



PRECIZNO  
KMETIJSTVO

# Precizno kmetijstvo in digitalizacija za bolj trajnostno pridelavo poljščin in zelenjave



Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja: Evropa investira v podeželje



REPUBLIKA SLOVENIJA  
**MINISTRSTVO ZA KMETIJSTVO,  
GOZDARSTVO IN PREHRANO**



## Kazalo vsebine

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Uvod</b>                                                                                      | 5  |
| <b>1.1 Spremnna beseda</b>                                                                       | 5  |
| <b>1.2 Pomen preciznega kmetijstva in digitalizacije v kmetijstvu</b>                            | 6  |
| <b>1.3 Pomen trajnostne pridelave poljščin in zelenjave</b>                                      | 7  |
| <b>1.4 Specifični cilji priročnika</b>                                                           | 7  |
| <b>2. Osnove preciznega kmetijstva in digitalizacije</b>                                         | 9  |
| <b>2.1 Definicija preciznega kmetijstva in digitalizacije kmetijstva</b>                         | 9  |
| <b>2.2 Praktični problemi, izzivi ter kako jih nasloviti</b>                                     | 10 |
| <b>2.3 Ključne komponente in tehnologije preciznega kmetijstva</b>                               | 12 |
| 2.3.1 Globalni sistem pozicioniranja - GPS                                                       | 12 |
| 2.3.2 Sateliti in brezpilotni letalniki (droni)                                                  | 15 |
| 2.3.3 Optični senzorji in vegetacijski indeksi                                                   | 16 |
| <b>2.4 Trendi v preciznem kmetijstvu in digitalizaciji</b>                                       | 17 |
| <b>3. Precizno gnojenje v kmetijstvu</b>                                                         | 18 |
| <b>3.1 Variabilna aplikacija gnojil</b>                                                          | 18 |
| <b>3.2 Skeniranje tal kot osnova za natančno vzorčenje</b>                                       | 18 |
| 3.2.1 Skeniranje tal na osnovi elektromagnetnega valovanja                                       | 18 |
| 3.2.2 Skeniranje tal na osnovi gama sevanja                                                      | 20 |
| <b>3.3 Načrtovanje in odvzem talnih vzorcev</b>                                                  | 20 |
| 3.3.1 Pomen pravilne izbire mest za vzorčenje                                                    | 20 |
| 3.3.2 Uporaba tehnologije in opreme za odvzem vzorcev                                            | 21 |
| <b>3.4 Ugotavljanje potreb po dušiku z uporabo hitrih testov in NDVI</b>                         | 21 |
| <b>3.5 Laboratorijska analiza tal in priprava aplikacijskih kart in gnojilnih načrtov</b>        | 22 |
| <b>3.6 Izvedba preciznega agrotehničnega ukrepa</b>                                              | 23 |
| <b>4. Okoljski in trajnostni vidiki preciznega kmetijstva na pridelavo poljščin in zelenjave</b> | 26 |
| <b>5. Ekonomski vidiki</b>                                                                       | 30 |
| <b>5.1 Ekonomska učinkovitost VRA</b>                                                            | 32 |
| <b>6. Sklepne misli</b>                                                                          | 34 |
| <b>7. Viri</b>                                                                                   | 35 |

Izdal in založil: **KGZS, Kmetijsko gozdarski zavod Murska Sobota**

Avtorji: **Peter Vindiš  
Damijan Kelc  
Damjan Jerič  
Boštjan Ferenčak  
Ines Kolarič  
Adrijana Miholič  
Marjana Avberšek  
Sergej Krajnc  
Nataša Imenšek  
Klemen, Kaučič  
Lara Resman**

**ISBN 978-961-97032-2-9 (PDF)**

Naklada: 1000 izvodov  
Tiskarna: Arma d.o.o.

Murska Sobota 2025

Način dostopa (URL): <https://www.kgzs-ms.si/dogodki-in-projekti-2/ostaliprojekti/precizno-kmetijstvo-indigitalizacija-za-bolj-trajnostnopridelavo-poljscin-in-zelenjave>

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Univerzitetna knjižnica Maribor

631.58:004.63:005.92(035)(0.034.2)

PRECIZNO kmetijstvo in digitalizacija za bolj trajnostno pridelavo poljščin in zelenjave [Elektronski vir] / [avtorji Peter Vindiš ... [et al.]. - Murska Sobota : Kmetijsko gozdarski zavod, 2025

Način dostopa (URL): <https://www.kgzs-ms.si/dogodki-in-projekti-2/ostaliprojekti/precizno-kmetijstvo-indigitalizacija-za-bolj-trajnostnopridelavo-poljscin-in-zelenjave>  
ISBN 978-961-97032-2-9 (PDF)  
COBISS.SI-ID 238504451



## Seznam slik

|           |                                                                                                                                 |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1:  | Izzivi kmeta ob soočanju s tehnologijo (avtor slike: Chat GPT).....                                                             | 11 |
| Slika 2:  | Sistem GPS.....                                                                                                                 | 12 |
| Slika 3:  | Način delovanja GPS vključno s korekcijo signala<br>in različni načini korekcije signala pri vodenju traktorja.....             | 13 |
| Slika 4:  | Mobilna referenčna postaja.....                                                                                                 | 14 |
| Slika 5:  | Korekcija signala z uporabo virtualnega NTRIP-omrežja.....                                                                      | 14 |
| Slika 6:  | Dron - avtomatsko brezpilotno letalo.....                                                                                       | 15 |
| Slika 7:  | Satelitski posnetki z dronom.....                                                                                               | 15 |
| Slika 8:  | Razlike v sprejemanju svetlobe med zdravo in nezdravo rastlino.....                                                             | 17 |
| Slika 9:  | Karta pregledane površine in terensko vozilo, opremljeno z georadarjem.....                                                     | 19 |
| Slika 10: | Karta elektroprevodnosti tal in lokacije odvzema talnih vzorcev.....                                                            | 19 |
| Slika 11: | Zemljevid lastnosti tal več njivskih površin in načrt vzorčenja.....                                                            | 19 |
| Slika 12: | Uporaba aplikacije za najdbo točke za odvzem<br>talnega vzorca in avtomatski vzorčevalnik.....                                  | 21 |
| Slika 13: | Satelitska slika z NDVI indeksi izbranih površin.....                                                                           | 22 |
| Slika 14: | Aplikacijska karta za precizno osnovno gnojenje.....                                                                            | 23 |
| Slika 15: | Aplikacijska karta za precizno dognojevanje.....                                                                                | 23 |
| Slika 16: | Precizna setev (variabilno glede na potencial površine).....                                                                    | 24 |
| Slika 17: | Precizno (variabilno) apliciranje FFS.....                                                                                      | 24 |
| Slika 18: | Primer preciznega dognojevanja žit v praksi.....                                                                                | 25 |
| Slika 19: | Grafična primerjava okoljskih odtisov nastalih<br>zaradi delovnih operacij na kmetiji.....                                      | 28 |
|           | (Kmetija A, levo in Kmetija B, desno) pri pridelavi pšenice                                                                     |    |
| Slika 20: | Grafična primerjava okoljskih odtisov<br>nastalih zaradi delovnih operacij na kmetiji .....                                     | 28 |
|           | (Kmetija A, levo in Kmetija B, desno) pri pridelavi koruze                                                                      |    |
| Slika 21: | Grafični prikaz stroškov traktorja<br>(€/uro) v odvisnosti od letne rabe stroja (ur/leto).....                                  | 31 |
| Slika 22: | Grafični prikaz strukture stroškov glede na letno<br>izkoriščenost traktorja (100 ur/leto in 500 ur/leto).....                  | 31 |
| Slika 23: | Potrebne strojne in ročne ure za oskrbo 1 ha pšenice<br>v odvisnosti od velikosti parcele in strojne opremljenosti kmetije..... | 32 |



## 1. Uvod

### 1.1 Spremnna beseda

V sodobnem kmetijstvu se soočamo z vedno večjimi izzivi, kot so podnebne spremembe, naraščajoče zahteve glede varovanja okolja in naravnih virov, ob hkratni potrebi po povečanju učinkovitosti in donosnosti pridelave. Priročnik, ki je pred vami, je nastal z namenom, da ponudi praktične in strokovne smernice za uvajanje preciznega kmetijstva in digitalizacije v rastlinsko pridelavo na kmetijah. Verjamemo, da so sodobne tehnologije ključ do bolj trajnostne in konkurenčne kmetijske proizvodnje, saj omogočajo učinkovitejše odločanje o agrotehničnih ukrepih, optimalno porabo virov in prinašajo rešitve za optimizacijo rabe naravnih virov, zmanjšanje vplivov na okolje ter izboljšanje ekonomske uspešnosti kmetijskih gospodarstev.

*Kljub dostopnosti preciznih tehnologij v Sloveniji njihov razvoj in uvajanje na kmetijah potekata počasi, predvsem zaradi pomanjkanja znanja in izkušenj kmetov, specializirano usposobljenih svetovalcev in konkretnih podatkov iz slovenskega okolja.*

Večina kmetij je manjših in nima ustrezne mehanizacije ali virov za digitalizacijo, zato je potrebno razviti prilagojene pristope za njihovo vključitev v precizno kmetovanje. Dodatno težavo predstavlja razpršenost podatkov na tem področju, ki otežuje izdelavo potrebnih strokovnih ocen vplivov, koristi in primernosti teh tehnologij v našem okolju.

Glavni izzivi, ki jih projekt EIP Precizno kmetijstvo in digitalizacija naslavlja, so pomanjkanje praktičnih izkušenj in podatkov o vplivu preciznega kmetijstva na ekonomsko in okoljsko vzdržnost kmetij ter pomanjkanje strukturiranega znanja za svetovanje kmetom o uvajanju teh tehnologij. Hkrati je nujna večja usposobljenost tako kmetov kot svetovalcev za uporabo digitalnih rešitev v praksi, saj brez tega težko pričakujemo hitrejše in učinkovitejše uvajanje sodobnih pristopov v kmetijsko proizvodnjo. Cilji projekta so uvesti in nadgraditi tehnologije preciznega kmetijstva na kmetijah ter na podlagi realnih podatkov s terena oceniti njihove učinke na trajnost kmetovanja, s tem pa povečati usposobljenost kmetov in strokovnjakov za digitalizacijo kmetijstva ter spodbuditi hitrejšo implementacijo teh tehnologij, tudi na manjših kmetijah.

