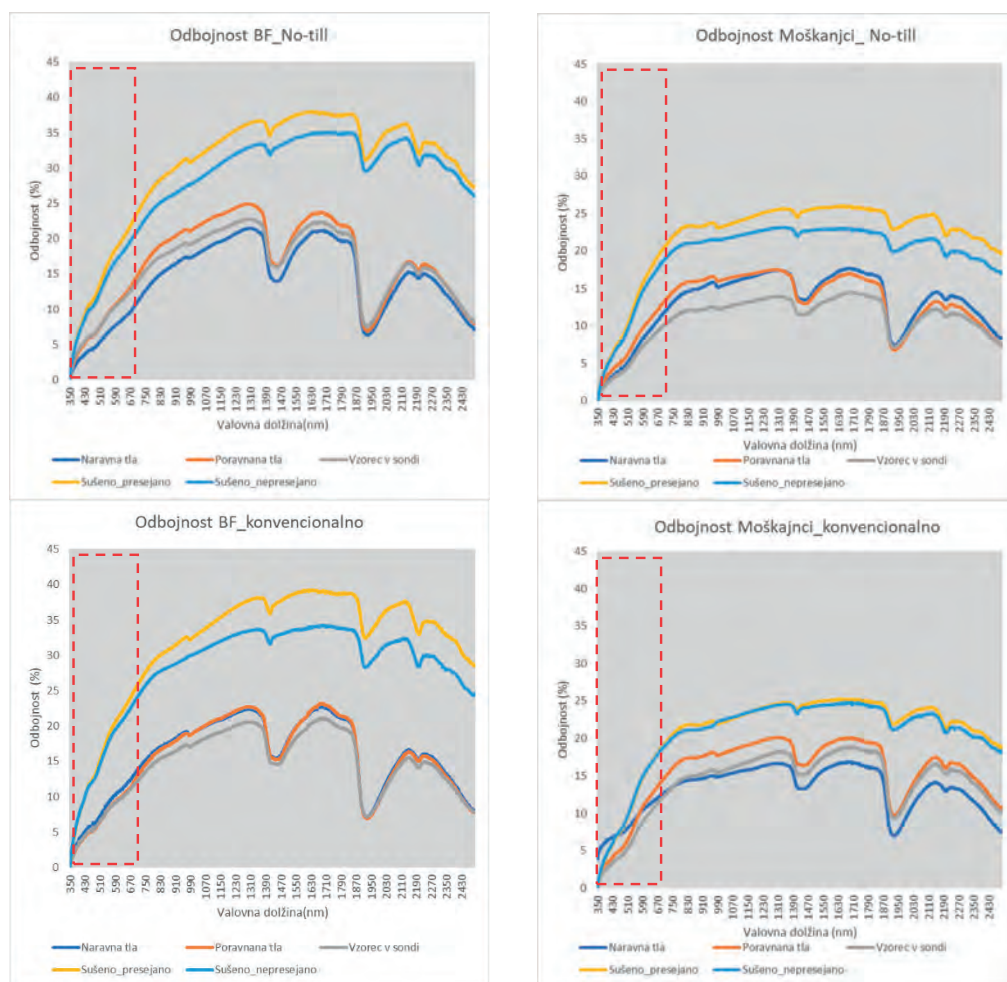
^{A,B,C} Različne črke označujejo statistično značilne razlike med različnimi lokacijami znotraj iste globine in načina obdelave glede na Duncanov test (p<0,05)

Ne glede na način obdelave so vsebnosti SOC večje na meljasto-ilovnatih tleh laboratorijskega polja BF, ki se nahaja v podalpskem območju s povprečno letno temperaturo 9,8 °C in srednjo

letno količino padavin 1400 mm, kakor pa na ilovnatih tleh parcele Mamino, ki se nahaja v subpanonskem-celinskem podnebnju s povprečno letno temperaturo 10,9 °C in 926 mm padavin. Na obeh tipih tal ima sistem direktna setev značilen pliv na porazdelitev SOC po različnih globinah tal pri čemer je bil pri direktni setvi največji odstotek SOC ugotovljen v zgornjem sloju tal (0-10 cm), tj. 2,58 % na BF (Direktna setev) oziroma 1,96 % na Moškanjci (Direktna setev). Z globino se je pri direktni setvi delež SOC manjšal v primerjavi s konvencionalno obdelavo tal, saj se zgornje in spodnje plasti ne mešajo.

3.3 Spektri SOC

Na sliki 2 so prikazani štirje odčitki VNIR spektroskopije, pri čemer sta dva vzorca iz laboratorijskega polja BF (levi vzorci) in dva z Moškanjcev (desni sliki), zgornji sliki sta s parcel 'no till' in spodnji s parcel 'konvencionalno'.



Slika 2: Vpliv različne priprave vzorcev na odbojnost VNIR spektra (v rdečem črkanem kvadratu so spektri, ki so odvisni od vsebnosti SOC).

V vsaki sliki so z rdečo črto obrobljeni deli slik, ki predstavljajo dele spektrov z najbolj izrazitimi razlikami, ki so posledica odbojev različno velikih deležev SOC v tleh.

Na posamezni sliki so prikazani odčitki petih spektrov istih tal. Vedno imajo značilno največji odboj zračno suha in presejana tla ter zračno suha nepresejana tla, sledijo odboji neporušenih poravnanih tal, neporušenih naravnih tal ter vzorci skenirani iz pedološke sonde. Velikosti odbojev, ki so izmerjeni neporušenih poravnanih tal, neporušenih naravnih tal ter vzorcev skeniranih iz pedološke sonde se med seboj precej prekrivajo, saj na odčitke SOC zelo moteče vpliva vlaga v naravnem vzorcu.

Če primerjamo izmerjene vrednosti odbojev na posameznem vzorcu tal (npr. BF_Direktna setev), se jasno vidijo enake linije odbojev spektrov, vendar imajo vsi posušeni vzorci večji odboj kot naravna tla oziroma tla iz pedološke sonde.

Po drugi strani pa se vidi, da imajo ista tla z manjšo vsebnostjo SOC (konvencionalna obdelava) na obeh tipih tal približno 10 % manjšo odbojnost vseh spektrov, pri čemer je najbolj pomemben in zato potreben natančnega pregleda spekter 350–700 nm (rdeči kvadrat). Ta je v tesni korelaciji in v obratnem sorazmerju s SOC, zato se z večanjem njegove vsebnosti manjša.

Isti fenomen, vendar z nekoliko manjšini odboji, se pojavi tudi v obeh vzorcih z Moškancem, kar kaže, da je VNIR spektroskopijo mogoče uporabiti za oceno SOC v tleh, vendar pa so za merjenje dejanskih vrednosti SOC potrebni dodatni kalibracijski modeli, pridobljeni iz velikega števila vzorcev, ter napredne statistične metode. Poleg tega je potrebno upoštevati prednosti in slabosti različnih tehnik oziroma posameznih inštrumentov, ki za različne teksture tal priporočajo specifične mejne vrednosti posameznih spektrov.

4 SKLEPI

Hitra in enostavna analiza SOC z neposredno uporabo VNIR spektroskopije na terenu ima velik potencial za znatno povečanje števila analiziranih vzorcev. Delo s senzorji je hitrejše in manj utrujajoče kot fizično jemanje vzorcev in njihova obdelava v laboratoriju. Vendar v nasprotju z laboratorijsko spektroskopijo spremenljivi talni pogoji na terenu, še posebej vsebnost vode v tleh, ovirajo njegovo zanesljivost VNIR spektroskopije, zato vlažnost tal bistveno omejuje njihovo prednost za globalno oceno lastnosti tal na večjem območju. Iz predstavljenih rezultatov lahko sklepamo, da ima VNIR spektroskopija dokazan potencial za spektralno zaznavanje SOC, vendar še vedno močno zaostaja pri realnem vrednotenju vsebnosti SOC. V prihodnje bo potrebno dobljene rezultate interpretirati z uporabo matematičnih modelov in statističnih metod ter ugotoviti, katere so uporabne za natančno določanje SOC v tleh.

Zahvala

Raziskava je nastala v okviru razpisa DATA1 projekta EJP SOIL — H2020-SFS-2018-2020 / H2020-SFS-2019-1 o „Inovativnih tehnikah za spremljanje zalog SOC in sprememb degradacije/obnove tal v EU z uporabo spektralne sisteme/NIRS/MIRS in druga orodja za proksimalno zaznavanje na terenu« (ProbeField). Avtorji se zahvaljujejo Romini Lorenzetti (CNR) in Carlosu Lozanu Fondónu (CREA).

5 LITERATURA

- Ben-Dor E. 2016. Quantitative Remote Sensing of Soil Properties. Adv. Agron., ISSN: 0065-2113, 75, pp. 173–243. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)75005-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)75005-0)
- Cao Y., Bao N., Liu S., Zhao W., Li S. 2020. Reducing Moisture Effects on Soil Organic Carbon Content Prediction in Visible and near-Infrared Spectra with an External Parameter Orthogonalization Algorithm. Can. J. Soil. Sci., ISSN 0008-4271 100, pp. 253–262. <https://doi.org/10.1139/cjss-2020-0009>

- Knadel M., Castaldi F., Barbetti R., Ben-Dor E., Gholizadeh A., Lorenzetti R. 2022. Mathematical techniques to remove moisture effects from visible–near-infrared–shortwave-infrared soil spectra review. *Applied Spectroscopy Reviews*, 58(9), 629–662.
<https://doi.org/10.1080/05704928.2022.2128365>
- Morgan C. L. S., Waiser T. H., Brown D. J., Hallmark C. T. 2009. Simulated in situ characterization of soil organic and inorganic carbon with visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy, *Geoderma*, ISSN 872-6259, 151 (3-4), pp. 249-256, ISSN 0016-7061,
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.04.010>
- Roudier P., Hedley C. B., Lobsey C. R., Viscarra Rossel R. A., Leroux C. 2017. Evaluation of Two Methods to Eliminate the Effect of Water from Soil Vis–NIR Spectra for Predictions of Organic Carbon. *Geoderma*, ISSN 872-6259, 296, pp. 98–107,
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.014>
- Viscarra Rossel R.A., McBratney A.B., Minasny B. (ur.) 2010. *Proximal Soil Sensing*. Springer Science & Business Media, 440 p., ISBN 978-90-481-8858-1, <https://doi.org/10.1007/978-90-481-8859-8>

Hitra in nedestruktivna metoda za določitev vsebnosti elementov v tleh

Nejc GOLOB¹⁸, Damijana KASTELEC¹⁹, Helena GRČMAN²⁰ in Marko ZUPAN²¹

Izvleček

Prenosni rentgenski fluorescenčni analizator (pXRF) omogoča hitro, ekonomično in nedestruktivno elementno analizo talnih vzorcev, kar predstavlja prednost pred klasičnimi metodami, ki temeljijo na različnih ekstrahiranjih ali kislinškem razklopu. Analiza s pXRF temelji na detekciji sekundarnih (fluorescenčnih) fotonov, vzbujenih z rentgenskim sevanjem. Detektor loči elemente glede na energijo fotonov in določi njihove koncentracije na podlagi števila fotonov z enako energijo. Prednost prenosnega instrumenta je neposredno izvajanje meritev na terenu in takojšnja seznanitev z vsebnostjo elementov v tleh. Rezultati takšnih meritev so nekoliko manj zanesljivi, saj na točnost in natančnost meritve vpliva homogenost merjenih zemljin in delež trenutne vlage v tleh. V prispevku podajamo primere uporabe pXRF in preizkus ponovljivosti in točnosti meritev, ki smo jih proučevali v laboratorijskih razmerah. Uporabili smo zračno suhe vzorce tal v dveh granulacijah (standardna priprava (< 2 mm) in fino zmet vzorec) ter opravili meritve z različnimi načini merjenja (kalibracije), ki jih omogoča aparat (»Soil 60«, »Soil 90« in »Mining Plus«). Ugotovili smo, da se povprečne izmerjene vsebnosti elementov bolj razlikujejo glede na izbrano metodo merjenja, kot glede na način priprave (mletja) vzorcev. Izkazalo se je, da je ujemanje meritev z referenčno vrednostjo za različne elemente različno.

Glavne besede: XRF, pXRF, fluorescenca, načini merjenja, natančnost in točnost meritev

A fast and non-destructive method for determining the elemental content in soil

Abstract

The portable X-ray fluorescence analyzer (pXRF) enables rapid, economical, and non-destructive elemental analysis of soil samples, which offers an advantage over traditional methods based on various extractions or acid digestion. The pXRF analysis is based on the detection of secondary (fluorescent) photons excited by X-ray radiation. The detector differentiates elements based on the photon energy and determines their concentrations by counting photons of the same energy. The advantage of the portable instrument lies in its ability to perform direct field measurements and provide immediate information on the elemental content of the soil. The results of such measurements are somewhat less reliable, as the accuracy and precision are influenced by the homogeneity of the tested soil and the current moisture content. Under laboratory conditions, we studied the repeatability and accuracy of measurements of equally dry soil samples with two sample granulometries (standard preparation (< 2 mm) and finely ground sample) and different measurement methods (calibrations) available on the device ("Soil 60", "Soil 90", and "Mining Plus"). We found that the average measured elemental contents varied more significantly with the chosen measurement method, affecting the agreement with the reference value, than with the sample preparation (grinding) method.

Keywords: XRF, pXRF, fluorescence, modes of measurement, precision and accuracy

1 UVOD

Tla imajo ključno vlogo v človeškem življenju, saj omogočajo pridelavo hrane, filtracijo vode in podpirajo kulturne ter gospodarske dejavnosti. Sestavljena so iz mineralnih in organskih delcev, vode in zraka, njihove kemijske, fizikalne in biotične lastnosti pa močno vplivajo na rast rastlin. Za dobro rast rastlin in kakovosten pridelek kmetijskih rastlin je ključnega pomena

¹⁸ Mag. inž. agr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: nejc.golob@bf.uni-lj.si

¹⁹ Izr. Prof. dr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: damijana.kastelec@bf.uni-lj.si

²⁰ Prof. dr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: helena.grcman@bf.uni-lj.si

²¹ Doc. dr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: marko.zupan@bf.uni-lj.si

poznavanje vseh talnih lastnosti, večinoma pa se v kmetijski pridelavi osredotočimo na delež organske snovi (humusa) in s tem povezano strukturo in konzistenco tal, vsebnost hranil ter morebitno vsebnost potencialno strupenih elementov (PSE), kot so na primer težke kovine. Nekatere lastnosti lahko ocenimo z opazovanjem vegetacije, za natančen podatek o talnih lastnostih pa je nujno potrebno opraviti laboratorijske analize, ki so zanesljive, a hkrati dolgotrajne, saj temeljijo na odvzemu in pripravi vzorcev tal, različnih ekstrahiranj in drugih destruktivnih metodah, ki zahtevajo uporabo nevarnih kemikalij (Tykot in sod., 2016; Weindorf in sod., 2014b). V nasprotju z običajnimi laboratorijskimi analizami in meritvami rentgenska fluorescenčna spektroskopija (XRF) omogoča hitro, ekonomično in nedestruktivno analizo elementne sestave tal brez uporabe nevarnih kemikalij (Shackley, 2011). Prenosna različica XRF (pXRF) omogoča analizo tudi na terenu, kar odpravi potrebo po transportu vzorcev, uporabna pa je za meritve vsebnosti elementov v tleh, kamninah, mineralih, kovinah, različnih tekočinah in drugih snoveh (Parsons in sod., 2013).

Naprava pXRF deluje na principu merjenja z rentgenskimi žarki vzbujene fluorescence, kjer energija fluorescenčnih fotonov določa elementno sestavo vzorca, število enakih fotonov pa določa koncentracijo elementov v vzorcu. Rentgensko sevanje običajno nastaja v Ta/Au, Rh ali Ag rentgenskih ceveh, kjer elektroni ob trku z anodo tvorijo rentgenske žarke, ki v vzorcu povzročijo ionizacijo atomov. Višek energije, ki nastane pri preskokih elektronov med ovojnicami (posledica ionizacije), se sprošča v obliki fluorescenčnih fotonov, ki jih aparat zazna in analizira (Weindorf in sod., 2014b; Haschke in sod., 2021). Naprave pXRF ponujajo več analitskih načinov merjenja (komercialna imena so npr. »Soil«, »Mining«, »Alloy«, »Plastics«), zasnovanih za specifične materiale. Pogosto se povzame, da je »Soil« način, ki temelji na kalibracijski metodi Comptonove normalizacije namenjen merjenju elementov v sledovih, medtem ko »Mining«, ki temelji na kalibracijski metodi temeljnih parametrov omogoča merjenje makro-elementov, oba pa se vse pogostejše uporabljata za analizo tal (Parsons in sod., 2013). Načini merjenja se razlikujejo po kalibracijski metodi in tudi po napetosti rentgenske cevi, kar vpliva na detekcijo različnih elementov (Shackley, 2011). Naprava pXRF vedno meri celokupno vsebnost elementov, ne glede na njihovo vezavo v tleh (Innov-X, 2005).

Kljub prednostim ima pXRF tudi slabosti, kot so višje meje detekcije, manjša občutljivost in omejen nabor elementov v primerjavi z destruktivnimi metodami (Forster in sod., 2011). Natančnost (p)XRF meritve je odvisna od homogenosti vzorca, pri čemer heterogeni vzorci povečajo variabilnost meritev, saj je pri prenosnih napravah analitično okno (površina, ki jo analiziramo) zmanjšano na aktivno območje merjenja (površina vzorca) 7–8 mm², kar lahko zahteva več ponovitev za doseganje zanesljivih rezultatov. Poleg tega s (p)XRF izmerimo vsebnost elementov le v površinskih plasteh vzorca, zaradi česar je homogenost vzorca nujna (Laperche in sod., 2021). Problem heterogenosti talnega vzorca lahko zmanjšamo z dodatnim mletjem (Williams in sod., 2020), s čimer poskrbimo, da elementna sestava vzorca v analitskem oknu reprezentativna za celoten vzorec. Terenske meritve so zaradi omejitev pri pripravi vzorcev lahko nekoliko manj natančne kot laboratorijske (Weindorf in sod., 2014a; Ribeiro in sod., 2018; Sahraoui in sod., 2017; Goff in sod., 2020; Williams in sod., 2020).

Metoda pXRF je v okoljskih raziskavah pogosto uporabljena, saj nudi hitrejšo in cenejšo alternativo klasičnim analitskim metodam (Peralta in sod., 2020; Kalnicky in sod., 2001; Jang in sod., 2016; Stockmann in sod., 2016a). Rezultati meritev niso neposredno primerjavi z normativnimi vrednostmi, vendar v določenih primerih hitrost in ekonomičnost meritev ob pravilni interpretaciji rezultatov pomeni veliko prednost pred klasičnimi laboratorijskimi razklopi in detekcijami. Po slovenski uredbi o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, št. 68/96, 41/04 – ZVO-1, 44/22 – ZVO-2) so za tla predpisane normativne vrednosti za 10 PSE, katerih določanje večinoma temelji na

kislinskem razklopu vzorca in analizi z atomsko emisijsko spektrometrijo z induktivno sklopljeno plazmo (ICP-AES), kot to določa tudi pravilnik o monitoringu kakovosti tal (Uradni list RS, št. 68/19, 44/22 – ZVO-2, priloga 1). Kljub razlikam med metodama se pXRF izkazuje kot cenejša in hitrejša alternativna metoda za pridobivanje podatkov o elementni sestavi tal v prvi fazi vzorčenja.

V nadaljevanju so predstavljeni primeri uporabe pXRF pri terenskih in laboratorijskih analizah onesnaženosti tal v kmetijskih in urbanih območjih Slovenije. Sledi primerjava različnih metodoloških pristopov, ki lahko pomembno vplivajo na izmerjene vsebnosti elementov, vključno s primerjavo rezultatov pXRF z referenčnimi vrednostmi, pridobljenimi s standardnimi analitskimi metodami.

2 MATERIALI IN METODE

V tem prispevku predstavljamo meritve na terenu in v laboratoriju, ki smo jih izvajali s prenosnim rentgenskim analizatorjem (pXRF) Olympus Delta Premium 50, opremljenim s 4 W Au anodo z napetostjo od 10 do 50 kV in tokom do 200 μ A, ter SDD detektorjem (slika 1). Ker naprava pri uporabi proizvaja rentgenske žarke, smo pridobili vsa ustrezna dovoljenja uprave RS za jedrsko varnost ter usposobili več operaterjev, ki so opravili strokovni izpit za varno rokovanje z napravami, ki imajo vir ionizirajočega sevanja. Omenjeni analizator Olympus Delta Premium 50 omogoča izvajanje neposrednih meritev na terenu (pXRF) in meritev v laboratoriju.



Slika1: Prikaz delovanja aparata Olympus Delta Premium 50 (prirejeno po 911Metallgurst, 2024)

Za prenos na teren uporabljamo namenski kovček, kjer so rezervne baterije, kalibracijski material in slepi vzorec ter dodatni ščitnik, ki ga moramo namestiti na aparat, da omogočimo neposredno meritev. Aparat postavimo na površino tal, kjer želimo opraviti meritev. S pritiskom na sprožilec bo rentgenski žarek prodrl nekaj mm v globino tal (odvisno od elementne sestave vzorca; težji elementi bolj absorbirajo žarke), detektor pa bo beležil sproščeno energijo in število fotonov. Meritev in detekcija pri uporabi tovarniških nastavitev traja približno 1 minuto, odvisno od izbora načina merjenja (število žarkov). Na ekranu lahko takoj odčitamo rezultat, izpišejo se elementi in njihova koncentracija ter napaka meritve, ki jo aparat izračuna iz večkratne detekcije v kratkem času po sprožitvi rentgenskega žarka. Rezultati se shranijo v pomnilniku naprave in jih kasneje lahko prenesemo za nadaljnjo obdelavo. Aparat je takoj po zaključeni meritvi pripravljen na novo meritev. Prestavimo ga na drugo lokacijo in ponovimo postopek. Na terenu neposredne meritve elementne sestave tal najpogosteje izvajamo na

površini tal oziroma zemljine, lahko naredimo tudi razklope tal do določenih globin in na ta način pridobimo informacijo o vsebnosti elementov v določeni globini. Možna je tudi izvedba meritev zemljine v žlebastih sondah, največkrat uporabljamo sondo dolžine 1 m in premera vsaj 25 mm, kjer lahko v poljubnih razmikih izmerimo vsebnost elementov v tleh do globine 1 m.

V laboratoriju izvajamo meritve v posebnem stojalu, kamor je pXRF aparat vpet tako, da sevalno/detekcijsko okno zapolni odprtino na dnu merilne komore. Laboratorijski vzorec tal prenesemo v PE merilno posodico in jo položimo na omenjeno okno v komori. Posodica ima spodaj tanko folijo skozi katero prodre žarek v vzorec tal. Žarek se sproži le v primeru, da je komora pravilno zaprta, zato ni možnosti uhajanja sevanja izven zaščitne komore. V laboratoriju je pXRF aparat povezan z računalnikom, ki omogoča lažje upravljanje aparata, rezultate meritev pa lahko spremljamo tudi na ekranu računalnika.

Tudi v laboratoriju lahko izvajamo meritve na svežih vzorcih tal, na nezdobljenih talnih grudah, na kosih kamnin in podobno, ki jih postavimo neposredno na sevalno/detekcijsko okno v merilni komori. Večinoma pa meritve v laboratoriju izvajamo na standardno pripravljenih talnih vzorcih, ki so bili posušeni na 40 °C, zdobljeni in presejani skozi sito 2 mm. V tako pripravljenih talnih vzorcih izvajamo tudi standardne fizikalno kemijske postopke analiz. Določene metode (tudi za razklop z zlatotopko) zahtevajo dodatno mletje standardnega talnega vzorca v bolj fino frakcijo (<0,25 mm, <0,16 mm).

Preverjanje natančnosti in točnosti meritev smo izvedli v laboratorijskih razmerah na izbranih zračno suhih talnih vzorcih. Meritve smo izvedli s tremi načini: »Soil 60s« (dva žarka, 50 kV in 40 kV, vsak po 30 sekund), »Soil 90s« (trije žarki, 50 kV, 40 kV in 15 kV, vsak po 30 sekund), ter »Mining Plus« (dva žarka, 50 kV in 10 kV, vsak po 30 sekund). Načina »Soil« temeljita na Comptonovi normalizaciji, medtem ko način »Mining« temelji na metodi temeljnih parametrov (FP). Vse laboratorijske meritve smo izvajali v okviru magistrskega dela, kjer se nahaja tudi bolj podroben opis metodologije in materialov (Golob, 2024).

Analizo smo izvedli na 13-ih različnih talnih vzorcih. Vsak posušen vzorec (masni delež vode je bil pod 3,31 %) smo najprej zmleli v ročni keramični terilnici, nato pa presejali skozi plastično sito do frakcije, manjše od 2 mm. Vzorec smo prenesli v merilno posodico (debelina vzorca >2 cm), ga pritisnili ob dno posodice in izvedli meritve v vseh 3 načinih. Po končanih meritvah smo vzorec premešali in postopek ponovili še štirikrat, kar pomeni, da smo izvedli skupno pet ponovitev na vsak vzorec za vsak način merjenja. Nato smo isti vzorec zmleli na velikostno frakcijo 160 µm in postopek merjenja ponovili.

Rezultate pXRF smo nato primerjali s tistimi, pridobljenimi s standardizirano destruktivno metodo, ki vključuje kislinski razklop z zlatotopko in meritev na ICP OES/MS, ter jo v raziskavi navajamo kot referenčno vrednost (referenco). Meritve z ICP OES/MS so bile izvedene v mednarodno priznanem in certificiranem laboratoriju Bureau Veritas Minerals v Vancouverju, v Kanadi. Za primerjanje ujemanja z referenco smo izračunali povprečja petih meritev, nato pa smo izračunali relativno napako povprečij glede na referenčne vrednosti, za vsak element ter vzorec posebej ter elemente razvrstili v enega izmed 7-ih razredov ujemanja (preglednica 1). Z linearnimi mešanimi modeli smo preverjali vpliv načina mletja (2 mm in 160 µm), načina merjenja (»Soil 60«, »Soil 90«, »Mining Plus«) ter njune interakcije, ob upoštevanju slučajnega vpliva vzorca.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Uporaba pXRF v okoljskih raziskavah

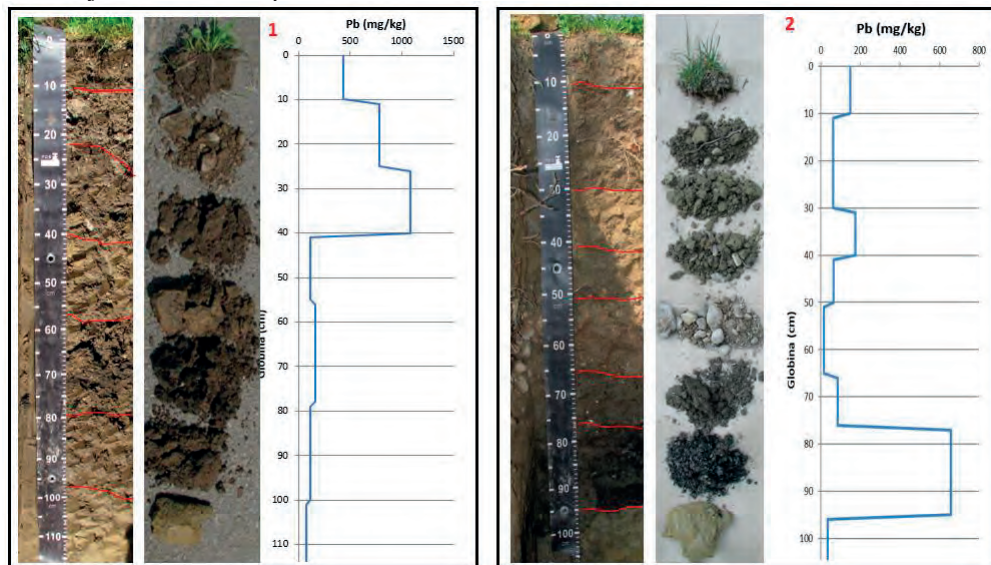
Prednost prenosnega instrumenta je neposredno izvajanje meritev na terenu in takojšnja seznanitev s skupno vsebnostjo elementov v tleh. Rezultati takšnih meritev so nekoliko manj

zanesljivi zaradi različne trenutne vlažnosti tal in različne zrnivosti talnega materiala. Prav tako ne moremo neposredno primerjati rezultata meritev z normativnimi vrednostmi za tla v Sloveniji, kjer so mejna, opozorilna in kritična vrednost za 10 potencialno strupenih elementov (As, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Ni, Mo, Pb in Zn) določene na osnovi kislinskega razklopa z zlatotopko (Ur.l.RS 68/96, 41/04 – ZVO-1, 44/22 – ZVO-2). Kljub temu je uporaba pXRF smiselna na območjih s povečano vsebnostjo elementov v tleh oziroma povsod, kjer je odstopanje od pričakovane (povprečne) vsebnosti v tleh oziroma od naravnega ozadja večje od razlike v točnosti oziroma natančnosti meritev. Njegova prednost je tudi v tem, da z njim določimo koncentracije več elementov hkrati in ne le elemente, ki so opredeljeni v slovenski zakonodaji. pXRF se v Sloveniji že rutinsko uporablja v različnih okoljskih, kmetijskih in arheoloških študijah in sicer za meritve neposredno na terenu in z meritvami vzorcev, ki jih prenesemo v laboratorij:

- določitev površinske in globinske razsežnosti onesnaženosti tal otroških igrišč, predvsem v MO Celje in v Zgornji Mežiški dolini;
- spremljanje kakovosti tal ob izvedbi sanacijskih ukrepov z zamenjavo ali preplastitvijo tal (neposredne meritve ob izkopu in določitev morebitne točkovne poglobite izkopa odkritih onesnaženih plasti, preliminarno preverjanje kakovosti neonesnažene nadomestne zemljine in drugih materialov (gramoz) predvidenih za zapolnitev izkopov, preverjanje kakovosti površine saniranih zelenic);
- preliminarne meritve drugih potencialno onesnaženih območij (v Sloveniji), na osnovi katerih se izdelata strokovno utemeljen načrt za dejansko vzorčenje in vrednotenje stopnje onesnaženosti tal;
- spremljanje procesa čiščenja tal z metodo pranja tal;
- elementna sestava v zelo gosti mreži meritev na arheoloških najdiščih;
- preverjanje kakovosti kmetijskih zemljišč oziroma določitev variabilnosti PSE v kmetijskih tleh;
- druge raziskave, kjer je potrebna hitra informacija o skupni vsebnosti elementov v tleh oziroma okolju (degradirana območja, zemeljski izkopi, območja izkoriščanja mineralnih surovin ...).

Podajamo primer uporabe pXRF za meritve vsebnosti Pb v tleh otroškega igrišča v urbanem okolju, pri katerem je bilo v okviru monitoringa kakovosti tal ugotovljeno preseganje zakonodajnih vrednosti za Pb. Za urbana tla je značilno, da jih pri urejanju okolice razkopavamo, nasipavamo, oziroma teren prilagajajo vsakokratni spremembi zunanje ureditve okolice. Zato so praviloma zelo heterogena, lahko vsebujejo plasti različnih pripeljanih zemljin, včasih tudi ostanke gradbenih odpadkov. Monitoringi kakovosti tal v prvi fazi večinoma zajemajo po en reprezentativen združen vzorec iz posamezne globine za celotno proučevano površino. V kolikor se ugotovi odstopanje od pričakovanih vrednosti glede na naravno ozadje ali znano lokalno onesnaženje, so potrebne nadaljnje meritve v gostejši horizontalni in vertikalni resoluciji, na osnovi katere ugotovimo površinsko in globinsko razsežnost onesnaženja in pripravimo plan sanacije. Površinsko in globinsko razsežnost onesnaženja ugotavljamo s sistematičnim sondiranjem po celotni površini zemljišča in meritvami elementov s pXRF na vsakih 10 cm globine tal. Na ta način običajno naredimo od 120 do 170 meritev kovin na otroško igrišče, kar s klasično kemijsko analizo ne bi bilo izvedljivo niti s časovnega niti finančnega vidika. Za ugotavljanja/potrjevanje izvora onesnaženja je potrebno izkopati talne profile, iz katerih lahko, bolje kot iz sonde, ugotovimo lastnosti talnih horizontov in sestavo antropogenih primesi (Grčman in sod., 2015). Iz vertikalne distribucije koncentracije Pb v tleh (slika 2) je razvidno, da so vrednosti precej večje, kot je pričakovano naravno ozadje, ki je za Slovenijo 34 mg/kg (Gosar in sod., 2019), in da je zelo verjeten vzrok onesnaženja

nasutje onesnaženih tal pomešanih z odpadki. V konkretnem primeru je bila izvedena sanacija z zamenjavo onesnažene plasti tal.



Slika 2: Vsebnost svinca (mg/kg) v različnih plasteh tal na dveh zelenicah otroškega igrišča v Sloveniji. Meritve Pb po globini kažejo, katere nasute plasti so izvor onesnaženja (Grčman in sod., 2015)

3.2 Vpliv načina merjenja ter mletja na povprečno izmerjeno vsebnost elementov ter ujemanje z referenčno vrednostjo

Testirali smo tri načine merjenja (»Soil 60«, »Soil 90« in »Mining Plus«) z aparatom pXRF Olympus Delta 50 Premium in dva načina mletja talnih vzorcev na povprečne izmerjene vrednosti elementov, ujemanje meritev XRF z referenčnimi vrednostmi, ki si bile izmerjene s standardiziranimi kemijskimi postopki (kislinski razklop vzorca, meritev z ICP-MS) in na variabilnost meritev, t. i. tehničnih ponovitev. Testiranje smo izvedli na 13 vzorcih z različnimi lastnostmi, s pXRF pa smo uspešno določili vsebnost 25 elementov. Način merjenja je statistično pomembno vplival na vsebnost elementov As, Ca, Cr, Fe, K, Mn, Mo, Pb, Ti in Zr, medtem ko je dodatno mletje pomembno vplivalo na vsebnost Al, As, Fe, K, Mn, P, Rb, Sb, Si, Sr, Ti, V, W, Zn in Zr. Statistično pomembna interakcija med načinom merjenja in velikostjo frakcije je bila ugotovljena za elementa K in Zr. Ujemanje meritev pXRF z referenčno vrednostjo po elementih za vsak način merjenja ter velikostno frakcijo je prikazano v preglednici 1.

V fino zmletih vzorcih (0,16 mm) smo izmerili večje povprečne vsebnosti elementov Sr, P, Al, As, Fe, Mn, Zn, Rb, Si in Ti, medtem ko so bile pri elementih Sb, V in W izmerjene vrednosti manjše, kot v bolj grobo zmletih vzorcih (2 mm). V fino zmletih vzorcih je bilo ujemanje z referenco pri vseh elementih slabše (večinoma za do 20 %), ali pa ostalo enako kot pri grobo zmletih vzorcih. Presenetljivo je, da mletje na manjšo velikostno frakcijo v večini primerov ni zmanjšalo variabilnosti meritev med tehničnimi ponovitvami, temveč je pri nekaterih elementih variabilnost celo povečalo. Glede na literaturo, ki navaja, da je pXRF točkovna meritev z merilnim oknom približno 8 mm² (Laperche in sod., 2021), smo pričakovali, da bo dodatno fino mletje vplivalo na boljšo homogenizacijo vzorca, saj so bili nekateri testni vzorci nehomogeni

(vsebovali so nerazpadlo organsko snov in grobe delce). 95 % interval zaupanja se je po dodatnem mletju zožil le pri elementih Cr, Cu, Hf, Mo, Sb, V in W, pri čemer je bila razlika pri Cr, Cu, Hf in Mo zanemarljiva (pod 4 %). Iz navedenega lahko povzamemo, da dodatno mletje vzorca za bolj natančno določitev povprečne izmerjene vsebnosti elementov v vzorcih ni potrebno, saj se variabilnost med tehničnimi ponovitvami ne izboljša. Hkrati smo v fino zmletih vzorcih pri večini elementov izmerili večje povprečne vsebnosti elementov glede na referenčne vrednosti določene s kisliniskim razklopom vzorcev in meritev z ICP-MS.

Preglednica 1: Ujemanje meritev s pXRF z referenčno vrednostjo po elementih za vsak način merjenja ter velikostno frakcijo posebej

Razred	Ujemanje	Soil 60 Soil 90 Mining Plus			Soil 60 Soil 90 Mining Plus		
		2 mm			160 µm		
< 5 %	Zelo dobro ujemanje	Sr, Rb, Cr	Sr, Rb, K	Ca			
5 % – 10 %	Dobro ujemanje	Fe, Ti, Pb	Fe, Mn, Pb	Mn, K			
10 % – 20 %	Srednje ujemanje	Mn, As, Zr	Cr, Ti, As, Zr	Zr	Cr		
20 % – 30 %	Zmerno ujemanje	Ni	Ni	Pb, Si		Cr	
30 % – 50 %	Slabo ujemanje	Cu, Zn	Cu, Zn, Ca	Fe, As, Al	Cu	Cu	
50 % – 200 %	Zelo slabo ujemanje			Mo, P			Mo
>200 %	Ni ujemanja	Sn, Hg	Mo, Sn, Hg	Mo, Cd, Hf, Sb, V, W	Mo	Mo	Hf, Sb, V, W

Čeprav smo pri nekaterih elementih z aparatom pXRF zaznali slabo ujemanje z referenčno vrednostjo, to ne pomeni nujno, da so meritve pXRF napačne. pXRF namreč meri celokupno vsebnost elementov v vzorcu, ne glede to, v kateri frakciji so vezani in tako zazna tudi elemente, raztopljene v talni raztopini, in tiste, vezane v kristalno strukturo mineralov. Nasprotno pa kisliniski razklop nikoli ne omogoči popolne ekstrakcije, saj določen delež elementov ostane vezan na talne delce tudi po razklopu. Razlike med obema metodama so tako lahko posledica različnih pristopov pri posamezni metodi.

4 SKLEPI

Rentgenska fluorescentna spektroskopija je primerna metoda za ugotavljanje koncentracijskih nivojev elementov v tleh, saj omogoča hitro identifikacijo skupne vsebnosti elementov, med katerimi so tudi potencialno strupeni elementi, kot so Pb, As, Cd, Cu in drugi. Metoda je hitra, nedestruktivna, brez uporabe kemikalij. Meritve lahko izvajamo na terenu ali v laboratoriju, kjer lahko s sušenjem in mletjem vzorcev dosežemo bolj natančne meritve. Meritve s pXRF, kljub predhodni obdelavi vzorcev, niso neposredno primerljive z meritvami, ki jih pridobimo s standardiziranimi kemijskimi postopki, ki vključujejo kisliniski razklop vzorcev in meritev z ICP-MS in na osnovi katerih so določene tudi mejne, opozorilne in kritične imisijske vrednosti nevarnih snovi v tleh (Ur. L. RS 68/96). Uporabnost pXRF je kljub temu velika, saj lahko opravimo veliko število analiz v kratkem času in je zato primerna za ugotavljanje površinske in globinske onesnaženosti zemljišč v gosti vzorčevalni mreži. Z ustrezno strokovno interpretacijo lahko pXRF uporabljamo tako za preliminarne meritve na osnovi katerih določimo finančno in časovno racionalen načrt vzorčenja, kot tudi za načrtovanje in kontrolo sanacij onesnaženih tal. Z različnimi načini merjenja (kalibracije) XRF aparata se lahko prilagodimo različnim

matriksom oziroma različnim koncentracijskim nivojem na preiskovanem območju. Z meritvami izbranih vzorcev z več načini merjena s pXRF in primerjavo rezultatov z standardnimi metodami smo pri več elementih (Sr, Rb, Cr, Ca, Fe, Ti, Pb, Mn, As, Zr, Ni in Si) zabeležili dobro skladnost meritev s pXRF z referenčnimi vrednostmi. Glede na pester izbor vzorcev lahko sklepamo, da za najboljše ujemanje z referenčno vrednostjo mletje na velikostno frakcijo manjšo od 2 mm ni potrebno, ter da se primernost posameznih načinov merjenja spreminja za posamezne elemente.

5 LITERATURA

911Metallurgist, Olympus DELTA XRF Analyzer Price.

<https://www.911metallurgist.com/blog/olympus-delta-xrf-analyzer-price> (11. 7. 2024)

Forster, N., Grave, P., Vickery, N., Kealhofer, L. 2011. Non-destructive analysis using PXRF: methodology and application to archaeological ceramics. *X-Ray Spectrometry*, 40(5): 389– 398, <https://dx.doi.org/10.1002/xrs.1360>

Goff K., Schaetzl R. J., Chakraborty S., Weindorf D. C., Kasmerchak C., Bettis E. A. 2020. Impact of sample preparation methods for characterizing the geochemistry of soils and sediments by portable X-ray fluorescence. *Soil Science Society of America Journal*, 84, 1: 131–143, <https://doi.org/10.1002/saj2.20004>

Golob, N. 2024. Ovrednotenje metod merjenja vsebnosti elementov v talnih vzorcih in arheoloških sedimentih s prenosnim rentgenskim fluorescenčnim analizatorjem (pXRF). Magistrsko delo, 81str., <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=161216>

Gosar, M., Šajn R., Bavec Š., Gaberšek M., Pezdir V., Miler M. 2019. Geokemično ozadje in zgornja meja narvne variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije. *Geologija*, 62/1: 5–57, <https://doi.org/10.5474/geologija.2019.001>

Grčman H. Tič I., Zupan M. 2015. Dodatne meritve onesnaženosti tal v vrtcu Viški vrtci, enota Hiša pri ladji. Poročilo o zgradbi tal in dodatnih analizah v talnih profilih in sondah. Strokovna naloga za MOL, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, 29str.

Haschke M., Flock J., Haller M. 2021. X-ray fluorescence spectroscopy for laboratory applications. Weinheim, Wiley-VCH Verlag: 464 str

Innov-X Systems Inc.. 2005 Instruction manual innov-X systems alpha series X-Ray fluorescence spectrometers. Innov-X Systems, Inc.: 83 str.

Jang H., Budiman M., Uta S., Brendan M. 2016. Spatial pedological mapping using a portable X-Ray fluorescence spectrometer at the Tallaverag Grove vineyard, Hunter Valley. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 69, 6: 635–643, <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2016.49.6.635>

Kalnicky D. J., Singhvi R. 2001. Field portable XRF analysis of environmental samples. *Journal of Hazardous Materials*, 83, 1–2: 93–122, [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00330-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00330-7)

Laperche V., Lemièrre B. 2021. Possible pitfalls in the analysis of minerals and loose materials by portable XRF, and how to overcome them. *Minerals*, 11, 1: 33, <https://doi.org/10.3390/min11010033>

Parsons C., Margui-Grabulosa E., Pili E., Floor G., Roman-Ross G., Charlet L. 2013. Quantification of trace arsenic in soils by field-portable X-ray fluorescence spectrometry: Considerations for sample preparation and measurement conditions. *Journal of Hazardous Materials*, 262: 1213–1222, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.001>

Peralta E., Pérez G., Ojeda G., Alcañiz J. M., Valiente M., López-Mesas M., Sánchez-Martín M. J. (2020). Heavy metal availability assessment using portable X-ray fluorescence and single extraction procedures on former vineyard polluted soils. *Science of The Total Environment*, 726, 138670, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138670>

Ribeiro B. T., Weindorf D. C., Silva B. M., Tassinari D., Amarante L. C., Curi N., Guimarães G. L. R. 2018. The influence of soil moisture on oxide determination in tropical soils via portable X-ray fluorescence. *Soil Science Society of America Journal*, 82, 3: 632, <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.11.0380>

- Sahraoui H., Hachicha M.. 2017. Effect of soil moisture on trace elements concentrations using portable x-ray fluorescence spectrometer. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 9, 1: 468, <https://dx.doi.org/10.4314/jfas.v9i1.26>
- Shackley M.S. 2011. X-Ray fluorescence (XRF) analysis in archaeology. New York, Springer: 213 str.
- Stockmann U., Cattle S. R., Minasny B., McBratney B. A. 2016. Utilizing portable X-ray fluorescence spectrometry for in-field investigation of pedogenesis. *Catena*, 139: 220–231, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.007>
- Tykot R. H. 2016. Using nondestructive portable X-ray fluorescence spectrometers on stone, ceramics, metals, and other materials in museums: advantages and limitations. *Applied Spectroscopy*, 70, 1: 42–56, <https://doi.org/10.1177/0003702815616745>
- Weindorf D. C., Bakr N., Zhu Y. 2014b. Advances in portable X-ray fluorescence (PXRF) for environmental, pedological, and agronomic applications. *Advances in Agronomy*, 128: 1– 45, <https://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-802139-2.00001-9>
- Weindorf D. C., Bakr N., Zhu Y., McWhirt A., Ping C. K., Michaelson G., Nelson C., Shook K., Nuss S. 2014a. Influence of ice on soil elemental characterization via portable X-Ray fluorescence spectrometry. *Pedosphere*, 24, 1: 1–12, [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(13\)60076-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60076-4)
- Williams R., Taylor G., Orr C. 2020. pXRF method development for elemental analysis of archaeological soil. *Archaeometry*, 62, 6: 1145–1163, <https://doi.org/10.1111/arcm.12583>

Izzivi pri zagotavljanju rodovitnih zemljin za obnovo degradiranih območij za rastlinsko pridelavo

Anja GANTAR²², Helena GRČMAN²³, Matjaž PIRNAT²⁴, Marko ZUPAN²⁵ in Vesna ZUPANC²⁶

Izvilleček

Tla so naravni vir, ki ga ogroža človeška dejavnost. Proces obnove tal je drag, dolgotrajen in zahteva skrbno načrtovanje ter sodelovanje med različnimi deležniki in sektorji. Namenske zemljine, izdelane iz izkopenega materiala in drugih odpadkov, omogočajo vzpostavitev zgornje plasti tal, potrebne za delovanje obnovljenega ekosistema. Ta tla zagotavljajo primerne pogoje za rast rastlin in druge ekosistemske storitve. Cilj te študije je bil predstaviti pregled uporabe tehnološko obdelanih tal za obnovo degradiranih zemljišč. Vrednotili smo degradirana območja glede na njihove lastnosti in funkcije, ki naj bi jih obnovljena območja omogočala. Uporaba namenskih zemljin na ciljnih območjih je ukrep, ki obnavlja funkcije tal in omogoča varovanje okolja z obnovo ekosistemskih storitev zgornje plasti tal, kot so regulacija vremena, filtracija in zadrževanje vode ter proizvodnja hrane. Modro-zelena infrastruktura je trajnostno načrtovano omrežje naravnih in polnaravnih vodnih (modrih) ter zelenih elementov, ki so namenjeni upravljanju padavinskih voda v mestih in opravljajo raznovrstne ekosistemske storitve. Za modro-zelena infrastrukturo je treba zagotoviti hidravlično funkcionalnost substrata. Za uspešno izvedbo je potrebno sodelovanje deležnikov iz različnih sektorjev, ki ga podpira zakonodaja.

Ključne besede: degradacija tal, funkcije tal, namenske zemljine, ekosistemske storitve, obnova degradiranih območij

Challenges in providing fertile soils for the restoration of degraded areas for plant production

Abstract

Soil is a natural resource threatened by human activity. The process of soil restoration is expensive, time-consuming and requires careful planning and cooperation between different stakeholders and sectors. Engineered soils, made from excavated material and other waste, provide a solution for building the top layer that allows the restored ecosystem to function. These soils provide suitable conditions for plant growth and other ecosystem services. The objective of this study was to give an overview of the application of engineered soils for the restoration of degraded land. We evaluated degraded areas according to their properties and what function engineered soils should provide. The application of engineered soils to target areas is a measure that restores soil functions and enables environmental protection by restoring top layer ecosystem services such as climate regulation, water filtration and storage, and food production. Blue-green infrastructure is a sustainably planned network of natural and semi-natural water (blue) and green elements designed for managing stormwater in urban areas while providing diverse ecosystem services. For blue-green infrastructure, hydrological functionality of the substrate must be ensured. For the successful implementation, cooperation of stakeholders from different sectors, supported by legislation, is necessary.

Keywords: land degradation; soil functions; engineered soils; ecosystem services; restoration of degraded areas

²² Mag. inž. agr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: anja.gantar@bf.uni-lj.si

²³ Prof. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: helena.grcman@bf.uni-lj.si

²⁴ Mag. inž. agr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo e-pošta: matjaz.pirnat@bf.uni-lj.si

²⁵ Dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: marko.zupan@bf.uni-lj.si

²⁶ Doc. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: vesna-zupanc@bf.uni-lj.si

1 UVOD

Tla so tanek, zgornji sloj Zemljine skorje, ki je običajno rodovitna in predstavlja osnovo za življenje na Zemlji (Montanarella, 2015). Tla omogočajo številne ekosistemske storitve, med drugim uravnavajo vreme, filtrirajo vodo in so habitat za številne organizme, na njih pridelujemo hrano. Zagotavljajo prostor za infrastrukturo, iz njih pridobivamo gradbene materiale (Montanarella in Panagos, 2016). Kakovost tal, raba zemljišč in vrednost zemljišč so tesno povezani. Boljša kot je kakovost tal, več je možnih rab zemljišča, več ekosistemskih storitev nudijo taka tla in večja je konkurenca med potencialnimi uporabniki. Ker so vzpostavitev infrastrukture in izkop mineralnih surovin neprimerljivo bolj donosni od drugih funkcij tal, močno pospešujejo ireverzibilne, negativne spremembe rabe tal v kateremkoli ekosistemu.

Za nadomestitev vse večjega pomanjkanja kmetijskih zemljišč bo potrebno izboljšanje tal z neugodnimi lastnostmi in obnoviti degradirana območja za kmetijsko pridelavo. Postopek obnove degradiranih območij je drag, dolgotrajen in zahteva skrbno načrtovanje ter sodelovanje med različnimi deležniki in sektorji. Eden izmed posebnih izzivov je zagotovitev zadostne količine materiala, ki ga je mogoče uporabiti za vzpostavitev zgornje, rodovitne plasti tal.

Običajen pristop, da se rodovitna zgornja plast tal, odstranjena ali degradirana zaradi velikih gradbenih ali rudarskih dejavnosti, nadomesti z zgornjo plastjo tal iz sosednjih kmetijskih zemljišč (Buondonno in sod., 2019), ni trajnosten. Povezan je z visokimi transportnimi stroški in pogosto ne zadostuje rastočemu povpraševanju po rodovitnih tleh (Darmody in sod., 2009). Po drugi strani, postanejo izkopana tla, ne glede na to, ali so rodovitna ali ne, odpadki, katerega prevoz in odstranjevanje povzroča stroške. Tako se pri rudarskih in gradbenih delih soočamo z vedno večjo količino izkopanih mineralnih ostankov, ki so razvrščeni kot odpadki. Hkrati vzpostavitev novih zelenih površin zahteva znatne finančne in materialne naložbe (stroški dela, rodovitna zgornja plast tal in materiali za podtalje) (Darmody in sod., 2009; Caron in sod., 2015; Deeb in sod., 2020).

Dodaten izziv predstavljajo naravne nesreče, kot so poplave, ki povzročajo premike velikih količin sedimentov, ki so zelo heterogeni – mešani z drugim naplavljenim materialom, bogati s hranili ali vsebujejo visoke koncentracije potencialno strupenih snovi če poplave premaknejo zemljo z onesnaženih območij. V bližini urbanih območij se skozi zbiranje in shranjevanje odpadkov na odlagališčih in čiščenja odpadne vode ter odlagališč proizvajajo koncentrirani organski ostanki in odpadki. Če so ustrezno obdelani in razredčeni, bi lahko ti organski materiali služili kot vir hranil in organske snovi.

Področje namenskih zemljin v Sloveniji ureja različna zakonodaja, ki med seboj ni usklajena. Potrebna je uskladitev zakonodaje na področju varstva tal in odpadkov. Zaradi pomanjkanja enotnih smernic prihaja do različnih interpretacij zakonodaje, kar vpliva na postopke in standarde v praksi. Uredba o odpadkih (2022) in Zakon o kmetijskih zemljiščih (1996) poudarjata pomen varovanja rodovitnih tal. Uredba o ravnanju z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih (2008) in Zakon o rudarstvu (ZRud-1) (2010) ne opredelujeta jasnih standardov in pogojev za uporabo namenskih zemljin. Potrebne so tudi spremembe in dopolnitve Uredbe o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov (2008). V okviru projekta LIFE IP ReStart so že predvidene nekatere spremembe zakonodaje.

Cilj krožnega gospodarstva je ponovna uporaba surovin za zmanjšanje odpadkov in zagotovitev prijaznega življenjskega okolja (Pineda-Martos in sod., 2024). Seznam deležnikov, ki jih zanimajo rodovitna tla kot vir, vključuje uporabnike zemljišč, prostorske načrtovalce, okoljevarstvenike, industrijo in rudarska podjetja, kmetijstvo, lokalne oblasti ter sektor turizma in gradbeništva. Namen tega prispevka je predstaviti sistematičen pregled ciljnih območij s

pripadajočimi funkcijami in ekosistemskimi storitvami za zagotovitev delovanja na novo vzpostavljenih ekosistemov.

2 MATERIALI IN METODE

Za zagotavljanje trajnostne rabe prostora, zmanjšanje odpadkov ter povečanje krožnega gospodarstva na področju odpadkov prek tehnološkega in digitalnega napredka se je pod vodstvom Ministrstva za okolje, podnebje in energijo RS začel projekt LIFE IP ReStart. Projekt (trajanje 2022–2030) vključuje snovalce politik, predstavnike iz gospodarstva (rudarska, gradbena in industrijska podjetja) ter raziskovalne in izobraževalne ustanove. Eden od zastavljenih ciljev je priprava izhodišč za namenske zemljine, s katerimi bi izboljšali in obnovili do 10 % degradiranih površin v Sloveniji.

Namenske zemljine morajo imeti lastnosti, ki izboljšujejo ekosistemske storitve načrtovane rabe obnovljenega degradiranega območja. Da bi razvili smernice za pripravo namenskih zemljin, je bil pripravljen splošen pregled potencialnih ciljnih degradiranih območij, ki bi jih bilo mogoče obnoviti z namenskimi zemljinami. Degradirana območja so bila razdeljena glede na vzrok degradacije (antropogeni - kmetijska, rudarska ali industrijska dejavnost ali naravni vzroki - poplave), pri posamezni skupini smo predstavili glavne izzive.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Lastnosti in ekosistemske storitve namenskih zemljin glede na tip degradiranega območja

Namenske zemljine v krožnem gospodarstvu naj bi ustrezale definiciji t. i. zelenih gradbenih materialov (Obricki in sod., 2017, Pearlmutter 2020, Pineda-Martos in sod., 2024), ki so sestavljeni iz organskih materialov, pridobljenih iz biološkega cikla z nizkimi vplivi na okolje (poraba vode in energije) ter mineralnih sestavin, pridobljenih v okviru t. i. grajenega okolja (gradbena in zemeljska dela). Namenske zemljine morajo ustrezati zahtevam zelenih gradenj, kot so zelene strehe (Minixhofer in sod., 2022), vertikalni sistemi ozelenjevanja, območja za rast dreves v grajenem okolju, rastlinske čistilne naprave (Bulc, 2006), integrirane v grajenem okolju (Kisser in sod., 2020) ter za substrate, uporabljane za urbano kmetijstvo (Pearlmutter, 2020). Uporabo umetno pripravljenih plasti tal so predlagali tudi kot sredstvo za sanacijo onesnaženih tal za urbana območja, kjer imajo izvorna tla povišano raven onesnaževal (Obrycki in sod, 2017).

V preglednici 1 so navedeni tipi degradiranih območij, ekosistemske storitve, ki naj bi jih območja lahko opravljala po obnovi ter kakšne naj bi bile v ta namen lastnosti namenskih zemljin. Izdelana zemljina pogosto vsebuje nabor mineralnih in organskih komponent (Deeb in sod. 2020). Za prosti dostop na tržišču morajo umetno narejene zemljine oziroma substrati izpolnjevati določene specifikacije, ki so lahko pogojene z določene končne uporabe. Splošne specifikacije za vrhno plast tal lahko vključujejo zahteve glede velikosti delcev, pH, vsebnosti organske snovi, razmerja ogljik – dušik (C/N), električne prevodnosti in vsebnosti hranil (Rokia in sod., 2014, Ahirwal in sod., 2016). Da bi jih potrošniki sprejeli, morajo imeti proizvedene zemljine za zgornje plasti in dodatki tal tudi za potrošnika sprejemljiv videz in vonj (Deeb in sod., 2020).

Preglednica 1: Lastnosti in ekosistemske storitve namenskih zemljin glede na tip degradiranega območja

Degradirana površina	Tip degradacije	Želene ekosistemske storitve	Lastnosti namenske zemljine
Deponije	Antropogena – odlaganje odpadkov in onesnaženih materialov	Remediacija tal, filtracija onesnaževal, zadrževanje vode, mikrobna aktivnost, shranjevanje ogljika	Podpora rastlinskemu pokrovu Vzpostavitev nepropustne vrhnje plasti, tesnjenje za preprečevanje izpiranja v podzemno vodo
Površinski kopi	Antropogena – rudarjenje in izkopavanje, pomanjkanje rodovitnih tal, neugodna mikroklima zaradi spremenjene topografije	Nadzor erozije, infiltracija vode, kroženje hranil, podpora za regeneracijo rastlin	Podpora rastlinskemu pokrovu, stabilna struktura tal, zadostna globina za sidranje korenin, prilagojena vsebnost hranil
Urbana območja	Antropogena – pozidava, onesnaževanje, zbijanje tal	Filtracija onesnaževal, upravljanje z meteornimi vodami, uravnavanje temperature, shranjevanje ogljika, kroženje hranil	Prepustnost, sposobnost zadrževanja vode, primerne koncentracije onesnaževal, stabilna struktura, visoka nosilnost, primerna globina za podporo korenin, majhna nasipna gostota tal (zelene strehe)
Rastlinska pridelava	Antropogena – prekomerna uporaba gnojil in fitofarmacevtskih sredstev, neustrezna obdelava tal	Kroženje hranil, shranjevanje organske snovi, izboljšanje rodovitnosti tal, uravnavanje vode	Podpora rastlinskemu pokrovu, zmerna vsebnost organske snovi (emisije CO ₂), nadzorovane koncentracije onesnaževal, izboljšana rodovitnost za trajnostno kmetijstvo, ustrezen pH glede na pridelavo
Poplavna območja	Naravna – vodna erozija, poplave, poplavni sedimenti	Ureditve za uravnavanje poplav, filtracijo vode, nadzor odtoka vode, zadrževanje sedimentov, blaženje in preprečevanje erozije	Podpora rastlinskemu pokrovu, stabilna struktura tal, sposobnost zadrževanja vode

3.1.1 Deponije

Odlagališča zahtevajo skrbno upravljanje za zmanjšanje vpliva na okolje, pri čemer je obnova zgornje plasti tal ključna. Med najpomembnejšimi prioritetami sta učinkovito zatesnjene odlagališča in preprečevanje pronicanja vode v tla, saj to pomaga preprečiti onesnaženje okoliških tal in podzemne vode.

3.1.2 Površinski kopi

Površinski kopi predstavljajo izziv pri obnovi zaradi pomanjkanja rodovitnih zgornjih slojev tal in velikih površin, ki jih pokrivajo. Odstranitev zgornje plasti tal in vegetacije pušča za seboj gola tla z neugodnim mikroklimo zaradi spremenjene topografije. Za uspešno obnovo so potrebne namenske zemljine z ustrezno vsebnostjo hranilnih snovi (Rokia in sod., 2014), zadostno globino tal za oporo korenin in stabilno strukturo tal za omejevanje erozije. Te namenske zemljine naj bi imele tudi visoko hidravlično prevodnost, zlasti na območjih, dovzetnih za erozijo (Deeb in sod., 2020).

3.1.2.1 Konceptualni model obnove kamnoloma Lipovški vrh

Kamnolom Lipovški vrh (46.15686109593414, 14.889332264789392) leži v občini Zagorje ob Savi, na južnem pobočju Lipovškega hriba nad zaselkom Briše oziroma nad dolino rečice Medija. Obnova kamnoloma Lipovški vrh je osredotočena na vzpostavitev zgornje in spodnje plasti tal z uporabo zemeljskih izkopov ter drugih organskih in mineralnih odpadkov za ponovno vzpostavitev ključnih ekosistemskih storitev. Ciljna raba zemljišč vključuje pridelavo vinske trte in sredozemskih zelišč, kot sta rožmarin (*Salvia rosmarinus*) in sivka (*Lavandula angustifolia*).

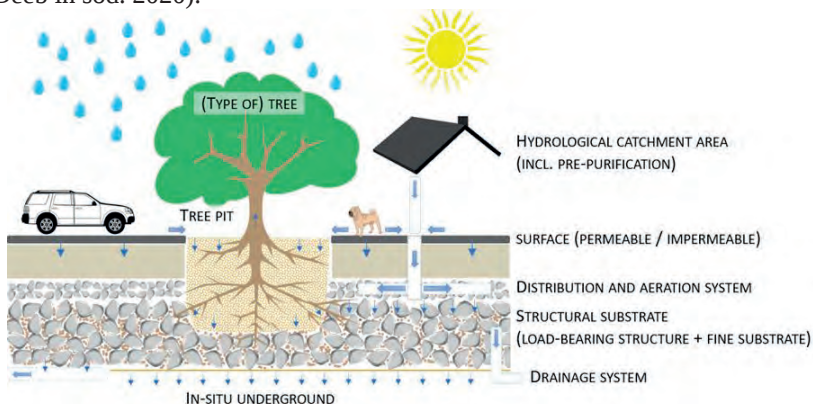
Dodajanje organske snovi izboljša sposobnost tal za zadrževanje vode, infiltracijo, strukturo in stabilnost tal (Ferreira in sod., 2022). Organski dodatki, kot so komunalni kompost, blato iz čistilnih naprav, digestat in živinska gnojila, so razmeroma bogati z organskimi snovmi ter makro- in mikrohranili. Ko se ti mešajo z mineralnim komponentami, izboljšajo lastnosti namenskih zemljin (Rokia in sod., 2014; Buondonno in sod., 2018).



Slika 1: Kamnolom Lipovški vrh (Pogačnik, 2024, osebni vir)

3.1.3 Urbana območja

V urbanih okoljih se vedno pogosteje soočamo s hitrimi poplavami ter vročinskim stresom. Za učinkovit nadzor nad meteorno vodo je potrebna zelena infrastruktura, ki zmore sprejeti in zadržati viške vode, da se zmanjša odtok vode in blaži poplave. Zelena infrastruktura, kot so drevoredi, zeleni kanali in zelene strehe, zahtevajo funkcionalna tla oz. namenske zemljine, ki so prepustne za infiltracijo vode za omejevanje poplav, imajo ustrezne koncentracije onesnaževal zaradi javnega zdravja ter urbanega kmetijstva, imajo zadostno kapaciteto za shranjevanje vode, nizke zahteve po vzdrževanju, stabilno strukturo, da preprečijo erozijo in širjenje prahu in zadostno globino za podporo koreninam. Tla urbanih površin morajo imeti tudi dobro nosilnost, da prenašajo obremenitve hoje in prometa. Zelene strehe morajo imeti nizko nasipno gostoto. V Sloveniji je uvajanje modro-zelene infrastrukture še na konceptualnem nivoju (Deeb in sod. 2020).



Slika 2: Zagotavljanje prostora za drevesa in druge zelene elemente v mestih (Zeiser in sod., 2022)

3.1.4 Rastlinska pridelava

Na nekaterih območjih se pri pridelavi rastlin soočamo z nizkimi vrednostmi pH, zelo skeletnimi tlemi ali težko teksturo tal. Ponekod je degradacija tal posledica nepravilne obdelave tal. Takšne razmere lahko zavirajo rast korenin in zmanjšujejo pridelke. Na takih območjih je potreben drugačen pristop, in sicer prehod k trajnostnemu kmetovanju: spremenjen način obdelave tal, s poudarkom na preprečevanju zbijanja tal. Potrebno je strokovno utemeljeno gnojenje - na analizah tal osnovan vnos hranil, pokritost tal z zelenim pokrovom preko celega leta poveča delež organske mase ter mikrobiološko aktivnost tal.

V primerih, da je degradacija tako znatna, da je vrhnji, A horizont, bi bila mogoča rešitev uporaba namenskih zemljin. Te lahko naredimo iz lokalno dostopnih mineralnih odpadkov (npr. izkopi iz spodnjih plasti tal – B horizont) v kombinaciji z inertnimi mineralnimi dodatki in organskimi odpadki za izboljšanje rodovitnosti tal za rastlinsko proizvodnjo (Pirnat, 2021). Poseben izziv je zagotavljanje rodovitnosti in varnosti tal za pridelavo hrane v urbanih območjih. Potrebne so namenske zemljine z zmerno vsebnostjo organske snovi, da bi se izognili prekomernim emisijam CO₂ ali izluževanju ter z nadzorovano vsebnostjo onesnaževal (Deeb in sod., 2020).

3.1.4.1 Obnovljivi substrati – nadomestek za šoto

Uporaba šote v vrtnarskih substratih prispeva k izčrpanju naravnih šotišč, ki so pomemben ponor ogljika. Šotišča shranjujejo velike količine ogljika, njihova degradacija zaradi izkopavanja pa v ozračje sprošča znatne količine ogljikovega dioksida, kar še poslabšuje podnebne spremembe. Vrtnarski substrati, ki so nadomestek za šoto, se odlikujejo po nizkem pH, dobri drenažni odcednosti, rahlosti, konsistenci in zračnosti. Poseben izziv je naprava nadomestnih substratov iz nekarbonatnih sestavin za gojenje borovnic.

3.1.5 Poplave

Povečana pogostost hudih poplav je posebej problematična, saj povzroča odstranitev rodovitne plasti tal in odlaganje sedimentov. Poplavni sedimenti so zelo heterogeni, sestavljeni so iz materialov različnih velikosti in sestave, od rodovitnih vrhnjih plasti tal do onesnaženih materialov, lesnih ostankov, drobirja, skal in balvanov. Poplavni sedimenti iz onesnaženih območij, kot je Mežiška dolina so bogati z organsko snovjo in hranili, a so močno onesnaženi s svincem (Pb) in cinkom (Zn). To onesnaženje predstavlja velik izziv, saj sedimentov ni mogoče neposredno ponovno uporabiti, ampak jih je treba deponirati. Potencialna rešitev je mešanje sedimentov z mineralnimi ostanki, da se koncentracija Pb in Zn zmanjša do vrednosti naravnega ozadja. Vendar pa zakonodajne omejitve še dodatno omejujejo možno uporabo takšnih sedimentov v kmetijstvu ali za obnovi zemljišč.



Slika 3: Poplavni sediment v Mežiški dolini (Biznis24, 2023)

4 SKLEPI

Potrebe po namenskih zemljinah naraščajo predvsem, ko gre za obnovo degradiranih območij. Predstavljajo možnost, da na učinkovit način odpadne materiale ponovno uporabimo. V ta namen je potrebna zakonska ureditev področja zemljin, rodovitnih in drugih zemeljskih izkopov, ki bi omogočala napravo ter tudi uporabo namenskih zemljin. Te so potencialni vir rodovitnega materiala za obnovo degradiranih območij v različne ekosisteme. Odkopane vrhnje plasti tal, ki so rodovitne, in zemeljski izkopi spodnjih plasti niso zgolj odpadek, temveč lahko kot del krožnega gospodarstva zagotovijo potrebne sestavine pri obnovi degradiranih območij

in izgradnji urbane zelene infrastrukture. Tak pristop ravnanja z zemljinami zagotavlja ravnovesje med trajnostno rabo prostora in kratkoročnimi koristmi.

Zahvala. Raziskavo je delno financiral Raziskovalni program P4-0085 Agroekosistemi in LIFE IP ReStart, LIFE20 IPE/SI/000021.

5 LITERATURA

- Ahirwal, J., Maiti, S.K., Singh, A.K. 2016. Ecological restoration of coal mine-degraded lands in dry tropical climate: what has been done and what needs to be done? *Environ. Qual. Manage* 26: 25 – 36
- Biznis24. 2023. Za sanacijo onesnaženih zemljin 641 milijonov evrov. <https://biznis24.si/za-sanacijo-onesnazenih-zemljin-641-milijonov-evrov/> (6. nov. 2024)
- Bulc T.G. 2006 Long term performance of a constructed wetland for landfill leachate treatment. *Ecological Engineering*. 26,4: 365 – 374 DOI:10.1016/j.ecoleng.2006.01.003
- Buondonno, A., Capra, G. F., Di Palma, D., Grilli, E., & Vigliotti, R. C. (2018). Pedotechnologies for the Environmental Reclamation of limestone quarries. A protocol proposal. *Land Use Policy*, 71, 230-244
- Caron, J., Price, J. S., & Rochefort, L. (2015). Physical properties of organic soil: adapting mineral soil concepts to horticultural growing media and histosol characterization. *Vadose Zone Journal*, 14(6).
- Darmody RG, Daniels W. L., Marlin JC, Cremeens DL. 2009 Topsoil: What is it and who cares? DOI: 10.21000/JASMR09010237
- Deeb, M., Groffman, P. M., Blouin, M., Egendorf, S. P., Vergnes, A., Vasenev, V., ... & Séré, G. (2020). Using constructed soils for green infrastructure-challenges and limitations. *Soil*, 6(2), 413-434.
- Dick, D. P., Knicker, H., Ávila, L. G., Inda Jr., A. V., Giasson, E., Bissani, C. A. (2006.) Organic matter in constructed soils from a coal mining area in southern Brazil, *Org. Geochem.*, 37, 1537– 1545, <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.06.017>,
- Dickinson, N. M. (2000) Strategies for sustainable woodland on contaminated soils, *Chemosphere*, 41, 259–263, [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00419-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00419-1)
- Ferreira, C. S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., Ghajarnia, N., & Kalantari, Z. 2022. Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of the Total Environment*, 805, 150106
- Kisser J., Wirth, M, De Gussemme, B, Van Eekert, M, Zeeman, G, Schoenborn, A, Vinnerås, B, Finger, D, Repinc, S, Bulc, T G, Bani, A, Pavlova, D (2020) A review of nature-based solutions for resource recovery in cities. *Blue-Green Systems*. 2,1: 138 - 1721 10.2166/bgs.2020.930
- Minixhofer, P., Scharf, B., Hafner, S., Weiss, O., Henöckl, C., Greiner, M., ... & Stangl, R. (2022). Towards the circular soil concept: optimization of engineered soils for green infrastructure application. *Sustainability*, 14(2), 905.
- Montanarella, L. 2015. Agricultural policy: Govern our soils. *Nature*, 528 (7580), 32-33
- Obrycki JF, Basta NT, Culman SW. Management Options for Contaminated Urban Soils to Reduce Public Exposure and Maintain Soil Health. *J Environ Qual*. 2017 Mar;46(2):420-430. doi: 10.2134/jeq2016.07.0275. PMID: 28380559.
- Pearlmutter D, Theochari D, Nehls T, Pinho P, Piro P, Korolova A, Papaefthimiou S, Garcia Mateo MC, Calheiros C, Zluwa I, Pitha U, Schosseler P, Florentin Y, Ouannou S, Gal E, Aicher A, Arnold K, Igondová E, Pucher B (2020) Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: green building materials, systems and sites. *Blue-Green Systems* 2(1):46–72
- Pineda-Martos, R. et al. (2024). Implementing Nature-Based Solutions for a Circular Urban Built Environment. In: Bragança, L., Cvetkovska, M., Askar, R., Ungureanu, V. (eds) *Creating a Roadmap Towards Circularity in the Built Environment*. Springer Tracts in Civil Engineering. Springer, Cham. https://doi-org.nukweb.nuk.uni-lj.si/10.1007/978-3-031-45980-1_28
- Pirnat M. 2021. Vpliv naravnih dodatkov in industrijskih odpadkov na fizikalne in kemijske lastnosti tal. Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 46 str.

- Rokia S., G. Séré, C. Schwartz, M. Deeb, F. Fournier, T. Nehls, O. Damas, L. Vidal-Beaudet, 2014, Modelling agronomic properties of Technosols constructed with urban wastes, *Waste Management*, 34, 11, 2155-2162, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.12.016>.
- Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov. 2008. Ur. l. RS št. 34/08
- Uredba o odpadkih (Uradni list RS, št. 37/15, 69/15 in 129/20)
- Uredba o ravnanju z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih (Uradni list RS, št. 34/08)
- Zakon o kmetijskih zemljiščih (Uradni list RS, št. 71/11 – uradno prečiščeno besedilo, 58/12, 27/16, 27/17 – ZKme-1D, 79/17 in 44/22)
- Zakon o rudarstvu (Uradni list RS, št. 14/14 – uradno prečiščeno besedilo, 61/17 – GZ in 54/22)
- Zeiser, A., Murer, E., Strauss, P., Zimmermann, D., and Weninger, T.: In-situ evaluation of sponge-city-type sites for urban trees to tackle flooding and heat islands , EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-9488, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-9488>, 2022.

Bioplinska tehnologija – stanje in možnosti v Sloveniji

Tomaž POJE²⁷

Izvleček

V Sloveniji smo imeli oktobra 2024 osemnajst bioplinskih naprav z deklaracijami za proizvodno napravo in s skupno nazivno električno močjo 13,9 MW_{el}. V letu 2023 so proizvedle 70,2 milijona kWh električne energije in zato dobile 2,48 milijona EUR podpore. Zaradi prepovedi uporabe glavnega posevka za namene pridobivanja bioplina od leta 2010 v kmetijskem sektorju ni več zanimanja za postavitev novih bioplinskih naprav. Nekaj bioplinskih naprav je v zadnjih letih prenehalo delovati. Proizvodnja biometana je pri nas brez državnih podpor. Imamo pa že možno čiščenje bioplina v biometan na dveh bioplinskih napravah. V prihodnje bi morali postaviti mikro in majhne bioplinske naprave, ki bi izkoriščale predvsem gnojevko zaradi zniževanja emisij metana kot toplogrednega plina. Bo pa ta razvoj odvisen od sistemskih podpor in višine investicij.

Ključne besede: bioplin, biometan, električna energija, gnojevka, energetske rastline

Biogas technology – status and possibilities in Slovenia

Abstract

In October 2024, Slovenia had eighteen biogas plants with declarations and a total rated electrical power of 13.9 MW_{el}. In 2023, they produced 70.2 million kWh of electricity and therefore received 2.48 million EUR in support. Since 2011, there has been no interest in setting up new agricultural biogas plants due to the ban on the use of arable crops. Several biogas plants have ceased operation in recent years. Biomethane production is not yet supported in our country. However, we already have the possibility of cleaning biogas into biomethane in two biogas plants. In the future, we should set up micro and small biogas plants that would primarily utilize slurry to reduce methane emissions as a greenhouse gas. However, this development will depend on the support system and the amount of investment.

Keywords: biogas, biomethane, electricity, slurry, energy crops

1 UVOD

Po podatkih Agencije za energijo smo 28. oktobra 2024 imeli osemnajst bioplinskih naprav z deklaracijami in s skupno nazivno električno močjo 13,9 MW_{el} (Register deklaracij..., 2024). Deset let prej smo imeli štiriindvajset bioplinskih naprav z deklaracijami in s skupno nazivno električno močjo 27,6 MW_{el}. Poleg bioplinskih naprav v kmetijskem sektorju imamo v Sloveniji tudi bioplinske naprave na centralnih čistilnih napravah in bioplinske naprave na odlagališčni (deponijski) plin na deponijah.

Nekaj bioplinskih naprav je delno vezanih na kmetijstvo, saj v večjem deležu uporabljajo substrate, ki ne izvirajo iz kmetijstva. Nekatere bioplinske naprave imajo okoljevarstveno dovoljenje za predelavo odpadkov. Med te odpadke sodijo odpadki iz kmetijstva, vrtnarstva, ribogojstva, gozdarstva, lova in ribištva, priprave in predelave hrane, odpadki iz obdelave in predelave lesa in proizvodnje ivernih plošč in pohištva, vlaknin, papirja in kartona, komunalni odpadki (gospodinjiski in njim podobni odpadki iz trgovine, industrije in javnega sektorja), vključno z ločeno zbranimi frakcijami itd. Okoljevarstveno dovoljenje določa tudi letno dovoljeno količino odpadkov za predelavo. Te količine odpadkov znašajo med 1.095 in 100.000 ton (Evidenca predelovalcev..., 2024). V zadnjih letih so nekatere bioplinske naprave

²⁷ Mag., Kmetijski inštitut Slovenije, Oddelek za kmetijsko tehniko in energetiko, e-pošta: tomaz.poje@kis.si

zamenjale lastnike, nekatere so bile oddane v najem, nekatere pa so prenehale delovati. V prispevku predstavljamo stanje in trende na področju bioplinskih naprav v Sloveniji.

2 MATERIAL IN METODE DELA

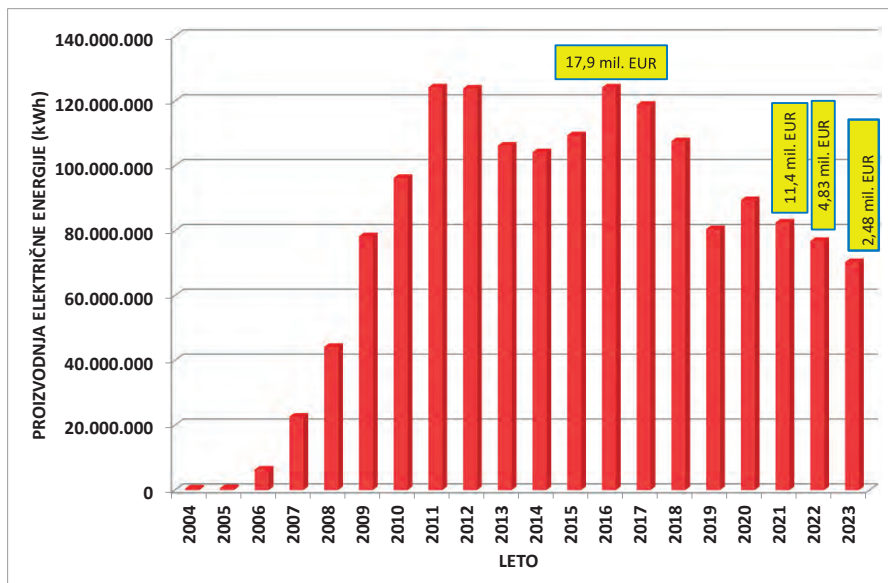
Za analizo stanja in trendov na področju bioplinskih tehnologij smo analizirali podatke Borzena, Agencije za energijo, zakonodajne okvire in Strateškega načrta skupne kmetijske politike 2023–2027 za Slovenijo.

3 REZULTATI z RAZPRAVO

3.1 Uporaba bioplina

Zaradi sistema podpor se bioplin v Sloveniji uporablja za soproizvodnjo (in prodajo) električne energije v kogeneratorskih enotah. Pri kogeneraciji bioplina nastaja električna energija in toplota. Na področju uporabe toplote izven lastne porabe na bioplinskih napravah je še premalo storjeno, saj le nekaj bioplinskih naprav koristno oddaja toploto zunanjim porabnikom. Z oddajanjem toplote se povečajo prihodki bioplinske naprave.

Sistem podpor je bil vezan le na proizvodnjo električne energije. Tudi ekonomska upravičenost gradnje se je računala glede na (subvencionirano) ceno električne energije, proizvedene iz bioplina. Predelan substrat (digestat) se v Sloveniji uporablja na najbolj preprost način kot organsko gnojilo v kmetijstvu. Digestat mora ustrezati zahtevam ustreznih kakovostnih razredov, definiranih v Uredbi o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (Uredba..., 2013). Nihče digestata ne predeluje na primer v kompost, specialna organska gnojila, pelete za gnojenje, kar bi povečalo dodano vrednost produktu. Na sliki 1 so predstavljeni podatki Borzena o proizvodnji električne energije iz bioplina v obdobju 2004–2023 ter višino izplačil za proizvedeno elektriko.



Slika 1: Proizvodnja električne energije iz bioplinskih naprav z deklaracijami in nekaj skupnih izplačil za proizvedeno elektriko (Borzen, 2024)

Seveda vse bioplinke naprave ne delajo s »polno« močjo, ampak v odvisnosti od količine vhodnih substratov in od poteka anaerobne fermentacije. Vremenske razmere, kot je suša, so pogosto zmanjšala pridelok koruze, ki se je kot substrat uporabljala v bioplinskih napravah. Zaradi manjših količin silažne koruze se je v posameznih letih zmanjšala oziroma stagnirala tudi proizvodnja električne energije.



Slika 2: Mikro bioplinška naprava na Kmetijskem inštitutu Slovenije, za vhodni substrat uporabljajo gnojevko

3.2 Omejena uporaba glavnih posevkov

Zakonodajalec je s spremembo Uredbe o podporah električni energiji leta 2011 omejil uporabo energetskih rastlin – glavnih posevkov za nove bioplinke naprave. Navedene spremembe so nastale na predlog Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, ki se je tako kot Evropska skupnost začela zavedati problematike zagotavljanja prehranske varnosti na nivoju države. Te zakonodajne spremembe so zmanjšale interes investitorjev v gradnjo novih bioplinskih naprav. Do tedaj zgrajene bioplinke naprave pa delujejo po pogojih, sklenjenih ob podpisu pogodbe za odkup električne energije, in niso omejene z uporabo koruze oziroma drugih energetskih rastlin (Uredba o podporah..., 2022). Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano v okviru Strateškega načrta skupne kmetijske politike 2023–2027 za Slovenijo sicer podpira pridobivanje bioplina iz živinskih gnojil in rastlinskih odpadkov ter finančno podpira tudi gradnjo bioplinskih naprav v okviru naložb v krožno gospodarstvo (Strateški..., 2024). Vendar za to trenutno ni pravega zanimanja med kmeti.

3.3 Sistem podpor

V Sloveniji imamo trenutno podporo električni energiji, proizvedeni v bioplinskih napravah po dveh podpornih shemah. Starejša podporna shema temelji na Uredbi o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije, po kateri imamo podporo v obliki:

- zagotovljenega odkupa električne energije,
- obratovalne podpore - finančne pomoči za tekoče poslovanje.

Višina zagotovljenega odkupa je enaka referenčni ceni, ki je sestavljena iz fiksne in spremenljivega dela. Referenčna cena se spreminja najmanj enkrat letno. Za bioplin, proizveden

iz biomase (B1 in B2 substrati), se lahko izplačilo poveča zaradi bonusov za večji delež gnojevke ali oddajanje toplote. V preglednici 1 so predstavljene višine podpor po stari podporni shemi (Uredba o podporah..., 2022).

Preglednica 1: Višina zagotovljenega odkupa (ZO) in višina obratovalne podpore (OP) za električno energijo proizvedeno iz bioplina za leto 2023. V primeru negativnega izračuna se upošteva vrednost 0 (Izračuni višine..., 2024)

	Velikostni razred bioplinke naprave	KODA	Cena ZO 2023 (EUR/MWh _{el})	Višina OP 2023 (EUR/MWh _{el})
Bioplinke enote – biomasa	mikro - manjše od 50 kW	BP11	181,27	22,87
	mala - manjše od 1 MW	BP12	178,90	15,10
	srednja - od 1 MW do vključno 10 MW	BP13	167,77	2,17
Bioplinke enote – odpadki	mikro - manjše od 50 kW	BP21	139,23	-19,17
	mala - manjše od 1 MW	BP22	139,23	-24,57
	srednja - od 1 MW do vključno 10 MW	BP23	129,15	-36,45

V novi podporni shemi pa se cene oziroma višine podpor določajo individualno na razpisu, ki ga izvede Agencija za energijo. Agencija za energijo ob javnih pozivih za vstop proizvodnih naprav v podporno shemo objavi referenčne stroške proizvodnje elektrike (Javni poziv..., 2024). Objavljeni referenčni stroški proizvodnje električne energije v proizvodnih napravah OVE in SPTE pomenijo zgornjo mejo cene elektrike proizvodne naprave, ki jo lahko ponudi prijavitelj v prijavi projekta na javni poziv za vstop proizvodnih naprav v podporno shemo. V preglednici 2 so predstavljeni referenčni stroški proizvodnje elektrike v bioplinških napravah iz Javnega poziva za vstop v podporno shemo iz leta 2024.

Preglednica 2: Referenčni stroški proizvodnje elektrike v proizvodni napravi OVE (bioplinških napravah)

	Referenčni stroški [EUR/MWh _{el}]		
PN OVE	do 50 kW	do 1 MW	do 10 MW
Bioplinke enote – biomasa (PN BPB)	197,86	111,05	91,30
Bioplinke enote – odpadki (PN BPO)	105,07	105,07	80,43

3.4 Javni pozivi za vstop v podporno shemo

Agencija za energijo na podlagi 23. člena Zakona o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije (Uradni list RS, št. 121/21, 189/21 in 121/22 – ZUOKPOE) objavlja Javne pozive k prijavi projektov proizvodnih naprav za proizvodnjo elektrike iz obnovljivih virov energije in v soproizvodnji toplote in elektrike z visokim izkoristkom za vstop v podporno shemo. Predmet javnih pozivov je izbor projektov za nove, pretežno nove in obnovljene proizvodne naprave na obnovljive vire energije (OVE) in iz soproizvodnje z visokim izkoristkom (SPTE). Za električno energijo, proizvedeno v izvedenih napravah iz izbranih projektov, bodo proizvajalci lahko pridobili podporo (Javni pozivi..., 2024).

Prijavitelj v prijavi projekta za proizvodno napravo OVE in SPTE na javni poziv ponudi ceno električne energije, proizvedene v proizvodni napravi v EUR/MWh, ki mora biti določena skladno z Metodologijo za določanje cene elektrike proizvodnih naprav in referenčnih stroškov

proizvodnje elektrike proizvodnih naprav OVE in SPTE, ter navede načrtovano letno količino električne energije, proizvedene v proizvodni napravi iz prijavljenega projekta v MWh (Javni pozivi..., 2024).

Ponujena cena električne energije proizvodne naprave, ki jo investitor ponudi v prijavi projekta za proizvodno napravo OVE in SPTE na javni poziv, ne sme presegati vrednosti referenčnih stroškov proizvodnje elektrike v proizvodni napravi OVE in SPTE, ki pomenijo zgornjo mejo ponujene cene električne energije proizvodne naprave (Javni pozivi..., 2024).

Od leta 2016 do oktobra 2024 je bilo trinajst javnih pozivov. Vlogo na javni poziv je vložilo tudi nekaj investorjev v bioplinško tehnologijo, vendar do sedaj še nihče ni zgradil nove bioplinške naprave. Med izbranimi so bili trije projekti za obnovljene bioplinške naprave (Nemščak 1, Nemščak 2 in Koto).

3.5 Združenja lastnikov bioplinških naprav

Lastniki bioplinških naprav so do sedaj ustanovili tri stanovska združenja za lažje uresničevanje svojih ciljev. Leta 2008 je bilo ustanovljeno »Združenje proizvajalcev bioplina«, ki je bilo aktivno zlasti pri pripravi nove Uredbe o podporah OVE, ki je bila sprejeta leta 2009. V letu 2012 je bil ustanovljen »GIZ Bioplin« - gospodarsko interesno združenje, v katerem so bioplinške naprave, zgrajene po Keter Organica tehnologiji. V okviru Gospodarske zbornice Slovenije (GZS) - Zbornice kmetijskih in živilskih podjetij (ZKŽP) so 19. novembra 2012 ustanovili Sekcijo bioplinarjev, ki predelujejo organske odpadke z namenom pridobivanja bioplina. Osnovni cilj delovanja Sekcije je strokovno in interesno povezovanje z namenom izboljšanja in spodbujanja gospodarske dejavnosti teh podjetij ter zagotavljanje njihove konkurenčnosti. Sekcija proizvajalcev bioplina je v letu 2023 osrednjo pozornost namenila vprašanju vzpostavitve proizvodnje biometana v Sloveniji, ključnim oviram za investicije in tržnim priložnostim. Večji del aktivnosti so namenili spremljanju novosti s področja energetike ter usklajevanju Zakona o nujnem posredovanju za obravnavo visokih cen energije. Spremljanje stanja v bioplinarnah in analiza statističnih poročil sta pomembni aktivnosti z vidika usmerjanja prihodnjih politik (Sekcija proizvajalcev..., 2024). Vsa ta združenja so ali so bila dejavna predvsem takrat, ko zagovarjajo svoje interese.

3.6 Biometan

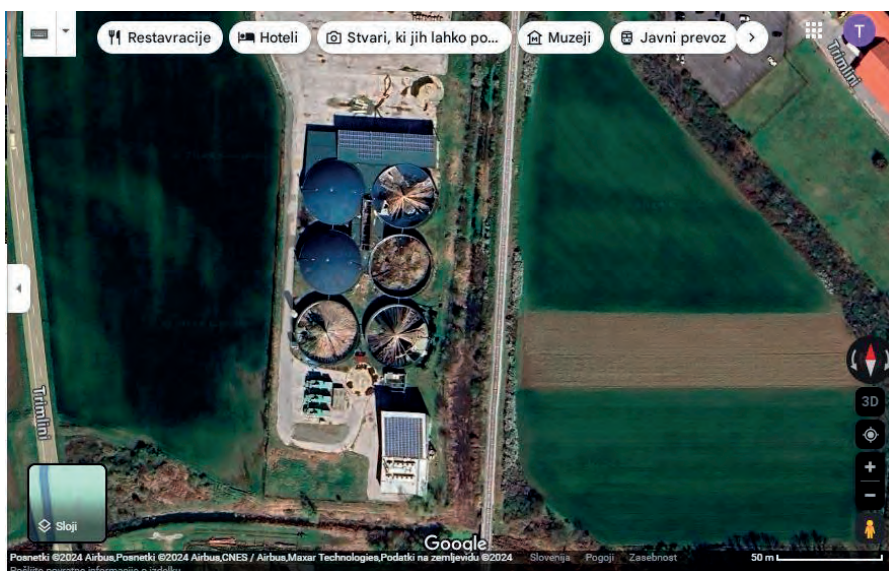
Bioplin vsebuje od 45 do 60 odstotkov metana. Preostali del so drugi plini, ki se ne izkoriščajo za energetske namene. Bioplin pa lahko prečistimo v biometan, ki vsebuje več kot 99 % metana. Za proizvodnjo biometana iz bioplina v Sloveniji trenutno nimamo finančne podpore, kar predstavlja veliko oviro pri razširitvi tehnologije pridobivanja biometana. Nekatere obstoječe bioplinške naprave, ki so pred zaključkom petnajstletnega subvencioniranja ali pa je to obdobje že končano, pa razmišljajo o postavitvi biometanske tehnologije. Tako je Koto v fazi projektiranja in proučevanja biometanskih tehnologij. Pannonia Bio Gas d.o.o., ki je kupila bioplinške naprave v Vučji vasi in Dobrovniku, pa je že postavila sistem za pridobivanje biometana iz bioplina. Po dostopnih informacijah do zagona še ni prišlo, saj pridobivajo ustrezna dovoljenja. V načrtu so imeli, da bi biometan vozili na Madžarsko, kjer že imajo ustrezne podpore (Pannonia Biogas, 2024). Na Kmetijskem inštitutu Slovenije imajo mikro bioplinško napravo za pridobivanje bioplina iz gnojevke, v izgradnji pa imajo tudi sistem čiščenja bioplina v biometan.

3.7 Problematika bioplinških naprav

V preteklosti so imeli v Sloveniji investitorji precej problemov pri umeščanju svojih bioplinških naprav v okolje. Sosedje, nevladne organizacije in civilne iniciative so velikokrat upravičeno

ali neupravičeno nasprotovale gradnji določenih bioplinskih naprav. Tudi mediji običajno sporočajo samo negativne vesti s področja bioplina, zato je splošno javno mnenje proti bioplinskim napravam, še zlasti velikim, ki so ali še uporabljajo koruzno silažo kot glavni substrat.

Zaradi različnih vzrokov so nekatere bioplinske naprave prenehale delovati ali pa sploh niso začele delovati. Z delovanjem je prenehala največja bioplinska naprava ECOS d.o.o. v Lendavi, ki je imela nazivno moč 7 MW_{el}. Prav tako je prenehala delovati tudi bioplinska naprava v Ilirski Bistrici in Ihanu. Bioplinska naprava Petač v Zgornjih Pirničah je bila sicer zgrajena, ni pa nikoli delovala.



Slika 3: Ekranski posnetek Google Map-a s prikazom nedelujoče bioplinske naprave ECOS.

4 SKLEPI

Nadaljnji razvoj (kmetijskih) bioplinskih naprav v Sloveniji je odvisen od:

- sistema podpor države (ali posameznih ministrstev),
- kmetijskega potenciala – potenciala za bioplin iz živinskih gnojil in stranskih proizvodov na kmetijah.

Sistem podpor mora biti stabilen tako, da investitorji vedo, v kakšnih razmerah bodo poslovali. Sistem podpor bi moral bolje podpreti mikro in male bioplinske naprave, ki bi kot glavni substrat uporabljale živalska gnojila. Ob skladiščenju teh živalskih gnojil nekontrolirano nastaja metan, ki je toplogredni plin, država Slovenija pa se je zavezala, da bo zmanjšala toplogredne pline, pri čemer mora svoj delež prispevati tudi kmetijstvo.

Zaradi lastniške strukture kmetijskih posesti so v Sloveniji smiselne predvsem mikro in male bioplinske naprave na živalska gnojila, pri katerih pa je strošek investicije na kilovat inštalirane električne moči bistveno večji kot pri velikih bioplinskih napravah. Gradnja mikro in malih kmetijskih bioplinskih naprav v Sloveniji bo zaživela šele, ko bodo podpore za te kategorije bioplinskih naprav višje ali če bodo ponudniki tovrstnih bioplinskih naprav zmanjšali prodajno ceno. Tudi Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano podpira pridobivanje bioplina iz živinskih gnojil in rastlinskih odpadkov ter finančno podpira tudi gradnjo bioplinskih naprav.

Vendar za to trenutno ni pravega zanimanja med kmeti. Trenutno tudi zakonodaja ovira povezovanje kmetij v smislu zagotavljanja gnojevke kot vhodnega substrata za bioplinsko napravo, saj ima gnojevka status »odpadka«.

Gradnja večjih bioplinskih naprav v Sloveniji je obstala leta 2012 zaradi spremembe v sistemu podpor električni energiji (omejena je bila raba glavnih posevkov). Glede na posestno strukturo ne pričakujemo dodatnih gradenj velikih (1 MW_{el}) bioplinskih naprav. Zaradi zmanjšanja toplogrednih plinov v kmetijstvu, bo potrebno graditi mikro in male bioplinske naprave, ki bodo kot glavni substrat uporabljale živinska gnojila.

Zahvala. Prispevek je nastal v okviru projektov ECOLOOP (št. pogodbe 101118127) in Manurefinery (št. pogodbe 101157679), ki ju financira Evropska Unija v okviru programa Obzorje Evropa ter Ciljno raziskovalnega projekta V2-2403, Možnosti uvajanja biometana pridobljenega iz procesiranja odpadne kmetijske biomase za pogon kmetijskih traktorjev in zmanjševanje emisij toplogrednih plinov, ki ga sofinancirata Javna agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP).

5 LITERATURA

- Evidenca predelovalcev biološko razgradljivih odpadkov v bioplin in digestat (2024) Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo <https://www.gov.si/drzavni-organi/ministrstva/ministrstvo-za-okolje-podnebje-in-energijo/o-ministrstvu/direktorat-za-okolje/register-varstva-okolja/> (28.10.2024)
- Izračuni višine podpor OVE/SPTE za leto 2023 (2024) <https://borzen.si/sl-si/podpore-za-proizvodnjo-elektrike/dokumenti> (28.10.2024)
- Javni poziv k prijavi projektov proizvodnih naprav za proizvodnjo elektrike iz OVE in v SPTE za vstop v podporno shemo – december 2023 (2024) Agencija za energijo <https://www.agen-rs.si/web/portal/poziv2023december> (28.10.2024)
- Javni pozivi k prijavi projektov OVE in v SPTE za vstop v podporno shemo, Agencija za energijo, <https://www.agen-rs.si/javni-pozivi-ove-spte> (28.10.2024)
- Pannonia Biogas (2024) <https://pannoniabiogas.azurewebsites.net/sl/domov/> (28.10.2024)
- Register deklaracij za proizvodne naprave (2024) Agencija za energijo <https://www.agen-rs.si/izvajalci/ove-ure/obnovljivi-viri-in-soprodukcija/register-deklaracij-za-proizvodne-naprave> (28.10.2024)
- Sekcija proizvajalcev bioplina. (2024) https://www.gzs.si/zbornica_kmetijskih_in_zivilskih_podjetij/sekcija_bioplinarjev (28.10.2024)
- Strateški načrt skupne kmetijske politike 2023–2027(2024) MKGP, <https://skp.si/skupna-kmetijska-politika-2023-2027> (28.10.2024)
- Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (2013) Uradni list Republike Slovenije, št. 99, leto XXIII: 10787 - 10822
- Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije in v soprodukciji toplote in električne energije z visokim izkoristkom (2022) Uradni list Republike Slovenije, št. 26, Leto XXXII: 1408 - 1420

Naše prve izkušnje s fenotipizacijo korenin jarega ječmena z uporabo prilagojene metode izkopa koreninskega sistema

Ana KUGOVNIK²⁸, Katia BEAUCHENE²⁹, Charlotte WHITE³⁰, Timothy GEORGE³¹, Simon OGRAJŠEK³² in Aleš KOLMANIČ³³

Izvleček

Prepoznavanje specifičnih lastnosti koreninskih sistemov lahko izboljša naše znanje o odpornost rastlin na abiotike strese in omogoča boljše izkoriščanje hranil. Fenotipizacija koreninskih sistemov je ključna za prepoznavanje teh lastnosti, a je njena izvedba v poljskih poskusih zahtevna. Leta 2023 smo zasnovali poskus na Infrastrukturnem centru Ptuj z dvanajstimi sortami ječmena v štirih ponovitvah, kjer smo s prilagojeno metodo izkopa koreninskega sistema (angleško *adapted shovelomics method*) ocenili lastnosti korenin. Ugotavljamo, da metoda omogoča natančno oceno arhitekture zgornjega dela koreninskega sistema, a je zahtevna in časovno intenzivna. V povprečju smo za oceno petnajst lastnosti korenin na petih rastlinah potrebovali 30 minut na parcelo z ekipo petih ljudi. Fenotipizacija v BBCH 31–32 kaže statistično značilne razlike med sortami ječmena v številu stebel, številu nodijskih korenin in seminalnih korenin, masi nadzemnega stebela, masi korenin in skupni biomasi rastline, medtem ko večina drugih parametrov (npr. dolžine korenin, razmerje podzemne:nadzemne biomase) ni kazala značilnih razlik med sortami. Pri nadzemnih lastnostih smo opazili statistično značilne razlike le pri številu klasov in skupni nadzemni biomasi. Večina drugih parametrov, kot so pridelek zrnja, pridelek slame ter kakovostni parametri zrnja, ne kažejo značilnih razlik. Majhna variabilnost sort ječmena v agronomskih lastnostih nakazuje na omejene možnosti za neposredno povezavo nadzemnih lastnosti rastlin z ocenjeno arhitekturo koreninskega sistema.

Ključne besede: koreninski sistemi, arhitektura, metoda izkopa koreninskega sistema, ječmen, odpornost

Our first experiences into root phenotyping of spring barley using an adapted shovelomics approach

Abstract

Identifying specific root system traits can enhance our knowledge about plant resilience to abiotic stresses and improve nutrient utilisation. Root system phenotyping is essential for identifying these traits, however this requires substantial efforts in field trials. In 2023, a trial was set up at the Ptuj Infrastructure Center in Slovenia with twelve barley varieties in four replicates, to test an adapted shovelomics method to analyse root traits. The method assessed the architecture of the upper root system (root crown), but it was demanding and time-consuming. On average, to evaluate 15 root traits it took a team of five people approximately 30 minutes per plot. Phenotyping at BBCH 31-32 revealed significant differences between barley varieties in the number of stems, nodal roots, and seminal roots, as well as in the above-ground biomass, root biomass, and total plant biomass. However, most other traits (e.g., root lengths, and the root:shoot biomass ratio) showed no significant differences between varieties. For above-ground traits, statistically significant differences were observed in the number of spikes and total above-ground biomass. Most other parameters, such as grain yield, straw yield, and grain quality traits, showed no significant differences. The observed low variability among agronomic traits suggests limited potential for directly linking shovelomic assessed root traits to above-ground plant characteristics.

Key words: root system, architecture, shovelomics, barley, resilience

²⁸ Mag. mol. funkc. biol., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: ana.kugovnik@kis.si

²⁹ Dr., ARVALIS, institut technique agricole, e-pošta: K.BEAUCHENE@arvalis.fr

³⁰ Dr., ADAS, e-pošta: Charlotte.White@adas.co.uk

³¹ Dr., James Hutton Institute, e-pošta: tim.george@hutton.ac.uk

³² Mag. inž. agr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: simon.ograjsek@kis.si

³³ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: ales.kolmanic@kis.si

1 UVOD

Podnebne spremembe in ekstremni vremenski dogodki so med pomembnejšimi izzivi v kmetijstvu. S tem povezani abiotični stresi pomembno vplivajo tako na pridelek in njegovo kakovost, kot na stroške povezane s pridelavo in tudi na samo zmožnost in način pridelave v nekem okolju. Med pomembnejšimi prilagoditvenimi ukrepi na podnebne spremembe je žlahtnjenje na večjo odpornost na razne abiotične dejavnike v okolju. To vključuje več vidikov spreminjanja morfoloških, fizioloških in fenoloških karakteristik izbrane rastlinske vrste, s čimer se izboljša njena odpornost na abiotične strese.

V zadnjem času raziskovalci in žlahtnitelji večjo pozornost namenjajo vlogi koreninskega sistema rastlin pri izboljšanju odpornosti na abiotične strese. Rastline kažejo različne prilagoditve na abiotične strese. Pri koreninah se te prilagoditve kažejo v spremembah arhitekture korenin, njihove anatomije ter fiziologije (Shoaib in sod., 2022). Te prilagoditve pa so povezane tudi z interakcijami s fizikalno-kemičnimi in biološkimi dejavniki v rizosferi (Hallett in sod., 2022). S poznavanjem teh prilagoditev lahko identificiramo specifične lastnosti koreninskih sistemov, ki ji lahko uporabimo pri identifikaciji ideotipov ali pri žlahtnjenju. Pri številnih rastlinskih vrstah so že identificirane specifične lastnosti korenin, povezane z večjo odpornostjo na abiotične strese. Npr. pri ječmenu in pšenici so število koreninskih laskov, njihova debelina in dolžina, ter ožji kot korenin (in s tem povezani globlji koreninski sistem) povezani z večjo sposobnostjo sprejemanja vode in vodotopnih hranil in s tem z večjo odpornostjo na sušo (Esfahani in sod., 2024; Shoaib in sod., 2022). Nasprotno pa je npr. za boljše prevzemanje ne-vodotopnih hranil, ki so večinoma v zgornjih plasteh tal (npr. fosfor in kalij), željena drugačna arhitektura korenin s širokim koreninskim sistemom v zgornjem delu tal, kar lahko predstavlja izziv pri žlahtnjenju na raznolike razmere, v katerih rastline lahko rastejo (Esfahani in sod., 2024).

Fenotipizacija koreninskega sistema je osnovni znanstveni pristop za karakterizacijo in kvantifikacijo arhitekture in lastnosti korenin, kot so npr. dolžina in debelina posameznih korenin, število posameznih korenin, razvejanost in njihova anatomija. Tradicionalne metode vključujejo ročno merjenje in ocenjevanje korenin na izkopanih vzorcih, kar je natančno, a zamudno. Metoda izkopa koreninskega sistema (angleško *shovelomics method*) je novejši pristop klasičnega ocenjevanja arhitekture korenin v poljskih poskusih, ki se lahko nadgradi tudi s sodobnejšimi pristopi slikanja in slikovnih analiz. Sodobne metode fenotipizacije koreninskih sistemov vključujejo slikanje ali snemanje s kamerami, slikanje z uporabo rentgenske računalniške tomografije ali 3D skeniranja ter zagotavljajo že delno avtomatizirano analizo slik. Te metode se najpogosteje uporabljajo na rastlinah gojenih v transparentnih rastnih medijih ali manjših posodah in omogočajo neinvazivno spremljanje razvoja korenin in boljše razumevanje njihove funkcije v dinamičnih okoljih. Pomembna omejitev teh poskusov pa je, da rastline večinoma rastejo v razmerah, ki nimajo realnih povezav z razmerami na poljih.

S fenotipizacijo koreninskih sistemov na poljih in v kontroliranih razmerah, identifikacijo ideotipov na podlagi koreninskih sistemov ter preizkusom ideotipov v stresnih okoljih se ukvarja projekt z akronimom Root2Res (<https://root2res.eu/>), katerega partner je tudi Kmetijski inštitut Slovenije. Gre za naše prvo podrobnejše spoznavanje z metodami in načini fenotipizacije koreninskih sistemov poljščin in njihova izvedba s prilagojenimi metodami izkopa koreninskega sistema v poljskih poskusih. Namen tega prispevka je predstaviti prve izkušnje ter nekatere rezultate fenotipizacije korenin jarega ječmena s prilagojeno metodo izkopa koreninskega sistema v poskusih na Infrastrukturnem centru Ptuj v letu 2023.

2 MATERIAL IN METODE DELA

V letu 2023 smo na Infrastrukturnem centru Ptuj (Kmetijski inštitut Slovenija) zasnovali bločni poljski poskus s štirimi ponovitvami in z naključno razporeditvijo sort znotraj blokov. V poskus smo vključili 12 sort jarega ječmena, izbranih s strani projektne skupine sklopa raziskav na ječmenu. Vključene sorte so bile KWS Fantex, KSW Irina, KWS Thalix, LG Flamenco, LG Rhapsody, LG Tosca, RGT Planet, Explorer, Lexy, Laureate, SY Chaska in Fairytale. Tla smo pred setvijo preorali do globine 25 cm, pognojili s 300 kg/ha NPK 6:12:24 in naredili predsetveno pripravo z vrtavkasto brano. Poskus smo sejali 10. marca s sejalnico za setev mikro-poskusov znamke Wintersteiger. Setvena površina posamezne parcelice je bila 15 m², vse sorte pa smo sejali na setveno gostoto 400 kalivih semen/m². Med rastno dobo smo dvakrat dognojili z gnojilom KAN (27 % N), prvič z 250 kg/ha v BBCH 20–21 ter drugič z 200 kg/ha v BBCH 40. Plevela smo zatirali z uporabo herbicida Boxer, za zatiranje glivičnih bolezni smo uporabili fungicida Chamane (1 l/ha, BBCH 40), in Elatus Era (1 l/ha, BBCH 60), za zatiranje strgača pa Decis (0,3 l/ha, BBCH 60).

V fenofazi BBCH 30–32 (4. maj–12. maj) smo na vsaki parcelici na dveh naključnih mestih izkopali vzorec rastlin do globine 20 cm. Za izkopavanje smo uporabili lopato štiharico z dolžino lista 20 cm. Skupna izkopana površina na posamezno parcelico je bila 1250 cm². Izkopane vzorce smo nato oprali z vodo in ločili koreninske sisteme od zemlje. Prepletene koreninske sisteme rastlin smo med sabo ločili ročno, v topli vodi v lavorju. Rastline z opaznimi poškodbami koreninskega sistema smo izločili in izmed približno 30 rastlin z nepoškodovanim koreninskim sistemom izbrali pet rastlin za fenotipizacijo.

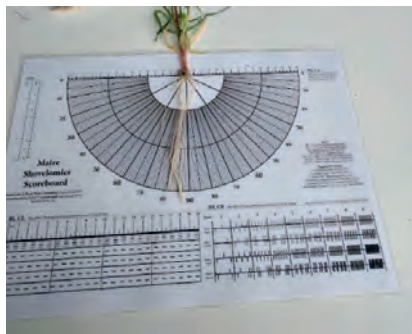
Za ocenjevanje smo uporabljali v projektu razvito in prilagojeno metodo izkopa koreninskega sistema za ječmen, ki pa še ni javno dostopna. Metoda je bila prvotno razvita za fenotipizacije korenin koruze (Trachsel in sod., 2010) in pšenice (York in sod., 2018; Slack in sod., 2018). Na koreninskih sistemih smo ocenjevali največjo dolžino izkopanih korenin, največjo širino in globino do največje širine, levi in desni kot korenin, dolžine nodijskih korenin, število nodijskih korenin, razvejanost lateralnih korenin, število in razvejanost seminalnih korenin, prisotnost koreninskih laskov, svežo in suho biomaso korenin in nadzemnega dela stebela ter višino stebela. Med rastno dobo smo na nadzemni biomasi spremljali razvoj rastlin, ocenjevali pokrovnost tal, indeks listne površine, vsebnost klorofila, prisotnost bolezni in škodljivcev ter poleganje. Pridelek zrnja smo določili z žetvijo s parcelnim kombajnom Wintersteiger Quantum, pridelek slame pa smo ročno stehtali. Na zrnju smo z merilnikom vlage Perten analizirali vlago in hektolitrsko maso, vsebnosti beljakovin pa z uporabo NIR analizatorja FOSS. Vsi pridelki v tem prispevku so preračunani na suho snov.

Statistično analizo pridobljenih podatkov smo naredili z analizo variance z uporabo linearnega mešanega modela. V model smo vključili dejavnik »sorta« kot fiksni dejavnik ter dejavnika »ponovitev« in »rastlina (vgnezdena v ponovitvah)« kot naključna dejavnika. Pred analizo smo preverili izpolnjevanje pogojev za izvedbo analize variance. Če so ostanki kazali odstopanje od normalne porazdelitve, smo podatke transformirali z logaritemsko transformacijo. Rezultati, ki jih prikazujemo v prispevku so iz netransformiranih podatkov.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

Metoda izkopa koreninskega sistema se je v praksi izkazala kot zahtevna za izvedbo. Za izkop, transport iz njive, pranje in pripravo rastlin ječmena za ocenjevanje smo potrebovali dve osebi. To je v našem primeru trajalo približno 10 minut na parcelico. Ocenjevanje je najbolj zapleten in počasen del metode. Da smo lahko sočasno ocenjevali vseh pet rastlin na parcelo, smo potrebovali ekipo petih ljudi. Čas potreben za oceno petnajstih parametrov na petih rastlinah na parcelo je bil od 40 minut na začetku fenotipizacije, ko smo se spoznavali z metodo, do 20

minut proti koncu, ko je ekipa že obvladala metodo. Skupno smo za izkop, pranje korenin, pripravo rastlin, ocene in slikanje potrebovali 7 delovnih dni, kar pa vključuje tudi usposabljanje ekipe za ocenjevanje. V tem času so se rastline razvijale in če smo pričeli z vzorčenjem v fenofazi BBCH 30–31, smo na koncu vzorčili rastline pri fenofazi BBCH 32. Zaradi tega nismo zaznali pomembnih razlik v ocenah, kar je tudi povezano s tem, da z metodo izkopa koreninskega sistema zajamemo samo del koreninskega sistema, spremembe v dolžini in biomasi korenin v tem času pa so se verjetno dogajale izven zajete cone korenin.



Slika 1: Postopek priprave rastlin na ocenjevanje (leva slika) ter merilna tabla za oceno kotov korenin (desna slika)

Rezultate fenotipizacije koreninskega sistema po prilagojeni metodi izkopa koreninskega sistema prikazujemo v preglednici 1.

Preglednica 1: Lastnosti koreninskega sistema sort jarega ječmena, ki smo jih ocenjevali s prilagojeno metodo izkopa koreninskega sistema, njihove povprečne vrednosti in standardni odkloni, minimalne in maksimalne vrednosti ter značilnosti med sortami

Ocenjena lastnost:	Enota	Povp.	SD	Min.	Maks.	Značilnost
Število stebel		3,35	0,97	1,0	8,0	***
Največja širina korenin	mm	69,5	23,6	30,0	140,0	ns
Največja širina korenin (zasuk za 90°)	mm	40,8	15,2	12,0	97,0	ns
Dolžina korenin do največje širine	mm	65,2	25,6	12,0	144,0	ns
Največja dolžina korenin	mm	171,6	31,9	89,0	276,0	ns
Levi kot korenin	°	52,2	14,3	14,0	89,0	ns
Desni kot korenin	°	56,6	12,1	19,0	82,0	*
Dolžina leve nodijske korenine	mm	60,2	31,1	7,0	204,0	ns
Dolžina desne nodijske korenine	mm	62,2	33,4	4,0	180,0	***
Razvejanost nodijskih korenin	1–4	1,6	0,8	1,0	4,0	ns
Število nodijskih korenin		7,1	2,5	2,0	18,0	***
Število seminalnih korenin		7,3	1,7	4,0	12,0	*
Razvejanost seminalnih korenin		2,6	0,9	1,0	5,0	ns
Masa nadzemnega stebela	g	0,52	0,22	0,16	1,64	***
Masa korenin	g	0,11	0,05	0,02	0,38	***
Podzemna/nadzemna biomasa		0,21	0,08	0,09	0,58	ns
Skupna biomasa rastline	g	0,63	0,25	0,21	1,81	***

Značilnosti: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$; ns, ni značilnih razlik.

Statistično značilne razlike med sortami smo zaznali v številu stebel ($p < 0,001$), številu nodijskih korenin ($p < 0,001$) in številu seminalnih korenin ($p < 0,05$). Povprečno število stebel je bilo $3,35 \pm 0,97$ z razponom od 1,0 do 8,0, kar kaže na visoko variabilnost sort pri tej lastnosti. Število nodijskih korenin na rastlino je bilo $7,1 \pm 2,5$ (z razponom med 2 in 18), število seminalnih korenin pa $7,3 \pm 1,7$ (z razponom med 4 in 12). Značilne razlike med sortami smo zaznali tudi pri masi nadzemnega stebela ($p < 0,001$), masi korenin ($p < 0,001$) in skupni biomasi rastline ($p < 0,001$). Povprečna suha masa nadzemnega stebela je bila $0,52 \pm 0,22$ g (razpon: 0,16–1,64 g), povprečna masa korenin $0,11 \pm 0,05$ g (razpon: 0,02–0,38 g) in skupna biomasa $0,63 \pm 0,25$ g (razpon: 0,21–1,81 g). Čeprav so bile v razlike v dolžini in širini korenin precejšnje (npr. največja dolžina korenin: 89–276 mm; povprečje 171,6 mm), analiza ni pokazala značilnih razlik med sortami. Izjema je desni kot korenin ($p < 0,05$), kar lahko kaže na specifične prilagoditve pri razvoju korenin. Razmerje med podzemno in nadzemno biomaso rastlin prav tako ni kazalo značilnih razlik med sortami. Iz opazovanih in merjenih lastnosti se nakazuje, da je med izbranimi sortami le majhna variabilnost v arhitekturi korenin, večinoma v številu posameznih koreninic in v biomasi koreninskega sistema. Deloma to povezujemo s samo metodo izkopa koreninskega sistema, ki zajame samo del koreninskega sistema, deloma pa tudi z normalnimi rastnimi razmerami v času od setve do vzorčenje.