*Z namenom dokazati, da uporaba metod preciznega kmetijstva in uvajanja digitalizacije na kmetijah vodi k izboljšani ekonomski učinkovitosti, poveča storilnost na kmetijah in prispeva k zmanjšanju negativnega vpliva na okolje, smo v okviru projekta EIP Precizno kmetijstvo in digitalizacija ovrednotili vpliv preciznega kmetijstva in digitalnih rešitev na trajnost kmetij.*

Kvantitativno ovrednotenje je bilo izvedeno na dveh od treh stebrov trajnosti: okoljsko (zmanjšanje uporabe gnojil, energentov; znižanje emisij toplogrednih plinov) in ekonomsko (manj porabljenega materiala za reprodukcijo in pogonskih goriv, večja delovna učinkovitost, smotrnost investicij v opremo). Podatke smo pridobili iz terena, iz praktičnih preizkusov na šestih kmetijah, ki se razlikujejo po velikosti, stopnji tehnološke opremljenosti, izkušnjah na področju pametnega kmetijstva, tipu proizvodnje, pogojih za kmetijsko dejavnost in načinu obdelave tal.

Priročnik »Precizno kmetijstvo in digitalizacija za bolj trajnostno pridelavo poljščin in zelenjave« predstavlja ključen praktičen rezultat nastal v okviru projekta, njegov osnovni namen pa je podati osnovne informacije o naprednih tehnologijah v kmetijstvu v lahko razumljivem jeziku in s tem povečati razumevanje in znanje, ki sta potrebna za sprejemanje teh tehnologij v prakso. Priročnik podaja opise praktičnih primerov ter primerjalno oceno vpliva naprednih tehnologij na ekonomiko in okoljsko trajnost in s tem bo kmetijami in kmetijskim svetovalcem v pomoč pri odločitvah v kakšno opremo in digitalne rešitve je smotrno investirati glede na velikost kmetije, način proizvodnje ter pogoje kmetovanja.

*Glavni cilj priročnika je omogočiti kmetovalcem, kmetijskim svetovalcem in tudi splošni zainteresirani javnosti dostop do najnovejših znanj in praktičnih orodij, ki omogočajo lažjo integracijo naprednih tehnologij v vsakodnevne kmetijske prakse. Priročnik ponuja sistematičen pregled osnovnih konceptov, tehnologij in pristopov v preciznem kmetijstvu ter funkcionalnostih, ki jih omogoča digitalizacija. Ponujamo tudi vpogled v primere dobrih praks, ki so se izkazale kot učinkovite pri uvajanju sodobnih pristopov v pridelavo, tako z ekonomskega vidika kot vidika vpliva na okolje.*

Z upanjem, da bo priročnik prispeval k uporabi preciznega kmetijstva v vaši pridelavi vas vabimo k branju in uporabi predstavljenih znanj in orodij, saj verjamemo, da je prihodnost kmetijstva v združevanju tradicije s sodobnimi tehnologijami.

## 1.2 Pomen preciznega kmetijstva in digitalizacije v kmetijstvu

Precizno kmetijstvo in digitalizacija predstavljata enega ključnih korakov k trajnostnemu, učinkovitemu in okolju prijaznemu razvoju sodobnega kmetijstva. Gre za uporabo sodobnih tehnologij, kot so senzorji, GPS-navigacija, satelitski posnetki, droni, programska oprema za analizo podatkov in avtomatizacija, z namenom optimizacije kmetijskih praks.

### KORISTI PRECIZNEGA KMETIJSTVA IN DIGITALIZACIJE V SEKTORJU LAHKO RAZPOREDIMO V VEČ GLAVNIH SKLOPOV:

- Povečanje količine in kakovosti pridelka: Z natančnim spremljanjem stanja tal, rastlin in vremenskih razmer lahko kmetje sprejemajo bolj informirane odločitve o setvi, gnojenju, namakanju in zaščiti rastlin. To omogoča boljše prilagoditev posegov dejanskim potrebam rastlin, kar poveča donos in kakovost pridelka.
- Zmanjšanje stroškov in učinkovitejša raba virov: Z digitalnimi orodji in izvajanjem metod preciznega kmetijstva je možno natančno določiti količino potrebnih gnojil, škropiv ali vode. To pomeni manjšo porabo vhodnih virov, kar neposredno zmanjšuje stroške pridelave, hkrati pa zmanjšuje vpliv na okolje.
- Okoljska trajnost: Zmanjšanje uporabe fitofarmacevtskih sredstev, gnojil in goriva vodi do manjših emisij toplogrednih plinov in manjše obremenitve tal ter voda. Precizno kmetijstvo tako pomembno prispeva k varovanju naravnih virov in zmanjšanju onesnaževanja.

- Zmanjšanje stroškov pridelave - Digitalizacija in avtomatizacija procesov zmanjšujeta potrebo po ročnem delu in optimizirata uporabo virov, kar vodi do nižjih stroškov pridelave.
- Lažje upravljanje in odločanje: Digitalna orodja omogočajo spremljanje kmetijskega posestva v realnem času, analizo podatkov o preteklih letinah in prognoze za prihodnost. To pripomore k boljšemu načrtovanju in hitrejšemu odzivanju na spremembe.
- Privabljanje mlajših generacij: Digitalizacija vnaša sodobne tehnologije v kmetijstvo, kar lahko poveča zanimanje mladih za poklic kmeta. Povezava s tehnologijo, podatki in pametnimi rešitvami postavlja kmetijstvo v novo luč – kot dinamičen, sodoben in strateško pomemben sektor.

## 1.3 Pomen trajnostne pridelave poljščin in zelenjave

Trajnostna pridelava poljščin in zelenjave pomeni iskanje ravnotežja med visoko pridelovalno učinkovitostjo, varstvom okolja in skrbjo za dolgoročno rodovitnost tal ter zdravje ljudi. V ospredje postavlja pametno uporabo naravnih virov, lokalno pridelavo in odpornost na podnebne spremembe.

*Sodobne tehnologije, kot so precizno kmetijstvo in digitalizacija, omogočajo natančno spremljanje in optimizacijo pridelovalnih procesov, kar vodi k večji učinkovitosti in manjšemu negativnemu vplivu na okolje.*

Trajnostna pridelava poljščin in zelenjave, podprta s preciznim kmetijstvom in digitalizacijo, je ključna za prihodnost kmetijstva. Omogoča optimizacijo rabe virov, zmanjšanje vplivov na okolje in povečanje produktivnosti, hkrati pa zagotavlja kakovostno hrano za prihodnje generacije. Z natančnim spremljanjem, analizo in ustreznimi prilagoditvami lahko kmetje povečajo odpornost svojih kmetij na podnebne spremembe in dosežejo ekonomsko ter okoljsko trajnost.

## 1.4 Specifični cilji priročnika

Namen tega priročnika je praktično, pregledno in strokovno podpreti kmete, svetovalce, učitelje ter druge deležnike pri razumevanju, načrtovanju in uvajanju preciznega kmetijstva ter digitalnih tehnologij v pridelavo poljščin in zelenjadnic. V ospredju so trajnostni, ekonomsko smiselni in okolju prijazni pristopi, prilagojeni slovenskemu prostoru.

### Specifični cilji priročnika so:

- Razložiti temeljne koncepte preciznega kmetijstva in digitalizacije ter predstaviti ključne tehnologije (GPS, droni, senzorji, sateliti, avtonomni stroji), ki omogočajo sodobno, podatkovno podprto kmetovanje.
- Pojasniti pomen trajnostne pridelave v kontekstu varovanja naravnih virov, zdravja tal, zmanjšanja ogljičnega odtisa in ohranjanja biotske raznovrstnosti.
- Poglobljeno prikazati pristop k preciznemu gnojenju, od priprave talnih podlag do izvedbe aplikacijskih kart, ter predstaviti konkretne študije primerov iz slovenskih kmetij za lažje razumevanje učinkov v praksi.

- Predstaviti okoljske učinke uporabe preciznih tehnologij s poudarkom na zmanjševanju negativnih vplivov na okolje (emisije) ter prispevek k blaženju podnebnih sprememb.
- Oceniti ekonomske koristi in stroške, povezane z uvajanjem preciznega kmetijstva, na osnovi konkretnih rezultatov iz slovenskega prostora.
- Povezati teorijo s prakso preko uporabnih napotkov in priporočil, ki kmetom omogočajo premišljene in učinkovite korake pri uvajanju digitalnih rešitev v vsakdanjo prakso.
- Podati trende in prihodnje smernice razvoja preciznega kmetijstva in digitalizacije v luči dolgoročne konkurenčnosti in odpornosti slovenskega kmetijstva.

## 2. Osnove preciznega kmetijstva in digitalizacije

### 2.1 Definicija preciznega kmetijstva in digitalizacije kmetijstva

Kmetijstvo 21. stoletja vključuje različne pristope, kot so senzorska tehnologija, avtomatizacija, elektronska obdelava podatkov, satelitska navigacija ter specialna programska oprema, vse v kombinaciji s kompleksnim upravljanjem. Precizno kmetijstvo (PK) je zelo širok pojem in se uporablja v vseh kmetijskih panogah. Pomeni večjo natančnost pri izvedbi opravil, kar pomeni tudi večjo učinkovitost dela. Tehnika PK s senzorji, sateliti ter napredno kmetijsko mehanizacijo omogoča prilagajanje delovanja tako večjih kot manjših kmetijskih strojev posameznim delom parcele - glede spremembo gostote in razvitosti vegetacije ter druge zahteve v pridelavi kmetijskih rastlin. Z uporabo takega načina kmetovanja se lahko pridelek precej izboljša (Lakota in sod., 2019). Rastlinam namreč dodamo toliko hranil, kot jih dejansko potrebujejo in s se tem izboljšata tako kakovost kot količina pridelka.

#### GPS

Za določanje pozicije in vodenje kmetijskih strojev uporabljamo Globalne navigacijske satelitske sisteme (ang. Global Navigation Satellite Systems – GNSS). To so vsi satelitski sistemi, ki omogočajo določitev položaja (GNSS Geoservis, 2024). Mednje spadajo:

- GPS pod upravo ameriške vojske,
- GLONASS (rus. Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaj Sistema) pod upravo ruskih vesoljskih sil,
- BeiDou, kitajski sistem, poznan tudi kot Compass v 2. različici, ter
- Galileo, evropski sistem, ki je za razliko od drugih civilni sistem

Po Kritikos (2017) in Kosjek (2020) je precizno kmetijstvo zbiranje, upravljanje in uporaba podatkov, specifičnih za posamezno polje na pravem mestu in ob pravem času. Namenjeno je podpori odločitev o kmetovanju. Prepleta se z drugimi sektorji, številnimi tehnologijami in infrastrukturami, kot so geografski informacijski sistemi (GIS), sistemi globalnega določanja položaja (GPS), mikroelektronika, brezžična senzorska omrežja (WSN) ter tehnologije radiofrekvenčne identifikacije (RFID). Johansen (1996) si PK razlaga kot skrbno prilagajanje upravljanja tal in pridelkov različnim razmeram na posameznem polju. Za Kmetijsko gospodarsko zbornico Slovenije (KGZS, 2019) PK predstavlja celovit pristop k kmetijski dejavnosti, ki se opira na informacije in proizvodnjo. Glavni cilj je izboljšati učinkovitost, produktivnost in donosnost kmetijskega gospodarstva, obenem pa zmanjšati negativne vplive na okolje. PK je strategija upravljanja, ki uporablja informacijske tehnologije za uporabo podatkov iz različnih virov pri odločitvah, povezanih s pridelavo poljščin (National Research Council, 1997).

Po ameriški znanstveni organizaciji, imenovani International Society of Precision Agriculture (ISPA, 2024), odgovorni za začetek preciznega kmetijstva v 90. letih 20. stoletja, je definicija PK naslednja:

*'PK je strategija upravljanja, ki zbira, obdeluje in analizira časovne, prostorske in individualne podatke o rastlinah in živalih ter jih združuje z drugimi informacijami za podporo upravljavskim odločitvam glede na ocenjeno spremenljivost za izboljšanje učinkovitosti uporabe virov, produktivnosti, kakovosti, donosnosti in trajnosti kmetijske proizvodnje.'*

PK je integriran sistem kmetovanja, ki temelji na informacijah in proizvodnji ter je zasnovan za povečanje dolgoročne učinkovitosti, produktivnosti in donosnosti proizvodnje ob hkratnem zmanjšanju vplivov na okolje. To vključuje združevanje kmetijskih znanosti, podatkovnih zbirk o agronomski proizvodnji in tehnologij natančnega kmetijstva za učinkovito upravljanje kmetijskih proizvodnih sistemov, zbiranje informacij o prostorskih in časovnih dejavnikih na kmetiji, povezovanje teh informacij z ustreznimi podatki in tehnologijami ter uporabo teh informacij za prilagajanje uporabe kmetijskih vložkov in upravljavskih praks glede na lokacijo (US House of representatives, 2002).

## 2.2 Praktični problemi, izzivi ter kako jih nasloviti

Eden največjih izzivov pri uvajanju preciznega kmetijstva so visoki začetni stroški. Nakup pametnih strojev zahteva znatne finančne vložke, pri čemer lahko zagotavljanje ustreznih finančnih virov in podpornih ukrepov bistveno vpliva na uspešno implementacijo. V Sloveniji so na voljo različni viri financiranja, predvsem v okviru Skupne kmetijske politike (SKP) 2023–2027. Slovenija ima v obdobju 2023–2027 na voljo približno 1,8 milijarde evrov sredstev iz SKP, od tega je 1,1 milijarde evrov namenjenih razvoju podeželja, kar vključuje tudi podporo za digitalizacijo in precizno kmetijstvo. Strateški načrt SKP vključuje intervencije, ki spodbujajo uvajanje naprednih tehnologij, kot so naložbe v infrastrukturo, ki vključujejo podporo za nakup in implementacijo digitalnih orodij ter opreme za precizno kmetijstvo, financiranje programov za izobraževanje kmetov, tudi o uporabi digitalnih tehnologij, ter spodbujanje projektov, ki razvijajo nove (tudi digitalne) rešitve za kmetijstvo (Skupna kmetijska politika, 2025).

Potrebno je tudi redno vzdrževanje opreme, kar lahko povzroči dodatne stroške in zahteva specializirano tehnično podporo. Razni senzori in avtomatizirani stroji se lahko pokvarijo, njihova popravila pa so pogosto draga in zahtevajo strokovno znanje. Tudi programska oprema potrebuje redne posodobitve, kar lahko povzroči težave pri združljivosti s starejšimi sistemi in opremo, ki jo kmetje že uporabljajo. Integracija novih tehnologij v obstoječe kmetijske procese je lahko dokaj zapletena. Mnoge kmetije že uporabljajo določene stroje, ki niso združljivi z novejšimi rešitvami, zato prehod na nove sisteme lahko pomeni dodatne stroške in potrebo po reorganizaciji celotnega načina dela, kar kmetom povzroča dodatne izzive in skrbi ter jih odvrča od hitrega sprejetja inovacij (Slika 1).

Poleg finančnih in tehničnih izzivov pa je pomemben dejavnik tudi struktura slovenskih kmetij. Po podatkih Statističnega urada RS iz leta 2023 je več kot 46 % kmetijskih gospodarstev obdelovalo manj kot 5 ha kmetijskih zemljišč, medtem ko je le približno 8,5 % kmetij obdelovalo 20 ha ali več (Podatkovna baza SiStat, 2025). Ta razdrobljenost in majhnost parcel pomenita, da se investicije v drago precizno mehanizacijo pogosto ne povrnejo v razumni dobi, saj je obseg

proizvodnje premajhen za doseganje ekonomije obsega. Več o vplivih o velikosti kmetij ter preciznega kmetijstva ne ekonomiko se lahko preberete v poglavju 5 Ekonomski vidiki.

Naslednji izziv je pomanjkanje digitalnih znanj, saj mnogi kmetje niso vešči uporabe zapletene programske opreme, kar otežuje prehod na sodobne tehnološke rešitve, kompleksnost nekaterih sistemov pa lahko dodatno zavira njihovo sprejetje in uporabo. V okviru popisa kmetijstva, ki se izvaja v Sloveniji vsakih deset let, je po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije povprečna starost nosilcev kmetijskih gospodarstev v Sloveniji leta 2020 znašala 57 let (Podatkovna baza SiStat, 2025). Ta visoka povprečna starost nosilcev kmetij lahko predstavlja oviro pri uvajanju digitalnih tehnologij v kmetijstvu, saj starejši kmetje morda niso tako vešči uporabe sodobnih digitalnih orodij in tehnologij. To poudarja pomen izobraževalnih programov in podpore pri digitalizaciji kmetijstva, zlasti za starejše kmete. Pri tem pa ne gre zanemariti dejstva, da se tudi Javna služba kmetijskega svetovanja (JSKS) v Sloveniji pri svetovanju kmetijam na področju preciznega kmetijstva sooča s številnimi izzivi. Eden ključnih je nenehno izobraževanje in usposabljanje svetovalcev, saj kmetijstvo hitro napreduje, kar zahteva stalno pridobivanje novih znanj ter sodelovanje z zunanjimi strokovnjaki.



Slika 1: Izzivi kmeta ob soočanju s tehnologijo (avtor slike: Chat GPT)

### VEDENJSKI DEJAVNIKI IN SPREJEMANJE DIGITALNIH TEHNOLOGIJ MED KMETI

Pomemben izziv, ki ga je potrebno proučiti in preseči je tudi dvom med kmeti, saj se mnogi držijo tradicionalnih metod in ne zaupajo popolnoma tehnologiji. S proučevanjem in analizo vedenjskih dejavnikov, ki vplivajo na sprejemanje digitalnih tehnologij med kmeti se npr. ukvarjajo v EU projektu QuantiFarm (QuantiFarm, 2025). Kot ključne dejavnike raziskava opredeljuje:

- Izobraževanje in digitalna pismenost - pomanjkanje znanja o uporabi digitalnih orodij in tehnologij je ena glavnih ovir pri njihovem uvajanju.
- Dostop do tehnologije - visoki začetni stroški in omejen dostop do sodobne opreme otežujejo sprejemanje digitalnih rešitev, zlasti za manjše kmetije.
- Podpora pri uvajanju - pomanjkanje strokovne podpore in svetovanja pri implementaciji digitalnih tehnologij zmanjšuje njihovo uporabo.
- Kulturni in vedenjski dejavniki - osebne vrednote, motivacija in socialni vplivi igrajo pomembno vlogo pri odločitvi kmetov za uporabo novih tehnologij

*Uvajanje preciznega kmetijstva je kompleksen proces, ki zahteva celovit pristop, prilagojen različnim vrstam kmetij. Uspešna implementacija teh tehnologij ni odvisna le od finančnih spodbud in racionalne rabe mehanizacije, temveč tudi od razpoložljivosti strokovnega znanja ter tehnične podpore.*

Medtem ko večja kmetijska gospodarstva pogosto že razpolagajo z ustreznim znanjem ali zaposlenimi tehnologi, se manjše kmetije soočajo s pomanjkanjem tehničnih kompetenc, kar povečuje potrebo po svetovanju in izobraževanju. Ključno vlogo bi morale imeti svetovalne službe, ki bi kmetom nudile podporo pri upravljanju naprav, interpretaciji podatkov in postopnem uvajanju tehnologij. Pomembna bi bila tudi vzpostavitev mreže regionalnih centrov za prenos znanja, ki bi manjšim kmetijam zagotavljali praktično pomoč. Poleg tega je za enakomeren razvoj nujno zagotoviti boljšo infrastrukturo, predvsem z vidika dostopa do interneta na podeželju. Le s preprostimi, prilagodljivimi rešitvami in usmerjenimi podporami lahko precizno kmetijstvo postane del vsakdana na vseh kmetijah.