Agronomske in fiziološke parametre sort ter njihovo variabilnost prikazujemo v preglednici 2. Statistično značilne razlike smo zaznali samo pri številu klasov in skupni nadzemni biomasi rastlin. V povprečju so sorte imele $755,4 \pm 119,8$ klasa/m² (z razponom od 428,0 do 986,0 klasa/m²), skupna nadzemna biomasa pa je bila v povprečju 8350 ± 1172 kg/ha (z razponom 6586–13362 kg/ha). Pokrovnost tal smo ocenjevali v fenoloških fazah BBCH 31, BBCH 39, in BBCH 69, v nobeni fenofazi nismo ugotovili značilnih razlik med sortami. Tudi vsebnosti klorofila in LAI niso kazale značilnih razlik med sortami, ne glede na fenofazo ocenjevanja.

Preglednica 2. Agronomske in fiziološke lastnosti sort jarega ječmena, njihove povprečne vrednosti in standardni odkloni, minimalne in maksimalne vrednosti ter značilnosti med sortami

Ocenjena lastnost:	Enota	Povp.	SD	Min.	Maks.	Značilnost
Število klasov (BBCH 89)	št./m ²	755,4	119,8	428,0	986,0	**
Pokrovnost tal (BBCH 31)	%	67,30	13,53	42,50	97,40	ns
Pokrovnost tal (BBCH 39)	%	68,78	13,81	43,50	99,70	ns
Pokrovnost tal (BBCH 69)	%	52,41	17,73	22,40	97,40	ns
Vsebnost klorofila (BBCH 39)	%	45,50	7,24	33,50	61,00	ns
Vsebnost klorofila (BBCH 69)	%	39,80	6,64	29,30	53,87	ns
Vsebnost klorofila (BBCH 75)	%	32,91	7,57	15,65	47,30	ns
Indeks listne površine (BBCH 69)		3,21	0,47	2,32	4,66	ns
Indeks listne površine (BBCH 75)		2,96	0,46	2,05	4,43	ns
Višina rastlin (BBCH 89)	cm	59,3	6,65	50,0	76,0	ns
Vlaga zrnja	%	17,9	1,37	14,7	21,4	ns
Pridelek zrnja	kg/ha	4007	513	3109	5410	ns
Pridelek slame	kg/ha	4343	1040	3072	9090	ns
Skupna nadzemna biomasa	kg/ha	8350	1172	6586	13362	*
Hektolitrska masa	kg/hl	57,37	1,38	54,10	60,70	ns
Absolutna masa zrnja	g	43,02	2,88	34,84	46,30	ns
Vsebnost beljakovin	%	9,63	0,95	8,38	12,49	ns

Značilnosti: *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$; ns, ni značilnih razlik.

V pridelku zrnja in slame ne ugotavljamo značilnih razlik med sortami. Povprečni pridelek zrnja je bil 4007 kg/ha (z razponom 3109–5410 kg/ha), povprečni pridelek slame pa 4343 kg/ha (z razponom med 3072–9090 kg/ha). Kakovostni parametri zrnja, kot so hektolitrska masa (povprečje 57,37 kg/hl), absolutna masa zrnja (43,02 g) in vsebnost beljakovin (9,63 %), prav tako niso kazali značilnih razlik.

Pridobljeni podatki nakazujejo na razmeroma majhne agronomske razlike med sortami ječmena. Opaženo je skladno z dobrimi rastnimi razmerami, kjer med rastno dobo ni bilo pomembnejših stresnih dogodkov, in s cilji in metodami žlahtniteljskih programov ječmena, kot tudi s postopki registracije sort za konvencionalno pridelavo. Korelacijska analiza (podatkov v tem prispevku ne prikazujemo) je pokazala, da razlike, ki smo jih opazili pri fenotipizaciji koreninskega sistema, niso imele pomembnega vpliva na nadzemne lastnosti, ali pa da vpliv teh razlik, če obstaja, ni bil dovolj izrazit, da bi omogočil jasno povezavo med specifičnimi lastnostmi korenin in nadzemnimi lastnostmi rastlin. Obenem pa nam to nakazuje, da je tudi malo možnosti za zmanjšanje zahtevnosti metode izkopa koreninskega sistema z uporabo specifičnih meritev na nadzemni biomasi in izračun ali modeliranje specifičnih koreninskih lastnosti s temi ocenami.

4 SKLEPI

Podobni poskusi so potekali na več lokacijah po Evropi in Afriki v treh agro-klimatskih pasovih z namenom spoznavanja raziskovalnih skupin s prilagojeno metodo izkopa koreninskega sistema in pridobivanja povratnih informacij za pripravo skrajšane in poenostavljene metode za izkop koreninskega sistema večjega števila križancev ječmena v letu 2024. V naših poskusih ugotavljamo, da je ta metoda zahtevna in časovno ter delovno intenzivna, saj zahteva veliko delovne sile in natančno izvedbo za dobre rezultate. V povprečju smo z ekipo petih ljudi na parcelo potrebovali približno 30 min, celotno trajanje ocenjevanja pa je trajalo sedem delovnih dni, kar vključuje tudi usposabljanje ekipe za ocenjevanje. Fenotipizacija koreninskega sistema v fenofazi BBCH 31-32 kaže statistično značilne razlike med sortami v številu stebel, nodijskih in seminalnih korenin, masi nadzemnega stebela, korenin in skupni biomasi rastline ter desnem kotu korenin. Večina drugih parametrov, vključno z razmerjem podzemne:nadzemne biomase in dolžinami korenin, ne kaže statistično značilnih razlik med sortami. Vzroke za to bi lahko iskali tudi v omejitvah metode izkopa koreninskega sistema, kjer zajamemo le del koreninskega sistema (v našem primeru do globine okoli 20 cm). S tem ta metoda lahko zanemari nekatere pomembne lastnosti koreninskega sistema, ki so se v številnih raziskavah pokazale kot relevantne za večjo odpornost na abiotski stres (npr. globina koreninskega sistema). Pri nadzemnih lastnostih, merjenih med rastno dobo, smo statistično značilne razlike med sortami zaznali le pri številu klasov in pri skupni nadzemni biomasi. Večina drugih parametrov (pokrovnost tal, vsebnost klorofila, višina rastlin, pridelek zrnja in slame) ne kaže pomembnih razlik. Opaženo je verjetno tudi rezultat rasti razmer brez večjih stresnih dogodkov, in je tudi skladno s cilji žlahtniteljskih programov ter programov registracije sort, kjer je povečanje pridelkov počasno in so razlike med sortami v normalnih pridelovalnih razmerah majhne. Opažena majhna variabilnost med agronomskimi lastnostmi sort ječmena v korelacijski analizi nakazuje na omejene možnosti za neposredno povezavo med lastnostmi korenin in nadzemnimi lastnostmi rastlin. S tem pa tudi na omejeno možnost uporabe nadzemnih meritev za poenostavitev metode in modeliranje koreninskih lastnosti in potrebo po izvedbi klasične metode izkopa koreninskega sistema za ocene arhitekture koreninskih sistemov na poljih. S poskusi na projektu bomo v naslednjih letih nadaljevali in jih na podlagi rezultatov tudi smiselno nadgrajevali.

Zahvala. Raziskava je sofinancirana v okviru programa Javnih služb v poljedelstvu, ki ga financira Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, programske skupine Agrobiodiverziteta (P4-0072), ki jo sofinancira Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS, ter iz sredstev evropskega programa Horizon Europe s številko pogodbe 101060124 (projekt z akronimom Root2Res). Za pomoč pri izvedbi poskusov in ocenjevanju korenin se zahvaljujemo številnim sodelavcem Kmetijskega inštituta Slovenije.

5 LITERATURA

- Trachsel, S., Kaeppler, S.M., Brown, K.M., Lynch, J.P. 2010. Shovelomics: high throughput phenotyping of maize (*Zea mays* L.) root architecture in the field. *Plant Soil*, 341 : 75–87.
- Shoaib, M., Banerjee, B.P., Hayden, M., Kant, S. 2022. Roots' Drought Adaptive Traits in Crop Improvement. *Plants* (Basel), 11, 17:2256.
- Slack, S., York, L.M., Roghazai, Y., Lynch, J., Bennet, M., Foulkes, J. 2018. Wheat shovelomics II: Revealing relationships between root crown traits and crop growth. *BioRxiv*. (<https://www.biorxiv.org/content/10.1101/280917v1>).
- Fradgley, N., Evans, G., Biernaskie, J., Cockram, J., Marr, E.C., Oliver, A.G., Ober, E., Jones, H. 2020. Effects of breeding history and crop management on the root architecture of wheat. *Plant Soil*, 452: 587–600.
- Esfahani, M.N., Sonnewald, U. 2024. Unlocking dynamic root phenotypes for simultaneous enhancement of water and phosphorus uptake. *Plant Physiology and Biochemistry*, 207: 108386.
- Hallett, P., Marin, M., Bending, G.D., George, T.S., Collins, C.D., Otten, W. 2022. Building soil sustainability from root–soil interface traits. *Trends in Plant Science*, 27, 7: 688-698.

Določanje prostorske razsežnosti koreninskega sistema z uporabo invazivnega izkopa korenin in neinvazivne georadarske metode

Urška BLEJEC³⁴, Branko MARUŠIČ³⁵ in Matjaž GLAVAN³⁶

Izvleček

V raziskavi smo preverjali ustreznost uporabe georadarske metode za določanje razsežnosti koreninskega sistema ob meritvi vode v tleh kot pokazatelja lokacije korenin. Lokacijo korenin smo določali posredno z meritvijo vode v tleh z neinvazivno geofizikalno, georadarsko metodo (GPR). Posnetke smo primerjali z dejansko lokacijo korenin, ki smo jo pridobili z invazivno metodo, izkopom. Ob izkopu smo s pomočjo drona fazno dokumentirali teren in oljko ter zajeti oblak točk konstruirali v 3D model znotraj programa CloudCompare. Območje analize meri 46,2 m², kjer se do globine 100 cm pojavi vizualno najbolj gost preplet korenin, ki se v večjem delu širi znotraj debelnega radija 2,5 m in se razprostira do izmerjene globine 1,83 m ter ima volumen 16,3 m³ koreninskega tkiva, kar pomeni, da korenine predstavljajo 19,3 % volumna analiziranih tal. GPR metoda se je izkazala za premalo natančno za detekcijo arhitekture korenin, vendar kot dobro orodje za razumevanje razporeditve talne vode. V nadaljnjih raziskavah je treba prilagoditi jakost antene ter GPR metodo izvajati v sušnih razmerah, da bi se izraziteje pokazale razlike med vlago v tleh in vlago kot posledico prisotnosti živih korenin.

Ključne besede: koreninski sistem, detekcija korenin, georadarska metoda, voda v tleh

Determining the spatial extent of the root system using invasive root excavation and non-invasive ground-penetrating radar methods

Abstract

The research examined the suitability of using the georadar method for determining the dimensions of the root system while measuring water in the soil as an indicator of the roots' location. The location of the roots was determined indirectly by measuring the water in the soil using a non-invasive geophysical georadar method (GPR). The recordings were compared with the actual location of the roots, which was obtained by an invasive method, excavation. The analysis area measures 46.2 m², where the densest tangle of roots appears up to a depth of 100 cm, which mostly spreads within a thick radius of 2.5 m and extends to a measured depth of 1.83 m and with volume of 16.3 m³ of root tissue, which means that roots represent 19.3% of the analyzed soil volume. During the excavation, we used a drone to document the terrain and the olive tree in phases and constructed the collected point cloud into a 3D model within the CloudCompare program. The georadar method proved to be insufficiently accurate for the detection of root architecture but a good tool for understanding the distribution of soil water. In further research, it is necessary to adjust the antenna strength and implement the GPR method in dry conditions in order to show more clearly the differences between soil moisture and moisture as a result of the presence of live roots.

Keywords: root system, root detection, georadar method, soil water

1 UVOD

Koreninski sistem oljke je izjemno dobro prilagojen na sušne razmere, običajno široko razraščen in sposoben črpati tudi najtežje dostopno vodo. Rastlina, ki je stalno v rahlem sušnem stresu, sicer lahko daje prehransko kakovostne plodove, a v manjših količinah (Podgornik in sod., 2022, Fernandes-Silva in sod., 2024). Z optimiziranim namakanjem se pridelek bistveno

³⁴ Mag. inž. hort., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: blejec.urska@gmail.com

³⁵ Doc. dr., Oddelek za arheologijo, Filozofska fakulteta, e-pošta: branko.music@ff.uni-lj.si

³⁶ Doc. dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: matjaz.glavan@bf.uni-lj.si

poveča, kakovost plodov pa ohrani. S poznavanjem naravne razvejanosti in prostorske razsežnosti korenin oljke in razumevanjem njenih potreb po vodi bi lahko boljše izkoristili namakanje in namakalni sistem napeljali nad območja, kjer je preplet korenin najgostejši in tako privzem vode najbolj učinkovit.

Da bi razumeli, kako se korenine oljke razraščajo v tleh, je potreben vpogled v prostorsko razsežnost korenin v tleh. Raziskava koreninskega sistema pogosto zahteva invaziven poseg v tla in ruši talni ekosistem. V arheologiji, geologiji in gradbeništvu se za preučevanje tal uporabljajo naprave, ki nam nudijo vpogled v razporeditev materialov in različnih morfoloških sprememb v globinah. Georadarska metoda izkorišča fizikalne lastnosti snovi v tleh. Na podlagi odbojev elektromagnetnega valovanja, ki ga s pomočjo georadarja pošiljamo v tla, pridobimo informacije o času potovanja signala in posledični razdalji - globini, kjer se je signal odbil od neke snovi. Žive korenine vsebujejo veliko vode, ki se na radargramu prikazuje kot šum, oblak, ki ga običajno razumemo kot motilec čistosti posnetka. Ker rastline svojo rast korenin usmerjajo proti viru vode, nas zanima ali območja povišane vsebnosti vode korelirajo s pojavnostjo korenin.

Namen dela je bil preučiti zanesljivost in primernost neinvazivne georadarske metode za detekcijo lokacije koreninskega sistema oljke (*Olea europaea* L.) in primerjati dobljene podatke z dejanskimi rezultati izkopa. Podatki o poziciji korenin v možni korelaciji z vlago v tleh bi bili dobra informacija za optimizacijo postavitve namakalnih sistemov, kot dopolnitev k razumevanju razrasti korenin v tleh. Namen raziskave je tako tudi razširitev poznavanja morfologije korenin oljke preko tridimenzionalnega posnetka izkopanih korenin. Raziskava je potekala v okviru projekta KOREOLJKA (Program ŠIPK).

2 MATERIAL IN METODE DELA

2.1 Območje raziskave

Predmet preučevanja je bila oljka (*Olea europaea* L.) sorte 'Leccino', posajena leta 1986, ki je bila ob izkopu stara 33 let in se je nahajala na geopoziciji 45°33'36.7" N in 13°47'45.4" E v občini Koper, natančneje v Spodnjih Škofijah, krajevni skupnosti Dekani, na kmetijskem zemljišču parcelne številke 1150/4. Parcela je na nadmorski višini 124 m in je usmerjena proti jugo-zahodu. Tla so plitva, evtrična rjava na flišnih kamninah. Parcela se nahaja na območju agromelioracij, zato so tla antropogeno-karbonatnega izvora (Atlas okolja, 2021). V obdobju 1991–2020 je na meteorološki postaji Koper letno v povprečju padlo 1033 mm padavin, letna povprečna temperatura zraka je v bila 14°C (ARSO, 2021). Na območju Dekanov je značilno menjavanje plasti laporja in kremenovo-apnenega peščenjaka z vmesnimi vložki apnenca in breče. Lapor in peščenjak različno hitro preperevata, kar pospešujejo agromelioracije (terasiranje in globoko oranje).

2.2 Zasnova poskusa

Ob začetku poskusa (20. 1. 2020) smo drevo oljke geopozicionirali, fotografirali, izmerili njen premer debla, dimenzije krošnje in zakoličili delovišče. Izrisali smo kvadrante, ki so nam kasneje služili kot osnova za sistematično izkopavanje, saj je bila oljka predmet različnih raziskav (slika 1). Poleg analize prostorske razsežnosti korenin oljke smo opravljali pedološko (fizikalne in kemijske meritve) in arheološko vzorčenje. Območje je bilo za pedološke analize in izkop razdeljeno na 16 kvadrantov, dimenzij 1 x 1 m, ki se jih je delilo še na manjše kvadrante dimenzije 0,5 x 0,5, za namene pedološke analize smo kvadrante razdelili še na 0,25 x 0,25 m. Pred izkopom je bil izveden sklop geofizikalnih meritev z georadarsko metodo znotraj zakoličenega kvadranta. Po GPR meritvah smo po slojih izkopavali korenine. Ko smo prišli do

matične podlage, smo z izkopavanji zaključili, oljko smo skupaj s koreninami odstranili 7. 2. 2020. Po vsakem izkopanem horizontu smo s pomočjo dron tehnologije posneli aerofotografijo koreninskega sistema. Oljko smo izkopali po postopkih arheološkega izkopavanja, s pomočjo različnega vrtnarskega in arheološkega orodja ter sproti odvezemali vzorce za pedološko in arheološko analizo v laboratoriju.



Slika 1: Izkopavanje koreninskega sistema oljke

2.3 Metode določanja koreninskega sistema

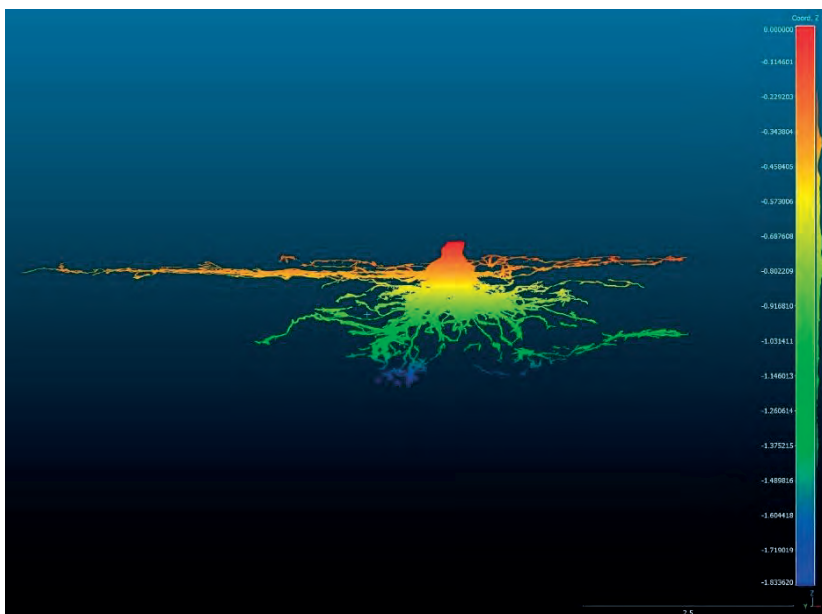
Tla nad predvideno lokacijo koreninskega sistema smo predhodno (pred izkopavanjem) posneli z neinvazivno georadarsko metodo. Georadarske meritve smo izvajali na pokošeni travi v suhem vremenu. Uporabili smo SIR3000 GPR instrument (GSSI) z dvema antenama različne frekvence. Meritve GPR smo izvajali v vzporednih profilih z medsebojno oddaljenostjo 50 cm, v dveh pravokotnih smereh (x,y), z georadarsko anteno frekvence 400 in 900 MHz. Napravo smo po tleh premikali s pritrjenim merilnim kolesom, ki narekuje časovni interval oddajanja signala. Odvzeli smo 512 posnetkov (sample) na georadarsko sled z vzorčnim intervalom 2 cm v smeri profila in v časovnem oknu snemanja 25 ns. Podatki so bili prikazani v 8 globinskih razredih v 8 cm intervalih: (0–8 cm, 8–16 cm, 16–24 cm, 25–32 cm, 33–40 cm, 41–49 cm, 49–57 cm, 57–65 cm). Hitrost elektromagnetnega valovanja je bila ocenjena na 0,075 m/ns, kar v splošnem velja za oceno srednje hitrosti za tla in smo v nadaljevanju ta podatek uporabili tudi za izračun vertikalne ločljivosti. 3D GPR geometrija je temeljila na oblikovanju okna v velikosti 7 x 7 m. Pridobljene podatke smo uvozili v program ReflexW 7.5 (Sandmeier, 2014). Program je namenjen procesiranju in interpretaciji podatkov pridobljenih z georadarjem v nadaljevanju okrajšano GPR (Ground Penetrating Radar).

Vzporedno z izkopom smo zajemali aeralne posnetke korenin in terena z dronom. Aeralne posnetke oljke smo geopozicionirali s pomočjo izbranih ogljiščnih markerjev. Fotogrametrija nam omogoča prikaz 2D ploskovnih informacij v tretji Z dimenziji. Tridimenzionalno prikazovanje ni le boljše predstavljivo temveč nam ponuja nov vir objektivnih informacij, novo področje raziskovanja in izjemno hiter zajem množice točk v prostoru, t.i. oblaka točk. Po vsakem snemanju je bil oblikovan georeferenciran model korenin (oblak točk), ki smo ga s pomočjo oljiščnih markerjev (v naprej določene točke z znano koordinato) umestili v državni koordinatni sistem (D96/TM). Dobljene podatke s snemanja smo transformirali v 3D model koreninskega sistema, ki smo ga uporabili za prevejanje korelacije pozicije korenin in povišanih območij vode v prostoru tal. Oblak točk smo analizirali v programu CloudCompare (CC 2.13.1, Paul Rasche, Kyiv) v nadaljevanju okrajšano CC. 3D model je bil pridobljen iz zaporedno pridobljenih aeralnih posnetkov s pomočjo drona DJI Mavic 2 pro. Oblak točk (Dense PointCloud- DPC) je nastajal sproti. Izvedenih je bilo sedem snemanj, ki so bila na koncu združena v en oblak točk. Oblaku točk smo določili izhodiščne koordinate (x, y), kot referenčne točke za umestitev kvadrantov in posnetkov korenin. Oblak točk je bil pridobljen v intervalu nadmorskih višin (z koordinata) 120,7 m n.m.v. do 126,1 m n.m.v.

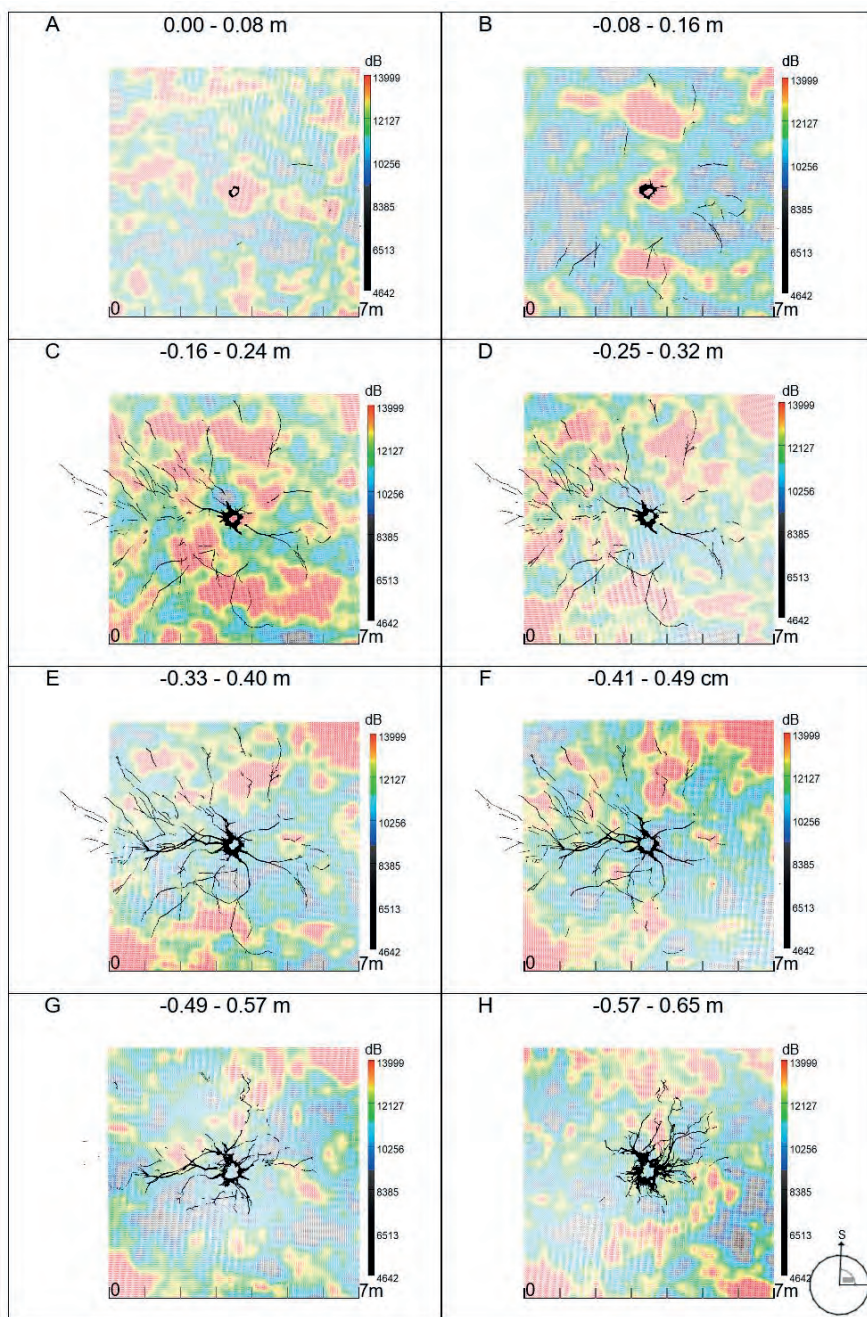
3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Dimenzije korenin oljke

Najgloblja korenina se je nahajala na globini -1,83 m, najdaljša korenina pa je merila 4,7 m (slika 2, slika 3).



Slika 2: Globinski prerez koreninskega sistema oljke, ki prikazuje razporeditev korenin po globinah (desno označena skala prikazuje globino v metrih ter največje območje zgostitve točk)



Slika 3: Osem georadarskih posnetkov označenih po abecedi s primerjavo posnetkov koreninskega sistema oljke v 8 cm intervalih do globine -65 cm (rdeča = najmočnejši odboj - manj vode, modra = močan odboj, temno morda = šibak odboj – največ vode)

Iz modela je razvidno, da se najdlje razširjajo plitve korenine v globinskem intervalu prvih 20 cm. Na območju globine 0–100 cm se pojavi vizualno najbolj gost preplet korenin. Koreninski sistem preučevane oljke se v večjem delu širi znotraj debelnega radija 2,5 m in se razprostira do izkopane in izmerjene globine 1,83 m (slika 2, slika 3). Volumen tal v obsegu koreninskega sistema meri $16,3 \text{ m}^3$ – orodje »Volume Mesh Calculation« (CC), kar je 19,3 % od celotnega območja zajema podatkov, ki meri $46,2 \text{ m}^3$. Največja zgostitev točk – korenin se dogaja v globinskem intervalu razvidnem na desni skali razporeditve točk po globini -0,34 do -0,46 m druga pa na intervalu -0,69 do -0,92 m.

3.2 Prostorska korelacija med dejansko in georadarsko izmerjeno lokacijo korenin

Rezultate georadarske analize osmih globinskih intervalov smo spojili s posnetkom koreninskega sistema v pripadajočem intervalu (slika 3). Temno modra barva prikazuje območja tal z manjšimi odboji in večjo vsebnostjo vode, medtem ko rdeča barva prikazuje območje z močnejšimi odboji in manjšo vsebnostjo vode. Za prikaz jakosti georadarskih odbojev je uporabljena lestvica z vrednostmi osnovne fizikalne enote za merilo jakosti georadarskih odbojev, decibel (dB). V posnetkih A in B se okrog koreninskega vratu pojavlja rdeče območje, kjer je jakost odbojev večja kot drugod. V globljih intervalih (D–F) osrednje rdeče območje izgine, kar sledi logiki, saj je korenin v osrednjem delu v globini vse manj (slika 3). Sklepamo lahko, da bi rdeča območja lahko nakazovala gostejše preplete korenin, kot tudi skeleta in večjih grud organskega materiala, vendar za to trditev nimamo dovolj zabeleženih rezultatov izkopavanja. Konestabo (2021) je v svojem diplomskem delu prišel do sklepa, da je vrhnji sloj 10 cm imel večjo vsebnost rastlinam dostopne vode ($\text{RDV}=12,2 \%$) kot spodnji sloj do 30 cm, kar se izkazuje tudi na naših georadarskih posnetkih. V intervalih A in B je modro območje (večja vsebnost vode) veliko večje kot na posnetkih C in D (slika 3). Na območju -40 cm (E–F), kjer se nahaja druga zgostitev največjega deleža točk (korenin) po profilu, je razvidno, da se vsebnost vode povečuje, kar morda nakazuje na korelacijo med zastopanostjo vode v tleh in količino korenin. V globinskih intervalih 20–30 cm ter 30–40 cm je tudi Umer (2023) v svoji diplomski nalogi prišla do ugotovitve, da sta prostorska variabilnost ter delež organske snovi največja. Območja povečane vsebnosti vode so na posnetkih E do H dokaj konstantna, medtem ko je največjo spremembo opaziti na posnetku od B do C, kjer se rdeče območje močno poveča.

4 SKLEPI

Izkop oljke je bila časovno in delovno naporna metoda, ki je podala najbolj točen vpogled v razvejanost koreninskega sistema. Zaradi metode izkopa, ki je v začetni fazi vključeval odstranitev vrhnjega sloja tal s travno rušo v debelini 10 cm, smo na ta način izgubili najplitvejše absorpcijske korenine, kar se je odrazilo tudi v rezultatih primerjave posnetkov GPR in izkopa korenin. Z izkopom vzporedno tridimenzionalno (3D) dokumentiranje je ključno za sprotno beleženje izkopanih korenin. Oblak točk korenin se je izkazal kot dobra osnova za uporabo programa Cloud Compare, ki se je izkazal za dobro orodje za prostorsko analizo koreninskega sistema oljke, in ga priporočamo za podobne analize večjih oblakov točk. Program CloudCompare uporabljen še ni bil zasleden v analizah koreninskega sistema in je bil prvič preizkušen v tovrstne namene.

GPR metoda, ki smo jo uporabili v tej raziskavi, se je za določanje pozicije korenin preko oblakov vlažnosti tal v našem primeru izkazala za neustrezno in premalo natančno ter specifično, da bi z njo v danem okolju detektirali pozicijo korenin oljke. V osnovi je georadarska metoda namenjena oceni pojavov in ne dejanskega stanja. Prav tako se ne moremo opreti na

numerično ovrednotenje odbojev saj le ti zaradi same narave metode potrebujejo dodatno obdelavo in ojačitev signalov.

V okviru raziskave smo znanstveni skupnosti prispevali tridimenzionalen posnetek koreninskega sistema oljke, ki natančno prikazuje arhitekturo korenin v flišnih tleh. Posnetek v grobem prikazuje, kako široko se razširjajo korenine oljke ter na kateri globini jih je največ. Podatek o razporeditvi korenin lahko služi stroki, ki v skladu s temi informacijami izvaja agrotehnične ukrepe, kot je postavitve namakalnega sistema, rez korenin ter splošno razumevanje morfologije razrasti korenin oljke in tako služi kot podporno znanje kmetijskih tehnologom.

5 LITERATURA

- Arso. 2023. Arhiv-opazovani in merjeni meteorološki podatki po Sloveniji, Glavna meteorološka postaja Koper. Agencija RS za okolje. <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/>
- Atlas okolja. 2021. Agencija RS za okolje. http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso
- Fernandes-Silva A.A., Marques P., Aires A., Brito T. 2024. Effect of drought stress on olive leaf water status, biochemical composition, fruit oil content and olive oil quality. *Acta Hort.* 1409, 1-6. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1409.1>
- Sandmeier. 2014. Main news of the REFLEXW version 7.5. Sandmeier geophysical research: 10 str. <https://www.sandmeier-geo.de/Download/GPRPage.pdf>
- Konestabo M. 2021. Prostorska variabilnost teksture in skeletnosti v evtričnih rjavih tleh na flišnih kamninah na območju enega drevesa oljke. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 34 str.
- Podgornik M., Fantinič J., Bučar-Miklavčič M., Valenčič V., Butinar B., Vodnik D., Gramc H., Kastelec D., Ferlan M., & Pintar M. 2022. Oljka, sušne razmere, tla in deficitno namakanje (Spletna izd.). Znanstveno-raziskovalno središče, Inštitut za oljkarstvo, Annales ZRS. <https://www.zrs-kp.si/index.php/research-2/zalozba/monografije/> (26. dec. 2024)
- Umer Michelle. 2023. Variabilnost izbranih kemijskih lastnosti evtričnih rjavih tal na flišu na območju oljčnega drevesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 41 str.

Analiza vsebnosti fitofarmaceutskih sredstev in njihovih ostankov v kmetijskih tleh in deževnikih

Helena MIHEVC³⁷ in Matjaž GLAVAN³⁸

Izvleček

Z večjo intenzivnostjo kmetijske pridelave se je povečala poraba fitofarmaceutskih sredstev (FFS), katerih uporaba je deležna kritične obravnave s strani regulatorjev zaradi možnosti kopičenja njihovih ostankov in negativnih vplivov na netarčne organizme. V raziskavi, ki je potekala v okviru projekta SPRINT, smo preučevali, koliko in katere aktivne snovi in ostanki FFS so prisotni v tleh in deževnikih na izbranih njivah slovenskih konvencionalnih in ekoloških govedorejskih kmetij. V okviru projekta smo v Sloveniji preučevali tla, kjer pridelujejo koruzo, saj med krmnimi rastlinami predstavlja največji delež (1/3 vseh njiv). Skupno smo na 20-ih analiziranih vzorcih tal (10-ih ekoloških, 10-ih konvencionalnih) našli 21 aktivnih snovi in metabolitov. Med njimi prevladujejo metabolit insekticida DDT DDE, fungicid epoksikonazol (40 %) ter herbicida metolaklor S (35 %) in terbutilazin (25 %). V vzorcih deževnikov smo našli 10 aktivnih snovi in metabolitov. Med njimi so najbolj prisotni metabolit insekticida metolaklor etan sulfonska kislina (60 %), imidacloprid (40 %), tiakloprid (40%) ter metabolit DDE (30 %) ter nikosulforon (30 %). V povprečju smo v analiziranih vzorcih našli mešanice 4 (tla) oz. 1–2 (deževniki) aktivnih snovi oz. metabolitov FFS.

Ključne besede: fitofarmacevtska sredstva, ostanki FFS, kmetijska tla, deževniki

Analysis of the content of phytopharmaceuticals and their residues in agricultural soils and earthworms

Abstract

With the intensification of agricultural production, the consumption of phytopharmaceuticals (FFS) increased, the use of which receives critical attention from regulators due to the possibility of accumulating their residues and negative impacts on non-target organisms. In the research, which took place within the framework of the project SPRINT, we studied how much and which active substances and residues of FFS are present in soil and earthworms on selected fields of Slovenian conventional and organic cattle farms. As part of the project, we studied the soil in Slovenia, where corn is grown, as it represents the largest share of forage plants (1/3 of all arable land). A total of 21 active substances and metabolites were found in 20 analysed soil samples (10 organic, 10 conventional). Among them, the metabolite DDT insecticide DDE, the fungicide epoxiconazole (40%) and the herbicide metolachlor S (35%) and terbutylazine (25%) are the most present. We found 10 active substances and metabolites in earthworm samples. Among them, the most present are insecticides, metabolite metolachlor ethane sulfonic acid (60%), imidacloprid (40%), thiacloprid (40%) and the metabolite DDE (30%) and herbicide nicosulforon (30%). On average, in the analysed samples, we found mixtures of 4 (soil) or 1-2 (earthworms) of FFS active substances or metabolites.

Keywords: phytopharmaceuticals, FFS residues, agricultural soil, earthworms

1 UVOD

Fitofarmacevtska sredstva (FFS) so pripravki, ki se uporabljajo v kmetijstvu za varstvo rastlin ter pridelkov pred povzročitelji bolezni, škodljivci in pleveli. Njihove učinkovine vsebujejo snovi, ki imajo nevarne lastnosti tudi za zdravje ljudi in okolje, zato jih je potrebno oceniti in določiti njihovo sprejemljivo uporabo, preden gredo v prodajo oz. v uporabo. Registracija je

³⁷ Študentka, Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, mihevc.helena@gmail.com

³⁸ Doc. dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: matjaz.glavan@bf.uni-lj.si

postopek s katerimi ocenimo učinkovine in pripravke. Z nadzorovanjem prometa ter uporabe fitofarmacevtskih sredstev (FFS) poskušamo zmanjšati tveganja za zdravje ljudi in okolja. Slovenija in ostale državne članice EU podpirajo in hkrati spodbujajo razne alternativne metode varstva rastlin pred kemičnimi FFS, čeprav so ta pri današnjem kmetovanju še vedno potrebna. V letu 2022 je bila v Sloveniji količina prodanih aktivnih snovi v FFS približno 9 % manjša kot leto prej ter za približno 14 % manjša od povprečja petih let (988 ton). V Sloveniji so v tem letu skupno prodali približno 847 ton aktivnih snovi iz FFS, kar predstavlja najmanjšo količino prodanih aktivnih snovi FFS v zadnjih desetih letih (SURS, 2023). Skoraj polovico prodanih FFS predstavljajo anorganski fungicidi.

Po drugi strani se je svetovna kmetijska pridelava v zadnjih 30-ih letih povečala za štirikrat (Fuglie in sod., 2024), kar je povečalo porabo FFS skoraj za dvakrat (FAO, 2024). Intenzivna uporaba FFS je bila deležna kritične obravnave s strani regulatorjev zaradi možnosti kopičenja njihovih ostankov in negativnih vplivov na netarčne organizme tako živali kot ljudi. FFS lahko vsebujejo nevarne snovi, zato je dajanje v promet ter uporaba nadzorovana, njihovo prenašanje čez državne meje držav članic pa ni dovoljeno, razen z uradnim dovoljenjem pristojnega organa. V Evropi so zdravstvena tveganja aktivnih snovi iz FFS ocenjene za vsako posamezno aktivno snov posebej, večina teh ocen ne upošteva kombiniranega vpliva aktivnih snovi različnih FFS in že od prej prisotnih ostankov FFS v kmetijskih tleh. Več študij je pokazalo, da mešanice v tleh vsebujejo ostanke tako trenutno uporabljenih FFS kot tudi ostanke FFS, ki so že več kot desetletje prepovedani. Kombinirani ali sinergistični učinki takšnih okoljskih mešanic na življenje v tleh so bili redko raziskani (Knuth in sod., 2024). Ostanke FFS v tleh ne vplivajo le na rastline, temveč tudi na organizme, kot so deževniki, ki igrajo ključno vlogo pri ohranjanju rodovitnosti tal. Deževniki sodelujejo pri razgradnji organske snovi, saj se hranijo z bolj ali manj razgrajenimi organskimi ostanki. S prenašanjem organskih snovi v globino ter mineralnih delcev na površino tal skozi talni profil rijejo rove in s tem omogočajo prezračevanje tal in pronicanje vode (Jeffery in sod., 2010). Njihova prisotnost v tleh je zato izjemno pomembna. So pa kot netarčni organizmi izpostavljeni ostankom FFS, ki se v njih kopičijo in lahko vplivajo na njihovo delovanje in prisotnost v tleh.

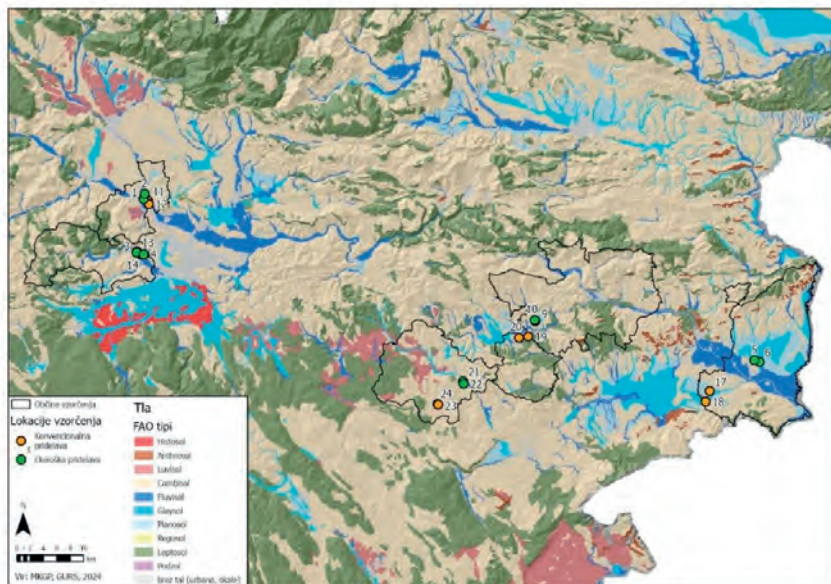
V raziskavi, ki je potekala v okviru mednarodnega projekta EU SPRINT, smo preučevali, kakšne so vsebnosti FFS v tleh in deževnikih na izbranih njivah slovenskih konvencionalnih in ekoloških govedorejskih kmetij.

2 MATERIAL IN METODE DELA

2.1 Območje raziskave

Raziskovalno območje je obsegalo osrednjo (Medvode, Dobrova - Polhov Gradec) in jugovzhodno Slovenijo (Trebnje, Mokronog, Sevnica, Brežice) v porečju reke Save, kjer prevladuje omiljeno alpsko in omiljeno celinsko podnebje s povprečno letno temperaturo 10 °C in povprečno letno količino padavin 1400 mm. Med dejanskimi rabami prevladujeta z 59 % gozd, 23 % kmetijska zemljišča (27 % njive, travnik 71 %) in z 8 % pozidano. Na območju je 7.600 kmetij, ki v povprečju kmetujejo na 10-ih ha zemljišč. Velik del kmetij je mešan, a z 61 % prevladujejo govedorejske kmetije (mlečne, dojilje, pitanci), ki so dokaj intenzivne saj se kuzuza prideluje na 40 % njivskih površin. Tudi sicer v Sloveniji prevladuje pridelava kuzuze, saj med poljščinami predstavlja največji delež. V letu 2021 so kuzuza za zrnje in silažno kuzuza pridelovali na 41.657 ha oz. 27.155 ha od 172.000 ha njiv. Obravnavana zemljišča ležijo na mlajših obrečnih ali ledenodobnih tleh depozita peska in gramoza (Eutric Fluvisol), na starejših, globljih in preperelih rjavih tleh (Eutric Cambisol) na glinastih oz. ilovnatih tleh (District Cambisol) ter rjava pokarbonatna (Chromic Cambisol) oz. evtrična rjava tla na pleistocenskih

nanosih (Eutric Cambisol). Kmetje v konvencionalni pridelavi koruze večinoma uporabljajo le herbicide, ki pa jih v ekološki pridelavi nadomešča okopavanje.



Slika 1: Lokacije vzorčnih njiv in tip tal

2.2 Izbor aktivnih snovi

EU baza FFS vključuje več kot 1400 aktivnih snovi. Čeprav je le del teh odobrenih (456), je številne še vedno mogoče najti v okolju, hrani in krmi, zato jih ni mogoče prezreti. Zaradi velikega števila in široke raznolikosti v fizikalno-kemijskih lastnostih smo opravili izbor snovi, ki so bile vključene v analize vzorcev okvira projekta SPRINT. Najprej smo v analize vključili vse organske molekule. Nato smo izločili snovi, ki se lahko uporabljajo še v druge namene kot le FFS, kar je pomenilo seznam 873 snovi (Silva in sod., 2021). V nadaljevanju je izbor temeljil na dveh glavnih merilih. To sta znana ali pričakovana uporaba FFS na območju raziskovanja (gojene kmetijske rastline po zbirni vlogi) in podatki o prisotnosti FFS v tleh (predhodne analize mešanega vzorca tal dveh kmetij). To je privedlo do skupnega števila skoraj 400 FFS. Iz tega seznama so bili izključeni FFS, ki niso primerni za več-analizne metode, razen glifosata in AMPA, za katera je bilo že od začetka projekta predvidena vključitev, čeprav je za njuno analizo potrebna ločena metoda. Nekatere spojine so bile izključene, ker analitski referenčni standardi niso bili na voljo ali zaradi nizke analitske zmožljivosti (npr. izkoristki < 70 %). Tako smo dobili seznam 155 FFS, katerim smo dodali 37 relevantnih razgradnih produktov (v kolikor so na voljo analitski standardi in so primerni za več-analitske metode). Podrobnosti izbora so razložene v članku Sliva in sod., 2021, 2023. Končni izbor snovi za analizo tal in deževnikov je vključeval 50 herbicidov (H), 57 fungicidov (F), 45 insekticidov (I), 39 metabolitov (M) in 1 sinergist piperonil butoksid. Od teh snovi je bilo 111 (58 %) registriranih za uporabo v EU (1. 1. 2021), 42 (22 %) ni bilo registriranih, 37 (19,3 %) pa je bilo metabolitov in napropamid s stanjem čakanja na registracijo (Knuth in sod., 2024).

2.3 Zasnova vzorčenja in analize FFS

V vzorčenje tal je bilo vključenih 20 njiv, 10 ekoloških in 10 konvencionalnih. Na vsaki vključeni kmetiji (10 kmetij) smo vzorčili dve njivi. Njive v konvencionalni pridelavi sledijo načelom integriranega varstva rastlin, kot je to predpisano v Skupni kmetijski politiki. Njive v ekološki pridelavi so bile vsaj pet let pred našim vzorčenjem vključene v ukrep SKP ekološko kmetijstvo. Tla in deževnike smo vzorčili v začetku septembra 2021, kar je ustrezalo času, ko so bili nanosi FFS že izvedeni.

Pri vzorčenju tal smo uporabili sondo oz. lopato ter plastične vrečke. Iz vsakega polja smo odvzeli en sestavljen vzorec, ustvarjen iz 5-ih podvzorcev, zbranih z naključno izbranih mest na njivi. Vzorce tal iz njiv smo odvzeli iz zgornjih 20 cm profila tal, oddaljenih vsaj 5 metrov od roba njive. Površina vzorčenja je variirala glede na površino njiv. Vsak podvzorec je imel maso približno 400 gramov in vseh 5 skupaj približno 2 kilograma. Podvorce smo odložili v vedro in jih premešali. Rastlinske ostanke in kamne smo ročno odstranili, tal nismo presejali. Pred vzorčenjem na drugi njivi smo orodje očistili, da ne bi prišlo do kontaminacije. Vse vzorce smo shranili pri -20°C do nadaljnje uporabe. Prvi vzorec iz vsake njive je imel maso približno 300 gramov in je bil namenjen za analizo pH, organski ogljik v tleh (SOC) in teksturo v laboratoriju Katedre za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniške fakultete. Drugi vzorec je tehtal približno 100 gramov in je bil namenjen za analizo FFS. Pred analizo ostankov FFS so vzorce odtajali in homogenizirali. Vsebnost FFS so določili v laboratoriju Univerze Wageningen na Nizozemskem. Analizirane aktivne snovi in ostale spojine so bile, v različnih matricah izmerjene s kvantitativnimi metodami, ki temeljijo na LC-MS/MS in GC-MS/MS. Za glifosat/AMPA so bile uporabljene ločene namenske metode (Silva in sod., 2023). Ostanke FFS (glifost in AMPA) so bili ekstrahirani z metodo ekstrakcije KOH, ostanke ostalih FFS pa so bili ekstrahirani s spremenjeno metodo QuEChERS (podrobneje v Alaoui in sod., 2024 in Knuth in sod., 2024). Vzorčenje deževnikov je potekalo z uporabo naslednjih pripomočkov: krožnik, lopata, plastične steklenice/posode, 70 % alkohol, plastična folija, gorčica (najbolje Hot mustard Aroma raztopina, 150 g/L) ali sintetični alilizotiocianat (AITC) v koncentraciji 94–97 %. Vzorčili smo tri kocke tal ($25 \times 25 \times 25 \text{ cm}$) na vzorčno njivo. Deževnike iz prvega monolita smo uporabili za analizo raznolikosti deževnikov, zato smo jih takoj po zbiranju shranili v 70% alkohol. Deževnike iz drugega monolita smo uporabili za analizo FFS, zato smo deževnike takoj po shranjevanju zamrznili. Deževnike iz tretjega monilita smo uporabili za analizo mikrobioma, zato smo jih takoj po zbiranju zamrznili. Analize deževnikov na prisotnost spojin so opravili v laboratoriju Univerze iz Wageningna. Metode analiz so podrobneje opisane v Alaoui in sod., 2024.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Vsebnost FFS v tleh

V preglednici 1 so predstavljeni rezultati analize vzorcev tal glede na ekološko in konvencionalno kmetijstvo. Izračunana je frekvenca (%) glede pojavnost posamezne spojine v vzorcih. Izračunana je tudi mediana koncentracije posamezne spojine v vzorcih. Glede na frekvenco pojavnosti snovi v vzorcih opazimo, da je v konvencionalnih tleh večja pojavnost klorpirifosa in tebukonazola, metolaklora (S) in terbutilazina. V ekoloških tleh je večja pojavnost heksaklorobenzena. Frekvenca pojavnosti ostalih snovi je podobna v obeh sistemih pridelave. Glede na rezultate opazimo, da je bilo v vzorcih konvencionalnih tal prisotnih večje število aktivnih snovi (21) kot v ekoloških tleh (15). Mediana koncentracije je v konvencionalnih tleh od ekoloških tal značilno večja pri metolakloru (S) in biksafenu. Pri tleh iz ekoloških kmetij pa je mediana koncentracije višja od koncentracije v konvencionalnih tleh

pri DDT in AMPA. Glede na število snovi je tako vsota mediane koncentracij po pričakovanjih večja v tleh v konvencionalni pridelavi.

Preglednica 1: Frekvenca pojavljanja spojin in mediana koncentracije FFS, izmerjene v njivskih tleh ekološke in konvencionalne pridelave (N=20) vzorčenih leta 2021

Spojine v njivskih tleh (N=20)		Način kmetovanja			
		konvencionalno		ekološko	
Št.	Ime spojine	frekvenca (%)	mediana koncentracije (ug/kg)	frekvenca (%)	mediana koncentracije (ug/kg)
1	DDE p,p' (IM)	60	6	70	5,6
2	Metolaklor S (H)	50	40,5	20	12,75
3	Epoksikonazole (F)	40	2,8	40	5,95
4	Terbutilazine (H)	40	5,25	10	3,3
5	Klorpirifos (I)	40	7,2		
6	Terbutilazin desetil (H)	30	3	10	2,1
7	Tebukonazol (F)	30	6,7		
8	Biksafen (F)	20	22,65	10	10
9	DDD p,p' (IM)	20	1,15	10	4,6
10	Metolaklor etane sulfonska kislina (HM)	20	7,1	10	4,9
11	Heksaklorobenzen (F)	10	0,4	30	0,9
12	AMPA (HM)	10	24,4	20	44,95
13	DDT p,p' (I)	10	17,3	20	51,15
14	DDT o,p' (I)	10	0,7	10	2
15	Pendimetalin (H)	10	4	10	2,8
16	Ciantraniliprol (I)	10	4,7		
17	Fenpropidin (F)	10	2,4		
18	Fluopiram (F)	10	3,6		
19	Tienkarbazon metil (H)	10	43,5		
20	Fenpropimorf (F)			10	7
21	Fluksapirosad (F)			10	2,7
Vsota mediane koncentracij			49,14		32,28

I – inskticid, H – herbicid, F – fungicid, M – metabolit, razgradni produkt

Iz analize je razvidno, da so v njivskih tleh desetletja po prepovedi uporabe še vedno prisotni razgradni produkti **DDT** (DDD, DDE) in to v velikem deležu. Najpogostejši vzrok, da so v ekološki pridelavi zaznane spojine, ki jih tam ne pričakujemo, je pretekla uporaba pred vstopom v ekološko pridelavo, zanašanje pripravka ob tretiranju s FFS iz sosednjih konvencionalnih zemljišč, vodno erozija ali z zračnim depozitom. **DDT** je insekticid, ki se močno oprime tal in se ne premakne v podtalnico. Mikroorganizmi v tleh počasi razgrajujejo DDT (za razgradnjo polovice DDT lahko traja od 2–15 let). DDT se težko raztopi v vodi in se večinoma nahaja v sedimentu na dnu vodnih teles. DDT, DDE in DDD se lahko kopičijo v rastlinah in živalih. Rezultati kažejo, da se ostanki teh snovi dolgo razgrajujejo in lahko pustijo trajne posledice v tleh, saj je njihova uporaba prepovedana že od leta 1986. **Metolaklor** in **S-metolaklor** sta organski spojini, ki se pogosto uporabljata kot herbicid. Ostanka razgradnih produktov sta metolaklor ESA (Metolachlor Ethane Sulfonic Acid) in metolaklor OXA (Metolachlor Oxanilic Acid). Oba metabolita imata daljšo obstojnost in mobilnost v okolju kot aktivna snov metaklor (S), zato ju v okolju tudi pogosteje zaznamo. Mediana koncentracije razgradnega produkta **metaklor ESA** se med tipoma pridelave ni bistveno razlikovala, medtem ko je mediana koncentracije metaklora (S) v ekoloških tleh bistveno manjša kot v konvencionalnih, kar je v skladu s pričakovanji. Obdobje uporabe metolakora se je izteklo sredi leta 2024, saj predstavlja

tveganje za zdravje ljudi in živali. **Epoksikonazol** je aktivna snov fungicida iz skupine azolov. Snov zavira presnovo celic gliv, ki okužujejo koristne rastline, s čimer preprečuje rast micelija ter omejuje tvorbo konidijev. Do izgube registracije v letu 2022 (vzorčenje tal smo izvajali leta 2021) se je uporabljal proti različnim boleznim, med katerimi sta dve glavni listna pegavost (*Septoria tritici*) in rja (*Puccinia tritricina*), ki lahko povzročita do 30 % izgube pridelka. **Terbutilazin-desetil** je klorotriazinski herbicid, ki se uporablja za zatiranje plevela v kmetijstvu in pri pogozdovanju. Razgradnja v vodi je odvisna od biološke aktivnosti, v tleh pa nanjo močno vpliva temperatura, vlažnost, mikrobiološka aktivnost, pH in aeracija.

3.2 Vsebnost FFS v deževnikih

V preglednici 2 so predstavljeni rezultati analize deževnikov glede na ekološko in konvencionalno kmetijstvo. Glede na frekvenco pojavnosti snovi v vzorcih opazimo, da je v deževnikih konvencionalnih tal predvsem večja pojavnost tiakloprida in nicosulfurona. V deževnikih ekoloških tal je z izjemo razgradnega produkta metolaklora ESA, ki se z enako frekvenco pojavlja v obeh načini kmetovanja, frekvenca pojavljanja aktivnih snovi precej manjša. Glede na rezultate opazimo, da je bilo v vzorcih deževnikov konvencionalnih tal zaznanih večje število aktivnih snovi (10) kot v deževnikih ekoloških tal (4). Mediana koncentracije je v deževnikih konvencionalnih tal precej večja od deževnikov v ekoloških tleh, zaradi razgradnega produkta metolaklora ESA. Glede na število snovi je tako vsota mediane koncentracije po pričakovanjih večja v konvencionalnih tleh.

Preglednica 2: Frekvenca pojavljanja spojin in mediana koncentracije FFS, izmerjene v deževnikih njivskih tal ekološke in konvencionalne pridelave (N=20) vzorčenih leta 2021

Spojine v deževnikih njivskih tal (N=20)		Način kmetovanja			
		konvencionalno		ekološko	
Št.	Ime spojine	frekvenca (%)	mediana koncentracije (ug/kg)	frekvenca (%)	mediana koncentracije (ug/kg)
1	Metolachlor ethane sulfonic acid (HM)	60	2244,43	60	90,16
2	Imidacloprid (I)	40	42,30	20	33,68
3	Thiacloprid (I)	40	51,32		
4	DDE p,p' (IM)	30	7,60		
5	Nicosulfuron (H)	30	24,76		
6	Clothianidin (I)	20	109,93	10	73,21
7	Terbuthylazine desethyl (H)	10	18,46	10	21,99
8	Bixafen (F)	10	72,57		
9	Terbuthylazine (H)	10	60,26		
10	Tetraconazole (F)	10	76,60		
Vsota mediane koncentracij			1438,58		70,35

I – insekticid, H – herbicid, F – fungicid, M – metabolit, razgradni produkt

Imidakloprid, ki je v Sloveniji izgubil registracijo leta 2020, je sistemski insekticid, ki sodi v razred kemikalij, imenovanih neonikotinoidi, in deluje na centralni živčni sistem žuželk. Kemikalija deluje tako, da moti prenos dražljajev v živčnem sistemu žuželk. Konkretno povzroča blokado nikotinergičnih nevronalnih poti. Kljub tveganjem za čebele je najbolj razširjen insekticid na svetu, saj se uporablja za obdelavo semen, za nadzor nad listnimi ušmi, trsnicami, resarji, smrdljivci, kobilicami in številnimi drugimi žuželkam. Podobno velja za insekticid **Thiakloprid**, ki je tudi izgubil registracijo leta 2020. **Nikosulfuron** je herbicid za

tretiranje plevelov v posevku koruze, ki se uporablja že od zgodnjih devetdesetih let prejšnjega stoletja. Je širokospektralni herbicid, ki zatira širok spekter plevela v koruzi, vključno z enoletnimi in večletnimi pleveli.

4 SKLEPI

Raziskava je ocenila razširjenost ostankov aktivnih snovi FFS v tleh in deževnikih na območjih v Sloveniji pri pridelavi koruze. Pomembno je, da v prihodnje še bolj stremimo k trajnostni rabi FFS in zmanjšanju njihove uporabe. Ugotovili smo, da je pričakovano več ostankov prisotnih v tleh konvencionalnih kmetij, vendar smo ostanke našli tudi v tleh v ekološki pridelavi. To nas vodi do spoznanja, da bi morala EU urediti prehod na ekološko pridelavo tako, da bi ta trajal dlje časa. Ustreznost tal bi morali presoјati individualno za vsako zemljišče, pri čemer bi upoštevali pretekle prakse, ko je bilo vedenje pridelovalcev o škodljivosti določenih aktivnih snovi omejeno ali zamolčano s strani proizvajalcev FFS. Zaradi prenosa FFS s tretiranih površin na sosednje bi morali zagotoviti zadostne varnostne razdalje, da bi bila ekološka pridelava resnično ekološka. Poleg tega je potrebno upoštevati, da se ostanki FFS ne nalagajo le v tleh, ampak tudi v organizmih, ki živijo v tleh, kot so deževniki. Organizmi v tleh so ključni za kakovost tal, zato je nujno ohranjati njihovo prisotnost in zdravje.

5 LITERATURA

- Alaoui A., Christ F., Silva V., Glavan M., ... & Geissen V., 2024. Identifying pesticides of high concern for ecosystem, plant, animal, and human health: A comprehensive field study across Europe and Argentina. *Science of the total environment*, 948, 174671.
- FAO, 2024. Pesticides use and trade. 1990–2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/pesticides-use-and-trade-1990-2022/en> (12. dec. 2024)
- Fuglie K., Morgan S., Jelliffe J., 2024. World agricultural production, resource use, and productivity, 1961–2020 (Report No. EIB-268). U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://doi.org/10.32747/2024.8327789.ers>
- Knuth D., Gai L., Silva V., Harkes P., Glavan M., ... & Geissen V. 2024. Pesticide Residues in Organic and Conventional Agricultural Soils across Europe: Measured and Predicted Concentrations. *Environmental science & technology*, 58(15), 6744-6752.
- Jeffery S., Gardi C., Jones A. 2010. European atlas of soil biodiversity. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2788/94222>
- Silva V., Gai L., Harkes P., Glavan M., ... & Geissen V. 2023. Pesticide residues with hazard classifications relevant to non-target species including humans are omnipresent in the environment and farmer residences. *Environment international*, 181, 108280.
- Silva V., Alaoui A., Schlünssen V., Vested A., ... & Scheepers P. T., 2021. Collection of human and environmental data on pesticide use in Europe and Argentina: Field study protocol for the SPRINT project. *Plos one*, 16(11), e0259748.

Potenciali rabe prečiščene odpadne vode v kmetijstvu v Sloveniji

Darja ISTENIČ³⁹, Špela ŽELEZNIKAR⁴⁰, Matej RADINJA⁴¹, Rozalija CVEJIC⁴² in Matjaž GLAVAN⁴³

Izvleček

Za namakanje kmetijskih površin se v svetu porabi več kot 70 % sveže vode, poraba vode pa se bo še povečevala. V svetu zato poteka aktivno iskanje in uvajanje novih, alternativnih vodnih virov med katerimi je tudi prečiščena odpadna voda (POV). POV iz čistilnih naprav (ČN) lahko nadomešča ali dopolnjuje druge vire kot so vodotoki in jezera, vodni zadrževalniki, podzemna voda in površinski odtok v manjših vodnih zbiralnikih. Namen raziskave je bil oblikovati strokovna izhodišča za postavitve sistemskega pristopa rabe POV za namen namakanja kmetijskih zemljišč v Sloveniji tako, da se ohranja kakovost vode in tal ter hkrati raba POV ne predstavlja tveganja za onesnaženje okolja in posledično za zdravje ljudi. Poleg ekonomskih in okoljskih koristi uporaba POV namreč predstavlja tudi tveganja. Povzroči lahko povečanje slanosti tal, prenos patogenih mikroorganizmov (patogenih in odpornih) in koncentracije novodobnih onesnaževal (umetne kemikalije, ki so bile v okolju odkrite šele pred kratkim ali pa jih zaradi zapletene strukture in nizkih koncentracij prej nismo uspeli izmeriti) v tleh ter njihov prenos v prehranjevalno verigo. Tveganjem se lahko izognemo oz. jih obvladujemo z vzpostavitvijo načrta upravljanja s tveganji, ki mora biti zakonsko predpisan in izdelan ločeno za vsak primer uporabe POV.

Ključne besede: prečiščena odpadna voda, namakanje, kmetijstvo, sistemski pristop

Potentials for the use of treated wastewater in agriculture in Slovenia

Abstract

For the irrigation of agricultural land, more than 70% of fresh water is spent around the world, and the consumption of water for irrigation is still increasing. The world is therefore actively searching for and introducing new, alternative water sources for irrigation, one of which is treated wastewater (TWW). TWW from wastewater treatment plants (WWTP) is one of the possible alternative sources of irrigation water for agricultural land, which can replace or complement other sources such as surface waters, water reservoirs, groundwaters and surface runoff collected in small ponds or reservoirs. The purpose of the research was to create professional starting points for setting up a systemic approach to the use of TWW for the purpose of irrigation of agricultural land in Slovenia in a way that preserves water quality and soil health and that use of TWW does not present risks to human health and environment. Namely, in addition to economic and environmental benefits, the use of TWW also presents risks. It can cause an increase in soil salinity, transfer of pathogens and resistant microorganisms and the concentration of contaminants of emerging concern in the soil and their transfer into the food chain. Risks can be avoided or managed by establishing a risk management plan, which must be legally binding and elaborate separately for each case of TWW use.

Keywords: treated wastewater, irrigation, agriculture, systemic approach

1 UVOD

Za namakanje kmetijskih površin se v svetu po trenutnih ocenah porabi več kot 70 % celotne sveže vode, do leta 2030 pa naj bi se poraba vode za namakanje povečala še za 15 % (SDG

³⁹ Doc. dr., Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, UL FGG, e-pošta: darja.istenic@fgg.uni-lj.si

⁴⁰ Mag. inž. agr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: spela.zeleznikar@bf.uni-lj.si

⁴¹ Asist. dr., Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, UL FGG, e-pošta: matej.radinja@fgg.uni-lj.si

⁴² Doc. dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: rozalija.cvejic@bf.uni-lj.si

⁴³ Doc. dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: matjaz.glavan@bf.uni-lj.si

poročilo, 2019). Trenutno v svetu poteka aktivno iskanje in uvajanje novih, alternativnih vodnih virov za namakanje, med katerimi je tudi prečiščena odpadna voda (POV). Na celem svetu se letno izpusti približno 400 milijard m³ odpadne vode, ki odteče in onesnaži 5500 milijard m³ vode (Drechsel in sod., 2022; Hashem in Qi, 2021). Poleg čiščenja velikih količin odpadne vode bi morale države poskrbeti tudi za njeno ponovno uporabo. Naraščajoče število prebivalstva in z njim povezano povečanje potreb po vodi, izboljšanje življenjskega standarda ter rast industrijskega sektorja povečujejo količino proizvedene odpadne vode.

POV iz čistilnih naprav (ČN) je eden od možnih alternativnih virov vode za namakanje kmetijskih zemljišč, saj lahko nadomešča ali dopolnjuje druge vire, kot so površinski vodotoki in jezera, vodni zbiralniki, podzemna voda in površinski odtok zbran v manjših vodnih zbiralnikih. POV je zanesljiv vir vode in hranil, zlasti v sušnih regijah sveta (Železnikar in sod., 2023). Suša v letu 2022 je pokazala, da je nujno pripraviti načrte za ponovno uporabo POV za namakanje v slovenskem kmetijstvu, še zlasti na območjih s pomanjkanjem vodnih virov, kot je Slovenska Istra, saj je prepoved namakanja doletela tudi kmetovalce v Slovenski Istri. POV je pomemben, a spregledan stalni vir organskih snovi, hranil in vode. Lahko je vir vode za namakanje, preostanek raztopljenih hranil v vodi pa lahko nadomesti del mineralnih gnojil, potrebnih v kmetijstvu. Glede na sestavo POV je možno namakanje ali namakanje in gnojenje skupaj (fertigacijo) kmetijskih kultur. Trenutno je raba POV v Sloveniji nekontrolirana in posredna. Tako je na primer dovoljeno uporabljati vodo za namakanje iz vodotokov, v katere se gorvodno od odvzema v vodno telo izteka POV, ki lahko predstavlja večinski delež vode v vodotoku (npr. v sušnih obdobjih).

Interes za rabo POV je tako na strani kmetov kot tudi Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP). Ena od prepoznanih in pomembnih ovir pri rabi POV je nezadostno odstranjevanje bakterije *E. coli* na čistilnih napravah (ČN). Število bakterij *E. coli* je ena od mejnih vrednosti nove evropske Uredbe o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode (ES 2020/741), a hkrati ni mejna vrednost čiščenja komunalne odpadne vode na ČN v Sloveniji (razen v primerih, ko gre za izpust POV v vplivnem območju kopalnih voda, ali v razpoklinske vodonosnike). Pojavljajo se tudi vprašanja o tveganju za okolje ter zdravje ljudi in živali, kot so vpliv na fizikalno, kemijsko in biološko stanje tal, vnos onesnaževal v površinska in podzemna vodna telesa, med njimi tudi novodobnih onesnaževal (ostanki zdravil, izdelkov za osebno higieno, mikroplastika) in njihovem prenosu v prehranjevalno verigo (Krishnakumar in sod., 2022). Nenazadnje je pomembno tudi vprašanje o sprejemljivosti tovrstnih praks tako s strani uporabnika POV (kmetov) kot tudi potrošnikov. Izkušnje iz tujine in rezultati domačih raziskav kažejo, da se večina komunalne odpadne vode lahko pripravi za varno ponovno uporabo (Drev in sod., 2012; Navarro in sod., 2015; Heath in sod., 2023; Ofori in sod., 2024). Sistem ponovne uporabe se začne že na samem viru odpadne vode (v gospodinjstvih) z zavedanjem uporabnikov o ponovni rabi vode in o tem, kaj sodi v kanalizacijo in kaj ne.

Namen raziskave je predstaviti strokovna izhodišča za postavitve sistemskega pristopa rabe POV za namen namakanja kmetijskih zemljišč v Sloveniji tako, da se ohranja kakovost vode in tal ter da raba POV ne predstavlja tveganja za naravne ekosisteme in zdravje ljudi.

2 MATERIAL IN METODE DELA

2.1 Analiza stanja rabe prečiščenih odpadnih vod

Osnovni zakonodajni okvir glede kakovosti POV za namakanje je postavljen z Uredbo evropskega parlamenta in sveta o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode (ES 2020/741), ki je stopila v veljavo junija 2023. Uredba določa mejne vrednosti parametrov POV glede na kakovostne razrede predelane vode. Kakovostni razredi so določeni glede na kategorijo

kulturnih rastlin in metodo namakanja. Parametri, za katere so določene mejne vrednosti, so *Escherichia coli* (*E. coli*), biokemijska potreba po kisiku v petih dneh (BPK₅), neraztopljene snovi in v primeru kakovostnega razreda A še motnost. Če obstaja nevarnost aerosolizacije, je določena še mejna vrednost za *Legionella* spp., ter v primeru namakanja pašnikov in krmnih rastlin še število jajčec helmintov.

V raziskavi smo izvedli primerjavo mejnih vrednosti parametrov, ki jih določa Uredba o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode (ES 2020/741) s trenutno veljavnimi mejnimi vrednostmi parametrov za čiščenje komunalne odpadne vode, kadar se ta odvaja v okolje (Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode, Ur. l. RS 98/15), saj je doseganje predpisanih mejnih vrednosti za ponovno rabo POV osnovni pogoj za izpolnjevanje zahtev. Pri tem smo ČN razdelili v skupine (kategorije) glede na mejne vrednosti parametrov, ki jih določa Uredba ES 2020/74, ter vrednosti parametrov, ki se spremljajo v okviru rednega monitoringa čiščenja odpadne vode. V višjih kategorijah so torej ČN, kjer je potrebna manjša nadgradnja postopka priprave POV v primerjavi z nižjo kategorijo. ČN v višjih kategorijah so glede ponovne rabe POV prioritete, saj je v določenih primerih voda že ustrezna za uporabo glede predpisanih mejnih vrednosti ali pa so potrebne zgolj manjše nadgradnje čiščenja.

Preglednica 1: *Mejne vrednosti parametrov prečiščene odpadne vode glede na kakovostne razrede predelane vode (Uredba evropskega parlamenta in sveta o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode 2020/741)*

Kakovostni razred	<i>E. coli</i> št./100 mL	BPK ₅ mg/L	Neraztopljene snovi mg/L	Motnost NTU	Drugo
A	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	<i>Legionella</i> spp.: ≤ 1 000 CFU/L, če obstaja nevarnost aerosolizacije Črevesne ogorčice (jajčeca helmintov): ≤ 1 jajčece/L za namakanje pašnikov in krmnih rastlin
B	≤ 100	V skladu z Direktivo 91/271/EGS		/	
C	≤ 1 000			/	
D	≤ 10 000			/	

Znotraj vsake kategorije smo ČN razdelili na kakovostne razrede A, B, C, D, predpisane v Uredbi o minimalnih zahtevah za tiste parametre, za katere obstajajo podatki (Preglednica 1, 2):

- I. kategorija: kakovost iztoka ustreza zahtevam za BPK₅, neraztopljene snovi in *E. coli*; manjka podatek za motnost.
- II. kategorija: kakovost iztoka ustreza zahtevam za BPK₅ in *E. coli*; manjkata podatka za motnost in neraztopljene snovi.
- III. kategorija: kakovost iztoka ustreza zahtevam za BPK₅ in neraztopljene snovi; manjkata podatka za motnost in *E. coli*.
- IV. kategorija: kakovost iztoka ustreza zahtevam za BPK₅; manjkajo podatki za motnost, neraztopljene snovi in *E. coli*.
- V. kategorija: kakovost iztoka ne ustreza.

Preglednica 2: Razredi kakovosti prečiščene vode ter pripadajoče kategorije kulturnih rastlin in načini namakanja (Uredba evropskega parlamenta in sveta o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode 2020/741)

Najnižji kakovostni razred POV	Kategorija kulturnih rastlin ¹	Metoda namakanja
A	Vse prehrabne rastline, ki se zaužijejo surove, katerih užiten del je v neposrednem stiku s predelano vodo, ter korenovke in gomoljnice, ki se zaužijejo surove	Vse metode namakanja
B	Prehrabne rastline, ki se zaužijejo surove ter katerih užiten del raste nad tlemi in ni v neposrednem stiku s predelano vodo, predelane prehrabne rastline in neprehrabne rastline, vključno s kulturnimi rastlinami, ki se uporabljajo za krmljenje živali za proizvodnjo mleka ali mesa	Vse metode namakanja
C	Prehrabne rastline, ki se zaužijejo surove ter katerih užiten del raste nad tlemi in ni v neposrednem stiku s predelano vodo, predelane prehrabne rastline in neprehrabne rastline, vključno s kulturnimi rastlinami, ki se uporabljajo za krmljenje živali za proizvodnjo mleka ali mesa	Kapljično namakanje ² ali druga metoda namakanja, pri kateri ne pride do neposrednega stika z užitim delom kulturne rastline
D	Industrijske in energetske rastline ter semenske rastline	Vse metode namakanja ³

¹ Če ista vrsta namakane kulturne rastline spada v več kategorij iz preglednice, se uporabljajo zahteve za najstrožjo kategorijo

² Kapljično namakanje je sistem za mikronamakanje, ki lahko rastlinam dovaja vodo v obliki kapljic ali šibkih curkov ter vključuje zelo počasno (2-20 l/uro) kapljanje vode na tla ali neposredno pod površino tal iz sistema plastičnih cevi z majhnim premerom, ki imajo izhodne odprtine, imenovane kapljači.

³ V primeru metod namakanja, ki posnemajo dež, bi bilo potrebno posebno pozornost nameniti varovanju zdravja delavcev ali drugih navzočih oseb. V ta namen se uporabijo ustrezni preventivni ukrepi.

2.2 Strokovna izhodišča systemskega pristopa

Nadalje smo izdelali strokovna izhodišča za pripravo zakonodaje in systemskega pristopa za varno uporabo POV, ki temeljijo na naslednjih točkah:

- uskladitev stopnje odstranjevanja hranil glede na potrebe v kmetijstvu (ustrezna kakovost vode za namakanje in ohranjanje hranil v iztočni vodi);
- opredelitev, kje preneha odgovornost upravljavca ČN in se začne odgovornost novega uporabnika vode oz. naslednjega akterja v verigi; ter
- priprava načrta obvladovanja tveganj (ang. risk management plan).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Analiza stanja in potencial rabe POV

Primerjava med Uredbo ES 2020/741 in nacionalno zakonodajo je pokazala, da so mejne vrednosti nekaterih parametrov predpisane v obeh primerih (BPK₅ in neraztopljene snovi). Delno se uredbi skladata pri spremljanju *E. coli*, saj je ta parameter že vključen v redni obratovalni monitoring naprav, ki odvajajo POV v prispevna področja kopalnih voda ali v razpoklinske vodonosnike. Dodaten parameter za spremljanje kakovosti POV je motnost, ki se v primeru odvajanja POV v okolje ne spremlja, v določenih primerih pa sta dodatna parametra

še *Legionella* spp. in jajčeca helmintov. V primeru malih komunalnih ČN (< 2000 PE) skupnih parametrov z Uredbo o minimalnih zahtevah ni.

V Sloveniji je 415 naprav s kapaciteto manjšo od 2000 populacijskih enot (PE), ter 118 naprav s kapaciteto, večjo ali enako 2000 PE. ČN so razpršene po celi državi, skupna količina POV znaša 142,5 milijonov m³ na leto. POV nastaja preko celega leta razmeroma enakomerno, medtem ko so potrebe po namakanju osredotočene na rastno sezono.

Glede na kategorije mejnih vrednosti smo ČN razdelili v:

(I.) kategorija: kakovost iztoka ustreza zahtevam za BPK₅, neraztopljenim snovi in *E. coli*; manjka podatek za motnost. V to kategorijo se je uvrstilo 11 ČN, ki se nahajajo na Primorskem in zakraselih predelih Slovenije. Za doseganje mejnih vrednosti določenih z Uredbo o minimalnih zahtevah, je za te ČN potrebna zgolj uvedba monitoringa motnosti. Z izjemo motnosti, te ČN dosegajo kakovostne razrede A, B oz. C. Izpostavimo ČN Koper, ki dosega kakovostni razred C. S povečanjem učinkovitosti dezinfekcije in uvedbo spremljanja motnosti bi lahko dosegli kakovostni razred A z razmeroma majhnim vložkom v izboljšavo tehnologije čiščenja. Če upoštevamo obdobje namakanja v času od marca do oktobra (6 mesecev), potem bi z vodo iz ČN Koper lahko namakali 3.583 ha zemljišč, dovolj za pokrivanje celotnega koprskega zaledja.

(II.) kategorija: kakovost iztoka ustreza zahtevam za BPK₅ in *E. coli*; manjkata podatka za motnost in neraztopljenim snovi. V to kategorijo se je uvrstilo 6 malih ČN (PE < 2000). Za uvedbo namakanja bi bilo potrebno uvesti spremljanje parametra motnosti in neraztopljenih snovi. Izpostavimo ČN Dragonja, ki dosega kakovostni razred D, kar omogoča namakanja industrijskih in energetskih rastlin ter semenskih posevkov. Z izboljšanjem postopka dezinfekcije ter uvedbo spremljanja neraztopljenih snovi bi lahko dosegla kakovostni razred C ali B, s čimer bi bilo mogoče namakanje rastlin za prehrano na 30-ih ha kmetijskih površin v času rastne sezone.

(III.) kategorija: kakovost iztoka ustreza zahtevam za BPK₅ in neraztopljenim snovi; manjkata podatka za motnost in *E. coli*. V to kategorijo se je uvrstilo 182 ČN, kjer bi bilo potrebno za potrebe namakanja čiščenje nadgraditi s postopkom dezinfekcije ter vzpostaviti redno spremljanje motnosti (v primeru kakovostnega razreda A) ter števila *E. coli*. ČN iz te kategorije predstavljajo glavnino POV, ki nastane v Sloveniji, saj sem sodijo tudi ČN vseh večjih mest. Izmed teh naprav je potrebno dati prednost napravam, ki ležijo v bližini kmetijskih zemljišč, ki potrebujejo namakanje, in s sistemskim pristopom ovrednotiti možnosti ponovne rabe.

(IV.) kategorija: kakovost iztoka ustreza zahtevam za BPK₅; manjkajo podatki za motnost, neraztopljenim snovi in *E. coli*. V to skupino sodi 301 ČN; vse so male ČN pod 2000 PE. Zaradi večje potrebe po nadgradnji čistilnega procesa, uvedbi monitoringa dodatnih parametrov ter manjše količine proizvedene POV, uporaba te POV za potrebe namakanja ni prednostna. Kljub temu ne sme biti povsem izključena iz presoje uporabe POV v specifičnih lokalnih okoljih, kjer bi ekonomska analiza pokazala upravičenost tovrstnih ukrepov (Primorska, Vipavska dolina).

(V.) kategorija: kakovost iztoka ne ustreza. V to kategorijo sodi 51 ČN, ki ne dosegajo predpisane kakovosti iztoka glede na Uredbo ES 2020/741 za vsaj enega od spremljanih parametrov. Večinoma gre za male ČN. Za te naprave bi bil potreben največji vložek v izboljšanje kakovosti čiščenja, uvedbo dezinfekcije in razširitev monitoringa, zato uporaba te POV ni prednostna. Tudi tu ne smemo izvzeti lokalnih značilnosti, saj bi ekonomska analiza lahko pokazala upravičenost nadgradnje čiščenja in uporabe POV (Slovenske gorice).

3.2 Vplivi na okolje, tla in zdravje

Poleg ekonomskih in okoljskih koristi uporaba POV predstavlja tudi tveganja, saj lahko povzroči povečanje slanosti tal, prenos patogenih mikroorganizmov in novodobnih onesnaževal

v tla in prehranjevalno verigo. Prenos patogenih mikroorganizmov pomeni povečano tveganje za parazitske, virusne in bakterijske bolezni tako za kmetovalce, ki so v stiku s POV kot tudi za končne uporabnike zaradi uživanja pridelkov ali krme, namakane s POV. Rezultati študij doma in po svetu kažejo na povečevanje elektroprevodnosti tal, povečanje mikrobiološke aktivnosti in rodovitnosti tal ter potencialno akumulacijo novodobnih onesnaževal in težkih kovin. Kljub delnemu prenosu onesnaževal iz tal na užitne dele rastlin, pa več študij navaja minimalno tveganje za zdravje ljudi (npr. Christou in sod., 2017). Tveganjem se lahko izognemo oz. jih obvladujemo tudi z vzpostavitvijo načrta upravljanja s tveganji, ki mora biti zakonsko predpisan (osnovna izhodišča so podana v Uredbi ES 2020/741).

3.3 Izhodišča za sistemski pristop

Pri pripravi zakonodaje in sistemskega pristopa za varno uporabo POV moramo izpostaviti:

(1) Uskladiitev stopnje odstranjevanja hranil glede na potrebe v kmetijstvu. Ponovna uporaba POV prispeva tudi h kroženju hranil iz odpadne vode, saj del hranil ostane v POV in se lahko ponovno uporabi prek fertigacije. Prilagajanje potrebam v kmetijstvu je možno z ustreznim sodelovanjem med upravljavci objektov za predelavo vode in končnimi uporabniki. Ponovna raba hranil iz odpadne vode prispeva h krožnemu gospodarstvu in zmanjšani uporabi mineralnih gnojil. Upravljavci objektov za predelavo vode morajo prav tako zagotoviti ustrezno odstranjevanje predpisanih onesnaževal. Pri tem je v podporo tudi prenovljena direktiva EU o čiščenju komunalne odpadne vode (91/271/EGS), ki zahteva višje standarde čiščenja, med drugim tudi odstranjevanje novodobnih onesnaževal za večje ČN.

(2) Jasna opredelitev odgovornosti upravljavca ČN in uporabnika POV. Dodatna obdelava se lahko vrši na sami ČN ali pa v dodatnem objektu za predelavo vode, ki pa morata biti na isti fizični lokaciji. Upravljalec ČN in upravljalec objekta za predelavo vode za ponovno uporabo mora biti isti pravni subjekt.

(3) Priprava ustreznega načrta obvladovanja tveganj. Uredba o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode članicam narekuje pripravo načrta obvladovanja tveganj, ki, glede na Prilogo II Uredbe ES 2020/741, obsega 11 ključnih elementov: opis sistema ponovne uporabe; definiranje vključenih strani, vlog in odgovornosti; ugotavljanje nevarnosti; identifikacija ogroženih populacij in okolja ter poti izpostavljenosti; ocena tveganj za okolje ter zdravje ljudi in živali; dodatne zahteve spremljanja; preventivni ukrepi, sistem nadzora kakovosti; sistem za spremljanje stanja okolja; vzpostavitev protokolov za upravljanje incidentov in izrednih razmer; ter mehanizmi koordinacije.

4 SKLEPI

Pri izvajanju sistemskega pristopa in izboru prioritetenih območij je potrebno upoštevati:

- potrebo po količini in kakovosti POV za namakanje za vsako lokacijo glede na tip kmetijskih rastlin;
- količino in kakovost POV iz obstoječih ČN in lokacije iztokov POV;
- dostopnost oz. bližino med iztokom POV in kmetijskimi površinami za namakanje ter transport POV do mesta uporabe ali skladiščenja;
- potrebne nadgradnje čiščenja za doseganje standardov ali prilagoditve čiščenja za omogočanje fertigacije;
- druge možne načine ponovne uporabe POV (namakanje urbanih zelenih površin, kot procesna voda itd.);
- socio-ekonomsko analizo.

ČN Koper in ČN Dragonja, ki smo ju v prispevku izpostavili, se lahko izbereta kot prva pilotna primera ponovne rabe POV za namakanje. ČN ležita v Slovenskem primorju, kjer najbolj

primanjkuje vodnih virov. Prav tako občina Koper išče alternativne vodne vire za kmetijstvo. Po uvedbi rabe POV na pilotnih območjih sledi implementacija namakalnih sistemov za velike ČN iz kategorije III. V ruralnih okoljih z razpršeno poselitvijo je možna vzpostavitev manjših (lokalnih) sistemov ponovne uporabe vode tudi z uporabo zelenih tehnologij in manjšimi zadrževalniki. Tako se lahko uredijo manjši sistemi rabe POV v Vipavski dolini, Slovenskih goricah in na Krasu. Za izbrane ČN predlagamo tudi izračun količine razpoložljive POV v primeru skladiščenja vode ali brez ter glede na količinske in kakovostne potrebe izbranih kultur. Poleg tega bi bilo potrebno ovrednotiti prihranke mineralnih gnojil glede na vsebnost dušika in fosforja na iztokih izbranih ČN. Sheme ponovne rabe POV morajo obravnavati tudi družbeno odgovorno in vključiti druge deležnike kot so npr. potrošniki in si prizadevati za širši družbeno soglasje. Eden glavnih izzivov pri tem je identificirati vse vključene deležnike in jih seznaniti z njihovo vlogo in odgovornostmi v procesu. Informirano znanje vodi do soglasja – nujnega za lokalno sprejemljivost, ki zagotavlja dolgoročno kontinuiteto.

5 LITERATURA

- Christou, A., Papadavid, G., Dalias, P., Fotopoulos, V., Michael, C., Bayona, J.M., Pí na, B., Fatta-Kassinos, D. 2019. Ranking of crop plants according to their potential to uptake and accumulate contaminants of emerging concern. *Environ Res* 170, 422–432. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.048>.
- Drechsel P., Qadir M., Galibourg D. 2022. The WHO Guidelines for Safe Wastewater Use in Agriculture: A Review of Implementation Challenges and Possible Solutions in the Global South. *Water* (Switzerland), 14(6). Scopus. <https://doi.org/10.3390/w14060864>
- Drev, D., Meljo, J., & Mohorko, T. (2012). Možnost uporabe očiščene odpadne vode za namakanje v kmetijstvu. 53–63. <https://mvd20.com/LETO2012/R7.pdf> (26. dec. 2024)
- Hashem M. S., Qi, X. 2021. Treated Wastewater Irrigation—A Review. *Water*, 13(11), Art. 11. <https://doi.org/10.3390/w13111527>
- Heath, E. 2023. Letno poročilo UPTAKE projekta: »Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev novodobnih organskih onesnaževal v rastlinah«. Institut „Jožef Stefan“. <http://library.ijs.si/> (26. dec. 2024)
- Istenič D., Železnikar Š., Radinja M., Cvejić R., Glavan M. 2023. SKLOP B: Potenciali rabe prečiščene odpadne vode v kmetijstvu. V M. Glavan in sod., Izzivi namakanja kmetijskih zemljišč na naravovarstvenih območjih in potenciali rabe prečiščene odpadne vode v kmetijstvu (str. 98- 133), Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: Ljubljana.
- Krishnakumar S., Singh D.S.H., Godson P.S., Thanga S.G. 2022. Emerging pollutants: impact on environment, management, and challenges. *Environ Sci Pollut Res* 29, 72309–72311. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22859-3>
- Navarro I., Chavez A., Barrios J. A., Maya C., Becerril E., Lucario S., Jimenez B. 2015. Wastewater Reuse for Irrigation — Practices, Safe Reuse and Perspectives. InTech. doi: 10.5772/59361
- Ofori S., Abebrese D. K., Růžicková I., Wanner J. 2024. Reuse of Treated Wastewater for Crop Irrigation: Water Suitability, Fertilization Potential, and Impact on Selected Soil Physicochemical Properties. *Water*, 16(3), 484. <https://doi.org/10.3390/w16030484>
- Železnikar, Š. in sod.. 2023. Uporaba prečiščene odpadne vode za namakanje: rezultati in spoznanja iz izvedenih poskusov. V: Čeh, Barbara (ur.), et al. Novi izzivi v agronomiji 2023, zbornik. Laško: Slovensko agronomsko društvo. Str. 222-229.

Izzivi namakanja kmetijskih zemljišč na naravovarstvenih območjih v Sloveniji

Rozalija CVEJČ⁴⁴, Klemen ELER⁴⁵, Cene FIŠER⁴⁶, Tanja ŠUMRADA⁴⁷, Maja ZAGMAJSTER⁴⁸ in Matjaž GLAVAN⁴⁹

Izvilleček

Vzpostavitev namakalnih sistemov je poseg v prostor, ki mora slediti tudi ustreznim naravovarstvenim smernicam. Izkazalo se je, da so navodila in usmeritve o ravnanju investitorjev na teh območjih nedorečeni. Zato je veliko nejasnosti kako vodni odvzemi vplivajo na kakovost in količino vode, ter katere so ustrezne oblike namakanja po pogostosti in rabi tal, ter katere oblike se lahko dovoli na zavarovanih območjih. Namen raziskave je bil pripraviti strokovna izhodišča za morebitno umeščanje namakalnih sistemov na kmetijskih zemljiščih na naravovarstvenih območjih s specifičnimi režimi upravljanja za zagotovitev optimalnega sobivanja kmetijske pridelave in varstva narave. Zaradi pomanjkanja znanja bi bilo treba vzpostaviti tarčno usmerjene raziskave učinkov različnih vidikov namakanja na organizme in habitate, kot so nižanje ali višanje vodne gladine, doprinos ali boljši odvzem hranil in spremljanje učinkov namakanja z vidika rabe prostora, rabe vode, gnojenja, količine in kakovosti pridelka in vplivov na okolje (vode, habitati).

Ključne besede: namakanje, kmetijska zemljišča, naravovarstvo, habitati

Challenges of agricultural land irrigation in nature conservation areas in Slovenia

Abstract

The installation of irrigation systems is an environmental intervention that must comply with the relevant nature conservation guidelines. It has been found that the instructions and guidance on how investors should operate in these areas are vague. This raises questions about the impact of water abstraction on water status, the cumulative impact of water abstraction, appropriate irrigation types for the nature conservation areas, irrigation scheduling, mandatory land use type in the irrigation area, and appropriate production practices. The aim of the research was to provide a professional starting points for the possible placement of irrigation systems on agricultural land in nature conservation areas with specific management regimes to ensure optimal coexistence of agricultural production and nature conservation. Due to the lack of knowledge, targeted studies of the effects of different aspects of irrigation on organisms and habitats should be established, such as lowering or raising the water level, contributing to or improving nutrient removal, and monitoring the effects of irrigation in terms of land use, water use, fertilisation, yield quantity and quality, and impacts on the environment (water, habitats).

Keywords: irrigation, agricultural land, nature conservation, habitats

1 UVOD

Na vseh območjih, ki so potencialno primerna za namakanje, je potrebno upoštevati predpise s področja varovanja narave, področja upravljanja voda in načela dobre kmetijske prakse. Glede na prve je potrebno pri umeščanju namakanja upoštevati morebiten vpliv na zavarovane vrste in njihove habitate kot tudi posebne varstvene režime znotraj zavarovanih območij, območij

⁴⁴ Doc. dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: rozalija.cvejic@bf.uni-lj.si

⁴⁵ Doc. dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: klemen.eler@bf.uni-lj.si

⁴⁶ Doc. dr., Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: cene.fiser@bf.uni-lj.si

⁴⁷ Doc. dr., Oddelek za zootehniko, Biotehniška fakulteta, e-pošta: tanja.sumrada@bf.uni-lj.si

⁴⁸ Doc. dr., Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: maja.zagmajster@bf.uni-lj.si

⁴⁹ Doc. dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: matjaz.glavan@bf.uni-lj.si

Nature 2000 in na vodovarstvenih območjih. Od vseh površin, ki so potencialno primerne za namakanje v Sloveniji, jih leži na 37.741 ha oziroma 17,5 % na območjih Natura 2000, od teh je daleč največji delež njiv (85,9 %). Na vodovarstvenih območjih je 42.367 ha oziroma 19 % vseh KZ, primernih za namakanje, od teh je največji delež njiv (90 %).

Vzpostavitev namakalnih sistemov je poseg v prostor, ki mora slediti ustreznim naravovarstvenim smernicam, vendar se je izkazalo, da so navodila in usmeritve o ravnanju investitorjev na teh območjih, nedorečeni. Investitorji se za izdelavo predhodnega mnenja, ki bi jim pomagalo te površine ali izločiti ali na njih predvideti posebne oblike namakanja, obračajo na enote Zavoda RS za varstvo narave (ZRSVN). Pri tem se pojavljajo vprašanja, kako vodni odvzem učinkuje na stanje voda, kakšni so kumulativni učinki vodnih odvzemov, kakšne so ustrezne oblike namakanja, ki se jih lahko predvidi za obstoječe kmetijske površine znotraj naravovarstvenih območij, kako pogosto se sme izvajati namakanje, kakšno rabo tal moramo ohranjati na območju namakanja in katere oblike pridelave naj se na teh območjih dovoli oz. prepove. Namakanje kmetijskih površin se v tem procesu prepozna kot ukrep, ki ima potencialno negativen vpliv na kakovost okolja. Za učinkovito namakanje in obenem učinkovito varovanje narave je potrebno opredeliti in razlikovati območja, ki morajo zaradi varovanja posebnih habitatov in vrst ostati odvisna samo od naravnih padavin, in območja, kjer je smiselna uporaba namakanja za dober izkoristek dodanih hranil, ki zagotavlja kakovosten in stabilen pridelek, hkrati pa preko tega zmanjšuje izgubo hranil v okolje.

Namen naloge je pripraviti strokovna izhodišča za morebitno umeščanje namakalnih sistemov na kmetijskih zemljiščih na naravovarstvenih območjih s specifičnimi režimi upravljanja za zagotovitev optimalnega sobivanja kmetijske pridelave in varstva narave. Namen je analizirati stanje trenutnega poznavanja problematike raziskav na primeru izbranih organizmov in habitatov ter oblikovati smernice za nadaljnje ukrepe, potrebne za morebitno umeščanje namakalnih sistemov na naravovarstvenih območjih tako, da se ohranja ali izboljšuje biotsko pestrost, kakovost vode in zdravje tal.

2 MATERIAL IN METODE DELA

2.1 Prostorska analiza

V tem segmentu dela smo ocenili potencialne površine, primerne za namakanje, ki ležijo v varovanih območjih narave. Gre za najširši potencial površin na varovanih območjih, vendar se bo realno namakanje izvajalo na manjših površinah, a je prostorska analiza lahko vodilo za prihodnje regionalne ali lokalne analize potencialne primernosti namakanja. Opozarjamo, da ta analiza ne vključuje presoje primernosti namakanja za posamezno varovano območje narave, pač pa opredeljuje lokacije in površine, kjer bi se lahko pojavil interes po namakanju. Potencialna omejitev analize so nekateri prostorski sloji razmeroma manjših natančnosti (npr., razpoložljivost podzemne vode).

Za prostorsko analizo smo uporabili tri ločene prostorske nize podatkov: evidenco rabe tal MKGP, karto naravovarstvenih območij in karto dostopnosti vode glede na vrsto vira in oddaljenosti od kmetijskih zemljišč. Namakanje smo predvideli le na določenih kategorijah kmetijske rabe tal, t.j. na njivah (1100–1190) in intenzivnejših trajnih nasadih (1211, 1212, 1221, 1230). Za varovana območja narave smo upoštevali območja Natura 2000 (SAC, določena po Habitatni direktivi, in SPA, določena po Direktivi o pticah) ter zavarovana območja (parki raznih kategorij ter rezervati) (EK, 1992, EK, 2009). Pri zavarovanih območjih nismo upoštevali točkovnih naravnih vrednot. Za dostopnost vode za namakanje smo uporabili tri prostorske podatkovne nize: karto vodnih zbiralnikov, karto večjih vodotokov, kjer je možen neposredni odvzem vode (upoštevajoč pravno regulativo), ter karto razpoložljivosti talne vode.

Pri slednjem podatkovnem nizu smo upoštevali dve varianti: (a) samo lahko dostopna podzemna voda in (b) lahko ali srednje dostopna podzemna voda. Obe varianti za dostopnost podzemne vode skupaj z območji ob vodotokih in zbiralnikih (tri km pas okrog teh virov vode) so skupaj tvorili podatkovni niz za dostopnost vode za namakanje.

2.2 Pregled ukrepov za zmanjšanje ranljivosti na sušo

Ranljivost kmetijstva na sušo je mogoče zmanjšati z namakanjem, ki predstavlja tehnološki ukrep za nadomestitev vodnega primanjkljaja v tleh, in z izvajanjem praks za povečanje (naravnih) vodozadrževalnih sposobnosti v kmetijskih ekosistemih. Oba pristopa se dopolnjujeta in lahko povečujeta medsebojne učinke, zato ju je na regionalni ravni smiselno izvajati usklajeno. V okviru strokovne naloge smo na podlagi pregleda literature opredelili nabor praks za zmanjšanje ranljivosti kmetijstva na sušo in analizirali, ali in kako je spodbujanje njihovega izvajanja integrirano v obstoječo slovensko kmetijsko politiko (SKP) v okviru Strateškega načrta Skupne kmetijske politike obdobje 2023–2027 (v nadaljevanju SN SKP).

Pri opredelitvi praks za povečanje vodozadrževalni sposobnosti (angl. Natural Water Retention Measures) smo izhajali iz tipologije, ki je bila razvita v okviru istoimenskega evropskega projekta v obdobju 2013–2019 (OIE, 2014). Tipologija prakse razporeja glede na štiri ključne sektorje (kmetijstvo, gozdarstvo, vodarstvo in urbanizem), vendar se njihovi učinki v kmetijski krajini prepletajo. Za potrebe lažjega načrtovanja prihodnjih intervencij v okviru SKP smo se zato odločili pripraviti novo tipologijo z namenom opredelitve praks, ki lahko neposredno pripomorejo k povečanju vodozadrževalnih sposobnosti v kontekstu kmetijskih ekosistemov in pridelave in je smiselna za slovensko okolje.

Naslavljanje cilja za zmanjševanje ranljivosti kmetijstva na sušo smo ocenjevali s kombiniranjem presoje relevantnosti (ustreznosti) ukrepov in njihovih potencialnih pozitivnih učinkov v okviru štirih možnih kategorij:

0. Intervencija ne spodbuja obravnavane prakse oziroma ciljev.
1. Intervencija posredno naslavlja obravnavano prakso.
2. Intervencija spodbuja ohranjanje prakse v podobnem obsegu kot do sedaj.
3. Intervencija spodbuja obnovo oziroma povečanje obsega izvajanja prakse.

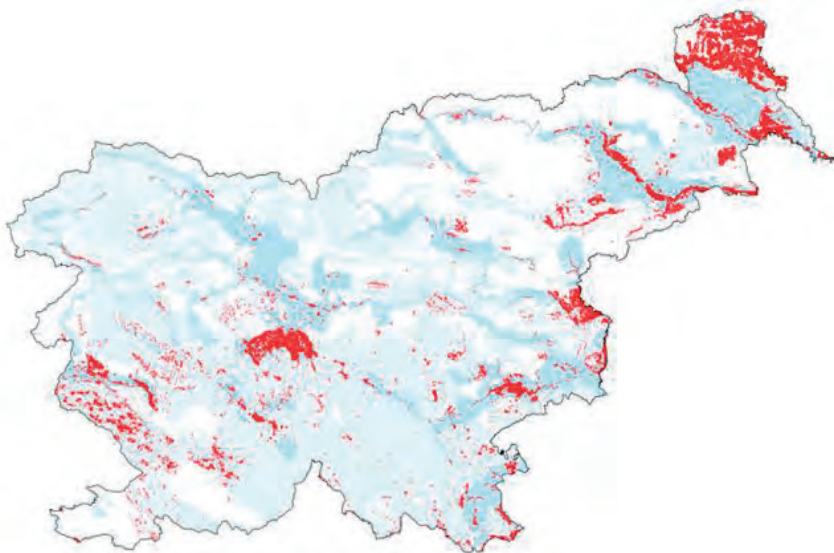
2.3 Posvet z naravovarstvenimi organizacijami

26. 10. 2023 smo med 9:00 in 12:45 uro organizirali strokovni posvet z naslovom »Razvoj namakanja v kmetijstvu in varstvo narave«. Posvet je v celoti potekal preko spleta. Namen posveta je bila podati smernice za razvoj namakalnih sistemov, ko ti delno ali v celoti ležijo znotraj naravovarstvenih območij, in voditi razpravo o združljivosti namakanja z okoljskimi cilji. Udeležence smo povabili k izpolnitvi spletnega vprašalnika za oceno stanja, izkušenj in potreb na področju razvoja namakanja in varstva narave. Dogodek je spremljalo 66 udeležencev, ki predstavljajo zainteresirano strokovno javnost. Udeleženci so prihajali s področnih ministrstev, Zavoda za varstvo narave in njegovih območnih enot, Agencije za kmetijske trge in razvoj podeželja, upravljavcev zavarovanih območij, Javne službe kmetijskega svetovanja, Zavoda za ribištvo, lokalnih skupnosti in okoljskih nevladnih organizacij. Vprašalnik je izpolnilo 33 oseb, med katerimi so prevladovali kmetijski svetovalci (24 %), uradniki s področja varstva narave in okolja (21 %), uradniki s področja kmetijstva in ribištva (21 %), raziskovalci (21 %) in upravljavci zavarovanih območij (9 %).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Potencialne površine za namakanje na območjih varovanja narave

Večje površine s primernimi površinami za namakanje znotraj varovanih območij narave in lahko dostopno vodo so: območje rek Drave in Mure, Vipavska dolina, Šentjernejsko polje, Ljubljansko barje in Kozjansko (slika 1). Omenjene površine skupaj z Goričkim, razpršenimi območji na Krasu, Notranjskem, Dolenjskem, Kočevskem in Belo krajino predstavljajo območja z lahko do srednje dostopno vodo (slika 1).



Slika 1: Primerne površine za namakanje znotraj varovanih območij narave in srednje dostopno vodo.

3.2 Vključevanje praks za zmanjšanje ranljivosti kmetijstva na sušo v slovensko kmetijsko politiko

V okviru SN je predvidenih več različnih pogojenosti in intervencij, ki spodbujajo razvoj namakanja in povečanje vodozadrževalnih sposobnosti kmetijskih ekosistemov. V primerjavi s preteklim programskim obdobjem je razviden napredek pri naslavljanju tega področja, ki se kaže predvsem v večjem naboru intervencij (SOPO, KOPOP; IRP22 in IRP33) in vključitvi spodbud za nekatere prakse, ki so bile do sedaj v okviru slovenske kmetijske politike zastopane relativno slabo. Med njimi je smiselno izpostaviti predvsem ohranjanje rastlinskih in vodnih krajinskih značilnosti in določenih praks v poljedelstvu, ki so za slovensko kmetijstvo še razmeroma nove (ohranitveno kmetijstvo).

V SN je glavni poudarek namenjen ohranjanju obstoječega obsega praks, medtem ko obnove, zlasti na večjih površinah, ali bistveno povečanje obsega izvajanja novih praks ni predvideno. To še posebej velja za prakse na trajnem travninju in krajinske značilnosti. To ugotovitev lahko interpretiramo kot večjo pomanjkljivost aktualnega SN, saj gre pri obnovah za ukrepe, pri katerih se učinki pokažejo šele čez nekaj let, realna izvedba naslednjega SN pa se bo verjetno pričela šele okrog leta 2030. Ob pričakovanih povečanih potrebah za ukrepanje zaradi ekstremnih vremenskih dogodkov, kot so suše in poplave, je zato smiselno razmisliti o reviziji

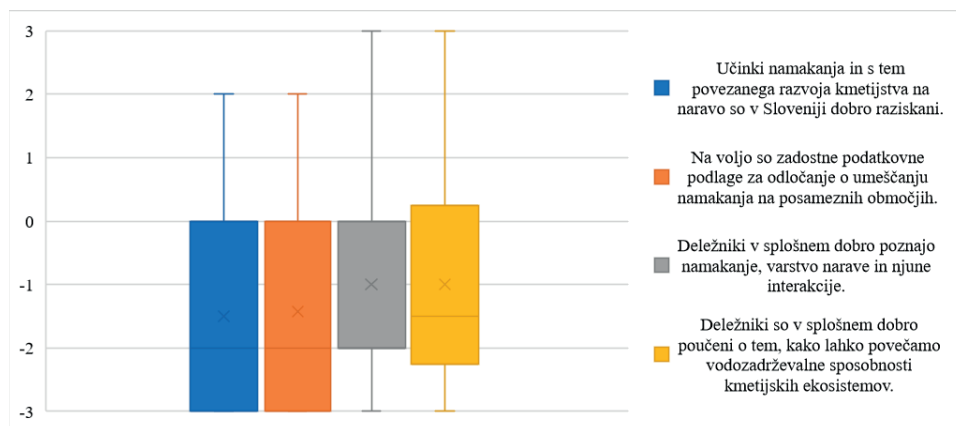
SN in povečanju ambicioznosti pri uporabi na naravi temelječih rešitev za povečanje odpornosti slovenskega kmetijstva na podnebne spremembe.

Druga ključna pomanjkljivost je povezana s pomanjkanjem celovitih pristopov k urejanju območij, ki bi vključevali integracijo ukrepov za razvoj namakanja in tudi spodbujanje obnov narave z namenom povečanja vodozadrževalnih sposobnosti kmetijskih in vodnih ekosistemov v posameznih regijah. Predvidena območja izvajanja naravovarstvenih ukrepov tako na primer večinoma niso usklajena s prioritetnimi območji z vidika pričakovanih primanjkljajev vode v kmetijstvu in razvoja namakanja. To otežuje umeščanje namakalnih sistemov na naravovarstvenih območjih in iskanje morebitnih sinergij ter razreševanje konfliktov med različnimi cilji. V okviru aktualnega SN in širše slovenske kmetijske politike je primanjkljaj mogoče vsaj deloma nasloviti s črpanjem sredstev v okviru nekaterih ukrepov na področju prenosa znanja, kot so na primer projekti EIP, ki omogočajo pilotne preizkuse praks in rešitev na področju upravljanja, v manjši meri pa tudi izvedbo podpornih raziskav. Vendar so ta omejena sredstva in komaj zadoščajo za širjenja znanja v prakso.

3.3 Ocena stanja, izkušenj in potreb pri umeščanju in upravljanju namakalnih sistemov v povezavi z varstvom narave

Večina strokovnjakov, ki je sodelovala pri ocenjevanju stanja in izkušenj, se je že srečala z umeščanjem in upravljanjem namakalnih sistemov na kmetijskih zemljiščih, ki delno ali v celoti ležijo na območjih varovanja narave, pri čemer je šlo najpogosteje za načrtovanje namakalnih sistemov in pridobivanje dovoljenj ter novogradnje in posodobitve na terenu. V manjšem deležu so bili vključeni tudi v načrtovanje ukrepov javnih politik in upravljanje obstoječih namakalnih sistemov, medtem ko se je z raziskovalno podporo in evalvacijami ukvarjalo najmanj vprašanih. Po mnenju udeležencev je v prihodnjih desetletjih pričakovati povečanje konfliktov pri rabi vode za potrebe kmetijstva in varstva narave. Kljub temu je po mnenju udeležencev iskanje skupnih rešitev možno, saj območja varovane narave za razvoj namakanja ne predstavljajo nepremostljive ovire, a gre za kompleksen problem s številnimi potencialnimi učinki. Strokovna stališča za razvoja namakanja na območjih Natura 2000 so glede njivskih površin in trajnih nasadov samo relativno deljena, kar je verjetno povezano s pomanjkanjem raziskav. V splošnem se kaže konsenz, da namakalni sistemi na območjih Natura 2000 ne bi smeli vključevati trajnega travinja. Prakse za povečanje vodozadrževalnih sposobnosti kmetijskih ekosistemov so lahko s pomočjo uporabe na naravi temelječih rešitev komplementaren ukrep namakanju, vendar tehničnih ukrepov za dodajanje vode po mnenju večine udeležencev ne morejo v celoti nadomestiti.

Ocenjevali smo tudi trenutno stanje podpornega sistema pri odločanju in kapaciteto deležnikov, tako z vidika raziskanosti in podatkovne podpore kot tudi usposobljenosti za odločanje. Po oceni sodelujočih strokovnjakov je stanje na tem področju slabo (slika 2). Razvidno je, da primanjkuje tako ciljnih raziskav kot tudi podatkov, ki bi omogočali bolj kakovostno in celovito presojo potencialni učinkov namakanja in s tem povezanega razvoja kmetijstva na naravo v Sloveniji. Udeleženci so opozorili na problem pomanjkljivega ocenjevanja kumulativnih učinkov uvedbe namakanja na vodne vire. Izpostavljena je bila potreba po raziskavah o obsegu izvajanja omilitvenih ukrepov in dejanskih učinkov na vodne vire na že vzpostavljenih namakalnih sistemih. Trenutno je v presojah zaradi pomanjkanja raziskav težko ocenjevati prihodnje učinke namakalnih sistemov na naravo. To je pomembno zaradi sprememb temperatur in padavinskih vzorcev, ki so posledica podnebnih sprememb, običajno pa se dovoljenja izdaja za 30 let. Izpostavljena je bila tudi potreba bo večanju usposobljenosti deležnikov, ki so vključeni v proces, in sicer tako na področju namakanja in varstva narave kot tudi praks za povečanje vodozadrževalnih sposobnosti kmetijskih ekosistemov.



Slika 2: Ocena stanja in potreb na področju podpornega okolja za odločanje na področju razvoja namakanja in varstva narave v Sloveniji (-3 sploh se ne strinjam do +3 povsem se strinjam) (n = 21)

4 SKLEPI

Glede na raziskave stanja rabe tehnologije v Sloveniji, zakonodajna izhodišča in izmenjana mnenja podajamo strokovna izhodišča za umeščanje namakalnih sistemov na kmetijskih zemljiščih na naravovarstvenih območjih s specifičnimi režimi upravljanja za zagotavljanje optimalnega sobivanja kmetijske pridelave (namakanja) in narave v Sloveniji:

- pred umeščanjem namakalnih sistemov na zavarovanih območjih je potrebno določiti želeno razmerje rabe tal (njive, travniki, nasadi). Obsežna pridelava v nizkih in visokih tunelih ter plastenjakih in steklenjakih naj se ne vzpodbuja.
- pri umeščanju namakalnih sistemov na zavarovanih območjih, kjer poteka njivska raba in pridelava v nasadih, se priporoča uporaba kapljičnih namakalnih sistemov in stabilnih razpršilcev ter namakalnih ramp, ki naj bi imeli manjši vpliv na populacije ptic. V tem pogledu se odsvetuje uvajanje razpršilcev velikih pretokov in dometov (vodni topovi) in bobenskih namakalnikov, saj lahko močni curki in premikanje namakalne opreme motijo gnezdenje ptic. Namakanje suhih in plosuhih travnikov se ne vzpodbuja. Namakanje košenih mokrih travnikov (svežih in vlažnih travnišč) ter negozdnih močvirij ni priporočljivo razen, če kontroliramo odtok vode (mikro-zadrževanje), kadar je to izvedljivo).
- pri načrtovanju in dimenzioniranju namakalnih sistemov moramo upoštevati, da so zaradi mozaične rabe prostora znotraj sklenjenega območja namakanja tudi območja, ki se jih ne namaka. Temu ustrezno morajo biti dimenzionirani namakalni sistemi in ocenjeni stroški obratovanja in vzdrževanja.
- po zaključku gradnje namakalnega sistema (vkopanju cevi) je potrebno okolico na mestu del vrniti v prvotno stanje.
- na pilotnih obstoječih ali načrtovanih namakalnih sistemih se opredeli in vzpostavi tarčno usmerjene študije učinkov različnih vidikov namakanja na organizme in habitate, kot je nižanje ali višanje vodne gladine, doprinos ali boljši privzem hranil in spremljanje učinkov namakanja z vidika rabe prostora, rabe vode, gnojenja, količine in kakovosti pridelka in vplivov na okolje (vode, habitati).

Razvoj namakanja naj poteka vzporedno s strateškim umeščanjem na naravi temelječih rešitvah za povečanje vodozadrževalnih sposobnosti agro-ekosistemov, ki naj bo prednostno usmerjeno

na ranljiva območja z vidika prilagajanja kmetijstva na podnebne spremembe, na potencialna območja za razvoj namakanja, ki sovpadajo z območji varovanja narave, in na območja, kjer je razvoj namakanja otežen zaradi težjega dostopa do vodnih virov. Uporabo celovitih pristopov je smiselno sistematično podpreti na pilotnih območjih, kar bo omogočilo preizkus novih pristopov pri odločanju, organiziranju deležnikov in praktičnih rešitvah. Predlagamo, da se te smernice razume kot podporo odločanju pri podajanju soglasij, načrtovanju in programiranju politik ter zasnovi in izvedbi dodatnih raziskav. Smernice so živ dokument, ki se ga z novimi dognanji, izkušnjami in opažanji redno posodablja.

5 LITERATURA

- Cvejić R., Eler K., Fišer C., Zagmajster M., Šumrada T., Glavan M. 2023. SKLOP A: Izzivi namakanja kmetijskih zemljišč na naravovarstvenih območjih. V M. Glavan in sod., Izzivi namakanja kmetijskih zemljišč na naravovarstvenih območjih in potenciali rabe prečiščene odpadne vode v kmetijstvu (str. 17- 97), Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: Ljubljana.
- EK, 1992. Direktiva Sveta 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst. Evropska komisija. Pridobljeno iz: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31992L0043> (24. dec. 2024)
- EK, 2009. Direktiva 2009/147/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 30. novembra 2009 o ohranjanju prosto živečih ptic. Evropska komisija. Pridobljeno iz: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0147> (24. dec. 2024)
- OIE, 2014. Protection and efficient use of Fresh Water, Integration of Natural Water Retention Measures in River basin management (NWRM project). Office International de l'Eau. Bruselj, Evropska komisija (<http://nwrn.eu/>).

Optimizacija okoljske in ekonomske trajnosti malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal v kmetijskih povodjih

Matjaž GLAVAN⁵⁰, Miha CURK⁵¹ in Anton PERPAR⁵²

Izvleček

Cilj raziskave je bil preučiti okoljsko-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. Modeliranje z modelom SWAT je pokazalo, da lahko ob izbiri učinkovitih ukrepov zmanjšamo erozijo in vsaj delno povečamo zadrževanje vode, s čimer bi se lahko kmetije učinkoviteje spopadale s posledicami pričakovanih podnebnih sprememb. Rezultati optimizacije so pokazali, da je ekonomsko najbolj učinkovit ukrep v vseh primerih ohranitvena obdelava tal in setev prezimnih dosevkov (ozelenitev). Pri uvajanju ohranitvene obdelave se je 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. Najnižje rangirana ukrepa iz vidika optimizacije sta »robní pasovi na njivah z velikim nagibom«, sledi mu ukrep »obdelava po plastnicah«.

Ključne besede: kmetijsko ukrepi, okoljska učinkovitost, ekonomska učinkovitost, optimizacija

Optimizing the environmental and economic sustainability of small measures for water retention and prevention of soil erosion in agricultural river basins

Abstract

The aim of the research was to examine 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. Modeling with the SWAT model showed that by choosing effective measures, we can reduce erosion and at least partially increase water retention, which would allow farms to effectively cope with the consequences of expected climate change. The results of the optimization showed that the most economically efficient measure in all cases is conservation tillage and sowing of winter crops (greening). When introducing conservation tillage, it is still necessary to be aware that the purchase of the necessary machinery represents a relatively high cost. The choice of combined optimized scenarios leads in some cases to a dilemma, since the effects from the point of view of economy can be very large (some 10 %) and from the environmental efficiency very small (a few %) or vice versa. The lowest-ranked measures from the optimization point of view are "edge strips on fields with a high slope", followed by the measure "cultivation by layers".