## 2.3 Ključne komponente in tehnologije preciznega kmetijstva

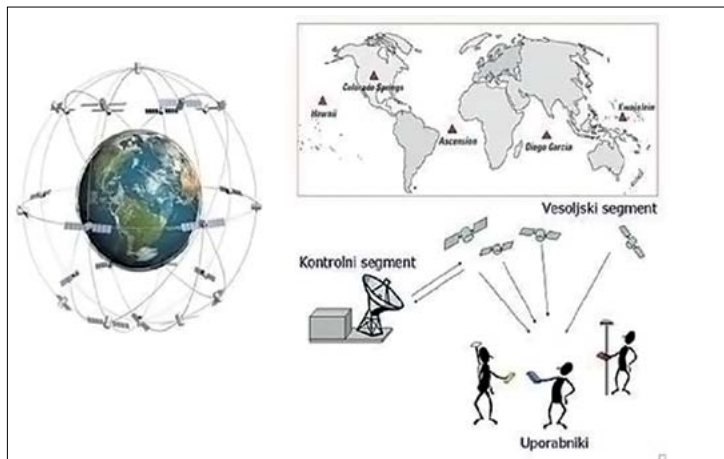
Poglavje podaja pregled sodobnih tehnologij, ki omogočajo natančno upravljanje kmetijskih del. Med ključnimi elementi so globalni satelitski navigacijski sistemi (GPS), ki omogočajo precizno določanje lokacije kmetijske mehanizacije ter s pomočjo korekcijskih metod (RTK, NTRIP) dosegajo visoko natančnost. Droni in satelitsko daljinsko zaznavanje predstavljajo pomembno orodje za spremljanje stanja posevkov, pravočasno zaznavanje bolezni in optimizacijo rabe sredstev. Pomembno vlogo imajo tudi optični senzorji in vegetacijski indeksi (kot NDVI), ki z analizo spektralnih odbojev rastlin pomagajo pri oceni vitalnosti vegetacije. Skupaj te tehnologije tvorijo temelj preciznega kmetijstva, ki omogoča učinkovitejše, okolju prijaznejše in ekonomsko upravičene kmetijske prakse.

### 2.3.1 Globalni sistem pozicioniranja - GPS

Globalni sistem pozicioniranja, znan tudi kot GPS (ang. Global Positioning System), je satelitski navigacijski sistem, ki omogoča določanje natančne lokacije in časa kjerkoli na Zemlji ali v zemeljski orbiti. Polno ime, ki ga uporabljajo oborožene sile ZDA, je NAVSTAR GPS (Navigational Satellite Timing and Ranging - Global Positioning System). Sateliti GPS krožijo okoli Zemlje po srednji krožni orbiti. Sistem GPS je zasnovalo obrambno ministrstvo ZDA, ki ga tudi upravlja. Njegov primarni uporabnik je ameriška vojska, ponuja pa tudi funkcionalnost za civilno rabo, zato ga lahko prosto uporablja vsakdo, ki ima ustrezen sprejemnik.

Sistem GPS je sestavljen iz treh glavnih segmentov (Slika 2):

- Vesoljski segment, katerega glavna komponenta so sateliti, ki krožijo okoli Zemlje na



Slika 2: Sistem GPS

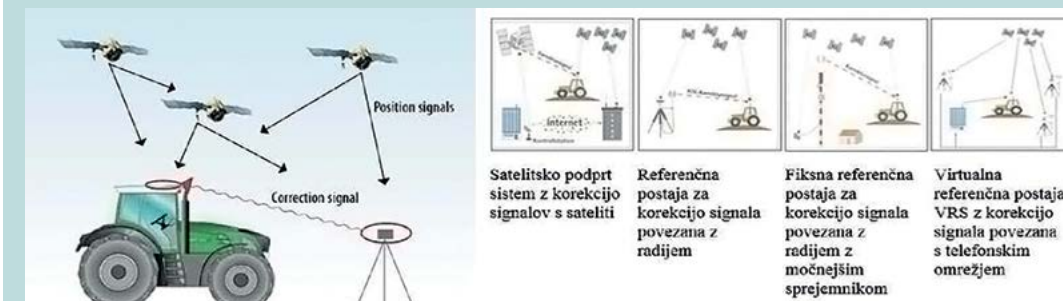
natančno določenih tirnicah (sestavlja ga nekaj več kot 30 satelitov, ki zemljo obkrožijo v 12 urah). Ti sateliti oddajajo radijske signale, ki vsebujejo informacije o njihovi natančni lokaciji in času.

- Kontrolni segment, ki spremlja delovanje satelitov, popravlja tirnice satelitov ter usklajuje atomske ure, ki so na satelitih. Na Zemlji so postavljene nadzorne postaje (5 postaj okrog ekvatorja), ki spremljajo in nadzorujejo delovanje satelitov ter izračunavajo njihove natančne položaje, skrbijo za nadzorovanje poti satelitov, usklajevanje njihovih atomskih ur in nalaganje podatkov, ki jih oddajajo sateliti
- Uporabniški segment predstavljajo sprejemniki GPS signala, ki sprejemajo signale, oddane s strani satelitov, in na podlagi teh signalov določajo svojo lastno lokacijo. Ti sprejemniki so vgrajeni v različne naprave, kot so avtomobilski navigacijski sistemi, pametni telefoni, tablični računalniki, traktorske navigacije in druge naprave. GPS-sprejemniki, ki razberejo časovne podatke iz večjega števila satelitov in nato izračunajo lego sprejemnikov s postopkom trilateracije (Vindis in sod., 2025).

### NAČIN DELOVANJA GPS SISTEMA

Sistem GPS sestavlja najmanj 24 satelitov v šestih tirnih ravninah, ki Zemljo obkrožijo dvakrat dnevno na višini 20.200 km. Vsak satelit ima atomsko uro in neprestano oddaja časovne ter tirne podatke, določene s pomočjo zemeljskih opazovalnic.

Za določitev zemljepisne dolžine, širine, nadmorske višine in točnega časa so potrebni signali štirih satelitov. Razdaljo med sprejemnikom in satelitom izračunamo iz razlike med časom oddaje in sprejema signala. Lokacijo sprejemnika določimo na presečišču sfer, ki jih definirajo položaji satelitov. Trije sateliti zadostujejo, če ima sprejemnik izjemno natančno uro,



Slika 3: Način delovanja GPS vključno s korekcijo signala in različni načini korekcije signala pri vodenju traktorja

sicer pa dodaten, četrti signal omogoča uporabo običajnih kvarčnih ur.

Točnost GPS se lahko izboljša z diferenčnimi metodami, ki vključujejo dodatne vire, kot so geostacionarni sateliti. V Evropi se uporablja sistem EGNOS, v ZDA pa WAAS.

Korekcije signala GPS zmanjšujejo napake, ki nastajajo zaradi atmosferskih motenj, slabe geometrije satelitov in odbojev signala. Referenčna postaja primerja dejanski GNSS-signal z znano lokacijo in izračuna korekcijo, s čimer poveča natančnost pozicioniranja. Točnost je odvisna od uporabljenega korekcijskega sistema.

Npr. pri avtomobilski navigaciji se signal korigira z integriranim zemljevidom. Pri delovanju sistema GPS traktorja pa poznamo dva tipa za korekcijo signala (Slika 3):

- SBAS, ki bazira na satelitih: EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service,

omogoča korekcijo signala do 30 cm natančno in je brezplačen); OmniSTAR (plačljiv servis za korekcijo signala do 5 cm natančno, v kmetijstvu manj uporaben)

- GBAS, ki bazira na korekciji iz tal: RTK (Real-Time Kinematic). RTK uporablja eno ali več fiksnih baznih postaj, ki primerjajo svoj znani položaj z GPS signalom in izračunajo popravke, ki jih pošljejo premični enoti (npr. traktorju).

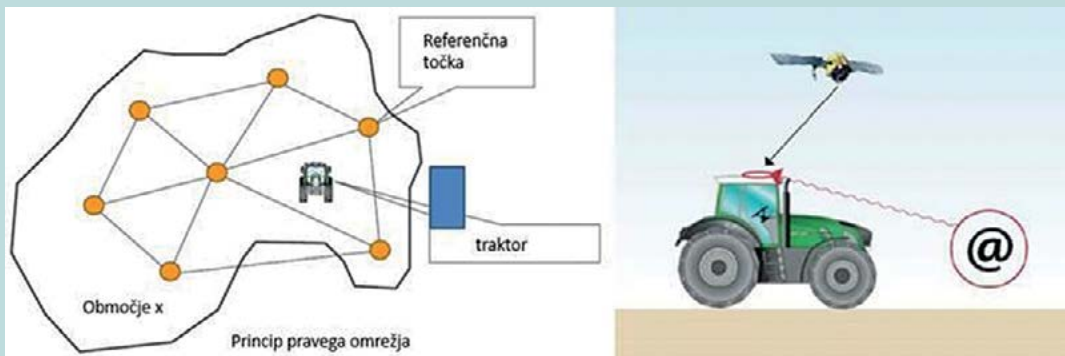


Slika 4: Mobilna referenčna postaja

Najpogosteje se za korekcijo signala na traktorju uporabljajo mobilna RTK-postaja (Slika 4), fiksna RTK-postaja, v zadnjem času pa zaradi enostavne uporabe tudi korekcija s pomočjo mobilnega telefona (NTRIP-omrežje).

Prednosti mobilne referenčne postaje so: točnost  $\pm 2\text{cm}$ , kratki konvergenčni čas, robustni korekcijski signal v gozdnih in severnih področjih, ni plačila za korekcijo signala (kot pri OmniSTAR), ena RTK-postaja lahko podpira več traktorjev.

Prednosti fiksne referenčne postaje so: fiksna točka, nujna podrobna nastavitve frekvenc, pokritost v polmeru 20-30 km, odvisno od terena in zakonodaje na trgu in točnost, odvisna od razdalje med traktorjem in RTK.