Keywords: agricultural measures, environmental efficiency, economic efficiency, optimization

1 UVOD

Z namenom pridobivanja podatkov o okoljski učinkovitosti različnih ukrepov za zadrževanje vode je bil razvit model SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Neitsch in sod., 2011). Sodi v kategoriji polporazdeljenih fizičnih modelov in deluje na različnih časovnih nivojih (dnevno, mesečno, letno), zaradi česar potrebuje velik nabor vhodnih podatkov. Kljub temu, da je pridobitev kakovostnih podatkov, zaradi pomanjkljivega monitoringa voda (mreža meritev pretokov in kakovosti voda je redka, dodatno zbiranje manjkajočih podatkov na terenu), lahko

⁵⁰ Doc. dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: matjaz.glavan@bf.uni-lj.si

⁵¹ Dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: miha.curk@bf.uni-lj.si

⁵² Dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: anton.perpar@bf.uni-lj.si

zahtevno in zamudno opravilo, je njegova prednost v tem, da je bil razvit ravno za modeliranje scenarijev vpliva različnih praks na premeščanje hranil in vode v kmetijskih porečjih. Rezultati modela med drugim vključujejo podatke o količini vode v tleh, o pretokih rek, količinah erodiranega sedimenta in hranil (N in P), kar omogoča direktno ovrednotenje učinkovitosti ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje izpiranja hranil v izbranih porečjih. Model je bil v preteklosti že uporabljen za podobne študije v tujini (Molina-Navarro in sod., 2014; Kouchi in sod., 2017) in Sloveniji (Glavan in sod., 2015; Curk in sod., 2020; Curk in Glavan, 2022).

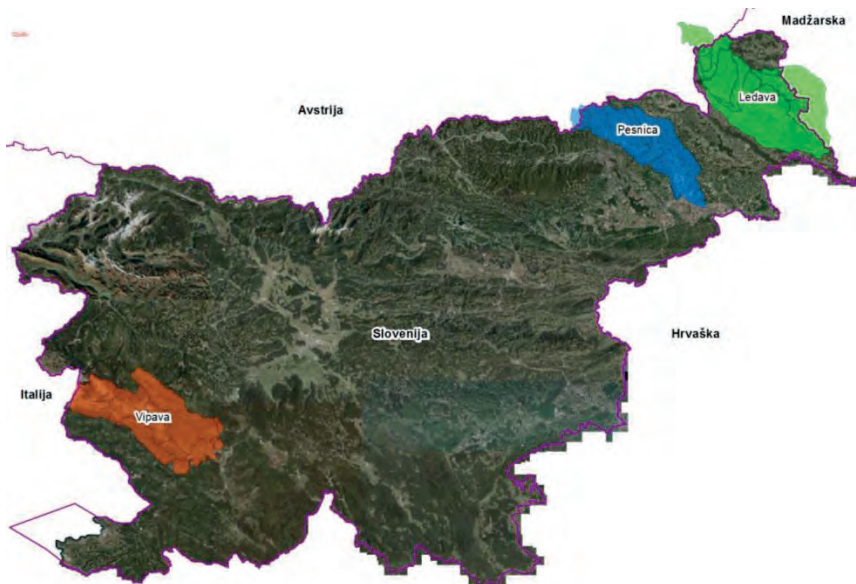
Za potrebe ocene okoljske in ekonomske trajnosti načrtovanih ukrepov smo pripravili primerjavo učinkovitosti ukrepov na podlagi njihovega ekonomskega in okoljskega odtisa na nivoju povodja. Pri tem smo izdelali preglednico učinkovitosti za ukrepe, ki so se izkazali kot najbolj okoljsko (največje zmanjšanje erozije in izpiranja hranil) in ekonomsko (največje izboljšanje pokritja) učinkoviti na posameznem ožjem območju. Kasneje smo jih tudi prostorsko umestili na način, da so kar najbolj prispevali k izboljšanju trajnosti na nivoju celotnih obravnavanih povodij.

Namen raziskave je bil ovrednotiti učinkovitost, možnosti in priložnosti dolgoročnega celovitega upravljanja malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal ob upoštevanju ključnih predpisov kmetijske, okoljske in vodne politike na ravni kmetijskih povodij. Rezultati so bili pridobljeni v okviru projekta L4-2625 CeVoTaK (Pintar in sod., 2023).

2 MATERIAL IN METODE DELA

2.1 Območje raziskave

V raziskavo smo vključili subpanonski (povodji rek Pesnice in Ledave) in submediteranski (povodje reke Vipave) del Sloveniji, saj so le-ta glede na značilnosti podnebja, tal in rabe zemljišč zelo izpostavljena zunanjim dejavnikom, kot so topografija, način kmetijske pridelave ter podnebne razmere (slika 1).



Slika 1: Območja raziskovanja - povodja rek Ledave, Pesnice in Vipave

Za območja je značilna intenzivna kmetijska pridelava, ki je bila omogočena s krajinskim preoblikovanjem (osuševalni sistemi, terasiranje, komasacije). V povodjih rek Pesnice in Ledave prevladujejo govedoreja, prašičereja in poljedelstvo, zato so kmetijske površine obdelovane intenzivno ob uporabi ozkih kolobarjev. V povodju reke Vipave prevladujejo zelenjadarstvo, vinogradništvo ter sadjarstvo. Ugodni pogoji za slednji dve panogi narekujejo obdelavo na nagnjenih zemljiščih, kar pomeni manjšo infiltracijo vode, manjše zadrževanje vode v tleh in podvrženost eroziji tal. Vsa povodja so v spomladansko-poletnem času izpostavljena sušnim dogodkom in v jesensko-zimskem izrazitim padavinskim dogodkom. K neugodnim razmeram še dodatno prispevajo tla z velikim deležem gline, ki so podvržena hitremu površinskemu odtoku, ter melja, ki so podvržena eroziji in izpiranju hranil.

2.2 Postavitev modelov v programu SWAT

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. Obseg modeliranih porečij smo določili kot vodozbirno območje do točk, kjer se izlivajo v večji vodotok (Ledavsko jezero) ali pa se na njih nahajajo merilna mesta za količino in kakovost vode (Miren na Vipavi ter Ranca in Pesniški Dvor na Pesnici). Modeli so bili postavljeni za referenčno obdobje 30 let (od 1990–2021). Pridelovalne prakse, ki smo jih uporabili v modelu, so značilne za posamezno območje, pri čemer smo na njivah upoštevali kolobar glede na tip kmetije (govdorejska – »Gov«, prašičerejska – »Pra« ali poljedelska – »Pol«), ki ji pripada posamezna njiva. Osnovni kolobarji za vse tri tipe kmetij ter rezultati kalibracije in validacije modela so prikazani v poročilu projekta CeVoTaK (Pintar in sod., 2023)

2.3 Scenariji

Prvi sklop scenarijev zajema spremembe kolobarja (vključitev zimskih ozelenitev za zmanjšanje časa golih tal in povečanje zatravitev njiv), drugi pa spremembe obdelave tal (ohranitvena obdelava; vključitev robnih pasov in oranje po plastnicah na njivah z velikim nagibom nad 30 %) (preglednica 1). Pri prvem sklopu smo v osnovne kolobarje za vse tri tipe kmetij (Gov, Pra in Pol), ki niso vključevali prezimnih dosevkov (NePrez) vključili deteljno-travne mešanice za gerke, na katerih bi bila tla sicer tekom zime gola, in tako dobili kolobarje za scenarije s prezimnimi dosevki (PrezP). V primeru scenarija zatravitve njiv z velikim nagibom (Tra) smo kolobar v celoti zamenjali z dvokosnim trajnim travinjem. Drugi sklop je vključeval spremembe obdelave tal, zato smo v scenariju ohranitvene obdelave (Ohr) namesto oranja in dopolnilne obdelave v modelu uporabili le minimalno obdelavo. Scenarija obdelave po plastnicah (Plast) in uporabe rastlinskih varovalnih pasov (VarP) smo v modelu simulirali s spremembami parametrov, ki vplivajo na površinski odtok vode (krivulja odtoka – CN, zadrževalna sposobnost tal za vodo – SOL_AWC, koeficient zakasnitve površinskega odtoka – SURLAG, temperatura taljenja snega – SMTMP).

Rezultate modelov smo uporabili za analizo okoljske učinkovitosti posameznih scenarijev za zadrževanje vode in preprečevanje erozije na ravni posameznih hidroloških odzivnih enot (HOE). HOE so modelne enote, ki so definirane s kombinacijo tal, rabo tal in naklonom zemljišča. Na ta način lahko pridobimo rezultate simulacij za vsako takšno kombinacijo. V ta namen smo za posamezne HOE iz modelne izhodne datoteke output.hru izluščili spremenljivke, s katerimi smo ponazorili zadrževanje vode (SURQ_CNT – povprečni letni površinski odtok vode v mm) ter preprečevanje erozije tal (SYLD – povprečna letna količina sedimenta (t/ha) v površinskem odtoku; NSURQ – povprečna letna količina nitrata (kg/ha) v površinskem odtoku in SOLP – povprečna letna količina topnega fosforja (kg/ha) v površinskem odtoku). Ti podatki

so omogočili izračun razlik med osnovnimi in alternativnimi scenariji, ki so v rezultatih prikazani kot odstotek spremembe iz 30 letnih povprečij s standardno deviacijo.

Preglednica 1: Različni scenariji, uporabljeni za modeliranje.

Scenarij \ Tip kmetije	Govedorejska (Gov)	Prašičerejska (Pra)	Poljedelska (Pol)
Osnovni – brez prezimnih dosevkov	Gov-NePrez	Pra- NePrez	Pol- NePrez
Uporaba prezimnih dosevkov	Gov-PrezP	Pra-PrezP	Pol-PrezP
Zatravitev njiv na velikih nagibih	Gov-Tra	Pra-Tra	Pol-Tra
Ohranitvena obdelava tal	Gov-Ohr	Pra-Ohr	Pol-Ohr
Obdelava tal po plastnicah	Gov-Plast	Pra-Plast	Pol-Plast
Uporaba rastlinskih varovalnih pasov	Gov-VarP	Pra-VarP	Pol-VarP

2.4 Optimizacija

Za potrebe ocene skupne trajnosti načrtovanih ukrepov smo pripravili primerjavo učinkovitosti ukrepov na podlagi njihovega ekonomskega in okoljskega odtisa na nivoju povodja. Pri tem smo izdelali preglednico učinkovitosti za ukrepe, ki so se izkazali kot najbolj okoljsko (največje zmanjšanje erozije) in ekonomsko (največje izboljšanje pokritja) učinkoviti na posameznem ožjem območju. Kasneje smo jih tudi prostorsko umestili tako, da so kar najbolj prispevali k izboljšanju trajnosti na nivoju celotnih obravnavanih povodij. Optimizirani kombinirani in učinkoviti ukrepi za vsak cilj (zadrževanje vode oz. preprečevanje erozije) so bili uporabljeni za zamenjavo osnovnih scenarijev z optimalnim v vsakem povodju in na vseh njivskih površinah. Na primeru vseh treh porečij smo s simuliranim učinkom optimizacij dosegli lokalno izboljšanje stanja tako z vidika zadrževanja vode kot preprečevanja erozije.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Okolijska učinkovitost

Skupni rezultati ugotavljanja okoljske učinkovitosti so pokazali, da imajo lahko predlagani ukrepi za zadrževanje vode in preprečevanje erozije različen vpliv. V primeru površinskega odtoka vode je bil najbolj učinkovit scenarij zatraitve njiv (Tra) in obdelava po plastnicah (Plast). Večjo učinkovitost so alternativni scenariji pokazali pri simulacijah erozije sedimenta v površinskem odtoku z njiv, ki se je pri vseh scenarijih značilno zmanjšala (31–95 %). Ukrep Ohr je imel zaradi ohranjanja strukture tal velik učinek na preprečevanje erozije. Pri rezultatih erozije hranil se je pokazalo, da pride pri obravnavanju Ohr do zanimivega obratnega učinka, saj je povečanje v primerjavi z osnovnim scenarijem najverjetneje posledica spremenjenega načina obdelave tal. Zaradi odsotnosti oranja, ki bi večje količine založnih gnojil zadelalo globlje v tla, so hranila, bližje površini, lažje mobilna ob padavinskih dogodkih. Širši pogled na različne spremenljivke kaže, da vsi ukrepi niso najbolj primerni za hkratno izboljšanje celotne problematike – z izjemo scenarija Tra, ki se je v vseh pogledih izkazal za zelo primerne tako s stališča zadrževanja vode kot preprečevanja erozije.

Preglednica 2: Okoljska učinkovitost scenarijev s standardno deviacijo, prikazana kot razlika v povprečnem letnem površinskem odtoku vode (SURQ_CNT) ter v povprečnih letnih količinah sedimenta (SYLD), dušika (NSURQ) in fosforja (SOLP) v površinskem odtoku z njivskih površin, za različne scenarije

Vipava Scenarij	SURQ_CNT (% sprem.)	SYLD (% sprem.)	NSURQ (% sprem.)	SOLP (% sprem.)
NePrez	0 ±61.8	0 ±99.2	0 ±126.4	0 ±120.0
Ohr	-4.3 ±58.1	-53.6 ±49.1	44.9 ±185.8	44.7 ±166.0
Plast	-28.0 ±64.7	-60.3 ±53.7	-20.7 ±148.9	-0.3 ±161.5
PrezP	-3.4 ±58.5	-46.1 ±54.3	4.1 ±124.1	6.4 ±128.4
Tra	-43.7 ±41.7	-95.1 ±5.9	-98.3 ±1.9	-48.4 ±33.6
VarP	2.1 ±62.3	-31.2 ±88.9	7.7 ±122.7	10.7 ±131.1
Pesnica Scenarij	SURQ_CNT (% sprem.)	SYLD (% sprem.)	NSURQ (% sprem.)	SOLP (% sprem.)
NePrez	0 ±35.5	0 ±116.4	0 ±125.3	0 ±111.4
Ohr	-2.1 ±35.2	-52.0 ±68.5	37.7 ±158.6	31.2 ±127.6
Plast	-15.5 ±31.3	-38.3 ±60.1	-26.5 ±107.9	-5.9 ±102.0
PrezP	-7.7 ±39.3	-39.9 ±85.2	1.2 ±141.8	3.6 ±107.4
Tra	-31.6 ±19.9	-76.8 ±24.0	-98.6 ±1.2	-72.6 ±12.6
VarP	-3.2 ±35.0	-32.1 ±103.8	1.4 ±133.1	23.1 ±135.7
Vipava Scenarij	SURQ_CNT (% sprem.)	SYLD (% sprem.)	NSURQ (% sprem.)	SOLP (% sprem.)
NePrez	0 ±48.5	0 ±130.7	0 ±94.2	0 ±110.1
Ohr	-3.8 ±48.6	-52.9 ±78.4	42.9 ±119.6	71.6 ±196.0
Plast	-27.0 ±40.2	-29.2 ±92.3	-26.6 ±81.6	-13.2 ±103.4
PrezP	-3.9 ±48.4	-37.2 ±93.6	3.4 ±108.1	9.1 ±130.8
Tra	-32.6 ±32.6	-89.8 ±15.2	-94.6 ±5.3	-72.9 ±17.9
VarP	-3.1 ±48.7	-37.0 ±93.8	4.2 ±107.6	8.2 ±128.0

3.2 Ekonomska učinkovitost

Ekonomsko najbolj učinkovit ukrep glede na izračune pokriti je bil v vseh primerih ohranitvena obdelava tal. Z vidika izvajanja ukrepa je to smiselno, saj je za ohranitveno obdelavo tal potrebnih manj prehodov s stroji, posledično pa se zmanjšajo poraba časa in goriva. Pri uvajanju ohranitvene obdelave se je vseeno potrebno zavedati, da predstavlja nakup potrebne mehanizacije razmeroma visok strošek, ki z vidika amortizacije ni smiselna na manjših kmetijah, in bi zahteval stroškovno analizo poslovanja celotne kmetije ne zgolj posameznih njivskih kolobarjev. Pristop izračuna pokritij, ki se uporablja tudi za izračunavanje nadomestil za izvajanje ukrepov kmetijske politike, je pri vseh scenarijih pokazal negativno bilanco. Za primerjavo med alternativnimi in osnovnimi scenariji smo zato uporabili podatke, prikazane kot odstotek spremembe v primerjavi z osnovnim scenarijem. Zaradi poenostavitve izračunov so ti lažje primerljivi med seboj, kar bi bilo zaradi kompleksnosti in različnih dejavnikov vpliva zelo oteženo pri obravnavanju ekonomičnosti celotnih kmetij (četudi vzorčnih). Se je pa takšen pristop v primeru scenarija zatratitve njiv pokazal kot nesmiseln, saj se je pri poljedelskih kolobarjih ekonomičnost izboljšala, pri govedorejskih pa zmanjšala. Z vidika uporabnosti zatratljenih površin je jasno, da bi bile lahko te koristne zgolj govedorejski kmetiji, ne pa tudi poljedelski, a je tak rezultat posledica metodologije, pri kateri je bilo osnovno pokritje pri govedorejskem kolobarju ocenjeno višje kot pri poljedelskem. Rezultat nakazuje, da je uvajanje ekonomsko učinkovitih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije zahtevno in da je pri tem nujno upoštevanje širši krog dejavnikov in razumevanje položaja posameznih kmetij.

Preglednica 3: Ekonomska učinkovitost kot odstotek spremembe v pokritju med osnovnimi in alternativnimi scenariji kmetijske pridelave za različne scenarije

Sprememba v povprečnem ekonomskem pokritju za scenarije						
Scenarij	Osnovni (NePrez)	Prezimni dosevki (PrezP)	Varovalni pasovi (VarP)	Ohranitvena obdelava (Ohr)	Obdelava po plastnicah (Plast)	Zatravitev njiv (Tra)
Govedoreja (Gov)	0 %	34 %	-16 %	-7 %	10 %	-140 %
Poljedelstvo (Pol) (Vipava)	0 %	1 %	-5 %	35 %	10 %	31 %
Poljedelstvo (Pol) (Pesnica in Ledava)	0 %	2 %	-7 %	48 %	10 %	-8 %
Praščereja (Pra)	0 %	-56 %	-6 %	17 %	10 %	6 %

3.3 Optimizacija

V več primerih so se kot ekonomsko in okoljsko optimalni izkazali isti scenariji. To pomeni, da pri določenih ukrepih z optimizacijo bodisi ekonomske bodisi okoljske učinkovitosti dosežemo dober rezultat v obeh pogledih in celo vseh sistemih reje. Kljub temu je to prej izjema kot pravilo, zato je vedno smiselno vrednotenje na posameznem primeru in ne uvajanje generalnih ukrepov brez upoštevanja okoljskih dejavnikov. Optimalnost ukrepa se 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, izkazalo se je, da je bil v porečju Ledave na zemljiščih v nagibu za zadrževanje vode kombinirano najbolj učinkovit scenarij uvedbe prezimnih posevkov na govedorejskih njivah (Gov-PrezP), za preprečevanje erozije pa scenarij ohranitvena obdelave tal na praščerejskih njivah (Pra-Ohr). V porečju Pesnice je bil rezultat drugačen, saj so se kot najbolj učinkoviti za preprečevanje erozije izkazali trije različni ukrepi v odvisnosti od teksturnega razreda tal. Na ilovnatem pesku prezimni posevki na govedorejskih njivah, na meljasti glini na velikem nagibu ohranitvena obdelava na govedorejskih njivah in na zmernem nagibu prezimni posevki na praščerejskih njivah ter na glinasti ilovici ohranitvena obdelava tal na praščerejskih njivah. Vsak teksturni razred znotraj različnih porečij je zato pri uvajanju ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije potrebno obravnavati ločeno, oziroma s čim večjo pozornostjo gleda na specifične dejavnike vpliva.

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

4 SKLEPI

Rezultati optimizacije so pokazali, da je ekonomsko najbolj učinkovit ukrep v vseh proučevanih porečjih primerih ohranitvena obdelava tal in setev prezimnih dozevkov (ozelenitev). 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. Najnižje rangirana ukrepa z vidika optimizacije sta »robni pasovi na njivah z velikim nagibom«, ki mu sledi ukrep »obdelava po plastnicah«. Izvajanje okoljsko in ekonomsko optimiranih učinkovitih ukrepov mora biti ustrezno podprto s ciljnim ukrepi SKP. Predvsem pri izvajanju ukrepa ohranitvena obdelava je pomembno, da imajo kmetje možnost pridobiti tudi podpore za nakup ustrezne specialne mehanizacije, ker so visoki stroški začetne investicije za izvajanje tega ukrepa največja prepoznana slabost. Najpomembnejše priporočilo za zakonodajalce je, da umeščanje ukrepov kmetijske politike ne sme biti izvedeno generalistično in za vso Slovenijo v enakem obsegu. Iz rezultatov je očitno, da obstaja variabilnost med učinkovitostjo ukrepov ne zgolj med porečji, ampak tudi med posameznimi teksturnimi razredi tal. Predvsem pa je pomembno, da za ugotavljanje učinkovitosti ukrepov ne upoštevamo zgolj okoljskih, ampak tudi socio-ekonomske vidike, da z rešitvijo okoljskih težav ne povzročimo težav na področju ekonomičnosti kmetijske pridelave ali socialnega stanja kmetov.

5 LITERATURA

- Curk M., Glavan M. 2022. Assessing and Mapping the Environmental Impact of Best Management Practices in Nitrate Vulnerable Areas, *Water*, 15(13), str. 1–24. doi: 10.3390/w15132364
- Glavan M., Bele S., Curk M., Pintar M. 2020. Modelling impacts of a municipal spatial plan of land-use changes on surface water quality-example from Goriška Brda in Slovenia, *Water (Switzerland)*, 12(1), str. 189. doi: 10.3390/w12010189.
- Glavan M., Pintar M., Urbanc J. 2015. Spatial variation of crop rotations and their impacts on provisioning ecosystem services on the river Drava alluvial plain, *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 5(January), str. 31–48. doi: 10.1016/j.swaqe.2015.01.004.
- Kouchi D. H., Esmaili K., Faridhosseini A., Sanaeinejad S. H., Khalili D., Abbaspour K. C. 2017. Sensitivity of calibrated parameters and water resource estimates on different objective functions and optimization algorithms, *Water (Switzerland)*, 9(6), str. 384. doi: 10.3390/w9060384.
- Molina-Navarro E., Trolle D., Martinez-Perez S., Sastre-Merlin A., Jeppesen E. 2014. Hydrological and water quality impact assessment of a Mediterranean limno-reservoir under climate change and land use management scenarios, *J. Hydrol.*, 509, str. 354–366. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.11.053.
- Pintar M., Glavan M., Zupanc V., Curk M., Pečan U., Noč M., Ferlin J., Žvokelj L., Kajfež-Bogataj L., Črepinšek Z., Pogačar T., Honzak L., Udovč A., Perpar A., Rudolf J., Mihelič R., Zupan M., Gogič S., Tič I., Škerjanec M., Rak G., Griessler Bulc T., Istenič D., Kresnik K., Horvat T., Kapun S., Jerič D., Flisar Novak Z., Mrzlić D., Požnenl A., Ipavec U. in Lešnik M. 2023. Celovito upravljanje malih ukrepov za zadrževanje vode in preprečevanje erozije tal v kmetijskih povodjih (CeVoTaK), L4-2625, Končno poročilo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: Ljubljana; 263 str. <https://www.bf.uni-lj.si/sl/raziskave/raziskovalni-projekti/290/integrated-management-of-small-water-retention-and-soil-erosion-prevention-measures-in-agricultural-catchments--cevotak>

Količina pridelka in kakovost plodov paradižnika, namakanega s prečiščeno odpadno vodo

Nina KACJAN MARŠIĆ⁵³, Anja VE HAR⁵⁴, Špela ŽELEZNIKAR⁵⁵, Doris POTOČNIK⁵⁶, Lidija STROJNIK⁵⁷, Helena ŠIRCELJ⁵⁸, Maja MIKULIČ PETKOVŠEK⁵⁹, Marina PINTAR⁶⁰, Nives OGRINC⁶¹ in Ester HEATH⁶²

Izvleček

Kot drugod po svetu je tudi v Sloveniji voda količinsko omejen naravni vir. Njena najpomembnejša raba je namenjena vodoodskrbi, zato je za namakanje kmetijskih površin smiselno preučiti možnosti alternativnih virov, kot je prečiščena odpadna voda (POV). Uporaba POV za namakanje v kmetijstvu je povezana z določenimi omejitvami in potrebami po preverjanju njene kakovosti in pridelkov, ki jih s tovrstnim vodnim virom namakamo. Namen raziskave je bil proučiti vpliv POV za namakanje na pridelek in kakovost plodov paradižnika. Poskus je potekal na poskusnem polju s 30 lizimetri na območju Centralne čistilne naprave (CČN) Ajdovščina. Za namakanje smo uporabili štiri vodne vire: pitno vodo (PV), POV iz CČN Ajdovščine, ter obogateno PV in obogateno POV iz CČN Ajdovščina z dodano mešanico 28 novodobnih onesnaževal (CEC) v skupni koncentraciji 1 mg/L. Prispevek predstavlja rezultate analiz vsebnosti sladkorjev, organskih kislin, karotenoidov in polifenolnih spojin v plodovih rastlin paradižnika, namakanih s PV (kontrola), POV, PV+CEC ter POV+CEC.

Ključne besede: prečiščena odpadna voda, namakanje, pridelek paradižnika, CEC, metaboliti v plodovih

The yield and fruit quality of tomatoes irrigated with treated wastewater

Abstract

Like everywhere else in the world, water is a limited natural resource in Slovenia. One of the most important uses is water supply, so for irrigation of agricultural land, it makes sense to explore the possibilities of alternative sources, such as treated wastewater (TWW). The use for irrigation in agriculture is associated with certain limitations and requires verification of the quality of POV and crops irrigated with this type of water source. The aim of this study was to investigate the effects of the TWW used for irrigation on tomato yield and fruit quality. The experiment was conducted on 30 lysimeters at the Ajdovščina Central Municipal Wastewater Treatment Plant (WWTP). Irrigation treatments included potable water (PW) and TWW from the WWTP, with additional treatments in which a mixture of 28 contaminants of emerging concern (CECs) was added at a total concentration of 1 mg/L. The study presents analyses of the content of sugars, organic acids, carotenoids and polyphenolic compounds in the fruits of tomato plants irrigated with PW (control), PW+CEC, TWW, and TWW+CEC.

Keywords: treated wastewater, water source, irrigation, tomato yield, CEC, metabolites in fruits

⁵³ Prof. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: nina.kacjan.marsic@bf.uni-lj.si

⁵⁴ Mag. inž. kem. inž., Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Odsek za znanosti o okolju, Institut Jožef Stefan, e-pošta: anja.vehar@ijs.si

⁵⁵ Mag. inž. agr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: spela.zeleznikar@bf.uni-lj.si

⁵⁶ Dr., Odsek za znanosti o okolju, Institut Jožef Stefan, e-pošta: doris.potocnik@ijs.si

⁵⁷ Dr., Odsek za znanosti o okolju, Institut Jožef Stefan, e-pošta: lidija.strojn timer@ijs.si

⁵⁸ Doc. dr, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: helena.sircelj@bf.uni-lj.si

⁵⁹ Prof. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: maja.mikulic-petkovsek@bf.uni-lj.si

⁶⁰ Prof. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: marina.pintar@bf.uni-lj.si

⁶¹ Prof. dr., Odsek za znanosti o okolju, Institut Jožef Stefan, e-pošta: nives.ogrinc@bf.uni-lj.si

⁶² Prof. dr., Odsek za znanosti o okolju, Institut Jožef Stefan, e-pošta: ester.heath@ijs.si

1 UVOD

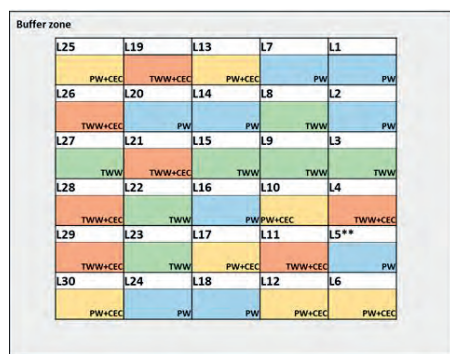
Voda velja za pomemben naravni vir, potreben za razvoj življenja na Zemlji (Christou in sod., 2019). Pričakuje se, da se bodo tveganja v oskrbi z vodo, zaradi rasti prebivalstva, podnebnih sprememb in povečanega povpraševanja po vodi iz različnih sektorjev (kmetijski, gospodarski, industrijski) še povečala (Andrews in sod., 2016; Hashem in Qi, 2021). To predstavlja resno grožnjo kmetijski pridelavi in s tem prehranski varnosti in stabilnosti družbe. Odvisnost kmetijskega sektorja od vodnih virov je zaskrbljujoča z vidika njegove dolgoročne trajnosti in odpornosti. Trenutno se za namakanje porabi 80 % aktiviranih sladkovodnih virov, v bližnji prihodnosti naj bi se to povpraševanje še povečalo (Lahlou in sod., 2021). Uporaba prečiščene odpadne vode (POV) bi lahko pomagala zadovoljiti naraščajoče potrebe po vodi in prispevala k zmanjševanju onesnaževanja okolja (Aziz in Farissi, 2014; Saliba et al., 2018). Za uporabo POV mora biti le-ta ustrezne kakovosti ter mikrobiološko varna. Kljub različnim postopkom čiščenja lahko v njej ostajajo onesnaževala (npr. težke kovine, novodobna onesnaževala (CEC)), kar zmanjšuje možnost njene uporabe za namakanje nekaterih vrst kmetijskih rastlin (Ofori in sod., 2021; Lucia in sod., 2022). Poleg onesnaževal POV vsebuje tudi hranila, kar predstavlja priložnost za zmanjšanje odvisnosti kmetijstva od mineralnih in organskih gnojil. S porabo POV za namakanje se zmanjšuje tudi obremenjevanje vodnih teles s hranili (Lahlou in sod., 2021). Kljub temu, da več naprednih tehnologij čiščenja odpadne vode zagotavlja mikrobiološko varnost, trenutna globalna uporaba POV ostaja zelo omejena, saj je ponovna uporaba < 1 % celotne prečiščene vode (Saliba et al., 2018). Te omejitve so povezane z družbenimi, gospodarskimi in zakonodajnimi dejavniki (Mannina in sod. 2021). Uporaba POV za namakanje po eni strani zagotavlja vnos makrohranil, predvsem dušika, fosforja in kalija, po drugi strani lahko visoka koncentracija raztopljenih ionov, zlasti natrija, magnezija, kalcija in klorida zavira rast rastlin in obremeni rastline s potencialno strupenimi elementi (težkimi kovinami) (Gao in sod., 2021; Raveh in Ben-Gal, 2016).

Literatura o privzemu in usodi CEC iz tal, ki so jih namakali s POV, je zelo omejena, kar povzroča velike vrzeli v znanju. Da bi vsaj delno zapolnili vrzeli v obstoječem znanju o uporabi POV v pridelavi vrtnin, smo izvedli poskus, kjer smo uporabili POV za namakanje paradižnika. Zanimalo nas je, kako dodani CEC, primešani POV in pitni vodi (PV) vplivajo na kakovost plodov paradižnika. Rezultate izmerjenih kakovostnih biokemijskih lastnosti plodov paradižnika prikazujemo v našem prispevku.

2 MATERIALI IN METODE DELA

Poskus namakanja z različno kakovostjo vode (POV in PV) je potekal na poskusnem polju s 30 lizimetri, vkopanimi v tla, na območju CCN Ajdovščina od 17. maja 2022, ko smo posadili sadike paradižnika, do 12. septembra 2022, ko smo zadnjič pobirali plodove. Poskus je bil zasnovan v bločni zasnovi, s štirimi obravnavanji, v šestih ponovitvah. Obravnavanja so bila (slika 1 levo): prečiščena odpadna voda iz CCN (POV) in POV z dodanimi novodobnimi onesnaževali (POV+CEC) ter pitna voda iz vodarne Hubelj, brez (PV) in z dodanimi CEC (PV+CEC). V PV in POV smo dodali 28 novodobnih onesnaževal (9 zdravil, 6 kemikalij, ki se uporabljajo v kozmetiki, 4 bisfenole, 5 hormonov, 2 stimulantov in 2 pesticida), v skupni koncentraciji 1 mg/L ('worst case scenario'). V vsakem lizimetru je bila posajena ena rastlina paradižnika (*Solanum lycopersicum* L.) sorte 'Rally F1' (slika 1 desno). Premer lizimetra je bil 40 cm, razdalja med lizimetri je bila 60 cm. Pred sajenjem smo vse lizimetre pognojili s 5 g N/rastlino, 6,6 g P₂O₅/rastlino in 18 g K₂O/rastlino, kar je glede na sadilno razdaljo (1 rastlina/m²) pomenilo 50 kg N/ha, 60 kg P₂O₅/ha in 280 kg K₂O/ha. Med rastno dobo smo dognojevali še trikrat (konec junija, julija in avgusta), vsakič s 5 g N/rastlino. Za preprečitev infiltracije padavinske vode, ki bi redčila in spreminjala koncentracijo namakalne vode v

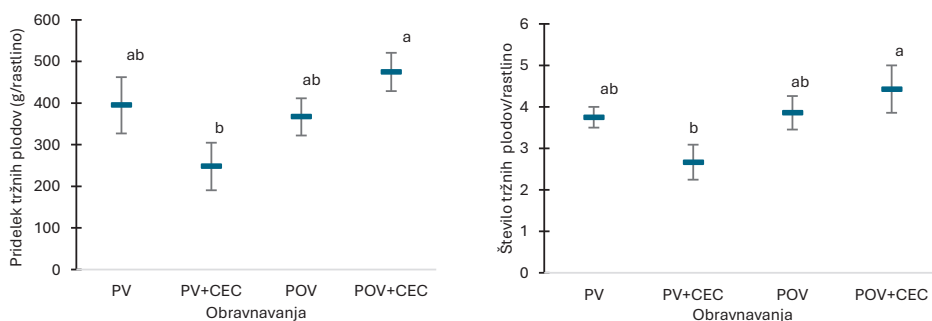
obravnavanjih, smo površino lizimetra zaščitili z 2 mm debelim plastičnim pokrovom. V sredini je bila odprtina za rastlino. Namakali smo po potrebi rastlin, v skladu z referenčno evapotranspiracijo, ki je znašala 621 mm v času trajanja poskusa za vremensko postajo Bilje, ARSO, 2024). V času poskusa je na območju CČN padlo 238 mm padavin (ARSO 2024, vremenska postaja Vipava Pod gradom). Namakali smo s kapljičnim namakalnim sistemom, en kapljač na rastlino. Namakanje je bilo avtomatsko, na osnovi meritev količine vode v tleh, ki so jo merile sonde HydraProbe (Stevens, Inc. Portland, Oregon ZDA), vgrajene v lizimetre na globlinah 15 cm in 45 cm. Ko je vsebnost vode v tleh padla na 4 vol % pod poljsko kapaciteto tal (PK), se je namakanje vklopilo in izklopilo, ko je bila vsebnost vode v tleh 2 vol % nad PK. Zrele plodove paradižnika smo pobirali v treh obdobjih: 29. 7. – 4. 8. (1. termin), 11. 8.–24. 8. (2. termin) in 2. 9.–12. 9. (3. termin).



Slika 1: Shematski prikaz poskusne zasnove (levo) ter rastline paradižnika v lizimetrih (CČN Ajdovščina, julij 2022)(desno)

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

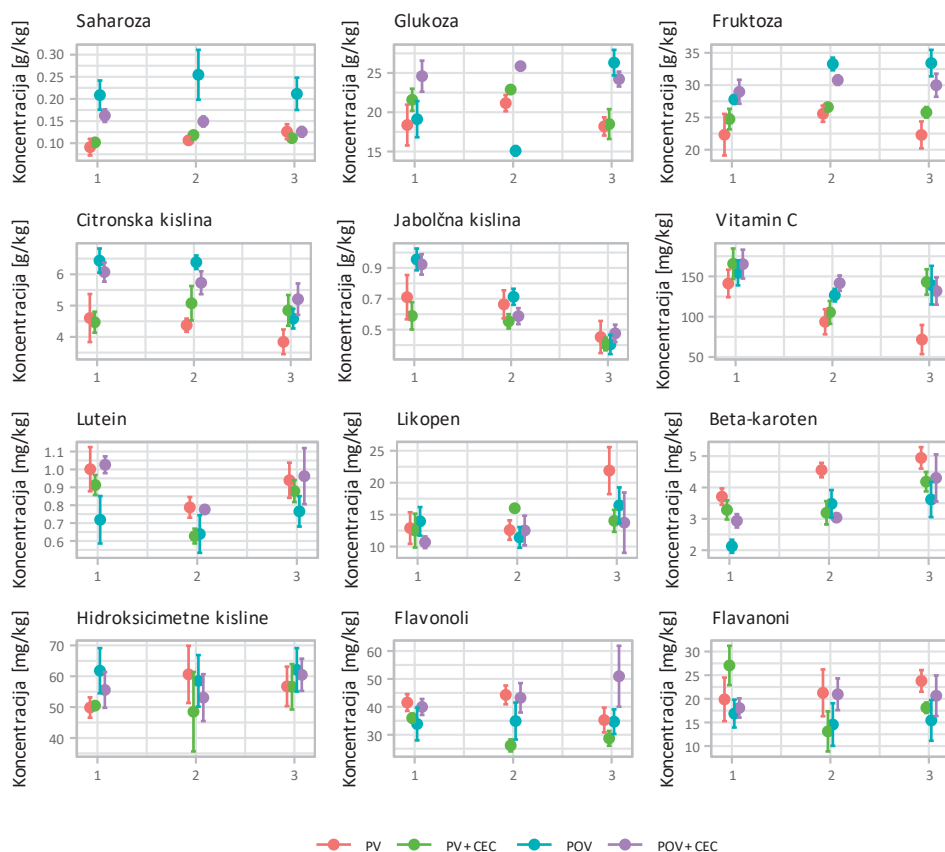
Rastline paradižnika, ki smo jih v lizimetrih namakali s POV in jim dodali CEC so imele značilno večjo maso in število tržnih plodov na rastlino kot rastline, ki smo jih namakali s PV z dodanimi CEC.



Slika 2: Povprečna masa (levo) in povprečno število (desno) tržnih plodov na rastlino paradižnika s pripadajočo standardno napako

Med obravnavanjema PV in POV ni bilo razlik v masi in številu plodov na rastlino. Rezultati raziskav o namakanju rastlin s POV so nekoliko drugačni. Muscarella in sod., (2024), Leonel

in sod. 2022 in Zema in sod. (2012) so ugotovili, da je namakanje s POV povečalo pridelek paradižnika, verjetno zaradi večje vsebnosti hranil, predvsem N in P, glede na pitno vodo. Aziz in Ferissi (2014) sta povečanje pridelka pri namakanju s POV pripisala predvsem vsebnostim lahko dostopnih oblik N (NO_3^- in NH_4^+) v POV. Podobno se v POV fosfor in kalij pojavljata v lahko dostopni obliki, kot ortofosfat in kalijev ion (Ofori in sod., 2021).



Slika 3: Vsebnosti (povprečje s pripadajočo standardno napako) posameznih sladkorjev, organskih kislin, karotenoidov in fenolnih spojin v plodovih paradižnika, pridelanega v lizimetrih; PV – pitna voda; PV + CEC – pitna voda + CEC; POV – prečiščena odpadna voda; POV + CEC – prečiščena odpadna voda + CEC

V plodovih paradižnika smo analizirali vsebnost sladkorjev, organskih kislin (jabolčne in citronske ter askorbinske), karotenoidov (luteina, β -karotena in likopena) in polifenolnih spojin. Povprečne vsebnosti biokemijskih spojin v plodovih paradižnika, glede na vrsto vode za namakanje so prikazane na sliki 3. Namakanje s POV in POV+CEC je povečalo vsebnost sladkorjev, vsebnost citronske kisline pri plodovih prvega termina pobiranja, na vsebnost karotenoidov in fenolnih spojin pa namakanje s POV ni imelo značilnega vpliva. V raziskavi Christou in sod. (2019) poročajo, da izpostavitve rastlin posameznih farmacevtikom (diklofenak, trimetoprim in sulfametoksazol) niso imeli pomembnega vpliva na vsebnost

ogljikovih hidratov v plodovih paradižnika. Uporabljeni kot mešanica CEC v vodi za namakanje pa so povečali vsebnost glukoze. Ugotovili so, da ni bilo mogoče jasno zaznati sinergijskega učinka teh treh farmacevtikov (Christou in sod., 2019), saj so vplivi onesnaževal (CEC) v namakalni vodi na rastline v veliki meri odvisni od rastlinske vrste in fizikalno-kemijskih lastnosti CEC, od vrste tkiva in organa rastline, ki se lahko na isti rastlini, na CEC v namakalni vodi različno odzovejo (Christou in sod., 2016).

V naši raziskavi smo ugotovili manjšanje vsebnosti jabolčne kisline s terminom pobiranja, kar bi lahko pripisali večji zrelosti plodov proti koncu rastne dobe. Z zorenjem plodov se namreč povečuje vsebnost citronske in jabolčne kisline, vendar pa vsebnost jabolčne kisline na prehodu v polno zrelost plodov (full red) močno pade. Takrat se jabolčna kislina kot substrat porablja za reakcije v procesu dihanja ploda, ki je v tem obdobju najintenzivnejše (Batista-Silva in sod., 2018). Med karotenoidi je prevladovala vsebnost likopena, ki je bila med 10 in 25 mg/kg sveže mase, ob upoštevanju 6 % vsebnosti suhe snovi v plodu. Vsebnost β -karotena je bila med 2 in 5 mg/kg sveže mase in se je s terminom pobiranja povečevala. Večja vsebnost likopena in manjša vsebnost β -karotena v plodovih paradižnika nakazuje na polno zrelost plodov, saj sinteza likopena narašča, β -karotena pa pada z zorenjem plodov (Gautier in sod., 2008). Med polifenolnimi spojinami so plodovi vsebovali največ hidroksicimetnih kislin (50–65 mg/kg sveže mase), nekoliko manj flavonolov (25–50 mg/kg sveže mase) in flavanonov (13–27 mg/kg sveže mase). Med hidroksicimetnimi kisljinami so prevladovali derivati kavne kisline, katerih večja vsebnost nakazuje na polno zrelost plodov. Vsebnost klorogenske kisline je bila majhna. Njena koncentracija se med zorenjem plodov manjša in znaša v polno zrelem plodu le 60 % vsebnosti, značilne za zelene plodove. Med zorenjem iz klorogenske kisline nastajajo derivati ali glukozidi kavne kisline (Gautier in sod., 2008). Med flavanoni sta prevladovala naringenin heksozid in kvercetin 3-O-rutinozid, med flavonoli pa kemferol heksozid in rutinozid. Namakanje s POV, z ali brez dodanih CEC, ni imelo vpliva na njihovo vsebnost. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi Christou in sod. (2019) pri namakanju paradižnika z vodo, obogateno s posameznimi ali združenimi farmacevtiki, ki niso imeli vpliva na vsebnost fenolnih spojin v plodovih paradižnika.

4 SKLEPI

Upravljanje z vodo kot naravnim virom je eno od pomembnih kazalnikov trajnostnega razvoja, ki se srečuje z naraščajočimi potrebami in pritiski različnih sektorjev po koriščenju vodnih virov. V tem pogledu je izboljšano ravnanje z odpadnimi vodami pomemben usmerjevalec trajnostnega razvoja, ki hkrati varuje zdravje ljudi, in okolja ter spodbuja krožno gospodarstvo (Christou in sod., (2024). Z naprednimi tehnologijami čiščenja odpadne vode je mogoče pridobiti dovolj kakovostno POV, ki je primerna za varno uporabo v različnih aplikacijah. Ocenjeno je, da bi celotna količina proizvedene POV na svetu zadovoljila skoraj 15 % vseh potreb po vodi za namakanje, s čimer bi bila dana možnost za širitev pridelovalnih območij z možnostjo namakanja kmetijskih rastlin. To bi spodbudilo prehransko varnost, hkrati bi se sprostile enake količine sladke vode za druge namene (FAO, 2017, 2021).

Na območjih, kjer so vodni viri omejeni, uporaba POV predstavlja nov, alternativni vodni vir. Vendar je uporaba POV za namakanje v kmetijstvu povezana z določenimi omejitvami in potrebami po preverjanju kakovosti uporabljene POV in pridelkih, ki jih namakamo. Omejitve uporabe POV ter njene vplive na namakane kulture preverjamo z različnimi raziskavami, med njimi je tudi raziskava, predstavljena v prispevku. V našem poskusu je namakanje s POV, ki smo ji dodali mešanico novodobnih onesnaževal, povečalo pridelek plodov paradižnika v primerjavi z rastlinami, namakanimi s pitno vodo, domnevno zaradi vsebnosti naravno prisotnih makrohranil v lahko dostopni obliki za rastline, ki jih v pitni vodi ni. Vpliva namakanja s POV

z ali brez dodanih CEC na vsebnosti primarnih sekundarnih metabolitov nismo zaznali, razen na povečano vsebnosti glukoze, fruktoze (v vseh terminih pobiranja) in citronske kisline (v prvem terminu). Vsebnosti so bile značilno večje v plodovih rastlin, namakanih s POV in POV+CEC glede na namakanje s PV, kar smo pripisali večji vsebnosti makrohranil v rastlinam dostopni obliki v POV, in hitrejšemu dozorevanju plodov (Gautier in sod., 2008) v primerjavi s pitno vodo, ki hranil ni vsebovala.

Na osnovi predstavljenih rezultatov lahko sklepamo, da POV zagotavlja uporaben vodni vir za namakanje v območjih, kjer so vodni viri omejeni, ponuja potencialne prednosti za rast rastlin, ne vpliva negativno na kakovostne parametre paradižnikovih plodov ter povečuje trajnostno rabo naravnih virov. Ob tem je potrebno izvajati redna preverjanja kakovosti vode ter spremljati vsebnost škodljivih snovi v pridelkih in namakanih tleh ter vpliv uporabljene POV na kakovostne parametre pridelkov.

Zahvala. Raziskava je bila podprta v okviru raziskovalnih programov J2-8162, P4-0013, P4-0085 (ARIS) in projekta L7-4422 (ARIS).

5 LITERATURA

- Andrews, D. M., Robb, T., Elliott, H., Watson, J. E. 2016. Impact of long-term wastewater irrigation on the physicochemical properties of humid region soils: "The Living Filter" site case study. *Agricultural water management*, 178:239-247.
- ARSO. 2024. Referenčna evapotranspiracija in padavine samodejnih postaj (dnevni podatki za postajo v mm od leta 2017). https://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/data/arhiv_etp/ (28. 10. 2024).
- Aziz, F., Farissi, M. 2014. Reuse of treated wastewater in agriculture: solving water deficit problems in arid areas. *Annals of West University of Timisoara: Series of Biology*, 17(2).
- Batista-Silva, W., Nascimento, V. L., Medeiros, D. B., Nunes-Nesi, A., Ribeiro, D. M., Zsögön, A., Araújo, W. L. 2018. Modifications in organic acid profiles during fruit development and ripening: correlation or causation?. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1689.
- Christou, A., Antoniou, C., Christodoulou, C., Hapeshi, E., Stavrou, I., Michael, C., Fatta-Kassinos, D., Fotopoulos, V. 2016. Stress-related phenomena and detoxification mechanisms induced by common pharmaceuticals in alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. *Science of the Total Environment*, 557: 652-664.
- Christou, A., Kyriacou, M. C., Georgiadou, E. C., Papamarkou, R., Hapeshi, E., Karaolia, P., Michael, C., Fotopoulos, V., Fatta-Kassinos, D. 2019. Uptake and bioaccumulation of three widely prescribed pharmaceutically active compounds in tomato fruits and mediated effects on fruit quality attributes. *Science of The Total Environment*, 647: 1169–1178.
- Christou, A., Beretsou, V. G., Iakovides, I. C., Karaolia, P., Michael, C., Benmarhnia, T., Fatta-Kassinos, D. 2024. Sustainable wastewater reuse for agriculture. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1-18.
- FAO. Water for sustainable food and agriculture, Rome, 2017 (FAO, 2017). FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2024
- Gao, Y., Shao, G., Wu, S., Xiaojun, W., Lu, J., Cui, J. 2021. Changes in soil salinity under treated wastewater irrigation: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 255: 106986. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106986>
- Gautier, H., Diakou-Verdin, V., Bénard, C., Reich, M., Buret, M., Bourgaud, F., Poëssel, J.L., Caris-Veyrat, C., Génard, M. 2008. How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance? *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(4): 1241-1250.
- Hashem, M. S., Qi, X. 2021. Treated wastewater irrigation—A review. *Water*, 13(11): 1527.
- Lahlou, F. Z., Mackey, H. R., Al-Ansari, T. 2021. Wastewater reuse for livestock feed irrigation as a sustainable practice: A socio-environmental-economic review. *Journal of Cleaner Production*, 294: 126331.

- Leonel, L. P., Bize, A., Mariadassou, M., Midoux, C., Schneider, J., Tonetti, A. L. 2022. Impacts of disinfected wastewater irrigation on soil characteristics, microbial community composition, and crop yield. *Blue-Green Systems*, 4(2): 247-271.
- Lucia, C., Laudicina, V. A., Badalucco, L., Galati, A., Palazzolo, E., Torregrossa, M., Corsino, S. F. 2022. Challenges and opportunities for citrus wastewater management and valorisation: A review. *Journal of Environmental Management*, 321: 115924.
- Mannina, G., Alduina, R., Badalucco, L., Barbara, L., Capri, F. C., Cosenza, A., Presti, D. 2021. Water resource recovery facilities (WRRFs): the case study of Palermo university (Italy). *Water*, 13(23): 3413.
- Muscarella, S. M., Alduina, R., Badalucco, L., Capri, F. C., Di Leto, Y., Gallo, G., Mannina, G. 2024. Water reuse of treated domestic wastewater in agriculture: Effects on tomato plants, soil nutrient availability and microbial community structure. *Science of the Total Environment*, 928: 172259.
- Ofori, S., Puškáčová, A., Růžicková, I., Wanner, J. 2021. Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of The Total Environment*, 760:, 144026.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144026>
- Raveh, E., Ben-Gal, A. 2016. Irrigation with water containing salts: Evidence from a macro-data national case study in Israel. *Agricultural Water Management*, 170: 176-179.
- Saliba, R., Callieris, R., D'agostino, D., Roma, R., Scardigno, A. 2018. Stakeholders' attitude towards the reuse of treated wastewater for irrigation in Mediterranean agriculture. *Agricultural Water Management*, 204: 60-68.
- Zema, D. A., Bombino, G., Andiloro, S., Zimbone, S. M. 2012. Irrigation of energy crops with urban wastewater: Effects on biomass yields, soils and heating values. *Agricultural Water Management*, 115: 55-65.

Primerjava meritev vsebnosti vode v tleh in matričnega potenciala pri natančnem vodenju namakanja

Luka ŽVOKELJ⁶³, Matic NOČ⁶⁴ in Matjaž GLAVAN⁶⁵

Izvleček

V prispevku so predstavljeni rezultati dvoletnih meritev matričnega potenciala in volumnske vsebnosti vode v tleh. Ti podatki nam služijo pri vzpostavitvi pametnega namakalnega sistema. Spremljanje vsebnosti vode v tleh v omogoča vpogled v dinamiko gibanja vode v tleh, na podlagi katere se lahko določi čas in količino namakalnega obroka. Meritve volumetrične vsebnosti vode in matričnega potenciala, imajo svoje prednosti in slabosti; volumetrične meritve sicer kažejo vsebnost vode, vendar ta voda ni nujno razpoložljiva rastlinam, zlasti v tleh z veliko gline, kjer močna sila vezave vode na talne delce omejuje dostop rastlinam. Nasprotno meritve matričnega potenciala bolje prikažejo rastlinam razpoložljivo vodo, saj odražajo silo, ki jo rastline potrebujejo za njeno črpanje. Rezultati meritev z dveh poskusnih lokacij poudarjajo spremenljivost, ki jo povzročata heterogenost tal in vpliv mikrolokacije vgradnje merilnikov (vpliv skeleta, zračnih žepov na meritve vsebnosti vode v tleh). Ugotovitve kažejo, da je matrični potencial bolj stabilno in zanesljivo merilo za določanje časa namakanja. Za optimalne in strokovno pravilno namakanje je torej potrebno združiti podatke o matričnem potencialu, lastnostih tal in fenološkemu razvoju rastlin.

Ključne besede: namakanje, vodozadrževalne lastnosti tal, matrični potencial, poljedelstvo, volumnska vsebnost vode v tleh

The comparison of soil water content and matric potential measurements in precision irrigation management

Abstract

This paper presents the results of two years of measurements of matric potential and soil water content. These data are being used to help us set up a smart irrigation system. Monitoring the soil water content provides insight into the dynamics of soil water movement, which can be used to determine the timing and amount of irrigation rationing. Volumetric water content and matric potential measurements have their advantages and disadvantages; volumetric measurements do indicate water content, but this water is not necessarily available to plants, especially in soils with a high clay content, where the strong binding force of water on soil particles restricts plant access. In contrast, matric potential measurements give a better indication of the water available to plants, as they reflect the force required by plants to extract it. The results from the two experimental sites highlight the variability caused by soil heterogeneity and the sensitivity of the sensor probe to the micro-location of installation (influence of skeleton, air pockets on soil water content measurements). The results suggest that matric potential is a more stable and reliable measure for determining irrigation timing. Therefore, for optimal and technically correct irrigation, it is necessary to combine information on matric potential, soil properties and plant phenological phases.

Keywords: irrigation, soil water holding capacity, matric potential, arable farming, soil water content

1 UVOD

Podnebne spremembe se vse bolj kažejo v nerednih in nesorazmerno velikih/majhnih padavinah, ki rastline omejujejo pri njihovem razvoju in rasti. V zadnjih letih je namakanje kmetijskih površin tudi pri nas vse pogostejše in pomembnejši agrotehnični ukrep. Na količino

⁶³ Mag. inž. agr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: luka.zvokelj@bf.uni-lj.si

⁶⁴ Mag. med. fiz., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: matc.noc@bf.uni-lj.si

⁶⁵ Doc. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: matjaz.glavan@bf.uni-lj.si

rastlinam dostopne vode v tleh na kmetijskih površinah vpliva več dejavnikov: podnebje (padavine, temperatura, veter, sončno obsevanje), lastnosti tal (tekstura, organska snov), kmetijska rastlina (fenološka faza, LAI, transpiracija, občutljivost na sušni stres) in topografija terena. Vse te dejavnike je potrebno upoštevati pri izvajanju trajnostnega namakanja. S tem na pridelovalno površino v ustreznem času dodamo točno določen, količinsko ustrezen obrok namakanja. Tako preprečimo izpiranje snovi v podtalje in priskrbimo rastlinam dovolj vode za kar se da večji in kakovostnejši pridelek.

Izziv obstoječih namakalnih sistemov je izračun optimalnih namakalnih obrokov z upoštevanjem heterogenosti zemljišč, vseh okoljskih dejavnikov in zahtev po vodi v posameznih fenoloških fazah gojenih rastlin. S tem se lahko optimizira namakanje in izboljša hektarski pridelek. Trajnostno namakanje z upoštevanjem podatkov o vsebnosti vode v tleh v realnem času zagotavlja, da se voda uporablja pravočasno tam, kjer je potrebna. S tem se zmanjšuje prekomerna poraba vode, kar se pogosto dogaja pri tradicionalnih praksah namakanja. Poleg tega se z večjim številom manjših namakalnih obrokov ohranjajo dragoceni vodni viri ter hkrati zmanjšuje tveganje erozije tal in izpiranja hranil. Obeti za uporabo avtomatizacije za pridelovanje kulturnih rastlin so trenutno višji kot kadarkoli v zadnjih petdesetih letih (Kalaimathi in Govindaraj, 2024).

2 MATERIAL IN METODE

2.1 Uporaba merilnikov za spremljanje vsebnosti vode v tleh

Učinkovita raba vode v kmetijstvu zahteva sistematičen pristop k spremljanju ključnih dejavnikov, ki vplivajo na rast in razvoj rastlin. Z uporabo naprednih komunikacijskih tehnologij, je omogočeno zbiranje podatkov o tleh, rastlinah in vremenu, v realnem času (Abioye in sod., 2020). Za vzpostavitev zanesljivega sistema za spremljanje v realnem času se merilnike poveže v brezžično komunikacijsko omrežje ali v okvir interneta stvari (IoT). Brezžična omrežja imajo ključno vlogo pri pametnem spremljanju namakanja, saj povezujejo zaznavanje, obdelavo in prenos. Omrežje sestavljajo medsebojno povezane merilne postaje, opremljene z modulom za brezžično povezavo (Hamami in Nassereddine, 2020).

Spremljanje vsebnosti vode v tleh v območju glavnine korenin rastlin je pomembno, saj pomaga razumeti dinamiko vode v tleh in njeno povezavo s količino namakalne vode in porabo vode s strani rastlin. Za spremljanje dinamike vsebnosti vode v tleh se najpogosteje uporablja merilnike volumetrične vsebnosti vode v tleh ali merilnike matričnega potenciala (Delgoda in sod., 2016). V preglednici 1 so prikazani načini delovanja, prednosti in uporaba merilnikov matričnega potenciala (EQ3) in merilnikov volumetrične vsebnosti vode v tleh (SM150T).

Merilniki za merjenje vsebnosti vode v tleh se razlikujejo po učinkovitosti glede na fizikalne lastnosti tal. V težjih, glinastih tleh se voda močno veže na talne delce, kar lahko omejuje njeno razpoložljivost za rastline kljub visoki volumetrični vsebnosti vode, saj ta ne odraža dejanske razpoložljivosti vode za rastline. Za študije povezav med rastlinami in tlemi primernejšo meritev predstavlja sila vezave vode na talne delce (tenzija). Ta količinsko opredeljuje energijo, ki jo rastline potrebujejo za črpanje vode, kar zagotavlja boljše merilo vodnega stresa rastlin (Muñoz-Carpena in sod., 2004). Tudi ostali avtorji navajajo (Kukal in sod., 2014; Irmak, 2019), da je tehnika namakanja s pomočjo meritev matričnega potenciala ustrežnejši način za namakanje poljščin.

Preglednica 1: Primerjava merilnikov matričnega potenciala tal EQ3 in merilnikov volumetrične vsebnosti vode v tleh SM150T (Muñoz-Carpena in sod. 2004, Bwambale in sod. 2022, Delta-T Devices 2024)

	Način delovanja	Prednosti	Uporaba
Merilnik volumetrične vsebnosti vode v tleh - SM150T	Neposredno meri volumetrično vsebnost vode v tleh in temperaturo tal s patentirano merilno elektroniko.	Natančnost (± 3 vol. % za vodo in $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ za temperaturo). Robusten in primeren za zakopavanje. veliko merilno območje (0 - 100 vol. %)	Uporablja se lahko prenosno za takojšnje odčitavanje vsebnosti vode ali pa se lahko namesti v tla za neprekinjene meritve. Primeren je za izvajanje meritev v različnih substratih v vrtnarstvu in kmetijstvu.
Merilnik matričnega potenciala tal - EQ3 Equitensiometer	Meri vodni potencial (matrični potencial) v območju od 0 do - 1000 kPa. Merilne palice so vgrajene v porozni material (ravnovesno telo), ki ima znano, stabilno razmerje med vsebnostjo vode in matričnim potencialom.	Priročna, natančna in zanesljiva alternativa tenziometrom, napolnjenim z vodo. Ne zahteva vzdrževanja: ni polnjenja, razplinjevanja ali dopolnjevanja. Vgrajeno temperaturno tipalo. Odporen na požar in zmrzal (IP68).	Primeren za statično dolgoročno spremljanje vodnega potenciala v tleh in podlagah. Lahko ga pustite nameščenega tudi v zamrznjenih tleh. Tipične uporabe: raziskave okolja, rastlin, tal, ekologije in geoznanosti ter gradbeništvo in kmetijsko inženirstvo.

2.2 Zasnova poskusa

Za izvedbo poskusa sta bili izbrani parceli Nemščak (NE) in Nova Tabla (NT), njivi z namakalnimi sistemom pivot. Nahajata se v Prekmurju, v zmerno celinskem podnebju severovzhodne Slovenije z vplivom Panonske nižine (subpanonsko podnebje), v krajih Ižakovci, občina Beltinci (NE) in Rakičan, občina Murska Sobota (NT). Na vsaki parceli smo namestili po štiri merilne postaje, po tri na namakanem delu površine (NE1, NE2, NE3, NT1, NT2 in NT3) in po eno na nenamakanem delu (NE4 in NT4). V preglednici 2 so prikazani podatki pedološke analize za vsa merilna mesta.

Preglednica 2: Analize teksture za izbrana merilna mesta na parcelah Nova Tabla in Nemščak

Oznaka vzorca	Globina	Pesek	Melj grobi	Melj fini	Melj skupni	Glina	TRZ
	[cm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
NT1	10-15	36,2	20,4	25,8	46,2	17,6	I
NT2	10-15	42,7	23,7	18,7	42,4	14,9	I
NT3	10-15	42,4	14,4	24,5	38,9	18,7	I
NT4	10-15	35,9	15,2	27,5	42,7	21,4	I
NE2	10-15	14,6	17	38,1	55,1	30,3	MGI
NE3	10-15	21,5	18	32,8	50,8	27,7	GI
NE4	10-15	20,3	21,6	36,9	58,5	21,2	MI

Na parceli NT smo vsem merilnim mestom določili teksturni razred (TR), ki je ilovica. Na parceli NE so tla težja, saj se nahajajo merilna mesta na treh različnih teksturnih razredih meljasto-glinasta ilovica, glinasta ilovica in meljasta ilovica.

Z vsako merilno postajo smo v 30 minutnih časovnih intervalih zbirali podatke o vsebnosti vode v tleh in matričnem potencialu z uporabo štirih merilnikov (leta 2023, 1x EQ3 in 3x SM150T, z izjemo NE1, kjer so bile leta 2023 vgrajene 4x SM150T) in leta 2024, 2x EQ3 in 2x SM150T). Za izvajanje natančnih meritev padavin smo na obeh parcelah namestili pulzne dežemere. Po dva dežemera sta bila nameščena na nenamakanih delih površin (merilni točki NE4 in NT4) in na namakanih površinah (merilni točki NE1 in NT2).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

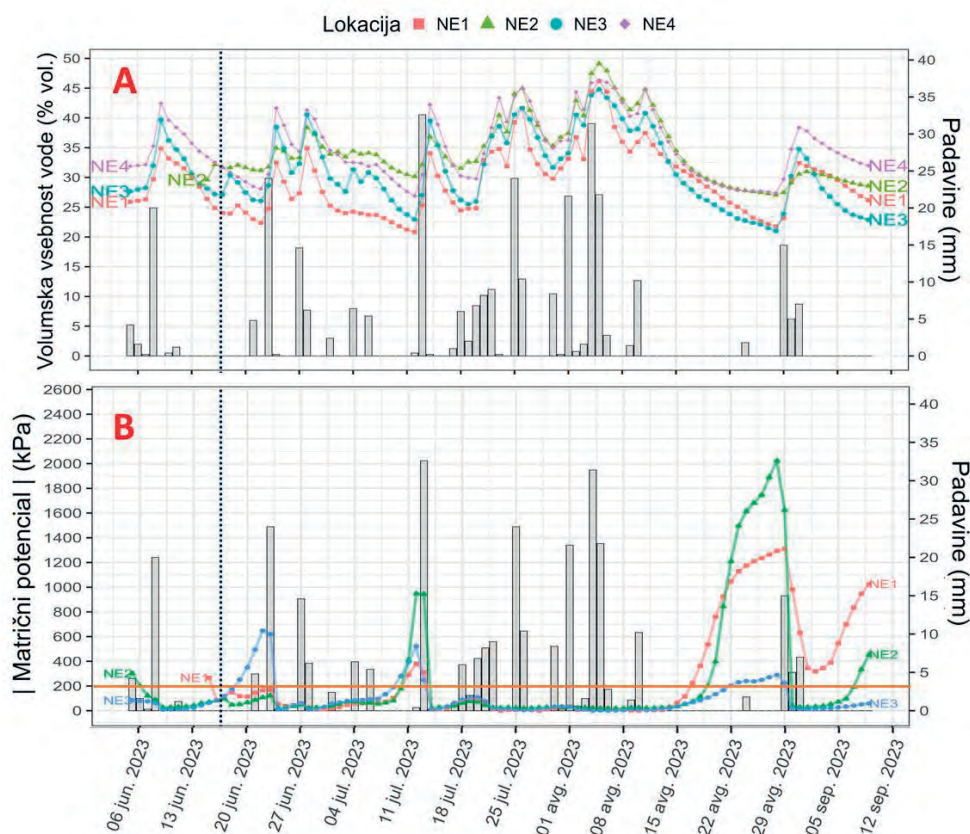
3.1 Parcela Nemščak

Na NE je bila, 30. 4. 2023, takoj po obdelavi tal posejana soja. Žetev soje je bila opravljena 11. 9. 2023, nekaj dni za tem je sledila setev mešanice ozimnih žit za podor. Pridelek soje je znašal 3,4 t/ha. Dne 7. 4. 2024 smo na tej površini posejali koruzo. V rastni dobi se je namakanje izvedlo enkrat, 17. 6. 2023, z obrokom 20 mm vode. Dežemer je ob tem zajel 12 mm padavin, kar predstavlja 40 % izgube. To je več od pričakovane 15 % izgube pivot sistema med namakanjem. Možnost za razliko je visoka stopnja evaporacije vodnih kapljic v zraku ob visokih temperaturah.

V času aplikacije namakalnega obroka, 17. 6. 2023, je na sliki 1 (graf A) razvidno, da vsebnost vode (%) na nenamakani točki NE4 zvezno padala, vsebnost vode (%) v tleh na mestih, kjer je bilo namakano (NE1, NE2 in NE3), pa je nekoliko narasla (5 %). Vidna je tudi variabilnost v meritvah vsebnosti vode v tleh po posameznih delih njive. V obdobju od 9.8.2023 do 27.8.2023 dalj časa ni bilo padavin in je vsebnost vode na vseh štirih merilnih mestih močno upadla. Kljub temu namakanje ni bilo izvedeno.

Da bi ugotovili, kakšno je stanje z vidika rastlinam dostopne vode, smo uporabili meritve matričnega potenciala (slikal graf B). Z njimi lažje primerjamo rastlinam dostopno vodo ne glede na variabilno teksturo tal. Pokazalo se je, da so bile meritve v času, ko je bilo veliko padavin, manj variabilne (v okolici 0 kPa), kot pri meritvah volumetrične vsebnosti vode (slika 1 graf B). V času sušenja tal se je absolutna vrednost matričnega potenciala dvigovala. Namakanje 17. 6. 2023 je bilo uspešno, saj se je matrični potencial obdržal pod vrednostjo pF 3,3 (-200 kPa). Ta vrednost predstavlja točko, do katere je voda rastlinam lahko dostopna. Na uspešnost namakanja nakazuje padec v sili vezave vodne na talne delce pri namakanih merilnih mestih (NE in NE3) in nadaljnje povečevanje sile na nenamakanem delu površine (NE4). Za optimalno preskrbljenost rastlin z vodo, bi bilo potrebno namakanje še 8. 7. 2023 in 17. 8. 2023. V letu 2024 je bilo na parceli Nemščak, namakanje izvedeno trikrat: 22. 6. 2024, 5. 7. 2024 in 13. 7. 2024. Vsakič smo namakali s količino 20 mm. Na slika 2 (graf A) so prikazana dnevna povprečja meritev vsebnosti vode na štirih lokacijah v obdobju od 9. 5. 2024–16. 9. 2024. Večjih vplivov namakanja na količino vode v tleh ni bilo opaziti.

Na sliki 2 (graf B) so prikazane dnevne vrednosti matričnega potenciala. Pri vseh merilnih mestih, razen pri NE1, je prikazano povprečje dveh merilnikov matričnega potenciala. Dne, 11. 6. 2024, je na merilnem mestu NE4 vrednost matričnega potenciala prešla v območje manjše razpoložljivosti rastlinam. To pomeni, da se je zvišala sila vezave vode na talne delce. Z namakanjem ni bilo dodano dovolj vode, da bi bila ta vezana s silo, ki omogoča rastlinam dostop do vode (prb. -200 kPa).

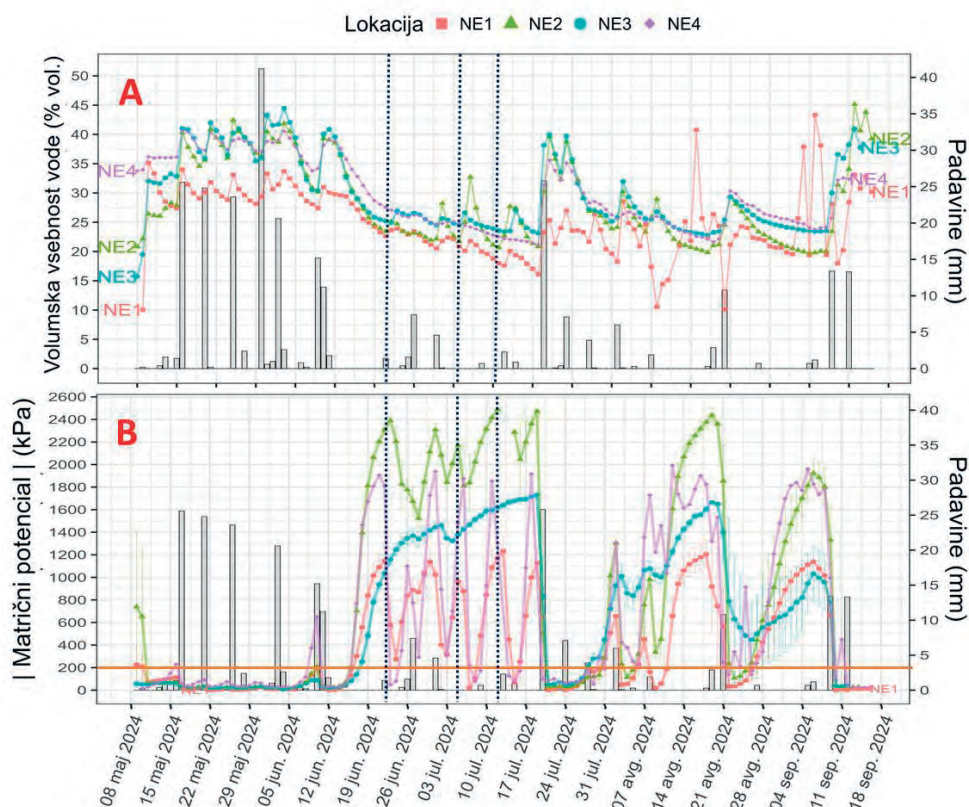


Sika 1: Prikaz povprečja meritev volumnske vsebnosti vode v tleh (vol. %), $n=3$ (A) in rezultati meritev absolutnega matričnega potenciala (kPa), $n=1$ (B), za merilna mesta na površini Nemščak, v sezoni 2023. Sivi stolpci predstavljajo padavine (mm), z navpično črtkano črto je označeno namakanje na dan 17. 6. 2023 in z vodoravno črto je prikazana vrednost absolutnega matričnega potenciala za pričetek namakanja (-200 kPa (pF 3,3)).

20. 7. 2024 je z večjo količino padavin matrični potencial znižal v ugodno območje za cca. 1 teden, vendar se je nato s sušo od, 5. 8. 2024, matrični potencial zopet vrnil v neugodno območje. Takrat namakanje ni bilo več potrebno, saj je koruza prerasla rastno fazo občutljivo na sušni stres. Optimalen čas namakanja bi bil 15. 6. 2024, torej teden pred dejanskim. S tem bi preprečili prekomerno izsušitev tal in bi lahko bil obrok namakanja 20 mm dovolj za držanje sile vezave nad -200 kPa.

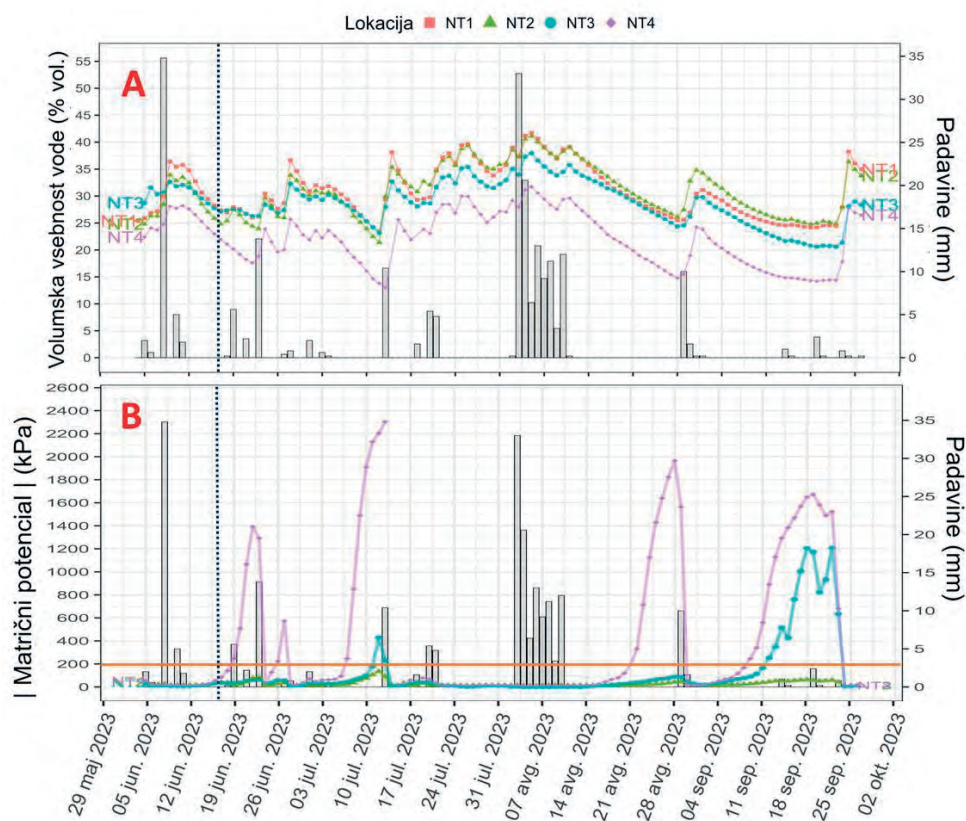
3.2 Parcela Nova tabla

Na parceli Nova tabla je bila 23. 4. 2023 posejana koruza. Žetev koruze je bila izvedena 26. 9. 2023. Pridelek je bil 12,5 t/ha. V tem letu smo na tej parceli namakali le enkrat (20 mm) na dan 17. 6. 2023. Merilno mesto NT4 je bilo nameščeno na nenamakanem območju in ostala tri mesta NT1, NT2, NT3 na namakanem območju.



Slika 2: Prikaz povprečja dnevnih meritev volumnske vsebnosti vode v tleh (vol. %), $n=2$ (A) in rezultati meritev absolutnega matričnega potenciala (kPa) $n=2$ (B), za merilna mesta na površini Nemščak, v rastni dobi 2024. Sivi stolpci predstavljajo padavine (mm), z navpično črtkano črto je označeno namakanje (dne 22. 6. 2024, 5. 7. 2024 in 13. 7. 2024) in z vodoravno črto je prikazana vrednost absolutnega matričnega potenciala za pričetek namakanja (-200 kPa (pF 3,3)).

Na sliki 3 (graf A) so prikazane dnevne meritve vsebnosti vode (vol. %) na pridelovalni površini Nova Tabla. Vidi se, da so meritve vode za merilno mesto NT4 (nenamakano) izrazito bolj variabilne, kot na ostalih treh merilnih mestih. Na dan 17. 6. 2023 je bila po namakanju vidna razlika v spremembi vsebnosti vode v tleh med namakanimi površinami (NT1, NT2 in NT3) in nenamakano NT4. Na namakanih površinah je na ta dan vsebnost vode rahlo narasla, medtem ko je na merilnem mestu NT4 kontinuirno padala. Iz primerjave meritev posameznih merilnih postaj na sliki 3 (graf A) se vidi heterogenost tal, saj NT4 kaže nižjo maksimalno (32,1 vol. %) in minimalno vsebnost vode (12,5 vol. %) pri enaki časovni dinamiki, v primerjavi z lokacijo meritev NT1 (maksimalna vsebnost vode 41,0 vol. %, minimalna pa 23,5 vol. %).



Slika 3: Prikaz povprečja dnevnih meritev volumnske vsebnosti vode v tleh (vol. %), $n=3$ (A) in rezultati meritev absolutnega matričnega potenciala (kPa), $n=1$ (B), za merilna mesta na površini Nova Tabla, v rasti dobi 2023. Sivi stolpci predstavljajo padavine (mm), z navpično črtkano črto je označeno namakanje 17. 6. 2023 in z vodoravno črto je prikazana vrednost absolutnega matričnega potenciala za pričetek namakanja (-200 kPa (pF 3,3)).

Slika 3 (graf B) prikazuje absolutne vrednosti matričnega potenciala (v kPa) za lokacije NT2, NT3 in NT4. V času, ko je bilo na voljo dovolj vode, so bile meritve matričnega potenciala podobne (okrog 0 kPa) in zato manj variabilne. Na podlagi meritev lahko zaključimo, da je bilo namakanje 17. 6. 2024 uspešno, saj se je matrični potencial na lokaciji NT2 in NT3 obdržal pod vrednostjo -100 kPa (pF 3.0). V kolikor bi si za mejo namakanja izbrali -200 kPa (pF 3,3), bi bilo na merilnem mestu NT4 potrebno namakati še 5. 7. 2024, medtem ko bi na merilnih mestih NT2 in NT3 namakanje bilo potrebno šele štiri dni kasneje (9. 7. 2024). Meritve kažejo, da bi bilo namakanje na merilnem mestu NT4 potrebno še 15. 8. 2023 ter med 8. 9. in 11. 9. 2023 na merilnih mestih NT3 in NT4. V letu 2024 se na površini Nova tabla ni izvajalo namakanja, saj ni bilo zaznanih potreb po namakanju na tej površini.

4 SKLEPI

Za natančno določitev obroka namakanja in precizno vodenje namakanja je potrebno združevanje podatkov o potrebah rastlin po vodi v posameznih fenoloških fazah, vremenskih

razmerah in trenutni količine vode v tleh upoštevaje vodozadrževalne sposobnosti tal za vodo. Izziv predstavlja tudi heterogenost tal (t.j. različna tekstura, skeletnost, vsebnost organske snovi, poroznost, itd.). Ta vpliva na meritve vsebnosti vode v tleh in jih je potrebno upoštevati pri interpretaciji rezultatov meritev vsebnosti vode (npr. pri meritvah na mestu NE1, ki ima značilno nižjo vsebnost vode).

Na podlagi meritev na parcelah Nemščak in Nova Tabla v letih 2023 in 2024 lahko trdimo, da je za določitev primerne trenutke za namakanje primernejše merjenje matričnega potenciala v primerjavi z merilniki volumetrične vsebnosti vode v tleh. Na podlagi rezultatov povečana vsebnost vode v tleh (v vol. %) ne prikaže dejanske razpoložljivosti vode za rastline. Prav tako je posamezne lokacije zaradi različne teksture tal težko primerjati. Na variabilnost meritev vsebnosti vode vplivajo heterogenost tal, razlike zaradi posledice mikrolokacije vstavitve merilnikov (npr. vpliv zraka / kamen / korenine), različna konsolidacija tal ob posegu v merilno mesto, ter ostali dejavniki (npr. različna osenčenost tal).

Pri meritvah matričnega potenciala je dejavnik vpliva heterogenosti tal manjši ali nič, meritve pa so v času, ko je vsebnost vode v tleh v okolici poljske kapacitete (v mokrem obdobju), manj variabilne (blizu vrednosti 0 kPa). Čas namakanja se lahko določi s poljubno mejo sile vezave vode na talne delce (npr. pF 3,3 (-200 kPa)), odvisno od željene optimizacije pridelka in razpoložljivih vodnih virov. Na posameznem delu pridelovalne površine pričemo namakati, ko zaznamo, da so tla z vidika matričnega potenciala presegla izbrano mejo. Podatki vsebnosti vode (vol. %) in talne lastnosti na posameznem merilnem mestu lahko služijo za pomoč pri izračunu ustreznega obroka namakanja, saj je iz meritev matričnega potenciala obroka ni mogoče določiti. Pri tem je za boljšo zanesljivost podatkov matrični potencial potrebno meriti v več ponovitvah (večje število merilcev). Alternativni način preciznega namakanja bi bila uporaba večjega števila merilnikov za meritve volumetrične vsebnosti vode, da se zmanjša vpliv variabilnosti posameznih meritev zaradi heterogenosti tal.

5 LITERATURA

- Abioye, E.A., Abidin, M.S.Z., Mahmud, M.S.A., Buyamin, S., Ishak, M.H.I., Rahman, M.K. I.A., Otuoze, A.O., Onotu, P. in Ramli, M.S.A. 2020. A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Comput. Electron. Agric.* 173, 105441. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105441>.
- Bwambale E., Abagale F.K. in Anornu G.K. 2022. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. *Agricultural Water Management*. 260, 107324. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107324>.
- Delgoda, D., Saleem, S.K., Malano, H. in Halgamuge, M.N. 2016. Root zone soil moisture prediction models based on system identification: formulation of the theory and validation using field and AQUACROP data. *Agric. Water Manag* 163, 344–353. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.011>.
- Delta-T Devices. Soil Moisture Measurement Catalogue. https://delta-t.co.uk/wp-content/uploads/2021/02/Soil_Moisture_Measurement_Catalogue_ver_5-1.pdf (15.2.2024)
- Hamami, L. in Nassereddine, B. 2020. Application of wireless sensor networks in the field of irrigation: a review. *Comput. Electron. Agric.* 179, 105782 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105782>.
- Irmak, S., 2019. Perspectives and considerations for soil moisture sensing technologies and soil water content-and soil matric potential-based irrigation trigger values. *Extension NebGuide*, 3045(8).
- Kalaimathi, V. in Govindaraj, P. 2014. Hydroponics. *Emerging Trends in Agricultural Practices*. 103-111. https://www.researchgate.net/publication/377158264_Hydroponics
- Kukal, S.S., Jat, M.L. and Sidhu, H.S., 2014. Improving water productivity of wheat-based cropping systems in South Asia for sustained productivity. *Advances in agronomy*, 127, pp.157-258.
- Muñoz-Carpena, R., Shukla, S. in Morgan, K. 2004. Field devices for monitoring soil water content. *Agricultural and Biological Engineering Department, University of Florida*. BUL343, 2004, 8; 16 str. <https://doi.org/10.32473/edis-ae266-2004>.

Izzivi rastlinske pridelave na območju suhih zadrževalnikov

Nejc GOLOB⁶⁶, Mohammad YONESI⁶⁷, Aljaž PODLESNIK⁶⁸, Špela SRDOČ⁶⁹, Brigita DRENİK⁷⁰, Marko ZUPAN⁷¹ in Vesna ZUPANC⁷²

Izvleček

Suhi zadrževalniki predstavljajo sonaravno infrastrukturo, ki zmanjšuje poplavno ogroženost. Običajno gre za odprte, zelene površine, na katere preusmerimo poplavni val vode. Suhi zadrževalniki so pogosto opremljeni s tehničnimi elementi (pregradami, zapornicami), ki izboljšujejo nadzor nad poplavno vodo in povečujejo volumen zadržane vode. Varujejo predvsem dolvodno ležeča urbana območja, medtem ko so pogosto umeščeni na kmetijska zemljišča izven teh urbanih območij, na katerih naj bi se nadaljevala rastlinska pridelava. Zaradi podnebnih sprememb in s tem povezanih ekstremnih padavinskih dogodkov se pogostost uporabe zadrževalnikov povečuje, sanacijo površin znotraj teh zadrževalnikov pa pogosto prevzemajo uporabniki kmetijskih zemljišč, da bi ohranili pogoje za rastlinsko pridelavo. Na le-te vpliva kakovost poplavnih voda in sedimentov, ki variira in je neposredno odvisna od rabe prostora gorvodno. Izzive, s katerimi se uporabniki soočajo, ponazarjamo s primerom suhega zadrževalnika Brdnikova.

Ključne besede: poplave, suhi zadrževalniki, kmetijska zemljišča, rastlinska pridelava, deležniki, sanacija, podnebne spremembe

Dry retention basins and crop production – past experiences

Abstract

Dry retention reservoirs represent a nature-based infrastructure aimed at reducing flood risk. These are typically open, green areas designed to temporarily divert and store floodwaters. Dry retention reservoirs are often equipped with technical elements (such as barriers and gates) that improve floodwater management and increase the volume of retained water. They primarily protect downstream urban areas but are frequently located on agricultural land outside these urban zones, where agricultural production is expected to continue. Due to climate change and the associated increase in extreme rainfall events, the frequency of reservoir activation is rising. The responsibility for restoring the surfaces within these reservoirs often falls to agricultural land users, who must maintain conditions suitable for crop production. The quality of floodwaters and sediments deposited within the reservoirs varies and is directly influenced by upstream land use. These challenges faced by land users are illustrated by the case of the Brdnikova dry retention reservoir.

Keywords: floods, dry retention reservoir, agricultural land, plant production, stakeholders, restoration, climate change

1 UVOD

Prostor je kompleksen sistem, ki združuje ključne elemente, potrebne za delovanje družbe in okolja. Povečanje urbanizacije predstavlja velik izziv, saj pogosto vodi v izgubo rodovitnih kmetijskih zemljišč, kar neposredno vpliva na prehransko varnost (Martellozzo in sod., 2014). Tako po svetu kot tudi v Sloveniji urbanizacija pogosto poteka na račun kmetijskih površin, pri čemer se jih letno izgubi približno 3000 hektarjev (Martellozzo in sod., 2014; Visković in

⁶⁶ Mag. inž. agr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: nejc.golob@bf.uni-lj.si

⁶⁷ Dipl. inž. agr. (UN), e-pošta: mohammadyonesi@gmail.com

⁶⁸ Dipl. inž. agr. in hort. (VS), e-pošta: aljaz.maurer@gmail.com

⁶⁹ Dipl. inž. agr. (UN), e-pošta: srdoc.spela@gmail.com

⁷⁰ e-pošta: brigita.drenik@gmail.com

⁷¹ Doc. dr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: marko.zupan@bf.uni-lj.si

⁷² Doc. dr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: vesna.zupanc@bf.uni-lj.si

Komac, 2018; Žiberna in sod., 2023). Kljub zakonodaji, kot sta Ustava RS in Zakon o kmetijskih zemljiščih (ZKZ), ki v Sloveniji predvidevata zaščito kmetijskih zemljišč, ter različnimi prostorskimi načrti, ki naj bi sledili ohranjanju rodovitnih kmetijskih zemljišč, se gradnja pogosto izvaja prav na teh zemljiščih, pri čemer je to bolj opazno v bližini že obstoječih naselij (Žiberna in sod., 2023). Izgubljena kmetijska zemljišča je sicer po Zakonu o kmetijskih zemljiščih potrebno nadomeščati (UL RS, ZKZ, 71/11, 3.eb člen), vendar je potrebno skladno z Zakonom o ohranjanju narave (UL RS, ZON, 06/04, 102. člen) nadomeščati tudi izgubljene habitate, ki se umestijo na še preostali odprt prostor, ki so pogosto kmetijska zemljišča.

Izguba in pozidava kakovostnih kmetijskih zemljišč ima pomembne posledice za okolje in kmetijstvo. Izguba odprtega prostora ne vpliva le na prehransko varnost, ampak tudi na hidrološki režim tal ter prostora. Pozidane površine onemogočajo normalno infiltracijo vode v tla, kar povečuje površinski odtok in povezano tveganje za poplave in erozijo (Sofia in Tarolli, 2017). Zaradi pomanjkanja retenzijskega prostora za poplavne vode, ki bi jih sicer absorbirale poplavne ravnice, poplavna voda povzroča škodo na območjih, ki niso predvidena za razlivanje (Novak, 2007). Že okoli 20 % evropskih mest se sooča z ranljivostjo na poplave (Santoro in sod., 2019), kar kaže na precej velik obseg problema. Izguba in pozidava kakovostnih kmetijskih zemljišč ima pomembne posledice za okolje in kmetijstvo. Izguba odprtega prostora ne vpliva le na prehransko varnost, ampak tudi na hidrološki režim tal ter prostora. Pozidane površine onemogočajo normalno infiltracijo vode v tla, kar povečuje površinski odtok in povezano tveganje za poplave in erozijo (Sofia in Tarolli, 2017). Zaradi pomanjkanja retenzijskega prostora za poplavne vode, ki bi jih sicer absorbirale poplavne ravnice, poplavna voda povzroča škodo na območjih, ki niso predvidena za razlivanje (Novak, 2007). Že okoli 20 % evropskih mest se sooča z ranljivostjo na poplave (Santoro in sod., 2019), kar kaže na precej velik obseg problema. Izguba kmetijskih zemljišč posledično vodi v intenzifikacijo rabe preostalih kmetijskih zemljišč, tudi na območjih varovane narave, kar povzroča konflikte z naravovarstveniki, intenzivna raba lahko povzroči degradacijo tal, povečan površinski odtok vode ter večje tveganje za poplave (Sofia in Tarolli, 2017). Podnebne spremembe in s tem povezani vse pogostejši padavinski ekstremi to dodatno povečujejo (Blöschl in sod., 2017), kar je opazno v Sloveniji in po svetu (IPCC, 2022).

Zaradi vse pogostejših ekstremnih vremenskih razmer se v zadnjih desetletjih po svetu intenzivno gradijo protipoplavne zaščite (Jiang in sod., 2018; Angelakis in sod., 2023; Širca, 2015). Tradicionalne sive infrastrukture, kot so betonski nasipi in pregrade, so pogosto invazivne, finančno zahtevne ter slabše sprejete s strani javnosti, zato se vse bolj uveljavljajo sonaravne oziroma zelene rešitve, ki ob ukrepih za upravljanje voda upoštevajo delovanje naravnih in agro-ekosistemov (Santoro in sod., 2019; Glavan in sod., 2020). Za razliko od sive infrastrukture lahko zelena infrastruktura ohranja ali celo izboljšuje ekosistemske storitve nekega območja (Bezák in sod., 2021; Santoro in sod., 2019; Humar in sod., 2019).

Suhe zadrževalnike, katerih namen je zadrževanje visokih vodnih valov, umeščamo zlasti na kmetijska zemljišča, saj je tak poseg cenejši (Wheater in Evans, 2009; Weather in Evans, 2009; Brenomd in sod., 2013). Suhi zadrževalniki so zasnovani kot manjši poseg v okolje, ki zagotavlja zaščito pred poplavami ob ekstremnih padavinskih dogodkih (Bezák in sod., 2021; Wheeler in Evans, 2009). V obdobjih brez poplav so ta območja teoretično primerna za kmetijsko ali drugo rabo. Vendar pride ob poplavnih dogodkih in aktivaciji suhih zadrževalnikov do izpada pridelka, kar posledično povzroči manjši prihodek za kmete. Največji izpad pridelka nastane na zemljiščih s trajnimi nasadi (sadovnjaki, hmeljišča) in pridelavo vrtnin, najmanjši na travinju (Glavan in sod., 2022). Na kmetijsko rabo znotraj zadrževalnikov med drugim vplivajo okolijske spremembe v bližini zadrževalnikov, kompleksnost rabe

prostora gorvodno, ter tudi administrativne omejitve rabe prostora, ki se pogosto pojavijo skozi čas (Johnen in sod., 2022; Reinwarth in sod., 2017; Raška in sod., 2022).

2 MATERIAL IN METODE DELA

2.1 Porečje Glinščice

Potok Glinščica je levi pritok Gradaščice, ki se nahaja v Ljubljanski kotlini. Izvira iz strmih kraških pobočij Toškega Čela (~590 m.n.v.) in teče 8,4 km, preden se v uravnanim, manj prepustnem delu (glejna tla) na območju Viča izliva v Gradaščico. Njeno porečje obsega približno 15,6 km², s priključitvijo urbanega odvodnega sistema okoliških četrti pa se razširi na 19,3 km². Potok ima sredozemski fluvio-nivalni režim z visokimi pretoki spomladi (zaradi taljenja snega in padavin) in jeseni (zaradi obilnega deževja). Urbanizacija poplavnih ravnin v preteklosti in intenzivna regulacija struge Glinščice (Rusjan in sod., 2003) sta povečali tveganje za poplave, kar je vodilo k izgradnji mokrega zadrževalnika Podutik in suhega zadrževalnika Brdnikova (SZ Brdnikova D96/TM: E 458296, N 101572). Slednji je bil leta 2019 prenovljen in razširjen na efektivno kapaciteto 470,000 m³ (Bezak in sod., 2021).

2.2 Urbanizacija

Za analizo zgodovinskega razvoja širšega območja SZ Brdnikova smo uporabili Franciscejski kataster iz 19. stoletja (pridobljen iz portala OPSI) ter uradne podatke o dejanski rabi tal iz leta 2024 (pridobljene od MKGP). Razlike v rabi tal med 19. in 21. stoletjem so velike. Franciscejski kataster uporablja barve in simbole za označevanje rabe tal, medtem ko so sodobni podatki podrobneje razvrščeni v kodirane poligone. Za primerjavo smo podatke poenotili v pet osnovnih kategorij: gozd, obdelovalna tla, travniki in pašniki, pozidana območja ter vodne površine, kar je omogočilo analizo urbanizacije oz. pozidave kmetijskih zemljišč.

2.3 Izkušnje uporabnikov kmetijskih zemljišč

Območje smo obiskali in preverili izkušnje uporabnikov kmetijskih zemljišč. Dokumentirali smo vidne posledice poplavnih razmer na območju zadrževalnika (nanos sedimentov, škoda na kmetijskih rastlinah in zemljiščih, zastajanje vode, ...) ter anketirali uporabnike kmetijskih zemljišč. Metodologija je podrobneje opisana v diplomskem delu Podlesnik, 2023.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Izkušnje uporabnikov kmetijskih zemljišč

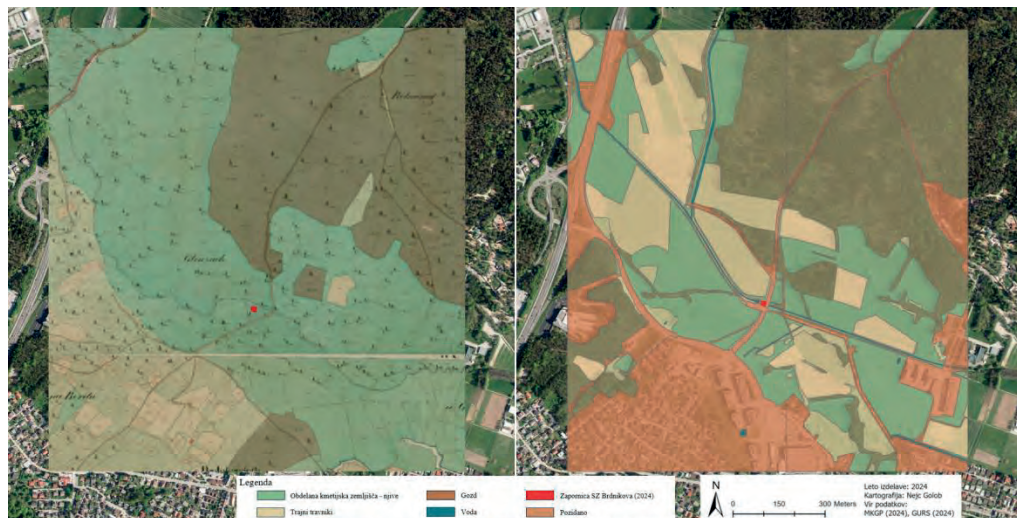
Analiza Franciscejskega katastra in aktualne rabe tal kaže, da je bila raba zemljišč na območju SZ Brdnikova že od nekdaj prilagojena naravnim danostim (slika 1). Rodovitne površine na bolj odcednih tleh (evtrična rjava tla) so bile namenjene njivam, medtem ko so slabše odcedna tla (hipoglej) služila kot mokri travniki in pašniki. Podobna razporeditev ostaja podobna še danes, načrtovana je vrnitev dela kmetijskih zemljišč nazaj v mokre travnike (Puš in sod., 2023). Močno se je spremenila raba izven zadrževalnika, kjer so bili v 80-ih in 90-ih letih 20. stoletja zgrajeni S in Z Ljubljanska obvoznica ter predor za AC Ljubljana – Kranj (2008), hkrati pa poteka nenehna širitev okoliških naselij v mestnih četrtih Brdo, Vič, Šiška in Dravlje. Analiza rabe tal kaže, da so se urbane površine širili predvsem na račun kmetijskih zemljišč. Površina njivskih površin se je na območju porečja Glinščice zmanjšala za 40 %, površina travnikov in pašnikov za skoraj 62 %, medtem ko je površina pozidanih površin narasla za dobrih 1470 %. Večina površin na območju SZ Brdnikova je namenjena kmetijski pridelavi, ki ima na tem območju dolgo tradicijo. Kmetovalci so skozi generacije spremljali proces pospešene

urbanizacije, zaradi česar pogosto nasprotujejo novim ukrepom, ki bi lahko dodatno zmanjšali pridelovalni potencial njihovih kmetij. Pri načrtovanju posodobitev SZ Brdnikova so bili vključeni vsi deležniki, vključno z uporabniki oz. obdelovalci zemljišč, vendar se zaradi vpliva na pridelovalni potencial kmetijskih zemljišč vsi uporabniki s posodobitvijo niso strinjali (Pangano in sod., 2019; Santoro in sod., 2019).

Podatkov o delovanju SZ Brdnikova od upravitelja (Mestna občina Ljubljana) nismo dobili. Glede na pogovore z uporabniki sklepamo, da se pogostost aktivacije povečuje, kar sovpada z močno urbanizacijo zaledja ter naraščanjem pogostosti ekstremnih vremenskih dogodkov. To potrjujejo tako domače (Glavan in Pintar, 2017) kot mednarodne študije, ki poudarjajo povečevanje uporabe suhih zadrževalnikov kot odziv na podnebne spremembe zaradi večjega poplavnega tveganja (Sayers in sod., 2015; Hou in sod., 2022). Bolj pogosta aktivacija SZ pomeni, da je tudi rastlinska pridelava na tem območju pogostejše prizadeta oz. onemogočena.

3.2 Vpliv suhih zadrževalnikov na rastlinsko pridelavo

Ob aktivaciji suhega zadrževalnika je sekundarna raba (kmetijstvo, rekreacija, ribištvo) na teh zemljiščih začasno onemogočena, negativni učinki so predvsem za kmetijsko rabo dalj časa trajajoči (razmočene gospodarske poti, otežena obdelava, pojav bolezni na pridelkih, uničenje pridelkov). Na določenih območjih SZ Brdnikova se pojavlja erozija tal, rastlinski pokrov je redek ali ga sploh ni, pojavljajo se tudi invazivne vrste (japonski dresnik). Iz terenskega pregleda in odgovorov na anketna vprašanja ugotavljamo, da je pridelek zaradi razmočenosti in zamuljenosti pogosto nižji, spravilo je pogosto dolgo časa onemogočeno. Tla so zaradi pogostega poplavljanja in nanosa sedimentov v sušnih razmerah zaskorjena in razpokana (slaba struktura), na poljskih poteh prihaja do posedanja. Nekaj površin je bilo izgubljenih tudi za izgradnjo infrastrukture – parkirišča. Ob terenskih pregledih je bilo opazno razlivanje vode na kmetijska zemljišča (slike 2, 3 in 4).



Slika 1: Prikaz rabe zemljišč v okolici suhega zadrževalnika Brdnikova s Franciscejski katastrom (levo) in danes (desno). Iz slike je razvidno, da je suhi zadrževalnik Brdnikova umeščen v kmetijski prostor. (Vir: MKGP in GURS, 2024)



Slika 2: Aktivirana zapornica SZ Brdnikova. Na levi strani Glinščice se voda, bogata s sedimenti, razliva na sosednji travnik, ki je bil pred posodobitvijo njivske rabe (Golob, 5. 8. 2023)

V poplavnih dogodkih nastaja v rastlinski pridelavi tako neposredna kot posredna škoda (Brenomd in sod., 2013). Neposredna škoda vključuje zakrnelo rast, poleganje ali izgubo pridelka zaradi večdnene zastajanja vode, ter mehanske poškodbe pridelka zaradi sedimentov (Pucciariello in sod., 2014). Posredna škoda predstavlja dolgoročne vplive na produktivnost tal in kmetijsko pridelavo (Pucciariello in sod., 2014). Na slikah 3 in 4 lahko opazimo posredno škodo kot zakrnelo rast pridelkov ter propadanje nekaterih rastlin zaradi zastajanja vode, na območju SZ Brdnikova. Poleg tega so na nekaterih mestih rastline umazane zaradi nanosa sedimenta, kar zmanjšuje tržno vrednost pridelka.



Slika 3 in 4: Zastajanje vode na območju SZ Brdnikova med drugim povzroča zakrnelo rast koruze (levo) in bolj redek rastlinski pokrov na nekaterih mestih (desno) (Podlesnik, 2023)

Kakovost sedimentov in voda, ki jih prinesejo poplave, ni zgolj kratkoročen izziv, temveč je lahko tudi dolgoročen problem. Sedimenti, ki jih voda prinese z gorvodnih območij, so lahko, odvisno od dejavnosti in okolja gorvodno, onesnaženi s toksičnimi elementi, organskimi onesnažili ali fitofarmaceutskimi sredstvi, kar ogroža kmetijsko pridelavo, varnost hrane, kakovost podzemne vode in tudi širši ekosistem (Reinwarth in sod., 2017; Raška in sod., 2022). Grobi delci, kot so pesek in prod, ovirajo setev in košnjo, medtem ko fini delci, kot sta melj in glina, zamašijo talne pore, kar zmanjšuje infiltracijo vode in povečuje zbitost tal (Batey, 2009). To vodi do zmanjšanja produktivnosti tal in otežene obdelave tal. V območjih suhih

zadrževalnikov, kjer so bila tla dlje časa neprimerna za kmetijsko dejavnost, je moč opaziti povečano prisotnost invazivnih vrst, ponekod je opazna tudi naselitev naravovarstveno pomembnih vrst (Humar in sod., 2019), kar ob razglasitvi zaščite dodatno omeji kmetijsko rabo.

3.3 Problematika sanacije zemljišč in ekonomske pomoči kmetovalcem

Za sanacijo površin po poplavnih dogodkih so kmetje – uporabniki zemljišč na območju SZ Brdnikova najpogosteje prepuščeni sami sebi. Grčman in Zupanc (2018) navajata, da v času aktivacije zadrževalnikov kmetijska zemljišča opravljajo služnost v javno dobro, po poplavnem dogodku pa morajo ta zemljišča biti vrnjena v prvotno stanje. Težava nastane, ker kmetijska raba ni omejena le v času aktivacije zaradi zastajanja vode in oteženega dostopa, ampak tudi po dogodku zaradi fizičnih sprememb na tleh zaradi sedimentacije ter vpliva na količino in kakovost pridelka. Zadrževanje poplavnih voda na zasebnih zemljiščih zahteva rešitev vprašanj lastninskih pravic in upravljanja zemljišč, ki jih suhi zadrževalniki prizadenejo po njihovi izgradnji (Glavan in sod., 2016; Glavan in sod., 2020; Pangano in sod., 2019). Ena od ključnih težav je omejena kmetijska raba teh zemljišč, saj ob in neposredno po poplavih pridelovalci ne morejo uporabljati teh površin, obenem pa se soočajo z visokimi stroški sanacije zemljišč (primer Brdnikova). Ekonomske raziskave v Sloveniji kažejo, da bi lahko škoda na najbolj intenzivnih kmetijskih zemljiščih zaradi delovanja suhih zadrževalnikov dosegla tudi večkratnik povprečne letne slovenske plače (Glavan in sod., 2020). Na primeru SZ Brdnikova pozidava zaradi izgradnje SZ povzroča letni izpad pridelka v višini 1.165 €, medtem ko posamezen dogodek Q10 povzroči izpad prihodka v višini skoraj 3.000 € (Glavan in sod., 2012). Ta vrednost bi bila danes, ob upoštevanju inflacije in druginje, še višja. Prav tako je treba upoštevati, da neposredna škoda na pridelku ni edino stroškovno breme kmetovalcev. Ob izgubi pridelka, še posebej pri živinorejskih kmetijah, morajo kmetovalci ta primanjkljaj dokupiti na trgu, kar lahko skupne stroške celo več kot podvoji (Glavan in Pintar, 2017).

Ključnega pomena je ureditev kritja stroškov sanacije. Še v času anketiranja leta 2023 so morali kmetje na lastne stroške sanirati površine znotraj zadrževalnika, kar je predstavljalo znatno finančno breme. Mehanizmi za cenitev škode so bili nepopolni, zato do izplačil odškodnin ni prišlo. Na srečo je pred kratkim prišlo do pomembne spremembe, ki omogoča izplačevanje odškodnin za škodo na kmetijskih rastlinah (izpad ali zmanjšanje pridelka) v suhih zadrževalnikih. Kljub temu je v prihodnje treba preučiti dolgoročne vplive, kot so zmanjšan pridelovalni potencial tal, potencialno onesnaženje ter povečana prisotnost škodljivcev, bolezni in invazivnih vrst. Prav tako trenutni mehanizmi ne pokrivajo izgube časa in stroškov sanacije. Ostaja tudi odprto vprašanje, kam z odvečnim materialom (sedimenti), ki je lahko potencialno onesnažen.

3.4 Aktivno vključevanje deležnikov v proces umeščanja suhih zadrževalnikov v prostor

Pri umeščanju suhih zadrževalnikov v prostor je ključen stalen dialog med deležniki, kot so kmetje, urbanisti, naravovarstveniki in lokalna skupnost (Sayers in sod., 2015). Dialog je nujen že v fazi načrtovanja, med gradnjo in tudi po uspešni umestitvi zadrževalnika, vključno z morebitno sanacijo zemljišč in objektov (Santoro in sod., 2019). Uporabniki kmetijskih zemljišč na območju SZ Brdnikova menijo, da je bilo njihovo mnenje preslišano in so se zato počutili prikrajšane.

Vsaka skupina vplive suhih zadrževalnikov vidi, izkusi oziroma razume drugače, zato je ključno, da so vsa mnenja obravnavana enakovredno. Kmetje so pogosto v slabšem položaju, saj njihova zemljišča nosijo največje breme zaradi izgube pridelka in degradacije tal, s kmetijsko rabo je povezan obstoj kmetij, medtem ko suhi zadrževalniki varujejo dolvodna,

običajno urbana območja – takšno je stanje tudi pri SZ Brdnikova. Pomembno je tudi upoštevati, da so kmetijska zemljišča lahko v lasti različnih lastnikov, kar pomeni, da koristi, ki jih zadrževalniki prinašajo dolvodnim kmetijam, ne odtehtajo nujno negativnih posledic za kmete, katerih zemljišča so znotraj zadrževalnikov. Zato je ključna kvantitativna ocena razmerja med stroški in koristmi vsakega ukrepa na pragu kmetije, da bi našli najustreznejšo rešitev za vse deležnike.

Samo sprejemanje suhega zadrževalnika s strani lokalne skupnosti ter uporabnikov zemljišč na načrtovanem območju suhega zadrževalnika je močno odvisno situacije: od kompleksnosti rabe gorvodno od načrtovanega suhega zadrževalnika, kolikšen del razpoložljivih kmetijskih zemljišč na zadevnem območju zajame ter kako vpliva taka infrastruktura na varovanje preostalih kmetijskih zemljišč pred poplavami. Kljub temu da so suhi zadrževalniki pogosto umeščeni na občinska ali državna zemljišča, pa so, odvisno od obsega padavinskega dogodka, pogosto prizadeta tudi zasebna zemljišča, ki niso neposredno povezana z zadrževalnikom (Glavan in sod., 2020), javno poročanje o škodi na kmetijskih zemljiščih po poplavnih dogodkih pa je skopo (Golob in sod. 2024). Potrebno je razmisliti o načrtovanju suhih zadrževalnikov za varovanje ne le urbanih, temveč tudi intenzivnih kmetijskih območij, ki nam zagotavljajo prehransko varnost.

4 SKLEPI

Suhi zadrževalniki postajajo vse pomembnejši ukrep za preprečevanje poplav, saj so posledice podnebnih sprememb in izguba naravnih razlivnih površin zaradi pozidave povzročili povečano poplavno ogroženost. Suhi zadrževalniki so pogosto umeščeni na kmetijska zemljišča in varujejo dolvodna urbana območja. Primer SZ Brdnikova je pokazal, da so kmetijska zemljišča v času aktivacije zadrževalnika pogosto prizadeta zaradi neposredne kot tudi posredne škode. Pomankljivo urejeno vzdrževanje suhih zadrževalnikov zmanjšuje uporabnost kmetijskih površin, posledice poplav pa morajo večinoma sanirati lastniki kmetijskih zemljišč. Kljub obstoječim mehanizmom za izplačilo odškodnin za škodo, te ne pokrivajo vseh stroškov sanacije, kar predstavlja veliko finančno breme za kmetovalce. Za učinkovitejše upravljanje suhih zadrževalnikov je ključna vzpostavitev enotne podatkovne baze o zadrževalnikih ter krepitev dialoga med vsemi vpletenimi deležniki, kar bi prispevalo k boljši porazdelitvi stroškov in koristi ter večji zaščiti tako kmetijskih kot urbanih območij.

Zahvala. Delo je nastalo v sklopu RSF EUTOPIA projekta Suhi zadrževalniki in rastlinska pridelava.

5 LITERATURA

- Angelakis A.N., Capodaglio A.G., Valipour M., Krasilnikoff J., Ahmed A.T., Mandi L., Tzanakakis V.A., Baba A., Kumar R., Zheng X. 2023. Evolution of Floods: From Ancient Times to the Present Times (ca 7600 BC to the Present) and the Future. *Land*, 12(6):1211, <https://doi.org/10.3390/land12061211>.
- Batey, T. 2009. Soil compaction and soil management - a review. *Soil Use and Management*, 25(4), 335–345, <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x>.
- Bezjak N., Kovačević M., Johnen G., Lebar K., Zupanc V., Vidmar A., Rusjan S. 2021. Exploring Options for Flood Risk Management with Special Focus on Retention Reservoirs. *Sustainability*, 13, 10099, <https://doi.org/10.3390/su131810099>.
- Blöschl G., Hall J., Parajka J., Perdigão R. A. P., Merz B., Arheimer B., ..., Živković N. 2017. Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357(6351), 588–590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.

- Bremond P., Grelot F., Agenais A. L. 2013. Review Article: Economic evaluation of flood damage to agriculture – review and analysis of existing methods. *Costs of Natural Hazards*, 13/10, 2493–2512, <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2493-2013>.
- Glavan M., Cvejić R., Zupanc V., Knapič M., Pintar M. 2020. Agricultural production and flood control dry detention reservoirs: Example from Lower Savinja Valley, Slovenia. *Environmental Science & Policy*, 114, 394–402. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.09.012>.
- Glavan M., Cvejić R., Udovč A., Pintar M. 2012. Prostorska in ekonomsko vrednotenje vpliva Suhih vodnih zadrževalnikov na kmetijstvo. *Zbornik – 23. Mišičev vodarski dan 2012*, <https://mvd20.com/LETO2012/R5.pdf>
- Glavan M., Malek A., Pintar M., Grčman H. 2017 Prostorska analiza kmetijskih zemljišč v zaraščanju v Sloveniji. *Acta agriculturae Slovenica*, 109-2, 261-279, <https://doi.org/10.14720/aas.2017.109.2.10>.
- Glavan M., Pintar M. 2017. Suhi zadrževalniki in nadomestila za škodo zaradi uničenja ali zmanjšanja pridelka na kmetijskih zemljiščih. *Drugi slovenski kongres o vodah*, 135 – 140,
- Glavan M., Udovč A., Pintar M. 2016. Ekonomsko vrednotenje izplačil nadomestil za kmetijstvo na območju suhega zadrževalnika poplavnih voda. *Geodetski vestnik*, 60(4), 717–733, <https://www.geodetski-vestnik.com/si/clanek/10.15292/geodetski-vestnik.2016.04.717-733>
- Golob B., Yonesi M., Podlesnik A., Srdoč Š., Drenik B., Kogovnik M., Zupanc V., Zupan M. 2024. Suhi zadrževalniki in rastlinska pridelava. *Predstavitev rezultatov, festival Uni.Minds*, 14. - 22. oktober 2024,
- Grčman H., Zupanc V. 2018. Odmerjanje odškodnin za poškodbe kmetijskih zemljišč ob njihovi začasni zasedenosti. *Geodetski vestnik*, 62/2, 235-248, <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2017.03.427-440>.
- Hou J., van Dijk A. I. J. M., Beck E. H., Renzullo J. L., Wada Y. 2022. Remotely sensed reservoir water storage dynamics (1984–2015) and the influence of climate variability and management at a global scale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26, 3785–3803, <https://doi.org/10.5194/hess-26-3785-2022>
- <https://podatki.gov.si/dataset/digitalizirano-arhivsko-gradivo-starih-katastrov-si-as-176-si-as-177-si-as-178-si-as-179-si-as-180-s>, (19. 9. 2024)
- Humar N., Šimic J., Kryžanowski A. 2019. Pregrade – dodana vrednost prostoru. *Zbornik – 30. Mišičev vodarski dan 2019, Maribor*, 85-93, <http://www.mvd20.com/mvd30/mobile/index.html#p=1>.
- IPCC, 2022: Povzetek za oblikovalce politik [H.-O. Portner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem (ur.)]. V: *Podnebne spremembe 2022: vplivi, prilagajanje in ranljivost. Prispevek delovne skupine II k Šestemu ocenjevalnemu poročilu Medvladnega odbora za podnebne spremembe* [H.-O. Portner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem, B. Rama (ur.)]. Cambridge University Press. In Press, https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/2023_12-IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers23_VERZIJA%20SLO.pdf.
- Jiang Y., Zevenbergen C., Ma Y. 2018. Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China's challenges and "sponge cities" strategy. *Environmental Science & Policy*, 80: 132-143, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.016>.
- Johnen G., Sapač K., Rusjan S., Zupanc V., Vidmar A. & Bezak N. 2020. Modelling and evaluation of the effect of afforestation on the runoff generation within the Glinščica River catchment (Central Slovenia). V: *The Handbook of environmental chemistry*. Springer: 215231, https://doi.org/10.1007/978-2020_649.
- Martellozzo F., Landry J.-S., Plouffe D., Seufert V., Rowhani P., Ramankutty N. 2014. Urban agriculture: a global analysis of the space constraint to meet urban vegetable demand. *Environmental Research Letters*, 9(6), 064025, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/6/064025>.
- MKG, Grafični podatki RABA za celo Slovenijo, <https://rkg.gov.si/vstop/> (19. 9. 2024)
- Novak. 2007. J. Zadrževalniki visokih voda na povodju Mure. *Zbornik - Mišičev vodarski dan*, 2007, 128 – 136, <https://www.mvd20.com/LETO2007/R19.pdf>.
- OPSI, Digitalizirano arhivsko gradivo starih katastrofov

- Pangano A., Pluchinotta i., Pengal P., Cokan B., Giordano R. 2019. Engaging stakeholders in the assessment of NBS effectiveness in flood risk reduction. A participatory System Dynamics Model for Benefits and cobenefits evaluation. *Science of Total Enviroment*, 690: 543555, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.059>.
- Podlesnik A. 2023. Kmetijska raba zemljišč znotraj suhega zadrževalnika Brdnikova. Diplomsko delo, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo, 44 str.,
- Pucciariello C., Voesenek L. A. C. J., Perata P., Sasidharan, R. 2014. Plant responses to flooding. *Frontiers in Plant Science*, 5, <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00226>.
- Puš Ž., Brlan N., Muešrc Pitamic J., Rojko T., Majcen A., Prah K., Golob N., Oražem K., Špilak I., Zakšek V. 2023. Naravovarstveni in izobraževalni poligon Biotehniške fakultete. Trdoživ: bilten slovenskih terenskih biologov in ljubiteljev narave, 12(2), 24-25,
- Raška P., Bezak N., Ferreira C.S.S., Kalantari Z., Banasik K., Bertola M., Bourke M., Cerdà A., Davids P., de Brito M.M., Evans R., Finger D.C., Halbac-Cotoara-Zamfir R., Housh M., Hysa A., Jakubínský J., Kapović Solomun M., Kaufmann M., Keesstra S., Keles E., Kohnová S., Pezzagno M., Potočki K., Rufat S., Seifollahi-Aghmiuni S., Schindelegger A., Šraj M., Stankunavicius G., Stolte J., Stričević R., Szolgay J., Zupanc V., Slavíková L., Hartmann T. 2022. Identifying barriers for nature-based solutions in flood risk management: An interdisciplinary overview using expert community approach, *Journal of Environmental Management*, 310, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114725>.
- Reinwarth B., Riddell E. S., Glotzbach C., Baade, J. 2017. Estimating the sediment trap efficiency of intermittently dry reservoirs: lessons from the Kruger National Park, South Africa. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(2), 463–481, <https://doi.org/10.1002/esp.4263>.
- Santoro S., Pluchinotta I., Pagano A., Pengal P., Cokan B., Giordano R. 2019. Assesing stakeholders risk perceptin to promote nature based solutions as flood protection strategies: The case of the Glinščica river. *Science of Total Enviroment*, 655: 188201, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.116>.
- Sayers P., Horritt M., Penning-Rowsell E., McKenzie A., Thompson D. 2016. The analysis of future flood risk in the UK using the Future Flood Explorer. *Web of Conferences*, 7(21005), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160721005>.
- Sofia G., Roder G., Dalla Fontana G., Tarolli P. 2017. Flood dynamics in urbanised landscapes: 100 years of climate and humans' interaction. *Scientific Reports*, 7(1), <https://doi.org/10.1038/srep40527>,
- Šumer S., Povž M., Brilly M. 2004. Vpliv regulacije na ribe reke Glinščice, aktualni projekti s področja urejanja voda. Mišičev vodarski dan 2004. Maribor, Vodnogospodarski biro Maribor, <https://mvd20.com/LETO2004/R23.pdf>,
- Visković R. N., Komac B. 2018. Agriculture in modern landscapes: A factor hindering or facilitating development?. *Acta geographica Slovenica*, 58-1, <https://doi.org/10.3986/AGS.5170>.
- Wheater H., Evans E. 2009. Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy*, 26/1, 251-264, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.08.019>.
- Žiberna I., Ivajnšič D., Kotnik K. E. 2023. Changes of Built-Up and Related Areas in Slovenia. *Journal for Geography*, 18(2), 81-104. <https://doi.org/10.18690/rg.18.2.3424>.