Slika 5: Korekcija signala z uporabo virtualnega NTRIP-omrežja

Danes se za korekcijo signala vedno pogosteje uporablja virtualno NTRIP-omrežje (Slika 5). Virtualno NTRIP-omrežje (ang. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) je sistem za prenos in distribucijo diferencialnih korekcij GPS (GNSS) preko interneta. Gre za tehnologijo, ki omogoča uporabo korekcijskih podatkov za izboljšanje natančnosti določanja lokacije s pomočjo satelitske navigacije.

NTRIP-omrežje omogoča prenos korekcijskih podatkov za GPS prek interneta. Korekcijske postaje z natančnimi GNSS-sprejemniki zbirajo podatke o satelitskih signalih in izračunavajo popravke, ki jih v obliki sporočil RTCM posredujejo uporabnikom. Ti jih prek mobilne povezave prejmejo v realnem času in s tem dosežejo visoko natančnost položaja – tudi do  $\pm 1\text{ cm}$ .

Sistem se pogosto uporablja v kmetijstvu in drugih panogah, saj ne zahteva dodatne opreme – zadostuje že pametni telefon z ustreznim sprejemnikom (Vindiš in sod., 2025).

## 2.3.2 Sateliti in brezpilotni letalniki (droni)

Droni oziroma brezpilotna letala se v kmetijstvu uporabljajo tudi za spremljanje razvoja rastlin. Prednost uporabe dronov za daljinsko zaznavanje je v tem, da lahko teoretično letimo kolikor pogosto želimo. Hitri in ažurni podatki, pridobljeni z visoko časovno ločljivostjo, so ključ-



Slika 6: Dron - avtomatsko brezpilotno letalo

Slika 7: Satelitski posnetki z dronom

nega pomena za hitro reagiranje na sušo, bolezni, škodljivce in drugo. Ob napadu bolezni so namreč proizvodne sposobnosti zmanjšane in če želimo selektivno tretirati bolezenska stanja in tako prihraniti na račun delovne sile, škropiv in goriva, moramo pravočasno zaznati razne spremembe na polju, pri čemer nam pomaga uporaba dronov.

Droni so sestavljeni iz lahkih materialov, najpogosteje iz plastične mase in kompozitnih materialov. Lažji kot je letalnik, manj vzgonske sile potrebuje za vzlet in letenje. Sestavni elementi drona so:

- Propelerji (različni materiali in oblika)
- Motorji («Out-runner» je brezkrtačni enosmerni motor, ki se danes najpogosteje uporablja na dronih).
- Elektronski nadzor hitrosti (ESC) (vezje regulira vrtiljaje motorja, enosmerni tok iz baterije pretvarja v trifazni izmenični tok.)
- Baterije (Li-ion, Li-polimer, Li-železov sulfat)
- Regulator letenja (ang. Flight Controller) so možgani multi-kopterja, saj nadzoruje vse elektronske komponente na dronu. Gre za mikro-krmilnik s procesorjem in raznimi drugimi dodatnimi komponentami.

- Sprejemnik omogoča brezžično povezavo med dronom in operaterjem. Sprejemnik prejme vhodne signale večkanalnega daljinca ali pametnega telefona in jih posreduje dronu. Preko daljinca lahko operater vse ukaze vnese in dron ročno pilotira.
- Elektronski stabilizator kamere (ang. Gimball) je opcijska komponenta drona. Praviloma so elektronski stabilizatorji prisotni na vseh dronih od srednjega cenovnega razreda dalje. Funkcija je zmanjšati vibracije s pomočjo treh brezkrtačnih elektromotorjev.
- Najpogostejša oblika kamere je RGB kamera, občutljiva na rdečo, zeleno in modro svetlobo. Posnetki, zajeti s takšno kamero, so dober približek temu, kar vidijo človeške oči. Vegetacija je ponazorjena z zeleno barvo, vodna telesa z modro barvo, itd.

Pravila in zakonodaja o uporabi brezpilotnih letalnikov se precej razlikujejo od države do države. Zakon o letalstvu (Zlet) je glavni pravni akt, ki ureja slovenski zračni prostor in vse uporabnike zračnega prostora. Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov (Uradni list RS, št. 52/2016) velja za najpomembnejši zakonodajni dokument v zvezi z droni.

V prihodnosti bo pomen dronov naraščal, predvsem pri pravočasnem zaznavanju bolezni in škodljivcev na poljščinah ter za namene gnojenja in raznosu različnih vab. Njihova vloga bo tudi v nanosu FFS, posebej na strmih in nedostopnih terenih. Prihranki pri uporabi dronov so večji od stroškov uporabe in analize podatkov. Na parceli, veliki 40 hektarjev, lahko prihranki znašajo tudi eno tono mineralnega gnojila.

### 2.3.3 Optični senzorji in vegetacijski indeksi

Multispektralni optični senzorji sprejemajo različne valovne dolžine svetlobnega valovanja. To je svetlobo, ki je vidna človeškim očem (od 400 do 700 nanometrov) in svetlobo, ki je nad 700 nanometrov valovne dolžine (infrardeči spekter valovanja - NIR). Senzorji zajemajo svetlobo v 3 do 15 svetlobnih pasovih. Zberemo večje količine podatkov kot z RGB kamero. Podatki služijo za izračun različnih rastlinskih indeksov, kot je npr. NDVI indeks.

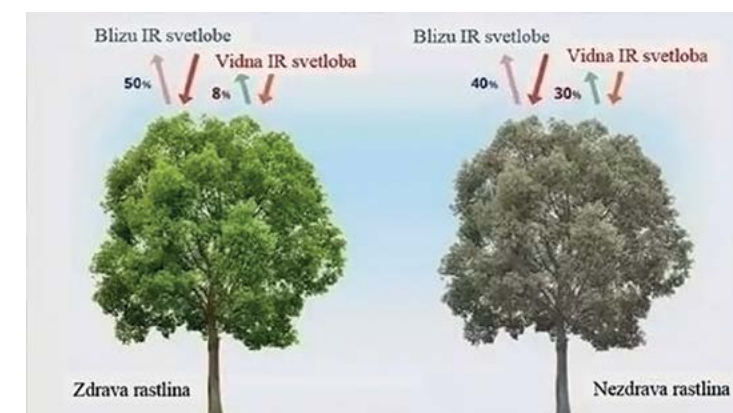
NDVI je najpogostejše uporabljena metoda daljinskega zaznavanja. Temelji na uporabi multispektralne kamere, ki zazna rdeči del (620-750 nm) in bližnji infrardeči del (750-1400nm) elektromagnetnega valovanja. Rastline za rast in razvoj potrebujejo svetlobo valovne dolžine od 400 nm do 700 nm. Svetlobo v rdečem delu elektromagnetnega valovanja (NIR) se absorbira v liste rastlin, svetlobo nad 700 nm v bližnjem infrardečem polju pa se odbije iz lista). Vegetacijski pokrov sestavljajo rastline, ki rastejo na določenem območju ali po celotni Zemlji. Ta pokrov ima značilen spektralni podpis, kar pomeni, da na specifičen način odbija sončno svetlobo, zlasti v vidnem in bližnjem infrardečem (IR) delu spektra (slika 8). V vidnem delu spektra rastline absorbirajo veliko sevanja zaradi prisotnosti fotosintetskih pigmentov, predvsem klorofila, ki najbolj absorbira valovanje v rdečem in modrem delu spektra. V bližnjem infrardečem delu pa zdravi listi močno odbijajo svetlobo zaradi svoje notranje zgradbe. S spremljanjem odboja v IR-delu spektra lahko natančno določimo fiziološko stanje, gostoto ali poškodovanost vegetacije. V IR-spektru so tudi absorpcijski pasovi zaradi vode v listih, ki močno absorbirajo valovne dolžine 1,4  $\mu\text{m}$ , 1,9  $\mu\text{m}$  in 2,5  $\mu\text{m}$ .

Z uporabo različnih vegetacijskih indeksov lahko spremljamo stanje različnih kmetijskih kultur v obdobju rasti. Indeksa NDVI in GNDVI ponujata največ informacij glede listne mase, ugotavljanja zdravstvenega stanja rastlin in absorpcije svetlobe. Indeks GNDVI je občutljivejši na vsebnost

koncentracije klorofila in je primernejši za spremljanje stresa rastlin pri določenih pogojih. Vrednosti indeksa NDRE so bolj natančnejše v poznejših fazah pšenice, saj pas rdečega roba zagotavlja meritev, ki ni tako močno absorbirana samo z zgornjimi plastmi listov. MCARI pa se uporablja za natančnejšo meritev klorofila.

NDVI ali indeks normalizirane razlike vegetacije je ključ-

ni kazalnik za merjenje in spremljanje zelenja vegetacijskega pokrova. Gre za enostaven, a učinkovit način ocenjevanja zdravja in gostote vegetacije z uporabo satelitskih posnetkov ali posnetkov narejenih z dronom. NDVI je osnovan na spektralnem odboju svetlobe, ki jo rastline oddajajo. Rastline absorbirajo večino vidne svetlobe za fotosintezo, medtem ko močno odbijajo svetlobo v bližnjem infrardečem (NIR) delu spektra zaradi svoje celične strukture. NDVI izkorišča to lastnost s primerjavo razlike v odboju med NIR in rdečim delom spektra. Vrednosti NDVI se gibljejo od -1 do +1. Višje vrednosti NDVI, bližje +1, nakazujejo gosto in zdravo vegetacijo, saj pomeni visok odboj v NIR in nizek odboj v rdečem spektru. Nižje vrednosti, bližje 0 ali negativne, kažejo na redko vegetacijo, puščavo, vodo ali oblačnost, kjer je odboj v obeh spektrih skoraj enak.



Slika 8: Razlike v sprejemanju svetlobe med zdravo in nezdravo rastlino

## 2.4 Trendi v preciznem kmetijstvu in digitalizaciji

Trendi v preciznem kmetijstvu in digitalizaciji se vse bolj usmerjajo k integraciji naprednih tehnologij, ki omogočajo bolj trajnostno, produktivno in okolju prijazno kmetovanje. Z uporabo satelitskega spremljanja kmetijske pridelave, senzorjev nameščenih v tleh in rastlinah, brezpilotnih letal (dronov) ter interneta stvari (IoT) lahko kmetje danes zbirajo natančne podatke o stanju pridelkov, vlažnosti tal, prisotnosti škodljivcev in drugih ključnih dejavnikov v realnem času. Ti podatki se analizirajo s pomočjo umetne inteligence in algoritmov strojnega učenja, kar omogoča sprejemanje bolj informiranih odločitev o tem, kdaj in koliko zalivati, gnojiti ali uporabiti zaščitna sredstva. Zraven tega se razvijajo digitalne platforme za celostno upravljanje kmetij, ki povezujejo različne vire podatkov v enoten sistem, dostopen tudi prek mobilnih naprav. Vse večji poudarek je tudi na povezovanju preciznega kmetijstva z drugimi trajnostnimi praksami, kot so regenerativno kmetijstvo, zmanjševanje emisij toplogrednih plinov in varovanje biotske raznovrstnosti.

Digitalizacija tako ne prispeva le k povečanju produktivnosti, temveč tudi k ohranjanju naravnih virov, kar postaja ključno v času podnebnih sprememb in rastočega pritiska na prehranski sistem.

## 3. Precizno gnojenje v kmetijstvu

### 3.1 Variabilna aplikacija gnojil

Prostorsko variabilna aplikacija (ang. Variable Rate Application – VRA) gnojil je tehnologija v okviru preciznega kmetijstva, ki omogoča diferencirano doziranje gnojil na podlagi prostorskih variacij znotraj obdelovalnih površin. Temelji na georeferenciranih podatkih, pridobljenih iz analiz tal, multispektralnih satelitskih ali dronskih posnetkov, podatkov o pridelku (yield maps) ter senzorjev na kmetijski mehanizaciji. S pomočjo digitalnih aplikacijskih kart in ustrezno opremljene mehanizacije (npr. gnojilnikov s podporo za VRA) se omogoča natančno, conirano odmerjanje hranilnih snovi v realnem času ali na podlagi predhodno pripravljenih načrtov. VRA gnojenje prispeva k optimizaciji vnosa hranil, zmanjšanju stroškov gnojenja, večji agronomski učinkovitosti in zmanjšanju negativnih vplivov na okolje.

Postopek izvedbe preciznega VRA gnojenja običajno vključuje naslednje korake:

- Skeniranje tal: z uporabo elektromagnetnega senzorja ali gama sevanja določimo območja z različnimi fizikalno-kemijskimi lastnostmi tal.
- Načrt vzorčenja in odvzem talnih vzorcev: izdelamo karto vzorčenja in na vsakem območju odvezamo reprezentativne vzorce za laboratorijsko analizo.
- Analiza vzorcev tal: določimo založenost tal s hranili, pH, teksturo in druge parametre.
- Uporaba dodatnih podatkov za dognojevanje: uporabimo hitre nitratne teste in satelitske slike (NDVI) za spremljanje potreb rastlin po dušiku.
- Izdelava gnojilnih načrtov in aplikacijskih kart: na podlagi vseh zbranih podatkov pripravimo aplikacijske karte z natančnimi odmerki gnojil po območjih.
- Izvedba gnojenja z VRA tehnologijo: z uporabo pametnih sejalnic ali trosilnikov, opremljenih z GPS in računalniškim sistemom, izvedemo precizno razporeditev gnojil.

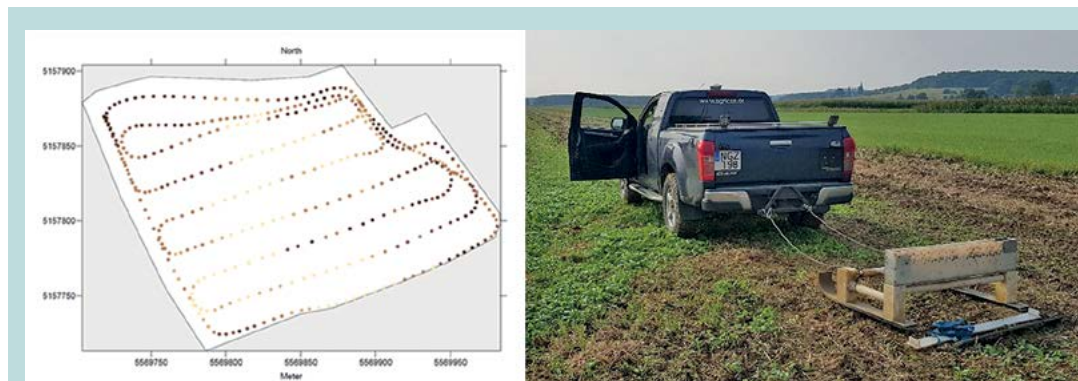
### 3.2 Skeniranje tal kot osnova za natančno vzorčenje

#### 3.2.1 Skeniranje tal na osnovi elektromagnetnega valovanja

Skeniranje tal lahko poteka z georadarjem oziroma skenerjem (Slika 9), ki deluje na principu elektromagnetnega valovanja (Yegül in sod. 2011, Jurišić in sod. 2016). Končni rezultat je določitev elektro-prevodnosti tal (EC electrical conductivity). Elektro prevodnost (mS/m) izraža vsebnost oz. koncentracijo topnih soli v tleh. Večja kot je elektro prevodnost, višja je koncentracija soli in višji je potencial za proizvodnjo. Pri opisanem postopku se tvori baza podatkov, ki vključuje vrednosti elektro prevodnosti v povezavi s koordinatami celotne skenirane površine (Slika 10).

#### SKENIRANJE TAL NA OSNOVI ELEKTROMAGNETNEGA VALOVANJA

Dobljeni metapodatki se uvozijo in obdelajo s pomočjo ustrezne programske opreme. Večinoma gre za prosto dostopne in odprtokodne večplatformne namizne geografske informacijske sisteme, ki podpirajo ogled, urejanje in analizo prostorskih podatkov in omogočajo uvoz



Slika 9: Karta pregledane površine in terensko vozilo, opremljeno z georadarjem



Slika 10: Karta elektroprevodnosti tal in lokacije odvzema talnih vzorcev

že pridobljenih podatkov. Na osnovi podatkov računalniški program s pomočjo algoritma izriše območja s podobnimi oziroma različnimi elektro-prevodnostmi. Podobna območja so razporejena v isti razred in so enako obarvana ter predstavljajo dejanske predele njive s podobnimi talnimi lastnostmi (Slika 9, levo).

Ko pridobimo karto elektro prevodnosti, sprožimo izdelavo karte vzorčenja. V osnovi gre za karto, kjer so izrisane poti znotraj posameznega območja s podobnimi lastnostmi, na katerih priporočljivo odvzeti podvzorce (Slika 10). Mesta za odvzem podvzorcev so razporejena naključno vendar enakomerno in čez celotno površino nekega območja. Po izrisu karte vzorčenja območij s podobnimi lastnostmi sledi vzorčenje tal ločeno po posameznih območjih. Število odvzetih vzorcev je odvisno od velikosti njive in heterogenosti območij, območja so velika od 1 do 3 ha, kar je tudi v skladu z navedbami Kmetijskega inštituta Slovenije, da velikost območja, ki ga predstavlja en talni vzorec, naj ne bi presegala 5 ha (KIS 2022). Podporni programi omogočajo tudi vpogled v lastnosti tal in načrt vzorčenja za vse izbrane površine nekega kmetijskega gospodarstva (Slika 11).



Slika 11: Zemljevid lastnosti tal več njivskih površin in načrt vzorčenja

### 3.2.2 Skeniranje tal na osnovi gama sevanja

V zadnjem obdobju se je v Sloveniji pojavil nov princip analiziranja in pridobivanja podatkov s kmetijskih površin, ki temelji na tehnologiji raziskovanja mineralov v rudarstvu - InterraScan. Gre za senzorsko tehnologijo, ki temelji na merjenju oz. zaznavanju naravnega gama sevanja s pomočjo senzorja, ki vsebuje kristale natrijevega jodida. Podobno kot pri določanju elektroprevodnosti tal tudi tukaj njivo (površino) prevozimo s terenskim vozilom, na katerega je nameščena merilna naprava (senzor). Ta na osnovi merjenja naravnega gama sevanja (iz)meri oz. ugotovi vsebnost razpoložljivih hranil v tleh, prav tako pa prepozna spremembe v strukturi tal znotraj njive. Vsebnost posameznih elementov v tleh je po skeniranju tal na voljo v obliki baze številčnih podatkov, ki jo je potrebno obdelati in pretvoriti s pomočjo algoritmov in programske opreme storitve InterraScan (Syngenta Slovenija). Sistem ima zmožnost pridobitve več kot 800 podatkovnih točk na hektar. Glede na lastnosti tal in razlike oz. podobnosti sistem tudi predlaga mesta za odvzem talnih vzorcev, ki služijo za kasnejšo kalibracijo sistema. Po podatkih ponudnikov (Syngenta Slovenija) je celoten postopek hiter in neobčutljiv na vremenske razmere ter natančnejši v primerjavi s skeniranjem z elektromagnetnim valovanjem, vendar pa cenovno nekoliko dražji in namenjen bolj profesionalnim uporabnikom.

## 3.3 Načrtovanje in odvzem talnih vzorcev

### 3.3.1 Pomen pravilne izbire mest za vzorčenje

Začetno opravilo, na katerem temelji precizna pridelava poljščin, je odvzem talnih vzorcev. Ti se na večini kmetijah pogosto še vedno odvijajo na predelih njive, ki jih določi in izbere lastnik na osnovi svoje subjektivno-objektivne ocene. Pravzaprav pa je določitev območij za odvzem talnih vzorcev proces, ki mu je potrebno posvetiti veliko več pozornosti. Posamezna območja ene njive se lahko namreč med seboj zelo razlikujejo v lastnostih (založenosti, pH-ju, strukturi itd.), predvsem v primerih, ko gre za večje parcele. Če vzorce tal odvajamo na mestih, ki smo jih sami izbrali na podlagi vizualne ocene, pri tem pogosto spregledamo pomembne razlike ali podobnosti med tlemi, saj te na pogled večinoma niso vidne. Zaradi subjektivne izbire mest za vzorčenje vzorci pogosto ne zajamejo območij z dejanskimi razlikami ali podobnostmi v lastnostih tal, zato niso reprezentativni. Rezultati ne odražajo dejanskega stanja, temveč prikazujejo povprečno ali celo naključno založenost tal. Na tej osnovi se gnojenje pogosto izvaja enakomerno po celotni obdelovalni površini, kar vodi v prekomerno gnojenje nekaterih delov njive in premajhno gnojenje drugih. Posledice so prekomerna ali nezadostna poraba gnojil, neenakomeren razvoj posevka, izpiranje hranil ter neenakomerno dozorevanje. Za realnejšo oceno založenosti tal je priporočljivo uporabiti sodobne metode vzorčenja, ki so hitrejše, natančnejše in bolj funkcionalne od tradicionalnih pristopov. Mednje sodijo vzorčenje na osnovi podlag, ki temeljijo na elektromagnetnem skeniranju tal (Operating Instructions, Geonics, 2008), ter vzorčenje na osnovi gama sevanja.