Primerjava dveh molekularnih metod za detekcijo virusov pred in po uporabi termoterapije kot metode eliminacije virusov

Hana FLAJNIK⁷³, Vanja MILJANIĆ⁷⁴, Andreja ŠKVARČ⁷⁵ in Nataša ŠTAJNER⁷⁶

Izvleček

Zaradi vegetativnega razmnoževanja je vinska trta nagnjena k virusnim in viroidnim okužbam, ki vplivajo na količino in kakovost pridelka. Za ugotavljanje virusnih okužb uporabljamo biološke, serološke in molekularne metode, od njih so slednje najzanesljivejše, saj temeljijo na amplifikaciji molekul DNA oz. RNA. Za identifikacijo virusov pri klonu vinske trte (*Vitis vinifera* L.) smo uporabili metodi RT-PCR in RT-qPCR. Detektirali smo sedem virusov od skupno 15 virusov, ki so vključeni v obvezen in priporočen program nadzora nad infekcijskimi boleznimi. Z uporabo termoterapije *in vivo* in kulture vršičkov *in vitro* nam je popolnoma uspelo eliminirati tri viruse. Virus GAMaV smo detektirali dodatno in je tudi prvi primer detekcije v Sloveniji. Število detektiranih virusov se je med obema uporabljenima metodama PCR razlikovalo. Z metodo RT-PCR smo v enakih rastlinah odkrili manj virusov kot z metodo RT-qPCR, in sicer smo v istih rastlinah s RT-qPCR detektirali več virusov kot z RT-PCR.

Ključne besede: virusi, termoterapija, eliminacija virusov, PCR, vinska trta

Comparison of two molecular methods for virus detection before and after thermotherapy as a method of virus elimination

Abstract

Due to vegetative reproduction, grapevine is prone to viral and viroid infections, which affect the quantity and quality of the crop. Biological, serological and molecular methods are used to detect viral infections, the latter being the most reliable as they are based on the amplification of DNA or RNA molecules. RT-PCR and RT-qPCR were used to identify viruses in a grapevine clone (*Vitis vinifera* L.). Seven viruses were detected out of a total of 15 viruses included in the mandatory and recommended infectious disease control programme. Using *in vivo* thermotherapy and *in vitro* shoot tip culture, three viruses were completely eliminated. GAMaV was additionally detected and is also the first case of detection in Slovenia. The number of viruses detected differed between the two PCR methods used. With RT-PCR we detected fewer viruses in the same plants than with RT-qPCR.

Key words: viruses, thermotherapy, virus elimination, PCR, grapevine

1 UVOD

Virusi predstavljajo najštevilčnejšo skupino povzročiteljev bolezni vinske trte. Poznanih je 30 virusnih in virusnim podobnih bolezni, njihovi bolezenski znaki so opisani kot deformacije listov in vej, razbarvanje listov (rdečica, rumenica, klorotična ali svetlo rumena pegavost, obročasti madeži in črtasti vzorci), žlebovi in/ali vdolbine na olesenelem cilindru, zapozneli brsti, zakrnelost in propadanje. V tri glavne sklope virusnih bolezni spadajo: infektivna degeneracija (ang. infectious degeneration), zvijanje listov (ang. leafroll) in grbančavost lesa (ang. rugose wood) (Martelli, 2017).

Med diagnostične metode za detekcijo virusov spadajo biološko testiranje z uporabo indikatorskih rastlin, elektronska mikroskopija, ki omogoča študije morfologije, velikosti in

⁷³ Mag. biotehnol., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, e-pošta: hana.flajnik@bf.uni-lj.si

⁷⁴ Asist. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, e-pošta: vanja.miljanic@bf.uni-lj.si

⁷⁵ Univ. dipl. inž. agr., Kmetijsko gozdarski zavod Nova Gorica, e-pošta: andreja.skvarc@go.kgzs.si

⁷⁶ Prof. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, e-pošta: natasa.stajner@bf.uni-lj.si

strukture virusov, serološke metode, ki delujejo po principu vezave antigena s specifičnim protitelesom in molekularne metode, ki slonijo na amplifikaciji nukleinskih kislin ter spadajo med najboljčutljivejše in zanesljive metode. Ena od molekularnih metod je PCR, s katero detektiramo viruse, ki imajo DNA genom, različica RT-PCR pa zaradi obratnega prepisa RNA v DNA omogoča detekcijo tudi RNA virusnih genomov (Martelli in sod., 1993; Goldsmith in Miller, 2009; Clark in Adams, 1997; Maliogka in sod., 2015). Termoterapija v kombinaciji s kulturo meristemov ali vršičkov je ena izmed najpogostejše uporabljenih metod za eliminacijo virusov. Med ostale, redkeje uporabljene sanitacijske metode, spadajo še krioterapija, kemoterapija, somatska embriogeneza in elektroterapija (Panattoni in sod., 2013).

Uporabili smo dve molekularni metodi za detekcijo virusov – klasično metodo RT-PCR in bolj natančno metodo RT-qPCR. Z njima smo želeli identificirati viruse pri klonu vinske trte sorte 'Malvazija', ki se razlikuje od klasične Malvazije po tem, da ima zvezdasti motiv na koncu grozdne jagode, jih s termoterapijo *in vivo* in gojenjem vršičkov *in vitro* eliminirati ter uspešnost eliminacije preveriti z obema metodama. Dodatno smo želeli detektirati virus GAMaV, za katerega sklepamo, da je vključen v pojav zvezdastega motiva, saj je zanj znano, da pri vinski trti povzroča zvezdasti motiv na listih.

2 MATERIALI IN METODE DELA

Za rastlinski material smo uporabili 17 rastlin klona vinske trte sorte 'Malvazija', ki so bile nabrane v kolekcijskem vinogradu na Pradah (Vinakoper), v bližini Bertokov in vzgojene preko zelenih potaknjencev v Seleksijskem trsničarskem središču Vrhpolje v Vipavi. Celotne rastline smo izpostavili visoki temperaturi (38–40 °C, 5 tednov, 16/8-urna fotoperioda). Za vzpostavitev tkivne kulture tretiranih rastlin smo uporabili po en apikalni in dva lateralna vršička od vsake rastline vinske trte. Razkužene vršičke smo po končani termoterapiji aseptično nacepili na gojišče ½ MS z vitamini in jih gojili v rastni komori (LTH, Slovenija) na 25 °C s 16/8-urno fotoperiodo. Odvzem rastlinskega materiala za analizo RNA smo opravili pred termoterapijo in po termoterapiji po uspešni subkultivaciji apikalnih in lateralnih vršičkov v tkivni kulturi. Za izolacijo celokupne RNA iz rastlinskih vzorcev vinske trte smo uporabili komercialni komplet Monarch® RNA Total Miniprep Kit (New England Biolabs). Knjižnico cDNA smo sintetizirali s komercialnim kompletom High-Capacity cDNA Reverse Transcription Kit (Applied Biosystems™, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, ZDA) po navodilih proizvajalca. Viruse, ki so v Sloveniji v skladu z Uradnim listom RS št. 93/05 in 101/20 vključeni v obvezno testiranje razmnoževalnega materiala vinske trte, smo detektirali z RT-PCR in RT-qPCR. Sestava mešanice PCR je za obe metodi navedena v preglednici 1.

Preglednica 1: Sestava mešanic RT-PCR in RT-qPCR za detekcijo virusov

RT-PCR	RT-qPCR
NFW	NFW
5x PCR-pufer (Promega, Madison, WI, ZDA)	FastSYBR Green 2x Master Mix (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, ZDA)
MgCL ₂ (Kapa Biosystems, Cape Town, Južna Afrika)	Vodilni in komplementarni ZO (10 µM)
Mešanica dNTP (10 mM/dNTP) (Promega)	Vzorec cDNA (10 ng)
Vodilni in komplementarni ZO (10 µM)	
KAPA Taq polimeraza (Kapa Biosystems)	
Vzorec cDNA (10 ng)	

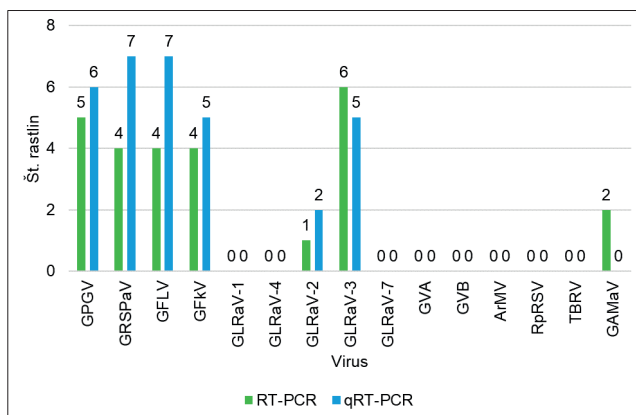
Za potrebe preverjanja virusnega titra pri detekciji virusov z RT-PCR smo kot kontrolo uporabili viroid zakrnelosti hmelja. Kot endogeno kontrolo pri detekciji virusov z RT-qPCR smo uporabili gen *ACT7*.

Potek reakcije RT-PCR je zajemal iniciacijo reakcije 5 min na 95 °C, 35–40 ciklov denaturacije verige DNA 30 s na 95 °C, prileganja ZO 30 s na 57–65 °C in podaljševanja verige 1 min na 72 °C ter končno podaljševanje verige 8 min na 72 °C. Za analizo rezultatov smo produkte metode RT-PCR analizirali z elektroforezo v 1,4 % agaroznem gelu v 5-kratnem TBE pufru pri napetosti 120–125 V in jih vizualizirali pod UV-svetlobo po barvanju z etidijevim bromidom. Kot standardno lestvico velikosti fragmentov smo uporabili marker GeneRuler 100 bp DNA Ladder (Thermo Fischer Scientific). Potek reakcije RT-qPCR je zajemal začetno denaturacijo verige DNA 20 s na 95 °C, 40 ciklov denaturacije verige 1 s na 95 °C in podaljševanje verige 20–50 s na 60 °C, dodana je bila analiza talilne krivulje. Amplifikacijo smo izvedli v termopomnoževalniku QuantStudio™ 5 System (Applied Biosystems™, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, ZDA), dobljeni rezultati so bili obdelani v programskem paketu QuantStudio™ Design in Analysis Software (Applied Biosystems, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, ZDA).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Detekcija virusov v zelenih potaknjencih pred termoterapijo

Pred izpostavitvijo rastlin visoki temperaturi smo z obema metodama potrdili prisotnost šestih od petnajst virusov, virus GAMaV pa smo v 2 od 17 rastlin določili samo z RT-PCR. Občutljivost detekcije virusov se je med obema uporabljenima metodama razlikovala. Na sliki 1 so prikazane razlike v številu okuženih rastlin s posameznim virusom. Rastline so bile hkrati okužene z najmanj enim virusom in največ s šest virusi.



Slika 1: Število s posameznim virusom okuženih rastlin in primerjava občutljivosti metod RT-PCR in RT-qPCR pred termoterapijo

Pričakovali smo višjo stopnjo okužbe z virusi, ki so vključeni v obvezen in priporočen program testiranja razmnoževalnega materiala vinske trte. Sklepamo da, ali so bili eliminirani že v postopkih selekcije v Selekcijskem trsničarskem središču Vrhpolje v Vipavi ali pa v omenjenih vzorcih Malvazije s kopskega sploh niso bili nikoli prisotni, saj za vinorodno deželo Primorska obstaja večletni uspešen program klonske selekcije avtohtonih, udomačenih in lokalnih sort

vinske trte *V. vinifera* L. Nižji titer virusnih patogenov v rastlinah in večjo razpršenost virusov po posameznih delih rastlin povezujemo tudi z uporabo rastlinskega materiala, ki je bil pridobljen iz zelenih potaknjencev v mesecu maju.

3.2 Detekcija virusa GAMaV

Prvič so virus GAMaV našli v Kaliforniji (Martelli, 2014), o najdbah pa poročajo tudi v Kanadi (Xiao in Meng, 2016) in Evropi (Candresse in sod., 2017; Porceddu in sod., 2018; Morán in sod., 2021). Kot navaja Marteli (2014), smo zaradi klorotičnih in zvezdasto razporejenih peg na listih ter zakrnele rasti vinske trte predvidevali, da bi GAMaV lahko povzročal zvezdasto strukturo na mestu razpoke grozdne jagode na distalnem koncu jagode grozda (slika 2).



Slika 2: Grozd Malvazije. Levo: Malvazija (Vino.ba, 2022), desno: »zvezdasta« Malvazija (foto: A. Škvarč)

V našem poskusu sta bili z GAMaV domnevno okuženi le dve rastlini, potrjeni z RT-PCR, medtem ko rezultati RT-qPCR niso zanesljivi zaradi nespecifičnih pomnožkov. Amplikon cDNA smo uspeli z RT-PCR pridobiti samo z enim parom začetnih oligonukleotidov, ki prilega zaporedju virusa GAMaV, čeprav smo v poskusu uporabili štiri različne pare, s katerimi je bil GAMaV v preteklosti že uspešno identificiran (reference Xiao in Meng, 2016; Candresse in sod., 2017; Porceddu in sod., 2018; Morán in sod., 2021). Pričakovali smo, da bomo virus detektirali v več kot dveh rastlinah, ker je virus izključen iz obveznega programa monitoringa. Na nizko stopnjo detekcije je lahko vplivala tudi latentna oblika virusa v rastlini (Marteli, 2014).

3.3 Detekcija virusov v tkivni kulturi vinske trte po termoterapiji in uspešnost eliminacije virusov

Okužbo z virusi smo določali na osmih rastlinah s pripadajočimi izoliranimi apikalnimi in lateralnimi vršički (skupno 13 vzorcev), ki so bile pred termoterapijo pozitivne na najmanj en virus. Zaradi nizke stopnje detekcije virusov pred termoterapijo z metodo RT-PCR smo se odločili, da detekcijo po termoterapiji izvedemo le z metodo RT-qPCR. Določevali smo osem virusov, ki smo jih določili pred termoterapijo. Pri dveh rastlinah (M7/118 in M7/119) smo po tretiranju z visoko temperaturo dosegli 100 % eliminacijo virusov. Zaradi nespecifičnih pomnožkov s tremi pari začetnih oligonukleotidov, smo tarčo GAMaV izvzeli iz obravnave. Detektirali smo tri od sedem virusov (GRSPaV, GLRaV-3 in GPGV) (preglednica 2), od tega je imel virus GPGV najnižjo pojavnost (dve rastlini) in virus GRSPaV najvišjo (osem vzorcev). Uspešno eliminacijo smo dosegli pri virusih GFLV, GFkV in GLRaV-2, medtem ko je eliminacija GRSPaV bila uspešna le pri eni rastlini od osmih. Nizko stopnjo eliminacije GRSPaV poročajo tudi Gribaudo in sod. (2006) ter Maliogka in sod. (2009). Virus okužuje tudi

meristemsko tkivo, zato termoterapija v kombinaciji s kulturo vršičkov ni zadostna sanitacijska metoda. Uspešno eliminacijo virusa so dosegli Miljanić in sod. (2022a), in sicer z izvedbo termoterapije (36–38 °C, 6 tednov) in izolacijo meristemov ter regeneracijo s pomočjo mikrocepljenja. Uspešno eliminacijo GFLV smo pričakovali, saj virus okužuje floemsko tkivo, termoterapija pa se je že izkazala za uspešno metodo eliminacije (Križan in sod. 2009). Kim in sod. (2017) poročajo, da učinkovitost eliminacije GFkV s kulturo meristemov upada z velikostjo izoliranega meristemskega tkiva, virus pa se nahaja tudi v floemskem tkivu (Sabanadzovic in sod., 2017). V našem poskusu je kombinacija termoterapije in kulture vršičkov vodila do popolne eliminacije virusa.

Preglednica 2: Pregled detekcije virusov pred TT in po TT ter navedba eliminiranih virusov

Rastlina	Detektiran virus		Eliminiran virus
	Pred TT	Po TT	
M5/7	GPGV, GRSPaV, GFLV, GFkV	GPGV, GRSPaV	GFLV, GFkV
M5/24	GPGV, GRSPaV, GFLV, GFkV	GRSPaV	GPGV, GFLV, GFkV
M5/50	GPGV, GRSPaV, GFLV, GLRaV-3	GRSPaV, GLRaV-3	GPGV, GFLV
M5/94	GPGV, GRSPaV, GFLV, GLRaV-3	GRSPaV, GLRaV-3	GPGV, GFLV
M5/123	GPGV, GRSPaV, GFLV, GFkV, GLRaV-3, GAMaV	GRSPaV, GLRaV-3	GFLV, GFkV
M5/125	GFkV, GLRaV-3	GRSPaV, GLRaV-3	GFkV
M7/118	GPGV, GRSPaV, GFLV, GFkV, GLRaV-2, GLRaV-3, GAMaV	–	GPGV, GRSPaV, GFLV, GFkV, GLRaV-2, GLRaV-3
M7/119	GRSPaV, GFLV, GLRaV-2, GLRaV-3	–	GRSPaV, GFLV, GLRaV-2, GLRaV-3

4 SKLEPI

V poskusu smo s klasično metodo RT-PCR in natančnejšo metodo RT-qPCR želeli detektirati viruse vinske trte, ki so na seznamu obveznega nadzora nad infekcijskimi boleznimi in viruse, ki so zaradi svojega vpliva na vinsko trto priporočeni v programu nadzora nad infekcijskimi boleznimi. Glede na že dobljene rezultate in uporabljen rastlinski material (Miljanić in sod., 2022b) smo sicer pričakovali, da bomo v rastlinskem materialu detektirali več virusov. Tako z metodo RT-PCR kot tudi RT-qPCR v nekaterih vzorcih virusov nismo odkrili, saj pri 10 rastlinah od skupno 17 nismo potrdili nobenega virusa. Slabšo detekcijo virusov v rastlinah pred termoterapijo povezujemo z dvema dejavnikoma: 1) uspešnim programom selekcije v vinorodni deželi Primorska in 2) uporabljenim rastlinskim materialom, ki smo ga uporabili v poskusu; zeleni potaknjenci so bili velikosti 50–70 cm, ko smo vzorčili, kar pomeni, da je virus lahko neenakomerno razporejen v rastlinskem tkivu. Da bi se temu izognili, bi izvedli izolacijo RNA iz rastlin v začetni fazi razvoja, ki jih pridobimo iz dormantnih poganjkov, kar se je v preteklosti izkazalo kot dobra praksa.

Viruse, ki smo jih detektirali pred termoterapijo, smo s termoterapijo *in vivo* in kulturo vršičkov *in vitro* eliminirali z različno stopnjo uspeha. Ugotavljamo, da je eliminacija nekaterih virusov manj zahtevna in zato niso potrebne zahtevne tehnike pridobivanja brezvirusnega materiala, kot je npr. kultura meristemov, ki velikokrat kljub uspešni eliminaciji virusov rezultira v nizkem deležu regeneriranih rastlin. Detekcijo in identifikacijo virusa GAMaV smo v poskus vključili zaradi potencialne povezave med infekcijo rastline z omenjenim virusom in fenotipsko

spremembo na mestu razpoke grozdne jagode. Virus smo določili samo v dveh rastlinah, njegove identifikacije pa z metodo RT-qPCR nismo potrdili zaradi nespecifičnosti amplifikacije cDNA.

Naši rezultati predstavljajo začetek na področju raziskav pojavnosti GAMaV in njegovega vpliva na vinsko trto v Sloveniji. Obe uporabljeni metodi detekcije virusov v tem delu zahtevata predhodno znanje o preiskovanih organizmih. Z uporabo visoko zmogljivega sekvenciranja (HTS) pa bi lahko pridobili podatke o vseh, znanih in neznanih virusnih patogenih prisotnih v določenem rastlinskem vzorcu, ki je lahko simptomatski ali asimptomatski.

5 LITERATURA

- Candresse T., Faure C., Theil S., Beuve M., Lemaire O., Spilmont A. S., Marais A. 2017. First report of Grapevine asteroid mosaic-associated virus infecting grapevine (*Vitis vinifera*) in France. *Plant Disease*, 101, 6: 1061–1061, <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-17-0012-PDN>
- Clark M. F., Adams A. N. 1977. Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. *Journal of General Virology*, 34, 3: 475–483
- Goldsmith C. S., Miller S. E. 2009. Modern uses of electron microscopy for detection of viruses. *Clinical Microbiology Reviews*, 22, 4: 552–563
- Gribaudo I., Gambino G., Cuzzo D., Mannini F. 2006. Attempts to eliminate Grapevine rupestris stem pitting-associated virus from grapevine clones. *Journal of Plant Pathology*, 88, 3: 293–298, <http://www.jstor.org/stable/41998334>
- Kim M. Y., Cho K. H., Chun J. A., Park S. J., Kim S. H., Lee H. C. 2017. Elimination of Grapevine fleck virus from infected grapevines “Kyoho” through meristem-tip culture of dormant buds. *Journal of Plant Biotechnology*, 44, 4: 401–408, <https://doi.org/10.5010/JPB.2017.44.4.401>
- Križan B., Ondrušiková E., Holleínová V., Moravcová K., Bláhová L. 2009. Elimination of Grapevine fanleaf virus in grapevine by *in vivo* and *in vitro* thermotherapy. *Horticultural Science*, 36, 3: 105–108, <https://doi.org/10.17221/37/2008-HORTSCI>
- Maliogka V. I., Olmos A., Pappi P. G., Lotos L., Efthimiou K., Grammatikaki G., Candresse T., Katis N. I., Avgelis A. D. 2015. A novel grapevine badnavirus is associated with the Roditis leaf discoloration disease. *Virus Research*, 203: 47–55
- Maliogka V. I., Skiada F. G., Eleftheriou E. P., Katis N. I. 2009. Elimination of a new ampelovirus (GLRaV-Pr) and Grapevine rupestris stem pitting associated virus (GRSPaV) from two *Vitis vinifera* cultivars combining *in vitro* thermotherapy with shoot tip culture. *Scientia Horticulturae*, 123, 2: 280–282, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.08.016>
- Martelli G. P. 2014. Directory of virus and virus-like diseases of the grapevine and their agents. *Journal of Plant Pathology*, 96, 1: 1–136
- Martelli G. P. 2017. An overview on grapevine viruses, viroids, and the diseases they cause. V: Grapevine viruses: molecular biology, diagnostics and management. Meng B., Golino D. A., Martelli G. P., Fuchs M. (ur.). Cham, Springer International Publishing: 31–46, https://doi.org/10.1007/978-3-319-57706-7_2
- Martelli G. P., Savino V., Walter B. 1993. Indexing on *Vitis* indicators. V: Graft-transmissible diseases of grapevines: Handbook for detection and diagnosis. Martelli G. P. (ur.). International Council for the Study of Viruses and Virus Diseases of the Grapevine. Food and Agriculture Organization of the United Nations: 137–156
- Miljanić V., Jakše J., Kunej U., Rusjan D., Škvarč A., Štajner N. 2022b. Virome status of preclonal candidates of grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) from the Slovenian wine growing region Primorska as determined by high-throughput sequencing. *Frontiers in Microbiology*, 13, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.830866>
- Miljanić V., Rusjan D., Škvarč A., Chatelet P., Štajner N. 2022a. Elimination of eight viruses and two viroids from preclonal candidates of six grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) through *in vivo* thermotherapy and *in vitro* meristem tip micrografting. *Plants*, 11, 8: 1064, <https://doi.org/10.3390/plants11081064>

- Morán F., Canales C., Olmos A., Ruiz-García A. B. 2021. First report of grapevine Asteroid mosaic-associated virus in grapevine in Spain. *Plant Disease*, 105, 2: 517–517, <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-20-1566-PDN>
- Panattoni A., Luvisi A., Triolo E. 2013. Review. Elimination of viruses in plants: Twenty years of progress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11, 1: 173–188
- Porceddu A., Sanna M., Prota V. A., Schianchi N., Mercenaro L., Nieddu G., Camiolo S. 2018. First report of grapevine Asteroid mosaic-associated virus infecting grapevines (*Vitis vinifera*) in Italy. *Plant Disease*, 102, 10: 2049, <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-18-0460-PDN>
- Sabanadzovic S., Aboughanem-Sabanadzovic N., Martelli G. P. 2017. Grapevine fleck and similar viruses. V: Grapevine viruses: molecular biology, diagnostics and management. Meng B., Golino D. A., Martelli G. P., Fuchs M. (ur.). Cham, Springer International Publishing: 331–349, https://doi.org/10.1007/978-3-319-57706-7_16
- Xiao H., Meng B. 2016. First report of Grapevine asteroid mosaic-associated virus and Grapevine rupestris vein feathering virus in grapevines in Canada. *Plant Disease*, 100, 10: 2175–2175, <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-16-0413-PDN>

Biotehnoške metode žlahtnjenja rastlin in regulativa

Zlata LUTHAR⁷⁷

Izvleček

Hitra rast prebivalstva in nepremišljenimi posegi v kmetijske površine omejujejo pridelavo kakovostnih in zadostnih količin hrane. Z gospodarskim napredkom se viša tudi življenjski standard in na trgu se povečujejo potrebe potrošnikov po kakovostnejših pridelkih z boljšimi senzoričnimi lastnostmi in izboljšano hranilno vrednostjo. Vse to vzbuja splošno skrb tako na nacionalni kot mednarodni ravni ter tudi izzive za tehnologe in žlahtnitelje, ki poskušajo nastale vrzeli uspešno premostiti z boljšimi sortami in njim prilagojenimi tehnologijami pridelave in predelave. Kombinacija klasičnega žlahtnjenja z biotehnoškimi postopki bistveno skrajša čas in prispeva k večjemu številu hibridnih sort. V drugi polovici prejšnjega stoletja se je pojavila metoda genskega inženiringa z gensko spremenjenimi sortami, ki je tudi osnovna tehnika pri novih metodah mutageneze oziroma novih genomskih tehnikah. Postopek preizkušanja gensko spremenjenih sort vključuje, poleg opravljenega testa razločljivosti, izenačenosti in nespremenljivosti, še obsežno znanstveno dokumentacijo z oceno tveganja za okolje, zdravje ljudi in živali. Varnost je zagotovljena tudi z opravljenimi testi alergenosti in toksičnosti ter možnimi negativnimi vplivi na biodiverziteto.

Ključne besede: gensko spremenjene sorte, genski inženiring, nove genomske tehnike, regulativa, ocena tveganja, zagotavljanje varnosti

Biotechnological plant breeding methods and regulation

Abstract

A rapid population growth and ruthless overexploitation of agricultural land limits the production of sufficient food in terms of quality and quantity. With economic progress, living standards are also rising and consumer demand for higher quality products with better sensory properties and higher nutritional value is increasing on the market. All of this is a major concern at both national and international level and poses challenges for technologists and breeders who are trying to successfully close the gaps with better varieties and adapted production and processing technologies. The combination of classical breeding with biotechnological methods has considerably shortened the time and contributed to a greater number of hybrid varieties. In the second half of the last century, the method of genetic engineering with genetically modified varieties emerged. It is also the basic technique for the new methods of mutagenesis or the new genomic techniques. In addition to distinctness, uniformity and stability testing, the testing procedure for genetically modified varieties also includes comprehensive scientific documentation with an assessment of the risks to the environment and to human and animal health. Safety is also ensured by testing for allergenicity and toxicity as well as for possible negative effects on biodiversity.

Key words: genetically modified varieties, genetic engineering, new genomic techniques, regulation, risk assessment, ensuring safety

1 UVOD

Vse od domestikacije si človeštvo prizadeva prilagoditi rastline v svoj prid za zadovoljevanje potreb. V sredini 19. stoletja je Gregor Mendel z opredelitvijo načel dedovanja postavil temelje na področju klasičnega žlahtnjenja rastlin. Napredki v žlahtnjenju se odražajo v sortah, pri katerih genotipi h količini in kakovosti pridelka v povprečju prispevajo več kot 55 %, njim prilagojene pridelovalne tehnologije dodatnih 20 %, preostanek pa doprinesejo vplivi okolja, predvsem ugodne talno-klimatske razmere (Kaiser in sod, 2020).

⁷⁷ Prof. dr., Biotehniška fakulteta, e-pošta: zlata.luthar@bf.uni-lj.si

V 20. stoletju so se z razvojem biotehnologije pojavile nove tehnologije, kot je genski inženiring, ki je z vnosom transgenov v rastlinski genom omogočil izboljšanje obstoječih lastnosti ali pridobitev novih, ki jih endogeno rastline ne vsebujejo. Spremenjen genotip in posledično fenotip s pomočjo genskega inženiringa je bil poimenovan gensko spremenjen organizem (GSO) in rastline GSR. Znotraj GSR poznamo t. i. cisgenezo (intrageneza) in transgenezo. Pri obeh se, kot metoda žlahtnjenja uporablja genski inženiring. Pri cisgenezi se v izbrani genom vključuje gene znotraj vrste, lahko med različnimi sortami (med spolno združljivimi rastlinami). Tako spremembo genoma lahko pridobimo tudi z obstoječimi metodami križanja. Medtem ko se pri transgenezi vključuje v izbrani genom transgene iz različnih organizmov, ne glede na filogenetske omejitve (med spolno nezdružljivimi rastlinami) (Schouten in sod., 2006; Winter, 2024; Katsarova, 2024).

V prvi polovici 20. stoletja so se začele pojavljati tudi različne tehnike molekulskih markerjev, ki so omogočale natančnejšo proučitev genoma in opravljanje dela žlahtnjenja v tkivni kulturi v *in vitro* razmerah, kar je bistveno vplivalo na optimizacijo postopkov žlahtnjenja. Kombinacija obstoječih metod žlahtnjenja z uporabo molekulskih markerjev že v prvih generacijah potomcev zmanjša številčni obseg z izločitvijo nezaželenih genotipov in bistveno skrajša obdobje do fenotipskega izražanja lastnosti (npr. pri večletnih vegetativno množenih rastlinah).

Zadnjih dvajset let so v ospredju nove genomske tehnike (NGT), ki omogočajo tarčno preurejanje obstoječega nukleotidnega zaporedja na posameznem lokusu. Pri NGT so vključene tehnologije, ki omogočajo organizmu spreminjanje lastnega gena in vanj ne vnašajo tujih transgenov. Z NGT lahko pri rastlinah dosežemo zelo podoben učinek kot pri gensko spremenjenih rastlinah in ne gensko spremenjenih rastlinah, ki jih pridobimo s klasičnimi metodami žlahtnjenja s križanji ali izzvanimi mutacijami z mutagenimi agensi (Broothaerts in sod., 2021; New ..., 2023).

Obe skupini, tako GS sorte, kot sorte pridobljene z NGT, sodita v Evropi v regulativo iz leta 2001 in za njih je značilno negativno in odklonilno javno mnenje (Direktiva ..., 2001; Zakon ..., 2005; Spök in sod., 2022). Kljub temu je EU v letu 2023 podala predlog o novi uredbi za sorte, pridobljene z nekaterimi NGT, in jih uvrstila v t.i. NGT1, v katero naj bi sodile sorte, spremenjene s cisgenezo in CRISPR/Cas. Te rastline/sorte bi bile izvzete iz obstoječe zakonodaje in postale enakovredne konvencionalnim sortam. V NGT1 bi po uredbi sodile sorte, pri katerih bi bilo spremenjenih do 20 nukleotidov v haploidnem genomu (insercij, delecij) glede na izvorno, matično rastlino. Za rastline/sorte iz skupine NGT2 pa bi še naprej veljale strožje zahteve, enake kot za GSR (Lemarié in Marette, 2022; Kjeldas in sod., 2023; Lukaszewicz in sod., 2024).

Trenutno je v dveh državah EU dovoljena pridelava GS koruze 'Monsanto 810'. Pridelovalne površine so v letu 2023 zajemale 48.225 ha, v Španiji (46,327 ha) in na Portugalskem (1.898 ha) (Annual ..., 2023). Leta 2023 je Evropska agencija za varnost hrane (EFSA) na podlagi predložene ocene tveganja odobrila nadaljnje gojenje koruze 'MON 810' (EFSA ..., 2024). Omenjeni hibrid ima vnesen transgen iz bakterije *Bacillus thuringiensis* (Bt), ki sintetizira beljakovino Cry1Ab. Ta deluje kot naravni insekticid, saj je toksičen za evropsko in sredozemsko koruzno večšo ter druge škodljivce iz vrst metuljev, predvsem za njihove gosenice. Te se prehranjujejo z listi in notranjostjo stebel ter povzročajo tudi sekundarne učinke s povečano vsebnostjo mikotoksinov. Običajne prakse, ki ne vključujejo GS hibridov, uporabljajo za zatiranje koruzne večše sintetične insekticide z različno učinkovitostjo (Bertho in sod. 2020; Annual ..., 2023). Poleg tega se z odobritvijo v EU uvaža več kot 10 GS vrst za krmo in prehrano. Med njimi največ GS soje, saj se soja v Evropi prideluje manj kot 5 % lastnih potreb. Uvožene GS sorte imajo dovoljenje, so označene in zagotovljena je sledljivost.

2 KLASIČNO ŽLAHTNENJE S KOMBINACIJO BIOTEHNOLOŠKIH METOD

Klasično žlahtnjenje je omejeno na znotraj vrstno raznolikost med populacijami, ki nastaja zaradi rekombinacij genetskega materiala med procesi medsebojnega križanja, načina dedovanja lastnosti, mutacij, genskega pretoka in zdrsa. Posledica teh procesov je nastanek kombinacij z različnim nukleotidnim zaporedjem v DNA molekuli, posledično pa tudi proteinskih struktur z različnimi morfološkimi in fiziološkimi lastnostmi (Salgotra in Chauhan, 2023). Ta raznolikost je ključna za razvoj okoljsko prilagodljivih populacij, ki vsebujejo različne oblike genov/alelov (Salgotra in Chauhan, 2023). Tekom evolucije je na gensko raznolikost in izbiro genotipa vplivala naravna in umetna selekcija. Že po Darwinovi teoriji o evoluciji, so se v naslednjih generacijah ohranjali na okoljske razmere prilagojeni genotipi (Ellstrand in sod., 1999). Z udomačitvijo zelenih genotipov so se v kasnejše generacije prenašali samo izbrani genotipi, kar je skozi generacije vodilo do zmanjšanja določenih alelov oziroma izgubo genetske in posledično vrstne raznolikosti. Tekom selekcije so rastline doživele različne morfološke, fiziološke in biokemijske spremembe. Pogosto ima sprememba, ene lastnosti odvisno tudi od njenega načina dedovanja, pleiotropne posledice na druge lastnosti (Ray, 2015). Te pleiotropne dogodke in interakcije v izražanju genov, ki se fenotipsko odražajo, je težko predvideti in tudi od tu lahko izvira negotovost, ki pa je pri konvencionalnih sortah nemoteča in sprejeta.

Poleg selekcije in genskega zdrsa, so naravne oziroma spontane mutacije predstavljale ključni mehanizem za spreminjanje frekvence alelov v populaciji in so pomembno vplivale na evolucijske dogodke. Izzvane mutacije z mutagenimi agensi, ki so neciljno usmerjene, pa so pospešile ta proces tudi v smer pridobivanja novih sort (Salgotra in Chauhan, 2023). Z mutagenozo se povzroči številne genske spremembe, kot so delecije, podvojitve, insercije, inverzije in premikanje mobilnih transpozonskih elementov.

Preglednica 1: Nekaj značilnosti klasičnega žlahtnjenja v primerjavi z biotehnološkimi postopki

Značilnost	Klasično žlahtnjenje	Biotehnološki postopki
Trajanje žlahtnjenja	8 do 10 let	3 do 4 leta
Filogenetske omejitve	Prisotne	Niso prisotne
Možnost utižanja gena	Ni možno	Možno
Prenos nezaželenih genov	Možen	Ni možen
Predvidljivost rezultatov	Delno možna	Delno možna
Uporaba selekcije	Da	Da
Povratna križanja	Da	Ne
Zahtevnost postopka	Srednja	Srednje težavna
Način izvedbe	Kombinacija <i>in vivo</i> , <i>in vitro</i>	<i>In vitro</i>
Uporaba molekulskih markerjev	Da	Da

Večina današnjih žlahtniteljskih programov uporablja kombinacije klasičnih metodologij žlahtnjenja s križanjem in biotehnoloških metod, ki potekajo v tkivni kulturi v *in vitro* razmerah, kot so pridobivanje haploidnih in dihaploidnih homozigotnih linij, reševanje nedozorelih medvrstnih embrijev nekaj dni po oploditvi, fuzije protoplastov itd. Ker je ta del je neodvisen od rastne dobe, bistveno pripomore k natančnosti in skrajšanju celotnega postopka pridobivanja homozigotnih linij in omogoča pridobivanje medvrstnih križancev (preglednica 1). Rezultati

vseh teh biotehnoloških postopkov, ki ne posegajo v dedni zapis, razen združevanja kombinacij dveh haploidnih genomov, in ne povzročajo rekombinacij DNA, ne sodijo v zakonodajo. Za razliko od rezultatov, nastalih z metodami genskega inženiringa in tarčne mutageneze, ki omogočajo ciljno spreminjanje genoma z dodajanjem genov in preurejanjem endogenega nukleotidnega zaporedja genov, ki pa sodijo v zakonodajo (Proposal ..., 2023).

3 BIOTEHNOLOŠKE METODE ŽLAHTNJENJA

Biotehnološke metode žlahtnjenja omogočajo prenos in vključitev genov tudi med spolno nezdružljivi organizmi, ki so filogenetsko zelo oddaljeni. Med te metode sodijo genski inženiring (transgeneza in cisgeneza) in tarčna mutageneza t.i. nove genomske tehnike (NGT), ki omogočajo ciljno spreminjanje genoma in hitrejšo pridobivanje genotipov z izboljšanimi lastnostmi (preglednica 1). Trenutno so v ospredju tiste lastnosti pri katerih so največje potrebe po izboljšanju, in sicer odpornost na bolezni in škodljivce, toleranca na abiotične strese, izboljšanje hranilne vrednosti, vse bolj pa postajajo pomembne bioaktivne učinkovine kot rezultat sekundarnega metabolizma (New ..., 2023).

3.1 Genski inženiring

Genski inženiring (transformacija rastlin) omogoča vnos tujih genov v rastlinski genom ali pa utišanje izražanja endogenih genov, predvsem tistih, ki vplivajo na izražanje negativnih lastnosti, z namenom izboljšati pridelek. Kljub velikemu številu sort s spremenjenimi lastnostmi in več desetletni pridelavi ter uporabi (minilo je že 40 let od prvega tržno pridelanega GS tobaka) je v Evropi še vedno prisotno splošno negativno mnenje. Do sedaj je bilo odobrenih že več kot 520 različnih lastnosti oziroma vnesenih transgenov in to v več kot 30 kmetijskih rastlin. Od tega ima največ GS lastnosti koruza (238), sledijo bombaž (61), krompir (49), ogrščica (42), soja (41), nagelj (19) in drugi (ISAAA, 2019).

Uvedba transgene tehnologije je povečala pridelke in prispevala h kakovosti ter zmanjšala uporabo fungicidov, insekticidov, ekološki odtis (emisije CO₂) in stroške pridelave ter povečala dobiček pridelovalcev. Kljub temu pa se pridelava transgenih kmetijskih rastlin sooča z ovirami zaradi pomislekov, povezanih z morebitno toksičnostjo in alergenostjo za ljudi, možnih okoljskih tveganj, kot so možnosti pretoka genov, škodljivih učinkov na neciljne organizme, pojava plevelne in insektne odpornosti itd. Ti pomisleki so vodili in spodbudili sprejetje alternativnih tehnologij, kot so cisgeneza (intrageneza) in tarčna mutageneza s preurejanjem genoma. Te tehnologije omogočajo spremembe genoma, ki ne vključujejo tujih genov oz. gene spolno nezdružljivih osebkov, zato se pričakuje, da bodo takšni pridelki dosegli večjo sprejemljivost potrošnikov v primerjavi s transgenimi pridelki in hitrejšo odobritvene postopke glede na veljavno zakonsko regulativo.

3.2 Tarčna mutageneza

Tarčna mutageneza oziroma nove genomske tehnike (NGT) omogoča zelo usmerjene, majhne spremembe DNA na točno določenem mestu oziroma lokusu gena (Guertler in sod., 2023). Zaradi večkrat ponovljivih nukleotidnih zaporedij v genomu, ki so lahko na istem kromosomu ali na drugih, se lahko pojavijo nenamerne oziroma nepredvidene spremembe drugje v genomu t.i. 'neciljni učinki' (angl. off-target effects), ki lahko nepričakovano vplivajo na spremembo fenotipa (Broothaerts in sod., 2021). Ti nepredvideni dogodki so stalnica pri vseh metodah žlahtnjenja in tudi NGT niso izjema. Z NGT lahko pridobimo širok nabor spremenjenih genotipov. Pridobljene genomske spremembe so po številu vključenih nukleotidov zelo podobne oziroma enake tistim, ki spontano nastajajo v okolju, tudi pri celičnih delitvah (New

..., 2023), zato jih je težko ali celo nemogoče ločiti od tistih, ki nastanejo spontano v okolju (Broothaerts in sod., 2021). Nabor NGT je zelo obsežen in zajema:

1. NGT, ki povzročijo dvojni prelom DNA: i) meganukleaze ali prenašalne endonukleaze, ii) nukleaze cinkovih prstov - ZFN, iii) nukleaze TAL efektorjev - TALEN in iv) nukleaze CRISPR/Cas,
2. NGT, ki ne povzročijo preloma DNA: i) tarčna mutageneza z oligonukleotidi - ODM, ii) urejanje baz in iii) urejanje z vnosom encima nCas9,
3. NGT, ki delujejo na podlagi spreminjanja epigenoma: i) epigenetske modifikacije (metilacije DNA in histonske modifikacije) in ii) epigenetski aktivatorji in represorji in
4. NGT, ki temeljijo na urejanju RNA: i) od PAM neodvisna interferenca RNA posredovana s CRISPR/Cas.

4 ZAKONODAJNA REGULATIVA

Obe skupini, tako GS sorte, kot sorte, pridobljene z NGT, sodijo v Evropi v zakonodajo iz leta 2001 (Direktiva ..., 2001) in kljub številnim izsledkom o njihovi varnosti je javno mnenje do njih še vedno odklonilno. Po vstopu Slovenije v EU je bil leta 2005 sprejet Zakon o ravnanju z gensko spremenjenimi organizmi. Temu so sledili še štirje pravilniki in uredba:

- Pravilnik o oceni tveganja za delo z GSO v zaprtem sistemu (Ur. l. RS 45/2004),
- Pravilnik o vsebini prijave zaprtega sistema in prijave dela z GSO v zaprtem sistemu (Ur. l. RS 65/2004),
- Pravilnik o načrtu ukrepov za primer nesreče pri delu z GSO v zaprtem sistemu (Ur. l. RS 69/2005),
- Pravilnik o registru GSO (Ur. l. RS 79/2006) in
- Uredba o merilih za uvrstitev dela z GSO v zaprtem sistemu v varnostni razred in o zadrževalnih ter drugih varnostnih ukrepih za posamezen varnostni razred (Ur. l. RS 71/2011).

V letu 2023 pa je evropsko sodišče podalo predlog o novi uredbi za sorte pridobljene z nekaterimi NGT in jih uvrstila v t.i. NGT1, v katero naj bi sodile sorte, spremenjene s cisgenezo in CRISPR/Cas. Te sorte bi bile izvzete iz obstoječe zakonodaje in enakovredne konvencionalnim sortam (Proposal ..., 2023).

5 SKLEPI

Genski inženiring je ena od metod žlahtnjenja rastlin in osnovna tehnika, tako genskim transformacijam kot tarčni mutagenezi. S tarčno mutagenezo in cisgenezo se lahko pridobi rastline/sorte, ki so genetsko enake spremenjenim rastlinam s klasičnim žlahtnjenjem (spolno združljivost), le da postopek spremembe vključuje genski inženiring in sodi v zakonodajo o GSR (Direktiva ..., 2001; Zakon ..., 2005; Proposal ..., 2023). Genski inženiring predstavlja možnosti za rešitev številnih problemov, obenem pa se pojavljajo vprašanja glede varnosti, regulacije, označevanja, sledljivosti itd. Kar vse vpliva na javno mnenje, ki je do GSR še vedno odklonilno. Kljub javnemu nasprotovanju pa se obseg gojenja GSR povečuje. Napredki na področju pridelave hrane so vidni tudi brez uporabe GS tehnologij, vendar njena uporaba olajša delo in skrajša potreben čas za doseg ciljev, omogoča pa tudi nekatere možnosti, ki s klasičnimi metodami niso dosegljive. Zaradi vprašanj v povezavi z nepredvidljivimi tveganji so se razvili varnostni predpisi, ki urejajo uvoz, gojenje in uporabo GSR za hrano in krmo.

6 LITERATURA

Annual Monitoring Report on the cultivation of MON 810, Portugal and Spain in the 2023 growing season. Bayer Agriculture BV, November 2024: 59 str.,

- https://food.ec.europa.eu/document/download/1d17ab3f-2146-43ea-9791-983c91566a61_en?filename=gmo_rep-stud_mon-810_report-2024.pdf&prefLang=sl
- Bertho L, Schmidt K, Schmidtke J, Brants I, Fernández Cantón R, Novillo C and Head G, 2020. Results from ten years of post-market environmental monitoring of genetically modified MON 810 maize in the European Union. *Plos One*, 1-19, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217272>
- Broothaerts W., Jacchia S., Angers A., Petrillo M. Querci, M. Savini, C., Van den Eede G. in Emons H. 2021. New Genomic Techniques: State-of-the-Art Review. Luxembourg, Publications Office of the European Union: 94 str., <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC121847>
- Direktiva 2001/18/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. marca 2001 o namernem sproščanju gensko spremenjenih organizmov v okolje in razveljavitvi Direktive Sveta 90/220/EGS ,<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0018>
- ISAAA. 2018. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2018: Biotech Crops Continue to Help Meet the Challenges of Increased Population and Climate Change. ISAAA Brief No. 54. ISAAA: Ithaca, NY. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54/executive-summary/pdf/B54-ExecSum-English.pdf>
- EFSA GMO Panel (EFSA Panel on Genetically Modified Organisms). Mullins E., Bresson J.L., Dalmay T. in sod. 2023. Scientific opinion on the assessment of genetically modified maize MON 810 for renewal authorisation under Regulation (EC) No 1829/2003(dossier GMFF-2022-9450). *EFSA Journal*, 2024, 22: e8489, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8489>
- Naegeli, H., Bresson, J.-L., Dalmay, T., Dewhurst, I. C., Epstein, M. M., Firbank, L. G., Guerche, P., Hejatk, J., Moreno, F. J., Mullins, E., Nogué, F., Rostoks, N., Sánchez Serrano, J. J., Savoini, G., Veromann, E., Veronesi, F., Álvarez, F., Ardizzone, M., ... Raffaello, T. (2021a). Scientific opinion on the assessment of genetically modified maize 1507 × MIR162 × MON810 × NK603 and subcombinations, for food and feed uses, under regulation (EC) No 1829/2003 (application EFSA-GMO-NL-2015-127). *EFSA Journal*, 19(1), 6348.
- Ellstrand, N., Prentice, H., Hancock, J. 1999. Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30, 539–563, doi:10.1146/annurev.ecolsys.30.1.539
- Guertler P., Pallarz S., Belter A., Eckermann K. N. in Grohmann L. 2023. Detection of commercialized plant products derived from new genomic techniques (NGT)-Practical examples and current perspectives. *Food Control*, 152: 109869, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109869>
- Kaiser N., Douches D., Dhingra A., Glenn K. C., Herzig P. R., Stowe E. C. in Swarup S. 2020. The role of conventional plant breeding in ensuring safe levels of naturally occurring toxins in food crops. *Trends in food science & technology*, 100: 51-66, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.042>
- Katsarova I. 2024. Plants obtained by certain new genomic techniques. European Parliamentary Research Service, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2024/757626/EPRS_ATA\(2024\)757626_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2024/757626/EPRS_ATA(2024)757626_EN.pdf)
- Kjeldaa S., Dassler T., Antonsen T., Wikmark O. G., Myhr A. I. 2023. With great power comes great responsibility: why 'safe enough' is not good enough in debates on new gene technologies. *Agriculture and Human Values*, 40: 533–545, <https://doi.org/10.1007/s10460-022-10367-6>
- Lemarié S., Marette S. 2022. The socio-economic factors affecting the emergence and impacts of new genomic techniques in agriculture: A scoping review. *Trends in Food Science and Technology*, 129: 38–48, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.07.013>
- Lukasiewicz J. M., Van De Wiel C. C. M., Lotz L. A. P., Smulders, M. J. M. 2024. Consumer transparency in the production chain for plant varieties produced using new genomic techniques. *aBIOTECH*, 5: 239-246, <https://doi.org/10.1007/s42994-024-00142-y>
- New genomic techniques. 2023. European Commission, publications office of the European Union. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_23_3571
- Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on plants obtained by certain new genomic techniques and their food and feed, and amending Regulation. 2023. European Commission, št. 2017/625, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52023PC0411>

- Ray, D., Gerber, J., MacDonald, G., West, P. 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6, 5989, doi: 10.1038/comms6989
- Salgotra R., Chauhan B. 2023. Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. *Genes*, 14, 174, <https://doi.org/10.3390/genes14010174>
- Schouten H. J., Krens F. A., Jacobsen E. 2006. Cisgenic plants are similar to traditionally bred plants: International regulations for genetically modified organisms should be altered to exempt cisgenesis. *EMBO Reports*, 7: 750–753, <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400769>
- Spök A., Sprink T., Allan A. C., Yamaguchi T., Dayé C. 2022. Towards social acceptability of genome-edited plants in industrialised countries? Emerging evidence from Europe, United States, Canada, Australia, New Zealand, and Japan. *Frontiers in Genome Editing*, 4: 899331, <https://doi.org/10.3389/fgeed.2022.899331>
- Winter G. 2024. The European Union's deregulation of plants obtained from new genomic techniques: a critique and an alternative option. *Environmental Sciences Europe*, 36: 47, <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00867-z>
- Zakon o ravnanju z gensko spremenjenimi organizmi. 2005. Ur. l. RS št. 4/2002, 39/2005 in 43/2011, <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO3052>

Nadzor kakovosti semenskega in sadilnega materiala zelenjadnic, namenjenega ljubiteljskim pridelovalcem, v Sloveniji v obdobju od 2013 do 2024 ter primerjava z obdobjem od 2006 do 2012

Damjana ŽNIDAR⁷⁸, Romana RUTAR⁷⁹, Kristina UGRINOVIC⁸⁰, Drago ŽITEK⁸¹ in Mojca ŠKOF⁸²

Izvleček

Kakovost semenskega materiala zelenjadnic, ki se trži v Sloveniji, je predmet sistematičnega nadzora, v okviru katerega ugotavljamo, ali semenski material izpolnjuje s predpisi določene zahteve. Z laboratorijskimi testi preverjamo čistoto, kalivost in pri nekaterih vrstah tudi zdravstveno stanje semena, v poljskih poskusih pa sortno pristnost in čistost semenskega materiala. V letih od 2013 do 2024 je bil nadzor tako kot v preteklih letih, usmerjen k sortam, ki so namenjene ljubiteljskim pridelovalcem. V tem obdobju smo preverili skupaj 840 vzorcev. V laboratoriju za kontrolo kakovosti semena je bilo analiziranih 749 vzorcev semena zelenjadnic, v poljskem preverjanju pa 423 vzorcev semena, razmnoževalnega in sadilnega materiala. Pri laboratorijskih analizah je bil delež neustreznih vzorcev v tem dvanajstletnem obdobju 15 %, kar je slabše od povprečja sedemletnega obdobja od 2006 do 2012, ko je bilo neustreznih vzorcev 9 %. Pri preverjanju sortne pristnosti in čistosti je delež neustreznih vzorcev glede na obdobje od 2006 do 2012 ostal nespremenjen, to je 26 %. V prispevku ugotavljamo, da je delež neustreznih vzorcev še vedno razmeroma visok. Delež neustreznih vzorcev pri preverjanju sortne pristnosti in čistosti je ostal enako visok kot v prejšnjem obdobju, delež neustreznih vzorcev pri laboratorijskih analizah kakovosti pa se je celo povečal.

Glavne besede: kakovost semena, sortna pristnost, sortna čistost, naknadna kontrola

Control of quality of vegetable propagating and planting material intended for amateur gardeners in Slovenia in a period from 2013 to 2024 in comparison with a period from 2006 to 2012

Abstract

The quality of vegetable propagating and planting seed material marketed in Slovenia is systematically controlled to determine whether the seed material meets the legal requirements. Laboratory seed tests are carried out to assess the purity, germination, and the health status of particular species, while field tests are carried out to assess the varietal authenticity and purity of the seed material. From 2013 to 2024, as in previous years, the focus of the research was on seeds intended for amateur gardeners. For this purpose, 749 samples of vegetable seed were tested in the seed testing laboratory and 423 samples of vegetable seed and/or planting material were tested in the field. The proportion of non-compliant samples in the laboratory analyses during this period reached 15 %, which is higher than the average of 9 % for the period from 2006 to 2012. The proportion of non-compliant samples in terms of varietal authenticity and purity testing remained unchanged at 26 % compared to the period from 2006 to 2012. This shows that the proportion of non-compliant samples is evidenced to be still relatively high. The proportion of non-compliant samples in varietal authenticity and purity testing has remained as high as in the previous period, while the proportion of non-compliant samples in laboratory quality testing has even increased.

Keywords: seed quality, varietal identity, varietal purity, post-control

⁷⁸ Univ. dipl. inž. agr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: damjana.znidar@kis.si

⁷⁹ Mag., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: romana.rutar@kis.si

⁸⁰ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: kristina.ugrinovic@kis.si

⁸¹ Univ. dipl. inž. agr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: drago.zitek@kis.si

⁸² Univ. dipl. inž. agr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: mojca.skof@kis.si

1 UVOD

Od vstopa v EU se v skladu s predpisi EU, katerim so bili prilagojeni tudi predpisi v Sloveniji, izvaja sistematični nadzor semenskega materiala, ki se trži. Ves semenski material zelenjadnic (seme ter razmnoževalni in sadilni material), ki se trži v Sloveniji, mora zato izpolnjevati minimalne zahteve predpisane v *Pravilniku o trženju semena zelenjadnic* (Ur.l. RS, št. 114/22), v *Pravilniku o trženju razmnoževalnega in sadilnega materiala zelenjadnic, razen semena* (Ur.l. RS, št. 61/05, 66/07, 18/14 in 75/20) in v *Pravilniku o pridelavi in trženju semena ohranjevalnih sort in sort razvitih za pridelovanje v posebnih pogojih* (Ur.l. RS, št. 107/10 in 18/14). Podlaga za izvajanje nadzora kakovosti semenskega materiala je *Zakon o semenskem materialu kmetijskih rastlin* (Ur.l. RS, št. 25/05, 41/09, 32/12, 90/12–ZdZPVHVVR in 22/18), ki med drugim predpisuje obvezno naknadno kontrolo določenega deleža partij semenskega materiala v prometu.

Nadzor kakovosti semenskega materiala zelenjadnic in tudi drugih kmetijskih rastlin poteka v okviru nalog, ki jih opravlja Inšpekcija RS za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin (v nadaljevanju: IVHVVR) in v okviru strokovne naloge, ki jo financira Uprava RS za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin (v nadaljevanju: UVHVVR), izvaja pa Kmetijski inštitut Slovenije (v nadaljevanju: KIS). Zaradi sprememb nakupovalnih navad ljubiteljskih pridelovalcev, ki se vse pogostejše odločajo za nakup sadik zelenjadnic in pri mnogih vrstah vse manj posegajo po semenu, so v naknadno kontrolo od leta 2020 naprej poleg semena in razmnoževalnega materiala vključene tudi sadike zelenjadnic.

Dosedanja dva pregleda rezultatov nadzora semenskega materiala zelenjadnic za obdobje od 2006 do 2010 ter za leti 2011 in 2012 (Ugrinović in sod. 2010, Ugrinović in sod. 2013), ki sta povzela rezultate nadzora kakovosti semena in razmnoževalnega materiala brez sadik, ki se jih do leta 2020 še ni vzorčilo, sta pokazala, da so deleži neustreznih vzorcev pri zelenjadnicah razmeroma visoki. Pri laboratorijskih analizah vzorcev semena je bil v obdobju od 2006 do 2012 povprečni delež neustreznih vzorcev, med katerimi so prevladovali tisti s prenizko kalivostjo, 9 %, pri preverjanju sortne pristnosti in čistosti pa je bil v istem obdobju povprečni delež neustreznih vzorcev 26 %, najpogostejši razlog zanj pa neustrezna sortna pristnost.

V nadaljevanju so prikazani rezultati laboratorijskih analiz kakovosti semena ter rezultati poljskega preskušanja sortne pristnosti in čistosti semena, razmnoževalnega ter sadilnega materiala zelenjadnic za obdobje od 2013 do 2024 in primerjava z obdobjem od 2006 do 2012.

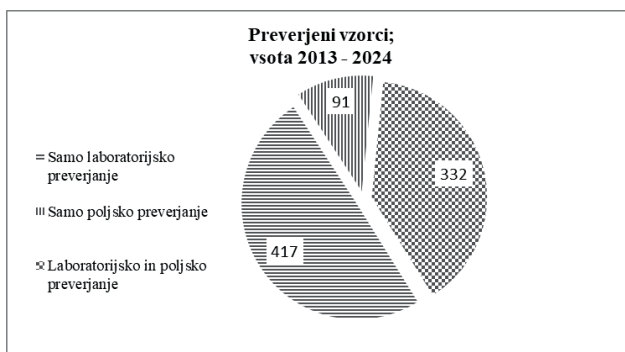
2 MATERIAL IN METODE DELA

Nadzor kakovosti semena, razmnoževalnega in sadilnega materiala zelenjadnic, ki se trži v Sloveniji, ter semena zelenjadnic kategorije standardno seme, ki ga pakirajo slovenski dobavitelji, poteka v skladu s predpisi, navedenimi v Uvodu. Delež partij semenskega materiala zelenjadnic v prometu, ki jih je potrebno preveriti v naknadni kontroli, v obstoječi zakonodaji ni natančno opredeljen. Vrste, sorte in število vzorcev zelenjadnic, ki so v tekočem letu vključeni v naknadno kontrolo, so določeni s programom vzorčenja, ki je sestavni del letnega programa UVHVVR. Vsako leto je tako ciljno izbranih nekaj vrst zelenjadnic in znotraj teh nekaj bolj razširjenih sort.

Naknadna kontrola semenskega materiala zelenjadnic je bila, kot v preteklosti, tudi v obdobju med 2013 in 2024, usmerjena k sortam namenjenim ljubiteljskim pridelovalcem, z vzorčenjem sadik pa je od leta 2020 dalje v kontrolo zajet tudi del sort, ki je primarno namenjen tržnim pridelovalcem. Vzorce za naknadno kontrolo od semenskega materiala, ki je na trgu, odvzamejo inšpektorji IVHVVR. Praviloma je isti vzorec semena najprej vključen v preverjanje kakovosti z laboratorijskimi testi, nato pa je predan v preverjanje sortne pristnosti in čistosti na kontrolnem polju. V primeru, da vzorci semena ne izpolnjujejo minimalnih kriterijev za kakovost semena,

ki se preverja v laboratoriju, jih v preverjanje sortne pristnosti in čistosti na polju ne vključimo. Vzorce v obliki razmnoževalnega materiala, kot so gomolji, čebulice, rizomi in podobno ter vzorce v obliki sadik, se vključi direktno v preverjanje sortne pristnosti in čistosti na polju, a jih iz poljskega preverjanja izločimo, če se izkaže, da niso skladni z zakonodajo o zdravstvenem varstvu rastlin.

Način izvajanja naknadne kontrole zelenjadnic (vzorčenje, preverjanje kakovosti z laboratorijskimi analizami, ki vključujejo tehnično čistoto, kalivost semena in pri nekaterih vrstah zdravstveno stanje ter preverjanje sortne pristnosti in čistosti semena ter razmnoževalnega in sadilnega materiala na kontrolnem polju) določa *Metoda naknadne kontrole semena ter razmnoževalnega in sadilnega materiala - Zelenjadnice* (UVHVVR-NK/1/3). Podrobnejši opis posameznih metod je podan v Ugrinović in sod. (2010). Z zadnjo posodobitvijo metode je bil postopku odvzema in ravnanja z vzorci semena dodan tudi postopek vzorčenja sadik in ravnanja z njimi od vzorčenja do dostave vzorcev pooblaščenemu izvajalcu preverjanja sortne pristnosti in čistosti. Povzeto po uradnih EU protokolih CPVO (Community Plant Variety Office) za preverjanje razločljivosti, izenačenosti in nespremenljivosti sort je v prilogi metode določeno tudi število rastlin potrebnih za preverjanje glede na vrsto zelenjadnice. Šteje se, da vzorčena partija semena ustreza zahtevam za kakovost semena in sortno čistost, če izpolnjuje pogoje, ki jih določa *Pravilnik o trženju semena zelenjadnic*, vzorčena partija sadik in razmnoževalnega materiala (npr. sadike, čebulice) pa zahtevam za sortno čistost, če so izpolnjeni pogoji, ki jih določa *Pravilnik o trženju razmnoževalnega in sadilnega materiala zelenjadnic, razen semena*. Delež za sorto netipičnih rastlin je pri lubenici, meloni, visokem in nizkem fižolu, grahu ter bobu največ 5 %, pri solati, feferonu, papriki, kumari, kumarici, navadni buči, ter vrtni buči ali bučki največ 8 %, pri zeleni, radiču za siljenje, listnatem in glavnatem radiču ter špinači največ 15 % in pri ostalih vrstah največ 10 %.



Slika 1: Število vzorcev, ki so bili v obdobju od 2013 do 2024 preverjeni v laboratoriju in/ali na polju

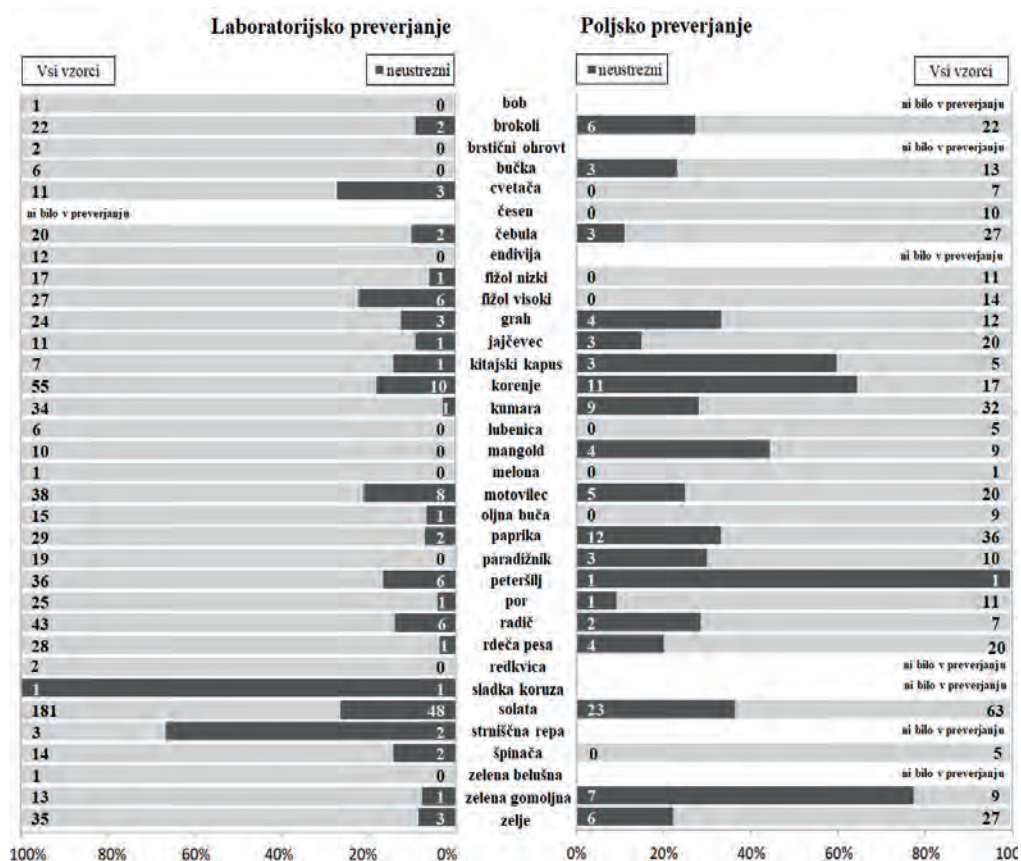
V letih od 2013 do 2024 je bilo v laboratoriju za kontrolo kakovosti semena analiziranih 749 vzorcev semena, na poskusnem polju pa je bilo glede sortne pristnosti in čistosti preverjenih 423 vzorcev semenskega materiala (slika 1), in sicer 352 vzorcev semena, 10 vzorcev čebule iz čebulčka, 10 vzorcev česna iz stročkov in 51 vzorcev v obliki sadik: 13 vzorcev paprike, 10 vzorcev jajčevca, 9 vzorcev bučk, 4 vzorce solatnih kumar, 4 vzorce solate, 5 vzorcev brokolija, 5 vzorcev belega zelja ter 1 vzorec pora.

Vrsta zelenjadnice	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		SKUPAJ	
	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P	L	P
Bob									1																1	
Brokoli	9	9			1				1		9	8			1								3	5	22	22
Breskvi ohrovt																								2		
Bucka							1										5	13						6	13	
Cvrtaka							1						9	7					1					11	7	
Čebula			15	18	1		2	9								2								20	27	
Cesen																									10	
Endivija							4						1						3	2	2			12		
Fižol luzki			2				2										13	9	1			1		17	11	
Fižol visoki					4				9	5	1	19	12								11	9		27	14	
Grah					4				1															24	12	
Jajčevce							11	10																11	20	
Kinjski kapus											1								6	5				7	5	
Korenje					21	9	7	8	4		2		3		4		4		4		5		1	55	17	
Kumara					1		15	10	12	12									6	10				34	32	
Lubenica	5	5					1																	6	5	
Mangold																										
Melona															9	9					1			10	9	
Motovilec																								1	1	
Oljna buča			10	10					4				15	10	4		2		1	1			1	38	20	
Paprika					2	2	5	5			1		2						2	2	3			15	9	
Paradiznik			14	14	1				11	9							13	1	2				29	36		
Petersilj							1		5				11	10							1			19	10	
Por					8	6	1	2	2		3	5	4		1		4		1	2	3		3	36	1	
Radlje					1		1		1	18	10				1						3	1		25	11	
Rdeča pesa					2		1	4	4		4	1	2	4		4	14	7	5	6			43	7		
Redkevica							1				13	10			1		1		12	10			28	20		
Špadska kumara															1								2			
Solata	25	24		5	9		8	2	17	10	3		21	12	12		12		19	10	15		40	181	63	
Srbska repa																								3		
Špinacea					1		1		1		1				1		3		1		7	5		14	5	
Zelena belušica																								1		
Zelena gomolja					8	4	2	5	1				1				1		1					13	9	
Zelje					13	11	2	5	1		2				13	6	1				1		2	5	35	
Skupaj	39	38	39	49	77	36	74	55	75	36	76	40	68	39	55	28	32	62	35	67	24	62	11	749	423	
Skupaj vzorcev	39						94		75		76		68		68		74		70		67		73	840		
Legenda:	Skupaj preverjanj																								1172	

Preglednica 1: Število vzorcev posameznih vrst zelenjadic, pri katerih je bila preverjena kakovost semena v laboratoriju ter sortna pristnost in čistost vzorcev semena, razmnoževalnega in sadilnega materiala na polju v letih od 2013 do 2024

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

V letih od 2013 do 2024 smo skupaj preverili več kot 360 različnih sort, ki so pripadale več kot 30 vrstam zelenjadic. Povprečno je bilo skupno v preverjanja na leto vključenih 70 vzorcev. V laboratoriju za kontrolo kakovosti semena je bilo na letni ravni v povprečju analiziranih 62 vzorcev semena, na polju pa na sortno pristnost in čistost 35 vzorcev. Število vzorcev, ki smo jih pri posameznih zelenjadicah preverili v letih od 2013 do 2024, je prikazano v preglednici 1. Največkrat preverjeni vzorci so bili vzorci semena solate, kar 190 vzorcev, sledi korenje z 61 vzorci, zelje s 44, radič s 43 in paprika z 42 vzorci. Med 30 in 40 vzorcev je bilo preverjenih še pri petersilju, čebuli, motovilcu in kumari. Črna redkev, kolerabica, ohrovt in podzemna koleraba v tem obdobju niso bili preverjeni.



Slika 2: Število preverjenih vzorcev posameznih vrst zelenjadnic v obdobju od 2013 do 2024, število neustreznih vzorcev pri laboratorijskih analizah in pri preverjanju sortne pristnosti in čistosti na polju ter delež ustreznih in neustreznih vzorcev

3.1 Rezultati laboratorijskih analiz

V obdobju od 2013 do 2024 je bilo z laboratorijskimi analizami preverjenih 749 vzorcev semena, ki so pripadali različnim rastlinskim vrstam zelenjadnic. Rezultati nadzora laboratorijskih analiz kakovosti semena so pokazali, da so deleži neustreznih vzorcev pri zelenjadnicah razmeroma visoki. V posameznih letih se je delež neustreznih vzorcev gibal od 5 % v letu 2013 do kar 34 % v letu 2024 (do konca oktobra). Med neustreznimi vzorci so prevladovali tisti s prenizko kalivostjo. Povprečni delež neustreznih vzorcev v tem dvanajstletnem obdobju znaša 15 %, kar v skupnem številu pomeni 112 vzorcev. Glavnino neustreznih vzorcev predstavlja 106 vzorcev semena, ki so imeli prenizko kalivost. Med temi vzorci kar 11 vzorcev semena solate in 2 vzorca semena motovilca ni kalilo, 14 vzorcev semena je imelo kalivost 10 % ali manj, 10 vzorcev je kalilo nad 10 % do vključno 20 %, 32 vzorcev pa nad 20 % do vključno 50 %. 5 vzorcev semena je bilo neustreznih zaradi premajhnega deleža čistega semena, 1 vzorec pa je bil neustrezen tako zaradi premajhnega deleža čistega semena, kot tudi zaradi slabega zdravstvenega stanja.

V dvanajstletnem obdobju so največji delež vseh vzorcev semena, ki so bili analizirani v laboratoriju, predstavljali vzorci semena solate, ki jih je bilo 181 in so bili analizirani vsako

leto. Sledijo vzorci treh rastlinskih vrst, ki so bile analizirane 10 zaporednih let: 55 vzorcev korenja, 43 vzorcev radiča in 36 vzorcev peteršilja. Ostale rastlinske vrste so bile redkeje zastopane, posledično pa je bilo analiziranih tudi manj vzorcev.

Slika 2 prikazuje delež ustreznih in neustreznih vzorcev pri laboratorijskih analizah kakovosti semena v letih od 2013 do 2024 pri posameznih vrstah zelenjadnic. V stolpcu na levi strani grafa je dodan seštevek vseh preverjenih vzorcev po posamezni vrsti zelenjadnice.

3.2 Primerjava rezultatov laboratorijskih analiz med obdobji od 2006 do 2012 in od 2013 do 2024

V obdobju od 2013 do 2024 je bilo z laboratorijskimi analizami odkritih 112 neustreznih vzorcev od 749 preverjenih, kar predstavlja 15 % delež neustreznih vzorcev. V obdobju od 2006 do 2012 je bilo neustreznih 32 od 357 preverjenih vzorcev, kar pomeni 9 % delež neustreznih vzorcev (slika 3). Iz podatkov sklepamo, da se je kakovost vzorcev semena, ki je bila preverjena z laboratorijskimi analizami, v zadnjih 12 letih poslabšala, kar opravičuje povečan obseg kontrole vzorcev, ki se pojavljajo na trgu. Povprečno število inšpekcijsko odvzetih vzorcev se je na letni ravni namreč iz 51 vzorcev v letu 2013 povečalo na 62 v letu 2024 (do konca oktobra), kar predstavlja približno 20 % povečanje odvzetih vzorcev na trgu v zadnjih dvanajstih letih.

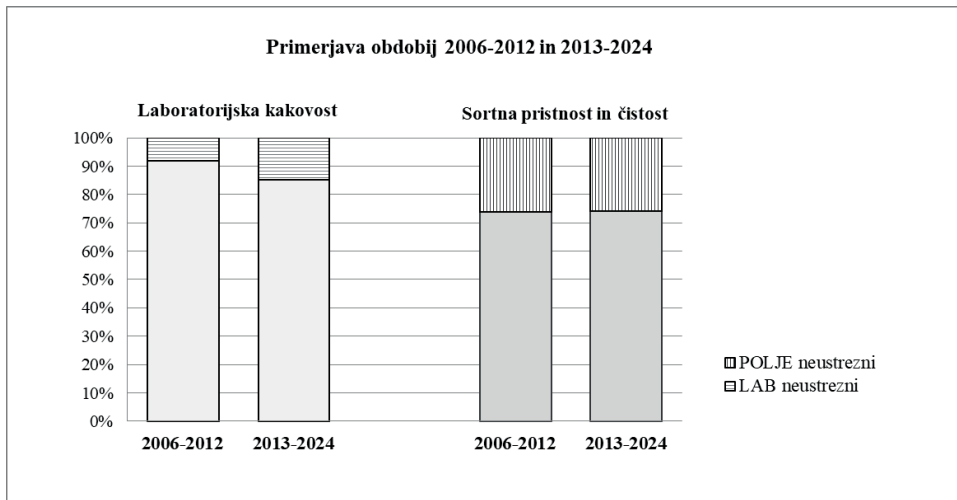
3.3 Rezultati preverjanja sortne pristnosti in čistosti

V obdobju od 2013 do 2024 sta bili sortna pristnost in čistost preverjeni pri skupno 423 vzorcih, ki so pripadali 27 vrstam ali podvrstam zelenjadnic. Iz preverjanja sta bila odstranjena dva vzorca, to je en vzorec paprike, ki mu je bila z nadaljnjimi testi potrjena prisotnost Potato spindle tuber viroid – PSTVd in vzorec nizkega fižola, ki mu je bila potrjena prisotnost *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*. Preverjanja so pokazala, da je bil povprečni delež neustreznih vzorcev semena, razmnoževalnega in sadilnega materiala 26 % (povprečni delež neustreznih vzorcev semena je bil 31 %). Neustrezni vzorci pretežno niso zadostili kriterijem sortne pristnosti, kar pomeni, da rastline po svojih morfoloških in fenoloških lastnostih niso ustrezale navedeni sorti. Med skupaj 110 neustreznimi vzorci, jih 13 ni ustrezalo zahtevam sortne čistosti. Največji delež neustreznih vzorcev glede na vrsto je pripadalo peteršilju, gomoljni zeleni, korenju, kitajskemu kapusu in mangoldu. Pri njih je bilo od preverjenih vzorcev več kot 40 % neustreznih, sledili so vzorci solate, graha, paprike in paradižnika, vsi z nad 30% deležem neustreznih vzorcev. Med 20 in 30 % so se uvrstili bučka, brokoli, zelje in rdeča pesa, pod 20 % še jajčevci, čebula in por. Pri cvetači, česnu, fižolu, lubenici, meloni, oljni buči in špinači nismo našli neustreznih vzorcev, medtem ko boba, brstičnega ohrovtja, črne redkve, endivije, kolerabice, ohrovtja, podzemne kolerabe, redkvice, sladke koruze, strniščne repe in belušne zelene v tem obdobju nismo preverjali. Rezultati preverjanj po vrstah zelenjadnic v letih od 2013 do 2024, so prikazani na sliki 2. V stolpcu na desni strani grafa je dodan seštevek vseh preverjenih vzorcev posamezne vrste zelenjadnice. Od leta 2020, ko smo začeli preverjati tudi sadike, do konca leta 2024, je bilo v preverjanju 51 vzorcev sadik, ki so pripadali papriki, bučki, jajčevcu, kumari, solati, zelju, brokoliju in poru. Od tega je bilo neustreznih vzorcev 6, torej slabih 12 % vseh vzorcev sadik, kar je v primerjavi z deležem neustreznih vzorcev semena (31 %) 2,5-krat manj. Največ neustreznih vzorcev sadik je pripadalo papriki tipa babure.

3.4 Primerjava rezultatov preverjanj sortne pristnosti in čistosti med obdobji od 2006 do 2012 in od 2013 do 2024

V obdobju od 2013 do 2024 smo s preverjanji sortne pristnosti in čistosti odkrili 110 neustreznih vzorcev od 423 preverjenih, torej 26 % neustreznih vzorcev. V obdobju od 2006 do 2012 je bilo neustreznih 110 od 418 preverjenih vzorcev, kar je pomenilo 26,3 % neustreznih vzorcev (slika

3). Sortna pristnost in čistost vzorcev, odvzetih na trgu se torej v zadnjih 12 letih ni izboljšala. Povprečno število preverjenih vzorcev na leto se je kljub temu iz 60 zmanjšalo na 34, kar predstavlja kar 43 % zmanjšanje odvzetih vzorcev na trgu v zadnjih 12 letih. V letu 2024 je bilo preverjenih le še 11 vzorcev.



Slika 3: Primerjava deležev ustreznih in neustreznih vzorcev pri laboratorijskih analizah (levo) in pri kontroli na polju (desno) za obdobji od 2006 do 2012 in od 2013 do 2024

4 SKLEPI

Kakovost semenskega materiala zelenjadnic, ki je na trgu namenjen ljubiteljskim pridelovalcem, je bila v obdobju od 2013 do 2024, glede na rezultate laboratorijskih analiz kakovosti semena, v povprečju slabša od obdobja od 2006 do 2012. Neustreznost sortne pristnosti in čistosti semena ter razmnoževalnega in sadilnega materiala je bila v enakih okvirih kot v prejšnjem primerjalnem obdobju, torej 26 %, s tem da se je ustreznost semena celo poslabšala na 31 %, je pa bila ustreznost sadik boljša, 12 %.

Na splošno velja, da je kakovost semena (vključujoč zdravstveno stanje), ki je rezultat laboratorijskih analiz, v povprečju še vedno nekoliko boljša od sortne pristnosti in čistosti, ki sta preverjeni na polju. Pri laboratorijski analizah med neustreznimi vzorci prevladujejo tisti s prenizko kalivostjo, pri poljskih poskusih pa je za neustreznost vzorcev glavni vzrok sortna pristnost.

Kot so ugotavljali že prej (Ugrinović in sod., 2010, 2013), še vedno velja, da bo zaradi relativno velikega deleža neustreznih vzorcev tudi v prihodnje potrebno trg semenskega materiala zelenjadnic, namenjenega ljubiteljskim pridelovalcem, dosledno nadzorovati. Priporočamo razmislek o dodatnih ukrepih, ki bi pomagali izboljšati nezavidljivo stanje na trgu, kot je na primer povečanje obsega inšpekcijsko odvzetih vzorcev, ponovitev nadzora neskladnih pakiranj v naslednjem letu, kot je to že bila praksa v preteklosti, redna objava rezultatov preverjanj po dogovorjenih kanalih in obveščanje javnosti o rezultatih. Izboljšano stanje na trgu bi povečalo kakovost oskrbe s kvalitetnim semenskim materialom, ki je osnova za pridelavo zelenjave.

5 LITERATURA

- Metoda naknadne kontrole semena ter razmnoževalnega in sadilnega materiala (UVHVVR-NK/1/3)
- Pravilnik o pridelavi in trženju semena ohranjevalnih sort in sort, razvitih za pridelavo v posebnih pogojih (Ur. l. RS, št. 107/10 in 18/14)
- Pravilnik o trženju razmnoževalnega in sadilnega materiala zelenjadnic, razen semena (Ur.l. RS, št. 61/05, 66/07, 18/14 in 75/20)
- Pravilnik o trženju semena zelenjadnic (Ur.l. RS, št. 114/22)
- Ugrinović, K., Žitek, D., Škof, M., Rutar, R. 2010. Nadzor kakovosti semenskega materiala zelenjadnic namenjenega ljubiteljskim pridelovalcem v letih od 2006 do 2010 v Sloveniji. V: Kocjan Ačko, D. (ur.), Čeh, B. (ur.). Novi izzivi v poljedelstvu 2010: zbornik simpozija, Rogaška Slatina: 210-216
- Ugrinović, K., Žitek, D., Škof, M., Rutar, R. 2013. Nadzor kakovosti semenskega materiala zelenjadnic, namenjenega ljubiteljskim pridelovalcem, v Sloveniji v letih 2011 do 2012 ter primerjava z obdobjem od 2006 do 2010. V: Čeh, B. (ur.), Dolničar, P. (ur.), Mihelič, R. (ur.). Novi izzivi v agronomiji 2013: zbornik simpozija, Zreče: 322-328
- Zakon o semenskem materialu kmetijskih rastlin (Ur. l. RS, št. 25/05 – uradno prečiščeno besedilo, 41/09, 32/12, 90/12 – ZdZPVHVVR in 22/18)

Barvni parametri zbirke genskih virov listnega ohrovt (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) ter vsebnosti klorofila pred in po zmrzali

Lovro SINKOVIČ⁸³, Mohamed NEJI⁸⁴, Barbara PIPAN⁸⁵ in Vladimir MEGLIČ⁸⁶

Izvleček

Poskus, v katerem smo primerjali barvne parametre genskih virov listnega ohrovt in vsebnosti klorofila v tehnološko razvitih listih pred ter po zmrzali, je potekal na poskusnih poljih Infrastrukturnega centra Jable na Kmetijskem inštitutu Slovenije. Zbirka listnega ohrovt je vključevala 26 genskih virov *Brassica oleracea* L. var. *acephala*. Vzgojene sadike smo v maju presadili na prosto na grebene prekrite s polietilensko folijo in namakalnim sistemom. Barvo tehnološko zrelih listov smo ovrednotili v začetku oktobra s Chroma metrom (L^* , a^* , b^*), vsebnost klorofila (vrednost SPAD) pa z merilnikom SPAD-502Plus. Vrednost SPAD smo v listih ponovno izmerili v decembru po 4×kratnem nastopu zmrzali oz. negativnih temperatur (-1,1 °C; -1,6 °C; -1,6 °C; -2,3 °C). Barvni parametri CIELAB so se značilno razlikovali med genskimi viri listnega ohrovt. Najtemnejše obarvane liste sta imela genska vira R2 in R6, najsvetlejšje obarvane liste pa genska vira R24 in R9. Vsebnost klorofila v listih se je gibala v razponu od 45,95 do 75,63. Analiza variance je pokazala značilne razlike v vsebnostih klorofila tako med genskimi viri kot vplivom zmrzali, medtem ko interakcija genski vir*zmrzal ni pokazala značilnih razlik. Analiza glavnih komponent (PCA) na podlagi barvnih parametrov je preučevane genske vire ločila v tri ločene skupine.

Ključne besede: listni ohrovt, genski vir, klorofil, barvni parametri.

Colour parameters of collection of leafy kale genetic resources (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) and chlorophyll content before and after frost

Abstract

The experiment, in which several colour parameters of leafy kale genetic resources and chlorophyll content in technologically developed leaves were compared before and after frost, was conducted in the experimental fields of Jable Infrastructure Centre at Agricultural Institute of Slovenia. The leafy kale collection included 26 genetic resources of the species *Brassica oleracea* L. var. *acephala*. The pre-grown seedlings were planted outdoors in May on ridges covered with polyethylene foil and an irrigation system. The chroma meter (L^* , a^* , b^*) was used to determine the leaf colour at the beginning of October, while the chlorophyll content (SPAD value) was measured using a SPAD-502Plus meter. Subsequently, the SPAD values in the leaves were measured again in December after four frost or minis temperatures (-1.1°C; -1.6°C; -1.6°C; -2.3°C). Significant differences were found in CIELAB colour parameters between the studied leafy kale genetic resources. The darkest-coloured leaves were observed in genetic resources R2 and R6, while the lightest-coloured leaves were found for genetic resources R24 and R9. The chlorophyll content of the leaves ranged from 45.95 to 75.63. Analysis of variance revealed significant differences in chlorophyll content between genetic resources and the effects of frost. However, the interaction genetic resource*frost interaction showed no significant differences. Principal component analysis (PCA) based on colour parameters revealed that the genetic resources of leafy kale can be divided into three groups.

Keywords: leafy kale, genetic resource, chlorophyll, colour parameters.

⁸³ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: lovro.sinkovic@kis.si

⁸⁴ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: mohamed.neji@kis.si

⁸⁵ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: barbara.pipan@kis.si

⁸⁶ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: vladimir.meglic@kis.si

1 UVOD

Diploidna vrsta ($2n=18$) *Brassica oleracea* L. (Brassicaceae) je najbolj raznolika rastlinska vrsta iz rodu *Brassica* in vključuje številne zelenjadnice, kot so cvetača, zelje, brokoli, brstični ohrovt, koleraba in ohrovt, z dolgo zgodovino pridelave po vsem svetu (Golicz in sod., 2016). Listni ohrovt (*B. oleracea* var. *acephala*) je s hranili bogata zelena listna zelenjava, ki je v zadnjem času pritegnila veliko zanimanja prav zaradi svoje odlične prehranske vrednosti, saj velja za pomemben vir vitaminov, esencialnih mineralov in maščobnih kislin (Pathirana in sod., 2017). Poleg uporabe v kuhinariki in prehrani evropskega, azijskega ter ameriškega prebivalstva se uporablja tudi v tradicionalni medicini ali kot živalska krma (Cartea in sod., 2003; Gonçalves in sod., 2012; Kuerban in sod., 2017). Raznolikost genskih virov ohrovtu v nekaterih agromorfoloških lastnostih, kot so oblika listov, barva listov in porazdelitev obarvanosti antocijaninov na listih, je koristna za izbiro elitnih linij za programe žlahtnjenja (Pipan in sod., 2024).

Listni ohrovt je dvoletna rastlina, ki v prvem letu tvori vegetativne dele, v drugem pa zacveti in tvori semena. V času vegetativne rasti rastline razvijejo stebela, katerih višina je odvisna od sorte in dejavnikov okolja. Na steblih se razvijejo posamezni skodrani ali gladki listi, ki so razporejeni spiralno, listne žile pa so močno odebeljene. Poznamo različne tipe listnega ohrovtu, tj. kodrolistni, gladkolistni, strženasti in okrasni. Za prehrano se uporabljajo mladi in tehnološko povsem razviti listi, ki so različnih odtenkov zelene barve, lahko pa vsebujejo antociane in so obarvani v modre, rdeče ali vijolične nianse (Ferioli in sod., 2013). Glavne prednosti listnega ohrovtu so nezahtevna pridelava, saj dobro uspeva v manj rodovitnih tleh, in odpornost proti nizkim temperaturam. Ker rastna doba navadno traja od poletja do decembra/januarja, predstavlja eno od tistih zelenjadic, ki jih uživamo pretežno v zimskem obdobju. Listi imajo specifičen okus, ki spominja na okus zelja. V času nizkih temperatur (nastop zmrzali) listi postanejo bolj sladki in posledično bolj okusni, prav tako izgubijo grenkost, kar je značilno tudi za nekatere druge rastlinske vrste iz družine Brassicaceae (Jurkow in sod., 2019).

Izgled in barva listnate zelenjave sta za potrošnike glavna senzorična parametra, ki ju povezujejo z zrelostjo in svežino, prav tako sta ključna pri izbiri ter sprejemljivosti samega živila (Hoppu in sod., 2021). Preferenca barve je sicer subjektivna, vendar potrošnik barvo zelenjave povezuje pretežno s svežostjo, barvitost in barvni kontrasti pa vplivajo na samo vizualno privlačnost (Lee in sod., 2013; Paakki in sod., 2019). Barvo živila najpogosteje opišemo z univerzalnim barvnim koordinatnim sistemom CIELAB, ki ga je leta 1976 opredelila Mednarodna komisija za osvetlitev (*International Commission on Illumination* – CIE). Ta sistem določa barvo s tremi parametri L^* , a^* in b^* , ki jih vizualiziramo v 3D prostor (Brühl in Unbehend, 2021). Parameter L^* je opredeljen kot svetlost barve od prozorne ali bele do črne (100 bela – 0 črna), a^* označuje stopnjo rdeče ($+a^*$) ali zelene ($-a^*$) barve, b^* pa stopnjo rumene ($+b^*$) ali modre ($-b^*$) barve (Ali in sod., 2009). Iz osnovnih parametrov določimo še parametra HUE^* , ki pomeni barvni ton, in $Chroma^*$, ki pomeni barvno čistost (Pathare in sod., 2013). Pri fotosintezi igrajo klorofili pomembno vlogo pri pridobivanju in pretvarjanju svetlobne energije v antenskih sistemih ter ločevanju naboja in transportu elektronov v reakcijskih centrih, zato je njihova vsebnost pomemben parameter za oceno fotosintetske sposobnosti rastline (Zhao in sod., 2020). Vsaka rastlinska vrsta ima edinstveno optimalno temperaturo za rast in razvoj, zato lahko nizke temperature zmanjšajo učinkovitost aparatov, ki igrajo pomembno vlogo pri fotosintezi, kot je tilakoidna membrana v kloroplastih. Ta pojav je posledica zmanjšane aktivnosti fotosistema II (PS II), denaturacije proteina v tilakoidni membrani ali poškodbe kloroplasta (Hikosaka in sod., 2006).

V naši raziskavi smo želeli primerjati barvo listov različnih genskih virov listnega ohrovtu pridelanih na prostem in vsebnost klorofila v listih pred ter po izpostavljenosti kratkotrajnim nizkim temperaturam (zmrzali) na polju.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Pridelava sadik in poljski poskus, v katerem smo primerjali vpliv zmrzali na različne genske vire listnega ohrovtu, je potekal v rastni sezoni maj—december 2019 na poskusnem polju Kmetijskega inštituta Slovenije v Jajbljah (304 m n.v.; 46.151°N, 14.562°E). V poskus je bilo vključenih 26 genskih virov listnega ohrovtu, ki so podrobneje predstavljeni v preglednici 1. Setev za vzgojo sadik smo opravili v začetku marca v polistirenske gojitvene plošče (104 celice) v ogrevanem plastenjaku. Vzgojene sadike smo ročno presadili na prosto v maju na grebene, prekrte s PE folijo, in opremljene z nameščenim namakalnim sistemom. Sadike smo sadili v dvo-vrstne pasove na razdalji 50 × 50 cm v štirih bioloških ponovitvah (štiri rastline/genski vir). Pred jesenskim oranjem smo tla pognojili z 20 t/ha hlevskega gnoja, tekoma rasti pa je bil posevek tretiran le s pripravki proti boleznim in škodljivcem. Oskrba poskusa je potekala v skladu z uveljavljeno agrotehniko in je vključevala redno odstranjevanje plevelov ter namakanje. Izvedbo meritev barvnih parametrov in vsebnosti klorofila smo izvedli ob tehnološki zrelosti listov v začetku oktobra. Vsebnost klorofila smo nato ponovno izmerili po štirikratni izpostavljenosti temperaturam pod lediščem (-1,1 °C; -1,6 °C; -1,6 °C; -2,3 °C) oz. nastopom zmrzali v decembru.

Preglednica 1: Genski viri listnega ohrovtu vključeni v evalvacijo in njihov izvor

ID genskega vira	Morfortip	Koda	Ime genskega vira	Država izvora
R1	<i>B. oleracea</i> L. convar. <i>acephala</i> (DC.) Alef. var. <i>sabellica</i> L.	Sorta	‘Kodrolistni ohrovt’	Slovenija (Semenarna Ljubljana)
R2	<i>Brassica oleracea</i> L.	Sorta	‘Ohrovt Nero di Toscana’	Italija (Franchi Sementi)
R3	<i>B. oleracea</i> L. convar. <i>acephala</i> (DC.) Alef. var. <i>medullosa</i> L.	Sorta	‘Krmni ohrovt’	Slovenija (Semina Royal Seeds)
R4	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	IJK-134	-	Hrvaška
R5	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	IJK-135	-	Hrvaška
R6	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	IJK-136	-	Hrvaška
R8	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	IJK-138	-	Hrvaška
R9	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	IJK-Srijane	-	Hrvaška
R10	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	IJK-Kostanje	-	Hrvaška
R11	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB00036	Trebinjski raštan	BIH
R12	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB00037	Capljinski raštan	BIH
R13	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB00038	Raštan	BIH
R14	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB00039	Raštan	BIH
R15	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB00040	Domači raštan	BIH
R16	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB00041	Crveni raštan	BIH
R17	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB00042	Kovrdzavi raštan	BIH
R18	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB00043	Raštan	BIH
R19	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB01185	Raštan	BIH
R20	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB01186	Raštan	BIH
R21	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB01187	Raštan	BIH
R22	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB01188	Raštan	BIH
R23	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB01189	Raštan	BIH
R24	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB01190	Raštan	BIH
R25	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB01191	Raštan	BIH
R26	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB01192	Raštan	BIH
R27	<i>B. oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC.	GB01193	Raštan	BIH

Barvne parametre smo merili s prenosnim Chroma metrom (Minolta CR-400, Kyoto, Japonska), ki smo ga pred meritvami kalibrirali s standardno belo ploščo Minolta. Posamezni odčitki znotraj vsakega genskega vira so bili izmerjeni na zgornji površini listov na sredini med apikalnim ter bazalnim koncem ($n = 25$). Iz pridobljenih podatkov za parametre L^* , a^* in b^* smo izračunali $Chroma^*$ po formuli $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ in HUE^* po formuli $\tan^{-1}(b^*/a^*)$. Za merjenje

vsebnosti klorofila (vrednost SPAD) v listih smo uporabili merilnik SPAD-502Plus (Konica-Minolta, Osaka, Japonska). Meritve smo opravili v treh ponovitvah na zgornji površini desetih listov in dobili odčitek vsebnosti klorofila v listih. Rezultati so podani kot povprečje vseh meritev pri posameznem genskem viru. Zbrane rezultate smo statistično ovrednotili s pomočjo programa »R statistical programming environment version 3.4.4« (R Core Team, 2021). Statistično značilnost razlik med genskimi viri in vplivom zmrzali smo določili z analizo variance (ANOVA) za dvofaktorski poskus (genski vir, zmrzal). Vsa testiranja smo opravili pri 95% zaupanju ($P < 0,05$). Podatke smo statistično ovrednotili z metodo glavnih komponent (PCA), da bi ugotovili kateri parametri so odgovorni za razlikovanje genskih virov glede na barvo.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

Kakovost listnate zelenjave določajo tržno pomembne lastnosti, med katerimi je ključen videz oz. izgled. S tem namenom smo želeli ovrednotiti barvo različnih genskih virov listnega ohrovt. Barvni parametri CIELAB in vrednost SPAD so se značilno razlikovali tako med genskimi viri kot pred in po nastopu zmrzali. V preglednici 2 so prikazani rezultati barvnih parametrov L^* , a^* , b^* , $Chroma^*$ in HUE^* v 26 genskih virih listnega ohrovt. Parameter L^* (svetlost barve) je bil značilno višji v listih osmih genskih virov R8, R9, R10, R13, R14, R18 R21 in R24 ($>40,00$). Parameter a^* (pozicija med rdečo in zeleno) je bil značilno višji ($<-8,50$) in parameter b^* (pozicija med rumeno in modro) značilno nižji ($<-8,10$) v dveh genskih virih R2 in R6.

Preglednica 2: Kvantifikacija barvnih parametrov v tehnološko zrelih listih preučevanih genskih virov listnega ohrovt

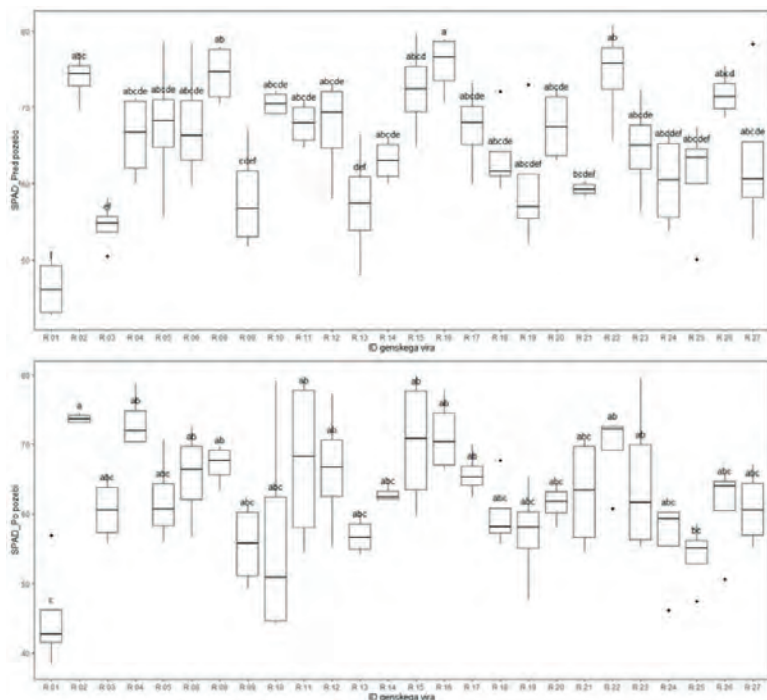
ID genskega vira	L^*	a^*	b^*	$Chroma^*$	HUE^*
R1	34,54 ± 4,83 gh	-12,98 ± 1,31 ghijk	19,35 ± 2,15 abc	23,32 ± 2,42 abcd	56,09 ± 1,75 a
R2	30,96 ± 4,26 h	-6,10 ± 1,33 a	5,19 ± 1,36 i	8,03 ± 1,83 j	40,20 ± 3,97 h
R3	37,57 ± 2,55 defg	-12,49 ± 0,85 ghij	16,46 ± 1,58 cdef	20,68 ± 1,66 cdef	52,74 ± 1,89 bcdefg
R4	34,60 ± 3,60 gh	-10,79 ± 1,32 cdef	13,97 ± 2,18 fgh	17,66 ± 2,47 fgh	52,16 ± 2,07 cdefg
R5	38,72 ± 2,56 cdefg	-13,53 ± 1,43 hijkl	19,03 ± 2,74 abcd	23,36 ± 3,03 abcd	54,44 ± 1,53 abcde
R6	38,75 ± 2,00 cdef	-11,63 ± 0,98 cdefg	14,33 ± 2,14 efgh	18,47 ± 2,26 efgh	50,74 ± 2,02 fg
R8	40,43 ± 3,26 abcde	-8,45 ± 0,92 b	8,07 ± 1,73 i	11,70 ± 1,83 i	43,21 ± 3,35 h
R9	42,92 ± 2,43 ab	-14,21 ± 1,00 kl	20,26 ± 2,44 a	24,76 ± 2,51 ab	54,80 ± 1,94 abcd
R10	41,69 ± 2,62 abc	-12,27 ± 1,34 fghij	15,87 ± 3,54 defg	20,11 ± 3,53 defg	51,73 ± 3,87 defg
R11	37,86 ± 3,17 cdefg	-12,01 ± 1,53 defghi	15,12 ± 3,13 efgh	19,33 ± 3,34 efg	51,15 ± 2,96 fg
R12	39,26 ± 3,19 bcde	-12,34 ± 1,33 fghi	15,98 ± 2,20 defg	20,20 ± 2,49 def	52,21 ± 1,83 defg
R13	41,19 ± 2,51 abcd	-12,93 ± 1,28 ghijk	17,21 ± 2,42 bcde	21,53 ± 2,66 bcde	52,94 ± 1,78 abcdef
R14	43,84 ± 3,97 a	-13,94 ± 1,53 jkl	19,65 ± 2,52 ab	23,85 ± 3,17 abc	54,16 ± 3,06 abcde
R15	37,46 ± 3,24 cdefg	-11,16 ± 1,32 cdefg	14,14 ± 2,80 efgh	18,05 ± 2,94 efgh	51,33 ± 3,09 efg
R16	37,99 ± 2,30 cdefg	-11,86 ± 1,63 cdefgh	14,48 ± 2,96 efgh	18,73 ± 3,31 efgh	50,35 ± 2,19 fg
R17	35,05 ± 2,27 fg	-10,13 ± 1,63 bc	12,03 ± 2,46 h	15,73 ± 2,89 h	49,66 ± 2,00 g
R18	41,18 ± 3,71 abcd	-11,54 ± 1,44 cdefg	14,17 ± 2,69 efgh	18,29 ± 2,92 efgh	50,55 ± 2,80 fg
R19	38,60 ± 3,89 cdefg	-13,62 ± 1,55 ijkl	19,77 ± 2,69 ab	24,02 ± 3,03 abc	55,34 ± 1,65 abc
R20	37,89 ± 3,37 cdefg	-12,63 ± 1,27 ghij	16,84 ± 2,42 bcdef	21,06 ± 2,64 cde	52,99 ± 1,90 abcdef
R21	41,37 ± 2,38 abc	-13,26 ± 0,86 hijk	16,90 ± 1,73 bcdef	21,49 ± 1,83 cde	51,78 ± 1,67 efg
R22	36,07 ± 3,36 efg	-10,28 ± 1,12 bcde	12,54 ± 2,62 gh	16,26 ± 2,61 gh	50,11 ± 4,37 fg
R23	38,37 ± 2,02 cdefg	-11,85 ± 1,20 defgh	16,05 ± 2,04 cdefg	19,96 ± 2,26 defg	53,44 ± 2,02 abcdef
R24	40,15 ± 3,55 abcde	-14,97 ± 1,33 l	22,16 ± 3,37 a	26,76 ± 3,51 a	55,73 ± 1,93 ab
R25	38,06 ± 3,83 cdefg	-12,09 ± 1,72 efghi	15,75 ± 3,59 defg	19,89 ± 3,83 defg	52,00 ± 3,21 defg
R26	36,69 ± 3,47 efg	-10,51 ± 1,33 cd	13,02 ± 1,98 gh	16,74 ± 2,31 gh	50,99 ± 1,99 fg
R27	38,21 ± 3,54 cdefg	-12,49 ± 1,54 fghij	16,01 ± 2,89 cdefg	20,32 ± 3,19 def	51,75 ± 2,26 defg

Podatki prikazujejo $\bar{x} \pm SD$ ($n = 25$). Razlike med genskimi viri z različnimi malimi črkami (a-l) v stolpcih so statistično značilne ($P < 0,05$).

Ker barvo opišemo z vsemi tremi parametri lahko zaključimo, da je imel najtemnejše obarvane liste [največ rdeče, ($a^* = -6,10$); najmanj rumene, ($b^* = 5,19$); najnižjo svetlost, ($L^* = 30,96$)]

genski vir R2 (sledil mu je R6), medtem ko je imel najsvetlejše obarvane liste [najmanj rdeče ($a^*=-14,97$); največ rumene ($b^*=22,16$); najvišjo svetlost ($L^*=40,15$)] genski vir R24 (sledil mu je R9). Značilno višjo barvno čistost ($Chroma^*$) so imeli genski viri R1, R5, R9, R14, R19 in R25 ($>23,30$), značilno nižjo pa R2, R8 in R17 ($Chroma^*=8,03-15,73$), medtem ko je bil barvni ton (HUE^*) značilno višji pri genskih virih R1, R5, R9, R13, R14, R19, R20, R23 in R24 ($>52,90$), značilno nižji pa pri R2 (40,20) in R8 (43,21). Araújo in sod. (2016) so v svežem listnem ohrovtu tipa »Galega kale« poročali o podobnih vrednostih barvnih parametrov ($L^*=35,6$; $a^*=-7,2$; $b^*=7,3$) kot smo jih v naši študiji določili pri genskih virih R2 in R8.

Vsebnost klorofila (vrednost SPAD) v tehnološko zrelih listih listnega ohrovtu pred zmrzaljo se je gibala od 46,39 do 75,63, medtem ko je bila ta v listih po zmrzali malenkost nižja in se je gibala med 45,95 in 74,16. Vsebnost klorofila pred zmrzaljo je bila značilno najvišja v listih pri genskem viru R16, najnižja pa pri genskem viru R1. Po zmrzali je imel značilno najvišjo vsebnost klorofila genski vir R4, najnižjo pa še vedno genski vir R1 (slika 1).



Slika 1: Razlike med preučevanimi genskimi viri listnega ohrovtu v vsebnostih klorofila (vrednost SPAD) pred zmrzaljo (zgoraj) in po zmrzali (spodaj)

Vsebnosti klorofila so bile pri večini genskih virov (z izjemo R3, R4 in R21) v listih pred zmrzaljo višje kot v listih po zmrzali. Analiza variance je pokazala značilne razlike v vsebnostih klorofila tako med genskimi viri (genotip) kot vplivom zmrzali, medtem ko interakcija genski vir $\times$ zmrzal ni pokazala značilnih razlik (preglednica 3). O nižjih vsebnostih klorofila izraženih kot vrednost SPAD v primerjavi z našimi rezultati so poročali Abiya in sod. (2022) v listih ohrovtu pridelanem v vertikalnem urbanem vrtu (29,9–43,8) ter Išić in sod. (2022) v listih dveh populacij ohrovtu, pridelanih v lončnem poskusu v zavarovanem neogrevanem plastenjaku (40,0–55,0). Ljubelj in sod. (2021) so na rastlinah listnega ohrovtu, ki so bile izpostavljene 24 ur

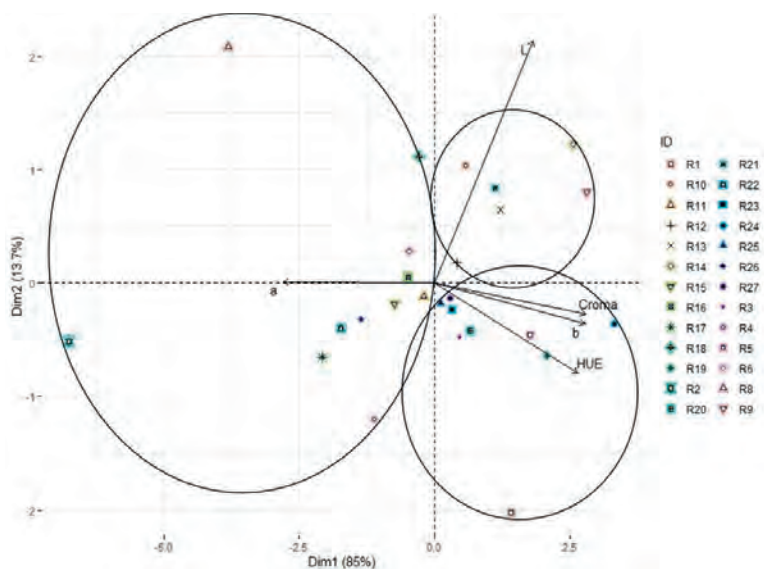
pri 8 °C poročali o višjih vsebnosti skupnih klorofilov, medtem ko so bile te nižje pri kratkotrajni izpostavljenosti nizkim temperaturam (23 ur pri 8 °C in 1 uro pri -8 °C).

Preglednica 3: Analiza variance - učinek Genotipa (ID genskega vira), Zmrzali in interakcija Genotip (ID genskega vira)*Zmrzal za vsebnost klorofila (vrednost SPAD) v listih

	Df	Sum_Sq	Mean_Sq	F-vrednost	Pr>F	Sig.
ID genskega vira	25	8136	325,4	7,449	2,55E-16	***
Zmrzal	1	363	362,7	8,302	0,00452	**
ID genskega vira : Zmrzal	25	1035	41,4	0,947	0,54072	
Ostanki	156	6815	43,7			

Sig.: *** 0.001, ** 0.01.

Statistično analizo podatkov barvnih parametrov smo opravili s PCA. Iz biplot-a na sliki 2 je razvidno, da so se oblikovale tri ločene skupine. Za enajst genskih virov (R2, R4, R6, R8, R11, R15–18, R22 in R26) v levem delu ploskve je bil najbolj vpliven parameter za razločevanje višja vrednost a^* oz. stopnja zelene barve. Za šest genskih virov R9, R10, R12–14 in R21, ki se nahajajo v desnem zgornjem delu ploskve, je bil najbolj vpliven parameter višja vrednost L^* oz. svetlost barve. Za devet genskih virov R1, R3, R5, R19, R20, R23–25 in R27, ki se nahajajo v desnem spodnjem delu ploskve, pa so bili najbolj vplivni parametri b^* (stopnja rumene barve), $Chroma^*$ (barvna čistost) in HUE^* (barvni ton).



Slika 2: PCA biplot na podlagi barvnih parametrov.

4 SKLEPI

Rezultati kažejo, da so v zbirki 26*ih preučevanih genskih virov listnega ohrovtja značilne razlike v barvnih parametrih, s katerimi opišemo barvo tehnološko zrelih listov. Genska vira R2 in R6 sta imela najtemnejše obarvane liste, medtem ko so bili ti pri R24 in R9 najbolj svetli. Na podlagi barvnih parametrov smo lahko genske vire listnega ohrovtja razdelili v tri skupine. Kratkotrajna izpostavljenost rastlin listnega ohrovtja nizkim temperaturam (zmrzali) je vplivala

na vsebnosti klorofila v listih, ki so bile pred zmrzaljo višje kot po njej pri večini preučevanih genskih virov.

Zahvala. Avtorji prispevka se zahvaljujemo raziskovalnemu programu Agrobiodiverziteta (P4-0072), ki ga finančno podpira ARIS; projektu EUBRASWILD financiranega v okviru mednarodnega programa ECPGR (Faza X 2019-2023); in bilateralnim projektom, ki jih financira ARRS: Slovenija-Srbija (BI-RS/20-21-015) ter Slovenija-Bosna in Hercegovina (BI-BA/19-20-009 in BI-BA/21-23-011). Za oskrbo posevka se zahvaljujemo Boštjanu Ogorevcu in Mojci Polak.