### 3.3.2 Uporaba tehnologije in opreme za odvzem vzorcev

Po skeniranju in ko je na voljo karta vzorčenja, lahko točke/mesta na posameznih območjih za odvzem reprezentativnih talnih vzorcev poiščemo s pomočjo namenskih programov/platform oz. aplikacij, v katero lahko uvozimo GERK-e. Npr. ena izmed znanih aplikacij odvzemna mesta na nekem GERK-u tudi natančno pozicionira oz. določi njihove koordinate in omogoča



Slika 12: Uporaba aplikacije za najdbo točke za odvzem talnega vzorca in avtomatski vzorčevalnik

tudi možnost kasnejše izdelave aplikacijske karte za npr. dognojevanje. Za najdbo lokacije odvzema vzorca potrebujemo pametni telefon z možnostjo vklopa lokacije in koordinate odvzemnega mesta oz. podporno aplikacijo (npr. GeoPard), ki ta mesta prikazuje. Sledi premik po GERK-u (peš ali s terenskim vozilom) in najdba mesta, kjer naša lokacija in predvidena točka za odvzem vzorca sovpadata (Slika 12, levo). Talni vzorec lahko odvajamo tudi z različnimi avtomatskimi vzorčevalniki tal, ki so nameščeni na terensko vozilo, podprto z GPS lociranjem (Slika 12, desno). Obe tehnologiji omogočata evidentiranje in geografsko registracijo vzorcev v seznam, ki se lahko uporabi za izdelavo zemljevida založenosti in aplikacijske karte za gnojenje.

## 3.4 Ugotavljanje potreb po dušiku z uporabo hitrih testov in NDVI

Za določanje potreb rastlin po dušiku in izvedbo preciznega ciljnega dognojevanja je zraven prej opisanih metod potrebno uporabiti še dodatne metode, ki vključujejo komercialno dostopne teste (hitri talni nitratni test in hitri rastlinski nitratni test in satelitske slike (Slika 13).

Pred prvim dognojevanjem običajno odvajamo vzorce zemlje in opravimo hitri talni nitratni test. Priporočljivo je, da mesta odvzema sovpadajo z mesti, kjer so bili odvzeti že talni vzorci pred osnovnim gnojenjem. Vsebnost nitratov se nato izmeri po standardnem protokolu, rezultati pa poleg vsebnosti dušika, izraženega v mg NO<sub>3</sub> na liter raztopine (priložena barvna lestvica) vključujejo tudi priporočilo za dognojevanje dušika v kilogramih na hektar.

Za določitev količine dušika, ki je potreben za drugo in tretje dognojevanje žit, izvedemo hitri rastlinski nitratni test, za katerega uporabimo 0,5 cm dolge odrezke rastlin (odvzete tik nad razrastiščem). Odvzet rastlinski material stisnemo v stiskalnici, »srednje« kapljice kanemo na testni listič in v skladu z navodili odčitamo vsebnost dušika iz priložene barvne lestvice (mg NO<sub>3</sub> na liter rastlinskega soka) oz. upoštevamo priporočilo za dognojevanje z dušikom, izraženo v kg

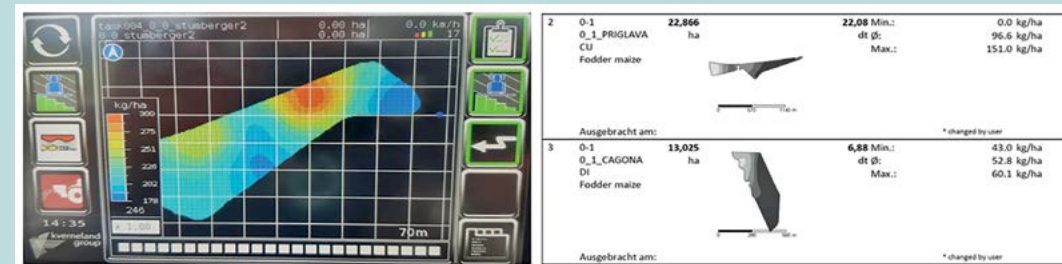
dušika na hektar. Pri vsem tem pa je pomembno, da vzorec za hitri rastlinski nitrati test odvezamo na območju s povprečno razvitim posevkom, ki ga lahko enostavno določimo s pomočjo prosto dostopnih satelitskih posnetkov, izraženih v NDVI indeksu posevka (NDVI oziroma normalized difference vegetation index – normaliziran vegetacijski indeks) (Slika 13). NDVI indeks omogoča vpogled v razvitost in gostoto vegetacije. Do NDVI indeksa za neko površino lahko dostopamo brezplačno preko spleta z uporabo satelitskih slik satelita Sentinel. Satelit kroži okrog Zemlje vsaki tretji dan, zato so večinoma na voljo aktualne slike, razen v primeru večdnevnega zaporednega oblačnega ali meglenega vremena. Z vsako površino oz. GERK lahko tako pridobimo skoraj kadarkoli karto/zemljevid, ki prikazuje aktualno razvitost in gostoto rastlin. NDVI indeks odraža količino klorofila v rastlini in temelji na razmerju med odbito bližnje infrardečo in rdečo svetlobo. Vegetacija namreč zaradi vsebnosti klorofila zelo dobro absorbira rdečo svetlobo, zaradi celične strukture rastline pa intenzivno odbija infrardečo svetlobo. Njegove vrednosti so v rangi med -1 in 1, pri čemer vrednosti do 0,2 običajno nakazujejo površino brez rastlinskega pokrova, od 0,2 do 0,3 pomeni vznik oziroma šibko razrast, od 0,6 do 0,8 pa bujno vegetacijo.



Slika 13: Satelitska slika z NDVI indeksi izbranih površin

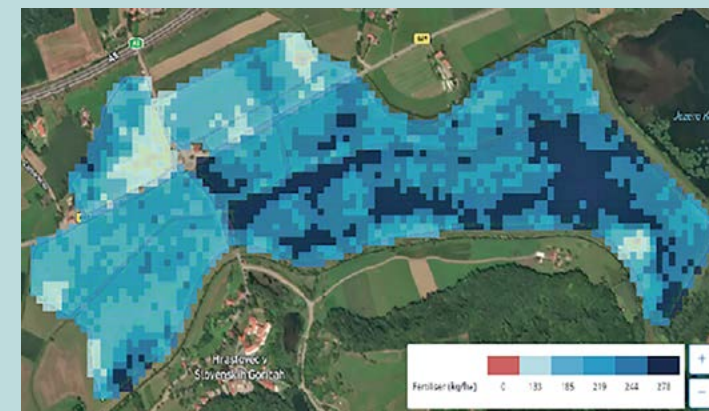
### 3.5 Laboratorijska analiza tal in priprava aplikacijskih kart in gnojilnih načrtov

Po analizi talnih vzorcev se za osnovno gnojenje pripravita karta založenosti in aplikacijska karta z določili o odmerkih hranil po posameznih območjih (Slika 14), medtem ko se pri dognojevanju upoštevajo rezultati hitrih nitrati testov, NDVI indeks ter priporočila, na podlagi katerih se oblikuje aplikacijska karta za dognojevanje (Slika 15). Podatke o založenosti tal ali razvitosti vegetacije prenesemo v ustrezno programsko orodje, ki omogoča obdelavo podatkov in izdelavo variabilnih kart z razdelitvijo površine na pet razredov glede na založenost tal ali vegetacijski indeks. Po vnosu rezultatov analiz program samodejno razdeli območja glede na posamezna hranila (npr. fosfor, kalij, magnezij) v razrede A (slabo založena tla), B (srednje založena), C (dobro založena), D (čezmerno založena) in E (prekomerno založena). Program nato izračuna potrebne količine gnojil in izdela aplikacijske karte s priporočili za gnojenje. Gnojenje se izvaja v skladu z razredi: ekstremno založenih tal (razred E) ne gnojimo do naslednje analize, čezmerno založena tla (D) gnojimo s polovico priporočenega odmerka, dobro založena tla (C) z običajnim priporočenim odmerkom, srednje založena tla (B) z 20–30 kg višjim odmerkom, siromašna tla (A) pa z 30–60 kg povečanim odmerkom, odvisno od hranila. Izpis iz programa vključuje prikaz parcele z označenimi območji z različnimi odmerki ter prikaz minimalnega, povprečnega in maksimalnega odmerka gnojila za obravnavano površino.