5 LITERATURA

- Abiya, A.A., Kupesa, D.M., Beesigamukama, D., Kassie, M., Mureithi, D., Thairu, D., Wesonga, J., Tanga, C.M., Niassy, S. 2022. Agronomic performance of kale (*Brassica oleracea*) and Swiss chard (*Beta vulgaris*) grown on soil amended with black soldier fly frass fertilizer under wonder multistorey gardening system. *Agronomy*, 12(9): p.2211.
- Ali, M.B., Khandaker, L., Oba, S. 2009. Comparative study on functional components, antioxidant activity and color parameters of selected colored leafy vegetables as affected by photoperiods. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(3-4): 392–398.
- Araújo, A.C., Oliveira, S.M., Ramos, I.N., Brandão, T.R., Silva, C.L. 2016. Influence of pretreatments on quality parameters and nutritional compounds of dried galega kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). *Food and Bioprocess Technology*, 9: 872–881.
- Brühl, L., Unbehend, G. 2021. Precise color communication by determination of the color of vegetable oils and fats in the CIELAB 1976 ($L^* a^* b^*$) color space. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 123(7): p.2000329.
- Cartea, M.E., Picoaga, A., Soengas, P., Ordás, A. 2003. Morphological characterization of kale populations from northwestern Spain. *Euphytica*, 129: 25–32.
- Ferlioli, F., Giambanelli, E., D'Antuono, L.F., Costa, H.S., Albuquerque, T.G., Silva, A.S., Hayran, O., Koçoğlu, B. 2013. Comparison of leafy kale populations from Italy, Portugal, and Turkey for their bioactive compound content: phenolics, glucosinolates, carotenoids, and chlorophylls. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(14): 3478–3489.
- Golicz, A.A., Bayer, P.E., Barker, G.C., Edger, P.P., Kim, H., Martinez, P.A., Chan, C.K.K., Severn-Ellis, A., McCombie, W.R., Parkin, I.A., Paterson, A.H. 2016. The pangenome of an agronomically important crop plant *Brassica oleracea*. *Nature Communications*, 7(1): p.13390.
- Gonçalves, Á.L.M., Lemos, M., Niero, R., de Andrade, S.F., Maistro, E.L. 2012. Evaluation of the genotoxic and antigenotoxic potential of *Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC in different cells of mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 143(2): 740–745.
- Hikosaka, K., Ishikawa, K., Borjigidai, A., Muller, O., Onoda, Y. 2006. Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *Journal of Experimental Botany*, 57(2): 291–302.
- Hoppu, U., Puputti, S., Sandell, M. 2021. Factors related to sensory properties and consumer acceptance of vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(10): 1751–1761.
- Išić, N., Ban, D., Franić, M., Godena, S., Goreta Ban, S. 2021. Changes in leaf gas exchange of kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) landraces under drought stress. In III International Organic Fruit Symposium and I International Organic Vegetable Symposium, 1354: 277–284.
- Jurkow, R., Wurst, A., Kalisz, A., Sekara, A., Cebula, S. 2019. Cold stress modifies bioactive compounds of kale cultivars during fall-winter harvests. *Acta Agrobotanica*, 72(1): 1–14.
- Kuerban, A., Yaghmoor, S.S., Almulaiky, Y.Q., Mohamed, Y.A., Razvi, S.S.I., Hasan, M.N., Moselhy, S.S., Al-Ghafari, A.B., Alsufiani, H.M., Kumosani, T.A., L-Al-Malki, A., 2017. Therapeutic effects of phytochemicals of *Brassicaceae* for management of obesity. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 19: 1–11.
- Lee, S.M., Lee, K.T., Lee, S.H., Song, J.K. 2013. Origin of human colour preference for food. *Journal of Food Engineering*, 119, 3: 508–515

- Paakki, M., Sandell, M., Hopia, A. 2019. Visual attractiveness depends on colorfulness and color contrasts in mixed salads. *Food Quality and Preference*, 76: 81–90.
- Pathare, P.B., Opara, U.L., Al-Said, F.A.J. 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1: 36–60.
- Pathirana, I., Thavarajah, P., Siva, N., Wickramasinghe, A.N., Smith, P. 2017. Moisture deficit effects on kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) biomass, mineral, and low molecular weight carbohydrate concentrations. *Scientia Horticulturae*, 226: 216–222.
- Pipan, B., Neji, M., Meglič, V., Sinkovič, L. 2024. Genetic diversity of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) using agro-morphological and simple sequence repeat (SSR) markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71(3): 1221–1239.
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Zhao, Y., Han, Q., Ding, C., Huang, Y., Liao, J., Chen, T., Feng, S., Zhou, L., Zhang, Z., Chen, Y., Yuan, S. 2020. Effect of low temperature on chlorophyll biosynthesis and chloroplast biogenesis of rice seedlings during greening. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4): p.1390.

Vrednotenje raznolikosti genskih virov česna na podlagi morfometričnih deskriptorjev

Lovro SINKOVIČ⁸⁷, Mojca ŠKOF⁸⁸, Marina ANTIC⁸⁹ in Barbara PIPAN⁹⁰

Izvleček

Česen sodi med čebulnice z veliko morfološko pestrostjo. Na poskusnih poljih Kmetijskega inštituta Slovenije smo v rastni sezoni 2023/2024 vzgajali in ovrednotili 61 genskih virov česna. Pri tem smo uporabili izbrane numerične in kvalitativne deskriptorje, ki jih predpisuje Mednarodna zveza za zaščito novih sort rastlin (UPOV). Numerični deskriptorji so vključevali parametre, povezane z listi (dolžina, širina), čebulicami (masa, višina, premer) ter stroki (število, masa). Kvalitativni deskriptorji so zajemali značilnosti, povezane z listi, lažnim stebлом, čebulicami in stroki. Povprečna dolžina listov preučevanih genskih virov je bila 45 cm, širina pa 22 mm. Masa čebulic je znašala od 9 do 57 g, višina čebulic od 27 do 46 mm, premer čebulic pa od 31 do 61 mm. Povprečno število strokov v čebulicah je bilo deset, povprečna masa posameznih strokov pa 3,1 g. V zbirki česna je 39 genskih virov pripadalo podvrsti s trdim vratom, 22 pa podvrsti z mehkim vratom. Na zunanjih suhih luskolistih čebulic sta prevladovali dve osnovni barvi: bela in rumenkasto bela. Barva luske strokov je bila najpogostejše rožnato/vijolična, roza/vijolično/rjava, rjava, krem/rožnata in krem. Najvišji koeficient variacije smo določili pri velikosti čebulic in strokov, najnižji pa pri višini čebulic. Zbrani podatki, skupaj z opaženo variabilnostjo med proučevanimi deskriptorji, kažejo na potrebo po nadaljevanju raziskav na agro-morfološki, biokemični in genetski ravni za nadaljnjo selekcijo genskih virov česna s specifičnimi lastnostmi.

Glavne besede: *Allium sativum*, UPOV deskriptorji, numerični parametri, barva luskolistov.

Evaluation of diversity of genetic resources of garlic based on morphometric descriptors

Abstract

Garlic belongs to bulbous species with a great morphological diversity. In the experimental fields of Agricultural Institute of Slovenia, 61 garlic genetic resources were cultivated and characterized using selected numerical and qualitative descriptors prescribed by the International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV) during the 2023/2024 period. The numerical descriptors included parameters related to leaves (length, width), bulbs (weight, height, diameter) and cloves (number, weight). Qualitative descriptors encompassed characteristics related to leaves, pseudostem, bulbs and cloves. The mean leaf length of the genetic resources studied was 45 cm and the leaf width 22 mm. Bulb weights ranged from 9 to 57 g, with bulb heights varying from 27 to 46 mm and bulb diameters from 31 to 61 mm. The mean number of cloves per bulb was ten, with a mean clove weight of 3.1 g. In the garlic collection, 39 genetic resources belonged to the hard-necked subspecies, while 22 to the soft-necked garlic. The predominant colours of the dry external bulb scales were white and yellowish-white, whereas clove scales were most frequently pink/purple, pink/purple/brown, brown, cream/pink and cream. The highest coefficient of variation was determined for bulb and clove size while the lowest for bulb height. The data collected, along with the observed variability among descriptors, indicate the need for continued research at the agro-morphological, biochemical and genetic levels to facilitate further selection of garlic genetic resources with specific traits.

Keywords: *Allium sativum*, UPOV descriptors, numeric parameters, scales colour.

⁸⁷ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: lovro.sinkovic@kis.si

⁸⁸ Univ. dipl. inž. agr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: mojca.skof@kis.si

⁸⁹ Dr., University of Banja Luka, Institute of Genetic Resources, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, e-pošta: marina.antic@igr.unibl.org

⁹⁰ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: barbara.pipan@kis.si

1 UVOD

Česen sodi v družino Alliaceae in rod *Allium*. Je ena najpomembnejših užitnih čebulnic, cenjena tako zaradi svojih sposobnosti izboljšanja okusa kot tudi zaradi zdravilnih lastnosti (Kıraç in sod., 2022; Kaushik in sod., 2016). Česen pridelujemo zaradi čebulic, sestavljenih iz različnega števila strokov, ki se uživajo tako sveži kot procesirani (Leišová-Svobodová in sod., 2024). Klasifikacija različnih genotipov česna, ki temelji na razvoju lažnega cvetnega stebela, loči dve podvrsti: *Allium sativum* var. *sativum*, znan kot česen z mehkim vratom, in *Allium sativum* var. *ophioscorodon*, znan kot česen s trdim vratom (Alsup-Egbers in sod., 2020; Sultan in Raina, 2020). Sorte česna s trdim vratom navadno vsebujejo manjše število strokov (4–12), ki obkrožajo cvetno steblo, medtem ko česen z mehkim vratom navadno vsebuje 10–40 strokov, razporejenih v več plasteh. Česen z mehkim vratom ima navadno boljše skladiščne sposobnosti kot česen s trdim vratom in ga lahko hranimo brez večjih težav do osem mesecev (Selen in sod., 2022).

V Sloveniji ima pridelovanje česna dolgo tradicijo tako na manjših družinskih vrtovih kot tudi v tržni pridelavi. Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije smo v letu 2023 na 153 ha zemljišč skupno pridelali 804 t česna, pri čemer je 68 % predstavljala tržna pridelava, s katero se ukvarja okoli 450 kmetijskih gospodarstev (STAT, 2024). Povprečen pridelek česna je precej odvisen od vremenskih razmer in tehnologije pridelave ter znaša v povprečju okoli 6 t/ha. Pridelane količine česna še zdaleč ne pokrijejo potreb trga (le okoli 29 %), zato ga letno uvozimo preko 1.900 t, največ iz Nizozemske, Egipta, Italije in Grčije (STAT, 2024).

Rastlinski genski viri so opredeljeni kot katera koli vrsta razmnoževalnega ali vegetativnega razmnoževalnega materiala rastlinske vrste. Njihova raznolikost v genskih bankah po vsem svetu predstavlja osnovo za žlahtnjenje rastlin (Salgotra in Chauhan, 2023). Glavni izzivi genskih bank so sledenje identiteti vzorcev, izogibanje nepotrebnemu podvajanju znotraj in med genskimi bankami ter ohranjanje genetske celovitosti vzorcev (Mascher in sod., 2019). Metode in smernice za karakterizacijo rastlinskih genskih virov predpisujejo različne organizacije, med drugim Mednarodna zveza za zaščito novih sort rastlin – UPOV (»International Union for the Protection of New Varieties of Plants«). Namen teh smernic je usklajeno opazovanje in ocenjevanje morfofenoloških parametrov glede na deskriptorje rastlin, ki se uporabljajo za DUS (»Distinctness, Uniformity and Stability«) testiranje (razločljivost, izenačenost, stabilnost). Z ocenjevanjem morfometričnih deskriptorjev, kot so dolžina, širina, višina, oblika ali barva, je mogoče ločiti posamezne rastline znotraj ali med rastlinskimi vrstami, pri čemer se deskriptorji uporabljajo kot osnovne baze podatkov za žlahtnitelje in raziskovalce. Vsak deskriptor, uporabljen za *Allium sativum*, ima predpisano metodo opisa, ki je predstavljena s skico, številko ali opisom (UPOV, 2022).

V Sloveniji že dolgo časa zbiramo avtohtone populacije, ekotipe in lokalne sorte pomembnih kmetijskih rastlin, vključno s česnom. Na Kmetijskem inštitutu Slovenije so genski viri česna zbrani v Slovenski rastlinski genski banki – SRGB, vendar do sedaj še niso bili opisani z uporabo deskriptorjev za vrsto *Allium sativum*. Namen te študije je bil opisati genske vire česna z uporabo izbranih deskriptorjev, povezanih z morfometričnimi lastnostmi ter barvnimi parametri čebulic in strokov.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Raziskava obravnava 61 genskih virov česna iz rodu *Allium sativum* L. in vključuje 54 akcesij česna iz SRGB ter sedem sort, ki so vpisane v Slovenski sortni listi: Ptujski jesenski, Ptujski spomladanski, Jesenski Anka, Štrigon, Primorski, Haloški in Markovski (Sortna lista..., 2024). Vegetativno razmnoževanje in izvedba poljskega poskusa sta potekala v neogrevanem tunelu na poskusnem polju Infrastrukturnega centra Jabolje na Kmetijskem inštitutu Slovenije v rastni

sezoni 2023/2024. Vrednotenje deskriptorjev, ki so v povezavi z listi in lažnim stebлом, smo izvedli v ustreznih fazah rasti tekom vegetacije na šestih rastlinah ($n = 6$). Česen smo pobrali v tehnološki fazi zrelosti čebulic in ga posušili. Vrednotenje ter karakterizacijo deskriptorjev na čebulicah in strokih smo opravili na šestih polno razvitih čebulicah ($n = 6$) ali desetih reprezentativnih strokih ($n = 10$) vsakega genskega vira po treh mesecih skladiščenja. Numerični parametri so zajemali sedem deskriptorjev: dolžino in širino lista, maso, višino in premer čebulice, število strokov v čebulici ter maso stroka. Kvalitativni parametri za liste, lažno steblo, čebulice in stroke pa so zajemali deset deskriptorjev, ki so skupaj s pripadajočimi razredi predstavljeni v preglednici 1.

Preglednica 1: Kvalitativni deskriptorji s pripadajočimi razredi vrednoteni na zbirki 61 genskih virov česna

UPOV ID	Opisni deskriptor	Razred
5. List	Dolžina (najdaljši list)	3 kratek, 5 srednji, 7 dolg
6.	Širina (najdaljši list)	3 ozek, 5 srednji, 7 širok
10. Lažno steblo	Cvetno steblo	1 odsotno, 9 prisotno
14.	Velikost	3 majhna, 5 srednja, 7 velika
21. Čebulica	Osnovna barva suhih zunanjih luskolistov	1 bela, 2 rumenkasto bela, 3 rdečkasto bela
25.	Število strokov	3 malo, 5 srednje, 7 veliko
26.	Porazdelitev strokov	1 radialno v krogu, 2 mešano
27.	Prisotnost zunanjih strokov	1 odsotni, 9 prisotni
28. Strok	Velikost	3 majhna, 5 srednja, 7 velika
29.	Barva luske	1 bela, 2 krem, 3 rožnata, 4 vijolična, 5 rjava

Numerična parametra dolžino in širino lista smo merili v tunelu tekom vegetacije z metrom na 0,1 mm natančnosti. Višino in premer čebulic smo merili v laboratoriju z digitalnim pomičnim merilom (Mitutoyo 500-181-30) prav na 0,1 mm natančnosti. Maso čebulic in strokov smo merili na laboratorijski tehtnici (PB1502, Mettler Toledo) z natančnostjo 0,01 g, medtem ko smo število strokov določili s štetjem na prerezu posameznih čebulic. Kvalitativne parametre smo ocenjevali po razredih (preglednica 1). Za nekatere deskriptorje so v rezultatih priložene skice, ki prikazujejo način opisovanja. Rezultati so podani kot povprečje vseh meritev pri posameznem genskem viru.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

Uporaba različnih numeričnih in kvalitativnih deskriptorjev za vrednotenje genskih virov česna je bila predmet številnih študij po svetu (Leišová-Svobodová in sod., 2024; Popa in sod., 2023; Khokhar, 2023; Kıraç in sod., 2022; Thapa in sod., 2021). Žlahtnitelji česna se v prvi vrsti osredotočajo na višino pridelka in kakovost čebulic, pa tudi na razlike v povezavi z velikostjo čebulic, morfologijo in barvo, številom strokov in vegetacijsko dobo (Parreño-Montoro in sod., 2023). Preglednica 2 povzema rezultate statistične obdelave numeričnih parametrov za zbirko 61-ih proučevanih genskih virov česna. Dolžina najdaljšega lista je v povprečju 45,1 cm, medtem ko je širina lista znašala 21,9 mm. Pri različnih genskih virih česna je dolžina listov variirala od 26,5 cm do 62,5 cm, širina listov pa od 9,4 mm do 30,3 mm. Kumar (2015) je v svoji študiji o morfološki karakterizaciji 15-ih genotipov česna poročal o nekoliko manjših razponih za dolžino (32,4–55,7 cm) in širino listov (11,2–19,6 mm).

Povprečna masa čebulic je bila 27,9 g, višina in premer čebulic pa sta znašala 35,3 mm oziroma 45,0 mm. V povprečju se je v čebulicah česna oblikovalo deset strokov s povprečno maso stroka

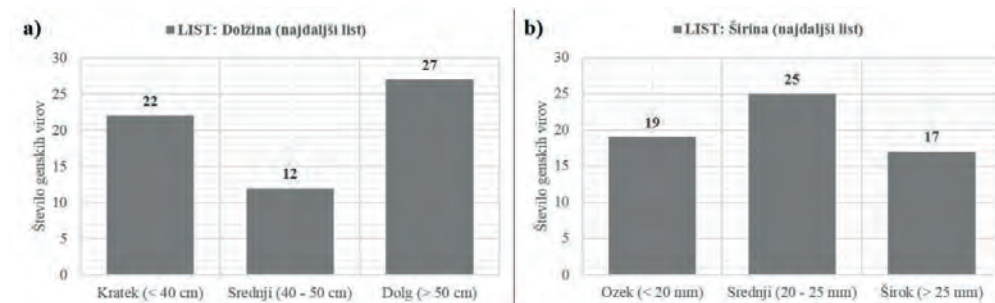
3,1 g. Masa čebulic česna v zbirki je precej variirala od 8,6 g do 56,5 g, višina čebulic od 26,5 mm do 45,8 mm in premer čebulic od 31,4 mm do 60,6 mm. Najvišja koeficienta variacije sta bila ugotovljena pri velikosti čebulice (49,55 %) in velikosti stroka (39,62 %), najnižji pa pri višini čebulic (14,58 %). Siddappa in sod. (2020) so poročali o nižjih parametrih velikosti čebulic in strokov ter večjem številu strokov na čebulico pri 52-ih genotipih česna iz Indije. Polyzos in sod. (2019) so poročali o nekoliko večjem številu strokov v čebulicah (11–15) in podobni masi strokov (< 4 g) za 34 grških genotipov česna, pridelanih na dveh lokacijah. Karakterizacija 39-ih klonov česna iz Turčije je pokazala večjo maso čebulic (28,1–84,4 g) in podobno višino ter premer čebulice v primerjavi z našimi podatki (Kıraç in sod., 2022).

Preglednica 2: Povzetek statistične obdelave za numerične parametri v obravnavani zbirki 61 genskih virov česna

Parameter	Enota	Razpon	Povprečje $\pm$ SD	CV (%)
Dolžina lista	cm	26,50–62,50	45,05 $\pm$ 11,24	24,95
Širina lista	mm	9,40–30,33	21,90 $\pm$ 4,80	21,91
Masa čebulice	g	8,60–56,50	27,88 $\pm$ 13,00	46,62
Višina čebulice	mm	26,52–45,78	35,33 $\pm$ 5,15	14,58
Premer čebulice	mm	31,35–60,64	44,95 $\pm$ 7,83	17,43
Število strokov		5,50–17,50	9,73 $\pm$ 2,92	30,05
Masa stroka	g	1,13–6,16	3,13 $\pm$ 1,21	38,58

Podatki prikazujejo srednje vrednosti $\pm$ SD (n = 61). SD, standardni odklon; CV, koeficient variance.

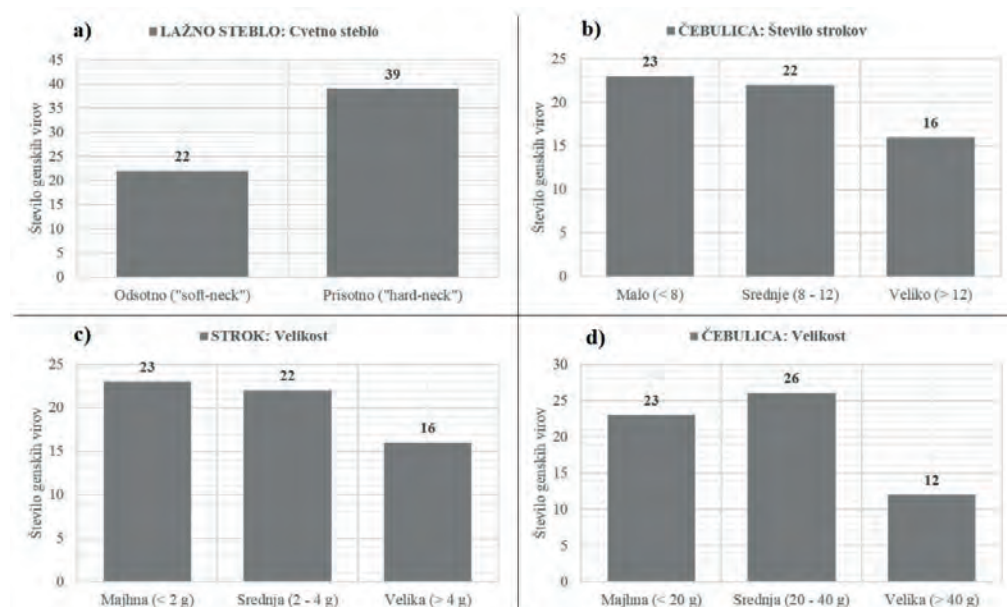
Porazdelitev genskih virov česna na podlagi dveh deskriptorjev za liste je prikazana na sliki 1. Glede na dolžino najdaljšega lista smo genske vire razvrstili v tri skupine: s kratkimi listi dolžine < 40 cm (22 genskih virov), s srednje dolgimi listi dolžine 40–50 cm (12 genskih virov) in z dolgimi listi dolžine > 40 cm (27 genskih virov). Podobno smo genske vire razvrstili glede na širino najdaljšega lista v tri skupine. Skupina z ozkimi listi, katerih premer je < 20 mm, zajema 19 genskih virov. Skupina s srednjimi listi, s premerom 20–25 mm, vključuje 25 genskih virov. Skupina s širokimi listi, pri katerih je premer > 25 mm, pa obsega 17 genskih virov.



Slika 1: Frekvenčna porazdelitev (n = 61) genskih virov česna na podlagi kvalitativnih parametrov dolžina lista (a) in širina lista (b)

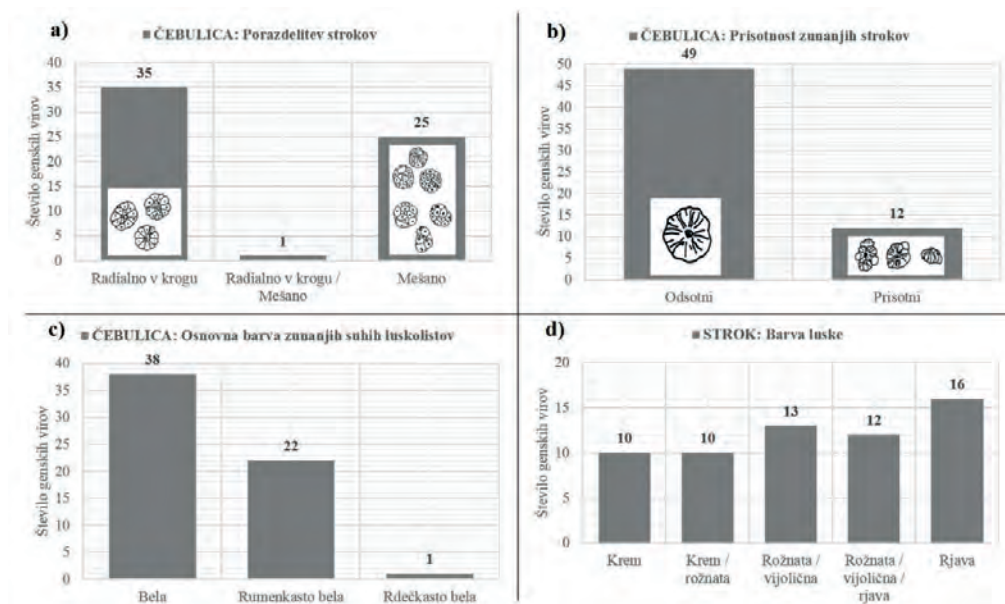
Genske vire česna delimo na dve podvrsti: česen s trdim vratom, ki tvori lažna cvetna stebila in zračne čebulice, ter česen z mehkim vratom, ki ne tvori cvetnih stebel. Slika 2a prikazuje razporeditev genskih virov česna v zbirki glede na tvorbo lažnih cvetnih stebel. Ugotovili smo, da je 39 preučevanih genskih virov česna (64 % zbirke) tekom rasti tvorilo lažna cvetna stebila, zato jih uvrščamo med podvrsto česna s trdim vratom. Preostalih 22 genskih virov (36 % zbirke)

pa pripada podvrsti česna z mehkim vratom. Glede na število strokov, ki so se razvili v čebulicah, ločimo tri skupine (slika 1b). Veliko strokov (> 12) se je razvilo v 12-ih genskih virih, srednje veliko (8–12) v 20-ih genskih virih in malo (< 8) v 17-ih genskih virih. Glede na velikost stroka lahko genske vire česna razdelimo v tri skupine (slika 1c). V prvo skupino je vključenih 10 genskih virov z velikimi stroki mase > 4 g, v drugo 29 genskih virov s stroki, mase od 2 g do 4 g, v tretjo skupino pa 10 genskih virov z majhnimi stroki mase < 2 g. Podobno smo na podlagi deskriptorja velikost čebulice genske vire česna razdelili v tri skupine (slika 1d). Prva skupina vsebuje majhne čebulice mase < 20 g (23 genskih virov), druga skupina srednje čebulice z maso 20–40 g (26 genskih virov) in tretja skupina velike čebulice z maso > 40 g (12 genskih virov).



Slika 2: Frekvenčna porazdelitev ($n = 61$) genskih virov česna na podlagi kvalitativnih parametrov v povezavi s cvetnim stebлом (a), številom strokov v čebulici (b), velikostjo strokov (c) in čebulic (d)

Slika 3 prikazuje porazdelitev genskih virov česna za štiri kvalitativne deskriptorje: porazdelitev strokov, prisotnost zunanjih strokov, barvo čebulic in barvo strokov. Porazdelitev strokov v čebulicah je bila radialna v krogu pri 35-ih genskih virih, mešana pri 25-ih genskih virih in pri enem genskem viru vmesne stopnje (slika 3a), medtem ko so bili zunanji stroki prisotni pri 12-ih genskih virih (slika 3b). Osnovna barva suhih zunanjih luskolistov je bila najpogostejše bela (38 genskih virov) ali rumenkasto bela (22 genskih virov), le pri enem genskem viru je bila rdečkasto bela (slika 3c). Preučevani genski viri česna v zbirki so imeli različno število barv na luskah strokov: eno barvo (26 genskih virov), dve barvi (23 genskih virov) ali tri barve (12 genskih virov). Barva luske je bila pri 12-ih genskih virih kombinacija treh osnovnih barv: rožnate, vijolične in rjave. Pri 10-ih genskih virih sta bili prisotni dve osnovni barvi: krem in rožnata, pri 13-ih genskih virih pa rožnata in vijolična. Pri 16-ih genskih virih je bila ena osnovna barva rjava in pri 10-ih genskih virih ena osnovna barva krem.



Slika 3: Frekvenčna porazdelitev ($n = 61$) genskih virov česna na podlagi kvalitativnih parametrov v povezavi s čebulicami: (a) porazdelitev strokov, (b) prisotnost zunanjih strokov, (c) osnovna barva zunanjih suhih luskolistov; in stroki: (d) barva luske

4 SKLEPI

V rastni sezoni 2023/2024 smo izvedli poskus, v katerem smo prvič morfometrično ovrednotili zbirko genskih virov česna, ki so zbrani v Slovenski rastlinski genski banki (SRBG). Na podlagi dobljenih rezultatov lahko povzamemo, da so obravnavane akcesije česna glede na preučevane deskriptorje UPOV morfološko precej pestre, zlasti pri deskriptorjih velikosti čebulic in strokov ter barvi zunanje luske čebulic in strokov. Obravnavane akcesije pripadajo dvema podvrstama česna, in sicer »hard-neck« in »soft-neck«. Prav tako so morfološko različne na podlagi razporejenosti strokov v čebulicah in glede prisotnosti zunanjih strokov. Shranjene akcesije predstavljajo raznoliko dediščino, ki lahko igra ključno vlogo pri žlahtnjenju novih sort česna in preprečuje genetsko erozijo v prihodnosti. Predlagamo nadaljnjo karakterizacijo na agromorfološkem, molekularnem in prehranskem nivoju, ki bo omogočila nadaljnjo selekcijo akcesij s specifičnimi lastnostmi.

Zahvala. Avtorji prispevka se zahvaljujemo raziskovalnemu programu Agrobiodiverziteta (P4-0072) in bilateralnemu projektu med Slovenijo ter Bosno in Hercegovino (BI-BA/24-25-043), ki ju financira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS). Prav tako se zahvaljujemo Javni službi rastlinske genske banke (JSRGB) za vrednotenje akcesij česna, ki so shranjene v slovenski genski banki.

5 LITERATURA

Alsop-Egbers C., Byers P., McGowan K., Trewatha P.B., McClain W.E. 2020. Effect of three planting dates on three types of garlic in Southwest Missouri. HortTechnology, 30, 2: 273–279

- International Union for the Protection of New Varieties of Plants 2022. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Garlic (*Allium sativum* L.), <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg162.pdf>
- Kaushik S., Kumar M., Prakash S., Kumar V., Singh M.K., Singh B., Malik S., Singh K. 2016. Study of genetic diversity in garlic (*Allium sativum* L.) by using morphological characters. *Progressive Agriculture*, 16, 2: 204–210
- Khokhar K.M. 2023. Bulb development in garlic – A review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 98, 4: 432–442
- Kıraç H., Dalda Şekerci A., Coşkun Ö.F., Gülşen O. 2022. Morphological and molecular characterization of garlic (*Allium sativum* L.) genotypes sampled from Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69, 5: 1833–1841
- Kumar M. 2015. Morphological characterization of garlic (*Allium sativum* L.) germplasm. *Journal of Plant Development Sciences*, 7, 5: 473–474
- Leišová-Svobodová L., Stavělíková H., Zámečník J. 2024. Evaluation of genetic diversity and phenotypic description of garlic (*Allium sativum* L.) from the Czech field collection. *Scientia Horticulturae*, 323: p.112506.
- Mascher M., Schreiber M., Scholz U., Graner A., Reif J.C., Stein N. 2019. Genebank genomics bridges the gap between the conservation of crop diversity and plant breeding. *Nature Genetics*, 51, 7: 1076–1081
- Parreño-Montoro R., Rodríguez-Alcocer E., Martínez-Guardiola C., Carrasco L., Castillo P., Arbona V., Jover-Gil S., Candela H. 2023. Turning garlic into a modern crop: State of the art and perspectives. *Plants*, 12, 6: 1212
- Polyzos N., Papisotiropoulos V., Lamari F.N., Petropoulos S.A., Bebeli P.J. 2019. Phenotypic characterization and quality traits of Greek garlic (*Allium sativum* L.) germplasm cultivated at two different locations. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 66: 1671–1689
- Popa P.M., Cosmulescu S.N., Dinu M. 2023. Analysis of the diversity of garlic (*Allium sativum* L.) genotypes from the southwestern part of Romania based on morphological characteristics. *Scientific Papers, Series B, Horticulture*, 67, 1: 689–695
- STAT, Republic of Slovenia Statistical Office. 2024. *Agriculture, forestry and fishery. Production of vegetables (ha, t, t/ha), Slovenia, annually*, <https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/1502403S.px> (oktober 2024)
- Salgotra R.K., Chauhan B.S. 2023. Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. *Genes*, 14, 1: p.174
- Selen A.K.A.N., Karakan F.Y., Horzum Ö. 2022. Differential response of softneck and hardneck garlic ecotypes to quality attributes for long-term storage. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 34, 4: 346–357
- Siddappa R., Ananthan M., Ramar A., Hegde N.K., Rajeswari S., Surendar K., Karthikeyan G. 2020. Genotypes performance of garlic (*Allium sativum* L.) on growth and yield attributes. *Chemical Engineering*, 1, 1: 113–119
- Sortna lista poljščin, zelenjadic, sadnih rastlin in trte. 2024. Republika Slovenija Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) in Uprava za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin (UVHVVR): 1–48 (oktober 2024)
- Sultan S.M., Raina S.K. 2020. Agro-morphological characterization of local garlic (*Allium sativum* L.) germplasm accessions collected from different regions of Jammu and Kashmir. *Journal of Applied and Natural Science*, 12, 2: 124–127
- Thapa P., Manali R.P., Karkee A., Ghimire K.H., Joshi B.K., Mishra K.K. 2021. Characterization and diversity assessment of Nepalese garlic (*Allium sativum* L.) Landraces. *Journal of Agriculture and Environment*, 22: 80–93
- UPOV. 2022. TG/162/4 Rev. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability: garlic (*Allium sativum* L.). International Union for the Protection of New Varieties of Plants, Geneva, Switzerland: 1–25, <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg162.pdf> (oktober 2024)

Izboljšanje pokritosti tal v sistemu ohranitvenega kmetijstva z vsejavanjem prezimnih dosevkov v obstoječ sestoj neprezimnih dosevkov

Robert LESKOVŠEK⁹¹

Izvleček

V raziskavi smo proučevali potencial vsejavanja prezimnih dosevkov v obstoječ sestoj neprezimnega dosevka za izboljšanje pokritosti tal in zatiranja plevla v okviru ohranitvenega kmetijstva. Poskus je bil izveden na njivskih površinah Kmetijskega inštituta Slovenije med rastno sezono 2022/2023. Cilj raziskave je bil oceniti dinamiko produkcije biomase, gostoto plevla in pokrovnost tal v treh terminih vzorčenja: jeseni, pozimi in spomladi. Rezultati kažejo, da se je vpliv vsejavanja prezimnih dosevkov pokazal že pozno jeseni. Spomladi naslednjega leta je bil ta učinek še izrazitejši, saj je produkcija biomase prezimnega dosevka presegla 2100 kg SS ha⁻¹. Medtem ko v jesenskem obdobju ni bilo zaznanih pomembnih razlik v številčnosti plevla, je vsejavanje prezimnih dosevkov spomladi zmanjšalo gostoto plevla za skoraj 50 %, pokrovnost plevla pa se je znižala za več kot štirikrat v primerjavi s sestojem neprezimnih dosevkov. Naše ugotovitve potrjujejo, da kombinacija prezimnih in neprezimnih dosevkov omogoča trajnejšo pokritost tal čez zimo ter učinkovitejše zatiranje plevla spomladi. Takšna praksa ima pomembne prednosti za ohranitveno kmetijstvo, saj izboljšuje varovanje tal in zmanjšuje potrebo po kemičnem zatiranju plevla. Nadaljnje raziskave bi morale oceniti učinkovitost te metode v različnih pedoklimatskih razmerah in njen dolgoročni vpliv na rodovitnost tal ter produktivnost glavnih poljščin.

Glavne besede: prekrivni dosevki, vsejavanje, produkcija biomase, zatiranje plevla, ohranitveno kmetijstvo

Optimizing soil cover in conservation agriculture through interseeding winter-hardy cover crops into winter-kill cover crops

Abstract

This study evaluated the potential of interseeding winter-hardy cover crops with winter-kill cover crops to increase soil cover and suppress weeds under conservation agriculture. The experiment was conducted at the arable field of the Agricultural Institute of Slovenia during the growing season 2022/2023, with the aim of analysing biomass dynamics, weed density, and weed soil cover across three sampling periods: autumn, winter, and the following spring. Compared to the winter-kill cover crop, interseeding of winter-hardy cover crop moderately increased cover crop total biomass production in the late autumn. This increase was more pronounced in the spring, where the winter-hardy cover crop contributed more than 90% of the total biomass. While weed abundance observed during autumn was similar between the two treatments, interseeding with the winter hardy cover crop reduced spring weed density by nearly 50%. Moreover, weed soil cover was more than four times lower than in the winter-kill cover crop treatment alone. These results highlight the ability of winter hardy cover crops to extend soil cover through the winter and provide effective weed suppression during the critical spring period. This approach offers a sustainable solution for conservation agriculture, with significant benefits for reducing reliance on chemical weed control and improving soil health. Future research should focus on evaluating the adaptability of this interseeding method under varying pedoclimatic conditions and its long-term effects on soil fertility, major crop yields, and overall agricultural sustainability.

Keywords: cover crops, interseeding, biomass production, weed suppression, conservation agriculture

⁹¹ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: robert.leskovsek@kis.si

1 UVOD

Učinkovito zatiranje plevla je ključen ukrep za ohranjanje kmetijske produktivnosti, saj plevli pri številnih poljščinah povzročajo znatne izgube pridelka (Oerke, 2006). Z množično uporabo herbicidov po letu 1950 je kemično zatiranje postalo osrednje orodje za povečanje kmetijske proizvodnje, vendar je to privedlo do povečane odvisnosti od herbicidov ter okoljskih izzivov, kot so onesnaženje voda in zmanjšanje biotske raznovrstnosti (Kudsk in Streibig, 2003; Rosenbom in sod., 2015). Zadnje raziskave kažejo, da postaja zatiranje plevla čedalje pomembnejše za ohranjanje visokega pridelovalnega potenciala sodobnega sortimenta poljščin (Storkey in sod., 2021). Zaradi hitrega širjenja plevla, ki ga povzročajo podnebne spremembe (Peters in sod., 2014), zmanjševanja števila aktivnih snovi (Chauvel in sod., 2012) in naraščajoče odpornosti na herbicide (Neve in sod., 2014; Hulme, 2022) pa so potrebne bolj trajnostne rešitve za uravnavanje plevelne vegetacije.

Ena od zelo razširjenih nekemičnih možnosti uravnavanja plevelne vegetacije je uporaba prekrivnih dosevkov, ki poleg zatiranja plevla prinašajo tudi druge koristi kot so zmanjševanje erozije tal ter izboljšanje rodovitnosti tal (Krutz in sod., 2009; Brock in sod., 2011; Cordeau in sod., 2015). Vključitev prekrivnih posevkov v kolobar zagotavlja dva pomembna mehanizma, zaradi katerih je lahko oviran razvoj plevelne vegetacije. Pozno poleti in jeseni prekrivni posevki s konkurenco preprečijo rast in razvoj plevelov in zapolnijo ekološko nišo, ki bi jih sicer zasedel plevel (Liebman in Staver, 2001). Spomladi lahko rastlinski ostanki prekrivnih dosevkov na površini tal zavirajo ali upočasnijo vznik in rast plevla zaradi alelopatskih učinkov (Al Khatib, 1997; Ohno in sod., 2000) ali pa stimulacije talnih patogenov (Conklin in sod., 2002). Še posebej pomembna je vloga prekrivnih dosevkov v ohranitvenem kmetijstvu, ki temelji na konceptu pestrega kolobarja, minimalnega mehanskega poseganja v tla in celoletne pokritosti tal z rastlinskimi ostanki. Prav razpoložljivost zadostne količine rastlinske biomase, ki omogoča ustrezno pokritost tal je eden večjih izzivov v ohranitvenem kmetijstvu (Kassam in sod., 2019). Še posebej na slabših tleh je produktivnost prekrivnih dosevkov pogosto prenizka, da bi zagotovila zadostno pokritost tal, medtem ko je pritisk plevelne vegetacije v takih primerih zelo velik in brez ustrezne obdelave ogroža kmetijsko pridelavo (Baudron in sod., 2012). Prekrivni posevki predstavljajo priložnost za neposredne izboljšanje pridelka naslednje poljščine, predvsem zaradi povečanja vsebnosti organskega ogljika v tleh (Vendig in sod., 2023). Kljub temu je pozitiven vpliv na pridelek glavne poljščine močno pogojen s podnebnimi razmerami, fizikalno-kemijskimi lastnostmi tal ter uporabljeno kmetijsko prakso (Fan in sod., 2021; Chahal in Van Eerd, 2023).

Z namenom podaljšanja obdobja pokritosti tal in izboljšanja učinka zatiranje plevla smo v naši raziskavi preizkusili koncept vsejavanja prezimnih dosevkov v obstoječ sestoj neprezimnih dosevkov ter preučili učinek le-tega na pokritost tal, produkcijo biomase in sposobnost zatiranja plevla.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Poljski poskus je potekal v sezoni 2022/2023, na površinah Kmetijskega inštituta Slovenije (Infrastrukturni center Jablje pri Mengšu, 46.138390, 14.570413, 309 m n. v.). Na poskusni lokaciji prevladujejo plitva, vendar humozna (3,6 % organske snovi) tla meljasto-ilovnate teksture. Vsebujejo velik delež skeleta, zaradi česar so dobro propustna in imajo slabo vodno-zadrževalno sposobnost. Kemijska analiza pred začetkom izvajanja poskusa je pokazala, da so tla bazična (pH=7,7) ter čezmerno založena z dostopnim fosforjem (27 mg P₂O₅ na 100 g tal) in dostopnim kalijem (31 mg K₂O na 100 g tal). Po žetvi ozimne pšenice sredi julija je bila opravljena osnovna obdelava tal s plugom do globine 22 cm ter predsetvena priprava s kultivatorjem.

Poskus je bil zasnovan v dvofaktorski bločni postavitvi s štirimi ponovitvami, velikost posamezne parcele pa je znašala 15 x 5 m. Dne 8. 8. 2022 smo posejali mešanico dosevkov, ki so jo sestavljale jara grašica (*Vicia sativa* L., cv. Ebena 10 kg ha⁻¹), sudanska trava (*Sorghum bicolor* L. Moench; cv. Nutri honey 5.5 kg ha⁻¹), aleksandrijska detelja (*Trifolium alexandrinum* L. cv. Alex; 5 kg ha⁻¹), oljni lan (*Linum usitatissimum* L., cv. Comtess, 4 kg ha⁻¹), abesinska gizotija (*Guizotia abyssinica* - (L.f.) Cass., cv. Niger 2 kg ha⁻¹), facelija (*Phacelia tanacetifolia* Benth cv. Vetrovska 2 kg ha⁻¹), meliorativna redkev (*Raphanus sativus* var. *longipinnatus* L., cv. Structurator 2 kg ha⁻¹) in žafranika (*Carthamus tinctorius* L. cv. Lizzy 1.5 kg ha⁻¹). Setev je bila opravljena s sejalnico Maschio Gaspardo Diretta. Zaradi suše so neprezimni dosevki kalili šele v začetku septembra. Skupna gostota rastlin je znašala približno 30 rastlin m⁻², pri čemer so v sestoji prevladovala bela gorjušica, abesinska gizotija, in facelija, ostale vrste pa so se pojavljale v gostotah manjših od dveh rastlin m⁻². Ko so bile rastline neprezimnih dosevkov v razvojni fazi 2—4 pravih listov (8. 9. 2024) smo s sejalnico Pan Agra Mikra 2,5 dosejali mešanico inkarnatke (30 kg/ha) in krmne repice (8 kg/ha).

Vzorčenja smo izvajali na stalnih opazovalnih mestih velikosti 0,25 m², kjer smo v različnih časovnih intervalih izvajali popise gostote dosevka in plevela ter meritve stopnje zapleveljenosti in količine biomase dosevka in plevela. Prvo jesensko vzorčenje smo opravili približno pet tednov po setvi dne 21. 10. 2022, drugo jesensko vzorčenje pa tik pred zmrzaljo dne 28. 11. 2022. Zadnje vzorčenje navedenih parametrov smo opravili spomladi (11. 4. 2023). Sveže vzorce smo posušili na 60 °C in po treh dneh stehali njihovo suho maso ter izračunali pridelek suhe snovi na hektar. Meteorološke parametre med rastno sezono dosevkov smo spremljali z vremensko postajo, ki se nahaja približno 500 m od poskusnega polja (Adcon, A753GSM, Adcon Telemetry GmbH, Avstrija; UVHVVR, 2024).

Statistična analiza je bila opravljena s programskim orodjem STATGRAPHICS Centurion XVIII (2018, Statpoint Technologies, Warrenton, VA). Značilnosti vpliva posameznega postopka (neprezimni in prezimni dosevki) smo testirali z analizo variance (ANOVA) s ponovljenimi meritvami, povprečja pa primerjali s post-hoc Tukeyevim HSD testom ($\alpha = 0,05$).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Vremenske razmere v času razvoja dosevkov

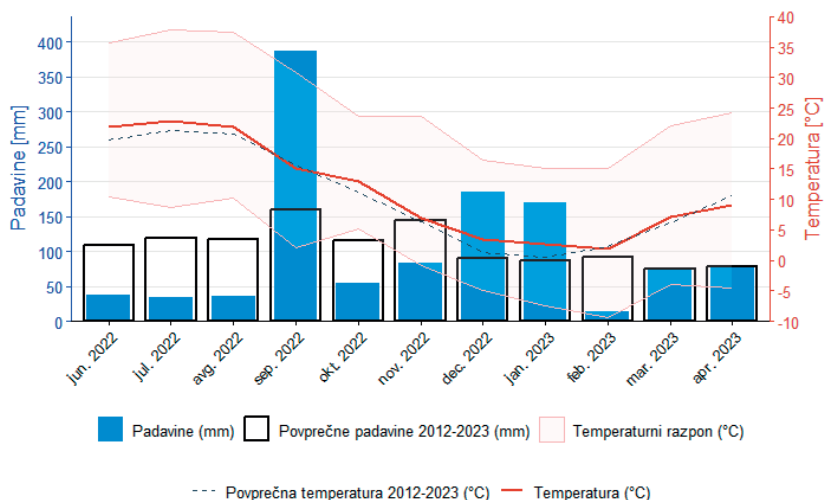
V obdobju izvajanja poskusa (od junija leta 2022 do aprila leta 2023) so bile srednje dnevne temperature večinoma nad dolgoletnim povprečjem (slika 1). Še posebej je izstopalo obdobje med junijem in avgustom leta 2022, ko so bile maksimalne dnevne temperature redno nad 35°C, skupna količina padavin pa ni presegla 110 mm. V septembru 2022 je sledil vremenski preobrat, saj smo zabeležili ekstremne količine padavin (skupaj 385 mm). Nadpovprečno topla in namočena sta bila tudi zimska meseca januar in februar 2023, medtem ko sta bila marec in april relativno hladna, s količino padavin povsem primerljivo z dolgoletnim povprečjem.

3.1 Dinamika produkcije biomase neprezimnih in prezimnih dosevkov

V splošnem je bil pridelek suhe biomase neprezimnih dosevkov zaradi suše in pozne setve pri vseh vzorčenjih relativno nizek (slika 2). Neprezimni dosevki so v obdobju deset tednov po setvi akumulirali le 620 ± 4 kg SS kg ha⁻¹. To je bistveno manj v primerjavi s prejšnjimi raziskavami v podobnih pedoklimatskih razmerah, kjer smo z isto mešanico izmerili skoraj 2000 kg SS ha⁻¹, medtem ko so v zelo ugodnih letih možni pridelki tudi preko 8000 kg SS ha⁻¹ (Leskovšek in sod., 2024).

Vsejavanje neprezimnih dosevkov v obstoječ sestoj neprezimnega dosevka je bil precej odvisen od termina vzorčenja (preglednica 1). Medtem ko vpliva vsejavanja konec meseca oktobra še

nismo opazili, se je mesec dni kasneje skupna količina suhe biomase značilno povečala (145 ± 20 kg SS ha⁻¹; Slika 2). Konec novembra je nastopila zmrzal, ki je ustavila razvoj neprezimnih dosevkov. V spomladanskem terminu vzorčenja v začetku aprila je v obliki mrtve zastirke ostalo le približno 20 % jesenske količine suhe biomase. V postopku z vsejanimi prezimnimi dosevki pa je skupna količina biomase še narasla na približno 2100 ± 15 kg SS ha⁻¹.

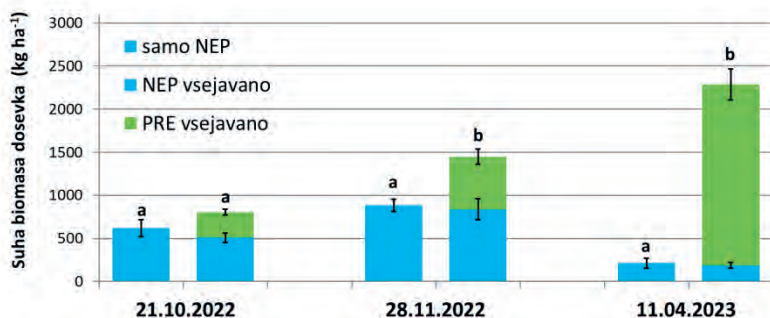


Slika 1: Prikaz vremenskih podatkov za poskusno lokacijo Jablje pri Mengšu za obdobje od junija 2022 do aprila 2023 v primerjavi s povprečnimi vrednostmi za obdobje 2012–2023 (vir: UVHVVR)

Preglednica 1: Rezultati ANOVE s ponovljenimi meritvami za dejavnik suhe biomase dosevka, gostote in pokrovnosti plevela ter njune interakcije

Dejavnik	Vir variabilnosti	Vrsta dosevka (A)	Termin vzorčenja (B)	Interakcija A x B
Suha biomasa dosevka	Prostostna stopnja (df)	1	2	2
	F-statistika	139,26	19,79	56,06
	P-vrednost	<0,001	<,0001	<,0001
Gostota plevela	Prostostna stopnja (df)	1	2	2
	F-statistika	0,04	53,11	4,51
	P-vrednost	0,85 ns	<,0001	<,005
Pokrovnost plevela	Prostostna stopnja (df)	1	2	2
	F-statistika	51,85	43,76	70,49
	P-vrednost	<,0001	<,0001	<,0001

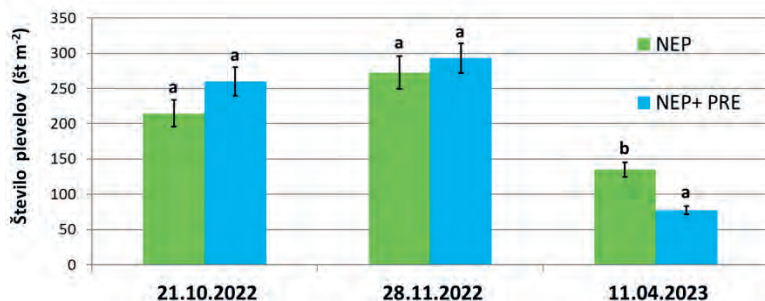
Postopek vsejavanja ni vplival na zmanjšanje deleža biomase neprezimnih dosevkov, saj sta bili produkciji biomase neprezimnih dosevkov pri obeh jesenskih vzorčenjih v obeh postopkih podobni. Delež biomase vsejanih prezimnih dosevkov v skupni akumulaciji biomase jeseni je znašal približno 40 %. Ta delež je po prezimitvi narasel na okoli 90 %, saj so v postopku z neprezimnimi dosevki po prezimitvi na površini ostala le suhi rastlinski ostanki.



Slika 2: Pridelek in delež suhe biomase pri neprezimnem dosevku (NEP) ter pri postopku z vsejanim prezimnim dosevkom v neprezimni dosevek (NEP+ PRE) v treh terminih vzorčenja (različne male črke med stolpcema pomenijo statistično značilno razliko med povprečjema glede na rezultat mnogoterih primerjav Tukey HSD testa ($\alpha=0,05$)).

3.1 Dinamika gostote plevla in stopnje zapleveljenosti

Primerjava gostote plevla med jesenskimi in spomladanskim terminom vzorčenja je pokazala raznolik terminski učinek vsejavanja neprezimnih dosevkov (preglednica 1). Pri prvem vzorčenju plevla v jeseni, pet tednov po setvi, je bila v obeh postopkih povprečna gostota plevla podobna (preglednica 2).



Slika 3: Gostota plevla pri neprezimnem dosevku (NEP) ter pri postopku z vsejanim prezimnim dosevkom v neprezimni dosevek (NEP+ PRE) v treh terminih vzorčenja (različne male črke med stolpcema pomenijo statistično značilno razliko med povprečjema glede na rezultat mnogoterih primerjav Tukey HSD testa ($\alpha=0,05$)).

Neznačilen porast gostote plevla (+ 45 m⁻²) v postopku vsejavanja prezimnih dosevkov je morda rezultat uporabe diskastih vlagalcev semen in zagrinjanih rogljev, s katerimi smo povzročili motnje do približno 5 cm globine tal. Znano je, da že zelo majhni posegi v tla spodbudijo kalitev plevla zaradi povišane temperature, izpostavljenosti svetlobi, kisiku in sproščanju nitratov (Mohler, 2001). Pet tednov kasneje je pri obeh postopkih dosevkov gostota plevla še narasla za 30—60 plevelov m⁻². Pri spomladanskem vzorčenju smo ugotovili

značilno razliko med postopkoma, saj so vsejani prezimni dosevki za skoraj polovico zmanjšali gostoto plevela v primerjavi z neprezimnimi dosevki.

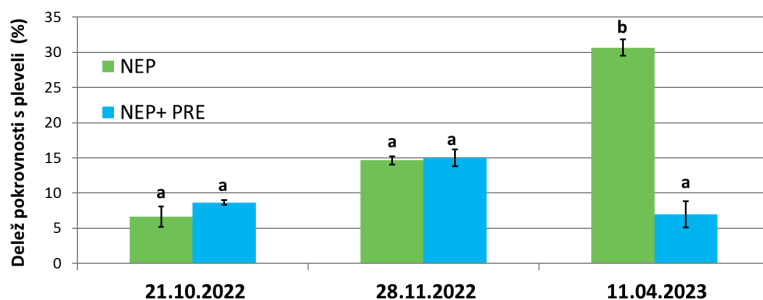
Preglednica 2: Gostota plevela pri neprezimnem dosevku (NEP) ter pri postopku z vsejanim prezimnim dosevkom v neprezimni dosevek (NEP+ PRE) v treh terminih vzorčenja

Vrsta dosevka	Gostota plevelov (število m ⁻²)		
	21. 10. 2022	28. 11. 2022	11. 4. 2023
Neprezimni dosevek (NEP)	214 ± 19 a	273 ± 23 a	135 ± 11 b
Neprezimni + prezimni dosevek (NEP + PRE)	260 ± 21 a	293 ± 21 a	77 ± 6 a

Prikazane so povprečne vrednosti ± standardna napaka povprečja.

Povprečja, ki so označena z enako majhno črko znotraj istega stolpca, se med seboj ne razlikujejo statistično značilno glede na rezultate Tukey HSD testa ($\alpha=0,05$).

Vsejani prezimni dosevki v jeseni niso zmanjšali stopnje zapleveljenosti v primerjavi z neprezimnimi dosevki (preglednica 1; slika 3). Tako pri postopku neprezimnih kot vsejanih prezimnih dosevkih se je pokrovnost tal s pleveli med oktobrskim in novembrskim terminom skoraj podvojila iz 8 % na 15 % (slika 3).



Slika 4: Stopnja zapleveljenosti (izražena kot delež pokrovnosti tal s pleveli) pri neprezimnem dosevku (NEP) ter pri postopku z vsejanim prezimnim dosevkom v neprezimni dosevek (NEP+ PRE) v treh terminih vzorčenja (različne male črke med stolpcema pomenijo statistično značilno razliko med povprečjema glede na rezultat mnogoterih primerjav Tukey HSD testa ($\alpha=0,05$)).

Ta rezultat je predvsem posledica dejstva, da je bila rast dosevkov v jeseni pri obeh postopkih precej omejena, čeprav so dokumentirani tudi primeri, ko nekatere mešanice plevel dobro zatirajo tudi pri zelo nizkih ravneh biomase (< 2 t SS ha⁻¹) (Rouge in sod., 2022). Pri tem so bili dobri učinki zatiranja plevela povezani s hitro začetno rastjo (Tribouillois in sod., 2015) in zgodnjim pokritjem tal (Brennan in Smith, 2005). Tega v našem poskusu nismo opazili, saj je bil razvoj prekrivnih posevkov po kalitvi zelo počasen. V naši raziskavi so vsejani prezimni dosevki značilno zmanjšali zapleveljenost spomladi, pri čemer je bila le-ta več kot štirikrat krat nižja kot pri postopku z neprezimnimi dosevki (31 in 7 %). Glede na to, da je bil učinek zmanjšanja gostote plevela bistveno manjši od učinka zmanjšanja pokrovnosti tal, lahko predvidevamo, da je bil primarni mehanizem predvsem zmanjšanje konkurenčne sposobnosti že obstoječih (nakaljenih) plevelov, medtem ko je bil učinek na zmanjšanje števila kalečih plevelov izražen v manjši meri.

4 SKLEPI

Naša raziskava je pokazala, da vsejavanje prezimnih dosevkov v obstoječ sestoj neprezimnega dosevka učinkovito podaljša pokritost njivskih površin čez zimo. Ta pristop je znatno povečal skupno produkcijo suhe biomase v primerjavi z uporabo le neprezimnih dosevkov. Čeprav večji pridelek biomase v jeseni ni bistveno vplival na zmanjšanje zapleveljenosti, smo spomladi zabeležili več kot štirikrat manjšo zapleveljenost v primerjavi z mrtvo zastirko neprezimnih dosevkov. Ključni mehanizem tega učinka je konkurenčna sposobnost prezimnih dosevkov, medtem ko je vpliv na zmanjšanje gostote plevela ostal manj izrazit. Rezultati nakazujejo, da vsejavanje prezimnih dosevkov omogoča trajnejšo pokritost tal in učinkovitejše zatiranje plevela spomladi, kar lahko prispeva k izboljšanju trajnostnih praks v kmetijstvu.

Zahvala. Raziskava je nastala s finančno pomočjo Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) in programske skupine Kmetijstvo naslednje generacije (P4-0431).

5 LITERATURA

- Al Khatib K (1997) Weed suppression with Brassica green manure crops in green pea. *Weed Science* 45, 439–445.
- Brennan E.B., Smith R.F., 2005. Winter cover crop growth and weed suppression on the central coast of California. *Weed Technol.* 19 (4), 1017–1024. <https://dx.doi.org/10.1614/WT-04-246R1.1>.
- Brock C., Fließbach A., Oberholzer H.-R., Schulz F., Wiesinger K., Reinicke F., Koch W., Pallutt B., Dittmann B., Zimmer J., Hülsbergen K.-J., Leithold G., 2011. Relation between soil organic matter and yield levels of nonlegume crops in organic and conventional farming systems. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174: 568–575.
- Baudron F., Tittonell, P., Corbeels M., Letourmy P., Giller K.E., 2012. Comparative performance of conservation agriculture and current smallholder farming practices in semi-arid Zimbabwe. *Field Crops Res* 132, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.09.008>.
- Chahal I., Van Eerd L.L., 2023. Do Cover Crops Increase Subsequent Crop Yield in Temperate Climates? A Meta-Analysis. *Sustainability*, 15, 6517. <https://doi.org/10.3390/su15086517>.
- Chauvel B., Guillemin J.-P., Gasquez J., Gauvrit C., 2012. History of chemical weeding from 1944 to 2011 in France: changes and evolution of herbicide molecules. *Crop Prot.* 42, 320–326. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.07.011>.
- Conklin AE, Erich MS, Liebman M in sod., 2002. Effects of red clover (*Trifolium pratense*) green manure and compost soil amendments on wild mustard (*Brassica kaber*) growth and incidence of disease. *Plant and Soil* 238, 245–256. <https://doi.org/10.1023/A:1014448612066>.
- Cordeau S., Guillemin J.P., Reibel C., Chauvel B., 2015. Weed species differ in their ability to emerge in no-till systems that include cover crops. *Ann. Appl. Biol.* 166 (3), 444–455. <https://doi.org/10.1111/aab.12195>.
- Fan F., Werf W. v., Makowski D., Lamichane J. R., Huang W., Li, C., Zhang F., 2021. Cover crops promote primary crop yield in China: A meta-regression of factors affecting yield gain. *Field Crops Res.* 271, pp.108237. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108237>.
- Hulme P.E., 2022. Global drivers of herbicide-resistant weed richness in major cereal crops worldwide. *Pest Manag. Sci.* 78 (5), 1824–1832. <https://doi.org/10.1002/ps.6800>.
- Kassam A, Friedrich T, Derpsch R., 2019. Global spread of conservation agriculture. *Int J Environ Studies* 76(1):29–51. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>
- Krutz L. J., Locke M.A., Steinriede R.W. 2009. Interactions of tillage and cover crop on water, sediment, and pre-emergence herbicide loss in glyphosate-resistant cotton: Implications for the control of glyphosate-resistant weed biotypes. *J. Environ. Qual.* 38: 1240–1247. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0342>
- Kudsk P., Streibig J.C., 2003. Herbicides – a two-edged sword. *Weed Res.* 43 (2), 90–102. <https://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00328.x>.

- Liebman M., Davis AS., 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research* 40, 27–47.
- Longchamps L., Panneton B., Simard M. J., and Leroux G. D. (2012). Could weed sensing in corn inter-rows result in efficient weed control? *Weed Technol.* 26, 649–656. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00030.1>
- Mohler C. L., 2001. “Weed life history: identifying vulnerabilities,” in *Ecological Management of Agricultural Weeds*, eds M. Liebman C. L. Mohler and C. P. Staver (Cambridge: Cambridge University Press), 40–98. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511541810>.
- Neve P., Busi R., Renton M., Villa-Aiub M.M., 2014. Expanding the eco-evolutionary context of herbicide resistance research. *Pest Manag. Sci.* 70 (9), 1385–1393. <https://doi.org/10.1002/ps.3757>.
- Oerke E.C., 2006. Crop losses to pests: centenary review. *J. Agric. Sci.* 144 (1), 31–43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>.
- Ohno T, Doolan K, Zibilske LM in sod., 2000. Phytotoxic effects of red clover amended soils on wild mustard seedling growth. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 78, 187–192.
- Peters K., Breitsameter L., Gerowitt B., 2014. Impact of climate change on weeds in agriculture: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 707–721. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0245-2>.
- Riemens M.M., Dueck T., Kempenaar C., 2008. Predicting sublethal effects of herbicides on terrestrial non-crop plant species in the field from greenhouse data. *Environ. Pollut.* 155 (1), 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.10.034>
- Storkey J., Addy J., Mead A., Macdonald A.J., 2021. Agricultural intensification and climate change have increased the threat from weeds. *Glob. Change Biol.* 27 (11), 2416–2425. <https://doi.org/10.1111/gcb.15585>.
- Tribouillois H., Fort F., Cruz P., Charles R., Flores O., Garnier E., Justes E., 2015. A functional characterisation of a wide range of cover crop species: growth and nitrogen acquisition rates, leaf traits and ecological strategies. *PLoS One* 10 (3), e0122156. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122156>
- UVHVVR, Uprava RS za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin (MKGP), 2024. Podatki o vremenskih razmerah, Agrometeorološki portal, <https://agromet.mkgp.gov.si/APP2/Home/Index>. (Dostopano 23. 10. 2024)
- Vendig I., Guzman A., De La Cerda G., Esquivel K., Mayer A. C., Ponisio L., Bowles T. M., 2023. Quantifying direct yield benefits of soil carbon increases from cover cropping. *Nat. Sustain.* 6, 1125–1134. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01131-7>.

Uporabnost kratkih krožnih bran pri obdelavi tal

Igor ŠANTAVEC⁹², Matej VIDRIH⁹³ in Filip VUČAJNK⁹⁴

Izvleček

Kratke krožne brane so pomembno orodje v sistemih konzervirajoče obdelave tal. V Breški vasi pri Šentjerneju smo v letu 2022 izvedli poljski poskus, v katerem smo preizkušali vpliv hitrosti obdelave tal (7 km/h, 10 km/h in 13 km/h) s krožno brano kratke izvedbe (delovna širina 3 m) na porabo goriva, storilnost in pridelek koruznega zrnja, v sistemu plitve konzervirajoče obdelave (globina obdelave 10 cm, brez osnovne obdelave). Poskus smo zasnovali v obliki slučajnih blokov s tremi ponovitvami. Tla so bila meljasto ilovnata in srednje težka. Predposevek je bila koruza za zrnje. S povečevanjem hitrosti obdelave s kratko krožno brano se je povečala poraba goriva na uro, v porabi goriva na obdelano površino (l/ha) nismo ugotovili razlik. Pri večjih hitrostih obdelave tal se je časovna storilnost (h/ha), zmanjšala za 24,3 % (10 km/h) in 37 % pri 13 km/h. Površinska storilnost je naraščala s hitrostjo obdelave tal in sicer od 0,78 ha/h pri hitrosti 7 km/h do 1,23 ha/h pri hitrosti 13 km/h, kar je 58,8 %. Negativnega vpliva povečane hitrosti obdelave na velikost pridelka koruznega zrnja nismo potrdili. Na podlagi rezultatov lahko pri plitvi konzervirajoči obdelavi priporočamo delovno hitrost obdelave s kratko krožno brano med 10 in 13 km/h.

Ključne besede: kratke krožne brane, delovna hitrost, poraba goriva, storilnost, koruza pridelek zrnja

The use of compact disc harrow for soil cultivation

Abstract

Compact disc harrows are an important tool in conservation tillage systems. In Breška vas, near Šentjernej, we conducted a field trial in 2022 to test the effects of tillage speed (7 km/h, 10 km/h and 13 km/h) with a compact disc harrow (working width 3 m) on fuel consumption, productivity and maize grain yield in a shallow system of conservation tillage (tillage depth 10 cm, without primary tillage). The trial was designed as a randomised block trial with three replicates. The soil was silty loam. The previous crop was grain maize. Increasing the tillage speed with the compact disc harrow increased the fuel consumption per hour, but we could not detect any differences in fuel consumption per tilled area (l/ha). At higher tillage speeds, time productivity (h/ha) decreased by 24.3% (10 km/h) and 37% at 13 km/h. Area productivity increased with tillage speed, from 0.78 ha/h at 7 km/h to 1.23 ha/h at 13 km/h, i.e. by 58.8%. We found no negative effects of higher tillage speed on maize yield. Based on the results, we can recommend a working speed with a compact disc harrow between 10 and 13 km/h for shallow conservation tillage.

Keywords: compact disc harrow, working speed, fuel consumption, efficiency, maize, grain yield

1 UVOD

Kratke krožne brane so široko uporabna orodja tako za plitvo obdelavo tal in zadelavo organske mase kot tudi za predsetveno pripravo tal (Technik ..., 2022; Paar, 2024). Poleg tega omogočajo zatiranje plevelov, zadrževanje talne vlage in zagotavljanje optimalnih pogojev za vznik plevelov tudi v ekološkem kmetijstvu (Technik ..., 2022). Krožniki so nameščeni v dveh ali več vrstah poševno glede na smer vožnje. Poševno postavljeni krožniki zarežejo v tla, jih privzdignejo in vržejo bočno nazaj. Maksimalna globina obdelave tal narašča s premerom krožnikov, in znaša od 460 mm do 730 mm (Bernik, 2005; Stajniko, 2017). Krožniki z manjšim

⁹² Asist. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: igor.santavec@bf.uni-lj.si

⁹³ Doc. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: matej.vidrih@bf.uni-lj.si

⁹⁴ Doc. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: filip.vucajnjk@bf.uni-lj.si

premerom dosežejo večjo vrtilno hitrost, kar pomeni boljši učinek drobljenja talnih delcev in obdelajo tla od 8 do 12 cm globoko (Agrarheute, 2015). Krožniki z večjim premerom obdelujejo tla do globine 20 cm. Poševna postavitvev krožnikov ustvari silo na krožno brano, ki deluje prečno na smer vožnje, in sicer na prednjo vrsto krožnikov v eno smer, medtem ko na zadnjo vrsto krožnikov v nasprotno smer. Obe sili morata biti uravnoteženi, da ne pride do stranske vleke krožne brane (van Huet, 2019).

Posamezen krožnik je varovan z gumijastimi vzmetnimi elementi na nosilni cevi, kar omogoča tudi dobro prilagoditev krožnika reliefu tal in boljše prodiranje v tla. Drug način varovanja posameznih krožnikov je s tlačno vijačno vzmetjo. Posamezen krožnik je pritrjen na nosilec z zaprtim kotalnim ležajem, ki ne potrebuje vzdrževanja. Krožniki z gladkim robom se uporabljajo za plitvo zadelavo rastlinskih ostankov do globine od 3 do 8 cm. Delovni profil tal ima po obdelavi z gladkimi krožniki konstantno globino. Nazobčani krožniki lahko tla obdelujejo na globini večji od 6 cm, njihov delovni profil v tleh pa je valovit.

Na zadnjem delu kratkih krožnih bran je prigraden zgoščevalni valj. Delovna globina se nastavlja s spuščanjem oz. dviganjem valjarja, ki se nastavi s premikanjem sornika po višini na nosilcu, v katerega se upre nosilec valja, ali pa z enim ali dvema hidravličnima valjema. Nekatere izvedbe kratkih krožnih bran imajo na prednjem delu še poseben rezilni valj za rezanje rastlinskih ostankov (Bruse, 2020). Nošene izvedbe kratkih krožnih bran so krajše, medtem ko imajo vlečene oziroma polnošene izvedbe kolesa za transport in obračanje na njivi ter so daljše. Pri večjih delovnih širinah, so tako nošene kot polnošene izvedbe hidravlično zložljive (Köller in Hensel, 2019).

Prednost krožnih bran je velika delovna hitrost in s tem povezana velika površinska storilnost. Njihova pomanjkljivost je, da na predhodno neobdelanih tleh težko presežemo delovno globino 10 cm. Na doseganje ustrezne delovne globine obdelave tal negativno vpliva tudi velika količina organske mase na površini. Zaradi intenzivnega rezanja tal lahko pogosta uporaba povzroči prerazmnožitev trajnih plevelov. Za zadostno mešanje rastlinskih ostankov na težjih tleh naj bi bila masa orodja vsaj 1.000 kg na meter delovne širine.

V poskusu smo primerjali storilnost, porabo goriva in pridelek koruznega zrnja pri pripravi setvišča s kratko krožno brano na srednje težkih tleh, v sistemu plitve konzervirajoče obdelave tal. Setveni sloj smo pripravili z dvakratnim prehodom njive. Primerjali smo tri delovne hitrosti obdelave tal in sicer 7 km/h, 10 km/h ter 13 km/h. Domnevali smo, da se bo s povečanjem hitrosti obdelave tal povečala površinska storilnost ter zmanjšala poraba goriva na hektar in da se bo zmanjšal pridelek koruznega zrnja.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Na njivi v Breški vasi pri Šentjerneju smo v letu 2022 zasnovali poljski poskus z uporabo kratkih krožnih bran za predsetveno obdelavo tal za setev koruze za zrnje. Obdelavo s krožno brano smo opravili 10. 5. 2022. Tla na njivi so meljasto ilovnata, vsebujejo 22 % gline. V poskusu smo proučevali tri delovne hitrosti obdelave tal in sicer 7 km/h, 10 km/h ter 13 km/h. Poskus smo izvedli v bločni zasnovi s tremi ponovitvami.

Poskusna parcela je bila široka 54 m in dolga 100 m. Osnovna parcelica posameznega obravnavanja je imela površino 0,06 ha (širina 6 m in dolžina 100 m). Vsako poskusno parcelico smo obdelali z dvema prehodom po isti površini, ker je bila osnovna globlja obdelava izpuščena in smo želeli dobro pripraviti setvišče. Predposevek je bila koruza za zrnje. V jeseni prejšnjega leta je bila po žetvi koruznica zdrobljena z mulčerjem. Poskus smo opravili s traktorjem Fendt 516 Vario z imensko močjo 120 kW in maso 6400 kg (Fendt 500, 2024). Traktor je opremljen z brezstopenjskim menjalnikom, ki omogoča natančno nastavljanje

hitrosti, in z večnamenskim zaslonom v kabini, ki prikazuje različne informacije o delovanju traktorja.

Za obdelavo tal smo uporabili kratko krožno brano BT 30, proizvajalca Agro-Masz. Gre za nošeno orodje z delovno širino 3 m in maso 1.320 kg. Po podatkih proizvajalca znaša maksimalna globina obdelave tal 14 cm. Priporočena delovna hitrost je med 5 in 15 km/h (Agromasz, 2024). Krožniki so nameščeni na nosilno konstrukcijo v dveh vrstah. V vsaki vrsti je po 12 nazobčanih krožnikov s premerom 510 mm. Razdalja med posameznimi krožniki je 250 mm. Na zadnji strani je nameščen cevasti valj z 9 cevmi, premera 500 mm, ki zgosti tla in poravna površino tal. Varovanje posameznih krožnikov je izvedeno z gumastimi vzmetnimi elementi. Delovna globina se nastavi na nosilnem stolpu z vstavljanjem sornika v izvrtine. Za drugo vrsto krožnikov je pred valjem nameščeno še česalo iz vzmetnih kovinskih palic. Na obeh straneh sta na paralelogramu nameščena stranska ščitnika, ki preprečujeta metanje tal preko delovne širine brane. Globino obdelave tal smo nastavili z višino valjarja na 10 cm pri vseh obravnavanjih.

Za meritev porabe goriva smo uporabili traktorski računalnik. Pred začetkom obdelave tal s kratko krožno brano na posamezni parcelici smo porabo goriva (l) nastavili na vrednost nič. Po končani obdelavi tal na vsaki parcelici (0,06 ha) smo zaključili meritev in zabeležili porabo goriva (l). Za vsako posamezno parcelico smo merili čas od začetka do konca obdelave tal. To je pomenilo čas dveh prehodov traktorja s krožno brano po isti površini in celoten čas za obračanje na koncu poskusne parcelice.

Delovno hitrost traktorja pri obdelavi tal smo nastavili na tempomatu traktorja. Dejanske vozne hitrosti nismo merili.

Iz podatka o porabi goriva (l) in potrebnega časa za obdelavo posamezne poskusne parcele (h) smo izračunali porabo goriva na uro (l/h). Podobno smo iz površine obdelave tal (ha) in porabe goriva (l) izračunali porabo goriva na hektar (l/ha). Poleg tega smo iz potrebnega časa za obdelavo posamezne poskusne parcele izračunali časovno storilnost (h/ha). Iz časovne storilnosti (h/ha) smo izračunali še površinsko storilnost (ha/h). Na koncu smo naredili še relativne primerjave časovne in površinske storilnosti pri hitrostih obdelave 10 km/h in 13 km/h glede na hitrost obdelave 7 km/h.

V poskusu smo na predhodno neobdelanih tleh tik pred izvedbo poskusa z obdelavo tal odvzeli naključno 5 vzorcev tal s Kopeckijevimi cilindri. Vzorce tal smo stehali in posušili. Iz podatkov o masi vlažnega vzorca tal in suhega vzorca tal smo izračunali volumsko gostoto tal, poroznost tal in masni odstotek vode v tleh (preglednica 1). Tla pred obdelavo so imela volumsko gostoto tal 1,64 g/m³ in njihova vlažnost je bila 23,8 vol. %:

Preglednica 1: Volumska gostota tal, poroznost in masni odstotek vode v tleh in njihove mere variabilnosti pred obdelavo tal s kratko krožno brano

	Povprečje	Standardni odklon	Koeficient variacije (%)	Standardna napaka
Volumska gostota tal (g/cm ³)	1,64	0,05	3,2	0,02
Poroznost tal (%)	38,2	2,0	5,1	0,9
Masni odstotek vode v tleh (%)	20,7	1,8	0,8	8,7

Setev koruze smo opravili 11. 5. 2022 s šestvrstno presledno sejalnico Özdöken VPHE-DG6 z dvojnimi diskastimi lemeži, ki je namenjena setvi v sistemu konzervirajoče obdelave. Pred setvijo smo celotno površino še dopolnilno obdelali z vrtavkasto brano na globino 5 cm. Žetev poskusa smo opravili 17. oktobra 2022 s kombajnom Claas Dominator 88, s 4 vrstnim trgalnim ustjem Capello. Posamezno poskusno parcelo smo poželi in nato stehali z elektronsko tehniko.

Poleg tega smo odvzeli še vzorec zrnja in izmerili vlažnost zrnja z merilcem vlažnosti Pfeuffer HE 50. Na podlagi mase zrnja na posamezni parceli in vlažnosti zrnja ob spravilu smo izračunali pridelek zrnja na hektar pri 14 % vlažnosti.

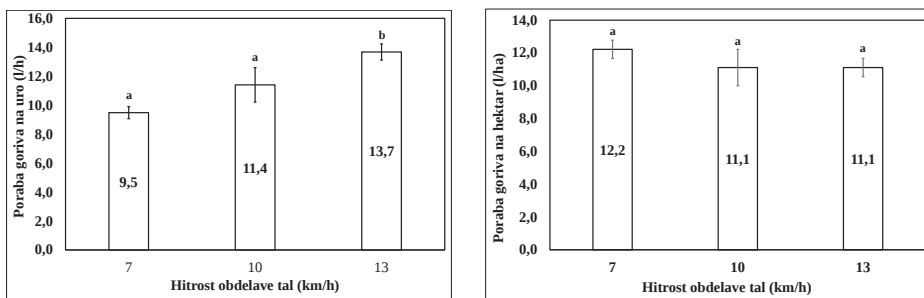
Statistično analizo smo opravili program Staghraphics XVII-64. Naredili smo analizo variance in Duncanov test mnogoterih primerjav. Podatke smo grafično predstavili z vrtilnimi grafikoni. Statistične razlike med obravnavanji v grafikoni so prikazane z različnimi črkami.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Poraba goriva in storilnost pri obdelavi tal s kratko krožno brano

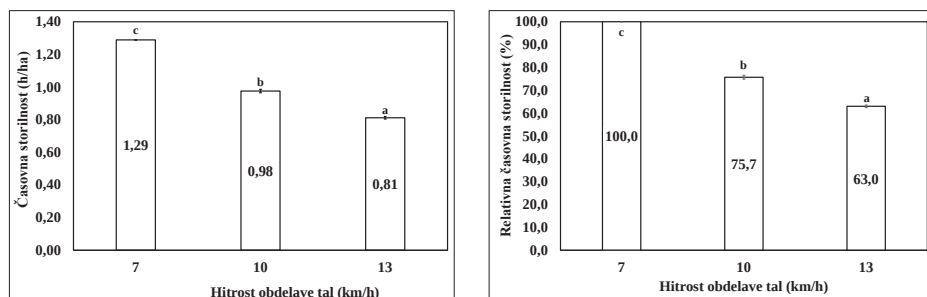
Poraba goriva na uro (l/h) je bila večja pri hitrosti obdelave tal 13 km/h kot pri hitrostih 7 km/h in 10 km/h. Med hitrostjo obdelave tal 7 km/h in 10 km/h ni bilo značilnih razlik v porabi goriva (l/h) (slika 1 - levo). Rezultate lahko deloma primerjamo z rezultati Stajnika (2017), ki navaja 25% zvišanje porabe goriva na uro pri delu z krožno brano na globini 8 cm, če se hitrost poveča iz 8 km/h na 10 km/h. V našem poskusu je bilo doseženo 20% povečanje porabe goriva na uro pri hitrosti 10 km/h v primerjavi s hitrostjo 7 km/h, kar je primerljivo. Ko smo delovno hitrost obdelave tal povečali na 13 km/h, se je poraba goriva na uro povečala za 44 % glede na hitrost 7 km/h. Seveda je poraba goriva na uro odvisna še od drugih dejavnikov, kot so vlažnost tal, zbitost tal, specifični upor tal, konstrukcija orodja, predposevek, traktor in drugo.

Kljub povečani porabi goriva na časovno enoto med različnimi hitrostmi obdelave tal s kratko krožno brano ni bilo razlik v porabi goriva na hektar (l/ha), kar je v nasprotju s postavljeno hipotezo (slika 1 – desno). Poraba goriva na hektar je znašala med 11,1 l/ha (10 km/h in 13 km/h) do 12,2 l/ha (7 km/h). Po nemških podatkih, ki jih objavlja KTBL (2024) znaša poraba goriva pri plitvi obdelavi tal s kratko krožno brano, delovne širine 3 m ter traktorjem imenske moči 102 kW na parcelah s površino 0,5 ha 9,2 l/ha. Vendar gre pri tem za podatek za en prehod njive, v našem poskusu je bila poraba na hektar večja, saj smo opravili dva prehoda.



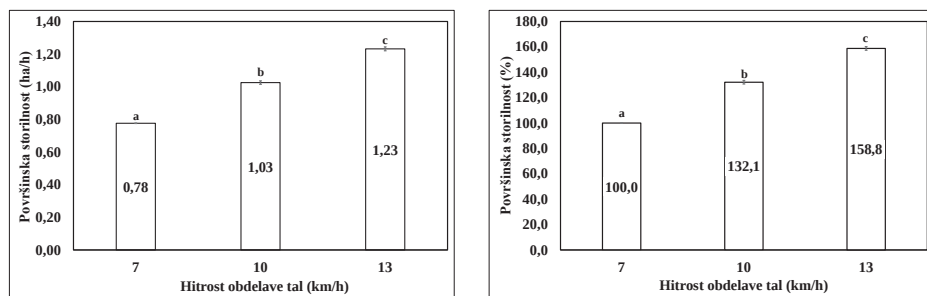
Slika 1: Poraba goriva na uro (levo) in na hektar (desno) pri treh hitrostih obdelave tal s kratko krožno brano

Časovna storilnost (h/ha) se je s povečanjem hitrosti obdelave tal od 7 km/h do 13 km/h značilno zmanjševala in sicer od 1,29 h/ha do 0,81 h/ha (slika 2). S tem se je povečala storilnost obdelave, saj je bilo potrebno le 0,81 h/ha pri hitrosti obdelave tal 13 km/h, kar pomeni 37 % manj potrebnega časa oz. 0,48 ure (28,8 minute) v primerjavi s hitrostjo obdelave tal 7 km/h. Dostikrat imamo pred setvijo manj razpoložljivega časa za pripravo tal, predvsem zaradi pogostih padavin v tem obdobju, zato je hitra in kakovostna priprava tal še toliko bolj pomembna.



Slika 2: Časovna storilnost (levo) in relativna časovna storilnost (desno) pri treh hitrostih obdelave tal s kratko krožno brano

Ob tem je površinska storilnost (ha/h) naraščala s hitrostjo obdelave tal, kar je bilo v skladu s postavljeno hipotezo (slika 3). Pri hitrosti 7 km/h je znašala 0,78 ha/h, medtem ko je bila pri hitrosti obdelave tal 13 km/h 1,23 ha/h. To je pomenilo 58,8 % večjo površinsko storilnost pri hitrosti 13 km/h glede na hitrost 7 km/h. To so dejanski podatki o storilnosti, saj je bil vključen tudi čas, ki je potreben za obračanje traktorja na koncu njive. Po podatkih proizvajalca krožne brane Agromasz (2024) je mogoča tudi večja površinska storilnost, kot smo jo dosegli v našem poskusu, in sicer od 1,5 do 3 ha/h. Potrebno je povedati, da smo imeli v našem poskusu dva prehoda po istem mestu, tako da je bila površinska storilnost za polovico manjša, kot če bi imeli samo en prehod po istem mestu. Takrat bi dosegli površinsko storilnost od 1,5 ha/h do 2,4 ha/h. Seveda je lahko površinska storilnost tudi večja, če bi povečali hitrost nad 13 km/h. Vendar ima na dejansko površinsko storilnost velik vpliv tudi oblika in velikost parcel.



Slika 3: Površinska storilnost (levo) in relativna površinska storilnost (desno) pri treh hitrostih obdelave tal s kratko krožno brano

3.2 Pridelek zrnja pri 14 % vlažnosti zrnja

Med tremi hitrostmi predsetvene obdelave tal s kratko krožno brano nismo mogli dokazati razlik v pridelku koruznega zrnja pri 14 % vlažnosti. To je v nasprotju s postavljeno hipotezo, da bo večja hitrost obdelave tal negativno vplivala na velikost pridelka. Povprečen pridelek koruznega zrnja je bil med 10.289 kg/ha (13 km/h) in 11.260 kg/ha (10 km/h), kar predstavlja primerno velikost pridelka. Stajenko (2017) navaja, da so pridelki pri ohranitveni obdelavi tal, kamor spada tudi obdelava tal s kratko krožno brano, v prvih letih nekaj nižji, nato pa enakovredni kot pri konvencionalni obdelavi tal.

4 SKLEPI

Pri obdelavi tal s kratko krožno brano se je s povečanjem hitrosti obdelave tal od 7 km/h na 13 km/h povečala poraba goriva na uro, vendar je ostala poraba goriva na površinsko enoto konstanta.

Časovna storilnost se je s povečanjem hitrosti obdelave tal zmanjšala. Pri hitrosti 13 km/h smo za obdelavo enega hektarja potrebovali 37 % manj časa kot pri hitrosti 7 km/h. Pri hitrosti obdelave tal 13 km/h je bila površinska storilnost za 58,8 % večja kot pri hitrosti 7 km/h.

Med različnimi hitrostmi obdelave s kratko krožno brano v sistemu plitve konzervirajoče obdelave tal razlik med pridelki suhega koruznega zrnja ni bilo.

5 LITERATURA

Agrarheute. 2015. Kurzscheibeneggen: Das müssen Sie beim Kauf beachten.

<https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/kurzscheibeneggen>

Agromasz. 2024. BT – Disc harrow.

<https://agro-masz.eu/en/strona-glowna/590-bt-disc-harrow.html>

Bernik R. 2005. Tehnika v kmetijstvu: obdelava tal, setev, gnojenje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, 120 str.

Bruse C. 2020. Die Scheibe für die Tiefe. Kurzscheibenegge Amazone CatrosXL 6003-2TS: Profi Sonderdruck 03, 1-3.

Fendt 500. 2024. Tehnične lastnosti.

<https://interexport.si/kmetijstvo/traktorji/traktorji-fendt/fendt-500-vario/>

Köller K., Hensel O. 2019. Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion. Stuttgart, Germany, Verlag Eugen Ulmer

KTBL. 2024. Dieselbedarf. <https://daten.ktbl.de/dieselbedarf/main.html#0>

Paar J. 2024. Seitenzugfrei vs. Streifenfrei. Landwirt 3, 61-64.

Stajniko D. 2017. Obdelovanje tal in protierozijska zaščita na vodovarstvenih območjih.

Maribor, Univerzitetna založba Univerze v Mariboru, 100 str.

Technik für die flache Bodenbearbeitung. DLG, Mitgliedschaft newsletter archiv 2022, <https://www.dlg.org/de/mitgliedschaft/newsletter-archiv/2022/07/technik-fuer-die-flache-bodenbearbeitung>

van Huet A., Lohuis R., Mann J., Ganzmann H., Petersen M., Frieze-Tapmeyer J., Keil W., Fleischlin S., Fehr A., Friske R., Huber G., Wimmer A. 2019. Fachkunde Land- und Baumaschinentechnik. 2. Aufl. Düsseldorf, Verlag Europa-Lehrmittel, 848 str.

Vpliv rastlinskega biostimulanta iz alg *Scenedesmus* sp., gojenih v redkem delu bioplinskega digestata, na rast in razvoj prosa (*Panicum miliaceum* L.)

Tanja ZRNEC DROBNJAK⁹⁵, Lea LAVRIČ⁹⁶, Lara RESMAN⁹⁷, Maja BERDEN ZRIMEC⁹⁸, Vid ŽITKO⁹⁹, Ana SCHWARZMANN¹⁰⁰ in Rok MIHELIC¹⁰¹

Izvelek

Raziskava obravnava gojenje mikroalg vrste *Scenedesmus* sp. z namenom pridobitve rastlinskega biostimulanta, z vsakodnevnim odmerku redkega separiranega digestata 4 do 8 L/1000 L vode. Mikroalge teoretično delujejo kot rastlinski biostimulanti, spodbujajo kalitev in razvoj korenin, izboljšujejo odpornost rastlin na sušo ter tako omogočajo večjo stabilnost in kakovost pridelkov. V okviru EU projekt Waste4Soil smo testirali biostimulativnot proizvedenih alge na prosu (*Panicum miliaceum*). Za razvoj korenin se je kot najboljša izkazala koncentracija 5 g SS/L, za kalivost semen pa 1 g SS/L. Koncentracijo 1 g SS alg/L smo foliarno aplicirali v poljskem poskusu in ugotovili nesignifikantno povečanje vsebnost klorofila (SPAD). Nekoliko večja vsebnost klorofila v listih se ob žetvi ni odrazila v povečanem pridelku zrnja prosa, vendar so bile rastline ob uporabi biostimulata bolj izenačene v rasti in tudi v velikosti pridelka zrnja.

Ključne besede: krožno biogospodarstvo, trajnostno kmetijstvo, mikroalge, biostimulant, kalitev

Effect of a plant biostimulant from the alga *Scenedesmus* sp. produced on biogas digestate feed on the growth and development of millet (*Panicum miliaceum* L.)

Abstract

The study deals with the cultivation of microalgae of the species *Scenedesmus* sp. with the aim of obtaining a plant biostimulant. The algae were fed with a daily dose of 4 to 8 L of liquid fraction of the separated digestate in 1000 L of water. Microalgae theoretically act as plant biostimulants, stimulate germination and root development, improve the plants' resistance to drought and thus enable greater stability and quality of the crops. As part of the EU Waste4Soil project, we tested the biostimulant properties of the algae produced on millet (*Panicum miliaceum*). A concentration of 5 g SS/L proved to be the best for root development, and 1 g SS/L for seed germination. A concentration of 1 g SS algae/L was applied foliar in a field trial and a non-significant increase in chlorophyll content (SPAD) was observed. Slightly higher chlorophyll content in the leaves was not reflected in higher millet grain yield at harvest, but the plants' habitus and grain yields were more uniform when the biostimulant was used.

Key words: circular bioeconomy, sustainable agriculture, microalgae, biostimulant, germination

1 UVOD

Mikroalgni biostimulanti postajajo vse pomembnejši v kmetijstvu zaradi naraščajočih izzivov, ki jih prinašajo podnebne spremembe, kot so suše, ekstremne temperature, spremenjeni vzorci padavin in degradacija tal. Ti spodbujajo kalitev semen in razvoj koreninskega sistema ter izboljšujejo izkoristek hranil in sposobnost rastlin za sprejem vode, zaradi česar se izboljša struktura in poveča mikrobiološka aktivnost tal. Poveča se odpornost kmetijskih rastlin na

⁹⁵ Mag. inž. agr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: tanja.zrnecdrobnjak@bf.uni-lj.si

⁹⁶ Dr., KOTO, d.o.o., Agrokombinatska cesta 80, 1000 Ljubljana e-pošta: lea.lavric@koto.si

⁹⁷ Univ. dipl. mikrob., KGZS – Zavod Murska Sobota, e-pošta: lara.resman@kgzs-ms.si

⁹⁸ Dr., AlgEn, d.o.o., Brnčičeva ulica 29, 1231 Ljubljana-Črnuče, e-pošta: maja@algen.eu

⁹⁹ Mag. inž. agr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: vid.zitko@bf.uni-lj.si

¹⁰⁰ Mag. inž. agr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: ana.schwarzmann@bf.uni-lj.si

¹⁰¹ Doc. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: rok.mihelic@bf.uni-lj.si

temperaturne ekstreme (Bulgari in sod., 2014). Vsebnost biostimulativnih snovi v mikroalgah je odvisna od zunanjih dejavnikov, predvsem od rastnega medija oz. stresorjev, katerim so alge izpostavljene med rastjo, kar vpliva na vsebnost biostimulativnih snovi. Rod *Scenedesmus* je zelo obetajoč naravni vir biostimulantov za trajnostno kmetijstvo predvsem zaradi večje vsebnosti proteinov (Resman in sod., 2021). Mikroalge, gojene na tekočem delu digestata bioplinskih naprav, predstavljajo inovativno rešitev za trajnostno kmetijstvo (Berden Zrimec in sod., 2022). Digestat je tekoči preostanek, ki nastane v procesu metanogene fermentacije biološko razgradljivih odpadkov in odpadnih vod, bogatih z organskimi snovmi. Sestava digestata je odvisna od kakovosti vhodnih substratov, vsebnosti suhe snovi, temperature procesa, časa zadrževanja in stopnje razgradnje organske snovi. Bogat je z ogljikovimi in dušikovimi spojinami in vsebuje ključna hranila, kot so dušik, fosfor, kalij in mikrohranila, kar ga lahko uvršča med gnojila v rastlinski pridelavi ali gojitveni medij za mikroalge (Lavrič, 2019). S tem se sklene kroženje snovi, zmanjšuje se okoljski odtis pridelave hrane in spodbuja regenerativne, trajnostne kmetijske prakse. Gre za primer značilnega krožnega biogospodarstva. V okviru evropskega projekta Waste4Soil ([Waste4Soil - Turning food waste into sustainable soil improvers for better soil health and improved food systems](#)) smo ustanovili živi laboratorij Slovenija-Istra kot platformo za raziskave in aplikativni razvoj organskih izboljševalcev tal in biostimulantov. Živi laboratorij povezuje kmetovalce, raziskovalce, proizvajalce oz. trgovce in lokalne ter državne odločevalce. V prispevku predstavljamo dosedanje rezultate raziskav vzgoje mikroalg na tekočem delu digestata, nastalega v bioplinski predelavi ostankov prehranske industrije, izdelave prototipa rastlinskega biostimulanta iz vzgojenih mikroalg in rezultate testiranj njegovega delovanja v laboratorijskih testih ter v poljskih poskusih na prosu kot testni rastlini.

2 MATERIAL IN METODE

Za rast zelenih mikroalg *Scenedesmus* sp. smo v Centru algnih tehnologij Biotehniške fakultete kot vir hranil uporabili redki del separiranega digestata bioplinske naprave podjetja KOTO; njegova sestava je predstavljena v preglednici 1. Na 1000 L vode je bilo dodanega od 4 do 8 L digestata na dan. Potrebe po dodajanju digestata so regulirane na podlagi mejnih vrednosti indikativnih parametrov, ki smo jih definirali v predhodnih poskusih: pH 6–8, električna prevodnost EC 1000–2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 50–150 mg L^{-1} , $\text{NO}_3\text{-N}$ 5–50 mg L^{-1} , $\text{NO}_2\text{-N}$ <1 mg L^{-1} , optična gostota OD_{680} 1–1,5 (Resman in sod., 2023). Gojene mikroalge iz rodu *Scenedesmus* sp., med katerimi prevladuje *Scenedesmus quadricauda*, imajo pri optimalnih razmerah, od začetka marca do konca oktobra, pri T med 10 in 30 °C, povprečno dnevno produkcijo biomase $11 \pm 1,5 \text{ g/m}^2$ (Resman in sod., 2023). Alge gojimo v odprtih, krožnih bazenih z ogrevanim dnom. Bazeni so postavljeni v neogrevanem rastlinjaku - plastenjaku, pokritem z dvojno PE folijo. Za gojenje alg uporabljamo naravno osvetlitev in jih ne osvetljujemo dodatno. V času žetve (pobiranja) mikroalge najprej prečrpamo v usedalnike za 24 ur, nato pa ne posedli del vrnemo v gojitveni bazen. Gosto alno brozgo nato prefiltriramo z vibro-mikro filtracijsko enoto (Vibro-Lab 3500, SANI Membranes A/S, DK) ali centrifugiramo. Pridobljeno pasto lahko uporabimo svežo ali predhodno posušimo na 35 °C in zmeljemo v fin prah ter naknadno razredčimo z vodo do primerne koncentracije za aplikacijo, formulirano kot rastlinski biostimulant. Biostimulativnost proizvedenih mikroalg smo testirali v različnih poskusih. Prvi korak so bili kalilno-rastni testi, s katerimi smo določili optimalno koncentracijo mikroalnega rastlinskega biostimulanta. Kalitvene teste smo izvedli na prosu. Testirali smo tri različne koncentracije (1 g SS mikroalg/L, 5 g SS mikroalg/L, 50 g SS mikroalg/L in kontrola z vodo) pripravka. S programom ImageJ, ki je odprtokodna programska oprema za obdelavo in analizo znanstvenih slik (<https://imagej.net>), smo izmerili površino

priraslih korenin (Sliki 1 in 2). Glede na površino koreninic in stopnjo kaljivosti posameznih obravnavanj v primerjavi s kontrolo smo izračunali tudi indeks kalivosti (GI) (Fuentes in sod., 2004) s pomočjo naslednje enačbe:

$$GI (\%) = \frac{(\text{št.vzklilih semen} \times \text{površina koreninic})}{(\text{št.vzklilih semen kontrole} \times \text{površina koreninic kontrole})} \times 100 \quad (1)$$

Ocenjevali smo tudi biostimulativnost gojitvenega medija, iz katerega smo poželi *Scenedesmus* sp. in gojitvenega medija, kjer je rastla modrozelená alga oz. cianobakterija *Spirulina* (pridobljeno iz komercialne pridelave spiruline, EKO Janez).

Pripravke smo nato testirali v poljskim preizkusom na polju Biotehniške fakultete v Ljubljani, kjer smo 20. 6. 2024 posejali proso (*Panicum miliaceum* L.), sorte Sonček. Tla na lokaciji poljskega poskusa so evtrična rjava, psevdoglejena, s teksturnim razredom MGI-GI in pH okoli 7. Skupna vsebnost organskega ogljika znaša v povprečju 2 %, 17,7 mg P₂O₅/100 g tal, 15,7 mg K₂O/100 g tal, kationska izmenjevalna kapaciteta talne raztopine je 20,8 in zasičenost tal z bazami 72,8 %. Njiva je bila obdelana na konvencionalni način z oranjem ter predsetveno obdelavo tal s krožno brano. Osnovno gnojenje se je izvedlo v letu 2024 po celotni površini s 138 kg gnojila NPK 15-15-15 na ha, sledilo je dognojevanje s 75 kg N/ha z gnojilom KAN 27 % v fazi BBCH 16. Proučevali smo 4 obravnavanja v treh ponovitvah:

- kontrola (**K**): netretirano seme prosa, brez foliarno apliciranega biostimulanta,
- biostimulant, apliciran samo na seme (**S**),
- biostimulant, apliciran zgolj foliarno dvakrat v rastni dobi (**F**)
- tretirano seme prosa z biostimulantom in dvakratno foliarno apliciranje v rastni dobi (**SF**).

Posejali smo 43 kg semena/ha. Seme prosa smo zamešali v alno brozgo tako, da smo na seme nanесли 12,4 g SS alg/kg semena, in tako na hektar s semenom dodali 533 g SS mikroalg (obravnavanje **S**). Pri foliarni aplikaciji smo uporabili koncentracijo 1 g SS priprava/L vode oz. pri vsaki aplikaciji odmere 300 L/ha (= 300 g SS alg/ha) (obravnavanje **F**). Poleg aplikacije na seme (**S**) in foliarne aplikacije (**F**) smo izvedli tudi obravnavanje v kombinaciji z obema načinoma aplikacije (**SF**). Foliarno aplikacijo smo izvedli dvakrat med rastno dobo, in sicer prvič v razvojni fazi BBCH 59 in drugič v fazi BBCH 69) (Ventura in sod., 2020).

Učinkovitost biostimulativnosti na koreninski sistem rastline prosa ob direktni aplikaciji pripravka na seme smo ocenili v fazi tretjega pravega lista (BBCH 13), 3. 7. 2024, z meritvijo globine glavne korenine in površino koreninskega sistema rastlin prosa (Slika 3) ter kasneje s SPAD meritvami (SPAD-502Plus, Minolta) pred drugo foliarno aplikacijo (BBCH 59), 7. 8. 2024) in dva dni kasneje (BBCH 69), 9. 8. 2024, (Slika 4), obakrat ob 9.00 uri. Za te meritve smo znotraj vsake ponovitve uporabili 5 naključno izbranih rastlin.

Za namene analize pridelka smo rastline poželi znotraj 1 m x 1 m okvira v treh ponovitvah za vsako obravnavanje. Ob žetvi, 4. 9. 2024, smo stekali skupno nadzemno svežo maso rastlin, v laboratoriju pa še skupno zračno suho nadzemno maso in maso zračno suhega pridelanega semena (sušenje rastlinja smo opravili v prezračevalni sušilni omari pri 40 °C do konstantne mase).

Oceno slik kalitvenega testa in rastlin prosa iz poljskega poskusa v fazi BBCH 13 smo naredili z odprtokodnim programom ImageJ. Rezultati so bili urejeni v programu Excel, statistična analiza je bila narejena v statističnem programu R (R Commander).



Slika 1: Vzorčene rastline prosa v razvojni fazi BBCH 13 (levo) in slika koreninskega sistema po obdelavi z aplikacijo ImageJ

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

Digestat iz ostankov prehranske industrije smo analizirali in ugotovili, da je ustrezen za uporabo pri izdelavi rastlinskega biostimulanta glede na zahteve Uredbe (EU) 2019/1009 (Preglednica 1). Vsebnost skupnega organskega ogljika uporabljenega dehidriranega digestata znaša 34,7 % in razmerje med ogljikom in dušikom je 2,0. Vsebnost rastlinam dostopnega esencialnega fosforja (P) v suhi snovi je 0,053 % in kalija (K) 0,67 %. Pridelane mikroalge rodu *Scenedesmus* bi ustrezale zahtevam za trženje in uporabo rastlinskega biostimulanta po uredbi EU.

Preglednica 1: Hranila in potencialno toksični elementi v uporabljenem digestatu in v pridelanih algah *Scenedesmus* sp. ter mejne vrednosti za rastlinski biostimulant

		Redki del digestata (KOTO)	Mejne vrednosti za rastlinski biostimulant po uredbi EU 2019/1009	Pridelane alge <i>Scenedesmus</i> sp.
EC	[mS/cm]	14,9	-	-
SS	[%]	0,74	-	-
Corg	[% SS]	34,7	-	45,0
N	[% SS]	17,8	-	7,5
Corg:N		2,0	-	6,0
P	[g/kg SS]	0,53	-	13,0
K	[g/kg SS]	6,70	-	5,70
Pb	[mg/kg SS]	9,20	120	3,43
Cd	[mg/kg SS]	0,70	1,5	0,13
Zn	[mg/kg SS]	277	1500	114
Cr	[mg/kg SS]	29,0	-	3,30
Cu	[mg/kg SS]	47,2	600	20,5
Ni	[mg/kg SS]	8,10	50	1,90
Hg	[mg/kg SS]	0,05	1	0,009
As	[mg/kg SS]	<0,5	40	0,50

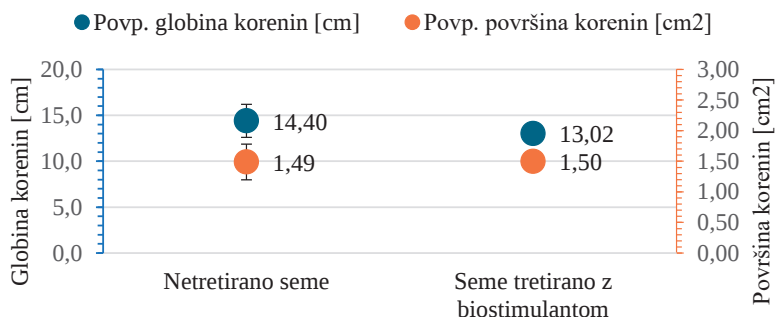
Kalilno-rastni testi so pokazali, da se je kot najbolj biostimulativen za razvoj korenin izkazal gojitveni medij mikroalg *Scenedesmus* sp. (V-BF, GI = 116 %, Slika 2), v primerjavi z obravnavanji, kjer so bile rastline tretirane s suspenzijo mikroalg *Scenedesmus* sp. ali z H₂O kot kontrolo. To lahko pripišemo izvenceličnim eksudatom, kot so polisaharidi, aminokisline in peptidi, organske kisline, fenolne spojine, vitamini ter psevdo-fitohormoni, ki jih mikroalge

sproščajo v okolje. Pomembno vlogo pri zaščiti rastlinskih celic imajo tudi eksopolisaharidi, ki sodelujejo pri celičnih interakcijah, adheziji in tvorbi biofilmov (Petkov in sod., 2009). Nasprotno je gojitveni medij iz vzgoje spiruline (V-EJ) deloval izrazito zaviralno, sicer ne na kalitev, pač pa na razvoj korenin tako, da je bil GI zgolj 31 % (Slika 2). Zaradi dodajanja NaHCO_3 v gojitveni medij za spirulino in posledično visokega pH, ki presega 8 (lahko doseže tudi 9–10) lahko kalitev in rast razvoj korenin poleg bazičnosti zavira tudi slanost gojitvenega medija. Med tremi koncentracijami suspenzije alnega pripravka se je pri rasti korenin kot najboljša izkazala koncentracija 5 g SS/L (Slika 2), čeprav je bil indeks kalivosti tu še vedno zgolj 48 %, kar kaže na zaviralno delovanje alnih pripravkov na kalitev (13 nevznikih od 36 semen). Glede na indeks kalivosti se je kot najboljši mikroalgi pripravek izkazala koncentracija 1 g SS/L (GI = 55 %). V predhodnih poskusih smo nasprotno ugotavljali biostimulativne učinke suspenzije mikroalg *Scenedesmus* sp. (GI okrog 120 %), vzgojenih v našem sistemu pri koncentraciji 2 g SS/L (Resman in sod., 2021). Očitno mikroalge *Scenedesmus*, vzgojene na tekočem delu digestata ne delujejo vedno kot rastlinski biostimulant. Nimamo še razvite metodologije kemijskih oz. bio-kemijskih testov, s katerimi bi predvideli, ali bo pripravek biostimulativen ali ne. Kalilno-rastni testi so zato še vedno nujen prvi korak pri tovrstnem testiranju.



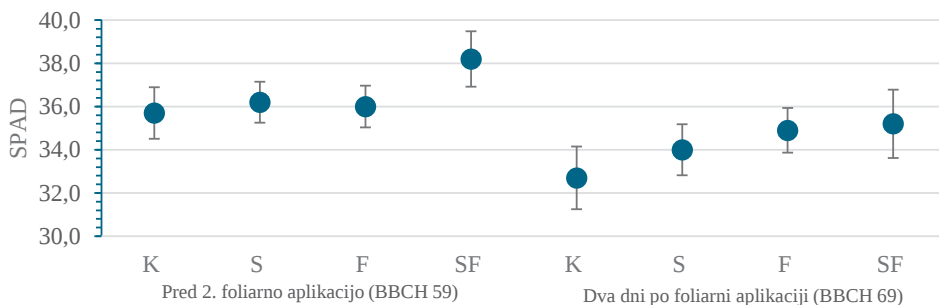
Slika 2: Površina korenin na vzniklo rastlino [mm^2] s standardnimi odkloni za obravnavanje 1 g SS mikroalg /L (1), 5 g SS mikroalg /L (5), 50 g SS mikroalg /L (50), gojitvenega medija po gojenju *Scenedesmus* (V-BF) in *Spiruline* (V-EJ), kontrolni vzorec z H_2O (K) ter pripadajoči kalitveni indeksi obravnavanj glede na kontrolo (GI=100%)

V poljskem poskusu s prosom smo 17 dni po setvi (BBCH 13) na vzorčnih rastlinah izmerili nesignifikante razlike med tistimi, z algami tretiranim semenom ali brez tretiranja. Obravnavanje z algami obdanim semenom je imelo v povprečju na rastlino za približno 10 % krajše korenine, v površini koreninskega sistema pa razlik med obravnavanji ni bilo (slika 3).



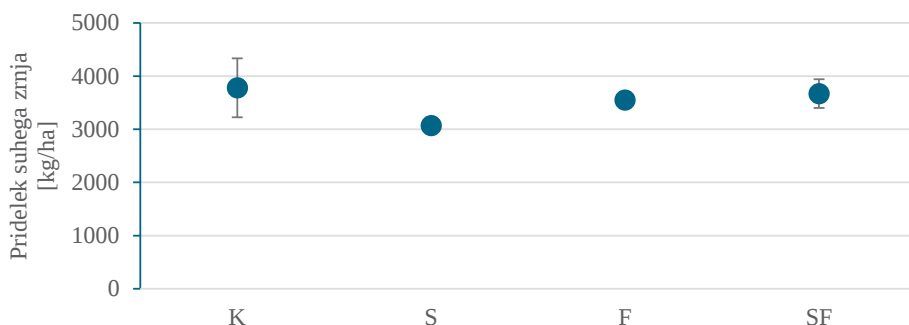
Slika 3: Globina in površina korenin rastlin prosa v fazi BBCH 13 pri netretiranem semenu (K) in pri semenu tretiranem z mikroalgnim biostimulantom (S) s standardno napako

Neizenačenost dolžine in površine korenin rastlin znotraj kontrolnega obravnavanja je bila večja (Slika 3). Meritev vsebnosti klorofila (SPAD) na listih rastlin smo opravili pred drugo foliarno aplikacijo biostimulanta in dva dni po aplikaciji. Najvišja SPAD je bila izmerjena pri obravnavanju z aplikacijo biostimulativnega pripravka na seme in foliarno (SF) pri obeh meritvah, najnižja pa pri kontroli (K) (slika 4). Največje razlike znotraj obravnavanj so prav tako bile pri obravnavanjih SF in K. S statistično analizo (enosmerna ANOVA) razlik med obravnavanji nismo mogli potrditi, saj sta p vrednosti pri prvi in drugi SPAD meritvi bili večji od 0,05. Obravnavanja K, S, F in SF v tem primeru nimajo statistično pomembnega vpliva na prvo in drugo SPAD meritev. Ne moremo trditi, da je različno tretiranje rastlin z biostimulantom vplivalo na SPAD meritve.



Slika 4: Izmerjena vsebnost fotosinteznih pigmentov (SPAD) pri obravnavanjih brez aplikacije mikroalnega biostimulanta (K), aplikacije biostimulanta na seme (S), aplikacije biostimulanta foliarno (F) in aplikacije biostimulanta na seme in foliarno (SF) s standardno napako pred 2. foliarno aplikacijo in dva dni po aplikaciji

Največja skupna sveža masa požetega prosa, 28 t/ha, je bila izmerjenega pri obravnavanju s foliarno aplikacijo biostimulanta (F) na rastline prosa, najmanjša pa pri obeh obravnavanjih z aplikacijo na seme S (23 t/ha) in v kombinaciji SF (24 t/ha).



Slika 5: Pridelek suhega zrnja prosa [kg/ha] pri obravnavanjih brez aplikacije mikroalnega biostimulanta (K), aplikacijo biostimulanta na seme (S), aplikacijo biostimulanta foliarno (F) in aplikacijo biostimulanta na seme in foliarno (SF) s standardno napako

Najmanjša izenačenost pridelka je bila pri kontroli brez aplikacije biostimulanta. Najbolj izenačene rastline so bile pri aplikaciji na seme **S**, vendar je pri tem pridelek najmanjši. Glede na velikost pridelka zrnja in njegovo izenačenost oz. majhno variabilnost se je kot najboljše izkazalo obravnavanje s foliarno aplikacijo biostimulanta, **F** (3549 kg suhega zrnja/ha) ter kombinirana aplikacija na seme in foliarno, **SF** (3671 kg suhega zrnja/ha). Rezultati analize pridelak niso bili statistično značilni in ne potrjujejo korelacije med različnimi obravnavanji in danim pridelkom.

4 SKLEPI

Tekoči del digestata, pridobljenega v bioplinski napravi iz ostankov predelave hrane, se je izkazal za primeren vir hranil za pridelavo mikroalg rodu *Scenedesmus*. Prav tako so tudi vzgojene mikroalge glede na elementarno analizo primerne za uporabo v razvoju biostimulantov. Dnevna potreba alg *Scenesesmus* sp. po hranilih je zagotovljena z dodajanjem 4 do 8 L tekočega dela digestata bioplinske naprave na 1000 L vode. Z uporabo tekočega dela digestata kot vira hranil za mikroalge se tako omogoča krožno biogospodarstvo. V kalilno-rastnem testu na prosu se je glede na razvoj korenin, kot najboljša izkazala koncentracija algnega pripravka 5 g SS/L, pri stimuliranju kalivosti semen pa 1 g SS/L. Koncentracijo 1 g SS alg/L smo nato tudi foliarno aplicirali v poljskem poskusu s prosom in ugotovili nesignifikantno povečanje vsebnost klorofila (SPAD) v vseh obravnavanjih z biostimulantom. Nekoliko večja vsebnost kolorofila v listih se ob žetvi ni odrazila v povečanem pridelku zrnja prosa, vendar so bile rastline ob uporabi biostimulata bolj izenačene v rasti in tudi v velikosti pridelka zrnja.

5 LITERATURA

- Berden Zrimec M., Malta E., Bonnet Dunbar M., Cerar A., Reinhardt R., Mihelič R. 2022. Wastewater cultivated macroalgae as a bio-resource in agriculture. V: Sustainable global resources of seaweeds, Volume 1. Ambati R., Ravishankar G. A. (ur.). Springer-Nature: 435-449, https://doi.org/10.1007/978-3-030-91955-9_23
- Bulgari R., Cocetta G., Trivellini A., Vernieri P., Ferrante A. 2014. Biostimulants and crop responses: a review. Biol. Agr. Hort., 31(1): 1–17, <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>
- Fuentes A., Lloréns M., Sáez J., Aguilar I., Ortuño J. F., Meseguer V. F. 2004. Phytotoxicity and heavy metals speciation of stabilised sewage sludges. Journal of Hazardous Materials: 161–169, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.014>

- Lavrič L. 2019. Obdelava anaerobnega digestata z mikroalgami in termofilna proizvodnja bioplina iz živilskih odpadkov in mikroalgne biomase. Doktorska disertacija.
<https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=113430>
- Petkov G., Kambourova R., Bankova V. 2009. Extracellular substances in cultures of the green alga *Scenedesmus*. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences* 63(2): 235-240
<https://doi.org/10.1127/1864-1318/2006/0119-0155>
- Resman L., Oven P., Bertonec J., Mihelič R. 2021. Obdelava mikroalg za biostimulacijo kmetijskih rastlin. V: *Novi izzivi v agronomiji 2021: zbornik simpozija*. Ljubljana: Slovensko agronomsko društvo. Čeh B. (ur.), et al. Str. 299-305, ISBN 978-961-94613-1-0
- Resman L., Berden Zrimec M., Žitko V., Lazar B., Reinhardt R., Cerar A., Mihelič R. 2023. Microalgae production on biogas digestate in Sub-Alpine region of Europe - development of simple management decision support tool. *Sustainability*. 15: 24, <https://doi.org/10.3390/su152416948>
- Ventura F., Vignudelli M., Poggi G., Negri L., Dinelli G. 2020. Phenological stages of Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) encoded in BBCH. *International Journal of Biometeorology*; 64: 1167-1181, <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01891-3>

Plitka zadelava prezimnih dosevkov izboljša pridelek koruze za zrnje

Anže ROVANŠEK¹⁰² in Robert LESKOVŠEK¹⁰³

Izvleček

Prekrivni dosevki so zaradi številnih koristi, ki jih nudijo, postali zelo razširjena praksa, vendar je njihov vpliv na pridelek naslednje poljščine v kolobarju močno odvisen od specifičnih lastnosti dosevka, pedoklimatskih razmer in načina upravljanja z njimi. V enoletni raziskavi je bil preučevan vpliv različnih metod prekinitve rasti prezimnega dosevka na pridelek zrnja koruze (*Zea mais* L.). Rast mešanice prezimnega dosevka, sestavljene iz 60 % inkarnatke (*Trifolium incarnatum* L.), 25 % kuštrave grašice (*Vicia villosa* L.) in 15 % rži (*Secale cereale* L.), je bila ustavljena z naslednjimi metodami: konvencionalno z oranjem (KON), valjanje z rezalnim valjem (RC), kombinacija valjanja in plitve zadelave s frezo (RCF), mulčenje dosevka (MD) ter kombinacija mulčenja in plitve zadelave (MDF). Rezultati so pokazali, da so bila tla ob setvi koruze (80 % delež pokrovnosti), značilno bolje pokrita z mrtvo zastirkro pri uporabi rezalnega valja. Sklepamo, da je neposredna setev v mrtvo zastirkro na težjih tleh vplivala na počasnejšo razgradnjo rastlinskih ostankov in imobilizacijo dušika ter značilno zmanjšala pridelek koruze (10,5 t ha⁻¹). MD (13,6 t ha⁻¹) ni povzročilo statistično značilnih izgub pridelka v primerjavi s KON. Dodatna plitva zadelava po mulčenju (MDF) ali valjanju dosevka (RCF) pa je izboljšala razgradnjo rastlinskih ostankov in povečala pridelek v primerljivi s KON (14,8–15,8 t ha⁻¹). Raziskava potrjuje, da lahko prekinitev rasti dosevka zgolj z rezalnim valjem negativno vpliva na pridelek koruze, medtem ko dodatna plitva obdelava in zadelava rastlinskih ostankov po valjanju ali mulčenju bistveno izboljšata pridelek koruze ne glede na vrsto predhodnega načina ustavitve rasti dosevka.

Ključne besede: upravljanje dosevkov, ustavitev rasti dosevkov, rezalni valj, mulčenje

Shallow tillage of winter cover crops improves maize grain yields

Abstract

Cover crops have become a widely adopted practice due to their numerous benefits, however their impact on the subsequent crop yield is highly dependent on the specific characteristics of the cover crop, pedoclimatic conditions, and management strategies. In the present study, the effects of different winter cover crop termination methods on maize (*Zea mais* L.) grain yield were investigated. The winter cover crop mixture, composed of 60% crimson clover (*Trifolium incarnatum* L.), 25% hairy vetch (*Vicia villosa* L.), and 15% rye (*Secale cereale* L.), was terminated using the following methods: conventional ploughing (KON), rolling with a roller crimper (RC), a combination of rolling and shallow tillage with a rototiller (RCF), cover crop mulching (MD), and a combination of mulching and shallow tillage (MDF). The results showed that soil at the time of maize sowing was significantly better covered with crop residues (80% soil cover) when the roller crimper was used. However, direct sowing into dead mulch on heavier soils slowed residue decomposition, leading to nitrogen immobilization, and significantly reduced maize grain yield (10.5 t ha⁻¹). Cover crop mulching resulted in comparable maize yields (13.6 t ha⁻¹) to conventional ploughing. Additional shallow tillage after mulching (MDF) or rolling (RCF) improved residue decomposition and produced maize yields comparable to those achieved with conventional ploughing (14.8–15.8 t ha⁻¹). This study confirms that terminating cover crops solely with a roller crimper can negatively affect maize yields on heavier soils due to slower residue decomposition and nitrogen immobilization. In contrast, additional shallow tillage and residue incorporation after rolling or mulching significantly improved maize grain yields, irrespective of the initial termination method.

Keywords: cover crop management, cover crop termination, roller crimper, mulching

¹⁰² Mag. inž. agr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: anze.rovanse@kis.si

¹⁰³ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: robert.leskovsek@kis.si

1 UVOD

V Sloveniji tradicionalna priprava tal za setev koruze za zrnje, ki je s posejanimi dobrimi 40.000 ha letno, najbolj razširjena in najpomembnejša poljščina, vključuje jesensko ali spomladansko oranje in naknadno predsetveno obdelavo. Takšen način obdelave lahko poleg koristi, kot so zatiranje plevelov in kratkotrajno rahljanje tal na dolgi rok povzroči negativne posledice v obliki zbite plasti pod globino oranja (plazina), kar omejuje infiltracijo vode in rast korenin (Goss in sod., 1978) ter zmanjšanje obstojnosti strukturnih agregatov (Pagliai in sod., 2004). Poleg tega se z oranjem zadela zaščitni sloj rastlinskih ostankov s talne površine (zastirko), kar povečuje občutljivost tal za vetrno in vodno erozijo (Reddy, 2016).

Za omilitev negativnih posledic intenzivne obdelave tal lahko pridelovalci v kmetijsko prakso uvedejo manj intenzivne metode obdelave tal kot so, minimalna obdelava tal (angl. minimal tillage) ali direktna setev (angl. no-till) brez obdelave tal. Te metode ohranjajo strukturo tal in zmanjšujejo nastanek plazine, kar omogoča boljšo infiltracijo vode in izboljšano rast korenin (Derpsch in sod., 2010). Poleg tega pomembno vlogo pri izboljšanju kakovosti tal igrajo dosevki, ki zmanjšujejo erozijo, ščitijo površino tal in izboljšujejo strukturo tal z dodatkom organske snovi in koreninskim sistemom, ki preprečuje zbijanje tal (Blanco-Canqui in Lal, 2010; Gentsch in sod., 2024).

V zadnjih letih so prezimne ozelenitve ornih površin pred setvijo koruze zaradi pozitivnih učinkov na tla in neposrednih plačil Skupne kmetijske politike postale vse pogostejša praksa. Učinkovita prekinitev rasti prezimnih dosevkov je ključnega pomena za uspešno vključitev v kolobar, saj lahko nepopolna prekinitev rasti povzroči tekmovanje med ostanki dosevkov in glavnimi posevki za vlago in hranila, kar negativno vpliva na kalitev in rast (Balkcom in sod., 2007). Načini prekinitev rasti se razlikujejo in vključujejo mehanske metode kot so, mulčenje, valjanje, oranje ali plitva obdelava ter kemične metode z uporabo herbicidov. Pravilna izbira ustrezne metode je bistvenega pomena za optimizacijo pridelka naknadnega posevka.

Kljub obsežnim raziskavam o koristih ozelenitve ornih površin preko zime pri nas še ni bilo opravljene raziskave, ki bi preučevala prekinitev rasti prezimnega dosevka z veliko biomaso neposredno pred setvijo koruze. Glavni namen naše raziskave je zato bil, preučiti vpliv različnih načinov poznega termina prekinitev rasti prezimnega dosevka na rast in pridelek naslednje poljščine, koruze.

2 MATERIALI IN METODE DELA

Raziskava je bila izvedena na raziskovalnih površinah Infrastrukturnega centra Jabolje, Kmetijskega inštituta Slovenije (Lat.14,3333, Lang.14,557259, n. v. 303 m) na težjih, obrečnih, evtričnih in oglejenih tleh.

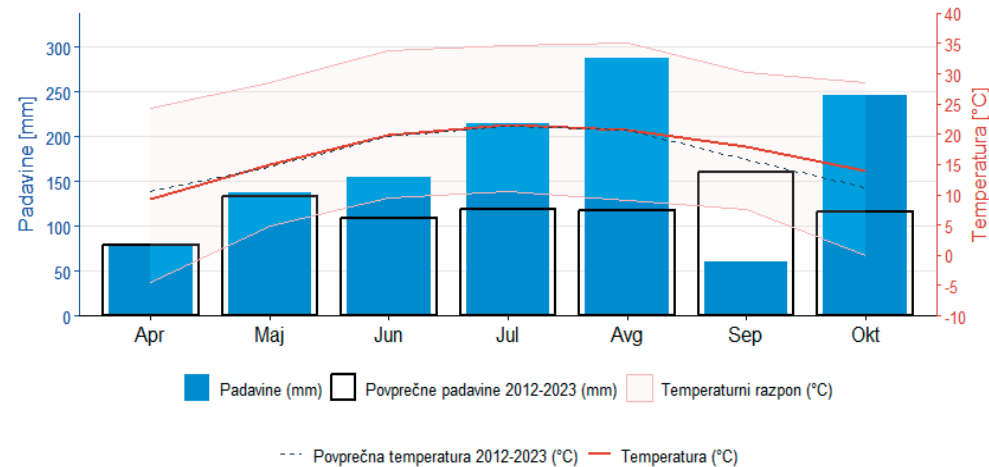
Dosevek, mešanica 60 % inkarnatke (*Trifolium incarnatum* L.), 25 % kuštrave grašice (*Vicia villosa* L.) in 15 % rži (*Secale cereale* L.) je bil po oranju in predsetveni obdelavi z vrtavkasto brano posejan 7. 10. 2022. Pred tem so bile na površini gojene zelenjadnice. Kemijska analiza pred začetkom izvajanja poskusa je pokazala, da so tla v globini 0–25 cm zmerno kisle reakcije (pH=5,4) in čezmerno založena z dostopnim fosforjem (34 mg P₂O₅ na 100 g tal) in kalijem (33 mg K₂O na 100 g tal), medtem ko delež organske snovi znaša 2,6 %. Povprečni pridelek mešanice prezimnega dosevka je bil vzorčen na petih naključnih mestih velikosti 0,5 m² in je v času izvajanja tehnoloških ukrepov za prekinitev njegove rasti znašal 5,2 t SS/ha.

V raziskavo je bilo vključenih pet različnih načinov prekinitev rasti prezimnega dosevka: konvencionalna metoda z mulčenjem, oranjem in predsetveno obdelavo (KON), uničenje z rezalnim valjem (RC) in kombinacija valjanja ter dodatne plitve obdelave s prekopalnikom, mulčenje, kombinacija mulčenja in plitve obdelave s prekopalnikom.

Preglednica 1: Metode in datumi izvedbe tehnoloških ukrepov do setve koruze.

Metoda prekinitve rasti dosevka	Oznaka	Setev dosevka	Valjanje in mulčenje dosevka	Oranje	Predsetvena obdelava	Plitva obdelava
Oranje + predsetvenik	KON	7. 10. 2022	5. 5. 2023	25. 5. 2023	29. 5. 2023	
Valjanje	RC	7. 10. 2022	5. 5. 2023			
Valjanje + freza	RCF	7. 10. 2022	5. 5. 2023			29. 5. 2023
Mulčenje	MD	7. 10. 2022	5. 5. 2023			
Mulčenje + freza	MDF	7. 10. 2022	5. 5. 2023			29. 5. 2023

Koruzo, sorte Aletto (FAO 270), je bila posejana 30. 5. 2023. Zaradi preprečevanje vpliva zapleveljenosti na pridelek in zagotovitve dodatne prekinitve rasti dosevka pri postopku RC je bil 10 dni po setvi, na vseh obravnavanjih apliciran herbicid (1400 g ha^{-1} S-metolaklor + 470 g ha^{-1} terbutilazin + 140 g ha^{-1} mezotrion + 45 g ha^{-1} foramsulfuron). Datumi opravi so zbrani v preglednici 1. Dognoevanje pa je bilo opravljeno 20. 6. 2023 z 220 kg ha^{-1} NPK 15:15:15 in 280 kg ha^{-1} KAN (27 %).



Slika 1: Vremenski podatki rastne sezone koruze v letu 2023 (UVHVVR)

Vremenske razmere v rastni sezoni koruze (slika 1) so bile, kljub precej vlažnim razmeram, večinoma ugodne. Nadpovprečne padavine v juniju in juliju niso povzročale prevelikih težav. V začetku avgusta smo bili priča izjemnim padavinam, ko je v enem dnevu padlo več kot 100 mm dežja. Koruza je bila poplavljen do višine 30 cm , voda pa se je po dveh do treh dneh umaknila in ni poškodovala rastlin. Nato sta sledila precej suha in nadpovprečno topla september ter prva polovica oktobra, ki sta omogočila žetev v dobrih pogojih (17. 10. 2023). Povprečna vlaga zrnja ob žetvi je znašala $25,8 \%$.

Pokrovnost rastlinskih ostankov oziroma zastirke je bila ocenjena vizualno s pomočjo kvadratnega okvirja, velikosti 33×33 cm. Višina rastlin korusze je bila izmerjena neposredno na terenu 30 dni po setvi, obenem so bili odvzeti vzorci za analizo suhe biomase rastlin, ki je bila določena po 72-ih urah sušenju vzorcev pri 60°C . Žetev je bila izvedena 17. 10. 2023 na srednjih dveh vrstah parcel velikosti, $2,8 \times 10$ m, s parcelnim kombajnom Wintersteiger Quantum, ki omogoča avtomatsko tehtanje pridelka in merjenje vsebnosti vlage v zrnju. Pridelki so preračunani na standardno 14 % vlago.

Statistično analizo smo izvedli v programskem okolju R verzija 4.2.0 (R Core Team, 2024). Za primerjavo razlik med obravnavanji smo uporabili analizo variance (ANOVA), čemur je sledil Tukeyev HSD test za mnogotere primerjave ($\alpha=0,05$). Dodatno smo izvedli parne primerjave s T-testi in analizo kontrastov za postopke dodatne plitve zadelave dosevka. Rezultate smo vizualizirali z uporabo paketa ggplot2 (Wicham, 2016).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

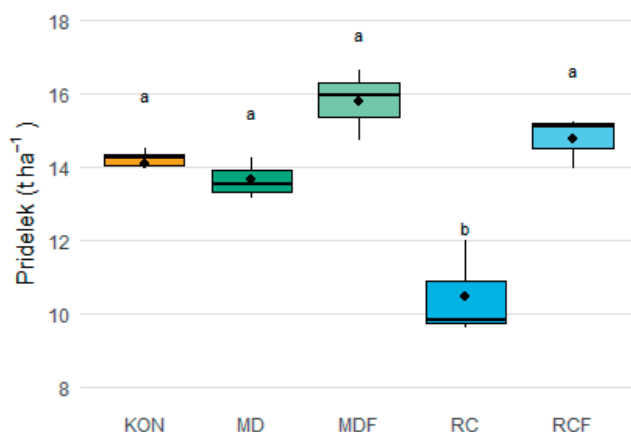
Različni postopki prekinitve rasti dosevkov pred setvijo korusze so vplivali na različne stopnje pokrovnosti z rastlinskimi ostanki. Teden dni po setvi je na oranih površinah (KONV) in na tistih, kjer smo ostanke zadelali s frezo (MDF in RCF), pokrovnost znašala manj kot 2 %. Na mulčenih površinah (MD) je bila povprečna pokrovnost 18 %, medtem ko je pri valjanju dosevka (RC) dosegla 80 %. Po 30 dneh so pokrovnosti na oranih površinah ter pri postopkih z zadelavo padle pod 1 %, medtem ko so na mulčenih površinah znašale 12 % in na valjanih 78 %. Ti podatki jasno kažejo, da se rastlinski ostanki pri valjanju razgrajujejo bistveno počasneje kot pri mulčenju, kar vpliva na obstojnost zastirke na površini tal (slika 2).



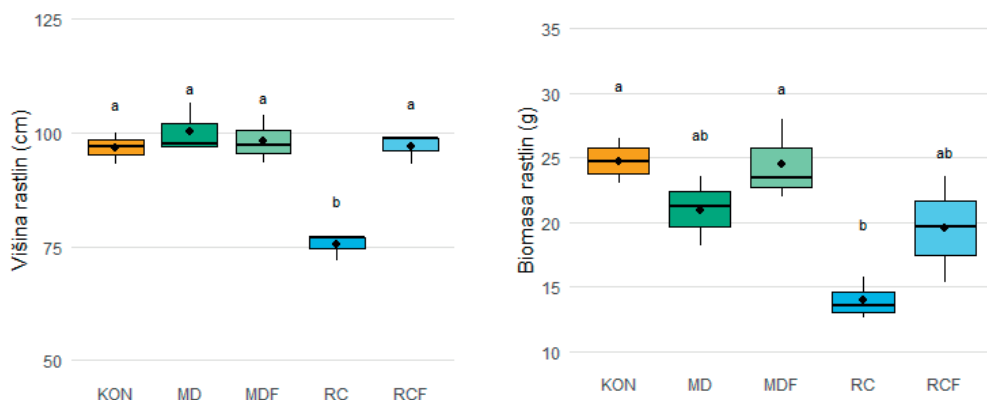
Slika 2: Razlika v pokrovnosti rastlinskih ostankov pri mulčenem dosevku (MD; levo) in valjanju z rezalnim valjem (RC; desno), 50 dni po setvi.

Povprečni pridelki v postopkih KON, MD, MDF in RCF so znašali $14,1 \text{ t ha}^{-1}$, $13,6 \text{ t ha}^{-1}$, $15,8 \text{ t ha}^{-1}$ in $14,8 \text{ t ha}^{-1}$, medtem ko je valjanje prezimnega dosevka z rezalnim valjem (RC) značilno vplivalo na pridelek suhega zrnja korusze ($10,5 \text{ t ha}^{-1}$; slika 3). Manjši pridelek v postopku RC lahko pripišemo počasnejši mineralizaciji rastlinskih ostankov, saj rastline, predvsem rž z visokim C/N razmerjem, po valjanju ostanejo nefragmentirane na površini. To upočasni njihovo razgradnjo in sproščanje hranil v primerjavi z bolj fino fragmentiranimi mulčenimi ostanki ali ostanki, zadelanimi z obdelavo tal (Hefner in sod., 2020). Počasna razgradnja valjanih rastlinskih ostankov lahko povzroči tudi imobilizacijo dušika iz tal (Finney in sod., 2016; Parr in sod., 2014) kar zmanjšuje dostopnost dušika za rastline korusze in posledično negativno vpliva na razvoj rastlin in pridelek. Nasprotno pa lahko prilagojeno

gnojenje z dušikom (250 kg N ha^{-1}) tudi ob pozni, vendar učinkoviti kemični prekinitvi rasti rži, zagotavlja ustrezno visoke pridelke koruze (Duiker in Curran, 2005).



Slika 3: Pridetek suhega zrnja koruze (t ha^{-1}) v različnih postopkih prekinitve rasti dosevka. (različne male črke med stolpci pomenijo statistično značilne razlike med povprečji pri mnogoterih primerjavah s Tukeyevim HSD testom pri stopnji tveganja $p \leq 0,05$)



Slika 4: Višina (levo) in masa (desno) rastlin koruze 30 dni po setvi v različnih postopkih prekinitve rasti dosevka (različne male črke med stolpci pomenijo statistično značilne razlike med povprečji pri mnogoterih primerjavah s Tukeyevim HSD testom pri stopnji tveganja $p \leq 0,05$).

Višina rastlin koruze, merjena od koreninskega vratu do konice vrhnjega lista, je bila statistično značilno odvisna od postopka prekinitve rasti ($p < 0,001$). Rastline pri RC so bile statistično značilno nižje (75,4 cm) v primerjavi z ostalimi postopki (96,9–100,3 cm), ki med seboj niso bile statistično različne (Slika 4 levo). Način prekinitve rasti je značilno vplival tudi na suho maso rastlin ($p < 0,01$). Najvišjo povprečno suho maso posamezne rastline koruze smo izmerili v postopkih KON (24,7 g) in MDF (24,4 g), medtem ko je bila masa najmanjša pri RC (13,9 g;

slika 4 desno). Ti rezultati potrjujejo, da počasnejša razgradnja rastlinskih ostankov pri RC vpliva na omejeno dostopnost dušika, kar negativno vpliva na rast in razvoj koruze.

Rž, posejana kot dosevek, predstavlja gostitelja patogenov iz rodov *Fusarium* in *Pythium*, ki lahko negativno vplivajo na kalitev semen in mladostni razvoj koruze. To se najbolj pokaže pri setvi neposredno po izvedbi tehnoloških ukrepov za prekinitve rasti rži (Bakker in sod., 2016), večja biomasa rži pa lahko povzroči težave pri vzniku koruze zaradi alelopatskih učinkov in kompeticije za vlago in hranila v tleh (Duiker in Curran, 2005). V našem poskusu tega nismo opazili, saj se sklop koruze med obravnavanji ni statistično razlikoval ($p = 0,2$), verjetno zaradi manjšega deleža in biomase rži v mešanici

Analiza kontrastov med postopki z dodatno zadelavo dosevka (RCF in MDF) in postopki, kjer je bila izvedena le osnovna prekinitve rasti dosevka z valjanjem ali mulčenjem (RC in MD), je pokazala značilen vpliv dodatne plitve obdelave na povečanje pridelka in sicer:

- pri postopkih z valjanjem se je pridelek v postopku RCF značilno povečal za 2,4–6,1 t ha⁻¹ ($p = 0,0001$) predvsem na račun majhnega pridelka v postopku RC,
- pri postopkih z mulčenjem je bilo povečanje v postopku MDF nekoliko manjše in sicer za 0,25–4,0 t ha⁻¹ ($p = 0,025$).

Primerjava med postopkoma MDF in RCF ni ugotovila statistično značilnih razlik ($p = 0,37$), kar kaže, da vrsta predhodne obdelave (mulčenje ali valjanje) pri dodatni zedelavi ni značilno vplivala na pridelek.

4 SKLEPI

Različni postopki prekinitve rasti dosevkov pomembno vplivajo na razgradnjo rastlinskih ostankov in pokrovnost tal z njimi.

Valjanje z rezalnim valjem (RC) je zagotovilo najvišjo pokrovnost, vendar počasna razgradnja ostankov z visokim C/N razmerjem ni omogočila zadostnega sproščanja hranil zaradi počasne mineralizacije, kar je negativno vplivalo na rast, razvoj in pridelek koruze.

Dodatna plitva zadelava ostankov s frezo po valjanju (RCF) in mulčenju dosevka (MDF) je značilno izboljšala razpoložljivost hranil in povečala pridelek, pri čemer je bil največji učinek pri valjanju z dodatno zadelavo (RCF).

Vrsta predhodne obdelave (mulčenje ali valjanje) ni imela značilnega vpliva na pridelek, kar predstavlja ključni vpliv dodatne obdelave na izboljšanje razgradnje rastlinskih ostankov in doseganje optimalnih pridelkov.

Rezultati raziskave nakazujejo, da je lahko dodatna plitva zadelava pomembna alternativa zedelavi neprezimnih dosevkov z oranjem pred setvijo koruze na težjih tleh.

5 LITERATURA

- Blanco-Canqui, H., Lal, R., 2010. Principles of Soil Conservation and Management. Springer Netherlands, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8709-7>
- Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., Hongwen, L., 2010. Current Status of Adoption of No-Till Farming in the World and some of its Main Benefits. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 3. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025>
- Duiker, S.W., Curran, W.S., 2005. Rye Cover Crop Management for Corn Production in the Northern Mid-Atlantic Region. Agronomy Journal 97, 1413–1418. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0317>
- Finney, D., White, C., Kaye, J., 2016. Biomass Production and Carbon/Nitrogen Ratio Influence Ecosystem Services from Cover Crop Mixtures. Agronomy Journal 108, 39–52. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0182>
- Gentsch, N., Riechers, F.L., Boy, J., Schweneker, D., Feuerstein, U., Heuermann, D., Guggenberger, G., 2024. Cover crops improve soil structure and change organic carbon distribution in macroaggregate fractions. SOIL 10, 139–150. <https://doi.org/10.5194/soil-10-139-2024>

- Goss, M.J., Howse, K.R., Harris, W., 1978. Effects of Cultivation on Soil Water Retention and Water Use by Cereals in Clay Soils. *Journal of Soil Science* 29, 475–488. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1978.tb00796.x>
- Hefner, M., Gebremikael, M.T., Canali, S., Sans Serra, F.X., Petersen, K.K., Sorensen, J.N., De Neve, S., Labouriau, R., Kristensen, H.L., 2020. Cover crop composition mediates the constraints and benefits of roller-crimping and incorporation in organic white cabbage production. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 296, 106908. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106908>
- Pagliai, M., Vignozzi, N., Pellegrini, S., 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research, Soil Physical Quality* 79, 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.07.002>
- Parr, M., Grossman, J.M., Reberg-Horton, S.C., Brinton, C., Crozier, C., 2014. Roller-Crimper Termination for Legume Cover Crops in North Carolina: Impacts on Nutrient Availability to a Succeeding Corn Crop. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45, 1106–1119. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.867061>
- Reddy, P.P., 2016. Crop Residue Management, in: *Sustainable Intensification of Crop Production*. Springer Singapore, Singapore, pp. 83–92. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2702-4_6
- Wickham H., 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>.

Vpliv nanostrukturiranega dušikovega gnojila nanourea na agronomске lastnosti navadne pšenice (*Triticum aestivum* L.)

Primož TITAN¹⁰⁴ in Manfred JAKOP¹⁰⁵

Izveleček

Navadna pšenica (*Triticum aestivum* L.) je z okrog 30.000 hektarjev med najpomembnejšim poljščinami v Sloveniji. Strna žita med njimi tudi navadna pšenica so velik porabnik mineralnih dušikovih gnojil, kot je kalcij amonijev nitrat, ki vsebuje 27 % dušika. V preteklosti so bila dušikova mineralna gnojila najpogostejše negativno obravnavana zaradi njihovega negativnega vpliva na okolje. Po letu 2022 pa se jih obravnava predvsem s stališča zmanjšanja odvisnosti slovenskega kmetijstva od uvoza mineralnih dušikovih gnojil z uvajanjem alternativnih metod prehrane rastlin. V raziskovalnem delu smo se osredotočili na problematiko, povezano z uporabo mineralnih dušikovih gnojil v pridelavi navadne pšenice. Raziskave s področja nanognojil ponujajo rešitve za težave, ki so povezane s proizvodnjo in uporabo navadnih (konvencionalnih) mineralnih dušikovih gnojil. Nano gnojila ponujajo številne prednosti pred »konvencionalnimi« gnojili, kot so večja absorpcija hranil s strani rastlin, odsotnost volatilizacije in podaljšano delovanje. Z opravljenim raziskovalnim delom lahko potrdimo smiselnost uporabe nanostrukturiranih dušikovih gnojil, kot je na primer nanourea v pridelavi navadne pšenice.

Ključne besede: dušik, agronomске lastnosti, nanourea, navadna pšenica, sorta

Impact of nanostructured nitrogen fertilizer nanourea on agronomical traits of common wheat (*Triticum aestivum* L.)

Abstract

Common wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the leading crops in the Republic of Slovenia, because it occupies approximately 30,000 hectares every year. It is known that cereals such as common wheat are a large consumer of mineral nitrogen fertilizers, such as calcium ammonium nitrate, which contains 27% nitrogen. In the past, nitrogen mineral fertilizers were most often discussed through their negative impact on the environment. After 2022, however, they are discussed mainly from the perspective of how to reduce the dependence of Slovenian agriculture on the import of mineral nitrogen fertilizers with alternative methods in plant nutrition. In the research work, we focused on the issues related to the use of mineral nitrogen fertilizers in the production of common wheat. The sciences about nano-fertilizers represents an important field that can offer solutions to problems related to the production and use of conventional mineral nitrogen fertilizers. Nano-fertilizers offer numerous advantages over conventional fertilizers, such as greater efficiency in nutrient absorption by plants, absence of volatilization, and prolonged action. The research work carried out can confirm the feasibility of using nano-structured nitrogen fertilizers such as nano-urea in the production of common wheat.

Key words: common wheat, agronomical traits, nanourea, nitrogen, variety

1 UVOD

Pridelava pšenice temelji na dušikovih mineralnih gnojilih, kot sta kalcijev amonijev nitrat (27 % in 34 % N) in sečnina (46 % N). Skupna poraba dušikovih mineralnih gnojil se je po vsem svetu s 112,5 milijona ton leta 2015 povečala na 118,2 milijona ton leta 2019 (Prakash in sod., 2022). Pričakuje se, da se bo svetovna poraba dušikovih mineralnih gnojil med letoma 2015 in 2050 podvojila (z 112 Mt leta 2015 na 236 Mt leta 2050) (Prakash in sod., 2022). Velik del ogljičnega odtisa, povezanega s pridelavo navadne pšenice, je neposredno povezan s

¹⁰⁴ Doc., dr., Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, e-pošta: primoz.titan1@um.si

¹⁰⁵ Mag., prav tam, e-pošta: manfred.jakop@um.si

proizvodnjo dušikovih mineralnih gnojil. Najpogostejša oblika mineralnega dušika, ki se uporablja pri pridelavi pšenice, je nitrat (NO_3^-). Ocenjuje se, da se 50–70 % uporabljenega mineralnega dušika (zlasti v obliki nitrata NO_3^-) izgubi iz območje rizosfere s kombinacijo izpiranja, površinskega odtoka, denitrifikacije, volatilizacije in porabe mikrobov (Xu in sod., 2019). Dodani mineralni dušik, ki ga rastoče rastline niso v celoti izkoristile, predstavlja finančno izgubo in negativno vpliva na kakovost zraka in podtalnice. Ta presežek dušika lahko prispeva k povečanemu nastajanju prizemnega ozona, večji količini toplogrednih plinov in tanjšanju zaščitne ozonske plasti visoko v zemeljskem ozračju. Poleg tega je uporaba mineralnih dušikovih gnojil povezana z emisijami amonijaka. Volatilizacija iz gnojil živalskega izvora in uporaba dušikovih mineralnih gnojil predstavlja 80–90 % skupnih emisij amonijaka na svetovni ravni. Emisije amonijaka so povezane z dvema glavnima vrstama okoljskih problemov: acidifikacijo in eutrofikacijo (OECD, 2024).

Znanost o nanognojilih predstavlja pomembno področje, ki lahko ponuja rešitve za težave, ki so povezane s proizvodnjo in uporabo običajnih (konvencionalnih) mineralnih gnojil. Nanognojila ponujajo številne prednosti pred konvencionalnimi gnojili, kot so: večja učinkovitost pri absorpciji hranil za rastline, odsotnost volatilizacije, podaljšano delovanje itd. (Bulović in sod., 2007; Shang in sod., 2019). Kot zanimiv proizvod raziskovalnega dela na znanstvenem področju nanotehnologij in nanognojil predstavlja nanostrukturirana urea ali nano urea. Nano urea je izdelek, ki temelji na nanotehnologiji in je sestavljen iz delcev urea-e v nanometerski velikosti. V osnovi gre za polisaharidni nosilec, velikosti 20–50 nm, ki je obdan z amino skupinami. Disperzni sistem bi naj pri tem dosegal ZETA potencial nad 30, kar pomeni, da gre za zmerno stabilen agregatni sistem.

V praksi se pričakuje, da bo imela uporaba nano urea-e kmetijstvu več koristi, vključno z zmanjšanjem uporabe standardnih dušikovih mineralnih gnojil, izboljšanjem produktivnosti, zmanjšanjem onesnaževanja okolja in znižanjem stroškov, ki so povezani z uporabo mineralnih dušikovih gnojil (Subramanian, 2015; Torney, 2007). Namen našega raziskovalnega dela je bil izvesti predhodno študijo, povezano s preučevanjem vpliva uporabe nano dušika na rast in razvoj navadne pšenice v slovenskih pridelovalnih razmerah.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Poljski poskus je bil izveden v Krogu pri Murski Soboti v rastni sezoni ozimne pšenice 2023/24 na lokaciji 46°37'49"N, 16°08'08"E in nadmorski višini 189 m. V teksturi tal prevladuje pesek, vsebnost organske snovi znaša 2,8 %. Kemijska analiza tal je bila opravljena v letu 2023 in je potrdila srednjo založenost s fosforjem in kalijem (17 mg P_2O_5 na 100 gramov tal, 20 mg K_2O na 100 gramov tal). Obdelava tal je bila konvencionalna, z jesenskim oranjem do globine 25 cm in predsetveno pripravo z uporabo vrtavkaste brane. Predposevek pšenici je bila koruza za zrnje. Poskus je bil posejan 15. 10., s setveno količino približno 400 kalivih semen na m^2 . Količina uporabljenega N za prvo in drugo dognojevanje je bila določena na osnovi rezultatov nitratnega testa. Prvo dognojevanje je bilo opravljeno z 250 kg ha^{-1} KAN (27 % N) in drugo z 200 kg ha^{-1} KAN (27 % N). Tretje dognojevanje z dušikom je bilo izvedeno v začetku klasenja in je bilo prilagojeno glede na izbrano sorto. Način tretjega dognojevanja z dušikom je opisan v nadaljevanju. Varstvo pšenice pred škodljivimi organizmi je bila opravljena v skladu s smernicami integriranega varstva rastlin. Plevela smo zatirali v jeseni takoj po vzniku pšenice s pripravkom Bizon v odmerku 1 L/ha. Za zatiranje glivičnih bolezni smo uporabili fungicid Ascra Xpro v odmerku 1,5 L/ha. Prvo aplikacijo smo izvedli v BBCH 35–37 in drugo v BBCH 60–65. Za zatiranje listnih uši in listnega strgača smo uporabili insekticid Decis 2,5 EC. Podatki o izmerjenih padavinah in temperaturah med rastno dobo so zbrani v preglednici 1.

Preglednica 1: Mesečne količine padavin (mm) in temperature zraka (°C) za Mursko Soboto

	Količina padavin [mm]		Povprečna temperatura zraka [°C]	
	2023/2024	Dolgoletno povprečje (1991–2021)	2023/2024	Dolgoletno povprečje (1991– 2021)
Oktober	54,5	71	14,3	9,4
November	82,3	70	5,8	3,9
December	75,2	48	1,9	0,0
Januar	59,4	31	0,3	-1,2
Februar	23,3	36	7,3	0,9
Marec	60,3	47	9,2	5,3
April	46,2	52	12,8	10,5
Maj	119,7	75	16,5	15,7
Junij	74,3	103	21,3	18,8
Julij	106,3	86	23,5	20,6

Faktorji v poskusu so bili način tretjega dognojevanja z dušikom (KAN 27% N, 12,5% raztopina UREA-e, 1 L/ha 4 % nanourea, 2 L/ha 4 % nanourea, 3 L/ha 4 % nanourea, 4 L/ha 4% nanourea) in sorta navadne pšenice (Izalco CS, Nexera 885, Obiwan, Nexera 86, Falado). Poskus je bil izveden v treh ponovitvah. Velikost posameznega obravnavanja je bila 8,45 m² (širina 1,3 m, dolžina 6,5 m). Izmerili smo naslednje agronomske lastnosti: absolutna masa, število zrn na klas, masa zrn na klas in pridelek zrnja na enoto površine (ha⁻¹). Podatki za absolutno maso, število zrn na klas in maso zrn na klas so bili določeni za vsako obravnavanje in ponovitev posebej na osnovi desetih naključno izbranih rastlin. Žetev poskusa je bila opravljena 11. 7. 2024. Podatke smo statistično obdelali s programom Statgraphics Centurion XVIII. Analizo variance smo naredili z uporabo več faktorske analize. Kjer je analiza pokazala statistično značilne razlike ($p \leq 0,05$), smo razlike med obravnavanji preverili s HSD testom mnogoterih primerjav ($\alpha = 0,05$).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

Izvedena raziskava potrjuje, da ima način tretjega dognojevanja z dušikom vpliv na agronomske lastnosti pšenice (preglednica 2).

Preglednica 2: p-vrednosti za obravnavane agronomske lastnosti navadne pšenice.

	Absolutna masa [g]	Število zrn na klas [n]	Masa zrn na klas [g]	Pridelek zrnja* [kg ha ⁻¹]
	p vrednost	p vrednost	p vrednost	p vrednost
Način tretjega dognojevanja z N	0,0003	0,0000	0,0070	0,0000
Sorta	0,0000	0,0012	0,0000	0,0000

* Pridelek zrnja pri 14 % vlagi

V obdobju po cvetenju (postfloralno obdobje) je bil tako evidentiran ugoden vpliv dodanega nanostrukturiranega dušika (krajše nanodušik) na vse štiri opazovane parametre (absolutna masa, število zrn na klas, masa zrn na klas, pridelek zrnja). Pri tem je potrebno poudariti, da so bile pri najvišjih odmerkih dodanega nanostrukturiranega gnojila nano urea s 4% vsebnostjo

dušika dosežene statistično značilno najvišje vrednosti opazovanih parametrov. Značilne razlike je možno opaziti predvsem pri masa zrnja na klas in hektarskem pridelku. V obeh primerih je prišlo ob dodatku najvišjega odmerka 4% nano uree vsaj do 40 % višjih vrednosti v primerjavi s kontrolnim obravnavanjem brez tretjega. Pri tem je potrebno izpostaviti tudi močno linearno povezavo med opazovanima parametroma masa zrn na klas in pridelek zrnja na enoto površine. Na osnovi zbranih podatkov ne moremo izračunati agronomске učinkovitosti dodanih dušikovih gnojil, ker manjkajo podatki o dveh pomembnih bioloških komponentah, odsotni so pa tudi podatki o stanju klorofila in dušika v rastlini.

Statistična analiza podatkov potrjuje tudi razlike med sortami pri vseh štirih obravnavanih parametrih. Statistično značilno najvišji pridelek zrnja sta dosegli sorti Obiwan in Nexera 86. Kljub temu, da gre za predhodno študijo, ki upošteva samo eno rastno sezono za navadno pšenico in eno lokacijo lahko potrdimo smiselnost uporabe nanodušika v kmetijski praksi. Na tem mestu lahko izpostavimo tudi, da bodo prihodnje študije temeljile na spremljanju vpliva nanodušika na kvalitativne lastnosti (npr. spremembe v aminokislinski sestavi pšeničnih beljakovin), stanje dušika in klorofila v rastlini, spremembe v genski ekspresiji, ki so posledica uporabe nanostrukturiranih gnojil in iskanju interakcij med različnimi omikami.

Preglednica 3: *Učinek različnih načinov dognojevanja z N na agronomске lastnosti pšenice*

Način tretjega dognojevanja z dušikom	Absolutna masa [g]	Število zrn na klas [n]	Masa zrn na klas [g]	Pridelek zrnja* [kg ha ⁻¹]
Kontrola	40,341 ^{bc}	46,345 ^d	0,978 ^e	5.807 ^e
KAN (150 kg/ha)	44,112 ^b	48,089 ^{cd}	1,207 ^d	7.546 ^{bc}
UREA (12,5 % raztopina)	44,234 ^b	50,130 ^c	1,239 ^c	7.487 ^c
1 L/ha 4 % nanouree	44,109 ^b	52,223 ^{bc}	1,255 ^{bc}	7.455 ^{cd}
2 L/ha 4 % nanouree	44,678 ^{ab}	53,013 ^b	1,450 ^b	7.689 ^b
3 L/ha 4 % nanouree	46,321 ^{ab}	53,217 ^b	1,488 ^b	8.070 ^a
4 L/ha 4 % nanouree	46,555 ^a	54,015 ^a	1,501 ^a	8.256 ^a

* Pridelek zrnja pri 14 % vlagi

Preglednica 4: *Učinek sorte na agronomске lastnosti navadne pšenice*

Sorta	Absolutna masa [g]	Število zrn na klas [n]	Masa zrn na klas [g]	Pridelek zrnja* [kg ha ⁻¹]
Izalco CS	41,342 ^c	53,450 ^c	1,312 ^b	7.545 ^c
Nexera 885	45,567 ^a	54,109 ^b	1,309 ^b	7.680 ^b
Obiwan	44,817 ^{ab}	51,090 ^d	1,209 ^c	8.070 ^a
Nexera 86	43,103 ^{bc}	58,012 ^{ab}	1,412 ^a	7.912 ^a
Falado	45,119 ^{ab}	59,891 ^a	1,398 ^{ab}	7.657 ^b

4 SKLEPI

Raziskovalno delo, ki smo ga opravili, je pokazalo, da uporaba nanostrukturiranih dušikovih gnojil izraža podobno agronomsko učinkovitost kot konvencionalna dušikova gnojila. Pri izvedenem delu gre za predhodno študijo, ki se nanaša na preučevanje učinkovitosti delovanja nano uree na rast in razvoj navadne pšenice (*Triticum aestivum* L.). Študija je obsegala le del rastne dobe, ki se nanaša na obdobje po cvetenju oziroma oplodnji navadne pšenice. Dušik igra zelo pomembno vlogo skozi celotno rastno sezono pšenice, zato bi lahko sklenili, da je potrebno pri preučevanju tako inovativnih tehnologij, kot so nanotehnologije v kmetijski praksi, pridobiti še vpogled v njihov vpliv na biokemično stanje rastline in preveriti sinergizme in antagonizme z ostalimi mikro in makrohranili, ki so ključnega pomena v rasti te gospodarsko pomembne

poljščine. Le na ta način bo možno najti odgovore v zvezi z vključevanjem tovrstnih rešitev v širšo kmetijsko prakso na lokalni in regionalni ravni.

5 LITERATURA

- Bulović, V., Mandell, A., Perlman, A., 2007. Molecular Memory Device. US7157750B2 Trends and Drivers of Agri-environmental Performance in OECD Countries.
- Prakash, O.R., Kinjal, M., Mehak, S., Mohini Prabha, S., Jasneet, S., Archana, K., Bhallan Singh, S., 2022. Nitrogen Use Efficiency in Wheat: Genome to Field. IntechOpen eBooks 11, Book Chapter. [https:// doi:10.5772/intechopen.103126](https://doi.org/10.5772/intechopen.103126)
- Shang, Y., Hasan, Md. K., Ahammed, G. J., Li, M., Yin, H., Zhou, J., 2019. Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: a review. *Molecules* 24: 2558–2563. <https://doi.org/10.3390/molecules24142558>
- Subramanian, K.S., Manikandan, A., Thirunavukkarasu, M., Rahale, C.S. 2015. Nanofertilizers for balanced crop nutrition. *Nanotechnol. Food Agric*: 69–80. [https:// doi:10.1007/978-3-319-14024-7_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-14024-7_3)
- Xu, R., Tian, H., Pan, S., A. Prior, S., Feng, Y., D. Batchelor, W., Chen, J., Yang, J. 2019. Global ammonia emissions from synthetic nitrogen fertilizer applications in agricultural systems: Empirical and process- based estimates and uncertainty. *Global change biolog* 25(1): 314–326. [https:// doi: 10.1111/gcb.14499](https://doi.org/10.1111/gcb.14499)
- Torney, F., Trewyn, B.G., Lin, V. S.-Y., Wang, K. 2007. Mesoporous silica nanoparticles deliver DNA and chemicals into plants. *Nat. Nanotechnol*, 2: 295–300. [https:// doi: 10.1038/nnano.2007.108](https://doi.org/10.1038/nnano.2007.108)

Biostimulanti v tehnologiji pridelave solate: pilotni poljski poskus

Kris PIRIH¹⁰⁶, Kaja TOMASINO ROZMAN¹⁰⁷, Rozalija CVEJČIĆ¹⁰⁸ in Ana SLATNAR¹⁰⁹

Izvleček

Tehnologije pridelave kmetijskih rastlin se nenehno izboljšujejo in izpopolnjujejo. Obstoječe tehnologije lahko nadgradimo s ciljno uporabo biostimulantov. V raziskavi smo preučevali vpliv biostimulantov na osnovi huminskih kislin in aminokislin na pridelavo solate pri različnih režimih namakanja in terminih sajenja tekom sezone. Poskus je bil izveden na kmetiji v Križah. Primerjali smo učinkovitost nadgradnje tehnologije pridelave solate sorte 'Champollion' z vključitvijo biostimulantov v primerjavi z obstoječo. Za oceno uspešnosti pridelave smo vrednotili tržno maso rozet, vsebnost vode, maso odstranjenih listov in SPAD (vsebnost klorofila vrednost). Biostimulanti so pozitivno vplivali na pridelavo solate, vendar se je njihov učinek razlikoval glede na rastne razmere (temperatura tal in zraka, vsebnost vode v tleh in višina padavin), ki so jim bile rastline izpostavljene med tremi preučevanimi termini pridelave. Aminokisliline so v vseh terminih povečale pridelke, ne glede na režim namakanja. Vpliv huminskih kislin na pridelek je bil bolj odvisen od tehnologije pridelave kot tudi od okoljskih dejavnikov. V določenih razmerah so povečale tržno maso solate, v drugih pa niso imele pomembnega vpliva.

Ključne besede: biostimulanti, solata, tehnologija pridelave, aminokisliline, huminske kisline, pridelek

Biostimulants in lettuce growing technology: a pilot field experiment

Abstract

Crop production technologies are continually advancing. Existing methods can be enhanced through the targeted use of biostimulants. In this study, we examined the effects of biostimulants based on humic acids and amino acids on lettuce production under different irrigation regimes and seasonal timings. The experiment was conducted on a farm in Križe, where biostimulants were applied alongside existing agricultural practices. To assess the success of their use, the marketable weight of rosettes, water content, weight of removed leaves and SPAD value were evaluated. The results showed that biostimulants have a positive effect on lettuce production, but their effect varies according to the growing conditions. Amino acids proved to be more consistent, increasing yields in all terms, irrespective of the irrigation regime. Humic acids had a more complex effect, as their impact on yield was more dependent on technology as well as on environmental factors. Under certain conditions they improved nutrient utilisation and increased the market weight of lettuce, while under others they had no significant effect.

Key words: biostimulants, lettuce, growing technology, amino acids, humic acids, yield

1 UVOD

Biostimulanti so snovi ali mikroorganizmi, ki jih naneseemo z namenom izboljšanja učinkovitosti izrabe hranil, tolerance na stres in izboljšanja količine in kakovosti pridelka brez gnojilnega učinka pri rastlinah (du Jardin, 2015). Čeprav so biostimulanti že dlje časa na tržišču, se je zanimanje zanje zaradi vse večjih vremenskih nevšečnosti v zadnjem času povečalo tako s strani raziskovalcev kot pridelovalcev. Njihov način delovanja se razlikuje glede na kategorijo biostimulanta. Huminske in fulvo kisline so ekstrakti organske snovi. V tleh povečajo kationsko izmenjevalno kapaciteto ter dostopnost hranil in vode ter ustvarjajo bolj ugodno okolje za mikroorganizme (Canellas in sod., 2015). Biostimulanti na osnovi aminokislin vsebujejo proste

¹⁰⁶ Mag. inž. hort., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, e-pošta: kris.pirih@bf.uni-lj.si

¹⁰⁷ Študentka Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, e-pošta: kajatomasino123@gmail.com

¹⁰⁸ Doc. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, e-pošta: rozalija.cvejic@bf.uni-lj.si

¹⁰⁹ Prof. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, e-pošta: ana.slatnar@bf.uni-lj.si

aminokisline in peptide, ključne gradnike beljakovin, ki imajo pomembno vlogo pri rasti in razvoju rastlin. Aminokisline v biostimulantih delujejo kot pospeševalci rastlinskih presnovnih procesov (Sun in sod., 2024). Tako naj bi različni biostimulanti, vsak na svoj način, izboljšali rast rastline in toleranco na stresne razmere, kar je zaželeno v rastlinski pridelavi, kjer optimizacija rasti in kakovosti pomembno vplivata na učinkovitost pridelave (Sarov in Boevsky, 2021).

Kljub vse večjemu številu raziskav, ki dokazujejo koristne učinke biostimulantov, pa njihov način delovanja ostaja le delno razumljen in še vedno obstaja nekaj negotovosti glede njihove zanesljivosti v poljskih razmerah. Številne študije poročajo o pozitivnih rezultatih, vendar se ti lahko zelo razlikujejo glede na rastlinsko vrsto, okoljske razmere in uporabljene formulacije biostimulantov (Franzoni in sod., 2022). Posledično ostajajo pridelovalci zelenjave razdvojeni glede tega, ali biostimulanti predstavljajo alternativno orodje za izboljšanje rastlinske pridelave ali so le nepotreben vložek v sicer dobro optimiziranih tehnologijah pridelave.

Pri solati je pomemben tehnološki ukrep namakanje. Visoka občutljivost na pomanjkanje vode je pri pridelavi solate takoj po presajanju in v fazi do 5 lista (do BBCH 5). Do formiranja zgodnje rozete je manj občutljivo obdobje od prejšnjega, vendar kultura zahteva stalno in visoko vsebnost vode v tleh (VVV). Še malce manj občutljivo je obdobje BBCH 20–BBCH 43, ko solata doseže 150–180 g rozete, vendar je stalno zagotavljanje vode tu nujno. Nato solata preide v zelo občutljivo fazo, enako kot po presajanju, ki traja do doseganja prodajne velikosti (270–350 g rozete) oz. do BBCH 45. Po tem obdobju (do faze BBCH 49) je potrebna skrb za sprotno dodajanje vode in predvsem pred pobiranjem izvajanje namakanja za doseganje dobrega turgorja rastline. V obdobju se spreminja globina glavne mase korenin, ki je do BBCH 43–10 cm, po tem obdobju pa 15 cm. Na rast ima velik vpliv tudi temperatura zraka in temperatura tal v območju korenin (Yamori in sod., 2022).

V letu 2023 se je v Sloveniji na 4.265 ha pridelalo 74.771 t zelenjave, od česar predstavlja solata 8.349 t, pridelanih na 587 ha (SURS, 2024). Svetovno se je skupaj s cikorijo pridelalo 27 milijonov t solate (FAO, 2022), kar nakazuje na njeno pomembnost in potrebo po optimizaciji tehnologije pridelave. Cilj našega poskusa je bil ovrednotiti vpliv biostimulantov na osnovi huminskih kislin in aminokislin v pridelavi solate, skozi rastno sezono pod različnimi režimi namakanja v poljskih razmerah.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Poskus je bil izveden v Križah (koordinate: N 46.337631, E 14.295149) v sezoni 2024. Na polje je bila solata sorte 'Champollion' posajena v treh različnih terminih. Prvi termin (1T) je trajal od 13. 5. do 26. 6. 2024, drugi (2T) od 21. 6. do 6. 8. 2024 in tretji (3T) od 5. 8. do 16. 9. 2024. Osnovne parcele so bile v velikosti okoli 4 m².

V začetku poskusa so bile analizirane vodozadrževalne lastnosti tal. Za opredelitev poljske kapacitete tal za vodo smo uporabili metodo evaporacije (Hyprop, METER Group Inc.: Pullman, WA, USA). Točka venenja je bila določena z Richardovo tlačno posodo. Preko izračuna parametrov namakanja smo določili, dovoljeno znižanje vode v tleh (DZV). Po presoji pridelovalca se je izvajalo namakanje polovice površine, posajene s solato, z mikrorazpršilci. Na mikrolokaciji so bili spremljani VVV in temperatura tal na 10 cm in 20 cm globine na namakani in nenamakani površini (SM150-T, Delta-T), temperatura zraka na 2 m in padavine. Med rastjo solate je bilo poskrbljeno za varstvo pred boleznimi in škodljivci ter za prehrano rastlin z gnojenjem pred sajenjem s HAIFA TURBO K (16-9-16 + ME) 300 kg/ha in dognojevanjem s KAN 350 kg/ha v BBCH 19 fazi v vseh terminih.

Poleg obstoječe tehnologije pridelave solate s tremi termini in dvema režimoma namakanja (namakano do 80 % PK in nenamakano) je bil ob sajenju na polovici namakane in nenamakane

površine s solato dodan pripravek HUMISTAR 10 ml/l na osnovi huminskih kislin (H) ter ob varstvu še DELFAN PLUS 0,6 l/ha na osnovi aminokislin (AK). Slednji je bil apliciran v prvem (27. 5., 10. 6. in 21. 6), drugem (30. 6. in 27. 7.) in tretjem terminu (23. 8. in 28. 8). Skupaj smo imeli tako štiri napovedne dejavnike, kar predstavlja 24 obravnavanj.

Zaradi zahtevne izvedbe poskusa v kombinaciji z vpeljano tehnologijo manjkajo znotraj prvega termina štiri obravnavanja (namakano brez biostimulantov, nenamakano brez biostimulantov, nenamakano + huminske kisline in namakano + huminske kisline) in dve obravnavanji znotraj drugega termina (nenamakano + huminske kisline in namakano + huminske kisline). V tretjem terminu smo ovrednotili vseh 8 obravnavanj.

Poskusna enota je bila rozeta solate. Iz vsakega obravnavanja je bilo ob spravilu naključno odbranih 12 rozet, katerim smo ovrednotili celotno maso rozete, maso odstranjenih listov in tržno maso rozete, določili vsebnost suhe snovi, in pomerili SPAD (SPAD meter – 502 (Konica Minolta, Osaka, Japonska)), ki daje podatek o količini klorofila in tako posredno nakazuje na stanje in prehranjenost rastline.

Podatke smo obdelali v statističnem okolju R studio (R Core Team, 2023) z linearnim modelom, s katerim smo preverjali značilnost termina, namakanja, huminskih kislin in aminokislin ter njihovih interakcij. Ker nas je zanimal predvsem učinek biostimulantov, smo naredili načrtovane primerjave med obravnavanji z uporabo paketa *emmeans* ter *ggplot2* za izris grafikonov.

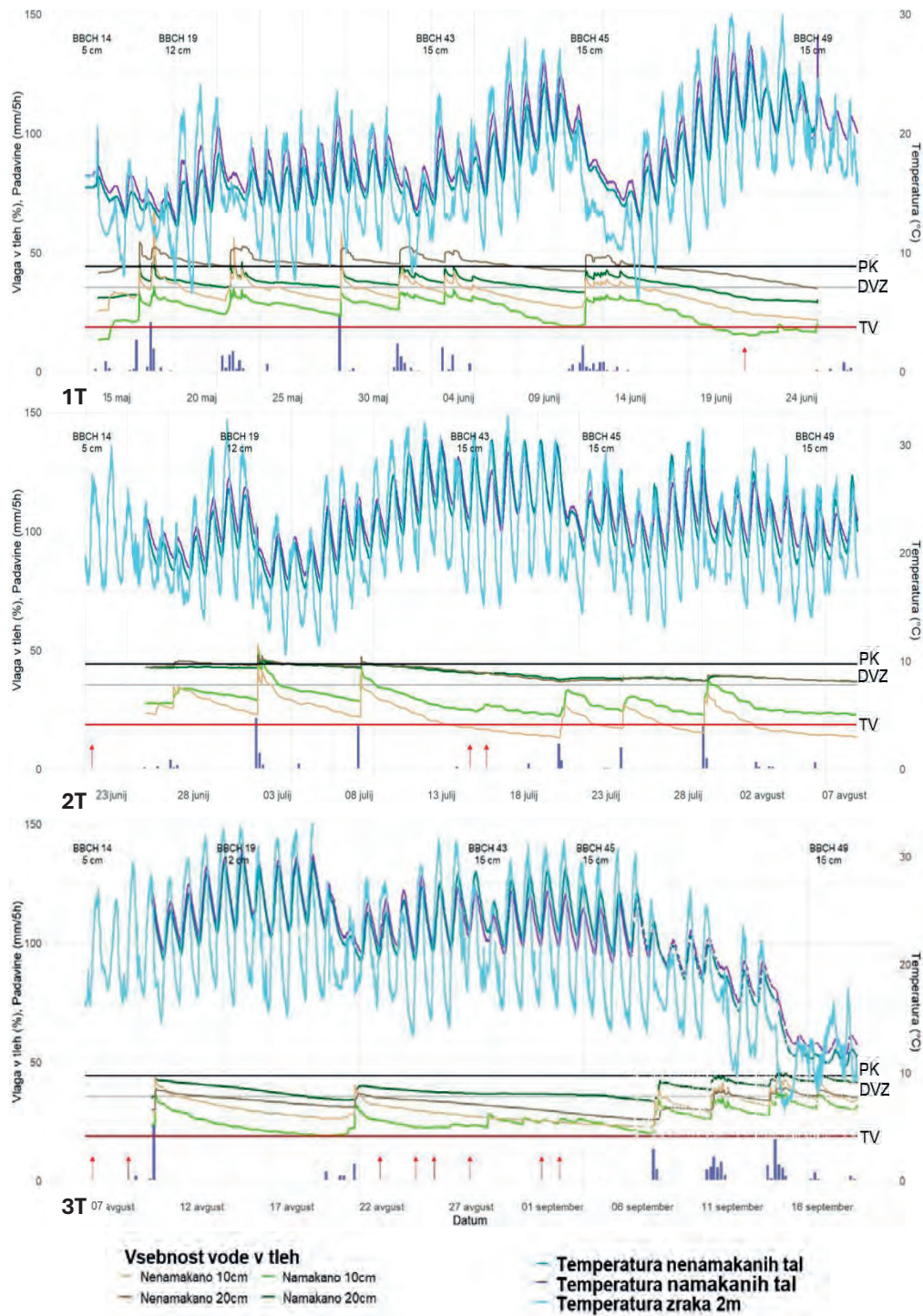
3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Rastne razmere

V 1T je padlo 205 mm padavin, v 2T 115 mm in v 3T 143 mm. Pridelovalec je namakanje v 1T izvedel enkrat, v 2T trikrat in v 3T osemkrat. Cilj namakanja je bil zagotavljati VVV v območju DZV (vsaj 80 % PK).

V obdobju visoke občutljivosti (v BBCH 14) je bila v globini glavne mase korenin (G_{GMK}) VVV na namakanih parcelah pod DZV v vseh treh terminih, kar nakazuje na pomanjkanje vode. Na nenamakanih parcelah je bila v istem razvojnem obdobju VVV v G_{GMK} večinoma nad DZV v 1T, v preostalih dveh pa pod DZV, kar nakazuje na pomanjkanje vode v T2 in T3. V obdobju srednje občutljivosti (BBCH 19–43) je bila VVV v G_{GMK} na namakanih parcelah v 1T in 3T v bližini DZV, medtem ko je bila v 2T rahlo višja, z dvema vrhoma do PK. Na nenamakanih parcelah je bila VVV v G_{GMK} v 1T v bližini DZV, v 2T večinoma pod DZV z velikimi nihanjem proti PK in TV, v 3T pa pretežno v bližini DZV (slika 1).

V obdobju srednje občutljivosti (BBCH 43–BBCH 45) je bila VVV v G_{GMK} na namakanih parcelah v bližini DZV v vseh treh terminih. Na nenamakanih parcelah je bila vseskozi nad PK ali v bližini DZV v 1T in 2T, medtem ko je bila v 3T pod DZV. V obdobju visoke občutljivosti (BBCH 45–49) je bila v VVV v G_{GMK} na namakanih parcelah v bližini DZV v vseh treh terminih, na nenamakanih parcelah je bila v 1T in 2T na DZV, medtem ko je bila v 3T pod DZV. Nižja količina VVV v 3T v zgodnjih, občutljivih razvojnih fazah rastline, delno obrazloži bistveno manjšo povprečno tržno maso rozete, v primerjavi z 2T, ne glede na dodatek biostimulantov. V 1T je bila povprečna temperatura zraka $16,5 \pm 4,7$ °C, v 2T $21,3 \pm 4,5$ °C in v 3T $22,7 \pm 4,8$ °C. Na nižjo povprečno maso rozete v 1T so najverjetneje vplivale nižje temperature zraka.



Naslov slike na naslednji strani.

Slika 1: Potek temperature (°C) zraka na 2 m višine (modra krivulja), namakanih tal (vijolična krivulja) in nenamakanih tal (temno turkizna krivulja), višine padavin (mm/5h) ter vsebnosti vode v nenamakanih in namakanih tleh na 10 cm (svetlo rjava in svetlo zelena krivulja) in 20 cm (temno rjava in temno zelena krivulja) s prikazom (vol. %) vsebnosti vode v tleh pri poljski kapaciteti (PK, črna črta), točki dovoljenega znižanja vode v tleh (DZV, siva črta) in točki venenja (TV, rdeča črta) za vsak termin pridelave posebej (1T, 2T, 3T). Na sliki posameznega termina so označene BBCH razvojne faze in globina glavne mase korenin solate ter termini namakanja z rdečimi puščicami.

3.2 Pridelek

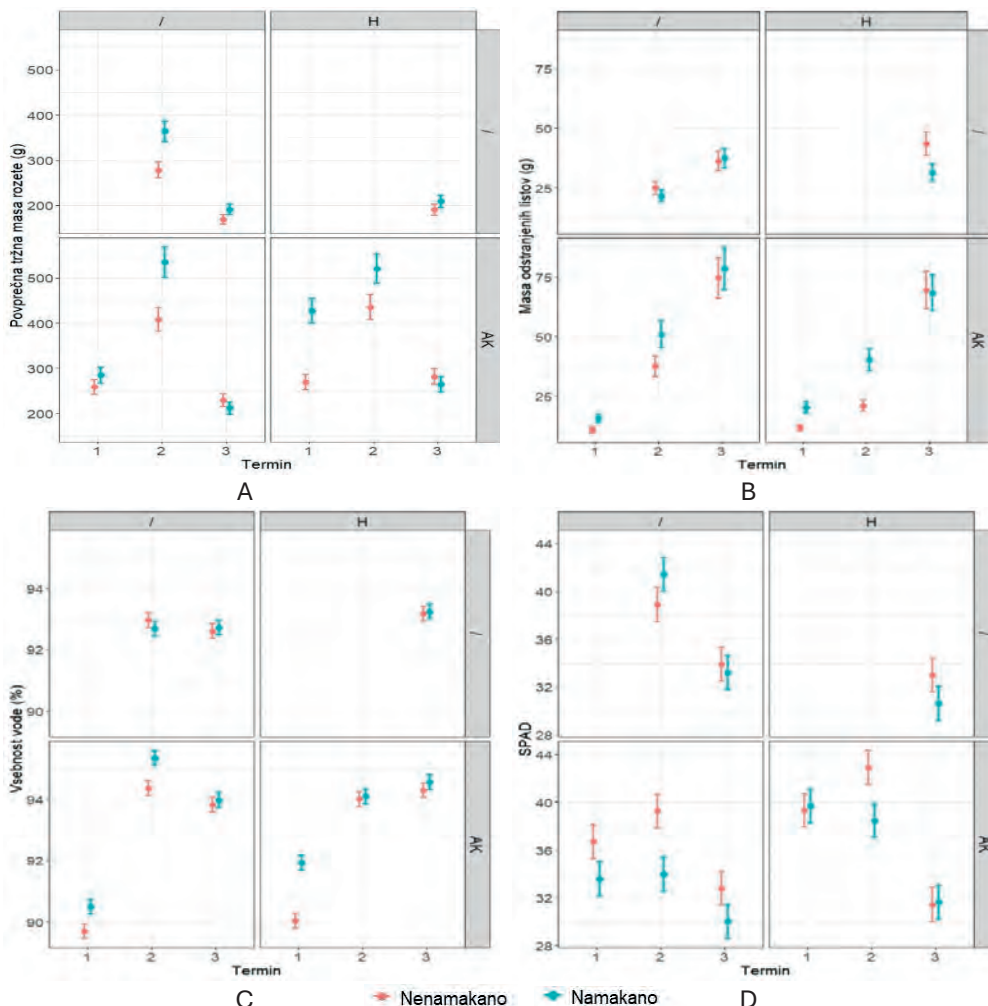
Termin pridelave in režim namakanja sta značilno vplivala na vse preučevane odzivne spremenljivke ($p < 0,05$). Na povprečno maso solate sta značilno vplivala dodana biostimulanta (slika 2 A). AK so na maso solate pri različnih režimih namakanja vplivale podobno. Pri namakani solati so te povečale povprečno maso za 44 % (pripadajoči 95 % IZ je 32 %, 58 %), pri nenamakanih pa so maso povečale za 47 % (pripadajoči 95 % IZ je 35 %, 60 %). Dodatek AK je v vsakem primeru vplival na povečanje mase, vendar je bil njihov učinek nekoliko bolj izrazit tam, kjer je vsebnost vode v tleh bolj nihala. To potrjuje pozitiven učinek AK na pridelek solate, kar sovpada z rezultati drugih raziskav (Malécange in sod., 2022).

Na povprečno maso solate je značilno vplival tudi dodatek H. Njihov vpliv na maso solate je bil odvisen od termina pridelave in režima namakanja. V prvem terminu je dodatek H povprečno maso namakane solate povečal za 50 % (pripadajoči 95 % IZ je 26, 79 %), medtem ko pri nenamakanih tleh ni imel značilnega vpliva na maso ($p > 0,05$). V drugem terminu je dodatek H povečal pridelek tako pri namakani kot tudi nenamakani solati za 18 % (95 % IZ je 14 %, 38 %) in 29 % (95 % IZ je 11 %, 51 %). Podoben učinek je imel dodatek H tudi v zadnjem terminu, kjer je pri namakani solati povečal povprečno maso za 17 % (95 % IZ je 3 %, 32 %) in 18 % (95 % IZ je 4 %, 33 %) pri nenamakani. Vpliv dodatka H na povprečno maso solate je bil v primerjavi z AK nekoliko bolj pogojen z razmerami v okolju. Tako kot AK je v drugem in tretjem terminu bolj pozitivno vplival na nenamakane rastline, medtem ko v prvem terminu nanje ni imel vpliva. Prvi termin je bil v primerjavi z ostalimi hladnejši (slika 1). Na pridelek je najbolj vplival zadnji teden, ko se je temperatura povzpela tudi do 30 °C, padavin pa je bilo manj, kar je bilo za neaklimatizirane rastline solate neugodno. Dodatek H v tem primeru ob nižji vsebnosti vode v tleh ni imel vpliva, medtem ko je pri namakanih rastlinah ustvaril bolj ugodno okolje in potencialno izboljšal odvzem hranil iz tal (Lüdtke in sod., 2021).

3.3 Masa odstranjenih listov

Rezultati kažejo, da AK na maso odstranjenih listov vplivajo drugače pri namakani kot pri nenamakani solati (slika 2 B). Pri namakanih rastlinah je dodatek AK povečal maso odstranjenih listov za 32 % (95 % IZ je 13 %, 55 %) in za 17 % (95 % IZ je 3 %, 29 %) pri nenamakanih.

Tudi dodatek H je na maso odstranjenih listov vplival drugače pri različnih terminih in režimih namakanja. V prvem in tretjem terminu dodatek H ni vplival na maso odstranjenih listov ne glede na ravni namakanja. Prav tako H niso imele vpliva pri namakanih rastlinah v drugem terminu, vendar so pri nenamakanih značilno zmanjšale maso odstranjenih listov za 32 % (95 % IZ je 10 %, 48 %). Biostimulanti so s povečanjem mase rozet povečali tudi maso odstranjenih listov, kar na koncu ni vplivalo na zmanjšanje tržne mase.



Slika 2: Povprečna tržna masa rozete (g) (A), povprečna masa odstranjenih listov (g) (B), povprečna vsebnost vode v rastlini (%) (C) in povprečne SPAD vrednosti (D) s standardno napako ob dodatku huminskih kislin (H) in brez njih (I) ter aminokislin (AK) in brez njih (I) glede na rastni termin (1, 2 in 3) ter režim namakanja (rdeče za nenamakano, modro za namakano).

3.4 Vsebnost vode v rastlini

AK so imele na vsebnost vode v rastlini različen vpliv v različnih terminih (slika 2 C). V drugem terminu je dodatek AK povečal vsebnost vode za 1,6 % (95 % IZ je 1,2 %, 2 %) in v tretjem za 1,2 % (95 % IZ je 0,9 %, 1,6 %).

Vpliv H na vsebnost vode v solati je bil, tako kot pri masi, odvisen tudi od termina in namakanja. V prvem terminu so imele namakane rastline za 1,4 % višjo vsebnost vode (95 % IZ je 0,8 %, 2,1 %), medtem ko dodatek H ni imel vpliva na vsebnost vode pri nenamakanih rastlinah. V drugem terminu H niso vplivale na vsebnost vode v rastlini tako pri namakani kot tudi pri nenamakani solati. V tretjem terminu je dodatek H vplival na povečanje vsebnosti vode za 0,6 %

(95 % IZ je 0,1 %, 1 %) pri namakanih in za 0,5 % (95 % IZ je 0,1 %, 1 %) pri nenamakanih rastlinah. Po poročanjih H izboljšajo razmere v tleh in naredijo rastlini vodo bolj dostopno (Canellas in sod., 2015). To nekoliko pojasni prvi termin, saj je bila potreba po namakanju nekaj dni pred pobiranjem. V drugem terminu je bilo namakanje potrebno na začetku in sredi rasti, kar je zmanjšalo vpliv H ob spravilu (slika 1). V tretjem terminu se ponovno pokaže razlika med solatami, saj je bilo med rastjo manj padavin in je boljša dostopnost vode vplivala na vsebnost vode v solati ob pobiranju. Pri obeh biostimulantih pomeni povečana vsebnost vode v rastlinah tudi večjo tržno maso. Kljub obilnim padavinam v 1T, je bila vsebnost vode v listih manjša zaradi razmer v zadnjem tednu. Opaziti je, da je bila vsebnost vode v rastlinah višja v 2T in 3T. Na te rastne razmere so se rastline aklimatizirale, zato so ob koncu obeh terminov izkoristile vodo v tleh zaradi padavin tik pred pobiranjem.

3.5 SPAD

Med termini rasti solate je dodatek H vplival različno na SPAD vrednost (slika 2 D). V prvem terminu je SPAD vrednost značilno povečal za 4,3 enote (95 % IZ je 1,5, 7,2). V drugem terminu je ta na SPAD vplival mejno značilno ($p=0,0639$), medtem ko v tretjem terminu ni imel značilnega vpliva. Tudi v drugih študijah H niso vplivale na SPAD vrednost (Clément in sod., 2023). Vseeno pa se je v našem primeru pokazal pozitiven vpliv H v prvem terminu. Aplikacija AK na SPAD je vplivala drugače pri različnih terminih in režimih namakanja. V drugem terminu so AK zmanjšale SPAD vrednost za 5 enot (95 % IZ je 2, 9) pri namakanih rastlinah, medtem ko na nenamakane niso značilno vplivale. Na SPAD niso imele značilnega vpliva v tretjem terminu ne glede na režim namakanja. Aplikacija AK lahko v rastlini povzroči povratno zanko. Z nenadnim povečanjem prostih AK v rastlini se ustvari signal, ki vpliva na mehanizme odzema dušika iz tal (Miller in sod., 2008). Drugi termin nakazuje, da aplikacija AK zmanjša SPAD, prek česar lahko posredno razmišljamo o zmanjšanju dušika v listih (Yang in sod., 2014; Guo in sod., 2022).

4 SKLEPI

Biostimulanti naj bi pozitivno vplivali na pridelek solate. Pri tem so se v našem poskusu s solato sorte 'Champollion' kot bolj konsistentne izkazale AK, ki so delovale pozitivno na pridelek, ne glede na termin pridelave in se kot pozitivna izboljšava tehnologije obetajo tako na namakanih kot tudi nenamakanih površinah. Povišana tržna masa solate pri uporabi AK je bila povezana tudi z višjo vsebnostjo vode v rastlini. Kljub vplivu na povečanje mase odstranjenih listov, je bila končna masa rozete v našem poskusu še vedno za približno 45 % večja.

Vpliv H je bil v primerjavi z AK nekoliko bolj pogojen z okoljskimi dejavniki. Izkazalo se je, da te sicer lahko povečajo tržno maso solate za več kot 25 %, vendar ne v vseh rastnih razmerah. Rezultati nakazujejo, da dobro delujejo pri zadostni VVV. To vpliva na odvzem in vsebnost vode v rastlini. V določenih primerih lahko celo vplivajo na zmanjšanje mase odstranjenih listov, kar se je pri našem poskusu pokazalo v drugem terminu pri nenamakanih rastlinah. Podobno lahko izboljšajo tudi SPAD vrednost. Tovrstno delovanje huminskih kislin pomeni, da je njihova potencialna uporaba bolj primerna za rastlinsko pridelavo, kjer so razmere bolje kontrolirane (npr. v zavarovanih prostorih). Še vedno pa je v tleh ogromno dejavnikov, ki lahko vplivajo na njihovo učinkovitost.

Iz poskusa lahko sklepamo, da bi integracija biostimulantov v obstoječo tehnologijo pridelave solate na prostem potencialno lahko povečala pridelke in učinkovitost rabe vode, kar bi upravičilo ekonomičnost njihove uporabe in povečalo donosnost pridelave. Vsekakor pa je potrebno pred tem bolje raziskati okna, kjer je uporaba biostimulantov najbolj upravičena, v izogib uporabe teh pripravkov brez zelenega učinka.

Zahvala: Zahvaljujemo se Kmetiji Rozman za vse dodatne aktivnosti, ki jih je zahtevala izvedba poskusa v vpeljani tehnologiji. Zahvaljujemo se Javni agenciji za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnosti Republike Slovenije (ARIS) za financiranje Programa usposabljanja mladih raziskovalcev ter programske skupine P4-0013.

5 LITERATURA

- Canellas L. P., Olivares F. L., Aguiar N. O., Jones D. L., Nebbioso A., Mazzei P. in Piccolo A. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. In *Scientia Horticulturae*, 196: 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
- Clément J., Delisle-Houde M., Nguyen T. T. A., Dorais M. in Tweddell R. J. 2023. Effect of Biostimulants on Leafy Vegetables (Baby Leaf Lettuce and Batavia Lettuce) Exposed to Abiotic or Biotic Stress under Two Different Growing Systems. *Agronomy*, 13: 1-17. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030879>
- du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. In *Scientia Horticulturae*, 196: 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- FAO. 2022. food and agriculture organization. Crops and livestock products. FAOESTAD. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> (20. okt 2024)
- Franzoni G., Cocetta G., Prinsi B., Ferrante A. in Espen L. 2022. Biostimulants on Crops: Their Impact under Abiotic Stress Conditions. In *Horticulturae*, 8, 3: 1-20. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>
- Guo Y., Ma Z., Ren B., Zhao B., Liu P. in Zhang J. 2022. Effects of Humic Acid Added to Controlled-Release Fertilizer on Summer Maize Yield, Nitrogen Use Efficiency and Greenhouse Gas Emission. *Agriculture (Switzerland)*, 12, 4: 1-13. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040448>
- Lüdtke A. C., Dick D. P., Morosino L. in Kraemer V. 2021. Productivity of lettuce in greenhouse as affected by humic and fulvic acids application in association to mineral fertilizer. *Horticultura Brasileira*, 39,4: 444–450. <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210414>
- Malécange M., Pérez-García M. D., Citerne S., Sergheraert R., Lalande J., Teulat B., Mounier E., Sakr S. in Lothier J. 2022. Leafamine®, a Free Amino Acid-Rich Biostimulant, Promotes Growth Performance of Deficit-Irrigated Lettuce. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 13: 1-19. <https://doi.org/10.3390/ijms23137338>
- Miller A. J., Fan X., Shen Q. in Smith S. J. 2008. Amino acids and nitrate as signals for the regulation of nitrogen acquisition. *Journal of Experimental Botany*, 59,1: 111–119. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm208>
- R Core Team. 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Sarov A. in Boevsky Iv. 2021. Economic efficiency of biostimulants in agriculture. *Trakia Journal of Sciences*, 19,1: 176–180. <https://doi.org/10.15547/tjs.2021.s.01.026>
- Sun W., Shahrajabian M. H., Kuang Y. in Wang N. 2024. Amino Acids Biostimulants and Protein Hydrolysates in Agricultural Sciences. In *Plants*, 13, 2: 1-22. <https://doi.org/10.3390/plants13020210>
- SURS. 2024. Pridelava zelenjadnic (ha, t, t/ha), Slovenija, letno. Statistični urad Republike Slovenije. <https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/1502403S.px/table/tableViewLayout2/> (19. okt. 2024)
- Yamori N., Levine C. P., Mattson N. S. in Yamori W. 2022. Optimum root zone temperature of photosynthesis and plant growth depends on air temperature in lettuce plants. *Plant Molecular Biology*, 110, 4–5: 385–395. <https://doi.org/10.1007/s11103-022-01249-w>
- Yang H., Yang J., Lv Y. in He J. 2014. SPAD values and nitrogen nutrition index for the evaluation of rice nitrogen status. *Plant Production Science*, 17,1: 81–92. <https://doi.org/10.1626/pps.17.81>

Vpliv terminov presajanja na količino in kakovost pridelka solate, pridelane na hidroponskem sistemu in v tleh

Nina KACJAN MARŠIĆ¹¹⁰, Natalija GANTAR¹¹¹ in Marko ZUPAN¹¹²

Izvleček

Namen raziskave je bil proučiti vpliv štirih terminov presajanja sadik solate (*Lactuca sativa* L.) na rast in kakovost pridelka pri pridelavi na hidroponskem sistemu in v tleh. Poskusi so potekali v rastlinjaku na laboratorijskem polju Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani od maja do septembra 2023. Sadike rozetastega tipa solate sorte 'Joliac' smo na hidroponski sistem in v tla presadili 10. 5., 20. 6., 12. 7. in 26. 7. (hidropon) oz. 1. 8. 2023 (tla). Največji tržni pridelek smo pobrali na hidroponskem sistemu v drugem terminu in sicer 3,8 kg/m², pri pridelavi v tleh pa v prvem terminu, in sicer 2,5 kg/m². V nadaljnjih terminih sta se količina pridelka in dolžina rastne dobe zmanjševali. Spomladi so rastline na hidroponu potrebovale 4 tedne do tehnološke zrelosti, v tleh pa 6 tednov. Poleti je bila rastna doba krajša - na hidroponu 2–4 tedne, v tleh 4–5 tednov. Količina nitrata je bila v večja v solati, pridelani na hidroponu, v primerjavi s pridelavo v tleh. V obdobju maj–junij in junij–julij je bila 2.700–2.800 mg NO₃⁻/kg sveže mase, v avgustu 2.000 mg NO₃⁻/kg sveže mase in v septembru 1.000 mg NO₃⁻/kg sveže mase, kar je bilo še vedno pod mejno vrednostjo nitrata za prehrano, določeno v Uradnem listu EU, ki za solato, pridelano v rastlinjaku znaša 4.000 mg NO₃⁻/kg sveže mase. V tleh pridelana solata je vsebovala med 360 in 840 mg NO₃⁻ kg sveže mase.

Ključne besede: solata, terminska pridelava, hidroponika, vsebnost nitrata

Effect of planting date on the quantity and quality of lettuce yields in hydroponics and in soil

Abstract

The aim of the study was to investigate the effects of planting dates on the growth and yield quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in hydroponics and in soil. The trials were conducted from May to September 2023 in a greenhouse in the Laboratory field of the Biotechnical Faculty of the University of Ljubljana. The seedlings of the rosette type of lettuce cv. 'Joliac' were planted in the hydroponic system and in soil on May 10, June 30, July 12 and July 26 (hydroponics) and August 1, 2023 (soil), respectively. The highest marketable yield was harvested in the hydroponic system in the second growing period with 3.8 kg/m² and in the soil cultivation in the first season with 2.5 kg/m². The yield and the length of the vegetation period decreased with the following dates. In spring, the plants in the hydroponic system took 4 weeks to reach technological maturity, while the plants in the soil took 6 weeks. In summer, the growing period lasted 2–4 weeks in hydroponics and 4–5 weeks in soil. The nitrate content was 2,700–2,800 mg NO₃⁻/kg fresh weight in May–June and June–July, 2,000 mg NO₃⁻/kg fresh weight in August and 1,000 mg NO₃⁻/kg fresh weight in September, which was still below the official EU maximum nitrate level for human consumption of 4,000 mg NO₃⁻/kg fresh weight for lettuce grown in the greenhouse. Lettuce grown in the soil contained between 360 and 840 mg NO₃⁻/kg fresh weight.

Keywords: lettuce, planting date, hydroponics, nitrate content

1 UVOD

Zaradi hitre urbanizacije in naraščajočega števila prebivalstva se marsikje po svetu velika mesta soočajo z izzivom, kako zagotoviti potrebno oskrbo prebivalcev s svežo zelenjavo. Ena od možnosti je dobava sveže zelenjave iz tradicionalne pridelave v zaledju večjih mest (Orsini in

¹¹⁰ Prof. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: nina.kacjan.marsic@bf.uni-lj.si

¹¹¹ Študentka, Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: ng90527@student.uni-lj.si

¹¹² Doc. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, e-pošta: marko.zupan@bf.uni-lj.si

sod., 2013; Thomaier in sod., 2015). Glede na to, da sta voda in obdelovalne površine omejen naravni vir, je stanje prehranske varnosti v takih mestih zelo ranljivo zlasti, če agroživilsko verigo preskrbe s svežo zelenjavo ovirajo nepredvideni pojavi, kot so neugodna vremenska dogajanja ali druge motnje (naravne nesreče, vojne). Na območjih, kjer primanjkuje pridelovalnih površin ali so te zaradi monokulturnega gojenja močno degradirane, se načrtovalci pridelave odločajo za alternativne, intenzivne sisteme pridelave, s katerimi lahko zagotovijo nemoteno oskrbo s svežimi, visoko kakovostnimi pridelki (Amos in sod., 2018). V ta namen uporabljajo različne vrste hidroponskih sistemov, katerih prednost pred tradicionalno pridelavo vrtnin v tleh so racionalnejša poraba vode in hranil, hitrejša rast in razvoj rastlin in s tem krajša rastna doba ter večji pridelki. Rastline rastejo z manjšo prisotnostjo biotskih in abiotskih stresorjev (Majid in sod., 2021; De Carvalho Leal in sod., 2020). Poleg prednosti hidroponske pridelave ji mnogi strokovnjaki očitajo pomanjkjivosti, ki izhajajo iz visokih stroškov postavitve sistemov in infrastrukture, ki je potrebna za nemoteno oskrbo rastlin, kot so rezervoarji za hranilno raztopino, zmogljive črpalke in dozatorji za odmerjanje soli (Barbosa in sod., 2015; Putra in Yulianto, 2015).

V hidroponskih sistemih se poleg plodovk najpogosteje pridelujejo listnate zelenjadnice. Za slovenski pridelovalni prostor so za tovrstno pridelavo najbolj zanimive solatnice, med njimi tudi solata (*Lactuca sativa* L.), ki jo lahko s pravilnim izborom sort pridelujemo v vseh letnih časih. Ima kratko rastno dobo, kar omogoča terminsko zasnovo posevka in s tem omogoča pridelovalcu daljšo prisotnost na tržišču.

V naši raziskavi smo želeli ugotoviti, kako se pridelek solate, pridelane na hidroponskem sistemu, razlikuje po količini in kakovosti od pridelka solate, pridelanega v tleh. Zanimalo nas je tudi, ali so razlike v količini in kakovosti pridelka enake v vseh štirih terminih pridelave, dveh pomladanskih (10. 5.–7. 6. 2023 (hidropon) in 10. 5.–20. 6. 2023 (tla) ter 20. 6.–12. 7. 2023 (hidropon) in 20. 6.–19. 7. 2023 (tla)) in dveh poletnih terminih pridelave (12. 7.–26. 7. 2023 (hidropon) in 12. 7.–11. 8. 2023 (tla) ter 26. 7.–21. 8. 2023 (hidropon) oz. 1. 8.–29. 8. 2023 (tla)).

2 MATERIALI IN METODE DELA

Raziskava je obsegala štiri poskuse, vsi so potekali v rastlinjaku, postavljenem na laboratorijskem polju Biotehniške fakultete UL, od maja do septembra 2023. Primerjali smo pridelavo solate na hidroponskem sistemu s pridelavo v tleh, zato smo na eni gredici postavili NFT hidroponski sistem in ob njem pripravili gredico za pridelavo solate v tleh. V poskus smo vključili sorto rozetastega tipa solate 'Joliac', ki je primerna za pridelavo od pomladi do jeseni. V tla smo pred sajenjem izdelali mineralna gnojila in sicer dušikovo gnojilo KAN (27 % N), fosforjevo gnojilo Hypercorn (0:26:0) in kalijev sulfat (Kalisop), v količini 100 kg/ha N, 30 kg/ha P₂O₅ in 140 kg/ha K₂O. Za vsak termin pridelave smo predhodno v steklenjaku vzgojili sadike v šotnem substratu v gojitvenih platojih s 84 setvenimi vdolbinami/plato. Sadike smo v tla presajali sočasno z rastlinami v mrežastih lončkih, ki smo jih postavili na NFT sistem. Pred zastiranjem gredice s PE zastirkro smo na tla položili kapljični namakalni sistem za namakanje rastlin v času rasti. Kot je vidno na sliki 1 (desno), smo v tla rastline posadili na razdaljo 30 cm × 30 cm, po 6 rastlin v eno vrsto. 12 rastlin je predstavljalo eno ponovitev, poskus je bil zasnovan v 4 ponovitvah. NFT sistem model Growstream 40 V2 (Terra aquatica, GHE) so sestavljali plastični kanali z odprtini za namestitev rastlin, ukoreninjenih v mrežastih lončkih (slika 1, levo). Vsak kanal je predstavljal eno ponovitev, v posamezni ponovitvi je bilo 10 rastlin. Črpalka, ki je bila potopljena v 180 L bazen s hranilno raztopino, je hranilno raztopino črpala v kanale preko cevnega sistema razpršilcev in jo preko odtokov vračala nazaj v bazen. Hranilno raztopino smo pripravili po recepturi za listnato zelenjavo po Reshu (Resh, 2022).



Slika 1: Rastline solate, posajene na NFT hidroponski sistem (levo) in na gredico v tla (desno)

Prvi termin presajanja je bil 10. 5. 2023. V nadaljnjih terminih smo sadike solate sadili na približno 3–5 tednov (2. termin: 20. 6.; 3. termin: 12. 7.; 4. termin: 26. 7. (hidropon), 1. 8. (tla)). Sadili smo takoj po spravi in meritvah rastlin predhodnega termina sajenja. Pridelek smo pobirali, ko so rozete dosegle tehnološko zrelost; v prvem terminu je bilo to hkrati pri obeh sistemih pridelave, v nadaljnjih terminih pa so rastline na hidroponskem sistemu dosegle tehnološko zrelost prej kot tiste v pridelavi v tleh.

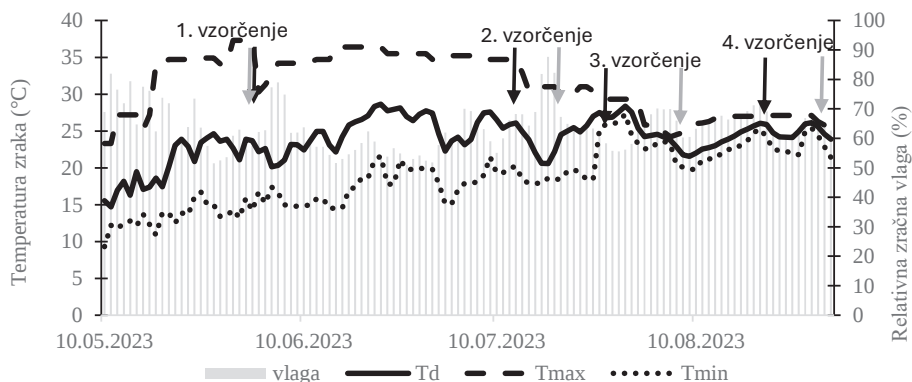
Meritve v času trajanja poskusov so obsegale meritve pH in EC hranilne raztopine in meritve na rastlinah: premer in višino rozete, maso rastline in tržnega dela ter dolžino koca (stebela). Temperaturo in relativno zračno vlago v rastlinjaku smo merili z merilci Voltcraft DL-121TH USB Temperature & Humidity Data Logger, ki meritve opravljajo kontinuirano skozi celotno obdobje trajanja poskusov. Za analize vsebnosti nitrata v pridelku solate smo vzorce solate sušili na 50 °C v sušilniku Kambič in jih zmleli ter shranili v neprodušnih plastičnih posodah za nadaljne analize. Analize nitrata so potekale na spektrofotometru Thermo scientific Gallery ECM.

Zbrane podatke meritev, ki smo jih opravili na rastlinah, smo statistično obdelali s programom R (R Core Team, 2019). Predpostavko o homogenosti varianc smo preverili z Levenovim testom. Za vsak termin posebej smo naredili enosmerno analizo variance, da bi ugotovili ali obstajajo značilne razlike med obravnavanjema. Za primerjavo povprečij smo uporabili Tukey-test s stopnjo značilnosti $\alpha \leq 0,05$.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

Na sliki 2 je prikazan klimagram za obdobje trajanja poskusov z vnesenimi datumi vzorčenja rastlin za posamezen termin pridelave. V prvem terminu pridelovanja so bile povprečne dnevne temperature med 15 °C in 23 °C, v drugem terminu med 20 °C in 28 °C, v tretjem terminu med 22 °C in 28 °C in v četrtem terminu od 20 °C in 25 °C. Maksimalne temperature zraka so v prvem terminu pridelovanja dosegle največjo vrednost, do 37 °C, v obdobju drugega termina okrog 35 °C, nato so se spustile na 30 °C in v zadnjem terminu na 25 °C. Relativna zračna vlaga je variirala med 50 % in 88 %. V preglednici 1 so prikazani rezultati meritev rastlin solate, pridelane na hidroponskem sistemu in v tleh, za vse štiri termine pridelave.

Iz preglednice 1 je razvidno, da so imele rastline, pridelane na hidroponskem sistemu v prvih treh terminih večjo tako maso cele rastline kakor tudi tržnega dela glede na rastline, pridelane v tleh. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi Majid in sod. (2021), ki so gojili solato rezivko na hidroponskem sistemu in v tleh ter pri 5-kratnem pobiranju dosegli na hidroponu značilno večjo maso (1.434 g/rastlino) glede na pridelavo v tleh (1.160 g/rastlino).



Slika 2: Povprečna dnevna, povprečna maksimalna in povprečna minimalna temperatura zraka ter relativna zračna vlaga v rastlinjaku v času trajanja poskusa. Puščice označujejo termine vzorčenja (črna – hidropon; siva – pridelava v tleh)

Preglednica 1: Povprečna masa cele rastline, masa tržnega dela, število odstranjenih listov in odstotek odpada

Termin	Datum gojenja	Tehnika pridelave	Masa cele rastline (g)	Masa tržnega dela (g)	Št. odstranjenih listov	Odstotek odpada
1	10.5.-7.6.	Hidropon	459 ± 17 a	406 ± 13 a	6 ± 1	12 b
	10.5.-20.6.	Tla	366 ± 10 b	282 ± 10b	7 ± 1	23 a
2	20.6.-12.7.	Hidropon	482 ± 40 a	431 ± 38 a	6 ± 1	11 b
	20.6.-19.7.	Tla	280 ± 9 b	169 ± 7 b	15 ± 1	40 a
3	12.7.-26.7.	Hidropon	335 ± 14 a	273 ± 11 a	7 ± 1	18 b
	12.7.-11.8.	Tla	256 ± 12 b	139 ± 5 b	18 ± 1	45 a
4	26.7.-21.8.	Hidropon	234 ± 12 a	165 ± 10 a	8 ± 1	30 a
	1.8.-29.8.	Tla	215 ± 11 a	158 ± 8 a	8 ± 1	25 a

*Različne črke označujejo statistično značilne razlike pri 95 % zaupanju.

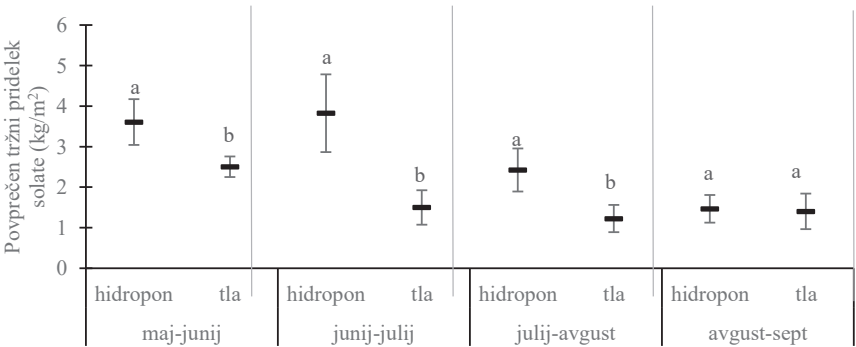
V naši raziskavi so največjo povprečno tržno maso dosegle rastline pri pridelavi na hidroponskem sistemu v drugem terminu pridelave (431 ± 38 g), v tleh pa v prvem terminu pridelave (282 ± 10 g). Čeprav na koreninskem sistemu nismo opravili meritev, smo opazili večji in bolj razvit koreninski sistem pri rastlinah na hidroponskem sistemu. O podobnih opažanjih na koreninskem sistemu rastlin, ki so rastle na hidroponskem sistemu, poročajo tudi Lei in sod. (2021), ki so večji pridelek rastlin solate pripisali prav tej lastnosti, ki omogoči močnejši in učinkovitejši sprejem vode in hranil. Povečano rast korenin v hidroponskem sistemu so pojasnili s stalno prisotnostjo vode, zraka (predvsem kisika) in hranil v hranilni raztopni, ki obdaja koreninski sistem v NFT sistemu (Lei in sod., 2021).

Pri pridelavi solate je zelo pomembna tudi dolžina rastne dobe od presaditve rastlin v tla oz. postavitve na hidroponski sistem do pobiranja tehnološko zrelega pridelka. V preglednici 2 so prikazane dolžine rastne dobe za posamezen termin pridelave in posamezen sistem pridelave. V vseh terminih pridelave smo ugotovili krajšo rastno dobo pri rastlinah, ki so rastle na hidroponskem sistemu glede na pridelavo v tleh. Glede na pridelavo v tleh je bila rastna doba rastlin na hidroponskem sistemu 7 oz. 8 dni krajša v 2. in 4. terminu (junij–julij in avgust–september), oz. 13 dni krajša v 1. terminu (maj–junij) in 16 dni krajša v 3. terminu (julij–avgust). Hitrejšo rast rastlin na hidroponskem sistemu so ugotovili tudi Majid in sod., (2021), ki so pri pridelavi na DWC (Deep Water Culture) hidroponskem sistemu pobrali pridelek solate 15 dni prej, na NFT sistemu pa 7 dni prej glede na pridelavo v tleh. Selma in sod. (2012) so pri gojenju različnih tipov solate na hidroponskem sistemu ugotovili krajšo rastno dobo (63 dni) glede na pridelavo v tleh (102 dni).

Preglednica 2: Dolžina rastne dobe rastlin solate, glede na sistem in termin pridelave

Termin	Datum gojenja	Obravnavanje	Dolžina rastne dobe (dni)	Razlika v dolžini rastne dobe hidropon-tla (dni)
1	10.5.-7.6.	Hidropon	28	13
	10.5.-20.6.	Tla	41	
2	20.6.-12.7.	Hidropon	22	7
	20.6.-19.7.	Tla	29	
3	12.7.-26.7.	Hidropon	14	16
	12.7.-11.8.	Tla	30	
4	26.7.-21.8.	Hidropon	26	8
	1.8.-29.8.	Tla	34	

Pomemben kakovosten parameter, ki ocenjuje uspešnost pridelave, je tudi količina pridelka. V naši raziskavi smo pridelek rastlin izrazili v kg/m^2 . Na sliki 3 so prikazane povprečne vrednosti doseženega tržnega pridelka solate, pridelane na hidroponskem sistemu in v tleh, glede na posamezen termin pridelave.



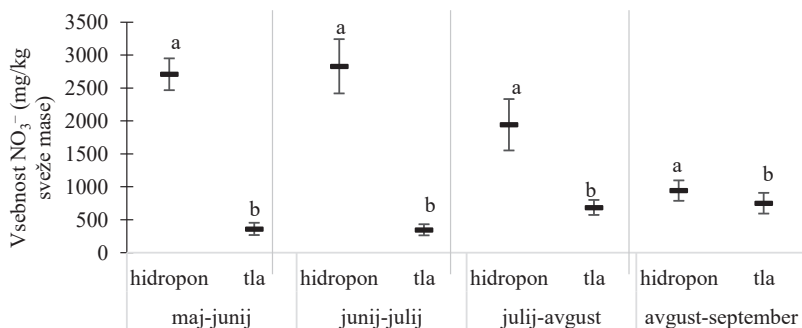
Slika 3: Povprečen pridelek solate (kg/m^2 , s pripadajočo standardno napako), pridelane na hidroponskem sistemu in v tleh, v štirih terminih pridelave

V prvih treh terminih so bili pridelki hidroponske pridelave značilno večji (2,4–3,6 kg/m^2) glede na pridelavo v tleh (1,2–2,5 kg/m^2). V zadnjem terminu razlik v tržnem pridelku glede na sistem pridelave ni bilo. Podobno ugotavljajo tudi Wang in sod. (2023), ki so pri hidroponski pridelavi

dosegli večji pridelek ($6,8 \text{ kg/m}^2$) glede na pridelavo v tleh ($2,9 \text{ kg/m}^2$). Večje pridelke na hidroponskem sistemu lahko pripišemo stalni prisotnosti hranil v območju koreninskega sistema rastlin in posledično učinkovitejši izrabi hranil.

Pri pridelavi v tleh smo v naši raziskavi največji pridelek dosegli v prvem terminu ($2,5 \text{ kg/m}^2$), v drugih terminih so bili pridelki manjši ($1,2\text{--}1,5 \text{ kg/m}^2$). Vendar pa je količina pridelka, ki smo ga dosegli pri pridelavi v tleh, primerljiva s pridelkom, doseženim v poskusih pridelave solate v tleh ($2,9 \text{ kg/m}^2$), ki so jih opravili na Kmetijskem inštitutu Slovenije (Rezultati... , 2017).

Pomemben kakovosten parameter pri listnati zelenjavi je tudi vsebnost nitrata, saj lahko prekomerna nakopičenost nitrata v pridelku povzroči določene zdravstvene težave v prebavilih preobčutljivih ljudi (Bian in sod., 2015). V naši raziskavi so več nitrata vsebovale rastline, pridelane na hidroponskem sistemu ($943\text{--}2.831 \text{ mg/kg}$ sveže mase) glede na rastline, pridelave v tleh ($361\text{--}835 \text{ mg/kg}$ sveže mase) (slika 4). O podobnih rezultatih poročajo tudi Manzocco in sod. (2011), ki so v hidroponsko pridelani solati izmerili $4.695 \text{ mg NO}_3/\text{kg}$ sveže mase, v rastlinah, pridelanih v tleh, pa 3.806 mg/kg sveže mase. Večjo vsebnost nitrata v pridelku iz hidroponske pridelave pripisujejo povečani koncentraciji hranil v hranilni raztopini in učinkovitejšemu sprejemu nitrata v rastlino, kjer se le-ta kopiči v celičnih vakuolah (Bian in sod., 2015; 2020; Sapkota in sod., 2019). Na vsebnost nitrata v veliki meri vplivajo okoljski dejavniki, predvsem temperatura in osvetlitev. V naši raziskavi smo največjo vsebnost nitrata ugotovili v prvem terminu pridelave (2.831 mg/kg sveže mase), v kasnejših terminih (junij–julij in julij–avgust) smo izmerili manjše vsebnosti nitrata ($1.000 \text{ mg NO}_3/\text{kg}$ sveže mase), kar bi lahko pripisali boljšim ravnim razmeram, višji temperaturi, boljši osvetlitvi in daljšemu dnevu v tem obdobju, kar pripomore k boljši vgradnji nitrata v organske molekule (Bian in sod., 2020). Vsekakor pa so bile vsebnosti nitrata v vzorcih iz naše raziskave pod dovoljeno mejno vrednostjo za prehrano, določeno v Uradnem listu Evropske unije, ki znaša za solato, pridelano v rastlinjaku, v obdobju od 1.4. do 30.9., $4.000 \text{ mg NO}_3/\text{kg}$ sveže mase (Uradni list EU, 2011).



Slika 4: Povprečne vsebnosti nitrata (s pripadajočo standardno napako) v rastlinah solate, pridelane na hidroponskem sistemu in v tleh, v štirih terminih pridelave

4 SKLEPI

Primerjava pridelave solate cv. 'Joliac' na hidroponskem sistemu in v tleh je pokazala, da je bila rast rastlin hitrejša na hidroponskem sistemu. V povprečju je bila rast rastlin na hidroponskem sistemu krajša. V spomladanskem terminu pridelave je bila 4 tedne, pri pridelavi v tleh pa 6 tednov. V poletnih terminih so rastline na hidroponskem sistemu potrebovale 2–4 tedne, pri pridelavi v tleh pa 4–5 tednov. Največji tržni pridelek smo pobrali na hidroponskem sistemu v drugem terminu, $3,8 \text{ kg/m}^2$, pri pridelavi v tleh pa v prvem terminu, $2,5 \text{ kg/m}^2$.

Vzorci solate iz hidroponske pridelave so imeli v vseh štirih terminih večjo vsebnost nitrata (od 943 mg NO₃⁻/kg sveže mase do 2.831 mg NO₃⁻/kg sveže mase) glede na solato, pridelano v tleh, kjer je bila vsebnost nitrata med 348 in 835 mg/kg sveže mase. Vendar je bila vsebnost nitrata v solati, pridelani na hidroponskem sistemu, pod največjo dovoljeno mejno vrednostjo za prehrano, ki je določena v Uradnem listu Evropske unije in znaša za solato, pridelano v rastlinjaku, v obdobju od 1. aprila do 30. septembra, 4.000 mg NO₃⁻/kg sveže mase. Za zmanjšanje vsebnosti nitrata v pridelku hidroponsko pridelane solate različni avtorji predlagajo, da nekaj dni pred pobiranjem pridelka zmanjšamo vsebnost nitrata v hranilni raztopini na polovico (Colla in sod., 2018; Conversa in sod., 2021, Nicola in sod., 2022) ali pa, da v tem obdobju nitrarno obliko dušika v hranilni raztopini zamenjamo z amonijsko obliko (Nicola in sod., 2012).

Zahvala. Raziskava je del programa Javne službe za vrtnarstvo, ki jo financira Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.

5 LITERATURA

- Amos, C.C., Rahman, A., Karim, F., Gathenya, J.M. 2018. A scoping review of roof harvested rainwater usage in urban agriculture: Australia and Kenya in focus. *Journal of cleaner production*, 202, 174-190.
- Barbosa, G.L., Daiane, F., Gadelha, A., Kublik, N. 2015. Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. 6879–6891.
- Bian Z., Wang Y., Zhang X., Li T., Grundy S., Yang Q., Cheng, R. 2020. A review of environment effects on nitrate accumulation in leafy vegetables grown in controlled environments. *Foods*, 9(6): 732.
- Bian Z.H., Yang Q.C., Liu W.K. 2015. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95: 869-877.
- de Carvalho Leal, L. Y., de Souza, E.R., Júnior, J. A. S., Dos Santos, M. . 2020. Comparison of soil and hydroponic cultivation systems for spinach irrigated with brackish water. *Scientia Horticulturae*, 274: 109616.
- Colla, G., Kim, H. ., Kyriacou, M.C., Roupheal, Y. 2018. Nitrate in fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 237: 221-238.
- Conversa, G., Bonasia, A., Lazzizzera, C., La Rotonda, P., Elia, A. 2021. Reduction of nitrate content in baby-leaf lettuce and *Cichorium endivia* through the soilless cultivation system, electrical conductivity and management of nutrient solution. *Frontiers in Plant Science*, 12: 645671.
- Kmetijski inštitut Slovenije. 2017. Rezultati preskušanja sort zelenjadnic: Solata krhkolistna, (13. maj 2024).
- Lei C., Engeseth N.J. 2021. Comparison of growth characteristics, functional qualities, and texture of hydroponically grown and soil-grown lettuce. *University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Food Science and Human Nutrition*, 150: 111931.
- Majid M.J. N. Khan Q.M. A. Shah K. Z. Masoodi B., Afroza S.P. 2021. Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) and comparison with protected soil-based cultivation. *Agricultural Water Management*, 245: 106572.
- Manzocco L., Foschia M., Tomasi N., Maifreni M., Dalla Costa L., Marino M., Cortella G., Cesco S. 2011. Influence of hydroponic and soil cultivation on quality and shelf life of ready-to-eat lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L. Laterr). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(8):1373-80.
- Nicola, S., Egea-Gilbert, C., Niñirola, D., Conesa, E., Pignata, G., Fontana, E., Fernández, J.A. 2012. Nitrogen and aeration levels of the nutrient solution in soilless cultivation systems as important growing conditions affecting inherent quality of baby leaf vegetables: a review. In *II International Symposium on Horticulture in Europe 1099: 167-177*).

- Nicola, S., Rubiolo, P., Sgorbini, B., Gaino, W., Orsini, F., Gianquinto, G., Pennisi, G. 2022. Growing sweet basil in a floating growing system enhances yields, reduces nitrate content, and modulates the aromatic profile. In XXXI International Horticultural Congress (IHC2022): International Symposium on Innovative Technologies and Production 1377: 903-910.
- Orsini, F., Kahane, R., Nono-Womdim, R., Gianquinto, G. 2013. Urban agriculture in the developing world: a review. *Agronomy for sustainable development*, 33: 695-720.
- Putra, P. A., Yuliando, H. 2015. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3: 283-288.
- Resh H.M. 2022. *Hydroponic Food Production A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. 8. izdaja. Baton Rouge, CRC Press Taylor & Francis Group: 513 str.
- Sapkota S., Sapkota S., Liu Z. 2019. Effects of Nutrient Composition and Lettuce Cultivar on Crop Production in Hydroponic Culture. *Horticulturae*, 5 (4):72.
- Selma M.V., Luna M. C., Martínez-Sánchez A., Tudela J. ., Beltrán D., Baixauli C., Gil M.I. 2012. Sensory quality, bioactive constituents and microbiological quality of green and red fresh-cut lettuces (*Lactuca sativa* L.) are influenced by soil and soilless agricultural production systems. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1): 16-24,
- Uradni list Evropske unije, 2011. Uredba Komisije (EU) št. 1258/2011 z dne 2. decembra 2011 o spremembi Uredbe Komisije (ES) št. 1881/2006 glede mejnih vrednosti nitratov v živilih. 2011., L 320/15
- Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U.B., Sawicka, M. 2015. Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(1): 43-54.
- Wang L., Ning S., Zheng W., Guo J., Li Y., Li Y., Chen X., Ben – Gal A., Wei X. 2023. Performance analysis of two typical greenhouse lettuce production systems: commercial hydroponic production and traditional soil cultivation. *Frontiers in Plant Science*, 14: 1165856.
- Wang Y.Y., Hsu P.K., Tsay Y.F. 2012. Uptake, allocation and signaling of nitrate. *Trends in plant science*, 17(8): 458-467

Vpliv gnojilnih postopkov večletnih poskusov IOSDV v Sloveniji na pridelke koruznega zrnja in ozimne pšenice

Aleš KOLMANIČ¹¹³, Simon OGRAJŠEK¹¹⁴ in Jože VERBIČ¹¹⁵

Izvleček

V večletnih poskusih IOSDV v Rakičanu in Jabljah od leta 1993 preučujemo vpliv gnojenja z organskimi gnojili (A: brez gnojenja z organskimi gnojili, B: gnojenje s hlevskim gnojem vsako tretje leto in odstranjevanje žetvenih ostankov, C:; zaoravanje žetvenih ostankov in setev rastline za zeleni podor vsako tretje leto) in dušika (N) iz mineralnih gnojil (N0: 0 kg, N1: 65 in 100 kg N/ha, N2: 130 in 200 kg N/ha, N3: 195 in 300 kg N/ha, za pšenico oziroma koruzo) na pridelek zrnja ozimne pšenice in koruze. V Rakičanu so bili povprečni pridelki ozimne pšenice med 2546 kg/ha, (A-N0) in 6358 kg/ha (A-N3), pri koruzi pa med 6079 kg/ha (A-N0) in 9520 kg/ha (B-N3). Pri pšenici ni bilo značilnih razlik v pridelku med postopki z odmerki N2 in N3, medtem ko pri koruzi ni bilo značilnih razlik med postopki z odmerki N1-N3. V Jabljah so bili povprečni pridelki pšenice med 1984 kg/ha (A-N0) in 6221 kg/ha (B-N3), pridelki koruze pa med 4564 kg/ha (A-N0) in 11186 kg/ha (B-N3). Pridelki pšenice so med poskusoma primerljivi, a je v Jabljah potreben za približno eno stopnjo večji odmerek N za podoben pridelek. Pridelki koruze so z dodanim N v Jabljah večji, s skoraj linearnim naraščanjem do N3 stopnje. Časovni trendi za obdobje 1993–2023 pri pšenici kažejo povečanje pridelka na obeh lokacijah pri vseh kombinacijah gnojenja z organskimi gnojili ter odmerki N1-N3. Pri koruzi se je pridelek v Rakičanu povečal pri večini gnojenj z izjemo A-N0 ter C-N0, v Jabljah pa pri kombinacijah gnojenja s hlevskim gnojem in N ter pri vseh postopkih z N3 odmerki.

Gljučne besede: dolgoletni poskusi, IOSDV, gnojenje, hlevski gnoj, žetveni ostanki, mineralni dušik, pridelek

Effect of fertilisation practices in long-term IOSDV experiments in Slovenia on yields of maize grain and winter wheat

Abstract

Since 1993, long-term IOSDV trials in Rakičan and Jablje are running to evaluate the impact of organic fertilizers (no organic fertilization, A; fertilization with manure every third year and removal of crop residues, B; incorporation of annual crop residues and green manure crop every third year, C) and nitrogen (N) from mineral fertilizers (N1; 0 kg, N0; 65 and 100 kg N/ha, N2; 130 and 200 kg N/ha, N3; 195 and 300 kg N/ha,) on the grain yields of winter wheat and maize, respectively. In Rakičan, mean winter wheat yields ranged from 2546 kg/ha (A-N0) to 6358 kg/ha (A-N3), while maize yields ranged from 6079 kg/ha (A-N0) to 9520 kg/ha (B-N3). For wheat, no significant differences were observed between treatments with N2 and N3 rates, whereas for maize, no significant differences between treatments with N1–N3 rates were observed. In Jablje, mean wheat yields ranged from 1984 kg/ha (A-N0) to 6221 kg/ha (B-N3), and maize yields ranged from 4564 kg/ha (A-N0) to 11.186 kg/ha (B-N3). Wheat yields were comparable between the two locations; however, achieving similar yields in Jablje required a higher N rate. Maize yields in Jablje increased linearly with added N, indicating potential for further yield gain with higher N rates. Simple time trend analysis showed yield increase for winter wheat at both locations for all combinations of organic fertilizers and N1–N3 rates. For maize, yields in Rakičan increased under most treatments, except for A-N0 and C-N0, whereas in Jablje, yield increases were observed with manure plus N and all treatments with the N3 rate.

Keywords: long term trials, fertilisation, cattle manure, crop residues, mineral nitrogen, yield

¹¹³ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: ales.kolmanic@kis.si

¹¹⁴ Mag. inž. agr, Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: simon.ograjsek@kis.si

¹¹⁵ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: joze.verbic@kis.si

1 UVOD

V Sloveniji sodita koruza in ozimna pšenica med najpomembnejše poljščine, tako po obsegu površin, namenjenih za njuno pridelavo kot po pomenu za samooskrbo. Stabilnost njune pridelave in povečanje pridelanih količin je zato med pomembnejšimi nalogami in izzivi v pridelavi. Povečanje pridelkov koruze ter ozimne pšenice je ključnega pomena tudi na globalni ravni, a je to zaradi vpliva podnebnih sprememb, ekstremnih vremenskih dogodkov ter različnih okoljevarstvenih zahtev precejšen izziv. Gnojenje z organskimi in/ali z mineralnimi gnojili je pomemben tehnološki ukrep v pridelavi poljščin, ki vpliva na številne biokemijske in fiziološke procese povezane z rastjo in razvojem rastlin ter s tem tudi na količino in kakovost pridelka. Pravilno gnojenje lahko poveča pridelke poljščin in ocene so, da je raba dušikovih (N) gnojil globalno skoraj podvojila pridelke žit (Wade in sod., 2020). Po drugi strani pa so z neprimerno rabo gnojil povezani tudi številni neugodni vplivi na okolje in zdravje ljudi (Wade in sod., 2020). S pravilnim gnojenjem rastlin nadomeščamo s pridelkom odvzeta in v okolje izgubljena hranila, obenem pa z organskimi gnojili ali rastlinsko biomaso v tla vnašamo organski ogljik. S tem lahko povečujemo zaloge organskega ogljika in ohranjamo aktivno talno mikrofloro ter s tem ohranjamo dolgoročno rodovitnost tal (Trivedi in sod., 2018).

Ob gnojenju imajo pomemben vpliv na pridelavo poljščin tudi vremenske razmere. Neugodni vremenski dogodki, kot so npr., pomanjkanje vode, poplava, vročina, toča, neurja z močnim vetrom, ogrožajo tako količino kot kakovost pridelkov. S prilagoditvijo pridelovalnih praks lahko neugodne učinke podnebnih sprememb omilimo ali celo izničimo (Shi in sod., 2023). Med pomembnejšimi ukrepi prilagajanja kmetijstva podnebnim spremembam so prakse, s katerimi večamo delež organske snovi v tla (Trivedi in sod., 2018). A tudi pravilna uporaba N iz mineralnih gnojil kaže pomembno vlogo pri prilagajanju podnebnim spremembam in doseganju zadovoljivih pridelkov v spremenjenih podnebnih razmerah (Shi in sod., 2023). Izziv pri preučevanju učinkov gnojilnih praks na stabilnost pridelave je v dolgoročnem spremljanju. Za preučevanje so ključni večletni poskusi, ki potekajo po minimalno spremenjenih metodah daljše obdobje (Onofri in sod., 2016, Körschens in sod., 2013). V Sloveniji sta že od leta 1993 v teku dva večletna poskusa po metodologiji IOSDV (mednarodni trajni poskusi z organskim dušikom), ki jih je zasnoval prof. dr. Anton Tajnšek (Tajnšek, 2003). Rezultate teh poskusov do leta 2010 so med drugim objavili Tajnšek in sod. (2013a in 2013b), medtem ko so rezultati vzorčenja tal iz leta 2021 objavljeni v delu Kolmaniča in sod. (2022).

Cilj prispevka je predstaviti rezultate raziskave o vplivih uporabe organskih gnojil (zaoravanje hlevskega gnoja in zaoravanje žetvenih ostankov v primerjavi s postopkom brez gnojenja in odstranitvijo žetvenih ostankov) v kombinaciji z različnimi količinami dušika iz mineralnih gnojil na pridelke koruze in ozimne pšenice. Rezultati temeljijo na 30-letnih IOSDV poskusih, ki jih izvajamo v Jabljah in Rakičanu.

2 MATERIAL IN METODE DELA

Trajna poskusa IOSDV potekata v Rakičanu (severovzhodna Slovenija, 46°39'N, 16°11'E, nadmorska višina 186 m) in Jabljah (46°08'35.7"N 14°33'23.6"E, nadmorska višina 304 m). V Rakičanu je dolgoletno povprečje temperatur (1981–2020) 10,4 °C, dolgoletno letno povprečje padavin pa 807 mm. Povprečna dolžina rastne dobe je 246 dni (1981–2010). Tla spadajo med izprana rjava tla s prevladujočo teksturo ilovnati pesek. V Jabljah je dolgoletno povprečje temperatur (1981–2020) 9,5 °C, dolgoletno letno povprečje padavin pa 1352 mm. Povprečna dolžina rastne dobe v obdobju 1981–2010 je bila 258 dni. Tla spadajo v tip psevdoglejenih tal s prevladujočo teksturo ilovnati melj. Kolobar na trajnih poskusih sestavljajo koruza, ozimna pšenica in ozimni ječmen (Rakičan) ali oves (Jablje). Poskus je zasnovan tako, da je vsaka od

navedenih poljščin posejana vsako leto na eni izmed treh osnovnih parcel (A, B in C). Osnovna parcela se deli na dve pod-parceli, vsaka je dolga 90 metrov in široka 5 metrov. Gnojilni postopki so razporejeni na pod-parcelah, velikost vsakega postopka je 30 m² (5 × 6 m).

Glavna preučevana dejavnika sta gnojenje z organskimi gnojili in gnojenje z dušikom (N) iz mineralnih gnojil. Gnojilni postopki vključujejo kontrolo brez gnojenja z organskimi gnojili in odstranitvijo žetvenih ostankov (sistem A), gnojenje s hlevskim gnojem v količini 30 t/ha vsako tretje leto (sistem B), ter vsakoletno zaoravanje žetvenih ostankov poljščin in prezimnega dosevka vsako tretje leto (sistem C). Z N iz mineralnih gnojil gnojimo v štirih odmerkih, označenih z N0 (kontrola), N1, N2 in N3. Postopki gnojenja z organskimi in mineralnimi gnojili so razporejeni znotraj osnovnih pod-parcel v treh ponovitvah. Zasnovo kolobarja in gnojilnih postopkov prikazujemo v preglednici 1. Dognojevanja z N gnojili potekajo glede na fenološki razvoj posevkov (pri žitih v fazi razraščanja, kolenčenja in klasenja, pri koruzi pred vznikom rastlin in v fazi 4–5 razvitih listov).

Preglednica 1: Zasnova kolobarja in gnojilnih postopkov v večletnih poskusih IOSDV

Gnojilni postopki:	Koruzna	Ozimna pšenica	Ozimni ječmen / jari oves
Količina dodanega N (kg/ha) z mineralnimi gnojili			
Sistem A: brez gnojenja z organskimi gnojili in odstranitev žetvenih ostankov			
A–N0	0	0	0
A–N3	300	195	165
Sistem B: 30 t/ha hlevskega gnoja pred koruzo (vsako tretje leto)			
B–N0	0	0	0
B–N1	100	65	55
B–N2	200	130	110
B–N3	300	195	165
Sistem C ¹: zaoravanje rastlinske biomase (žetveni ostanki ter zeleno gnojenje)			
C–N0	0	0	0
C–N1	100	65	55
C–N2	200	130	110
C–N3	300	195	165

¹ Pri oranju za setev naslednje poljščine v tla zadelamo žetvene ostanke (biomaso) predhodne poljščine (pred setvijo ozimne pšenice zaorjemo koruznico, pred setvijo ječmena/ovsa zaorjemo pšenično slamo, po pravilu pridelka ječmena/ovsa zaorjemo ječmenovo/ovseno slamo in nato posejemo oljno redkev, ki jo v tla zaorjemo pri osnovni obdelavi za setev koruze).

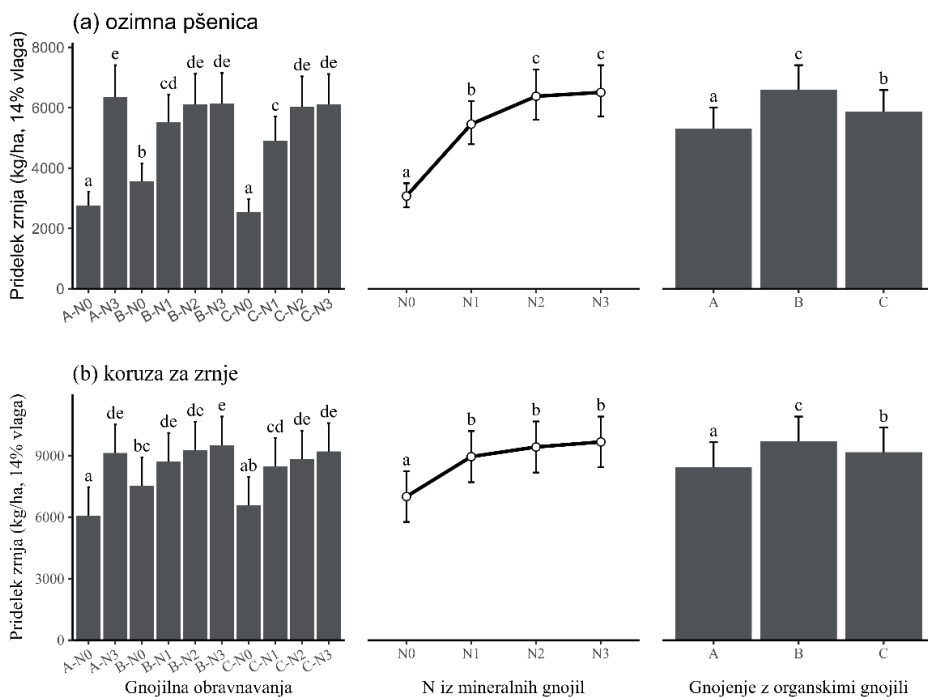
Obdelava tal v poskusu je konvencionalna z vsakoletnim oranjem do globine 25 cm. Gnojenje s fosforjem in kalijem je enako za vse parcele. Na poskusih vsako leto vzorčimo pridelke poljščin s parcelnim kombajnom Wintersteiger. Pri ozimni pšenici pridelek vzorčimo na površini 7,5 m² (1,25 × 6 m) vsake posejane parcelice, pri koruzi pa vzorčimo dve sredinski vrsti na površini 9,8 m² (1,4 × 7 m) na vsaki posejani parcelici. Po žetvi izmerimo vlago zrnja z uporabo laboratorijskega merilnika vlage Perten. Vsi pridelki v tem prispevku so preračunani na 14% vlažnost. Statistično analizo smo naredili z mešanim linearnim modelom, kjer je bil dejavnik »gnojenje« kot fiksni dejavnik, dejavnika »leto« in »ponovitev«, ter njuni interakciji pa kot naključna dejavnika. Zaradi nepopolne zasnove poskusa smo statistično analizo naredili posebej za gnojilne postopke (kombinacija gnojenja z organskimi gnojili in N iz mineralnih gnojil), N odmerke ter gnojenje z organskimi gnojili. Dejavnik »sorta« smo iz modela odstranili,

ker ni imel pomembnega vpliva na izračune. Kjer je model pokazal prisotnost značilnih razlik ($p \leq 0,05$), smo razlike med gnojilnimi postopki ločili z uporabo Tukey HSD testa ($\alpha \leq 0,05$).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Rakičan

Povprečne pridelke zrnja ozimne pšenice in koruze v 30-ih letih trajanja poskusa v Rakičanu prikazujemo na sliki 1. Povprečni pridelki ozimne pšenice so bili med 2546 kg/ha (C-N0) in 6358 kg/ha (A-N3). Med gnojilnimi postopki z N2 in N3 odmerki N iz mineralnih gnojil nismo opazili značilnih razlik, ne glede na kombinacijo z gnojenjem z organskimi gnojili (pridelki med 6039 kg/ha in 6358 kg/ha). Značilno najmanjša pridelka pšenice sta pri A-N0 (2546 kg/ha) ter C-N0 (2754 kg/ha), pridelek pri uporabi samo hlevskega gnoja (B-N0) pa se je značilno razlikoval od njiju. Analiza vpliva N iz mineralnih gnojil kaže, da so pridelki zrnja značilno naraščali do odmerka N2 (slika 1).



Slika 1: Povprečni pridelki zrnja ozimne pšenice (a) in koruze (b) glede na različne gnojilne postopke večletnega poljskega poskusa IOSDV v Rakičanu v letih 1993–2023. Za podrobnosti o gnojilnih postopkih glej preglednico 1.

Nadaljnje povečanje količine N ni povečalo pridelka pšenice, kar kaže, da je optimalen odmerek N v razmerah poskusa v Rakičanu nekje med N1 in N2 (med 65 in 130 kg N na ha). Med gnojenjem z N iz mineralnih gnojil in pridelkom pšenice je tudi srednje močna kvadratna regresija ($R^2=0,51$). Gnojenje z organskimi gnojili je povečalo pridelok pšenice. Največji je bil

pri uporabi hlevskega gnoja vsako tretje leto (sistem B, 5211 kg/ha), značilno najmanjši pa pri postopku, kjer odstranjujemo vso nadzemno biomaso (sistem A, 4185 kg/ha).

Povprečne pridelke koruze za zrnje prikazujemo na sliki 1. Pridelki so se gibali med 6079 kg/ha (A-N0) in 9520 kg/ha (B-N3). Med gnojilnimi postopki B-N1, C-N2, A-N3, C-N3 B-N2, B-N3 ni bilo značilnih razlik (pridelek med 8723 kg/ha in 9520 kg/ha). Analiza vpliva N iz mineralnih gnojil kaže, da so pridelki zrnja značilno naraščali samo do odmerka N1. To nakazuje, da je vpliv N iz mineralnih gnojil na pridelek koruze v Rakičanu manj izrazit kot pri pšenici. Povečevanje količine N iz mineralnih gnojil iz N1 na N2 in N3 je pridelek povečalo le za približno 600 kg, kar verjetno ne upraviči dodatnega stroška mineralnih gnojil. Med gnojenjem z N iz mineralnih gnojil in pridelkom koruze kvadratna povezava ne kaže pomembnejše povezave ($R^2=0,13$). Primerjava postopkov gnojenja z organskimi gnojili kaže značilno najmanjše pridelke pri postopku z odstranjevanjem nadzemne biomase (sistem A, 7605 kg/ha), največje pa pri uporabi hlevskega gnoja vsako tretje leto (sistem B, 8758 kg/ha).

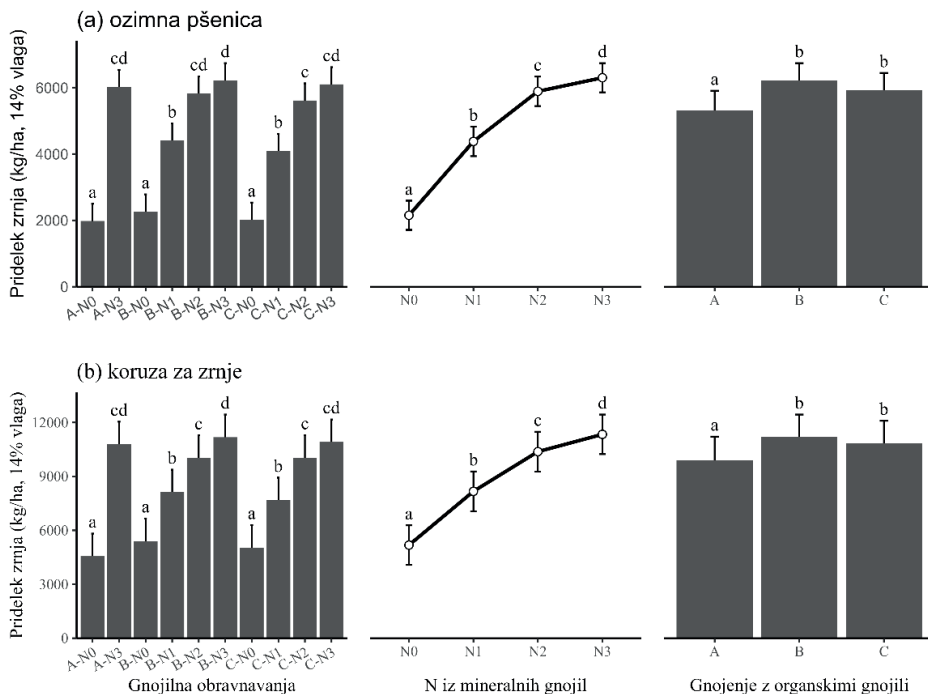
Uporaba hlevskega gnoja je ugodno vplivala na pridelke zrnja obeh poljščin. Ugoden vpliv gnojenja s hlevskim gnojem je opazen tudi pri pšenici, torej v drugem letu po gnojenju (slika 1). Učinek zaoravanja žetvenih ostankov (sistem C) na pridelek je bil v povprečju za približno tretjino manjši od učinka gnojenja s hlevskim gnojem (sistem B). Pri postopku brez gnojenja z mineralnimi gnojili so bile razlike v učinku še večje (približno štirikrat). Opaženo bi lahko bilo povezano s C/N razmerjem dodane organske snovi, saj je to razmerje v hlevskem gnoju ugodnejše in je zato N hitreje dostopen rastlinam, obenem pa tudi spodbuja talne mikroorganizme in mineralizacijo talne organske snovi. Razlik ni mogoče pojasniti z razlikami v vnosu N z živinskimi gnojili, saj je ocenjena količina vnosa podobna tisti iz žetvenih ostankov, ki so pri postopku C ostali na njivi, pri postopku B pa so bili odstranjeni.

V opazovanem obdobju 1993–2023 se je pridelek ozimne pšenice in koruze za zrnje povečal pri vseh kombinacijah gnojenja z organskimi gnojili in dodanim N iz mineralnih gnojil v odmerkih N1–N3 (sistema B in C). Tudi pri uporabi samo N iz mineralnih gnojil (A–N3) se nakazuje povečanje pridelkov v 30-ih letih poskusa. Pri pšenici je letna sprememba pridelka med -3 kg/ha (C–N0) in 126 kg/ha (B–N3), pri koruzi pa med -28 kg/ha (A–N0) in 84 kg/ha (B–N3). Opaženo povečanje pridelka bi lahko bilo deloma povezano tudi s povečanjem organske snovi v tleh v tem obdobju pri omenjenih gnojilnih postopkih (Kolmanič in sod., 2021). V primerjavi z obdobjem 1993–2000 opazimo v letih 2010–2023 večja medletna nihanja v pridelkih koruze, kar pripisujemo neugodnim vremenskim razmeram v posameznih letih (pojavo suš ali vročinskih valov). V tem obdobju smo imeli tudi več zaporednih let z največjimi pridelki v celotnem trajanju poskusa. Rezultati torej kažejo na trend povečevanja pridelka koruze ob velikih medletnih razlikah (izmenjujoče se dobre in slabe letine).

3.2 Jablje

Povprečne pridelke zrnja ozimne pšenice in koruze za zrnje v 30-ih letih trajanja poskusa v Jabljah prikazujemo na sliki 2. Pridelki ozimne pšenice so bili med 1984 kg/ha (A–N0) in 6221 kg/ha (B–N3). Največji pridelki so bili doseženi pri načinih C–N2, B–N2, A–N3, C–N3 in B–N3 (med 5613 kg/ha in 6221 kg/ha), med njimi ni bilo značilnih razlik. Značilno najmanjši pridelki pšenice so bili pri A–N0 (1984 kg/ha), C–N0 (2022 kg/ha) ter B–N0 (2267 kg/ha). Pridelki postopkov brez gnojenja ali zaoravanja žetvenih ostankov (sistem A) kažejo, da je mogoče z zelo velikim odmerkom N iz mineralnih gnojil pridelati enako količino zrnja kot pri postopkih, ki vključujejo tudi gnojenje z organskimi gnojili (slika 2). Med gnojenjem z N iz mineralnih gnojil in pridelkom pšenice je ugotovljena močna kvadratna regresija ($R^2=0,72$). Analiza pridelkov iz Jabelj kaže na večjo odvisnost pridelkov od vnosov N z mineralnimi gnojili kot v poskusu v Rakičanu. Značilno najmanjši pridelki pšenice so bili doseženi pri postopku brez

gnojenja z organskimi gnojili in z odstranjevanjem žetvenih ostankov (sistem A, 4002 kg/ha). Med postopkom z uporabo hlevskega gnoja vsako tretje leto (sistem B, 4686 kg/ha) in zaoravanjem žetvenih ostankov (sistem C, 4464 kg/ha) ni bilo značilnih razlik (slika 2).



Slika 2: Povprečni pridelki zrna ozimne pšenice (a) in koruze (b) glede na gnojilne postopke večletnega poljskega poskusa IOSDV v Jabljah v letih 1993–2023. Za podrobnosti o gnojilnih postopkih glej preglednico 1.

Pridelki koruze za zrnje so bili med 4564 kg/ha (A-N0) in 11186 kg/ha (B-N3). Največji so pri načinih A-N3, B-N3, C-N3, med njimi ni značilnih razlik (pridelek med 10030 kg/ha in 10912 kg/ha), prav tako ni značilnih razlik med B-N2, C-N2, A-N3 in C-N3 (slika 2). Značilno najmanjši pridelki so pri A-N0, C-N0 in B-N0 (med 4564 kg/ha in 5406 kg/ha). Analiza gnojenja z N iz mineralnih gnojil kaže značilno povečanje pridelkov koruze do največjega odmerka N3 (10962 kg/ha, slika 2). Skoraj linearno povečanje nakazuje, da bi z nadaljnjim večanjem količine N iz mineralnih gnojil pridelek še naraščal. Med gnojenjem z N iz mineralnih gnojil in pridelkom koruze je srednje močna kvadratna regresija ($R^2=0,49$). Primerjava načinov gnojenja z organskimi gnojili kaže, da med uporabo hlevskega gnoja vsako tretje leto (sistem B, 8686 kg/ha) in zaoravanjem žetvenih ostankov (sistem C, 8416 kg/ha) ni bilo značilnih razlik (slika 2). Značilno manjši pridelki so bili doseženi pri postopkih z odstranjevanjem nadzemne biomase (sistem A, 7676 kg/ha). Ugoden vpliv gnojenja s hlevskim gnojem se kaže tudi v drugem letu po njegovem dodajanju, pri ozimni pšenici (slika 2).

Večletni rezultati v Jabljah nakazujejo povečanje pridelka ozimne pšenice pri vseh kombinacijah gnojenja z organskimi gnojili (sistem B in sistem C) in dodanim N iz mineralnih gnojil v odmerkih N1-N3. Linearna regresijska analiza časovne vrste kaže letno spremembo

pridelka med -4 kg/ha (C-N0) in 39 kg/ha (B-N3). Pri koruzi je letna variabilnost pridelkov večja, kar vpliva na trende. Linearna regresijska analiza kaže letno spremembo pridelka med -39 kg/leto (C-N1) in 54 kg/leto (B-N3). Na večanje pridelka koruze vpliva samo kombinacija hlevskega gnoja in N1-N3 odmerki N iz mineralnih gnojil. Opaženo je verjetno povezano s talnimi in klimatskimi značilnostmi Jabelj in se precej razlikuje od opaženih trendov v Rakičanu.

4 SKLEPI

Analiza odziva pridelka ozimne pšenice in koruze za zrnje temelji na 30-letnih poskusih IOSDV. Rezultati predstavljeni v tem prispevku izvirajo iz verjetno najdaljše serije podatkov poljskega preizkušanja po nespremenjeni metodologiji pri nas in kažejo na pomembne razlike v pridelku in odzivu pridelka na gnojilne postopke med lokacijama. Odziv na dodani N v Jabljah se razlikuje od odziva v poskusu v Rakičanu, kjer so pridelki koruze značilno naraščali samo do odmerka N1, nadaljnje povečanje N pa je imelo le majhno in neznatno povečanje pridelka. V primerjavi z Jabljami so za Rakičan značilni večji pridelki pšenice in koruze pri postopkih brez gnojenja z mineralnimi gnojili. Na drugi strani je v Jabljah pridelek koruze v večji korelaciji z dodanim N iz mineralnih gnojil kot v Rakičanu. Pridelki ozimne pšenice so si med lokacijama podobni, a je za enako količino pridelka v Jabljah potrebna približno za eno stopnjo večja količina N iz mineralnih gnojil. Pri koruzi je v Jabljah z dodanim N pridelek naraščal skoraj linearno in je verjetno še potencial za povečanje pridelka z odmerki večjimi od N3, medtem ko je v Rakičanu maksimalni pridelek dosežen pri N1-N2 odmerkih. Kombinacije N iz mineralnih gnojil in gnojenja z organskimi gnojili so ugodne na obeh lokacijah. Gnojenje s hlevskim gnojem (sistem B) je na obeh lokacijah najbolj ugodno vplivalo na povečanje pridelka, v Jabljah pa je ugodno tudi zaoravanje žetvenih ostankov in občasna setev dosevka (sistem C). Časovni trendi nakazujejo povečanje pridelka pšenice na obeh lokacijah pri uporabi samo hlevskega gnoja (B-N0) in pri vseh kombinacijah gnojenja z organskimi gnojili ter odmerki N1-N3, vendar je v Jabljah povečanje pri pšenici v enakem obdobju približno trikrat manjše kot v Rakičanu. Časovni trendi za obdobje 1993–2023 kažejo, da pri koruzi v Rakičanu pridelek narašča v vseh gnojilnih kombinacijah z izjemo A-N0 in C-N0. V Jabljah pa pridelek narašča samo v kombinacijah gnojenja s hlevskim gnojem in N iz mineralnih gnojil ter pri vseh gnojilnih postopkih z N3 odmerkom.

Zahvala. Raziskava je sofinancirana v okviru programa Javnih služb v poljedelstvu, ki ga financira Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, programske skupine Agrobiodiverziteta (P4-0072), ki jo sofinancira Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS, ter iz sredstev evropskega programa Interreg Srednja Evropa 2021–2027 s številko pogodbe CE0100255 (projekt z akronimom Carbon Farming CE). Za pomoč pri vzdrževanju in vzorčenju večletnih poskusov IOSDV se zahvaljujemo številnim sodelavcem Kmetijskega inštituta Slovenije.

5 LITERATURA

- Körschens, M., Albert, E., Armbruster, M., Barkusky, D., Baumecker, M., Behle-Schalk, L., Bischoff, R., Čergan, Z., Ellmer, F., Herbst, F., Hoffmann, S., Hofmann, B., Kismanyoky, T., Kubat, J., Kunzova, E., Lopez-Fando, C., Merbach, I., Merbach, I., Pardor, T. M., Rogasik, J., Rühlmann, J., Spiegel, H., Schulz, E., Tajnsek, A., Toth, Z., Wegener, H., Zorn, W. 2013. Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59, 8: 1017–1040.
- Onofri, A., Seddaiu, G., Piepho, H. P. 2016. Long-term Experiments with cropping systems: Case studies on data analysis. *European Journal of Agronomy*, 77: 223–236.

- Tajnšek, A. 2003. Namen in cilj trajnih poljskih poskusov IOSDV Jablje in IOSDV Rakičan. V: Tajnšek, A. (ur.), Čeh, B. B. (ur.), Kocjan Ačko, D. Deset let trajnih poskusov IOSDV v Sloveniji, Jablje in Rakičan 1933–2003. Zbornik posveta. Slovensko agronomsko društvo: 25–34.
- Tajnšek, A., Čergan, Z., Čeh, B. 2013a. Results of the long-term field experiment IOSDV Rakičan at the beginning of the 21st century. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59, 8: 1109–1119.
- Tajnšek, A., Čergan, Z., Čeh, B. 2013b. Results of the long-term field experiment IOSDV Jablje at the beginning of the 21st century. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59, 8: 1099–1108.
- Kolmanič A., Žnidaršič Pongrac V., Verbič J. Dolgoročni učinek različnih kmetijskih praks na zaloge organskega ogljika v njivskih tleh. V: Čeh in sod. (ur.). *Novi izzivi v agronomiji 2021 (New challenges in agronomy 2021)*. Zbornik simpozija. Slovensko agronomsko društvo: 12–18.
- Wade J., Culman S.W., Logan J.A.R., Poffenbarger H., Demyan M.S., Grove, J.H., Mallarino, A.P., McGrath J.M., Ruark M., West J.R. 2020. Improved soil biological health increases corn grain yield in N fertilized systems across the Corn Belt. *Scientific Reports*, 10: 3917.
- Shi X., Chai N., Wei Y., Qin R., Yang J., Zhang M., Li F.M., Zhang F. 2023. Harmonizing manure and mineral fertilizers can mitigate the impact of climate change on crop yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 352: 108526.
- Trivedi P., Singh B.P., Singh B.K. 2018. Chapter 1 - Soil Carbon: Introduction, Importance Status, Threat, and Mitigation. V: Singh B.K. (ur.). *Soil Carbon Storage*. Academic Press: 1-28.
- Grigorieva E., Livenets A., Stelmakh, E. 2023 *Adaptation of Agriculture to Climate Change: A Scoping Review*. *Climate*, 11: 202.

Vpliv biorazgradljivih zastirnih folij na razvoj in pridelek bučke

Kristina UGRINOVIC¹¹⁶

Izvleček

Folije za zastiranje tal nadomeščajo herbicide, lahko ogrejejo tla in zmanjšajo izgube vode. Ker so folije iz nerazgradljivih materialov okoljsko problematične, se uveljavljajo folije iz biorazgradljive (BR) plastike. Od 2022 do 2024 smo v Jabljah in na Ptuj pri pridelavi bučke štiri BR folije primerjali z nepokritimi tlemi in polietilensko (PE) folijo. Spremljali smo temperaturo in vlago tal, začetni razvoj rastlin in pridelek. Ugotavljamo, da BR folije pri pridelavi bučke večinoma ustrezno zadržijo plevel, a so v določenih okoliščinah pri tem manj uspešne od PE folije. V vseh poskusih so se v prvih tednih po presajanju najpočasneje razvijale rastline na nepokritih tleh in najhitreje rastline na PE foliji. Razvoj na BR folijah je bil enak tistemu na PE foliji, ali pa nekoliko počasnejši. V prvih dveh tednih smo v vseh poskusih najmanj pridelka pobrali na nepokritih tleh in največ na PE foliji. Na BR folijah je bil zgodnji pridelek bodisi nekoliko nižji, bodisi enak, kot na PE foliji. V nadaljnjih pobiranjih se pridelek med obravnavanji večinoma ni razlikoval. Pridelek v celotnem obdobju pobiranja se med postopki bodisi ni razlikoval, bodisi je bil na nepokritih tleh manjši, kot na PE ali BR folijah.

Ključne besede: biorazgradljiva plastika, polietilen, prekrivanje tal, zelenjadnice, *Cucurbita pepo*

The effect of biodegradable mulching films on development and yield of zucchini

Abstract

Mulching films are successfully replacing herbicides, may warm the soil, and reduce water losses. Since films made of non-degradable materials are environmentally problematic, films made from biodegradable (BD) plastic are gaining ground. From 2022 to 2024, in Jablje and Ptuj (Slovenia), four BD foils were compared with uncovered soil and polyethylene (PE) foil in zucchini crop. Soil temperature and moisture, initial plant development and yield were monitored. BR foils adequately suppressed weeds in zucchini crop, although in some circumstances they are less successful than PE foil. In all experiments, in the first weeks after transplanting, the plants on the uncovered soil developed the slowest and the plants on the PE film the fastest. Development on BR foils was between PE foil and bare soil, or did not differ from PE foil. In the first two weeks, in all experiments, the lowest yield was harvested on the uncovered plots and the highest on the plots with PE film. On BR foils, the early yield was either slightly lower or the same as on PE foil. In subsequent harvests, the yield generally did not differ between treatments. The yield of the entire harvest period was either not different between treatments or was lower on uncovered soil than on PE or BR films.

Keywords: biodegradable plastic, polyethylene, soil foil, vegetables, *Cucurbita pepo*

1 UVOD

Za zastiranje tal je, še posebej pri pridelavi zelenjadnic, razširjena uporaba folij na osnovi polietilena (PE). Ob koncu rastne sezone je potrebno PE zastirko pospraviti s polja in jo na okoljsko ustrezen način odložiti, s čimer nastanejo dodatni stroški. Recikliranje nerazgradljivih zastirnih materialov je lahko zahtevno in, zaradi ostankov tal ter včasih tudi fitofarmaceutskih sredstev, problematično. V nekaterih primerih zastirke ali njihovi deli ostanejo na poljih, so odložene v naravo, ali jih kurijo, kar predstavlja veliko breme za okolje. Kopičenje ostankov folije v kmetijskih tleh lahko negativno vpliva tudi na rodovitnost tal (npr. Wang in sod., 2022). Kot alternativa PE folijam se uveljavljajo folije iz biorazgradljive (BR) plastike, ki se s pomočjo gliv in bakterij v celoti razgradijo do vode, CO₂, metana, energije ter mikrobne biomase

¹¹⁶ Dr., Kmetijski inštitut Slovenije, e-pošta: kristina.ugrinovic@kis.si

Pravilno uporabo BR folij, še posebej tistih iz obnovljivih bioloških virov, ki morajo biti iz popolnoma razgradljivih materialov, in ne smejo škodljivo vplivati na ljudi in okolje, podpirata tudi EU parlament (2021) in FAO (2021). Te folije se, ob pričakovanju, da jih bodo talni mikroorganizmi razgradili in uporabili, po spravi pridelka zadela v tla. Zahteve za folije, ki so namenjene zadelavi v tla, med drugimi določata Evropski standard EN 17033 (2018) in certifikacijska shema TÜV Austria OK10-e (2012) »OK biodegradable SOIL«.

Ob upoštevanju vseh stroškov (folija, odstranjevanje, odlaganje) so stroški uporabe BR folij primerljivi s stroški PE folije (Zagorc in Ugrinović, 2023). Različni avtorji poročajo, da so pri uporabi BR folij v različnih posevkih učinki zadrževanja plevela in velikost pridelka podobni kot pri PE foliji (npr. Miles in sod., 2012; Wortman in sod., 2016, di Mola in sod., 2019).

Namen raziskave je bil preveriti primernost biorazgradljivih zastirnih folij, ki so na voljo na trgu EU, za pridelavo bučke v agroekoloških pogojih Slovenije.

2 MATERIAL IN METODE DELA

2.1 Zastirne folije

Podrobnejši podatki o folijah, ki so bile vključene v preskušanja, so zbrani v preglednici 1. V preskušanja smo, ob dveh kontrolnih obravnavanjih (nepokrita tla in tla pokrita s PE folijo), vključili še 4 BR folije (Ecopac, Multibio, Ecotelo in Bionov). Vse folije so bile črne barve. Prve tri BR folije so v ponudbi tudi na slovenskem trgu, folijo Bionov pa smo naročili iz Francije. Preskušane BR folije so izdelane na osnovi dveh osnovnih polimerov, od katerih je en (Ecovio M2351) narejen na osnovi mešanice fosilnih in bioloških virov in drugi (Mater-Bi EF04P) na osnovi bioloških virov. Vse BR folije imajo tudi enega od certifikatov za polimer, folijo ali za oba produkta, kar potrjuje razgradljivost v tleh v laboratorijskih pogojih.

Preglednica 1: Podatki o zastirnih folijah, vključenih v preskušanja

Zastirna folija			Osnovni material			Certifikat
trgovsko ime	debelina (µm)	dobavlja / proizvajala	trgovsko ime	sestava*	proizvajala	folija/osnovni material
BIORAZGRADLJIVA FOLIJA						
Ecopac bio, črna	15	Predikat / Guarniflon S.p.A. PATI Division	Mater-Bi EF04P	TPS + dodatki	Novamont	DIN CERTCO (EN 17033) / DIN CERTCO (EN 17033)
Multibio, črna	15	Maservice / Eiffel	Ecovio M2351	PBAT + PLA + dodatki	BASF	TÜV »OK biodegradable SOIL« / TÜV »OK biodegradable SOIL«
Ecotelo, črna	15	Agraria Koper/Filnova	Ecovio M2351	PBAT + PLA + dodatki	BASF	? / TÜV »OK biodegradable SOIL«
Bionov, črna	15	- / Barbier	Mater-Bi EF04P	TPS + dodatki	Novamont	DIN CERTCO (EN 17033) / DIN CERTCO (EN 17033)
KONTROLNI OBRAVNAVANJI						
PE, Nero, črna	40	Maservice/Eiffel	—	LDPE		
Nepokrita tla	-	-	-	-	-	

* podatki so bili pridobljeni s spleta; PBAT=polibutilen adipat tereftalat (fosilni viri), PLA=polimlečna kislina (biološki viri); TPS=termoplastični škrob (biološki viri), LDPE=polietilen nizke gostote (fosilni viri)

2.2 Zasnova in izvedba poljskih poskusov

Poljske poskuse smo izvedli na površinah Kmetijskega inštituta Slovenije v treh zaporedni letih in sicer 2022 v Jabljah, 2023 na Ptuj in 2024 ponovno v Jabljah. Poskusni lokaciji se razlikujeta predvsem v lastnostih tal. Tla v Jabljah so rjava, globoka, nekoliko oglejena, ilovnato-meljaste teksture, tla na Ptuj pa so rjava plitva, prodnata, peščeno-ilovnate teksture.

Pridelava je potekala v skladu z uveljavljeno prakso. Podatki za ključne agrotehnične ukrepe so zbrani v preglednici 2. Poskusne površine so bile jeseni preorane. Pred spomladansko obdelavo, ki je obsegala dopolnilno obdelavo s prekopalnikom, oblikovanje dvignjenih gred (le v Jabljah) in polaganje folij, so bila tla pognojena s peletiranim organskim gnojilom in mineralnimi gnojili (KAN in K sulfat). Zaradi prekomerne založenosti s fosforjem na obeh lokacijah, tega hranila z mineralnimi gnojili nismo dodajali. Folije smo polagali strojno na razdaljo 1,8 m, na vsako gredo je bila po sredini položena namakalna cev. Oskrba je vključevala namakanje, pletje (predvsem na nepokritih tleh), oskrbo prostora med folijami (herbicide in polaganje slame), dognojevanje z N, odstranjevanje posameznih virotičnih rastlin in varstvo zaradi pojava pepelaste plesni.

Sadike bučke hibridne sorte Tarmino (HM Clause) smo vzgojili v ogrevanem plastenjaku v Jabljah. Sejali smo v polistirenske setvene pladnje s 40 setvenimi lončki, napolnjenimi s šotnim setvenim substratom (Klasmann H). Do presajanja smo sadike redno zalivali. Ko so imele 2 do 3 liste, smo jih ročno presadili. Sadili smo po eno vrsto na gredo (folijo), na razdaljo 50 cm v vrsti. Gostota je bila 10.000 rastlin na ha.

Poskusi so bili zasnovani v štirih ponovitvah z naključnim razporedom obravnavanj. Velikost posamezne parcelice je bila 27 m² (15 m dolžine grede), vsa opazovanja in meritve smo izvedli na srednjih petih metrih vsake parcelice (10 rastlinah).

Preglednica 2: Ključni agrotehnični ukrepi v poskusih z biorazgradljivimi zastirnimi folijami

	Jablje 2022	Ptuj 2023	Jablje 2024
Predposevek	detelja	ajda	koruza
Gnojenje osnovno	Fertildung Stallatico 1,5 t/ha, 81 kg/ha N, 150 kg/ha K ₂ O	Plantella Organic 2,5 t/ha, 108 kg/ha N, 300 kg/ha K ₂ O	Fertildung Stallatico 2,5 t/ha
dognojevanje	40,5 kg/ha N (5. 7.)	50 kg/ha N (20. 7.)	80 kg/ha N (18. 7.)
Datumi:			
setev	15. 4.	18. 4.	18. 4.
polaganje folij	5. 5.	10. 5.	11. 5.
presajanje	5. 5.	19. 5.	13. 5.
meritve rastlin	24. 5. in 31. 5.	2. 6. in 9. 6.	29. 5. in 6. 6.
začetek pobiranja	6. 6.	13. 6.	14. 6.
zaključek pobiranja	26. 8.	1. 9.	2. 9.

2.3 Spremljanje okoljskih parametrov, meritve rastlin in vrednotenje pridelka

V vseh treh poskusih smo v vsakem obravnavanju (z izjemo folije Ecopac v Jabljah 2022 in folije Multibio na Ptuj 2023) v eni od ponovitev s senzorji Sentek Drill & Drop triscan vsako uro spremljali temperaturo in vlago tal na vsakih 10 cm v globinah 0–50 cm.

V začetku vegetacije, med 2. in 4. tednom po presajanju, smo na vsaki parcelici desetim rastlinam v razmaku 7 do 8 dni 2-krat prešteli število listov in izmerili širino rastline (grma).

Od pojava prvih plodov do konca avgusta oziroma začetka septembra smo plodove pobirali 3-krat tedensko. Ob vsakem pobiranju smo plodove razvrstili skladno s tržnim standardom UNECE FFV-41 (2010) v tržne razrede (ekstra, I. in II. razred ter odpad), jih prešteli in stehtali.

2.4 Statistična obdelava podatkov

Zbrane podatke o razvoju rastlin in pridelku smo za vsak poskus posebej statistično ovrednotili s programom Statgraphics Centurion XVI (Statgraphics Centurion, 2009) z enostavno analizo variance (ANOVA). Statistično značilnost razlik med povprečji posameznih postopkov smo določili z Duncanovim testom. Vsa testiranja smo opravili pri 95 % zaupanju ($p < 0,05$).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

Pri bučki, ki z velikimi listi relativno hitro zastre tla, je za zadrževanje plevelne vegetacije najbolj kritično začetno obdobje rasti v času petih do šestih tednov po presajanju. Na podlagi izkušenj, pridobljenih iz vseh treh poskusov z bučko, ugotavljamo, da BR folije pri pridelavi bučke večinoma ustrezno zadržijo rast plevelov, čeprav je ob nekaterih okoliščinah uspeh pri tem manjši kot pri PE foliji. Pokazalo se je, da nekateri ozkolistni pleveli, še posebej užitna ostrica (*Cyperus esculentus*), ki je razširjena na poskusnih površinah v Jabljah, BR folije hitro prebodejo. Ob daljših obdobjih mokrega vremena (npr. v letu 2023) so BR folije slabše obstojne - zlasti na mestih, kjer zastaja voda, začnejo razpadati. Da imajo lahko padavine pri razgradnji BR folij večji vpliv kot temperatura in sončno obsevanje, so opazili tudi Miles in sodelavci (2012).

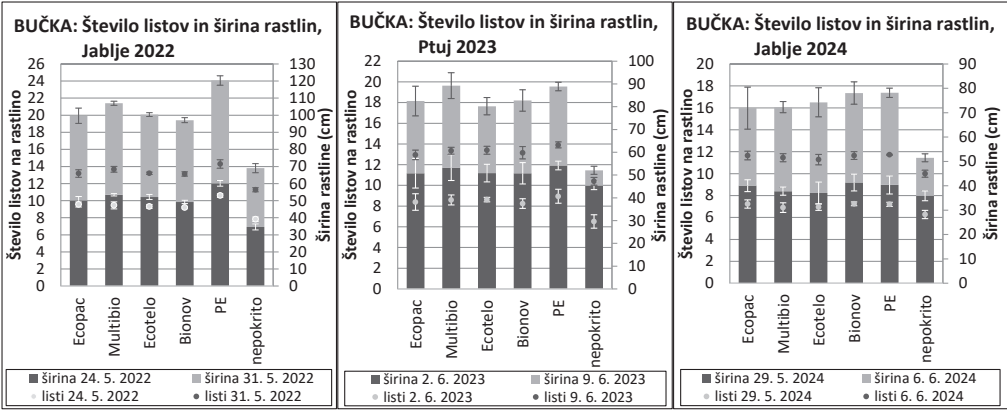
3.1 Temperatura in vlaga tal

Meritve temperature tal (podatki niso prikazani) so pokazale, da je v začetnem obdobju rasti, ko listi bučke še ne zastirajo tal, povprečna dnevna temperatura tako na površini tal kot v globini 10 cm po navadi najvišja pri PE foliji in najnižja pri nepokritih tleh, so pa dnevna nihanja temperature največja pri nepokritih tleh. Ko rastline tla zastrejo, so razlike manjše. Podobno se je pokazalo tudi v poskusih s paradižnikom na prostem v Španiji (Moreno in Moreno, 2008), kjer so na globini 10 cm prav tako izmerili najnižje temperature tal pri nepokritih tleh, najvišje na tleh, pokritih s PE folijo, medtem ko so bile temperature pod BR folijo nekoliko nižje kot pri PE foliji. Tudi v poskusih s kumaro na prostem in v tunelu v ZDA (država Illinois) so bila tla, prekrita z BR folijo, v prvem mesecu po presajanju, na globini 5 cm toplejša od nepokritih tal (Wortman in sod., 2016).

Meritve vlage tal (podatki niso prikazani) kažejo, da različne zastirne folije vplivajo tudi na ta parameter. Mokra tla se najpočasneje sušijo, če so prekrita s PE folijo, najhitreje pa, če niso prekrita. Padavine najslabše namočijo tla pod PE folijo, medtem ko BR folije ob padavinah prepustijo več vode kot PE folija. Količina vlaga v tleh pod BR folijami je med tisto na nepokritih tleh in tisto na tleh, pokritih s PE folijo. Da je vlažnost tal pod BR folijo večja kot na nepokritih tleh, navajajo tudi Wortman in sodelavci (2016), ki so meritve opravili v nasadu kumare.

3.2 Rast in razvoj rastlin

Rezultati meritev rastlin so grafično prikazani na sliki 1, medtem ko je statistična značilnost razlik med postopki v preglednici 3. V vseh treh poskusih so se v prvih tednih po presajanju najpočasneje razvijale rastline na nepokritih tleh in najhitreje rastline na tleh pokritih s PE folijo. Dinamika razvoja rastlin bučke na BR folijah je bil v Jabljah 2022 in na Ptuj 2023 med PE folijo in nepokritimi tlemi, v Jabljah 2024, kjer je bil razvoj rastlin v vseh obravnavanih sicer počasnejši kot v ostalih dveh poskusih, pa se razvoj rastlin na BR folijah ni značilno razlikoval od razvoja na PE foliji. Večje razlike med obravnavanji so bile ugotovljene pri številu listov na rastlino, medtem ko so bile pri širini posameznih rastlin (grmov) razlike manjše oziroma ob prvih meritvah (razen v Jabljah 2022, ko smo prve meritve opravili šele 19. dan po presajanju) statistično neznačilne. Višja temperatura tal na parcelicah, pokritih s folijami, je pri toploljubni rastlini bučke torej pospešila razvoj, še posebej hitreje je bilo nastavljanje listov.



Slika 1: Število listov in širina rastlin v začetnem obdobju rasti pri različnih zastirnih folijah v poskusih 2022 v Jabljah, 2023 na Ptuj in 2024 v Jabljah

Preglednica 3: Statistična značilnost razlik v številu listov (štL) in širini posameznih rastlin (ŠR) v začetnem obdobju rasti pri različnih zastirnih folijah v poskusih 2022 v Jabljah, 2023 na Ptuj in 2024 v Jabljah*

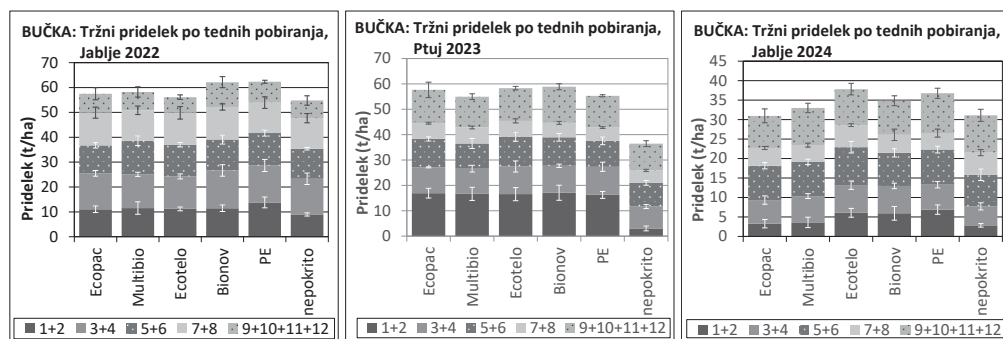
	Jablje 2022				Ptuj 2023				Jablje 2024			
Datum meritev	24. 5.		31. 6.		2. 6.		9. 6.		29. 5.		6. 6.	
Folija	štL	ŠR	štL	ŠR	štL	ŠR	štL	ŠR	štL	ŠR	štL	ŠR
Ecopac	B	BC	B	BC	B	ns	B	B	B	ns	B	B
Multibio	B	D	C	D	BC	ns	BC	B	B	ns	B	B
Ecotelo	B	CD	B	CD	BC	ns	BC	B	B	ns	B	B
Bionov	B	B	B	B	B	ns	B	B	B	ns	B	B
PE	C	E	D	E	C	ns	C	B	B	ns	B	B
Nepokrito	A	A	A	A	A	ns	A	A	A	ns	A	A

* različne črke v posameznem stolpcu pomenijo statistično značilne razlike med obravnavanji; ns pomeni, da razlike med postopki statistično niso bile značilne (Duncan, $p < 0,05$)

3.3 Pridelek

Plodove smo v obeh poskusih v Jabljah (2022 in 2024) začeli pobirati 32. dan po presajanju, medtem ko smo prve plodove v poskusu na Ptuj leta 2023 prvič pobrali 25. dan po presajanju. Na sliki 2 je masa tržnega pridelka prikazana ločeno po tednih pobiranja, statistična značilnost razlik med postopki pa je podana v preglednici 4. V prvih dveh tednih pobiranja smo v vseh poskusih značilno najmanj tržnega pridelka pobrali na nepokritih parcelicah in značilno največ na parcelicah s PE folijo. Tržni pridelek na BR folijah je bil v prvih dveh tednih pobiranja bodisi nekoliko nižji kot na PE foliji (foliji Ecopac in Ecotelo v Jabljah 2022 ter Ecopac in Multibio v Jabljah 2024), bodisi enak kot na PE foliji (foliji Multibio in Bionov v Jabljah 2022, vse BR folije na Ptuj 2023 in foliji Ecotelo in Bionov v Jabljah 2024). V nadaljnjih tednih pobiranja so bile razlike v količini tržnega pridelka med folijami statistično neznačilne. Izjemi sta bila 7. in 8. teden na Ptuj 2023 ter 3. in 4. teden v Jabljah 2024. V slednjem obdobju so se ob sicer počasnejšem razvoju rastlin kot v ostalih dveh poskusih ter posledično nižjih pridelkih, razlike, nakazane v prvih dveh tednih, še bolj izrazile in smo najmanj pridelka pobrali s parcelic brez folije, največ pa s parcelic s PE folijo. Na BR folijah Ecopac in Multibio smo pobrali manj kot na PE foliji, na folijah Ecotelo in Bionov pa pridelek ni bil značilno manjši kot na PE foliji.

Tržni pridelek celotnega obdobja pobiranja se med postopki v obeh poskusih v Jabljah ni značilno razlikoval. V poskusu na Ptuju pa rastline na parcelicah, kjer tla niso bila pokrita s folijo, v kasnejših obdobjih niso uspele nadoknaditi razlik, do katerih je prišlo v začetnem obdobju pobiranja, in je bil tudi tržni pridelek celotnega obdobja pobiranja na teh parcelicah značilno manjši kot na parcelicah, na katerih so bila tla pokrita z različnimi folijami.



Slika 2: Masa tržnega pridelka po tednih pobiranja pri različnih zastirnih folijah v poskusih 2022 v Jabljah, 2023 na Ptuju in 2024 v Jabljah

Preglednica 3: Statistična značilnost razlik v tržnem pridelku po tednih pobiranja in skupno (Σ) pri različnih zastirnih folijah v poskusih 2022 v Jabljah, 2023 na Ptuju in 2024 v Jabljah*

	Jabljje 2022						Ptuj 2023						Jabljje 2024					
Folija	1+2	3+4	5+6	7+8	9+..+12	Σ	1+2	3+4	5+6	7+8	9+..+12	Σ	1+2	3+4	5+6	7+8	9+..+12	Σ
Ecopac	ab	ns	ns	ns	ns	ns	b	ns	ns	bc	ns	b	a	ab	ns	ns	ns	ns
Multibio	bc	ns	ns	ns	ns	ns	b	ns	ns	c	ns	b	a	bc	ns	ns	ns	ns
Ecotelo	ab	ns	ns	ns	ns	ns	b	ns	ns	bc	ns	b	b	cd	ns	ns	ns	ns
Bionov	abc	ns	ns	ns	ns	ns	b	ns	ns	abc	ns	b	b	cd	ns	ns	ns	ns
PE	c	ns	ns	ns	ns	ns	b	ns	ns	ab	ns	b	b	d	ns	ns	ns	ns
Nepokrito	a	ns	ns	ns	ns	ns	a	ns	ns	a	ns	a	a	a	ns	ns	ns	ns

* različne črke v posameznem stolpcu pomenijo statistično značilne razlike med obravnavanji; ns pomeni, da razlike med postopki statistično niso bile značilne (Duncan, $p < 0,05$)

Počasnejši začetni razvoj rastlin se je odrazil tudi na pridelku v prvih tednih pobiranja. Da v humidnih območjih višja temperatura tal pod zastirkami izboljša rodnost rastlin paradižnika so ugotovili tudi Miles in sodelavci (2012), medtem ko statistično značilnih razlik med BR folijami in PE folijo niso izmerili. Minuto in sodelavci (2008) navajajo, da je bil pridelek različnih zelenjadnic (tudi bučke) na BR folijah na osnovi termoplastičnega škroba (TPS) večji kot na nepokritih tleh in da različna debelina folij na pridelek ni vplivala.

4 SKLEPI

Poskusi, v katerih smo ugotavljali uspešnost pridelave bučke ob uporabi različnih folij za zastiranje tal, kažejo da BR folije pri pridelavi bučke večinoma ustrezno zadržijo rast plevla, čeprav so ob nekaterih okoliščinah pri tem manj uspešne od PE folije. Po presajanju je začetni razvoj rastlin najpočasnejši na nepokritih tleh in najhitrejši na tleh pokritih s PE folijo, medtem ko je na BR folijah nekoliko počasnejši ali enak kot na PE foliji. Večjih razlik med različnimi BR folijami ni. Razlike med obravnavanji so bile pri številu listov na rastlino večje kot pri širini rastlin. Počasnejši začetni razvoj bučke na nepokritih tleh je vplival na manjši začetni tržni

pridelek na teh parcelicah, medtem ko je bil pridelek največji na parcelicah s PE folijo. Tržni pridelek celotnega obdobja pobiranja se med postopki bodisi ni razlikoval bodisi je bil na nepokritih tleh manjši kot na parcelah pokritih s PE ali BR folijami.

Zahvala. Preskušanja, ki so predstavljena v tem prispevku, so bila delno financirana v okviru Javne službe v vrtnarstvu (pogodba št 2330-22-000006, 2330-23-000079 in 2330-24-000022). Hvala tudi vsem sodelavcem Kmetijskega inštituta Slovenije (Mojca Škof, Damjana Žnidar, Tajda Turk, Monika Brvar, Jernej Bregar, Majda Veis, Julijana Zorec) in študentom, ki so pomagali pri izvedbi poskusov.

5 LITERATURA

- EN 17033:2018. Plastics-Biodegradable Mulch Films for Use in Agriculture and Horticulture-Requirements and Test Methods. 2018
- Miles C., Wallace R., Wszelaki A., Martin J., Cowan J., Walters T., Inglis, D. 2012. Deterioration of Potentially Biodegradable Alternatives to Black Plastic Mulch in Three Tomato Production Regions. *HortScience*, 47(9): 1270-1277, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.9.1270>
- Minuto G., Pisi L., Tinivella F., Bruzzone C., Guerrini S., Versari S., Pini S., Capurro M. 2008. Weed Control with Biodegradable Mulch in Vegetable Crops. *Acta Horticulturae*, 801: 291-298, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.801.29>
- di Mola I., Cozzolino E., Ottaiano L., Duri L.G., Riccardi R., Spigno P., Leone V., Mori M. 2019. The effect of novel biodegradable films on agronomic performance of zucchini squash grown under open-field and greenhouse conditions. *Australian Journal of Crop Sciences*, 13(11):1810-1818. doi: 10.21475/ajcs.19.13.11.p1796
- Moreno M.M., Moreno A. 2008. Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Scientia Horticulturae*, 116 (3): 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.01.007>
- Resolucija Evropskega parlamenta z dne 10. februarja 2021 o novem akcijskem načrtu za krožno gospodarstvo (2020/2077(INI)). Uradni list EU, C 465: 64, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=OJ:C:2021:465:TOC>
- FAO. 2021. Assessment of agricultural plastics and their sustainability: A call for action. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7856en>
- TÜV Austria OK10-e. 2012. Certification scheme OK biodegradable SOIL.
- UNECE FFV-41. UNECE standard FFV-41 concerning the marketing and commercial quality control of courgettes. 2017
- Wang F., Wang Q., Adams C. A., Sun Y., Zhang S. 2022. Effects of microplastics on soil properties: Current knowledge and future perspectives. *Journal of Hazardous Materials*, 424,127531, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127531>
- Wortman S. E., Kadoma I., Crandall M. D. 2016. Biodegradable Plastic and Fabric Mulch Performance in Field and High Tunnel Cucumber Production. *HortTechnology*, 26(2): 148-155, <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.26.2.148>
- Zagorc B., Ugrinović K. 2023. Izkušnje in stroški pridelave solate in bučk ob uporabi različnih zastirnih folij. V: *Novi izzivi v agronomiji 2023: program simpozija in povzetki prispevkov, ki niso objavljeni v zborniku*, Laško, 26. in 27. januar 2023. Čeh B. et al. (ur.). Laško, Slovensko agronomsko društvo: 30-31

Povezovanje znanja in učenja v skupnosti prakse za varnost in zdravje pri delu kmetov

Majda ČERNIČ ISTENIČ¹¹⁷ in Mateja SLOVENC GRASSELLI¹¹⁸

Izvleček

Statistični podatki o delovnih nezgodah s smrtnim ali nesmrtnim izidom, poklicnih boleznih in stopnji samomorilnosti med zaposlenimi kažejo, da je kmetijstvo eden izmed gospodarskih sektorjev z nadpovprečno stopnjo tveganja za zdravje in varnost pri delu. Mednarodni projekt SafeHabitat poskuša izboljšati delovne razmere, varnost in zdravje kmetov in kmetijskih delavcev v Evropi. V okviru projekta se je oblikovalo 11 skupnosti prakse v partnerskih državah, ki povezujejo različne akterje ter upoštevajo družbene in kulturne kontekste, v katerih živijo in delajo kmetje in kmetijski delavci. Slovenska skupnost prakse je bila ustanovljena konec leta 2023. Njeni člani z raznovrstnimi profesionalnimi ozadji, znanji in izkušnjami si delijo zanimanje za temo varnosti pri delu in zdravja članov kmečkih družin v Sloveniji. V treh letih svojega delovanja bodo posebno pozornost namenili varnostni kulturi, socialni varnosti in duševnemu zdravju kmetov. Na področju varnostne kulture s poudarkom na delovnih nezgodah so se člani skupnosti že seznanili z najnovejšo statistiko, soočili so različne poglede in predlagali nekaj sistemskih ukrepov. S skupinskim delovanjem, učenjem in zavzemanjem za rešitev problematike se model skupnosti prakse kaže kot pomemben prispevek k postopni uresničitvi ciljev projekta SafeHabitat.

Ključne besede: kmetijstvo, varnostna kultura, delovne nezgode, skupnost prakse, sodelovanje, učenje

Integrating knowledge and learning in the community of practice for the health and occupational safety of farmers

Abstract

Statistics on fatal and non-fatal occupational accidents, occupational diseases and suicide rates among workers show that agriculture is one of the economic sectors with an above-average risk in terms of health and safety at work. The international SafeHabitat project aims to improve the working conditions, safety and health of farmers and farmworkers in Europe. As part of the project, eleven communities of practice have been established in the partner countries, bringing together different stakeholders, and taking into account the social and cultural contexts in which farmers and farmworkers live and work. The Slovenian Community of Practice was founded at the end of 2023. Its members with different professional backgrounds, skills and experience have a common interest in the topic of occupational safety and health for members of farming families in Slovenia. In the three years of its operation, the community will pay special attention to the safety culture, social security, and mental health of farmers. In the area of safety culture focussing on accidents at work, the members of the community have already familiarised themselves with the latest statistics, explored different views and proposed some future systemic measures. Through collective action, learning and advocacy for change, the community of practice model is proving to be an important contribution to the progressive realisation of the SafeHabitat project's objectives.

Keywords: agriculture, safety culture, accidents at work, community of practice, cooperation, learning

¹¹⁷ Dr., Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, e-pošta: majda.cernic-istenic@zrc-sazu.si, Biotehniška fakulteta, e-pošta: majda.cernicistenic@bf.uni-lj.si

¹¹⁸ Dr., Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, e-pošta: mateja.slovinc@zrc-sazu.si

1 UVOD

Statistični podatki po vsem svetu kažejo, da je kmetijstvo gospodarski sektor z nadpovprečno stopnjo tveganja za zdravje in varnost pri delu (Griffin, 2013; Pyykkönen in Aherin, 2012) ter stopnjo umrljivosti (Franklin in sod., 2015). Po ocenah Mednarodne organizacije dela (ang. International Labour Organization) se vsako leto na svetu zgodi 250.000.000 delovnih nezgod. Razpoložljivi statistični podatki na svetovni ravni poročajo o približno 170.000 primerih smrtnih nezgod med kmetijskimi delavci, kar je približno polovica vseh letnih smrtnih nezgod pri delu (ILO, 2017: 5).

V Evropski uniji (EU) so sektorji gradbeništva, prometa in skladiščenja, proizvodnje ter kmetijstva, gozdarstva in ribištva leta 2021 skupaj prispevali približno dve tretjini (65,5 %) vseh smrtnih nezgod pri delu in skoraj polovico (45,7 %) vseh nezgod pri delu z nesmrtnim izidom. V zadnjih desetih letih je bilo v kmetijskem in gozdarskem sektorju v EU v povprečju registriranih več kot 500 smrtnih primerov na leto in več kot 150.000 nesreč z nesmrtnim izidom na leto (EU-OSHA, 2022).

Tudi Slovenija se na področju smrtnih delovnih nezgod v kmetijstvu ponaša s »črno statistiko«. V zadnjih 35 letih je bilo zabeleženih 1668 mrtvih oziroma v povprečju 48 na leto v zasebnem sektorju kmetijstva in gozdarstva. (Dolenšek in sod., 2021).

Statistike nesreč brez smrtnega izida in predvsem poklicna obolevnost med kmeti so v Sloveniji slabo pokrite. Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ) statistiko beleži le za osebe, ki so socialno zavarovane za poškodbe pri delu in poklicne bolezni, medtem ko na kmetijah dela in se poškoduje tudi veliko drugih oseb, na primer upokojenci, otroci in drugi, ki kmetujejo v prostem času (Černič Istenič in sod., 2022). Mednarodne raziskave (Merisalu in sod., 2019) kažejo, da je v kmetijskem in gozdarskem sektorju poročanje o nesrečah s smrtnim in nesmrtnim izidom pomanjkljivo po vsej Evropi.

Statistični podatki po vsem svetu tudi razkrivajo znatno višje stopnje samomorilnosti med kmeti v primerjavi z nekmečkim prebivalstvom, na primer v Indiji in Avstraliji je ta višja za 50 % (Arnautovska in sod., 2016; Fennell in sod., 2012; Merriott, 2016), v Braziliji in Združenih državah Amerike pa za 100 % (Browning in sod., 2008; Meyer in sod., 2010) ter v Veliki Britaniji za 150–250 % (DEFRA, 2010a, 2010b). Statistike za leto 2016 za Slovenijo kažejo, da je skupina »kvalificirani delavci v kmetijstvu in lov, gozdarstvu in ribištvo« zasedla prvo mesto med vsemi poklicnimi skupinami z vrednostjo splošne stopnje samomorilnosti 57 na 100.000 zaposlenih oseb, kar je štirikrat več od skupne splošne stopnje, ki je znašala 13,8 (Roy in Knežević Hočevar, 2019).

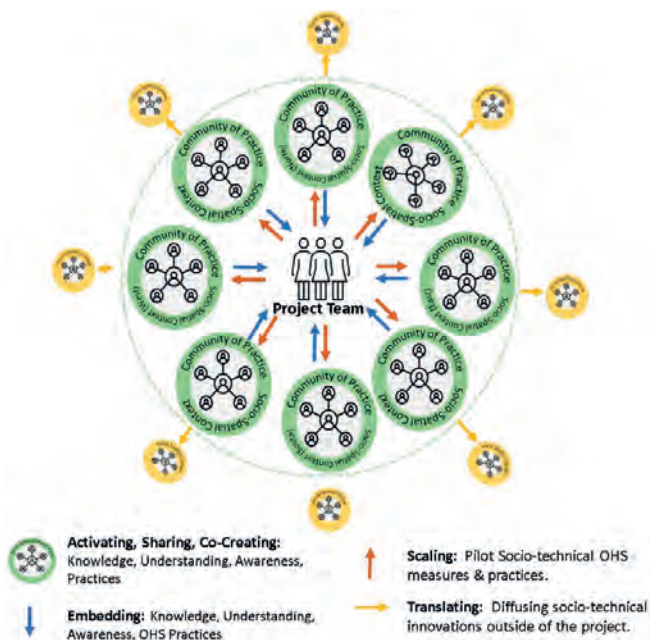
Našteti statistični podatki kažejo na velike izzive pri zagotavljanju socialne trajnosti kmetijstva v EU in v Sloveniji. Projekt »Krepitev sistemov znanja in inovacij za zdravje in varnost na kmetijah v Evropi« s kratico SafeHabitus (2024a), financiran v okviru programa Obzorje Evropa v obdobju 2023–2026, je odziv opisane razmere. Ob vključevanju različnih akterjev, od kmetov in kmetijskih delavcev, kmetijskih organizacij, kmetijskih svetovalcev, oblikovalcev politik in raziskovalcev v projektne naloge je cilj projekta izboljšati delovne pogoje ter zdravje in varnost kmetov in njihovih družinskih članov ter kmetijskih delavcev obeh spolov in vseh starosti ter ob tem okrepiti privlačnost kmečkega poklica med mladimi.

Izhodišče projekta SafeHabitus je spoznanje, da trajnih izboljšav na področju varnosti pri delu ni mogoče doseči samo z usposabljanjem, tehničnimi ukrepi ali nadzorom. Prevzemanje tveganja je namreč v osnovi pogojeno z vrsto dejavnikov, vključno z vedenjem in praksami posameznika, na katere vplivajo medosebne in poklicne mreže, sistemi upravljanja in verige vrednosti. Običajni pristopi k varnosti in zdravju pri delu, to je izobraževanje in ozaveščanje ali predpisi in njihovo izvrševanje, imajo omejen domet, saj so vzorci vedenja ustaljeni in pogojeni s kmetijskimi in lokalnimi kulturami. Shortall in sodelavci (2019) na primer opozarjajo, da je

treba za razumevanje nezdgod in bolezni na kmetijah analizirati razmere na kraju samem, to je, kako so kmečke družine in kmetijski delavci socializirani za odzivanje s poklicnimi nevarnostmi. V kmečkem okolju se nevarnosti socializirajo (zavedno in nezavedno privzemajo) in normalizirajo. To pomeni, da so nezgode pričakovane in sprejete. Zaradi tega se poudarja potreba po upoštevanju ne le vira nevarnosti ali tveganj ter predpisov ali ozaveščanja, temveč tudi socialnih sistemov, politik in sistemov upravljanja, ki vplivajo na to, kako se delo na kmetijah opravlja in kdo ga opravlja. S tem namenom je v projektu uporabljen pristop, ki temelji na več dejavnikih na kraju samem. Ves čas raziskovanja in naslavljanja zdravja in varnosti pri delu v kmetijstvu se upošteva družbeni, kulturni in institucionalni okvir, v katerem živijo in delajo kmetje in kmetijski delavci.

2 METODE DELA

Za uresničevanje perspektive prepletenih dejavnikov so se v okviru projekta SafeHabitus kot oblika dela izoblikovale skupnosti prakse (ang. Community of Practice (CoP)) (Lave, 1991; Wenger, 1998) v 11 evropskih državah (Estonija, Finska, Francija, Irska, Litva, Nemčija, Poljska, Romunija, Slovaška, Slovenija, Španija). Jedrno skupino CoP tvori 10–15 ljudi, ki si delijo skupno skrb, nabor vprašanj in zanimanj za določeno temo ter se prostovoljno povezujejo zato, da bi dosegli individualne in skupinske cilje. CoP omogoča nosilcem praks, da s pomočjo skupine delijo znanje in izkušnje, se učijo drug od drugega in imajo možnost osebnega in strokovnega razvoja. Z izmenjavo znanj in izkušenj (kot živi kurikulum) skupina soustvarja nove zamisli (Ličen, 2012). V konkretnem primeru projekta v smeri izboljševanja delovnih pogojev za večjo varnost in zdravje ljudi, ki kmetujejo v EU.



Slika 1: Struktura projekta SafeHabitus

Ta oblika dela odpira »prostor« za razvijanje skupnih pomenov in razumevanj različnih vprašanj in perspektiv, kaj bi lahko delovalo in pod kakšnimi pogoji, v iterativnem procesu učenja z delom in dela z učenjem (Ličen, 2012). V okviru projekta SafeHabitus je uporabljena tudi metoda kartiranja potreb in intervencij oziroma dobrih praks z namenom ustvarjanja socialnih inovacij na področju varnosti in zdravja v kmetijstvu. Eksperimentiranje se nanaša na prakso sodelovanja pri reševanju ključnih vprašanj v družbenem, gospodarskem, kulturnem in okoljskem kontekstu ter na prakso ocenjevanja oziroma vrednotenja možnih rešitev.

Vsi člani CoP-ov enakovredno prispevajo svoje praktično znanje in izkušnje. Kmetje in drugi končni uporabniki lahko preko socialne inovacije lažje opredelijo in delijo obstoječe dobre prakse ter zajemajo ideje in potencialne rešitve v okviru svojih lokalnih skupnosti in kmetijskih gospodarstev. Za ustvarjanje teh prostorov projekt SafeHabitus gradi na obstoječih institucionalnih in organizacijskih mrežah na regionalni/nacionalni ravni. Te vključuje v vseevropsko mrežo »Super CoP«, s čimer podpira izmenjavo in prenos znanja prek nacionalni okvirov s pomočjo spletnega SafeHabitus vozlišča znanj in osebnih srečanj. CoP-i so »testni poligoni« za pilotne pobude in družbene inovacije, razvite v okviru raziskovalnih in sodelovalnih dejavnosti projekta SafeHabitus. Pobude temeljijo na prispevkih posameznih CoP-ov in raziskovalnih dejavnostih projektnega konzorcija (slika 1).

3 REZULTATI

3.1 Dosedanje aktivnosti Slovenskega CoP-a v okviru projekta SafeHabitus

Slovenski CoP v okviru projekta SafeHabitus je sestavljen iz štirih podskupin (slika 2).



Slika 2: Struktura članstva CoP-ov v okviru projekta SafeHabitus

Del jedrne ekipe sta upravljavka in moderatorka CoP-a, dr. Majda Čerňič Istenič in dr. Mateja Slovenc Grasselli. Ključno podskupino predstavlja jedrna skupina, ki je bila v Sloveniji oblikovana v začetku decembra 2023. Izhodiščno dejanje za pridobivanje članstva v jedrni skupini je bil nagovor udeležencev simpozija »Ni trajnostnega kmetovanja brez trajnostnega kmeta: Varnost, zdravja in dobro počutje kmetov«, ki ga je Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti (ZRC SAZU) organiziral aprila 2023 v okviru dveh nacionalnih projektov, ciljno raziskovalnega projekta »Odzivanje kmečkih družin na posledice delovnih nesreč in poklicnih bolezni« (V5-2028) in temeljnega raziskovalnega projekta »Spremembe v kmetijstvu skozi oči in telesa kmetov« (J6-2577). Vabilu za članstvo v CoP-u se je odzvalo 12 od 26 udeležencev simpozija. K članstvu se je povabilo tudi osebe, za katere so bodoči člani skupnosti presodili, da jih tema zdravja in varnosti pri delu v kmetijstvu osebno

ali strokovno zanima, imajo potrebna znanja ali politično moč in bi lahko delovale povezovalno med javnim, zasebnim, raziskovalnim in izobraževalnim sektorjem. Jedrno skupino Slovenskega CoP-a je konec leta 2024 sestavljalo 22 oseb in je bila najštevilčnejša v projektu SafeHabitus. Njeni člani so bili kmetje, predstavniki kmetijskih organizacij, kmetijski svetovalci, strokovnjaki iz javnega sektorja, predstavniki treh ministrstev in raziskovalci iz različnih ved, kot so antropologija, geografija, psihologija, sociologija in veterinarska medicina. Podobnih profilov so bili tudi aktivni in občasni člani, katerih število se iz srečanje v srečanje povečuje.

Na prvih srečanjih jedrne skupine Slovenskega CoP-a v decembru 2023 in januarju 2024 so se člani seznanili s projektom SafeHabitus, modelom CoP in rezultati zgoraj omenjenega ciljnega raziskovalnega projekta in njegovo terensko raziskavo o tem, kako se člani kmečkih družin spopadajo s svojo telesno in psihično oviranostjo ali oviranostjo svojih članov družine zaradi posledic delovnih nezdod in poklicnih bolezni. Na podlagi predznanja, izkušenj in znanja članov CoP-a so bila v razpravah na srečanjih o vprašanjih varnosti in zdravja pri delu v kmetijstvu izpostavljena štiri področja in njihove vsebine.

- Varnostna kultura na kmetiji: 1. do nevarnih delovnih nezdod prihaja zaradi zastarele mehanizacije, ki jo nemalokrat posedujejo starejši kmetje; 2. kmetje in kmetice ne uporabljajo zaščitne opreme in varnostnih pasov, rokujejo s t. i. tihimi nevarnostmi, kot je uporaba fitofarmacevtskih sredstev, vključujejo otroke v delovno okolje, vse zaradi normalizacije in sprejemljivosti tveganj pri kmetijskem delu, ki izvira tudi iz socializacije, 3. obstoječa zakonodaja in predpisi s področja varnosti in zdravja pri delu se ne upoštevajo (redke kmetije imajo »Izjavo o varnosti z oceno tveganja na kmetijah«), kar nakazuje, da sta zdravje in varnost v kmečkem okolju v drugem planu pred visoko storilnostjo, podjetnostjo, avtonomnostjo in samozadostnostjo, ki jih spodbujajo osebni, družinski, družbeni ali ekonomski pritiski.
- Sistemske težave in rešitve: 1. statističnih evidenc o nezdodah in poklicnih boleznih v kmetijstvu ni oziroma so nepopolne; 2. v sistemu pokojninskega in invalidskega zavarovanja, zdravstvenega zavarovanja, davčne, kmetijske in druge zakonodaje ni neenotne opredelitve statusa kmeta in kmetije; 3. inšpekcijske službe in kmetijsko svetovalna služba za podporo pri zagotavljanju varnih in zdravih delovnih pogojev pri delu na kmetijah so kadrovske podhranjene; 4. za razliko od številnih evropskih držav v Sloveniji nimamo posebne storitve – socialno-delovne pomoči – kot možne oblike podpore javno-zasebnega partnerstva kmetom pri zapolnjevanju pomanjkanja delovne sile na kmetiji zaradi bolezni in poškodb.
- Socialni položaj kmetov in kmetice: 1. člani družinskih kmetij so izpostavljeni nizki stopnji socialne in zdravstvene varnosti in posledično nizkim pokojninam ter posledično materialni revščini; 2. zdravstvene in socialne storitev so podeželskemu prebivalstvu pogosto nedostopne; 3. kmetje in kmetice so slabo informirani o svojih pravicah in dolžnostih, povezanih z uveljavljanjem pravic iz pokojninskega, invalidskega in zdravstvenega zavarovanja; 4. nestabilen finančni položaj bremeni marsikatero kmetijo, pri tem so starejše kmetice brez svojih dohodkov zaradi ohranjanja patriarhalnih vzorcev v odnosih na kmetiji prepoznane kot najbolj ranljiva skupina.
- Družbeni položaj kmetov in kmetice: 1. zaradi demografskih, tehnoloških, vrednotnih in drugih sprememb je zamrla nekdanja močna družbena povezanost in soodvisnost v kmečkih skupnostih, zaradi česar kmetje in kmetice danes vse več delajo sami, pogosto tudi bolni in poškodovani; 2. kmetje neradi iščejo pomoč v primeru duševnih težav zaradi tabuiziranja duševnega zdravja v kmečkem okolju; 3. neobvladovanje stresa in slaba komunikacija med družinskimi člani neredko predstavljata posebno breme, ki se

lahko še poglobi v obdobju nasledstvenega procesa; 4. usklajevanje družinskega in delovnega življenja je v kmečkem okolju pogosto spregledano/zanemarjeno; 5. kmete bremenita kritičen odnos javnosti do kmetijstva in nerazumevanje njihovih težav zaradi slabih/nepravičnih plačil.

Projekt SafeHabitus je predvidel, da si bo vsak nacionalni CoP izbral tri teme, ki jih bo obravnaval v obdobju dveh let. Jedrna skupina Slovenskega CoP-a se je odločila osredotočiti na problematiko duševnega zdravja, socialne varnost in varnostne kulture v slovenskem kmetijstvu. Slednja je bila kot prva obravnavana na tretjem srečanju. Na njem so se člani Slovenskega CoP-a seznanili z najnovejšo statistiko o delovnih nezgodah na kmetiji.

Po podatkih NIJZ-ja je bilo v obdobju med 2018 in 2022 med osebami s statusom kmeta, ki so zavarovani za poškodbe pri delu in poklicne bolezni, 878 poškodb pri delu. Od tega jih je bilo največ oziroma ena tretjina (33,6 %) povezanih z delno ali popolno izgubo nadzora nad strojem, transportnimi sredstvi ali ravnanjem z opremo, ročnim orodjem, predmeti in živalmi (Belščak Čolaković, 2024).

Statistiko smrtnih nezgod na kmetiji je predstavil kmetijski svetovalec Marjan Dolenšek, ki podatkov ne pridobiva zgolj od NIJZ-ja, ampak tudi iz podatkov Slovenske poslovne točke, Policije, Uprave Republike Slovenije za zaščito in Svetovanje, Zavoda za gozdove Slovenije in iz medijev. To pomeni, da v statistiko niso zajeti zgolj (samo)zaposleni s statusom kmeta, ampak tudi ljudje, ki so zaposleni v drugih gospodarskih sektorjih in ki kmetujejo v prostem času. Med letoma 2014 in 2023 se je na leto v povprečju zgodilo 23,8 nezgod s smrtnim izidom. Večina (87,3 %) jih je bila povezana z delom v gozdu in kmetijsko mehanizacijo, nemalokrat je šlo za delovne in prometne nezgode s traktorji (Dolenšek, 2024).

Člani Slovenskega CoP-a so potrdili predhodnim domnevam, da so predstavljeni statistični podatki podcenjeni, saj se uradna statistika nezgod vodi zgolj za socialno zavarovane kmete. Ocenili so, da bi morala statistika zajeti več profilov ljudi, ki kmetujejo, z namenom ugotavljanja realnega stanja ter snovanja ciljno naravnanih ukrepov za zmanjšanje števila delovnih nezgod med kmeti. Ugotovili so, da je zakonodaja na področju varnosti pri delu v splošnem urejena. Izraženo je bilo tudi vprašanje, ali so kmetje delovna skupina, za katere bi bilo potrebno oblikovati posebne predpise na tem področju. Poudarili so, da bi bilo treba več pozornosti nameniti izobraževanju otrok in študentov v javnih zavodih o pomenu varnostne kulture na kmetijah, saj so ocenili, da bi lahko preko izobraževanja najmlajših generacij vplivali na delovno varnejša ravnanja starejših generacij. V razpravi je bil izpostavljen tudi problem pomanjkanja kadra v javnem sektorju na področju varnosti in zdravja pri delu (na primer na Sektorju za varnost in zdravje pri delu ter Inšpektoratu Republike Slovenije za delo v okviru Ministrstva za delo, družino, socialne zadeve in enake možnosti), ki bi se lahko v primeru večjega števila zaposlenih posvetili tudi medsektorskemu povezovanju in pridobivanju (kohezijskih) evropskih sredstev za oblikovanje inovativnih preventivnih modelov. Člani skupnosti so se strinjali, da so raznovrstne preventivne akcije pomembne za zmanjšanje števila nezgod in krepitev varnostne kulture na kmetijah, ki pa jih sedaj skupaj ali posamično izvajajo številne organizacije (Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Gozdarski inštitut Slovenije, Zveza strojnih krožkov Slovenije, Javna agencija republike Slovenije za varnost prometa, Zveza slovenske podeželske mladine in druge). Člani skupnosti, ki so v preteklosti že organizirali preventivne tečaje in medijske kampanje, so poudarili, da bi veljalo nekatere njihove in druge aktivnosti sistemsko financirati, jih redno, enkrat ali večkrat na leto izvajati v različnih regijah oziroma na terenu med kmeti, na primer v gasilskih domovih ali na kmetijah.

Tudi druge partnerske države (Irska, Litva, Nemčija, Poljska, Romunija) in njihovi CoP-i so pri navajanju statistike nesreč med kmeti s težjimi poškodbami ali smrtnim izidom poročali, da so najpogostejši razlogi za nezgode povezani z veliko mehanizacijo (vozili, predvsem traktorji, in

priključki), pogosto so bile omenjene tudi poškodbe, ki so vključevale živali (SafeHabitus, 2024b). Zaradi primerjav dela in ugotovitev članov CoP v 11 partnerskih državah se je varnostni kulturi v kmetijstvu že posvetilo posebno pozornost na projektni ravni z organizacijo predavanj o pomenu varnostne kulture na kmetijah, dobrih praksah in varnem rokovanju s traktorjem. Ugotovitve CoP-ov so bile oziroma bodo v obliki različnih poročil, povzetkov prakse in forumih o politikah posredovane tudi odločevalcem v EU.

4 RAZPRAVA IN SKLEPI

CoP naj bi se oblikoval spontano zaradi potrebe po naslavljanju skupnih problemov (Ličen, 2012). Čeprav je Slovenski CoP nastal na pobudo mednarodne raziskovalne skupnosti v okviru projekta SafeHabitus, lahko ugotovimo, da je bilo njegovo snovanje samoporajajoče. Pomemben signal za prve dejavnosti raziskovalcev, povezane z oblikovanjem tovrstne skupnosti, je bila udeležba predstavnikov različnih državnih in raziskovalnih institucij na omenjenem simpoziju ZRC SAZU. Da je tema varnosti in zdravja pri delu v kmetijstvu udeležence simpozija zanimala in da si želijo dejavno sodelovati pri reševanju skupnih problemov, je potrdil visok delež članov jedrne skupine skupnosti, ki so se o udeležili simpozija ali so bili z raziskovalci ZRC SAZU povezani tudi prek delovanja v delovnih telesih, raziskovalnih projektov in drugih zanimanj. Sklenemo lahko, da se je le nekaj članov CoP pridružilo na osnovi zunanje spodbude.

Nadalje se je na ustanovnem sestanku pokazalo, da so se ljudje v CoP vključili zaradi profesionalnih in osebnih zanimanj, saj so se s težavami kmetov s področja varnosti in zdravja pri delu spoznali na raznovrstnih delovnih mestih, v ali izven kmetijstva, ter v zasebnih stikih. Veliko zanimanje, ki se odraža v številčnosti jedrne skupine, je mogoče pripisati tudi okoliščini, da tema varnosti in zdravja v kmetijstvu v Sloveniji kljub posameznim raziskovalnim projektom, delovnim skupinam in pobudam ni sistematično ali medresorsko obravnavana. Veliko zanimanje, ki se odraža v njeni številčnosti, je mogoče pripisati tudi okoliščini, da tema varnosti in zdravja v kmetijstvu v Sloveniji kljub posameznim raziskovalnim projektom, delovnim skupinam in pobudam ni sistematično ali medresorsko obravnavana. Vendar so težave na tem področju resne in velike, kar potrjuje statistika delovnih nesreč na kmetijah. To problematiko je prepoznal širši krog ljudi iz javne in zasebne sfere.

Srečanja Slovenskega CoP-a so redna, jedrna skupina se sestaja trikrat do štirikrat na leto, srečanja v živo imajo prednost pred spletnimi. Zasnovana so tako, da se ob izbrani temi redne, aktivne in občasne člane povabi k predstavitvi svojega strokovnega dela. S svojimi predstavitvami z drugimi člani delijo svoja znanja, izkušnje in poglede ter spodbujajo k diskusiji in iskanju rešitev. Na ta način se prenašajo informacije in znanje ter ustvarjajo pripadnost skupnosti, nova skupna znanja, pomeni in profesionalna sodelovanja (prim. Ličen, 2012). Skupinsko delovanje, učenje in zavzemanje za rešitve problematike ne poteka le na nacionalni, ampak tudi na mednarodni ravni, kjer se prav tako izmenjujejo znanja, izkušnje, dobre in slabe prakse. Mednarodno povezovanje z odločevalci na evropski in nacionalni ravni naj bi se v prihodnjih dveh letih okrepilo. To večletno sodelovanje med člani nacionalnih in transnacionalnih CoP-ov v okviru projekta naj bi pripeljalo do oblikovanja inovativnih rešitev in morda začetnih ali celo nadaljnjih faz konkretnih dejanj in postopkov, ki bi lahko dejansko izboljšali položaj kmetov in kmetijskih delavcev ter njihovo varnosti in zdravja pri delu. Strokovnjaki (Ličen, 2012) poudarjajo, da mora CoP delovati dlje časa, ker so učenje, refleksija, iskanje in udeležanje skupnih rešitev na določenem področju dolgotrajen proces. Težava projektnega delovanja je časovna in posledično finančna omejenost aktivnosti. Vprašanje je, ali se bo Slovenski CoP uspel ohraniti tudi po koncu projekta, to je po letu 2026. Domnevamo lahko, da ima model CoP z razmeroma dolgotrajnimi stiki med člani, skupnim učenjem in

znanjem potencial, da ustvari močno skupno prakso. Pokazalo pa se bo tudi, ali bo le-ta zmožna prispevati k reševanju vsaj nekaterih od številnih problemov na področju varnosti in zdravja pri delu v slovenskem kmetijstvu in pozitivno vplivati na zaskrbljujoč trend (ne)smrtnih delovnih nezgod med kmeti in kmetijskimi delavci.

Zahvala. Za sodelovanje in skupinsko učenje se zahvaljujema aktivnim in občasnim članom Slovenske skupnosti prakse v okviru projekta SafeHabitus. Prispevek je nastal v okviru programske skupine »Raziskave o duševnih stiskah in dobrem počutju« (P5-0439-23), ki ga financira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije, ter projekta SafeHabitus, Horizont Europe, Grant agreement ID: 101084270, ki ga financira Evropska komisija.

5 LITERATURA

- Arnautovska U., McPhedran S., Kelly B., Reddy P., De Leo D. 2016. Geographic variation in suicide rates in Australian farmers: Why is the problem more frequent in Queensland than in New South Wales?. *Death studies*, 40, 6: 367–372, <https://doi.org/10.1080/07481187.2016.1153007>
- Belščak Čolaković A. 2024. Poškodbe pri delu v dejavnosti kmetijstva. Tretje srečanje Slovenske skupnosti prakse: Varnostna kultura na slovenskih kmetijah, Ljubljana, 22. maj 2024 (neobjavljeno)
- Browning S. R., Westneat S. C., McKnight R. H. 2008. Suicides among farmers in three southeastern states, 1990–1998. *Journal of agricultural safety and health*, 14, 4: 461–472, <https://doi.org/10.13031/2013.25282>
- Černič Istenič M., Šprah L., Knežević Hočevan D., Cukut Krilić S. 2022. Odzivanje kmečkih družin na posledice delovnih nesreč in poklicnih bolezni: Končno poročilo. Ljubljana, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, <https://dmi.zrc-sazu.si/sites/default/files/Porocilo%20CRP%20%28V5-2028%29%20MCI.pdf> (1. nov. 2024)
- DEFRA . 2010a. Sustainable Farming and Food Strategy – indicator data sheet. London, Department for Environment Food and Rural Affairs, <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20130822074033/http://www.defra.gov.uk/evidence/statistics/foodfarm/general/indicators/documents/c704.pdf> (30. okt. 2024)
- DEFRA. 2010b. Statistics Digest 2008. London, Department for Environment Food and Rural Affairs, <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20100407204341/http://www.defra.gov.uk/evidence/statistics/foodfarm/farmmanage/earningshours/documents/StatsDigest2008.pdf> (30. okt. 2024)
- Dolenšek M. 2024. Dejavnost kmetijskih in gozdarskih javnih služb ter združenj na področju varnosti in zdravja pri delu. Tretje srečanje Slovenske skupnosti prakse: Varnostna kultura na slovenskih kmetijah, Ljubljana, 22. maj 2024 (neobjavljeno)
- Dolenšek M., Bernik R., Jerončič R., Gligorević K., Oljača M. V. 2021. Accidents in agriculture and forestry-influence of rural development program on work safety in the Republic of Slovenia and the Republic of Serbia. V: The 5th International Symposium on Agricultural Engineering, Belgrade–Zemun, Serbia, 30rd Sep–2nd Oct 2021. Dimitrijević A., Zlatanović I. (ur.). Beograd, University of Belgrade, Faculty of Agriculture: II-40–II51
- EU-OSHA. 2022. The Future of Agriculture in Europe and its Impact on Occupational Safety and Health (OSH). Bilbao, European Agency for Safety and Health at Work, <https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/future-agriculture-europe-and-its-impact-occupational-safety-and-health-osh> (30. okt. 2024)
- EUROSTAT. 2024. Accidents at work statistics. Luxembourg, European Commission, Eurostat, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents_at_work_statistics#Analysis_by_activity (29. okt. 2024)
- Fennell K. M., Kettler L. J., Skaczkowski G., Turnbull D. A. 2012. Farmers' stress and coping in a time of drought. *Rural and Remote Health*, 12: 2071, <https://doi.org/10.22605/RRH2071>
- Franklin R. C., McBain-Rigg K. E., King J. C., Lower T. 2015. Exploring the barriers and facilitators to adoption of improved work practices for safety in the primary industries. RIRDC Publication No. 15/068.15, 68. Barton, Australian Government, Rural Industries Research and Development

- Corporation, <https://broadacrefarmsafety.com.au/wp-content/uploads/2018/03/Barriers-Facilitators-to-Farm-Safety-RIRDC.pdf> (30. okt. 2024)
- Griffin P. J. 2013. "Farming - a hazardous occupation – how to improve health & safety?": Safety and Health in Agriculture. Strasbourg, European Parliament, <http://www.europarl.europa.eu/document/activities/cont/201303/20130321ATT63633/20130321ATT63633EN.pdf> (29. okt. 2024)
- ILO. 2017. Working Together to Promote a Safe and Healthy Working Environment. International Labour Conference 106th Session, Report III (Part 1B). General Survey on the Occupational Safety and Health Instruments Concerning the Promotional Framework, Construction, Mines and Agriculture. Geneva, International Labour Office, https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_norm/@relconf/documents/meetingdocument/wcms_543647.pdf (29. okt. 2024)
- Lave J. 1991. Situating learning in communities of practice. V: Perspectives on socially shared cognition. Resnick, L. B., Levine, J. M., Teasley, S. D. (ur.). American Psychological Association: 2–63, <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/10096-003>
- Ličen N. 2012. Model skupnosti prakse in situacijsko učenje. Andragoška spoznanja, 18, 3: 10–14, <https://doi.org/10.4312/as.18.3.10-24>
- Merisalu E., Leppala J., Jakob M., Rautiainen R. 2019. Variation in Eurostat and national statistics of accidents in agriculture. Agron. Res, 17, 5: 1969–1983, <https://doi.org/10.15159/AR.19.190>
- Merriott D. 2016. Factors associated with the farmer suicide crisis in India. Journal of Epidemiology and Global Health, 6, 4: 217–227, <https://doi.org/10.1016/j.jegh.2016.03.003>
- Meyer A., Koifman S., Koifman R. J., Moreira J. C., de Rezende Chrisman J., Abreu-Villaca Y. 2010. Mood disorders hospitalizations, suicide attempts, and suicide mortality among agricultural workers and residents in an area with intensive use of pesticides in Brazil. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 73,13–14: 866–877, <https://doi.org/10.1080/15287391003744781>
- Pyykkönen M., Aherin B. 2014. Occupational Health and Safety in Agriculture. V: Sustainable Agriculture. No. 1. Jakobsson, C. (ur). Baltic University Press: 391–402
- Roy P., Knežević Hočevar D. 2019. Listening to a Silent Crisis: Men's Suicide in Rural and Farming Communities in Slovenia. Revija za socialnu politiku, 26, 2: 241–254, <http://dx.doi.org/10.3935/rsp.v26i2.1593>
- SafeHabitus. 2024a. Strengthening the Farm Health and Safety Knowledge and Innovation Systems in Europe. Strengthening Farm Health and Safety Knowledge Innovation Systems, <https://www.safehabitus.eu/> (1. nov. 2024)
- SafeHabitus. 2024b. Understanding farm safety and farmer health challenges in the EU: 78 Practices Abstracts providing an overview of issues, needs and good practices. Deliverable 1.5. Strengthening Farm Health and Safety Knowledge Innovation Systems (neobjavljeno)
- Shortall S., McKee A. Sutherland L.A., 2019. Why do farm accidents persist? Normalising danger on the farm within the farm family. Sociology of Health & Illness, 41, 3: 470–483, <https://doi.org/10.1111/1467-9566.12824>
- Wenger E. 1998. Communities of practice: Learning as a social system. Systems Thinker, 9, 5: 2–3

Pridelki poljščin v ohranitvenem kmetijstvu – rezultati večletnih poljskih poskusov v Sloveniji

Klemen ELER¹¹⁹, Marjetka SUHADOLC¹²⁰, Anton GOVEDNIK¹²¹, Sara MAVSAR¹²², Sara PINTARIČ¹²³, David LENARČIČ¹²⁴, Kristina OCVIRK¹²⁵ in Rok MIHELIC¹²⁶

Izvleček

Velikost pridelka je ključen parameter, ko primerjamo različne sisteme pridelave v kmetijstvu. Za oceno uspešnosti in primernosti različnih sistemov pridelave so potrebni večletni poskusi v različnih ekoloških razmerah in z različnimi poljščinami v dovolj dolgem časovnem nizu. V tej raziskavi smo združili podatke o pridelkih več večletnih poljskih poskusov v Sloveniji, katerih glavni cilj je primerjati načine ohranitvene obdelave tal s konvencionalno obdelavo, deloma tudi v interakciji z drugimi dejavniki pridelave. Velikosti pridelkov pri ohranitvenih načinih obdelave tal so v splošnem primerljive ali le nekoliko manjše v primerjavi s konvencionalno obdelavo, v poljščinah nekaterih poskusov pa so bili pridelki na ohranitvenih načinih tudi znatneje manjši. Manjši so bili v načinu brez obdelave tal (*no-till*) na težjih tleh, posebej pri koruzi, bolj primerljivi pa so bili pri metuljnicah in žitih. Rezultati kažejo, da so večje razlike možne v sistemih obdelave, kjer je dodanih manj ali nič gnojil, v gnojenih variantah pa so pridelki med načini pridelave bolj primerljivi. V poskusu z ekološko pridelavo so pridelki v splošnem majhni in se zaradi zapletenosti še zmanjšujejo. Tudi relativni pridelki pri ohranitveni obdelavi tal v primerjavi s konvencionalno obdelavo od prehoda v ekološko pridelavo upadajo, kar predstavlja resen izziv za uveljavitev ohranitvenih načinov obdelave tal v ekološkem načinu kmetovanja.

Ključne besede: ohranitvena obdelava tal, neposredna setev, ekološko kmetijstvo, konvencionalno kmetijstvo, gnojenje

Crop yields in conservation agriculture – results of long-term field experiments in Slovenia

Abstract

Yield is a key parameter when comparing different agricultural production systems. Sufficiently long-term experiments run under different ecological conditions and with different crops are required to draw firm conclusions. In this study, we combined yield data from several long-term field experiments in Slovenia, the main goal of which is to compare conservation tillage methods with conventional tillage, partly also in interaction with other production factors. Yields in conservation tillage approaches appear to be comparable or only slightly reduced compared to those in conventional tillage, but there were also cases of crops in some experiments where yields were significantly lower. They were lower for no-till on heavier soils, specially from maize, while legumes and cereals were comparable. Results show that greater differences are possible in systems where less or no fertilizers are added, while yields in fertilized variants are more comparable. In organic farming, yields are generally low and decline further in recent years due to weed infestation. The relative yields of conservation tillage compared to conventional tillage have also declined since the introduction of organic farming, which poses a challenge for the implementation of conservation tillage methods in organic farming.

Keywords: conservation tillage, no-till, organic farming, conventional farming, fertilization

¹¹⁹ Izr. prof. dr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: klemen.eler@bf.uni-lj.si

¹²⁰ Izr. prof., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: marjetka.suhadolc@bf.uni-lj.si

¹²¹ Mag. bioteh., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: anton.govednik@bf.uni-lj.si

¹²² Mag. ing. agr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: sara.mavsar@bf.uni-lj.si

¹²³ Dr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: sara.pintaric@bf.uni-lj.si

¹²⁴ Mag. biol., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: david.lenaric@bf.uni-lj.si

¹²⁵ Mag. ing. agr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: kristina.ocvirk@bf.uni-lj.si

¹²⁶ Doc. dr., Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, e-pošta: rok.mihelic@bf.uni-lj.si

1 UVOD

V okviru celostnih primerjav različnih kmetijskih praks in sistemov kmetovanja je primerjava velikosti pridelkov med ključnimi. Primerjava različnih načinov obdelave tal, kot so konvencionalna (CT), ohranitvena ali konzervirajoča obdelava (MT) ali sistemi brez obdelave (angl. no-till, NT), je zahtevna, saj za zaznavanje odziva tal zahteva večletne poljske poskuse z dovolj dolgim časovnim nizom. Poleg tega je primerjava načinov obdelave tal lahko bolj ali pa manj neposredno vezana zgolj na obdelavo (Su in sod., 2021). Pogosto se proučuje načine obdelave hkrati z vsemi ali vsaj nekaterimi ukrepi ohranitvenega kmetijstva; na CT je tako po obdelavi pričakovati gola tla, na MT in posebej na NT pa z rastlinskimi ostanki pokrita tla, kar ima samo po sebi učinek na različne odzive ekosistema (npr. zapleveljenost, velikost pridelka, povečanje talne organske snovi).

V največ raziskavah se primerja pridelek v poskusih, kjer so prilagoditve režima kmetovanja izbranemu načinu obdelave tal čim manjše, reducirane na pokritost tal, posevki in kolobar pa so isti. Predhodne meta-študije, kjer je v primerjavi tudi več tisoč parov CT-MT/NT, kažejo precejšnjo variabilnost rezultatov – od tega, da manj intenzivni načini obdelave značilno zmanjšajo pridelek, do tega, da na pridelek v primerjavi s CT vplivajo pozitivno. Zmanjšanje pridelka je sprejemljivo, če se kompenzirajo prihranjeni stroški za obdelavo in se ohranja ali povečuje stabilnost pridelave skozi čas (zmanjšano ekonomsko tveganje). Širše pa tudi, če so znatno okrepljene ekosistemske storitve, kot so vezava ogljika v tla, zmanjšana erozija tal, manjše izgube hranil, biotska pestrost tal, idr. Sintezna študija Pittelkowa in sod. (2015b) obravnava več kot 6000 parnih primerjav CT-NT. V povprečju je bil pridelek na NT zmanjšan za 5,1 % z velikimi razlikami med poljščinami, podnebnimi značilnostmi, načini gnojenja, prisotnosti namakanja in tudi trajanjem poskusa. NT je bil bolj primerljiv CT obdelavi (4 % zmanjšanje), če je bilo izvedeno mineralno gnojenje z dušikom (N), brez tega je bil pridelek znatneje zmanjšan (15 %). Zmanjšanje na NT je bilo največje v začetnih letih poskusov, kasneje so beležili primerljivejši pridelek.

Da NT daje CT načinu obdelave primerljivejše rezultate v pridelku in ekonomskih donosih šele več kot 15 let po vpeljavi NT, kažejo tudi rezultati Cusserja in sod. (2020), ki opozarjajo, da trendi, dobljeni iz kratkoročnih raziskav, lahko zelo zgrešijo rezultate v kasnejših letih. Po tej študiji je bilo v kratkoročnih analizah kar četrtnina negativnih trendov za NT v primerjavi s CT. Če so preverjali daljše časovne nize (21–30 let), pa negativnih trendov na NT ni bilo več.

Nekoliko manj je meta-raziskav, kjer se primerja pridelke na CT in na zmanjšani (MT) obdelavi. Van Balen in sod. (2023) so primerjali pridelke 10-letnega poskusa s CT in MT na Nizozemskem (Wageningen) na meljasto-peščenih tleh. Razlik v pridelku med načini obdelave po posameznih poljščinah večinoma ni bilo, značilno manjši pridelek na MT pri korenju in zelju je bil lahko posledica prejšnjih posevkov, ki na MT niso bili popolnoma uničeni (travno-deteljne mešanice). V tej raziskavi so obravnavali tudi površine v ekološki pridelavi, kjer ni bilo večjih razlik v pridelkih med CT in MT, razen za nekatere (zelje).

Kombinacijo obdelave tal in sistema pridelave (konvencionalno in ekološko) so z vidika velikosti pridelkov in ekonomske učinkovitosti v poskusih na Rodale institute primerjali Pearsons in sod. (2023). Ugotovili so primerljive pridelke med načinoma obdelave tal. Večji učinek je imel sistem pridelave, saj je bilo značilno manj pridelka v ekološki pridelavi, temelječi na metuljnicah kot viru N, kot v konvencionalni in ekološki pridelavi, temelječi na organskih gnojilih, ne glede na način obdelave. Z vidika primerljivosti velikosti pridelkov, ekonomskega donosa in ekonomskega tveganja se je kot uspešna pokazala ekološka pridelava v varianti, ko so bila vir hranil organska gnojila. Raziskava nakazuje, da je bolj kot način obdelave tal na

velikost pridelkov in donosnost vplivala pokritost tal z rastlinami in ostanki ter vnosi organskih gnojil.

V raziskavi smo primerjavo pridelkov izvedli na več obstoječih poljskih poskusih za celotni niz let, za katere imamo podatke. Poskusi ustrezajo kriterijem meta-raziskav (Pittelkow in sod., 2015b; Su in sod., 2021) v tem, da gre za parne primerjave CT vs. MT/NT poskusov, kjer so poljščine in kolobar iste, različna pa je prekritost tal z ostanki. Pridelke primerjamo znotraj posameznega poskusa in deloma med poskusi, kjer je primerjava smiselna (pedo-klimatski vplivi, različna starost poskusov).

2 MATERIALI IN METODE DELA

Primerjavo pridelkov smo izvedli za naslednje večletne poljske poskuse (VPP), katerih glavni namen je primerjava učinkov različnih načinov obdelave tal:

- VPP Rašica, Moškanjci - primerjava CT in MT, do leta 2016 konvencionalna pridelava nato ekološka, podatki o pridelkih od 2000 naprej;
- VPP BF-polje, Ljubljana (TillComp) - primerjava CT in NT ter treh ravni gnojenja (NPK, kompost, brez), na NT parceli do leta 2017 obdelava tal konzervirajoča (MT), podatki o pridelkih od 2000 naprej;
- VPP Mamino, Gorišnica - za leta 2011 do 2016 primerjava CT in MT ter CT+P in MT+P, kjer P pomeni podrahljavanje, en prehod do globine 60 cm (za leta od 2017 naprej primerjava CT, MT in NT, kjer je slednji bodisi na predhodni CT+P (oznaka NTo) ali na predhodni MT+P parceli (oznaka NTe) ;
- VPP Kumrovo, Pesnica - za leta 2011 do 2016 primerjava CT in MT ter CT+P in MT+P, kjer P pomeni podrahljavanje, en prehod do globine 60 cm ; za leta od 2017 do 2021 primerjava CT, MT in NT, kjer je slednji bodisi na predhodni CT+P (oznaka NTo) ali na predhodni MT+P parceli (oznaka NTe).

Meritve pridelkov so bile izvedene na dva načina:

- preko vzorčnih parcelic, naključno razporejenih po obravnavanjih (poskusa Rašica, Ljubljana) ali
- s tehtanjem celotnega pridelka obravnavanja na kombajnu (poskusa Pesnica in Gorišnica).

Pridelek posamezne poljščine za način 1 smo ugotavljali ob zrelosti na posameznih poskusnih parcelah v več ponovitvah. Vzorčne ploskve smo prilagodili posevku; za žita in druge nižje posevke smo vzorčili 1—2 m² velike ploskve, za višje posevke (koruzo in sončnice) smo vzorčili po dve vrsti 2 m dolžine. Biomaso nadzemnega dela rastlin smo vzorčili na višino, primerljivo s strojnim pravilom. Na terenu smo za nižje posevke posamezni vzorec shranili v jutaste vreče in posušili pri 40 °C v sušilniku na zračno suho vlažnost. Suhe vzorce smo omlatili in pridobili uporaben pridelek zrnja oz. semen. Izračunali smo delež slame in pridelka. Za primer koruze in sončnic smo žetvene ostanke stekali že na terenu in za določitev vlage vzeli majhne podvzorce. V sušilnikih smo pri teh poljščinah sušili storže oz. koške. Za vse poljščine smo v končni fazi izračunali uporaben pridelek suhe snovi na hektar. Za nekatere poljščine smo določali le skupno biomaso na hektar, kadar je bil posevek terminiran pred zrelostjo.

Razliko v pridelkih smo testirali z uporabo t-testov pri stopnji značilnosti 0,05. Izračunali smo relativni pridelek MT oz. NT v primerjavi z CT ($MT/CT \times 100$). Za poskus Ljubljana, kjer se poleg načina obdelave tal proučuje tudi vpliv načina gnojenja, smo primerjave obravnavanj izvedli za vsak način gnojenja posebej. Primerjave relativnih pridelkov med posameznimi poskusi naše raziskave so le deloma mogoče, če privzamemo dovolj dolgo trajanje poskusov in posebej, če je v istem letu na poskusih posejan isti posevek.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 VPP Rašica, Moškanjci

Za VPP Rašica razlik v pridelkih med CT in MT v posameznih letih večinoma nismo ugotovili (preglednica 1); izjema sta ozimni ječmen in koruza za zrnje v začetnih letih trajanja poskusa (2001 in 2002), kjer je bil pridelek na MT značilno manjši kot na CT. To se sklada z rezultati drugih avtorjev, ki ugotavljajo večje razlike v prvih letih uvedbe poenostavljenih načinov obdelave tal kot pa v kasnejših letih (Cusser in sod., 2020; Pittelkow in sod., 2015b).

Kljub večletnemu poskusu je nabor podatkov za ta poskus premajhen, da bi za posamezno poljščino omogočal zanesljivo primerjavo velikosti pridelkov pred prehodom na ekološko pridelavo in po njem. Preveč se namreč v takih primerjavah kažejo drugi vplivi, npr. vremenske razmere in učinki škodljivih organizmov. Kljub temu velja omeniti, da sta bila pridelka ozimne rži v letu 2020 in koruze v letu 2021 najnižja tekom trajanja poskusa, če izvzamemo izjemno sušno leto 2003. To nakazuje na splošen upad pridelkov na tem poskusu, kar povezujemo predvsem z zapleveljenostjo, ki je pri ekološki pridelavi nismo uspeli učinkovito obvladovati. Deloma je možno pomanjkanje hranil, čeprav se poskus redno gnoji z organskimi gnojili. Zapleveljenost kot veliko grožnjo v ohranitvenih načinih obdelave, posebej pa v ekološkem kmetijstvu, navaja tudi več študij (Pittelkow in sod., 2015a; Toliver in sod., 2012).

Preglednica 1: Dinamika velikosti pridelkov (povprečje in stand. napaka (SE) ter relativni pridelek v %) na VPP Rašica v Moškanjcih. Značilnost razlik je po t-testu pri stopnji značilnosti 0,05 (* pomeni statistično značilne razlike, n.s. so neznačilne razlike).

Leto	Posevek	MT (t ha ⁻¹)		CT (t ha ⁻¹)		Rel. pridelek na MT (%)	Značilnost razlik
		Povr.	SE	Povpr.	SE		
2000	Ozimna pšenica	6,5 ± 0,6		7,8 ± 0,3		83,3	n.s.
2001	Ozimni ječmen	5,0 ± 0,5		6,3 ± 0,1		79,4	*
2002	Koruz za zrnje	7,9 ± 0,4		10,1 ± 0,5		78,2	*
2003	Koruz za zrnje	2,9 ± 0,1		2,2 ± 0,3		131,8	n.s.
2004	Sladkorna pesa	15,6 ± 1,8		15,2 ± 1,4		102,6	n.s.
2005	Ozimna pšenica	5,0 ± 0,3		5,3 ± 0,1		94,3	n.s.
2006	Koruz za zrnje	8,0 ± 0,2		8,2 ± 0,2		97,6	n.s.
2010	Oljna ogrščica	4,4 ± 0,0		3,6 ± 0,1		122,2	n.s.
2011	Koruz za zrnje	7,4 ± 0,4		7,6 ± 0,5		97,4	n.s.
2012	Sončnice	1,6 ± 0,0		1,6 ± 0,0		100,0	n.s.
2013	Ozimna rž	4,7 ± 0,2		5,4 ± 0,3		87,0	n.s.
2014	Travno-deteljna mešanica	Pridelek ni bil merjen					
2015	Ozimni ječmen	3,9 ± 0,5		3,5 ± 0,2		111,4	n.s.
2016	Soja	Pridelek ni bil merjen					
2017	Ozimna rž	2,9 ± 0,1		3,1 ± 0,5		93,5	n.s.
2018	Prekrivni posevek križnic	Pridelek ni bil merjen					
2019	Ozimna rž (cela nadz. biomasa)	9,4 ± 2,4		9,5 ± 1,5		98,9	n.s.
	Fižol (cela nadz. biomasa)	2,2 ± 0,2		2,4 ± 0,2		91,7	n.s.
2020	Ozimna rž	1,7 ± 0,2		2,1 ± 0,5		81,0	n.s.
2021	Koruz za zrnje	2,8 ± 0,7		4,4 ± 0,5		63,6	n.s.
2022	Sončnice	2,8 ± 0,7		4,4 ± 0,5		26,5	n.s.
2023	Koruz za zrnje	Ni pridelka		1,0 ± 0,7			

Povprečno so bili pridelki na MT 91,1 % pridelkov na CT z maksimumom 131 % leta 2003 (koruza) in minimumom 26,5 % leta 2022 (sončnice) (slika 1). Povprečno zmanjšanje (8,8 %) je večje, kot v metaraziskavah (Pittelkow in sod., 2015b; Su in sod., 2021), čeprav je dosegala

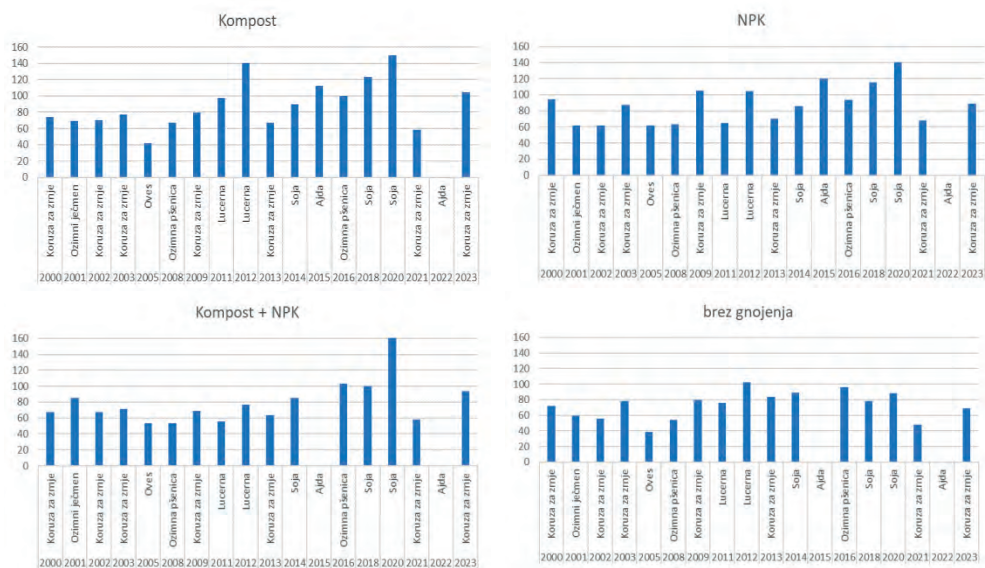
manj kot 5 % še do vključno leta 2021. Zadnjih pet let na tem poskusu beležimo trend upadanja relativnih pridelkov na MT, kar pripisujemo zapleveljenosti.

3.2 VPP BF-polje, Ljubljana

Tudi na tem poskusu večinoma ni bilo značilnih razlik med načinoma obdelave tal (NT vs. CT), če primerjamo oba načina obdelave tal za vsako leto posebej (slika 2). Statistično značilne posamične razlike so bile skoraj izključno v koruzi, ki se je v tem poskusu izkazala kot poljščina, ki intenzivneje reagira na zmanjšano obdelavo oz. odsotnost obdelave. Tudi Pittelkow in sod. (2015b) navajajo, da v skupini žit in stročnic, koruza kaže večje zmanjšanje pridelkov na NT v primerjavi s CT. V našem poskusu so se stročnice (lucerna, soja) na NT obnesle, saj so bili pridelki primerljivi ali večji na NT kot na CT, posebej leta 2020, ko je bil na CT slab vznik.

Ta poskus ima kot dodaten faktor način gnojenja, ki se je prav tako pokazal kot statistično značilen dejavnik, vendar ne v vseh letih oz. poljščinah. Večinoma je bil pridelek najnižji na negnojenih parcelah, najvišji pa pri gnojenju z mineralnimi gnojili (NPK). V kar nekaj letih se je od vseh načinov gnojenja razlikovalo le obravnavanje brez gnojenja, med drugimi načini pa značilnih razlik ni bilo.

Če vzamemo posevke in leta kot ponovitve za določanje relativnega pridelka na NT, so statistične razlike bolj jasne. V povprečju vseh let/posevkov in vseh načinov gnojenja je pridelek na NT parcelah dosegal 82,9 % pridelka na CT (preglednica 3), kar je statistično značilno manj. Glede na način gnojenja je bil relativni pridelek NT najnižji na negnojeni varianti, kjer je dosegal 73,5 % pridelka na CT. Na NT gnojenih parcelah je bil pridelek bolj primerljiv CT gnojenim parcelam, vendar so bili pridelki na NT statistično značilno vseeno manjši kot na CT. Da kombinacija NT pri pridelavi brez dodanih gnojil pomeni večje zmanjšanje pridelkov v primerjavi z negnojenimi CT, opozarjajo tudi Pittelkow in sod. (2015b).



Slika 2: Relativni pridelki (v %) v NT, izračunani kot $(NT/CT*100)$ po posevkih/letih za poskus BF-polje za posamično raven dejavnika gnojenje.

Preglednica 3: Povprečni relativni pridelki v NT po načinih gnojenja za poskus BF-polje. Značilnost t-testa kaže razliko med NT in CT.

Gnojenje	Relativni pridelek (%) (NT/CT*100)	Standardna napaka (SE)	Značilnost (t- test)
Kompost	88,70 ±	7,29	*
Kompost+NPK	81,01 ±	9,06	*
NPK	87,52 ±	5,95	*
Brez gnojenja	73,52 ±	4,59	*
Skupno	82,85 ±	3,41	*

3.3 VPP Gorišnica in Pesnica

Na poskusih v Gorišnici in Pesnici smo natančneje analizirali podatke od leta 2017 do 2021, saj je leta 2017 prišlo do delne spremembe v načinu obdelave na teh poskusih. V preglednici 5 prikazujemo tudi podatke za prejšnja leta.

Preglednica 5: Zbir podatkov za poskusa v Pesnici in Gorišnici – absolutni (t/ha) in relativni pridelki (v %). Za okrajšave obravnavanj glej opis v metodah dela.

Težka tla – Pesnica

Leto	Posevek	CT	rel. prid.	CT+P	rel. prid.	MT+P	rel. prid.	MT	rel. prid.
2012	koruza	7,93	100	7,73	97,5	8,39	105,8	8,40	105,9
2013	rž	7,00	100	6,80	97,1	5,71	81,6	5,92	84,6
2014	ol. ogrščica	4,53	100	5,12	113,1	5,03	111,2	5,05	111,5
2015	pšenica	6,32	100	7,37	116,6	6,89	108,9	7,26	114,8
2016	koruza	11,39	100	11,38	99,9	10,62	93,2	10,65	93,5
		CT	rel. prid.	NTo	rel. prid.	NTe	rel. prid.	MT	rel. prid.
2017	soja	1,98	100	1,91	96,8	1,81	91,6	2,00	101,2
2018	pšenica	5,02	100	5,61	111,7	4,94	98,3	4,73	94,1
2019	koruza	9,94	100	7,71	77,5	8,97	90,2	7,98	80,3
2020	jari ječmen	6,06	100	5,44	89,8	5,32	87,9	6,29	103,9
2021	koruza	10,55	100	7,89	74,8	7,31	69,3	12,03	114,0
2017-2021	Relativni pridelek (%)		100,0		90,1 (n.s.)		87,4 (0,06)		98,7 (n.s.)

Lahka tla - Gorišnica

Leto	Posevek	CT	rel. prid.	CT+P	rel. prid.	MT+P	rel. prid.	MT	rel. prid.
2012	koruza	3,48	100	3,64	104,8	3,51	101,1	3,70	106,3
2013	rž	6,71	100	6,56	97,7	6,28	93,5	5,82	86,7
2014	ol. ogrščica	4,38	100	4,60	105,0	4,71	107,5	4,63	105,7
2015	pšenica	7,50	100	8,43	112,3	8,32	110,9	7,60	101,3
2016	koruza	9,42	100	10,39	110,3	10,01	106,3	7,52	79,9
		CT	rel. prid.	NTo	rel. prid.	NTe	rel. prid.	MT	rel. prid.
2017	soja	1,77	100	1,59	89,8	2,22	125,5	1,84	104,0
2018	pšenica	4,57	100	4,41	96,5	4,63	101,2	4,30	94,0
2019	koruza	10,70	100	11,72	109,5	13,01	121,6	11,95	111,7
2020	oz. ječmen	7,44	100	6,36	85,4	5,91	79,4	6,88	92,5
2020	soja po strmišču	1,93	100	1,87	96,7	1,64	84,7	2,13	110,4
2021	koruza	10,33	100	10,73	103,9	10,53	101,9	10,36	100,3
2022	sončnice	2,08	100	1,99	95,9	1,64	79,1	1,68	81,0
2023	soja	2,52	100	2,00	79,4	2,09	83,0	2,34	92,8
2017-2021	Relativni pridelek (%)		100,0		94,6 (n.s.)		97,1 (n.s.)		98,3 (n.s.)

Na MT obdelavi (obdelano z rahljalnikom Evers®) smo tako na poskusu Gorišnica kot Pesnica beležili primerljive pridelke tistim na CT obdelavi. Obe varianti NT (prehod na NT iz oranja ter prehod na NT iz MT) sta kazali nekoliko manjše pridelke, vendar le na poskusu Pesnica na teksturno težjih tleh. Tudi tu se je kot bolj odzivna pokazala koruza. Na poskusu Gorišnica so bili pridelki pri obeh variantah NT primerljivi; nekoliko večjo negativno razliko v pridelku v primerjavi s CT smo na tem poskusu zabeležili pri ječmenu v letu 2020.

4 SKLEPI

- pridelki na minimalni MT ali NT obdelavi se v več poskusih kažejo kot primerljivi ali le nekoliko manjši, so pa tudi primeri, kjer so pridelki znatno nižji v primerjavi s konvencionalno obdelavo.
- večji negativni vpliv na pridelek pri NT beležimo na težjih tleh (Ljubljana, Pesnica), posebej v posevkih koruze, tolerantnejše se kažejo metuljnice in žita; možen razlog je slabši vznik zaradi bolj zbitih in hladnejših tal. Zbijanju površine tal je potrebno na težjih tleh pri NT obdelavi posvetiti posebno pozornost tako z vidika izbire in opremljenosti strojev kot termina (časa) obdelave.
- manjši pridelki so pri MT ali NT obdelavi možni v sistemih, kjer je dodanih manj ali nič gnojil. Možen razlog je, da intenzivnejša obdelava pri CT sprosti določen del hranil iz talne organske snovi, pri NT pa se ta manj hitro razgrajuje. Če hranil ne dodajamo, je mineralizacija organske snovi namreč glavni vir hranil za rastline.
- v ekološki pridelavi je minimalna obdelava tal lahko problematična zaradi zapleveljenosti posevkov. Veliko pozornost je potrebno posvetiti varstvu pred pleveli in izbiri ustreznih poljščin, ki boljše konkurirajo plevelni flori. Slabše se obnesejo pozne jarine, pri katerih začetna rast sovпада s hitro rastjo termofilnih plevelov (npr. koruza).
- glede pridelka je potrebno natančneje raziskati mehanizme, ki imajo večji negativni vpliv na pridelek pri ohranitvenih načinih obdelave tal, kar bo prispevalo k zanesljivejšim priporočilom glede izbire primernih poljščin za take načine obdelave in potrebnih spremljajočih agrotehničnih ukrepov. Ustrezne kombinacije poljščin in praks glede na danosti okolja imajo možnost narediti velikost pridelkov v reduciranih načinih primerljive CT načinu obdelave tal ali celo večje.

Zahvala. Velika zahvala gre gospodu Branku Majeriču, kmetu, ki vrsto let omogoča izvajanje dela predstavljenih poskusov na njegovem posestvu. Raziskava je bila izvedena v okviru aplikativnega projekta L4-9315 in CRP projekta V4-2022 (ReC-Till), ki ju je sofinancirala Agencija RS za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost (ARIS) in Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, ter sredstev ARIS v okviru programske skupine P4-0085.

5 LITERATURA

- Cusser, S., Bahlai, C., Swinton, S.M., Robertson, G.P., Haddad, N.M., 2020. Long-term research avoids spurious and misleading trends in sustainability attributes of no-till. *Glob. Chang. Biol.* 26, 3715–3725. <https://doi.org/10.1111/gcb.15080>
- Mihelič, R., Pintarič, S., Eler, K., Suhadolc, M. Effects of transitioning from conventional to organic farming on soil organic carbon and microbial community: a comparison of long-term non-inversion minimum tillage and conventional tillage. *Biol Fertil Soils* (2024). <https://doi.org/10.1007/s00374-024-01796-y>
- Pearsons, K.A., Chase, C., Omondi, E.C., Zinati, G., Smith, A., Rui, Y., 2023. Reducing tillage does not affect the long-term profitability of organic or conventional field crop systems. *Front. Sustain. Food Syst.* 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1004256>
- Pittelkow, C.M., Liang, X., Linquist, B.A., Van Groenigen, L.J., Lee, J., Lundy, M.E., Van Gestel, N.,

- Six, J., Venterea, R.T., Van Kessel, C., 2015a. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 517, 365–368. <https://doi.org/10.1038/nature13809>
- Pittelkow, C.M., Linquist, B.A., Lundy, M.E., Liang, X., van Groenigen, K.J., Lee, J., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., van Kessel, C., 2015b. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *F. Crop. Res.* 183, 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.020>
- Su, Y., Gabrielle, B., Makowski, D., 2021. A global dataset for crop production under conventional tillage and no tillage systems. *Sci. Data* 8, 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00817-x>
- Toliver, D.K., Larson, J.A., Roberts, R.K., English, B.C., de La Torre Ugarte, D.G., West, T.O., 2012. Effects of no-till on yields as influenced by crop and environmental factors. *Agron. J.* 104, 530–541. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0291>
- van Balen, D., Cuperus, F., Haagsma, W., de Haan, J., van den Berg, W., Sukkel, W., 2023. Crop yield response to long-term reduced tillage in a conventional and organic farming system on a sandy loam soil. *Soil Tillage Res.* 225, 105553. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105553>

Gospodarjenje z rekultivacijsko plastjo in vegetacijo pod sončnimi paneli - območje Sončne elektrarne Prapretno

Matjaž GLAVAN¹²⁷, Vesna ZUPANC¹²⁸ in Matej VIDRIH¹²⁹

Izvleček

Območje zaprtega odlagališča elektrofiltrskega pepela Prapretno je bilo uporabljeno/namenjeno za postavitev sončne elektrarne. Zaradi specifičnih geoloških in mikroklimatskih razmer pod paneli ter ciljem večnamenske rabe prostora pod njimi (paša in košnja travne ruše) smo preučili morebitne dolgoročne vplive postavitve sončne elektrarne (SE) na umetno pripravljeno podlago in podali predloge za dolgoročno vzdrževanje rekultivacijske plasti ter vegetacije pod in v okolici panelov. Dosedanje analize na območju SE Prapretno kažejo, da na kmetijsko pridelavo najbolj vplivajo konstrukcijski parametri SE, to je vzorec postavitve sončnih panelov sistema in višina panelov od tal. Le-ti vplivajo na mikroklimo, ker zagotavljajo senco, znižujejo temperaturo, preprečujejo sončne ožige rastlin, preprečujejo evaporacijo in s tem ohranjajo višjo vsebnost vode v tleh v suhih obdobjih leta ali na sušnejših območjih. Lahko povzročijo tudi neenakomerno otekanje vode in zmanjšajo osvetlitev površine tal, kar vpliva na spremembo botanične sestave travne ruše in zmanjšanje pridelka travniške krme na najbolj osenčenih delih pod sončnimi paneli. Odločitev ali se travno rušo pod paneli in v prehodih mulči ali kosi ali pase ovce je prepuščena upravniku, ima pa vsaka od treh rab svoje prednosti in slabosti.

Ključne besede: sončna elektrarna, sončni paneli, vegetacija, paša, voda, senčenje, rekultivirana tla

Management of the reclaimed soil layer and vegetation under solar panels - the area of the Prapretno solar power plant

Abstract

The area of the closed landfill of electrofilter ash Prapretno was identified as having potential for the construction of a solar power plant. Due to the specific geological and microclimatic conditions under the panels and the goal of multi-purpose use of the space under them (grazing and mowing of grass sward), the possible long-term effects of placing the solar power plant (SE) on an artificially prepared soils were examined, and proposals were made for the long-term maintenance of the reclamation layer and vegetation under and around the panels. Analyzes so far in the SE Prapretno area show that the most influential design parameters of a solar power plant on agricultural production are the placement pattern of the solar panels of the system and the height of the panels from the ground. They affect the microclimate because they provide shade, lower the temperature, prevent sunburn of plants, prevent evaporation, and thus maintain a higher water content in the soil during dry periods of the year or in drier areas. They can also cause uneven water drainage and reduce the illumination of the soil surface, which has the effect of changing the botanical composition of the grass sward and reducing grass yield in the most shaded areas under the solar panels. The decision whether to mulch or mow or graze sheep under the panels is left to the manager, but each of the three uses has its advantages and disadvantages.

Keywords: solar power plant, solar panels, vegetation, grazing, water, shading, reclaimed soil

1 UVOD

Skupina Holding Slovenske Elektrarne (HSE) je največji proizvajalec električne energije iz obnovljivih virov v Sloveniji, ki želi svojo dejavnost pridobivanja električne energije iz energije

¹²⁷ Doc. dr., Biotehniška fakulteta, e-pošta: matjaz.glavan@bf.uni-lj.si

¹²⁸ Doc. dr., Biotehniška fakulteta prav tam, e-pošta: vesna.zupanc@bf.uni-lj.si

¹²⁹ Doc. dr., Biotehniška fakulteta prav tam, e-pošta: matej.vidrih@bf.uni-lj.si

vode razširiti še na druga področja, kot je tudi energija sonca. To investicija v izgradnjo Sončne elektrarne (SE) Prapretno tudi omogoča.

HSE je območje zaprtega odlagališča elektrofiltrskega pepela Prapretno, upoštevajoč zgodovino nastanka (deponija nevarnih odpadkov) in pozicijo v prostoru (umetno ustvarjen in dobro osončen plato nad dolino reke Save), prepoznal kot potencialno za postavitev sončne elektrarne in s tem najbolj optimalne rabe prostora (HSE, 2021). Prva faza Sončne elektrarne Prapretno (SE Prapretno) (segment 1) je bila realizirana v letu 2022 (slika 1), v postopku priprave je tudi nadgradnja projekta SE Prapretno kot celote (segmenta 2 in 3).

Skladno s ciljem okoljsko odgovornega in družbeno sprejemljivega delovanja smo zaradi specifičnih geoloških in mikroklimatskih razmer pod paneli ter ciljem večnamenske rabe prostora pod njimi (paša in košnja travne ruše) preučili morebitne dolgoročne vplive postavitve sončne elektrarne na podlago in podali predloge za dolgoročno vzdrževanje rekultivacijske plasti ter vegetacije pod in v okolici panelov. Primarni cilj naloge je bil preučiti stanje vegetacije na območju sončne elektrarne in preučiti obstoječe načine (košnja, paša) in pogoje (odziv umetne zemljine) gospodarjenja z njo, ki bi omogočili vzdrževati vegetacijo (travno rušo) na rekultivacijski plasti v dobrem stanju. To pomeni, da je sklenjena in dobro prekriva zemljino, ter tako preprečuje, da bi bila podlaga izpostavljena vremenskim vplivom. Sekundarni cilj naloge je bil na območju sončne elektrarne preučiti, kako sočasno s proizvodnjo elektrike izvajati kmetijsko dejavnosti (agrovoltaika), vendar le v primeru, da vegetacija rekultivacijske plasti ostane v dobrem stanju in opravlja svojo funkcijo varovanja podlage pred vremenskimi vplivi.

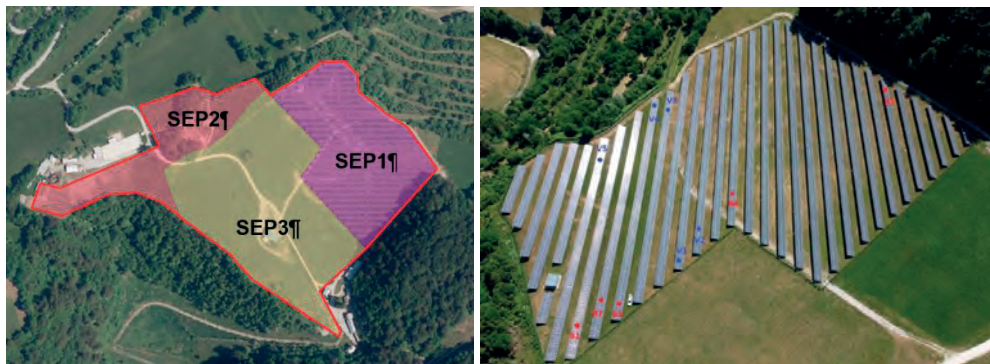
2 MATERIAL IN METODE DELA

2.1 Območje raziskave

Obravnavano območje (SEP1) se nahaja na platoju ali t.i. široki izravnavi odlagališča elektrofiltrskega pepela Prapretno, ki leži severovzhodno od bivše termoelektrarne med hribom Retje in Prapretno, na meji med občinama Hrastnik in Trbovlje, na nadmorski višini med 423 in 430 m nadmorske višine (SIIPS AD, 2022) (slika 1, levo). Površina celotnega območja SE Prapretno (SEP1, SPE2 in SEP3) bo po realizaciji vseh faz obsegala okoli 10,5 ha, kar vključuje sončne panele in tudi vse spremljajoče ureditve. Z deponijo Prapretno je zasuta nekdanja globoka grapa Prapreškega grabna, ki poteka v smeri severovzhod – jugozahod. Na zahodu, severozahodu in severu je omejena z grebenom Zatopole – Retje – Plesko, na severovzhodu se nahaja vas Plesko in na jugovzhodu proti jugu se vleče greben Jelenica – Visoko. Pod deponijo je vzpostavljen kanal oz. Rov, po katerem Prapreški graben teče približno 800 m in nato še približno 500 m po površini do reke Save. Reka Sava je na nadmorski višini 200 m.

Odlagališče nenevarnih odpadkov na deponiji Prapretno (1968–2017) predstavlja 120 metrov visok nasip, zgrajen iz 8,7 milijona ton elektrofiltrskega pepela, žlindre in sadre, ki so nastajali kot stranski produkti pri proizvodnji električne energije v premogovni enoti Termoelektrarne Trbovlje. Območje je v celoti sanirano. V podlagi deponije nastopa predvsem srednje in zgornje triasni (T2,3) masiven dolomit, ter Laške plasti (M22), ki na severu nalegajo na triasni dolomit (SIIPS AD, 2022). Na to podlago je odložen elektrofiltrski pepel (EFP) z raznimi primesmi. Na odlagališču Prapretno je odložen EFP, žlindra in sadra (produkt odžveplevanja) (SIIPS AD, 2022). Sestava EFP je bila odvisna od sestave premoga, ki se ga je kurilo v termoelektrarni. EFP je heterogen droben prah, po granulometrijski sestavi melj z zelo drobnim peskom. Sestavljen je iz večinoma okroglih ali zaobljenih delcev, ki vsebujejo spremenljive količine silicijevih in aluminijevih oksidov (70–80 %), železovih oksidov ter nezgorelih delcev premoga in mineralnih delcev. EFP ima veliko sposobnost vpijanja vode, pri čemer nastajajo

cementacijski minerali, kar privede do njegove visoke trdnosti. Analiza sestave tal v sondažnih jaških (SIIP AD, 2022) je pokazala, da je sestava tal v vseh jaških zelo podobna, na vrhu pa je temnorjav humus različnih debelin. Humus je mestoma pomešan z meljem ali gruščem. Sledi elektrofiltrski pepel v različnih gostotnih stanjih, ponekod so vmes tanke (od 5 do 15 cm) debele plasti ali leče drobnozrnatega grušča, meljaste gline ali ugaskov.



Slika 1: Območje sončne elektrarne Prapretno (SEP 1-3, vir: HSE Invest)(levo) in točke vzorčenja tal SE Prapretno (B = brez travne ruše (rdeče barve), V = zadovoljivo stanje travne ruše (modre barve) (desno).

2.2 Analiza stanja

V letu 2023 smo opravili dva (12. 6. in 20. 9.) terenska ogleda stanja vegetacije oziroma travne ruše na območju SEP 1. Ogled je vseboval analizo bujnosti, sklenjenosti, ter vrstne sestave travne ruše. Preverili smo učinke pokrivnosti sončnih panelov z vidika senčenja in preprečevanja padavin na območju panelov. Analizirali smo tudi učinek paše ovac in pašnega režima na stanje travne ruše.

Vzorčenje tal na SEP1 smo opravili 26. 6. 2023 na najbolj reprezentativnih mestih. Za vzorčenje smo izbrali 10 mest pod sončnimi paneli (slika 1, desno), pet, kjer je bila po ogledu travna ruša najslabše razvita (B – brez travne ruše) in pet, kjer je bila travna ruša najboljše razvita (V – dobro stanje travne ruše). Pri odvzemu vzorcev s sondiranjem je precej težav povzročala velika zbitosti tal. Vzorčenje je bilo izvedeno s kovinsko sondo ali z izkopom z lopato, odvisno od zbitosti zemljine. Vzorečilo se je po celotni globini zemljine do plasti elektrofiltrskega pepela (matične podlage). Globina zemljine je bila zelo heterogena in se je gibala med 5 cm do 42 cm. Odvzeti razsuti vzorci tal so bili oddani v laboratorij Centra za pedologijo in varstvo tal Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani za standardno pedološko analizo tal (tekstura, hranila, organska snov, pH, C/N razmerje, kationska izmenjalna kapaciteta).

2.3 Agrovoltaika in sončni paneli

Agrovoltaični sistemi so mešani proizvodni sistemi, ki na istem zemljišču hkrati združujejo pridelavo kmetijskih pridelkov za prehrano ljudi (poljščine, zelenjava, sadne vrste) oziroma krme za živino (trave, detelje, pašnik) na površini tal in energije s pomočjo sončnih panelov nad to površino tal (Dupraz in sod., 2010). Agrovoltaika pomeni proizvodnjo električne energije s fotovoltaiko na površinah, kjer opravljamo izbrano kmetijsko dejavnost (Poje, 2022) in imamo lahko pri tem ekonomske, socialne in okoljske koristi (Al Mamun in sod., 2023). Dosedanje

analize kažejo, da sta najvplivnejša konstrukcijska parametra sončne elektrarne na kmetijsko pridelavo vzorec postavitve sončnih panelov sistema in višina panelov od tal (Toledo in Scognamiglio, 2021).

Sončni paneli so postavljeni na lahko montažno konstrukcijo, ki je temeljena z vijačenjem, tako da se v čim manjši meri posega v tla (slika 2). Oddaljenost najnižjega in najvišjega roba panelov od tal je 80 cm oziroma 200 cm. Paneli so obrnjeni na način, da v največji možni meri izkoristijo energijo sonca. Višina odmika modulov od tal zagotavlja možnost košnje trave, paše drobnice ali druge kmetijske rabe. Postavitev modulov vpliva tudi na ustvarjanje specifičnih mikroklimatskih razmer pod njimi (zmanjšana osončenost in omočenost podlage, zmanjšano segrevanje tal in posledično manjša evapotranspiracija, prevetrenost pod paneli, idr.).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Analiza travne ruše in pokritosti tal

Analiza vegetacije pod paneli je pokazala zelo raznoliko stanje vegetacije, ki je posledica pretekle rabe (paša ovc je potekala med 20.3. in 24.4.) in vzdrževanja sklenjene travne ruše z dosejevanjem (slika 2). Prisotne so bile vrste, ki so značilne za tla, siromašna na hranilih (prisotnost poljske detelje), točkovna bogata tla na dušiku (prisotnost navadne koprive) in predvsem prilagojena na pomanjkanje vlage v tleh (prisotnost travniške kadulje in lucerne) ali slabe vodozadrževalne lastnosti tal. Prisotna je bila tudi vrsta iz skupine invazivnih tujerodnih vrst (enoletna suholetnica). Raznoliko stanje vegetacije je pričakovano in značilno za antropogeno vzpostavljena tla, kakršna je rekultivacijska plast na območju odlagališča elektrofiltrskega pepela, ki je bila izvedena po zaprtju odlagališča. Take situacije v običajnih, naravnih razmerah, kjer so tla rezultat naravnih dejavnikov, ni pričakovati. V travni ruši pod paneli je bilo tako najdenih 5 vrst trav, ena vrsta metuljnice in 9 vrst zeli: rdeča bilnica (*Festuca rubra* L.), navadna pasja trava (*Dactylis glomerata* L.), travniška bilnica (*Festuca pratensis* L.), zlati ovsenec (*Trisetum flavescens* L.), trpežna ljujka (*Lolium perenne* L.), bela detelja (*Trifolium repens* L.), plazeči petoprstnik (*Potentilla reptans* L.), navadna lakota (*Galium mollugo* L.), vrednikov jetičnik (*Veronica chamaedrys* L.), srhodlakava vijolica (*Viola hirta* L.), ripeča zlatica (*Ranunculus acris* L.), ozkolistni trpotec (*Plantago lanceolata* L.), navadni regrat (*Taraxacum officinale* L.), navadna kopriva (*Urtica dioica* L.), bršljanasta grenkuljica (*Glechoma hederacea* L.) in njivski slak (*Convolvulus majalis* L.).

Na mestih pod paneli, kjer nismo našli nobenih vrst rastlin in je bila ruša bolj poškodovana, so bili vidni iztrebki ovc, zato ocenjujemo, da je način upravljanja z živalmi na paši lahko eden od razlogov za poškodovanost vegetacije pod paneli v letu 2023. Tudi Hamidi in sod. (2024), ki so z GPS ovratnicami merili obnašanje ovc, ugotavljajo, da kadar so ovce ograjene na površini sončne elektrarne opravijo ležanje, gaženje in blatenje pod paneli, medtem ko se pasejo v prehodih. Na drugih mestih poškodovane ruše se je močno razrasel plazeči petoprstnik, ki velja za pionirsko rastlino, ki med prvimi ozeleni neporasle dele površine tal (slika 3, desno). Opazili smo tudi nekaljeno seme trav in mlade rastline trav, kot posledico dosejevanja v procesu vzdrževanja rekultiviranih tal. Dosejevanje je bilo potem, ko so začela nastajati prazna mesta pod paneli ali zaradi senčenja ali zaradi predolgega zadrževanja ovc pod paneli, opravljeno z ročno setvijo travnega semena in rahlim zagrnjevanjem z gornjo plastjo tal. Na tretjem najbolj pogostem poškodovanem mestu pod paneli pa je prevladujoče uspevala škrlatno rdeča kopriva skupaj s plazečim petoprstnikom in dosejano travo. Travniška vegetacija je bila na prehodih

med paneli zelo visoka (40—60 cm) in v razvojni fazi cvetenja in zorenja. Prevladovale so vrste iz skupine trav, zatem skupine zeli in tudi nekaj vrst iz skupine metuljnic.

Na treh prehodih v zgornji severni polovici SE Prapretno (smer jug-sever) je bila travna ruša nižja (od 10 do 20 cm), vsebovala je velik delež bele detelje in zatem navadnega trpotca ter navadne nokote, kar je nakazovalo na predhodno rabo z mulčenjem.



Slika 2: Dve različni stanji vegetacije pod paneli na območju Sončne elektrarne Prapretno 12. 6. 2023 (Foto: Vidrih M.)



Slika 3: Dve različni stanji vegetacije pod paneli na območju Sončne elektrarne Prapretno 20. 9. 2023 (Foto: Vidrih M.).

3.2 Analiza tal

Pedološka analiza je pokazala, da so rekultivirana tla deponije na vzorčenih mestih teksturno srednje težka (MI) do težka (MGI, MG, GI). Iz izkušenj z izvajanjem meritev sposobnosti tal za zadrževanje vode v tleh vemo, da mesta s srednje težko teksturo (MI, MGI) nudijo optimalno oskrbo rastlin z vodo, medtem ko je na mestih s težko teksturo tal (predvsem, kjer je meljasta glina – MG, GI) voda lahko premočno vezana za rastline že, ko so tla na videz še vlažna. Rezultati nakazujejo, da tekstura tal ni glavni omejitveni dejavnik, saj med območji brez travne ruše (B) in z dobrim stanjem ruše (V) ni očitnih razlik (slika 2).

Vsebnost organske snovi v vzorcih je srednje bogata do zelo bogata. Nekoliko večje vsebnosti so pričakovane za travnike, ki se mulčijo in pasejo. V vrhnjih 10 centimetrih vzorčnih mest brez travne ruše je vsebnost v povprečju precej večja (11,4 %, 6,6–17,9 %) kot v plasti s travno rušo (5,3 %, 4,5–6,6 %). V plasti med 10 in 20 centimetri ni večjih razlik (2,8 % brez ruše in 3,2 % s travni rušo). Še posebej močno izstopata vzorca B4 in B5, kjer je bil odstotek organske snovi izrazito velik skozi celoten odvzet profil tal (16,7–17,9 %). To nakazuje na neenakomerno razporeditev organske snovi v vrhnji plasti tal ob izvajanju rekultivacije.

Za dobro rast rastlin je zelo pomembno primerno C/N razmerje. Mikroorganizmi, ki omogočajo nemoten potek humifikacije organske snovi potrebujejo zadostno količino dušika. Analiza je pokazala, da je v večini vzorcev C/N razmerje optimalno (10–12), nekateri vzorci kažejo na omejeno sproščanje dušika, vzorci tal B4 in B5 pa presežejo razmerje 15, ki pomeni močno omejeno sproščanje dušika.

Analiza vzorcev je pokazala v vrhnjih 10 centimetrih prekomerno vsebnost fosforja, saj vsebnosti močno presegajo 40 mg $P_2O_5/100g$ tal. Do globine 20 centimetrov so tla v povprečju srednje preskrbljena z odkloni od siromašnih do ekstremno preskrbljenih. Vsekakor velja, da vsaj nadaljnjih pet let gnojenje s fosforjem ni potrebno. Analiza tal je pokazala, da so tla v povprečju v zgornjih 10 centimetrih dobro do prekomerno preskrbljena s K_2O in v globini do 20 centimetrov s kalijem siromašno preskrbljena.

Rezultati nakazujejo, da tekstura tal, reakcija tal (pH), organska snov, preskrbljenost s hranili, C/N razmerje in kationska izmenjalna kapaciteta niso omejitveni dejavniki za dobro uspevanje travne ruše, saj med območji brez travne ruše (B) in z dobrim stanjem ruše (V) v teh parametrih ni očitnih razlik.

4 SKLEPI

Dosedanja analiza izvajanja kmetijskih ukrepov na območju SE kaže na pomanjkljivosti pri setvi trave in izvajanju paše. Na mestih, kjer se je opravljalo dosejevanje travnega semena, vso seme ni bilo pokrito s tlemi in ga je zato nekaj tudi propadlo. Pri dosejevanju s semenom trav moramo doseči določeno pokritost semena s tlemi ali tam prisotnimi rastlinskimi ostanki. Le tako lahko dosežemo kalitev in vznik travnega semena. Primeren stik semena s tlemi lahko dosežemo le z uporabo specialne sejalnice za setev trav, medtem ko z ročnim orodjem, kot je bilo uporabljeno v tem primeru, to dosežemo težje.

Na območju SE Prapretno so se ovce pasle v sedmih čredinkah, ki so jih naredili sproti z večjim številom elektromrež. Te so bile postavljene vzporedno z linijo panelov. Tako so imele ovce ves čas možnost paše med paneli in pod paneli, kot tudi umika pod panele zaradi neugodnih vremenskih razmer. Večkrat so verjetno tudi prenočevale pod paneli, kar je bilo iz vidika vzdrževanja ruše manj ustrezno.

Dosedanje analize kažejo, da sta najvplivnejša konstrukcijska parametra sončne elektrarne na kmetijsko pridelavo vzorec postavitve sončnih panelov sistema in višina panelov od tal. Učinki senčenja na travno rušo zaradi načina postavitve panelov v smeri sever-jug so bili vidni po celotni pokriti površini. Učinki pomanjkanja vlage v tleh na travno rušo so najbolj vidni na sredini pokritega območja (slika 2). Učinke senčenja na propad travne ruše lahko zmanjšamo na minimum z izbiro primernih kmetijskih rastlin, ki so prilagojene na zmanjšano osončenje, namakanjem površine pod paneli ali s trajnim zastiranjem površine pod paneli.

Za vzdrževanja dobre prekrivne sklenjene travne ruše, predlagamo: a) setev vrst, prilagojenih na večjo osončenost in pomanjkanje vlage v tleh, na tla pod paneli (priporočamo setev vrst in mešanic, ki so namenjene okrasnim vrtovom z veliko drevesi, ki tvorijo strnjeno senco); b) setev mešanic semen, pridobljenih na lokalnih ekstenzivnih travnikih v okolici SE Prapretno; c) dovajanje vode na območja pod paneli, kjer se kaže pomanjkanje vode z namakalnim sistemom; č) solarne panele se uredi tako, da je v času padavin omogočeno enakomerno razpršeno kapljanje po vodih panelov in na tla pod paneli.

Za zasledovanje cilja dobre pokrivnosti tal in preprečevanja odnašanja talnih delcev predlagamo: a) zastiranje tal z mulčem pokošene trave iz prostora med paneli; b) zastiranje tal s tkanino/geotekstil za prekrivanjem na mestih slabše rasti travne ruše in c) zastiranje tal z umetno travo na mestih slabše rasti travne ruše.

Za uspešno sočasno proizvodnjo elektrike in kmetijske dejavnosti (agrovoltaika) predlagamo, da se paša ovc na travinju SE Prapretno izvaja ob znanih razmerah za uspevanje travne ruše tako, da živali povzročajo čim manj negativnega vpliva na rušo pod paneli (teptanje, gaženj in izločanjem iztrebkov). S pravilno vodeno pašo je potrebno preprečiti daljše zadrževanje živali pod paneli kot tudi prenočevanje, saj to vodi v zmanjšanje trpežnosti ruše ter zatem tudi njeno izginjanje. Poizkusiti je potrebno tudi, da se območje posameznih vrst panelov poskusno odgradi in se pase le v prehodih. Kadar ovca zaključi ležanje ali prenočevanje in vstane, je naslednja faza, da se iztrebi. Zato mora prenočevanje nujno potekati v prehodih med paneli, ker se bodo tam puščeni iztrebki in seč bolje obrestovali ruši za obnovo v prehodih kot ruši pod paneli. Oziroma mora biti čredinka vedno narejena tako, da stoji pravokotno na panelne linije in je v nočnem času prostor pod paneli ločen od vmesnega prostora prehodov med paneli. To se omogoči z uporabo opreme za vodenje nadzorovane paše s pomočjo elektroograj. Vse naštetto je izvedljivo, če ima rejec ali lastnik površine na voljo primerno vrsto opreme.

Zaradi mikroklimatskih razmer na območju SE Prapretno in vrsto umetne rekultivirane zemljine je najbolj priporočljiva dejavnost v sklopu agrovoltaike gospodarjenje s trajnim travnikom, ki je lahko nadzorovana in pravilno vodena paša ovc in prirreja jagnjet ali pridelava suhe krme s košnjo površin ali mulčenje trave. Vse ostale rabe ali ne omogočajo optimalne pokritosti zemljine (vrtnine, poljščine, jagodičevje) ali bi zaradi narave rasti prekrivale sončne panele (sadno drevje).

5 LITERATURA

- Al Mamun M.A., Garba I.I., Campbell S., Dargusch P., deVoil P. and Aziz A.A. 2023. Biomass production of sub-tropical grass under different photovoltaic installations using different grazing strategies. *Agricultural Systems* 208; <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103662>
- Dupraz C., Marrou H., Dufour L., Talbot G., Ferard Y., Nogier A. 2010. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy* 36, 10: 2725-2732; <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>
- Hamidi D., Sieve F., Siede C., Wilms L., Zinken L., Kunz F., Kayser M., Hamidi M., Isselstein J. 2024. Solargrazing – spatial distribution of sheep in free-field-photovoltaic systems on grassland. *Grassland Science in Europe* 29: 452–454
- Poje T. 2022. Trendi pri fotovoltaiiki in agrofotovoltaiiki. V: Čeh T.(ur) , Kapun S. (ur). Zbornik predavanj 30. Mednarodni posvet o prehrani domačih živali Zdravčevi in Erjavčevi dnevi, 85-92.
- Toledo C., Scognamiglio A. 2021. Agrivoltaic systems design and assessment: a critical review, and a descriptive model towards a sustainable landscape vision (three-dimensional agrivoltaic patterns). *Sustainability*, 13, 12; <http://dx.doi.org/10.3390/su13126871>
- SIIPS AD, 2022. Geološko geomehanski elaborat za SE Prapretno 3. Projekt št. HIPA-8234/2022. Načrt št. 13/06-22 GGE

Pridelek in kakovost navadne melise glede na sorto in razdaljo sajenja

Nataša FERANT¹³⁰ in Barbara ČEH¹³¹

Izvleček

Namen poljskih poskusov, ki smo ju postavili v Žalcu v letu 2022 in sta trajala tri leta, je bil ugotoviti, kateri od treh genotipov (sorti Citra in Quedlinburger ter akcesija iz kolekcije IHPS) melise izstopa po pridelku in kakovosti, ter kako razdalja sajenja (40 cm x 40 cm, 50 cm x 50 cm, 60 cm x 60 cm in 80 cm x 80 cm) vpliva na pridelek in kakovost akcesije IHPS. Pridelek smo spravljali v času tehnološke zrelosti (tik pred cvetenjem) v letu 2022 enkrat (prvoletnik), v letih 2023 in 2024 pa dvakrat. V 2022 je bil pridelek v sortnem poskusu značilno najmanjši (6 t/ha sveže snovi), značilno največji pa v 2023 (17 t/ha). V 2024 je bil pridelek manjši zaradi poplave v predhodnem letu (poškodovan koreninski sistem in rja na spodnjem delu rastline) in vročega vremena poleti (hiter začetek cvetenja za drugo spravilo). Sorta Quedlinburger je imela značilno najmanjši povprečni letni pridelek (7 t/ha), a najvišjo vsebnost eteričnega olja. Akcesija IHPS je imela značilno največji povprečni letni pridelek (15 t/ha). Pridelek eteričnega olja je imela značilno večji akcesija IHPS kot sorti Citra in Quedlinburger. Pridelek na rastlino akcesije IHPS se je značilno povečeval s povečevanjem razdalje med rastlinami v vseh letih in je bil značilno največji v tretjem letu pridelave. Pridelek na enoto površine pa je bil značilno večji pri razdalji 50 cm x 50 cm v primerjavi z 80 cm x 80 cm.

Ključne besede: zelišča, pridelava, vpliv razdalje sajenja, sortni poskus, vpliv sorte, pridelek

Yield and quality of lemon balm related to variety and planting distance

Abstract

The aim of the field trials conducted in Žalec in 2022, which lasted three years, was to determine which varieties of lemon balm (*Melissa officinalis*) could excel in terms of yield and quality. In the trial, the varieties Citra and Quedlinburger as well as an accession from the IHPS collection were compared and the effect of plant spacing (40 cm x 40 cm, 50 cm x 50 cm, 60 cm x 60 cm and 80 cm x 80 cm) on the yield and quality of the IHPS accession was assessed. Harvesting was carried out at the time of technological maturity (shortly before flowering): once in 2022 (plants in the first year) and twice in 2023 and 2024. In 2022, the yield in the variety trial was significantly lowest (6 t/ha fresh mass), while in 2023 it was significantly highest (17 t/ha). In 2024, the yield was lower due to flooding in the previous year (which damaged the root system) and hot weather in the summer of 2024 (which led to rapid flowering for the second harvest). The Quedlinburger variety had the significantly lowest average annual yield (7 t/ha) but the highest essential oil content. The IHPS accession had the significantly highest average annual yield (15 tonnes/ha). The IHPS accession also had a significantly higher yield of essential oil than the Citra and Quedlinburger varieties. The yield per plant of the IHPS accession increased significantly with longer plant spacing in all years, with the highest yield recorded in the third year of cultivation. However, the yield per unit area was significantly higher with a plant spacing of 50 cm x 50 cm than with 80 cm x 80 cm.

Keywords: herbs, cultivation, effect of plant spacing, variety trial, effect of variety, yield

1 UVOD

Navadna melisa (*Melissa officinalis* L.) je trajno grmičasto zelišče. Spada v družino *Lamiaceae* (ustnatice). Steblo je močno razrastlo, pokončno, na prerezu kvadratne oblike. Melisa je zelo primerna za pridelavo v naših pridelovalnih razmerah. V Sloveniji jo pridelujemo v vseh regijah

¹³⁰ Mag., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, e-pošta: natasa.ferant@ihps.si

¹³¹ Dr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, e-pošta: barbara.ceh@ihps.si

od Primorske do 1000 m nadmorske višine, po površini pa izstopa v Savinjski in Gorenjski regiji in tudi v Zasavju (Smernice za ..., 2024).

Sadike melise posadimo na stalno mesto konec aprila ali v začetku maja. Sadimo jih na razdaljo 40—60 cm v vrsti, odvisno od sorte, in na medvrstno razdaljo 40—80 cm oz. odvisno od širine obdelovalnih strojev (zatiranje plevela, rahljanje, spravilo). Sadimo jih ročno, lahko tudi strojno. Melisa je trajnica; nasad traja 3 do 5 let (Wagner, 1997). V naših pridelovalnih razmerah pridelek melise pospravljamo dvakrat do trikrat letno. Spravilo opravimo, ko so rastline tik pred cvetenjem, v sončnem vremenu. Porežemo jih 10 cm nad tlemi. Sveže zelišče je občutljivo na pritisk in pri tem porjavi, zato moramo biti pri spravilu zelo pazljivi. Rjavi madeži na listih so namreč znak slabše kakovosti (Valenčič in Spanring, 2000; Carpenter, 2023).

Namen poljskih poskusov je bil ugotoviti, katera sorta melise izstopa po velikosti in kakovosti pridelka. V poskusu smo primerjali sorti Citra in Quedlinburger in akcesijo iz kolekcije zdravih in aromatičnih rastlin IHPS, ki je v tej kolekciji že več kot 35 let. V tehnološkem poskusu pa smo ugotavljali, kako razdalja sajenja vpliva na pridelek akcesije IHPS.

2 MATERIAL IN METODE

2.1 Sortni poskus

19. maja 2022 smo na poskusno polje na IHPS v Žalcu posadili sorti melise Citra, Quedlinburger in akcesijo iz kolekcije IHPS (v nadaljevanju IHPS). Sorta Citra izvira iz Češke in je znana po intenzivni limonini aromi. Grmički so srednje bujni, z višino med 40 in 70 cm, z enakomerno razporejenimi gostimi listi. Listi so ovalni, nazobčani, svetlo zelene barve, mehki na dotik. Cvetovi so bele do svetlo vijolične barve (Mrlianová, 2001). Sorta Quedlinburger je ena najbolj cenjenih sort melise, znana po svoji bogati vsebnosti eteričnih olj, močni aromi limone in odlični odpornosti na nizke temperature. Izvira iz Quedlinburga v Nemčiji. Rast je nizka do srednje bujna in doseže višino med 20 in 60 cm. V prvem letu ima bolj ležečo rast, v nadaljnjih letih pa grmičasto. Listi so ovalni, svetlo do temno zeleni, z izrazito nazobčanimi robovi in svilnato površino. Cvetovi so bele barve (Mountain Herb Estate, 2024).

Za akcesijo IHPS smo dobili seme 1979 iz Avstrije in se je doslej izkazala, da dobro uspeva v slovenskih razmerah ter daje dober in kvaliteten pridelek. Tvorí grme, ki so visoki med 50 in 100 cm in ima prijetno aromo po limoni. Listi so ovalni, nazobčani, svetlo zelene barve. Glede na opazovanja na poskusnem posestvu da dober pridelek že v prvem letu.

Razdalja sajenja je bila pri vseh sortah enaka. V kvadratno obliko (50 cm x 50 cm) smo posadili po 80 rastlin vsake sorte. Pridelek na poskusu smo pobirali in vrednotili v treh letih (2022, 2023 in 2024).

2.2 Poskus razdalje sajenja

19. maja 2022 smo na poskusnem posestvu IHPS posadili tudi poskus z razdaljami sajenja in ga nadaljevali v letih 2023 in 2024 (akcesija IHPS). Razdalje sajenja so bile: 40 cm x 40 cm, 50 cm x 50 cm, 60 cm x 60 cm in 80 cm x 80 cm, posadili smo po 80 rastlin za vsako obravnavanje.

2.3 Tla na poskusni lokaciji in oskrba poskusov

Tla na poskusni lokaciji poskusnega posestva IHPS so bila ekstremno preskrbljena s fosforjem, dobro s kalijem in dobro z organsko snovjo, pH je 6,9 (preglednica 1).

Preglednica 1: Rezultati analize tal (Al) na poskusni lokaciji

Vpisna št.	Glob. (cm)	Oznaka vzorca	pH v KCl	P ₂ O ₅ * (mg/100 g tal)	K ₂ O* (mg/100 g tal)	Organska snov (%)
333/22	0-25	Vrt ZAR-IHPS	6,9	49,0 E	29,4 C	4,0

Legenda: Glob. = globina odvzema vzorca, pH = reakcija tal (kislost tal), KCl = kalijev klorid, P₂O₅ = fosfat, K₂O = kalij,

Mg = magnezij, B = bor, L = lahka tla, ST = srednje težka tla, T = težka tla

*Črke ob številčnih vrednostih označujejo stopnjo preskrbljenosti tal z določenim hranilom: A: siromašna tla, B: srednje preskrbljena tla, C: dobro preskrbljena tla, D: pretirano preskrbljena tla, E: ekstremno preskrbljena tla

V letu 2023 smo rastline dvakrat (21. 7. in 25. 9.) poskropili z Amalgerolom (1 ml/L) in v letu 2024 trikrat (21. 5., 31. 5. in 5. 6. 2024). Amalgerol vsebuje: antioksidante, rastlinske hormone, aminokisline, izvlečke iz zelišč, organski K in N, organski ogljik in alginat (Jurana, 2024). Za zatiranje septorijske pegavosti melise (*Septoria melissae*) smo v letu 2022 uporabili Vitisan 0,5 % (trikrat: 3. 6., 17. 6. in 30. 6. 2022) in bolezen uspešno zatrli, v letu 2023 smo 5. 5. in 5. 7. preventivno tretirali z Vitisanom 0,5 % in se septorijska pegavost ni pojavila. Drugih posebnosti pri pridelavi ni bilo. Okopavali smo 1. 6., 17. 6. in 14. 7. v letu 2022, v letu 2023 4. 4., 4. 5., 31. 7., 26. 8., 27. 8. in 12. 10., v letu 2024 pa 1. 6., 6. 7. in 24. 8. Namakali smo osemkrat v letu 2022 (prvoletni nasad), v letu 2023 nismo namakali, v letu 2024 pa smo namakali enkrat (20. 5. 2024).

Spravilo smo izvajali glede na razvojne faze, in sicer tik pred cvetenjem. Spravilo je bilo v letu 2022 7. septembra (samo eno spravilo, ker je bil prvoletnik), v letu 2023 25. maja in 25. avgusta, v letu 2024 17. junija in 12. avgusta. V letu 2023 je bila v začetku avgusta poplava, zato so bila tla več kot 10 dni zasičena z vodo.

2.4 Vremenske razmere

Leto 2022 so zaznamovale nadpovprečno visoke temperature in izrazito pomanjkanje padavin, kar je povzročilo hudo sušo in velike škode v kmetijstvu. Zima (januar–marec) je bila topla, ekstremno suha in brez snežne odeje, z le 67 mm padavin. Podobno suho obdobje se je nadaljevalo v pomladi (april–maj) z 111 mm dežja. Poletje (junij–avgust) je bilo vroče s tremi vročinskimi valovi in občutnim pomanjkanjem padavin (skupaj 221 mm). Kmetijski pridelki, predvsem hmelj, so utrpeli hude posledice zaradi suše in neurij s točo. Septembra je prišlo do temperaturnega preobrata in obilnih padavin (317 mm), a prepozno za ublažitev škode (vir številčnih podatkov: ARSO).

Leto 2023 je zaznamovalo nadpovprečno toplo in mokro vreme z izrazitimi ekstremi. Zima (januar–marec) je bila topla, s temperaturami od 2 °C do 4 °C nad dolgoletnim povprečjem in obilnimi padavinami (252 mm), predvsem v obliki dežja. Pomlad (april–maj) je bila deževna, s 318 mm padavin (155 mm nad dolgoletnim povprečjem) in temperaturami blizu dolgoletnega povprečja. Poletje (junij–avgust) je bilo ekstremno mokro in toplo, s 559 mm padavin, štirimi vročinskimi valovi in temperaturnimi odstopanji do +5,1 °C. Poplave med 4. in 6. avgustom ter neurja s točo so povzročile eno najhujših naravnih katastrof v zgodovini Slovenije. V obdobju april–september so na referenčni postaji zabeležili 951 mm padavin (+291 mm od dolgoletnega povprečja), kar je povzročilo hude posledice v kmetijstvu in infrastrukturi (vir številčnih podatkov: ARSO).

Zima 2024 je bila nadpovprečno topla, s temperaturami precej nad dolgoletnim povprečjem, kar je povzročilo enega najzgodnejših začetkov rastne dobe. Padavine so v tem obdobju znašale 246 mm, večinoma v obliki dežja. Pomlad je bila prav tako toplejša od povprečja, v aprilu in maju je bilo obilo padavin (224 mm), predvsem v maju. Poletje je bilo izjemno vroče, z 51 dnevi nad 30 °C; to je bilo eno najtoplejših poletij v zadnjih 20 letih. Padavine poleti so bile na ravni dolgoletnega povprečja (380 mm) (vir številčnih podatkov: ARSO).

2.5 Vrednotenje in obdelava rezultatov

Pridelek smo spravljali v času tehnološke zrelosti v letu 2022 enkrat, v letih 2023 in 2024 pa dvakrat. V treh ponovitvah (v eni ponovitvi je bilo 20 rastlin) smo pri vsakem obravnavanju vsakič izmerili višino in širino vsake rastline, prešteli število poganjkov, stekali svežo maso pridelka ter vzeli vzorce za določitev vlage, na podlagi česar smo izračunali pridelek suhe snovi na rastlino in na enoto površine.

S kemijskimi analizami smo določili količino vlage (po metodi Analytica EBC:1997, 7.2), količino celokupnega pepela (po metodi ISO 928: 1997), v kislini netopnega preostanka (po metodi ISO 930: 1997) ter količino eteričnega olja (po metodi SIST ISO 6571, 1984).

Rezultate smo obdelali s programoma Excel in Statgraphics plus, za zaznavanje razlik med obravnavanji smo uporabili Duncanov test ($p=0,05$).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Sortni poskus

V prvem letu poskusa je bila višina rastlin značilno najvišja pri sorti Citra (42 cm), sledila je akcesija IHPS (34 cm), značilno najnižja je bila sorta Quedlinburger (24 cm). V letu 2023 je bila višina rastlin značilno največja pri IHPS (72 cm), sledila je sorta Citra (62 cm), značilno najnižja je bila sorta Quedlinburger (43 cm). Po širini rastlin med sorto Citra in akcesijo IHPS v letu 2023 ni bilo večjih razlik (61 cm), pri sorti Quedlinburger pa so bili grmički značilno ožji (49 cm).

Število poganjkov je bilo v prvem letu značilno največje pri sorti Quedlinburger (26), sledila je sorta Citra (16), značilno najmanj poganjkov je imela akcesija IHPS (11). Število poganjkov v drugem letu poskusa se med sortami ni značilno razlikovalo, bilo pa je največ poganjkov pri akcesiji IHPS (78), sledili sta sorti Citra in Quedlinburger s po 60 poganjki.

V prvem letu poskusa (2022) v svežem pridelku melise med sortami ni bilo značilnih razlik, pridelali smo povprečno 146 g na rastlino. V drugem letu poskusa pa se je pridelek pri prvem in drugem spravilu med sortami značilno razlikoval. Značilno največji je bil pri akcesiji IHPS (140 g in 66 g na rastlino) in značilno najmanjši pri sorti Quedlinburgerer (65 g in 27 g na rastlino).

V preglednica 2 in na sliki 1 vidimo, da je bil letni pridelek pri sorti Quedlinburger značilno najmanjši, značilno največji pa pri akcesiji IHPS. V letu 2022, ko je bil nasad prvoleten, je bil pridelek pričakovano značilno najmanjši, presenetljivo pa je bil značilno največji v drugem letu (2023), kljub poplavi v začetku avgusta, ki je močno negativno vplivala na pridelek drugega spravila (rezali smo na višini 20 cm in ne na 10 cm, saj so bile rastline spodaj blatne). Kot vidimo na sliki 2, je temu prispeval večji pridelek prvega spravila v tem letu. Vzrok za manjši pridelek v ob prvem spravilu v letu 2024 je bil najverjetneje poškodovan koreninski sistem zaradi stoječe vode v prejšnjem letu; tla spomladi so bila izredno zbita, potrebno ji je bilo prerahljati in s tem prezračiti. Poleg tega so imele rastline spodaj rjave liste; na njih je bila rja, zato smo za prvo spravilo in vrednotenje rastline porezali na 20 cm višine. Potem smo porezali še na višini 10 cm in ta rastlinski material (rjavi listi) zavrgli. Izredno vroče vreme poleti 2024 je povzročilo zgodnejši nastop razvojne faze začetek cvetenja za drugo spravilo, zato smo pridelek spravljali časovno prej, kot v prejšnjih letih, posledično pa je bil tudi pridelek tega spravila relativno majhen.

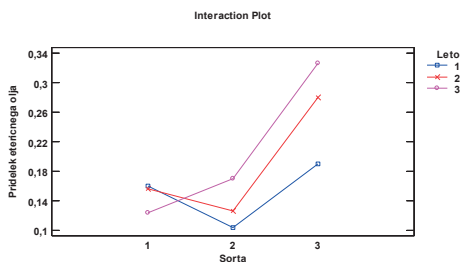
Po podatkih Wagnerja (1997) lahko pridelamo v prvem letu 9—12 t/ha svežih listov oz. 1,5—2 t/ha suhe droge (*Folium Melissa*). V drugem in tretjem letu 18—24 t/ha oz. 3—4 t/ha suhih

listov. Iz preglednice 2 je razvidno, da smo pridelali pričakovano količino v drugem letu, v prvem in tretjem letu pa manj.

Preglednica 2: Pridelek sveže snovi navadne melise (gramov na rastlino, preračunano v kg/ha) in pridelek eteričnega olja na rastlino glede na sorto in glede na leto pridelave

		Pridelek sveže snovi (g na rastlino)	Pridelek svežih listov (t/ha)	Pridelek eteričnega olja (mL na rastlino)
Sorta	Quedlinburger	169 a*	7	0,15 a
	Citra	288 b	12	0,13 a
	Akcesija IHPS	368 c	15	0,27 b
Leto pridelave	2022	146 a	6	0,15 a
	2023	432 c	17	0,19 b
	2024	248 b	10	0,21 b

*Enaka črka v stolpcu znotraj istega faktorja (sorta, leto pridelave) pomeni, da med obravnavanjema ni značilne razlike.



Slika 1: Letni pridelek navadne melise glede na sorto 1 = Quedlinburger, 2 = Citra, 3 = akcesije IHPS) in glede na leto (1 = 2022, 2 = 2023, 3 = 2024)



Slika 2: Povprečni pridelek navadne melise na rastlino v sortnem poskusu (združeni podatki vseh sort)

Najvišjo vsebnost eteričnega olja v prvem letu poskusa je imela akcesija IHPS (0,52 mL/100 g suhe snovi), sledili sta sorti Quedlinburger (0,40 mL/100 g) in Citra (0,31 mL/100 g). V drugem letu pridelave je bila količina eteričnega olja pri obeh spravilih pri sorti Quedlinburger primerljiva (0,28 in 0,26 mL/100 g suhe snovi), medtem ko je bila pri sortah Citra (0,08 in 0,18 mL/100 g) in akcesiji IHPS (0,16 in 0,31 mL/100 g) različna med prvim in drugim spravilom. V tretjem letu poskusa je bila vsebnost eteričnega olja pri vseh sortah pri drugem spravilu višja, in sicer zlasti pri sortah Quedlinburger (0,25 in 0,79 mL/100 g) in akcesiji IHPS (0,23 in 0,48 mL/100 g), pa tudi pri sorti Citra (0,26 in 0,34 mL/100 g).

Glede na rezultate vseh treh let se nakazuje, da je po kakovosti najboljša sorta Quedlinburger, ki je imela najvišjo vsebnost eteričnega olja v drugem in tretjem letu pridelave, sledi ji akcesija IHPS, najnižjo vsebnost eteričnega olja pa je imela v vseh treh letih pridelave sorta Citra.

Pridelek eteričnega olja je imela značilno večji akcesija IHPS kot sorti Citra in Quedlinburger (preglednica 2), primerjava med leti pa pokaže, da je bil pridelek eteričnega olja značilno manjši v prvem letu (2022) kot v drugem in tretjem letu, kot je bil primerljiv, kljub temu da se je nakazal nekoliko manjši v drugem letu.

Interakcija sorta x leto je značilna. Sorti Citra in akcesiji IHPS se je pridelek eteričnega olja z leti povečeval, pri sorti Quedlinburger pa je bil v tretjem letu manjši kot v drugem letu in le nekoliko večji kot v prvem letu, kljub temu da je bilo takrat le eno spravilo (prvoletnik).

3.2 Razdalja sajenja

Rastline so bile značilno najvišje pri razdalji 80 cm x 80 cm (v letu 2022 je bila višina 41 cm, v letu 2023 81 cm in 40 cm glede na spravilo). Pri razdalji med rastlinami 40 cm x 40 cm, za primerjavo, so bile rastline v letu 2023 visoke 60 cm oziroma 29 cm glede na spravilo.

Širina rastlin se je značilno povečevala s povečevanjem razdalje med rastlinami (preglednica 3). Pri razdalji 80 cm x 80 cm je bila v letu 2023 67 do 75 cm.

Število poganjkov je bilo v prvem letu značilno največje pri razdalji med rastlinami 60 cm x 60 cm, drugem letu poskusa se je pri obeh spravilih značilno povečevalo s povečevanjem razdalje med rastlinami (pri razdalji 40 cm x 40 cm je bilo 50 oz. 60 poganjkov, pri razdalji 80 cm x 80 cm je bilo 109 oz. 132 poganjkov).

Preglednica 3: Primerjava širine grmičkov in števila poganjkov glede na razdaljo sajenja, glede na leto (2022, 2023) in spravilo (1.s. = prvo spravilo, 2.s. = drugo spravilo)

Razdalja sajenja (cm)	Širina grmička (cm)			Št. poganjkov		
	2022	2023 1.s.	2023 2.s.	2022	2023 1.s.	2023 2.s.
40 x 40	44 a	49 a	42 a	10 a	50 a	60 a
50 x 50	59 b	58 b	48 b	20 bc	74 b	89 b
60 x 60	64 b	62 b	57 c	23 c	63 b	102 b
80 x 80	75 c	75 c	67 d	20 b	109 c	132 c

*Enaka črka v stolpcu pomeni, da med obravnavanjema ni značilne razlike.

Preglednica 4: Pridelek sveže snovi navadne melise (g na rastlino in kg na 100 m²) (s povprečno vlago 75 % (74—76 %)) ter pridelek eteričnega olja na rastlino glede na razdaljo sajenja in glede na leto pridelave

		Pridelek sveže snovi (g na rastlino)	Pridelek sveže snovi (kg na 100 m ²)	Pridelek eteričnega olja (mL na rastlino)
Razdalja sajenja (cm)	40 x 40	143 a*	90 ab	0,14 a
	50 x 50	232 b	93 b	0,21 a
	60 x 60	320 c	89 ab	1,29 b
	80 x 80	435 d	68 a	1,37 c
Leto pridelave	2022	214 a	62 a	0,26 b
	2023**	155 a	46 a	0,06 a
	2024	478 b	146 b	0,44 c

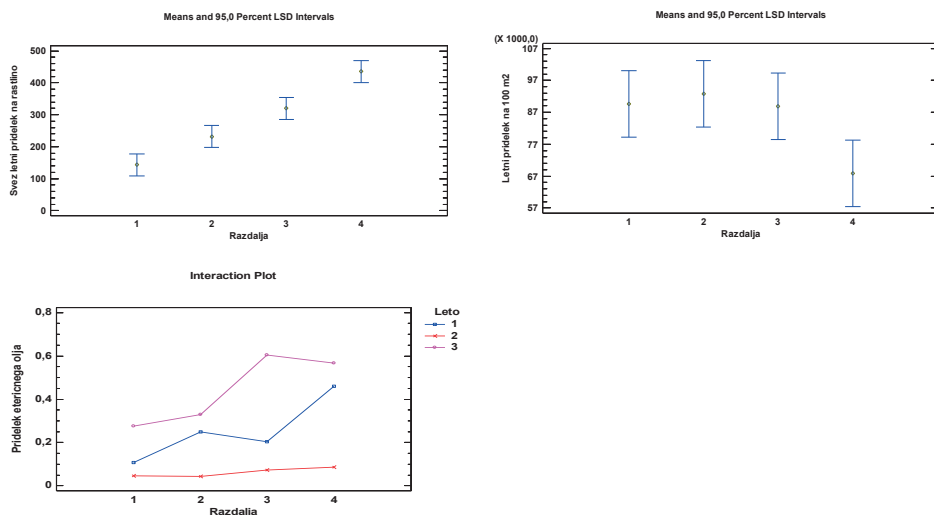
*Enaka črka v stolpcu znotraj istega faktorja (sorta, leto pridelave) pomeni, da med obravnavanjema ni značilne razlike (Duncanov test, p=0,05)

**Poplava 4. 8. 2023, tla so bila zasičena z vodo vsaj še 10 dni po poplavi.

Tudi pridelek na rastlino (sveža masa) se je značilno povečeval s povečevanjem razdalje med rastlinami v vseh letih. V letu 2022 je bil pridelek pri prvoletnih rastlinah, ki smo jih porezali enkrat (7. septembra), od 80 g pri razdalji 40 x 40 cm do 346 g pri razdalji 80 cm x 80 cm. V letu 2023 je bil pridelek na rastlino pri prvem spravilu od 68 g pri razdalji 40 x 40 cm do 195 g pri razdalji 80 x 80 cm, pri drugem spravilu pa od 25 g do 78 g na rastlino. Značilno najmanjši je bil pri razdaljah 40 cm x 40 cm in 50 cm x 50 cm, značilno večji pri razdalji 60 cm x 60 cm in značilno največji pri razdalji 80 cm x 80 cm. V letu 2024 se je pri obeh spravilih pridelek na rastlino značilno povečeval z razdaljo med rastlinami, s tem da pri prvem spravilu med razdaljo 60 cm x 60 cm in 80 cm x 80 cm ni bilo značilne razlike. Pri prvem spravilu je bil od 127 g na rastlino pri 40 cm x 40 cm do 390 g pri 60 cm x 60 cm in 280 g pri 80 cm x 80 cm, pri drugem spravilu od 117 g na rastlino pri 40 cm x 40 cm do 270 g pri 80 cm x 80 cm.

Skupna analiza podatkov kot faktorski poskus (preglednica 4) pokaže, da se je pridelek na rastlino značilno povečeval s povečevanjem razdalje med rastlinami in da je bil značilno največji v tretjem letu pridelave.

Ker se pri pridelku na rastlino nakazuje kot najbolj primerna glede pridelka največja preučevana razdalja med rastlinami, smo izračunali tudi pridelek na enoto površine, saj je s povečevanjem razdalje med rastlinami obenem manj rastlin na enoto površine. Kot je razvidno iz preglednice 4, je bil pridelek na enoto površine značilno večji pri razdalji 50 cm x 50 cm v primerjavi z 80 cm x 80 cm.



Slika 3: Svež letni pridelek na rastlino (g) (levo zgoraj) in na 100 m² (desno zgoraj) glede na razdaljo sajenja (1 = 40 cm x 40 cm, 2 = 50 cm x 50 cm, 3 = 60 cm x 60 cm, 4 = 80 cm x 80 cm) in pridelek (letni) eteričnega olja na rastlino – interakcija leto x razdalja sajenja (levo spodaj)

Odstotek celokupnega pepela (dovoljeno do 12 % po Ph. Eur.) in v kislini netopnega pepela je bil v glavnem v mejah dovoljenega, razen v drugem letu pridelave pri drugem spravilu pri vseh razdaljah sajenja, kar pripisujemo vplivu poplave, ki je 4. 8. 2023 zajela celotno poskusno posestvo, spravilo pa je bilo kmalu potem, 25. avgusta, kar je negativno vplivalo ne samo na velikost ampak tudi na kakovost pridelka. V kislini netopen pepel je močno odstopal pri spravilu po poplavi v letu 2023 (preglednica 5).

Preglednica 5: Rezultati kemične analize melise glede na razdaljo sajenja, leto pridelave (22 = 2022, 23 = 2023, 24 = 2024) in spravilo (1.s. = prvo spravilo, 2.s. = drugo spravilo)

Razdalja sajenja (cm)	Celokupni pepel (%)					V kislini netopen pepel (%)					Eterično olje (mL/ 100 g vzorca)				
	22	23 1.s	23 2.s	24 1.s	24 2.s	22	23 1.s	23 2.s	24 1.s	24 2.s	22	23 1.s	23 2.s	24 1.s	24 2.s
40 x 40	12	9	21	12	12	0,27	0,15	8,12	-	0,58	0,45	0,15	0,31	0,40	0,52
50 x 50	12	10	17	12	12	0,66	0,01	6,41	--	0,22	0,50	0,15	0,18	0,17	0,54
60 x 60	12	9	20	12	12	0,38	0,01	7,43	-	0,40	0,44	0,20	0,15	0,30	0,53
80 x 80	12	9	15	11	12	0,31	0,08	3,75	-	0,58	0,48	0,11	0,17	0,20	0,56

Vsebnost eteričnega olja se ni bistveno razlikovala glede na razdaljo sajenja (v letu 2022 je bila od 0,44 do 0,50 mL/100 g suhe snovi, v letu 2023 pa od 0,11 do 0,31 mL/100 g, v letu 2024 od 0,17 do 0,56 mL/100 g), se je pa razlikoval pridelek eteričnega olja na rastlino tako glede na razdaljo sajenja kot glede na leto (preglednica 4). Pridelek eteričnega olja na rastlino se je značilno povečeval s povečevanjem razdalje med rastlinami, v letu s poplavo pa je bil značilno najmanjši, celo značilno manjši kot v prvoletniku. Interakcija leto x razdalja med rastlinami je bila značilna (slika 3).

4 SKLEPI

Največji povprečni letni pridelek je dala akcesija IHPS, sledila je sorta Citra. Vsebnost eteričnega olja je bila najvišja pri sorta Quedlinburger, sledila je akcesija IHPS, najnižjo vsebnost eteričnega olja pa je imela v vseh treh letih pridelave sorta Citra. Sorti Citra in akcesiji IHPS se je pridelek eteričnega olja z leti povečeval, pri sorti Quedlinburger pa je bil v tretjem letu manjši kot v drugem letu in le nekoliko večji kot v prvem letu, kljub temu da je bilo takrat le eno spravilo (prvoletnik).

V poskusu razdalje sajenja melise (akcesija IHPS) so bile rastline značilno najvišje in najširše pri razdalji med rastlinami 80 cm x 80 cm. Pridelek na rastlino se je značilno povečeval s povečevanjem razdalje med rastlinami v vseh letih. Značilno največji je bil v tretjem letu pridelave. Pridelek na enoto površine pa je bil značilno večji pri razdalji 50 cm x 50 cm v primerjavi z 80 cm x 80 cm. Če imamo torej na voljo manj prostora, za isti izkupiček rastline raje posadimo na razdaljo 50 cm x 50 cm.

Parametri kakovosti so bili v večini v mejah dovoljenega, razen v drugem letu pridelave pri drugem spravilu – po poplavi. Vsebnost eteričnega olja se ni značilno razlikovala glede na razdaljo sajenja, se je pa razlikoval pridelek eteričnega olja na rastlino tako glede na razdaljo sajenja kot glede na leto; značilno se je povečeval s povečevanjem razdalje med rastlinami, v letu s poplavo je bil značilno najmanjši, celo značilno manjši kot v prvoletniku.

Zahvala. Naloga je bila narejena v okviru strokovnih nalog za zelišča, ki so del Javne službe v vrtnarstvu, ki jo financira Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS.

5 LITERATURA

- Carpenter J., Carpenter M. 2023. The Organic Medicinal Herbs Farmer. Chelsea Green Publishing, London, UK, str. 310-311.
- Čeh, B., Rode, J., Ferant, N., Erjavec, K., Baruca Arbeiter, A., Hladnik, M., Bandelj, D., Krsnik, S. 2024. Smernice razvoja lokalne oskrbe z zelišči za obdobje 2024–2029. Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, str. 21.
- Jurana. 2024. Dostopno na: <https://www.jurana.com/gnojila/amalgerol-essence.html>
- Mrljanová M., Tekelová D., Felklová M., Tóth J., Musil P., Grancai D. 2001. Poprovanie kvality *Melissa officinalis* L. cv. Citra s medovkami Európskeho pôvodu. Česká a slovenská farmacie, L, 6, str. 299-302.
- Plant information. Lemon balm - quedinburger niederliegende. Mountain Herb Estate, Dostopno na: <https://www.herbgarden.co.za/mountainherb/herbinfo.php?id=390>
- Valenčič V., Spanring J. 2000. Gojenje zdravilnih rastlin in dišavnic, IKS Portorož, str. 143-144.
- Wagner, 1979. Pridelovanje zelišč. Fakulteta za kmetijstvo, Univerza v Ljubljani, str. 168-170.

Modeliranje kmetijskih ukrepov za varovanje podzemnega habitata črne človeške ribice pred onesnaževanjem z nitrati

Matjaž GLAVAN¹³², Katarina VODNIK¹³³ in Rozalija CVEJIC¹³⁴

Izvleček

Črna človeška ribica (*Proteus anguinus parkelj*) je endemična vrsta, ki živi le na 2 km² velikem območju Dinarskega krasa podzemnega vodnega sistema reke Dobličice v Beli Krajini. Na območju so v različnih kraških izviroh izmerili vsebnost nitrata med 3 (naravno ozadje) do 20 mg NO₃⁻ /l, kar presega varno zgornjo mejo vsebnosti (9,2 mg NO₃⁻ /l) in predstavlja resno tveganje za obstoj človeške ribice. Namen raziskave je, z uporabo modela SWAT preveriti, kateri kmetijski ukrepi so najbolj učinkoviti pri zmanjševanju izpiranja dušika iz tal v podzemne in površinske vode. Najbolj učinkovit scenarij vključuje kombinacijo ukrepov na njivah (zimsko ozelenitev, zmanjšanje gnojenja z dušikom za 20 % in razširitev kolobarja z dodatnima letoma travno deteljne mešanice), kar bi omogočilo zmanjšanje izpiranja nitratov pod profil tal za 60 % v primerjavi z obstoječo prakso. Količina pridelane biomase bi se zmanjšala za 3—5 %, količina dušika v površinskih voda kraških izvirov pa za 2 % do 32 %. Kmetijske ukrepe je treba izvajati usmerjeno ter usklajeno z urejanjem odvajanja urbanih odpadnih voda, ki v nekaterih izviroh predstavljajo tudi 50 % delež v bilanci dušika.

Ključne besede: črna človeška ribica, kras, podzemna voda, kmetijsko-okoljski ukrepi, izpiranje dušika

Modelling of agricultural measures to protect the underground habitat of the black olm against nitrate pollution

Abstract

The black olm (*Proteus anguinus parkelj*) is an endemic species that lives only in a 2 km² area of the Dinaric Karst underground water system of the Dobličica River in Bela Krajina. In the area, the nitrate content in various karst springs was measured between 3 (natural background) and 20 mg NO₃⁻ /l, which exceeds the safe upper limit (9.2 mg NO₃⁻ /l) and poses a severe risk to the existence of olm. The research aims to use the SWAT model to check which agricultural measures are most effective in reducing the nitrogen leaching from the soil into underground and surface waters. The most compelling scenario includes a combination of measures on the fields (winter greening, reduction of fertilisation by 20% and extension of the crop rotation with additional years of grass-clover mixture), which would lead to the nitrate leaching reduction under the soil profile by 60% compared to the existing practice. The amount of biomass produced would decrease by 3-5%. A decrease in the amount of nitrogen (2% to 32%) in the surface waters of karst springs is expected. Agricultural measures must be implemented in a targeted manner and coordinated with the regulation of urban wastewater discharge, which in some sources represents as much as 50% of the nitrogen balance.

Keywords: black olm, karst, groundwater, agri-environmental measures, nitrogen leaching

1 UVOD

Človeška ribica oz. močeril je endemična vrsta dvoživke, ki prebiva v podzemnih vodnih okoljih Dinarskega krasa. Bela človeška ribica (*Proteus anguinus anguinus* L.) je razširjena po celotnem Dinarskem krasu in je zakonsko zaščitena, medtem ko je črna človeška ribica, (*Proteus anguinus parkelj* Sket & Arntzen) omejena na majhno območje kraških izvirov (2 km²)

¹³² Doc. dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: matjaz.glavan@bf.uni-lj.si

¹³³ Mag. inž. agr., Biotehniški center Naklo e-pošta: katarina.vodnik@bc-naklo.si

¹³⁴ Doc. dr., Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, e-pošta: rozalija.cvejic@bf.uni-lj.si

Namen raziskave je bil identificirati žarišča izpiranja nitratov v ranljivem vodonosniku reke Dobličice in oceniti izpiranje nitratov z modeliranjem različnih scenarijev prilagoditve kolobarja v kmetijskih praksah ter določili kmetijske ukrepe, ki bi vodili k zaščiti in izboljšanju habitata črne človeške ribice pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijstva. Raziskava je potekala v okviru projekta Ciljnega raziskovanega programa (CRP) z naslovom Raziskave za opredelitev in preprečevanje obremenjevanja vodozbirnega zaledja Jelševniščiце in Otovca, s posebnim ozirom na habitat črne človeške ribice (HaČloRi) (CRP V1-2139).

Slika 1: Topografija in dejanska raba zemljišč raziskovalnega območja s prikazom preučevanega vodozbirnega območja s podpovodji kraških izvirov

Nadmorske višine v tem območju so od 140 do 400 metrov na Belokranjskem ravniku ob vznožju Poljanske gore, kjer se nadmorska višina postopoma povečuje in doseže 1.051 metrov na Mirni gori. Na območju raziskave se nahaja več kraških izvirov, ki jih napaja globoki kras Poljanske gore na zahodu. Največji izvir Dobličica na 141 metrih nadmorske višine predstavlja glavni vir oskrbe s pitno vodo za celotno Belo krajino. V okviru projekta HaČloRi smo obravnavali 11 kraških izvirov, ki napajajo reko Dobličico. V tem prispevku predstavljamo rezultate za pet glavnih kraških izvirov na območju (Dobličica, Obršec, Jelševnik, Otovski breg, Stobe).

2.2 Kmetijska dejavnost

Na obravnavanem območju uporabljajo različne kmetijske prakse, vključno s pridelavo pšenice, koruze in ječmena (ki skupaj predstavljajo približno 80 % kmetijske rabe tal) ter zelenjadnic in krompirja (preostalih 20 %). Pred letom 2002 je bila živinoreja pomembnejša. Sedanja gostota glav velike živine na raziskovanem območju (0,48 GVŽ/ha) je precej manjša od slovenskega povprečja (0,86 GVŽ/ha), saj se je zmanjšalo število kmetij. Zmanjšalo se je število govedi, in povečala pašna reja ovac (Petrič, 2021). Na širšem območju habitata črne človeške ribice je tipičen kolobar sestavljen iz 40 % koruze, 30 % žit in 30 % deteljno-travnih mešanic (DTM). Običajno zaporedje kultur v štiriletnem kolobarju vključuje koruzo, pšenico, koruzo, ječmen (ali DTM) in DTM. Ta kolobar je prilagojen živinorejski pridelavi (Strgulec, 2020). Kolobar je podrobneje predstavljen v poročilu projekta HaČloRi (Glavan in sod., 2024).

2.3 Program SWAT

Program SWAT (Soil and Water Assessment Tool) je obsežen fizikalni model, namenjen napovedovanju hidroloških procesov v naravnih in antropogenih povodjih, razvit s strani USDA (United States Department of Agriculture). Uporablja podatke iz modelov za napovedovanje podnebja, značilnosti tal in scenarijev rabe tal, da napove njihove učinke na hidrološke procese. Namenjen je napovedovanju vpliva upravljanja zemljišč na vodo, sediment in izpuste kmetijskih kemikalij v velikih kompleksnih porečjih z različnimi tlemi, rabo zemljišč in pogoji upravljanja skozi dolga obdobja. Široko se uporablja za nadzor in preprečevanja erozije tal, nadzor onesnaževanja iz ne-točkovnih virov in regionalno upravljanje v porečjih (SWAT, 2024). Vedno bolj relevanten postaja tudi v Evropski uniji, še posebej po uvedbi Vodne direktive leta 2000. Model je še posebej uporaben zaradi svoje prilagodljivosti, saj omogoča uporabo v različnih regijah z raznolikimi okoljskimi razmerami. Osnova enota modeliranja v programu je hidrološka odzivna enota (HOE), ki je homogena prostorska enota znotraj območja posameznega podpovodja in katere hidrološke lastnosti izvirajo iz enotnih lastnosti tal, dejanske rabe in nagiba zemljišča.

Model za območje povodja Dobličice je bil zagnan s podatki za obdobje 30 let (1. januar 1992 – 31. december 2022) z dnevним časovnim razkorakom. Kalibracija SWAT modela na pretok in dušik sta podrobneje razloženi v poročilu projekta HaČloRi (Glavan in sod., 2024).

2.4 Scenariji

Na podlagi pregleda literature, podatkov iz preteklih študij in ogleda terena smo pripravili 11 scenarijev za modeliranje prenosa hranil in kakovosti podzemne vode na ravni povodja in podpovodij v programu SWAT - za preveritev učinka prilagoditve kmetijskih kolobarjev (1—5) in dejanske rabe kmetijskih zemljišč (6—11) (preglednica 1). Scenariji preverjajo trajnost nadaljevanja obstoječe kmetijske prakse in možna izboljšanja gospodarjenja s kmetijskimi zemljišči. Scenariji so simulirani na nivoju profila tal HOE z rezultati za scenarije prilagoditve kmetijskih kolobarjev (15) o količini nitratnega dušika izprani pod profil tal v določenem

časovnem obdobju (kg N/ha letno, NO_3L), količini nitratnega dušika iz HOE v toku podzemne vode, ki polni vodotok (kg N/ha letno, NO_3GW), povprečni letni skupni biomasi (suha snov) na HOE (metrične tone/ha letno, BIOM) ter na nivoju podpovodij kot nitratni dušik, ki se prenese s površinskim tokom vode iz podpovodja (kg N/letno, NO_3OUT). Slednji rezultati so bili uporabljeni tudi za scenarije prilagoditve dejanske rabe kmetijskih zemljišč (6-11). Rezultati scenarijev so prikazani kot odstotek razlike med osnovnim scenarijem in alternativnimi scenariji od povprečne letne vrednosti za obdobje od 1998 do 2022. Zaradi omejitve dolžine prispevka so prikazani le rezultati petih najpomembnejših kraških izvorov na območju.

Preglednica 1: Scenariji alternativnih kmetijskih praks in rabe zemljišč

Scenariji			
Št.	Ime	Opis lastnosti	
		Njive	Travniki
0	OSNOVNI (OSN)	4-letni kolobar, brez ozelenitve v letu 2 po pšenici (koruza/pšenica+brez ozelenitve/koruzajječmen+DTM)	3-kosni
PRILAGODITEV KMETIJSKIH KOLOBARJEV (NJIVE)			
1	INTENZIVNI (INT)	2-letni kolobar (koruza/jječmen+koruza+DTM)	3-kosni
2	RAZŠIRJENI 1 (R1)	OSN + DTM v 2. letu (koruza/pšenica+DTM/koruzajječmen+DTM)	3-kosni
3	RAZŠIRJENI 2 (R2)	R1 + -20 % gnojenje (koruza/pšenica+DTM/koruzajječmen+DTM)	3-kosni
4	RAZŠIRJENI 3 (R3)	6-letni kolobar, R2 + dodatno 2 leti DTM (koruza/pšenica+DTM/koruzajječmen+DTM/DTM/DTM)	3-kosni
5	RAZŠIRJENI 4 (R4)	6-letni kolobar, R3 + pšenico nadomesti ozimni krmni grah (koruza/ozimni krmni grah +DTM /koruzajječmen+DTM/DTM/DTM)	3-kosni
PRILAGODITEV DEJANSKE RABE KMETIJSKIH ZEMLJIŠČ (NJIVE + TRAVNIKI)			
6	EKSTENZIVNI 1 (E1)	OSN + določene njive v travnike (3-kosne) (nagib > 7 %, PKE = 1508, 1536, 1537, 1561, 1573)	3-kosni
7	EKSTENZIVNI 2 (E2)	OSN + vse njive v travnike (3-kosne)	3-kosni
8	EKSTENZIVNI 3 (E3)	OSN + določene njive v negnojene travnike (1-kosne) (nagib > 7 %, PKE = 1508, 1536, 1537, 1561, 1573)	1-kosni
9	EKSTENZIVNI 4 (E4)	OSN + vse njive v negnojene travnike (1-kosne)	1-kosni
10	EKSTENZIVNI 5 (E5)	OSN + E4 + vsi travniki so gozd	/
11	INTENZIFIKACIJA (E6)	R4 + določene travnike v njive (ravninski < 7 % nagiba, PKE 1578, 1579, 1583)	3-kosni

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Dušik na ravni hidrološke odzivne enote

Rezultati izpiranja hranil iz profila tal v podzemno vodo in rasti biomase so zelo povedni (preglednica 2). Scenarij R1 vključuje uvedbo zimske ozelenitve DTM, kar zmanjša količino nitratnega dušika v podzemni vodi za 16 % v podpovodju Dobličica in za 12 % v podpovodju Jelševnik. Scenarij R2 predvideva uvedbo zimske ozelenitve DTM in nadaljnje zmanjšanje uporabe gnojil (-20 %). Ta scenarij zmanjša količino nitratnega dušika v podzemni vodi za 38 % v podpovodju Dobličica in za 35 % v Jelševniku. Povprečna letna količina pridelane biomase se poveča za do 15 %, kar pomeni, da 20 % zmanjšanje porabe hranil pridelek biomase zmanjša le za 4 %. Scenarij R3 dodatno vključuje še podaljšanje obdobja rasti DTM za dve leti. Ta

scenarij doseže največje zmanjšanje nitratnega dušika, saj se količina dušika v podzemni vodi zmanjša za 68 % v Dobličici in za 66 % v Jelševniku.

Preglednica 2: Primerjava rezultatov med osnovnim in alternativnimi scenariji za njivska zemljišča na nivoju hidrološke odzivne enote in na nivoju podpovodja

NJIVE (Povprečje 1998-2022)		Podpovodje / oznaka				
		Dobličica	Obršec	Jelševnik	Otovski breg	Stobe
		1	8	9	18	19
Nitratni dušik izpran iz HOE v toku podzemne vode, ki polni vodotok (NO₃GW) (kg/ha letno)						
Osnovni model OSN) (kg N/ha leto)		23	21	15	16	8
StDv (kg/ha)		17	16	12	13	7
SCENARIJI		Sprememba (%) v količini nitratnega dušika (N-NO ₃)				
1	INT	67	64	63	66	69
2	R1	-16	-15	-12	-18	-17
3	R2	-38	-38	-35	-40	-36
4	R3	-68	-68	-66	-68	-65
5	R4	-52	-52	-50	-52	-48
Nitratni dušik izpran pod profil tal (kg N/ha) v določenem časovnem obdobju (NO₃L)						
OSN (kg N/ha leto)		61	65	73	61	72
StDv (kg/ha)		46	48	58	45	46
1	INT	70	68	64	71	66
2	R1	-13	-12	-8	-14	-12
3	R2	-35	-35	-31	-36	-32
4	R3	-66	-65	-62	-65	-62
5	R4	-50	-49	-47	-49	-46
Povprečna letna skupna biomasa (suha snov) na HOE (metrične tone/ha) (BIOM)						
OSN (t/ha leto)		25	25	24	26	26
StDv (t/ha)		13	13	13	13	13
SCENARIJI		Povprečna sprememba (%) v količini biomase				
1	INT	16	16	16	16	16
2	R1	18	18	18	18	18
3	R2	14	14	15	14	14
4	R3	-5	-4	-3	-5	-5
5	R4	-1	0	1	-1	-1
Nitratni dušik, ki se prenaša s površinskim tokom vode iz podpovodja (kg N/ leto) (NO₃_OUT)						
OSN (kg N/leto)		27,911	3,041	7,321	4,928	124
StDv (kg N/leto)		9,620	1,081	2,715	1,788	45
SCENARIJI		Povprečna sprememba (%) nitratnega dušika (N-NO ₃)				
1	INT	2	6	2	16	35
2	R1	0	-1	-1	-4	-8
3	R2	-1	-3	-1	-9	-17
4	R3	-2	-6	-2	-16	-32
5	R4	-1	-4	-2	-12	-23
6	E1	0	0	-1	-1	0
7	E2	-3	-8	-3	-22	-44
8	E3	1	2	1	3	3
9	E4	-1	-5	-1	-16	-36
10	E5	-2	-7	-3	-18	-38
11	E6	-1	-3	-1	0	-10

Scenarij R4 dodatno vključuje zamenjavo posevka ozimne pšenice s ozimnim grahamom. Pri tem se nitratni dušik zmanjša za 52 % v Dobličici in za 50 % v Jelševniku. Povprečna letna količina pridelane biomase se na račun manjšega pridelka graha v primerjavi s pšenico zmanjša za do 1 %. Intenzivni scenarij (INT) vključuje le dvoletni kolobar setve koruze z bolj intenzivnim gnojenjem, kar vodi v povečanje nitratnega dušika v podzemni vodi iz HOE v vseh podpovodjih. V podpovodju Dobličice za 67 % iz približno 23 kg/ha letno na približno 40 kg/ha letno.

3.2 Dušik v površinskem toku

Rezultati alternativnih scenarijev R1 do R4 o količini nitratnega dušika v površinskem toku na iztoku vode iz podpovodja kažejo na možnost zmanjšanja količin skupnega dušika, pri čemer so učinki najbolj izraziti v scenariju R3, ki doseže zmanjšanje nitratnega dušika za do 32 % v podpovodju Stobe (preglednica 2). Drugi scenariji (E1 do E6) kažejo različne učinke, pri čemer je najbolj učinkovit scenarij E2, kjer se vse njive preoblikuje v trikosne travnike. Na splošno se opazi, da je večina ukrepov scenarijev najbolj učinkovita na območjih, kjer večji delež površine podpovodja predstavljajo kmetijska zemljišča (Stobe, Otovski breg, Pački breg), saj smo s scenariji želeli testirati ukrepe, ki bi zmanjšali izpiranje dušika v podzemne in posledično površinske vode.

Scenarij E3 predvideva le eno košnjo na leto, kar vpliva na dinamiko nastajanja in mineralizacije organske snovi v tleh. Poseben vpliv tega scenarija se opazi na tleh, kjer so trenutno njive, ki so boljše kakovosti in rodovitnosti. Ta tla imajo večjo preskrbljenost s hranili, so globlja in zadržujejo več vode, kar ustvarja boljše razmere za večjo proizvodnjo biomase. Manjša frekvenca košnje (samo ena na leto) lahko vodi do manjšega odvzema hranil iz tal, kar lahko poveča tveganje izpiranje dušika, še posebej na bolj rodovitnih območjih.

Scenarij E6 predvideva spremembo rabe ravninskih (nagib < 7 %) trajnih travnikov v njive ob sočasnem izvajanju razširjenega kolobarja na preostalih njivah (R4). Scenarij kaže, da ob sočasnem izvajanju teh ukrepov ni pričakovati povečanja količine dušika v površinski vodi. Scenarij E5 kaže, da sprememba vseh njiv v enokosne travnike in travnikov v gozd prinese opazno manjše količine dušika le v podpovodjih, kjer je večji delež njivskih zemljišč (Stobe, Otovski breg, Pački breg). Ob tem velja opozoriti, da je podobno učinkovit tudi ukrep scenarija R3, kjer dejanske rabe nismo spreminjali, ampak zmanjšali obroke gnojenje za 20 %, uvedli zimske ozelenitve in razširili kolobar z DTM na 6 let.

4 SKLEPI

Na podlagi rezultatov smo pripravili predloge za področje kmetijstva, ki bi vodili k zaščiti in izboljšanju habitata črne človeške ribice pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijstva:

- tla naj med dvema glavnima posevkoma (poleti ali pozimi) naj ne bodo gola, naj bodo pokrita z rastlinskim pokrovom (ozelenitev). Gola tla brez rastlinskega pokrova so podvržena izpiranju hranil. Obdelava tal in setev naj bodo opravljene v nekajdnevem razmiku.
- priporočamo več vzpodbud kmetom, s strani strokovnih služb in zakonodajalca, pri uvajanju kmetijskih kultur, ki potrebujejo manjše vnose dušika za rast (npr. DTM, detelje, soja, grah). Preko gnojilnih načrtov in izvajanjem rastlinskih ter talnih testov naj se kmete ozavešča o številu gnojilnih obrokov in optimalni količini dodanih dušičnih gnojil.
- predlagamo, da se v prihodnosti ukrepi oziroma režim upravljanja oblikuje glede na tip in lastnosti tal. Da bi bilo to možno izvesti, bo potrebno pripraviti karto tal večje natančnosti

vsaj 1:10.000 ali še bolje 1:5.000. Pripravljena bi morala biti na podlagi terenskega vzorčenja tal.

- predlagamo, da se na območju oblikuje ena ali več reprezentativnih poskusnih ploskev (različna tla). Na njih bi lahko ugotavljali vpliv kmetijsko-okoljskih ukrepov na območju na rast rastlin, pridelek, izpiranje dušika in pesticidov. Te ploskve bi lahko služila tudi za izobraževanje kmetov, saj jim na praktičen način prikažemo učinkovitost ukrepov na okoljske in ekonomske kazalnike. Poveča naj se število individualnega svetovanja o kmetijskih tehnologijah prilagojenega na značilnosti posamezne kmetije.
- v prihodnosti bo potrebno v pripravo gnojilnih načrtov in kmetijske tehnologije v celoti vključiti tudi lastnosti tal (globina, tekstura, vodno-zadrževalna sposobnost tal za vodo).
- travniška raba je dobra alternativa njivski, a je potrebno s pomočjo strokovnih služb jasno opredeliti vrsto živali, obremenitev na hektar in predpisati količino, vrsto gnojila in obroke N glede na tip in lastnosti tal. S pomočjo strokovnih služb je treba povečati prizadevanja za izboljšanje kakovosti travne ruše na območju (vrstna sestava, prezračevanje, dosejevanje, apnenje in gnojenje po gnojilnih načrtih). Negovana, gostejša in vrstno bolj bogata travna ruša poveča izkoristek dodanih hranil, kar pomeni manjše izgube hranil in minimalni vpliv na okolje ter boljši ekonomski rezultat na kmetiji.

5 LITERATURA

- Aljančič, M., Bulog, B., Krajnc, A., Josipovič, D., Sket, B., Skoberne, P. 1993. Proteus: skrivnostni vladar kraške teme. Ljubljana, Vitrum d.o.o.
- Bizjak Mali, L., Sket, B. 2019. History and biology of the «black proteus» (*Proteus anguinus parkelj* Sket & Arntzen 1994; Amphibia: Proteidae): a review. *Folia biologica et geologica*, 60, 1: 5-37, <https://doi.org/10.3986/fbg0049>
- Glavan, M., Cvejič, R., Zupanc, V., Vodnik, K., Pintar, M. 2024. Modeliranje okoljskega vpliva kmetijskih ukrepov za varovanje habitata črne človeške (*Proteus anguinus parkelj*) pred onesnaženjem z nitraty: CRP 2021 V1-2139: Raziskave za opredelitev in preprečevanje obremenjevanja vodozbirnega zaledja Jelševniščiice in Otovca, s posebnim ozirom na habitat črne človeške ribice (HaČloRi). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, <https://www.bf.uni-lj.si/sl/raziskave/raziskovalni-projekti/2021100511373209/> (15. sep. 2024)
- Koren, K., Brajkovič, R., Bajuk, M., Vraničar Š., Fabjan, V. 2023. Hydrogeological characterization of karst springs of the white (*Proteus anguinus anguinus*) and black olm (*Proteus anguinus parkelj*) habitat in Bela krajina (SE Slovenia). *Geologija*, 66, 1: 151-166, <https://doi.org/10.5474/geologija.2023.006>
- SWAT. 2024. Soil and water assessment tool. Teksas, USDA Agricultural Research Service at the Grassland, Soil and Water Research Laboratory, <https://swat.tamu.edu/> (13. avg. 2024)

Povratne informacije o trajnostnosti kmetij

Maja KOŽAR¹³⁵, Vesna TELIČ¹³⁶, Sara BELE¹³⁷ in Ana DEMŠAR-BENEDIČIČ¹³⁸

Izvleček

V prispevku so prikazane nadgrajene in razširjene povratne informacije o trajnostnosti kmetijstva na ravni kmetijskih gospodarstev (KMG) v Sloveniji, ki smo jih razvili v okviru nacionalnega projekta CRP V5-2229 na podlagi koncepta iz predhodne raziskave, dobrih praks iz tujine in domačih svetovalnih izkušenj. V primerjavi s trenutno razvitimi načini podajanja povratnih informacij FADN (Mreža za računovodske podatke s kmetij) so predlagane povratne informacije grafično bolj privlačne, personalizirane, dinamične, uporabljena je primerjalna analiza in medletna primerjava, vključeni pa so tudi novi kazalniki trajnostnosti kmetijstva, za katere smo podatke zbirali na vzorcu realnih testnih KMG. Rezultati anketiranja testnih kmetij in kmetijskih svetovalcev kažejo, da je razviti predlog povratnih informacij pozitivno sprejet ter da ima potencial za krepitev: i) sodelovanja kmetij v sistemu FADN/FSDN, ii) diseminacije rezultatov ter iii) neposrednega kmetijskega svetovanja na področju trajnostne naravnosti KMG. Vse to pa bo učinkovito izvedeno le s strateško premišljenim in uravnoveženim sistemskim financiranjem, ne le infrastrukture, temveč tudi ustrezno specializiranih kadrov v mreži FADN/FSDN.

Glavne besede: FADN, FSDN, kmetija, povratne informacije, benchmarking, kmetijsko svetovanje, trajnostnost

Farm sustainability feedback

Abstract

The paper presents the upgraded and expanded sustainability feedback at farm level for Slovenia, which was developed in the framework of national project CRP V5-2229 and based on the previous research, good practice from abroad and advisory experiences. Compared to the current FADN feedback (Farm Accountancy Data Network), the proposed feedback is graphically more attractive, personalized, dynamic, it includes benchmarking and some yearly trends. Further, new farm sustainability indicators are included, for which data were collected on real farms. The survey results of test farms and agricultural advisors show that the proposed feedback is in general welcomed and that it has the potential to strengthen: i) participation of farms in the FADN/FSDN system, ii) dissemination of results and iii) farm advisory in the field of farm sustainability. All this will be effectively implemented only through a strategically balanced systemic funding, developing not only the infrastructure, but also specialized staff in the FADN/FSDN network.

Keywords: FADN, FSDN, farm, feedback, benchmarking, farm advisory, sustainability

1 UVOD

Z letom 2025 sistem kmetijskega računovodstva FADN (Mreža za računovodske podatke s kmetij, angl. Farm Accountancy Data Network) uradno prehaja v sistem FSDN oziroma Mrežo za podatke o trajnostnosti kmetij (angl. Farm Sustainability Data Network). FSDN je bil napovedan v Strategiji »Od vil do vilic« leta 2020, konec septembra 2024 pa je bil sprejet še najpomembnejši izvedbeni del evropske zakonodaje, in sicer Izvedbena uredba št. 2024/2746 (2024). Medtem ko je bil FADN usmerjen predvsem v zbiranje podatkov za namen preučevanja ekonomskih vidikov kmetovanja na ravni kmetijskih gospodarstev, pa je FSDN usmerjen v bolj

¹³⁵ Dr., univ. dipl. inž. agr., Kmetijski inštitut Slovenije (KIS), e-pošta: maja.kozar@kis.si

¹³⁶ Mag. inž. zoot., Kmetijski inštitut Slovenije (KIS), e-pošta: vesna.telic@kis.si

¹³⁷ Mag. inž. agr., Kmetijski inštitut Slovenije (KIS), e-pošta: sara.bele@kis.si

¹³⁸ Univ. dipl. inž. agr., KGZS, Kmetijsko gozdarski zavod Kranj, e-pošta: ana.demsar-benedicic@kr.kgzs.si

celovito presojo trajnostnosti kmetijstva na ravni kmetijskih gospodarstev (KMG), in sicer z zbiranjem novih, predvsem okoljskih in družbenih kazalnikov. S preходом na FSDN se položaj FADN/FSDN kot osrednje mikroekonomske podatkovne baze, torej na ravni KMG, nadalje krepi (Strategic Dialogue on ..., 2024), saj bo, tako kot pri FADN, tudi v okviru FSDN pristop zbiranja in obdelave podatkov harmoniziran za vse države Evropske unije (EU).

Izhajajoče podatkovno bogastvo FADN/FSDN bo torej v prvi vrsti namenjeno presoji trajnostnosti evropskega kmetijstva na ravni KMG v smislu spremljanja ciljev kmetijske politike, izboljševanja njene ciljne naravnosti in učinkovitosti na področju novih izzivov (okoljski izzivi, kot so npr. gospodarjenje s tlemi, emisije toplogrednih plinov, dobrobit živali, biotska raznovrstnost, ter družbeni izzivi, kot so nasledstvo na kmetijah, delovne razmere; Vrolijk in Poppe, 2021). Pomembni cilji FSDN so tudi razvoj kmetijam bolj prilagojenega kmetijskega svetovanja z uporabo t. i. primerjalne analize (angl. benchmarking) uspešnosti KMG, krepitev interoperabilnosti, souporabe in digitalizacije podatkovnih virov v kmetijstvu (Uredba št. 2023/2674).

V Sloveniji sta sodobni tip povratnih informacij oziroma prikazi rezultatov FADN na ravni KMG (poenostavljeni, »hitri«, personalizirani, bolj dinamični in vizualno privlačni) (Volk in sod., 2017) ter izhajajoče kmetijsko svetovanje, oblikovano bolj po meri KMG, razvita v zelo majhnem obsegu. To lahko pripišemo predvsem pomanjkanju sistemskega financiranja razvoja tovrstnih informacij in specializiranih strokovnih kadrov (Volk in sod., 2017, Kožar in sod., 2024).

Uradne povratne informacije, ki jih v FADN vključena KMG prejmejo s strani države, so še vedno pripravljena izključno v tabelarični, nedinamični obliki, brez razlag. V zadnjem letu je bila dodana medletna primerjava ključnih podatkov/rezultatov FADN za posamezno KMG za zadnja tri obračunska leta. V okviru Javne službe kmetijskega svetovanja so razviti t. i. panožni krožki, v okviru katerih so individualne povratne informacije/prikazi rezultatov prav tako v pretežno v tabelarični (Žgajnar in sod., 2023) in razmeroma statični obliki, vendar pa vključujejo primerjalno analizo (primerjava rezultatov posameznega KMG s povprečjem, s povprečjem 25 % manj in povprečjem 25 % bolj uspešnih KMG v panožnem krožku). V okviru raziskave Volk in sod. (2017) je bil na podlagi dobre prakse iz tujine razvit koncept povratnih informacij FADN za Slovenijo na nacionalni (na ravni države)¹³⁹ in na individualni ravni (na ravni KMG).

V prispevku predstavljamo izsledke CRP projekta V5-2229 (*Podpora na dejstvih utemeljeni kmetijski politiki v Sloveniji: krepitev osnovnega FADN in podpora pri prehodu v FSDN*), in sicer na področju nadaljnjega razvoja povratnih informacij o trajnostnosti kmetijstva na individualni ravni (na ravni KMG). V projektu smo koncept individualnih povratnih informacij, razvit v Volk in sod. (2017), smo nadgradili in razširili z naborom podatkov o trajnostnosti kmetijstva v luči prehoda FADN na FSDN, njegovo uporabnost pa preverili pri kmetijah in kmetijskih svetovalcih s pomočjo anketiranja.

2 MATERIAL IN METODE DELA

V okviru projekta CRP V5-2229 smo na podlagi koncepta, razvitega v Volk in sod. (2017), dobrih praks iz tujine (delavnice Pacioli, sestanki GREX) ter izsledkov delavnice za kmetijske svetovalce na KGZS januarja 2019 (Kožar, 2019) nadgradili povratne informacije na ravni KMG, in sicer v programu Microsoft Excel. Poleg ključnih rezultatov FADN so bile individualne povratne informacije razširjene z novimi kazalniki trajnostnosti kmetijstva, za

¹³⁹ Povratne informacije FADN na nacionalni ravni se v dinamični, grafično bolj privlačni obliki »nadzorne plošče« od 2020 redno objavljajo na spletni strani KIS: <https://www.kis.si/FADN/>.

katere smo podatke zbirali v okviru projekta na vzorcu realnih testnih KMG.

Povratne informacije upoštevajo sodobnejše pristope: so grafično bolj privlačne, dinamične (oblika »nadzorne plošče« ali angl. dashboard; več slikovnih prikazov, preračun na fizične enote; npr. na hektar, na kg, na kravo), personalizirane (prilagojene posameznemu KMG), uporabljena je primerjalna analiza (primerjava rezultatov posamezne KMG z rezultati relevantnih drugih skupin KMG, npr. enakega proizvodnega tipa ali z nacionalnimi oziroma evropskimi povprečji, primerjava z najuspešnejšimi KMG v skupini) in medletna primerjava rezultatov. Ostala priporočila oziroma dobra praksa iz tujine glede povratnih informacij poudarjajo tudi njihovo pravočasno (ažurno) pripravo, enostavnost (preglednost), večjo dostopnost rezultatov (spletni dostopi) ter možnost dodatnih storitev (npr. podrobnejše analize, dostop do spletnih orodij, kalkulatorjev) (Volk in sod., 2017).

Predlog povratnih informacij na ravni KMG smo predstavili tako testnim kmetijam kot tudi kmetijskim svetovalcem v okviru delavnic (Kožar in sod., 2024), in sicer s testnimi kmetijami aprila 2024 (odso tnm kmetijam so bile povratne informacije posredovane po pošti), s kmetijskimi svetovalci pa septembra 2024; po obeh delavnicah smo izvedli anketiranje in pridobili njihova mnenja o predstavljenem predlogu. Podatki za pripravo novih kazalnikov trajnostnosti kmetijstva so bili zbrani na 22 testnih kmetijah, ki vodijo FADN (namenski vzorec, ki ni reprezentativen za FADN populacijo), na anketo pa je odgovarjalo 12 testnih kmetij. Delavnice za kmetijske svetovalce se je udeležilo 126 udeležencev (v živo 67, ostali spletno; večina udeležencev so bili kmetijski svetovalci), na anketo pa je odgovorilo 48 udeležencev delavnice. Anketi sta bili sicer nekoliko različni, njun osnovni namen pa je bil pridobiti mnenja glede predloga individualnih povratnih informacij, pripravljenega v okviru projekta, ter nekatera druga mnenja in predloge glede sistema FADN/FSDN v Sloveniji, npr. glede uporabnosti novih kazalnikov trajnostnosti, razbremenitve KMG zbiranja podatkov, izobraževanja, ipd.

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3.1 Predlog povratnih informacij o trajnostnosti kmetij

Na slikah 1 in 2 prikazujemo predlog povratnih informacij za eno testno kmetijo (z dovoljenjem kmetije; zaradi omejitve prostora so prikazani le deli predloga). Povratne informacije so podane v obliki preglednic ali grafov s ključnimi rezultati FADN (stil t. i. »nadzorne plošče«), v projektu pa so bile v primerjavi z izhodiščnim konceptom (Volk in sod., 2017) nadgrajene in razširjene z novimi kazalniki trajnostnosti kmetijstva na ravni KMG. Rezultati kmetije so praviloma prikazani za izbrano obračunsko leto, nekaj ključnih rezultatov pa je prikazanih za več preteklih zaporednih let (odvisno od dolžine vključenosti kmetije v FADN). Smiselno so uporabljeni elementi primerjalne analize; rezultati kmetije so primerjani s kmetijami istega proizvodnega tipa v Sloveniji, EU ter z nacionalnim in evropskim povprečjem.

Nekateri rezultati so prikazani na enoto površine (hektar kmetijskih zemljišč v uporabi) oziroma na glavo velike živine. Novi kazalniki (izbrani družbeni, okoljski, pa tudi dodatni ekonomski) so dodani za zadnje dostopno leto ter tipično primerjani s skupino ostalih testnih kmetij.



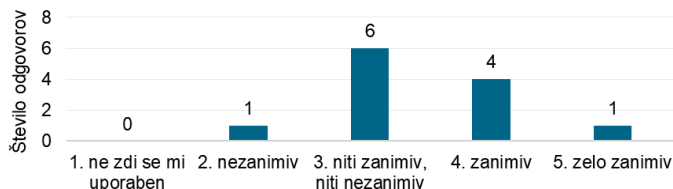
Vsebinski sklopi povratnih informacij so naslednji: uvodni opis FADN/FSDN, vzorec in populacija FADN v Sloveniji, osnovni podatki o kmetiji, proizvodna zmogljivost kmetije, ključni ekonomski kazalniki (primerjava z nacionalnim povprečjem in s povprečjem proizvodnega tipa, ki mu pripada kmetija), struktura prihodkov, subvencij, izbor novih okoljskih (npr. o dobrobiti živali – paša, dostop do zunanjih površin, skladiščenje in tehnike nanašanja živinskih gnojil, obnovljiva energija), družbenih (npr. nasledstvo na kmetijah, delovne razmere, svetovanje kmetijam) ter dodatnih ekonomskih kazalnikov (npr. inovacije na kmetijah, investicije na kmetijah, obvladovanje tveganj v kmetijstvu, povezanost v kmetijske zadruge). Na koncu povratnih informacij so navedeni viri podatkov, povezave in definicije ključnih standardnih rezultatov FADN (RI/CC 1750, 2022).



3.2 Mnenja anketiranih kmetij in kmetijskih svetovalcev

Vse testne kmetije so prejele nadgrajeno in s trajnostnimi kazalniki razširjeno obliko povratnih informacij, udeleženi kmetijam pa je bila ta oblika podrobneje predstavljena na posebni

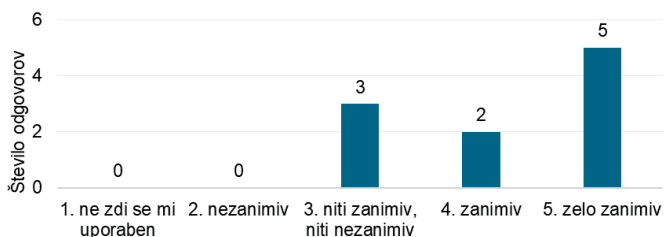
delavnici. Po tej delavnici smo izvedli anketiranje testnih KMG in jih med drugim spraševali o njihovih mnenjih o predstavljenem predlogu povratnih informacij. V nadaljevanju je zbranih nekaj rezultatov te ankete.



Vir: Lastni preračuni

Slika 3: Mnenja anketiranih testnih KMG o dosedanjem načinu prikazovanja povratnih informacij FADN za KMG; $n=12$

Nadgrajene povratne informacije so anketiranim testnim KMG opazno bolj zanimive (slika 4) kot uradne povratne informacije (slika 3), ki so še vedno razmeroma neprivlačne tabelarične oblike, brez grafičnih prikazov ali dodatnih razlag.

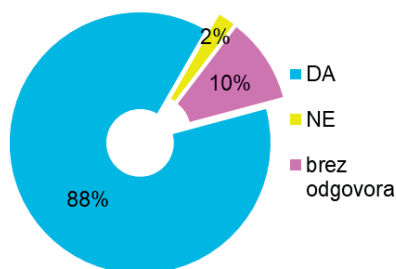


Vir: Lastni preračuni

Slika 4: Mnenja anketiranih testnih KMG o novem predlogu povratnih informacij o trajnostnosti kmetijstva (prikazan na drugi delavnici s KMG); $n=10$

Anketirane kmetije, ki so odgovorile na to vprašanje, menijo, da so prikazi rezultatov dovolj dobro grafično podkrepljeni ($n=11$). Razen ene, so bile vse anketirane kmetije ($n=11$) mnenja, da se bo uporabnost njihovih podatkov z dodatnimi podatki FSDN v prihodnje povečala. Anketirane testne kmetije so podale tudi nekatera splošna mnenja o FADN/FSDN, npr. kako jih razbremeniti bremena zbiranja podatkov; predvsem s pripravljenimi podatki iz že obstoječih baz in s pomočjo kmetijskih svetovalcev/računovodske pisarne pri beleženju podatkov.

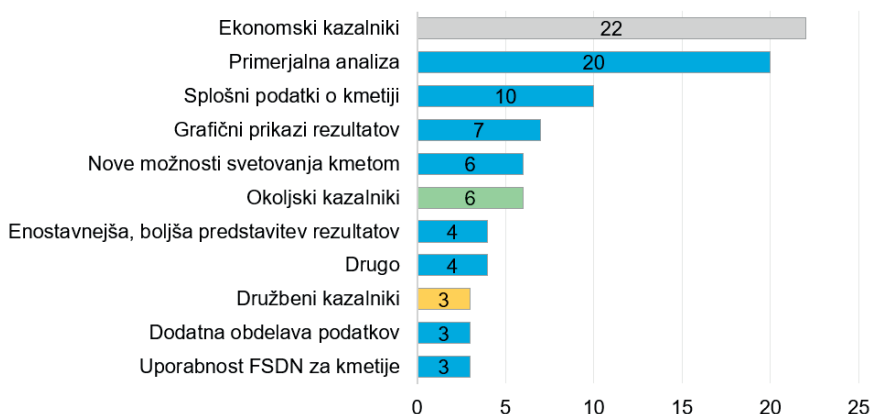
Predlog nadgrajenih individualnih povratnih informacij smo prikazali tudi kmetijskim svetovalcem in jih prav tako povprašali po njihovih mnenjih o tem predlogu, pa tudi na splošno o nekaterih drugih aspektih uporabe in uporabnosti FADN (in v prihodnje FSDN). V nadaljevanju je predstavljenih nekaj rezultatov anketiranja udeležencev delavnice (v nadaljevanju kmetijskih svetovalcev). Večina (okoli 70 %) jih meni, da bodo novi kazalniki trajnostnosti kmetijstva v okviru FSDN uporabni, nadaljnjih 6 % pa, da bodo zelo uporabni. Predlog nadgrajenih povratnih informacij se anketirancem v splošnem zdi uporaben za kmetijsko svetovanje (slika 5).



Vir: Lastni preračuni

Slika 5: Mnenje anketiranih kmetijskih svetovalcev, ali je predlog povratnih informacij za kmetije uporaben za kmetijsko svetovanje; $n=48$

Podali so tudi mnenja, kateri del oziroma tip podatkov se jim zdi na predlogu nadgrajenih povratnih informacij najbolj uporaben za kmetijsko svetovanje. Prevladujoče se jim zdijo najuporabnejši ekonomski kazalniki in primerjalna analiza; sem lahko posredno štejemo še grafični prikaz rezultatov (slika 6).



Vir: Lastni preračuni

Slika 6: Kateri del/podatki predloga povratnih informacij je najbolj uporaben za kmetijsko svetovanje? Možnih več odgovorov; $n=38$

Anketirani kmetijski svetovalci so podali tudi predloge za izboljšanje predloga povratnih informacij. Najbolj priporočajo krepitev primerjalne analize (primerjava znotraj tipov, medletne primerjave, ...), nadaljnjo poenostavitev prikazov, krepitev grafične in tekstovne razlage (slika 7); tudi v smislu podajanja konkretnih nasvetov in predlogov kmetijam glede njihovih proizvodnih oziroma poslovnih strategij. Omenimo še predloge po sodobnejših (spletni, mobilni) prikazih in dostopih do rezultatov za KMG, tako s strani KMG samih kot tudi s strani od njih pooblaščenih oseb.



Vir: Lastni preračuni

Slika 7: *Kako izboljšati predlog povratnih informacij o trajnostnosti na ravni KMG; možnih več odgovorov; n=33*

4 SKLEPI

V prispevku smo prikazali nadgrajene in razširjene povratne informacije o trajnostnosti kmetijstva na ravni KMG, ki so v primerjavi s trenutno razvitimi načini podajanja povratnih informacij FADN bolj dinamične, personalizirane, grafično bolj privlačne, uporabljena je primerjalna analiza in medletna primerjava, vključeni pa so tudi novi kazalniki trajnostnosti kmetijstva (v veliki meri primerljivi s kazalniki v okviru FSDN). Na podlagi rezultatov anketiranja je mogoče orientacijsko ugotoviti, da je predlog povratnih informacij tako pri anketiranih kmetijah kot tudi pri kmetijskih svetovalcih pozitivno sprejet. V primerjavi z uradnimi povratnimi informacijami se nakazuje okrepljen interes, tako kmetij za sodelovanje v okviru FADN/FSDN kot tudi kmetijskih svetovalcev za uporabo rezultatov FADN/FSDN pri svojem svetovalnem delu.

Predlog povratnih informacij je po naši oceni možno razmeroma hitro prenesti v prakso, potrebna pa bi bila programska nadgradnja in po možnosti vključitev v spletno aplikacijo za zbiranje podatkov FADN/FSDN (obstoječo ali novo). Na ta način bi bile povratne informacije na enostaven način, na »enem mestu« dostopne za kmetije (tovrstni dostopi so tudi dobra praksa iz tujine). Prav tako bi bilo smiselno predlog nadalje vsebinsko nadgrajevati in prilagajati: vključeni elementi (prikazani rezultati) naj bodo čimbolj uporabni in učinkoviti za kmetijsko svetovanje, povratne informacije pa naj omogočajo tudi vključevanje agregatnih (skupnih) ocen trajnostnosti naravnosti kmetij. Harmonizirani pristopi na evropski ravni za te ocene v kontekstu FADN/FSDN trenutno še niso dogovorjeni.

Izboljšane povratne informacije za kmetije bodo po naši oceni pomembno prispevale k spodbujanju kmetij za sodelovanje v sistemu FSDN, k učinkovitejši diseminaciji rezultatov, dolgoročno pa tudi k izboljšanju kakovosti rezultatov. Prav tako bi lahko pomembno prispevale h krepitvi neposrednega kmetijskega svetovanja na področju trajnostne naravnosti KMG. Tozadevno tako tuja kot domača dobra praksa kot najučinkovitejši način prenosa znanja v prakso potrjujeta pristop skupinskih (panožnih) krožkov. Razvoj in krepitev obojega, torej individualnih povratnih informacij in neposrednega svetovanja kmetijam, bosta na daljši rok učinkovita le z zagotovitvijo strateško premišljenega systemskega financiranja, ne le infrastrukture, temveč tudi ustrezno specializiranih kadrov v mreži FADN/FSDN.

Zahvala: V prispevku so predstavljeni izsledki CRP projekta V5-2229 z naslovom "Podpora na dejstvih utemeljeni kmetijski politiki v Sloveniji: krepitev osnovnega FADN in podpora pri prehodu v FSDN", ki sta ga financirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije ter Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike

Slovenije. Avtorice se zahvaljujejo kmetijam in kmetijskim svetovalcem, ki so sodelovali v projektu ali v anketah, ostalim članom projektne skupine in drugim sodelujočim v projektu. Povratne informacije, prikazane na slikah 1 in 2, so objavljene z dovoljenjem sodelujoče kmetije.

5 LITERATURA

- Delavnice Pacioli. Različna leta. <https://www.pacioli.org/workshop> (9. okt. 2024)
- Izvedbena uredba št. 2024/2746. 2024. Izvedbena uredba Komisije (EU) 2024/2746 z dne 25. oktobra 2024 o določitvi pravil za uporabo Uredbe Sveta (ES) št. 1217/2009 o vzpostavitvi mreže za podatke o trajnostnosti kmetij in razveljavitvi Izvedbene uredbe Komisije (EU) 2015/220. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX%3A32024R2746> (30. okt. 2024)
- Kožar M. 2019. Možnosti uporabe (standardnih) rezultatov FADN pri kmetijskem svetovalnem delu: predavanje za KGZS, Ljubljana, 29. jan. 2019. [COBISS.SI-ID 5703784]
- Kožar M., Bedrač M., Bele S., Bleiweis A., Brečko J., Hiti Dvoršak A., Moljk B., Telič V., Travnikar T., Zagorc B., Novak A., Rac I., Šumrada T., Tomšič M., Žgajnar J., Cör T., Demšar-Benedičič A., Šnut L., Šenk D., Beguš M. 2024. CRP Projekt V5-2229 (Podpora na dejstvih utemeljeni kmetijski politiki v Sloveniji: krepitev osnovnega FADN in podpora pri prehodu v FSDN). Kmetijski inštitut Slovenije, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Kmetijsko gozdarski zavod Kranj (vsi Ljubljana): 92 str.
- RI/CC 1750 (ex RI/CC 882). 2020. Definitions of variables used in FADN standard results, June 2022. Brussels, European Commission: 54 str.
- Sestanki skupine GREX. 2023 in 2024. Sestanki ekspertne skupine v zvezi s horizontalnimi vprašanji glede SKP, podskupina Mreža za podatke o trajnostnosti kmetij (angl. The Expert Group for Horizontal Questions Concerning the CAP – Farm Sustainability Data Network, prej podskupina Mreža za računovodske podatke s kmetij – angl. Subgroup Accountancy Network) (interna gradiva)
- Strategic Dialogue on the future of EU agriculture. 2024. A shared prospect for farming and food in Europe. The final report of the Strategic Dialogue on the future of EU agriculture. Strategic Dialogue on the Future of EU Agriculture, Bruselj, september 2024: 109 str. https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/main-initiatives-strategic-dialogue-future-eu-agriculture_en (30. sept. 2024)
- Strategija »Od vil do vilic«. 2020. Strategija »Od vil do vilic« za pravičen, zdrav in okolju prijazen prehranski sistem. COM(2020) 381 final. Bruselj, Evropska komisija, 20.5.2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0381> (30. sept. 2024)
- Uredba št. 2023/2674. 2023. Uredba (EU) 2023/2674 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 22. novembra 2023 o spremembi Uredbe Sveta (ES) št. 1217/2009 glede preoblikovanja mreže za računovodske podatke s kmetij v mrežo za podatke o trajnostnosti kmetij. <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/2674/oj> (26. sept. 2024)
- Volk T., Brečko J., Erjavec E., Jerič D., Kavčič S., Kožar M., Moljk B., Rednak M., Zagorc B., Žgajnar J. 2017. Razvoj celovitega modela kmetijskih gospodarstev in povezanih podatkovnih zbirk za podporo pri odločanju v slovenskem kmetijstvu (CRP V4-1423). Zaključno poročilo. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 295 str. https://www.kis.si/f/docs/Predstavitev_OEK/CRP-V4-1423-SKUPNO_COBISS.pdf (27. sept. 2024)
- Vrolijk H., Poppe K. 2021. Cost of Extending the Farm Accountancy Data Network to the Farm Sustainability Data Network: Empirical Evidence. Sustainability, 13(15): 8181. <https://doi.org/10.3390/su13158181> (30. sept. 2024)
- Žgajnar J., Tomšič M., Kavčič S., Pavlovič M., Jerič D., Čop T. 2023. Priročnik za izvajanje empirično podprtih panožnih krožkov. Ljubljana, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani: 77 str. ISBN 978-961-6379-76-2. [COBISS.SI-ID 141272323]



CORTEVA TEHNOLOGIJA PRIDELAVE

- **Pioneer seme**
- **Sredstva za varstvo rastlin**
- **Gospodarjenje z dušikom**
- **Biološka sredstva**
- **Strokovno svetovanje**
- **Digitalno kmetijstvo**
- **Silirni dodatki**





RWA

RWA Slovenija, d. o. o.
Dolenjska cesta 250 a, 1291 Škofljica
t: 01 514 00 70, e: semena@agrosaat.si

Agrosaat



www.agrosaat.si

KARSIA®

Ljudem in okolju
prijazno varstvo rastlin

www.karsia.si

Kalcevita

Vrnimo zemlji življenje
in omogočimo sprostitvev
zaklenjenih hranil v tleh

**APNENČEVA
MOKA**

Hitrost
Agresivnost
Priročnost
Doziranje

**APNENČEV
GRANULAT**

Hitrost
Agresivnost
Priročnost
Doziranje

**APNENEC
IGM**

Hitrost
Agresivnost
Priročnost
Doziranje

**AGRO
APNO**

Hitrost
Agresivnost
Priročnost
Doziranje

Kontakt:

Marta Globokar, 041 708 752
marta.globokar@intercal.si

Prodaja, 051 267 962

Proizvajal:

Apnenec d.o.o. / InterCal Slovenija d.o.o.
Savska cesta 1, 1410 Zagorje ob Savi

Kalcevita



Izdelki za
apnjenje tal



www.kalcevita.si
www.intercal.si

InterCal
by Wiettersdorfer



ISBN 978-961-94613-3-4



9 789619 461334