Slika 14: Aplikacijska karta za precizno osnovno gnojenje

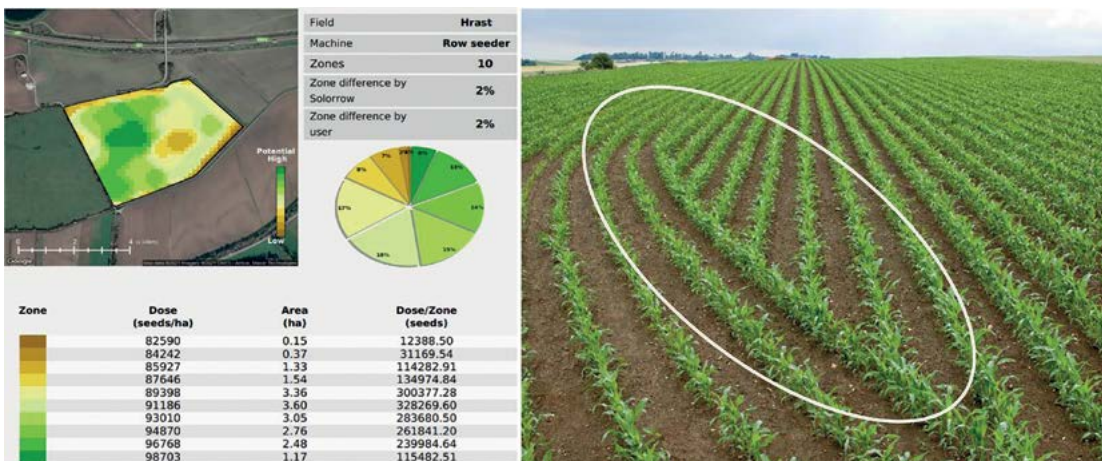
Po prenosu NDVI karte v aplikacijo ta samodejno razdeli njivo na pet območij glede na razvitost rastlin (slika 15). Odmerki dušika za dognojevanje se določijo glede na povprečen odmerek (razred 3), pridobljen z analizo hitrega nitrati testu, pri čemer se odmerek za ostale razrede prilagodi za  $\pm 10\%$  oziroma  $\pm 20\%$ . Pri prvem dognojevanju uporabljamo model izenačevanja pridelka, kjer manj razvite rastline dobijo več dušika, bolj razvite pa manj. V zaključni fazi (2. in 3. dognojevanje) pa velja obraten pristop – več dušika prejmejo bolj razviti deli posevka, da se spodbuja tvorba beljakovin, medtem ko manj razvite dele gnojimo manj, saj povečanje pridelka tam ni realno. Karte se izdelajo s programsko opremo za precizno kmetijstvo, ki omogoča obdelavo geo-prostorskih podatkov, uvoz območij z enakimi lastnostmi in izris aplikacijskih kart.



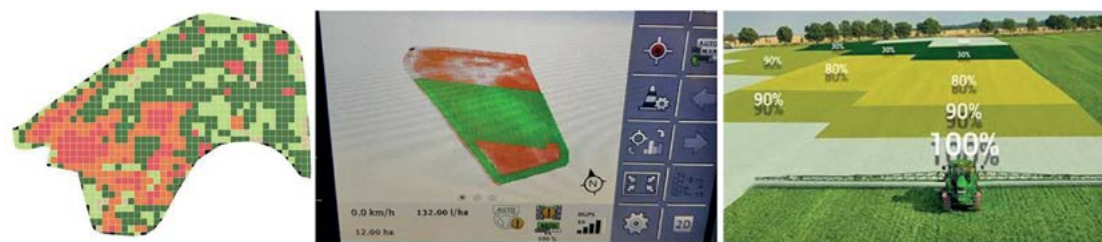
Slika 15: Aplikacijska karta za precizno dognojevanje

### 3.6 Izvedba preciznega agrotehničnega ukrepa

Vsa prej omenjena orodja in postopki so osnova za izvedbo predvsem preciznega ciljnega gnojenja ali dognojevanja, čeprav lahko karta potenciala neke površine zelo dobro služi tudi za izvedbo precizne setve (Slika 16), karta NDVI indeksa pa za izvedbo preciznega ciljnega škropljenja (Slika 17). Slednje je sicer odvisno tudi od razvitosti bolezni oz. prisotnosti števila škodljivcev. Za izvedbo vseh omenjenih agrotehničnih ukrepov pa velja, da gre za zaključno fazo izvedbe ukrepa. Po pregledu lastnosti tal ali razvitosti vegetacije in pripravi aplikacijskih kart v podpornih aplikacijah je potrebno le še karte pretvoriti v obliko zapisa, ki jo podpira posamezen traktorski terminal oz. jo lahko izvede posamezen (pameten) priključek ter fizično izvesti agrotehnično opravilo. Za samo izvedbo je torej potrebna še ustrezna kmetijska mehanizacija (traktor z npr. TRIMBLE terminalom, ki služi za navigacijo in krmljenje priključkov) ter operater (traktorist). Za začetek opravila je potrebno površino najprej obrobati (prepeljati se po robovih njive), da traktor in priključek pravilno lociramo. Sledi urejena vožnja po notranjosti parcele in izvedba opravila v



Slika 16: Precizna setev (variabilno glede na potencial površine)



Slika 17: Precizno (variabilno) apliciranje FFS

skladu z aplikacijsko karto. Trosilec za mineralna gnojila torej glede na aplikacijsko karto raztrosi določeno količino mineralnega gnojila na določenem predelu njive, pri čemer pri opravi delno zapira ali zapira lopute za doziranje.



Slika 18: Primer preciznega dognojevanja žit v praksi

odražalo v neenakomerni rasti posevkov. Na podlagi tega menimo, da bi bilo smiselno poskus ponoviti na bolj homogeni površini z ustreznimi fizikalno-kemijskimi lastnostmi tal. Na drugi kmetiji so bili rezultati ugodnejši za variabilni pristop. Pridelek pri variabilnem dognojevanju je znašal 7.592 kg/ha, pri fiksnem pa 7.234 kg/ha. Razlika je predstavljala povečanje pridelka za 358 kg/ha oziroma 4,96 %. Prav tako je bila višja tudi vsebnost beljakovin (14,1 % proti 13,7 %) ter hektolitrska masa (79,4 proti 78,6).

Izsledki poskusov kažejo, da lahko variabilno dognojevanje v določenih razmerah prispeva k boljšemu izkoristku dušika, višjemu pridelku in večji kakovosti pridelka. Vendar pa je za učinkovito upoštevanje preciznih praks ključno razumevanje talnih značilnosti in prilagoditev tehnologije dejanskim razmeram na kmetijskih površinah.

## ŠTUDIJA PRIMERA: PRECIZNO DOGNOJEVANJE ŽIT - PRIMERJAVA FIKSNEGA IN VARIABILNEGA ODMERKA

V letu 2024 smo v EIP projektu izvedli poskus primerjave dveh pristopov dognojevanja z dušikom na ozimni pšenici na dveh kmetijah. Primerjali smo fiksni odmerek dušika po celotni površini z variabilnim odmerkom, pri čemer je bil povprečni odmerek dušika v obeh primerih enak. Gnojilo KAN 27 % smo aplicirali v treh do štirih odmerkih, odvisno od lokacije in uporabljenih tehnologij. Priprava kart za dognojevanje je potekala s pomočjo programa GeoPard, kjer smo na osnovi satelitskih posnetkov oblikovali cone za vzorčenje. V teh conah smo z uporabo mobilne aplikacije GeoPard odvzeli vzorce tal ali rastlin za nitratski test (odvisno od faze rasti) in določili odmerke gnojil po conah.

Na prvi kmetiji je bil povprečni pridelek pri fiksnem odmerku 6,749 t/ha, pri variabilnem pa 6,716 t/ha. Razlika med obema pristopoma je bila zanemarljiva (33 kg/ha v korist fiksnega dognojevanja), kar pripisujemo heterogenosti tal, posledici komasacije izvedene v prejšnjem letu. Ugotavljamo, da ključni omejitveni dejavnik pri pridelku ni bil dušik, temveč nizek pH tal, osnovna založenost s fosforjem in kalijem ter visoka zbitost tal, kar se je med vegetacijo

## 4. Okoljski in trajnostni vidiki preciznega kmetijstva na pridelavo poljščin in zelenjave

Razširjena uporaba tehnologije PK omogoča boljše izkoriščenje potenciala tal in večjo natančnost izvajanja agrotehničnih ukrepov. Posledično lahko pride do izboljšanja produktivnosti z manj porabljenimi sredstvi. Študije Association of Equipment Manufacturers (AEM) ali Združenja proizvajalcev opreme v sodelovanju z drugimi združenji kažejo, da orodja za PK prinašajo ekonomske koristi in hkrati povečujejo trajnost z učinkovitejšo rabo zemlje, vode, goriva, gnojil in pesticidov. Podatki ameriške študije kažejo, da je tehnologija PK v ZDA in Kanadi že povečala produktivnost za približno 4 %. Raziskovalci ocenjujejo, da bi se s širšo uporabo te tehnologije lahko pridelki dodatno povečali za 6 %. Tudi uporaba gnojil se je izboljšala za 7 %, s potencialom za dodatnih 14 %. Prav tako je tehnologija prispevala k zmanjšanju porabe herbicidov za približno 30 milijonov kilogramov na leto v ZDA s potencialom za še večje zmanjšanje. Dodatne koristi preciznega kmetijstva so opazne tudi v Kanadi, kjer bi se lahko učinkovitost uporabe gnojil in herbicidov izboljšala za 16 %, poraba fosilnih goriv pa zmanjšala za 11 % in poraba vode za 18 % na leto. Skratka, tehnologija PK kaže velik potencial za izboljšanje produktivnosti in trajnosti kmetijskih praks (Paukner, 2021).

Po podatkih raziskave ARMS (ang. Agricultural Resource Management Survey) za koruzo, ki jo je leta 2010 izvedlo ameriško ministrstvo za kmetijstvo (USDA), je le 12 % najmanjših kmetij (manj kot 600 hektarjev) poročalo o uporabi vsaj ene tehnologije za precizno kmetijstvo. Večje kmetije (več kot 3800 hektarjev) so poročale o 80-, 84- in 40-odstotnih stopnjah uporabe tehnologije GPS za kartiranje tal/plodov, usmerjevalnih sistemov in tehnologije spremenljivega odmerka. Nedavne raziskave kažejo, da ima uporaba preciznega kmetijstva majhen (2 %) pozitiven vpliv na neto donose in dobiček iz poslovanja (Schimmelpfennig in Ebel, 2016; Thompson, 2019).

PK omogoča prilagajanje količine uporabljenih gnojil in pesticidov, da se bolje ujemajo s prostorskimi vzorci rodovitnosti tal in sposobnosti tal za adsorpcijo pesticidov. PK z uporabo tehnologije samodejnega vodenja strojev zmanjšuje prekomerno porabo kemičnih sredstev, do katere sicer prihaja tudi zaradi prekrivanja med zaporednimi prehodi strojev pri nanosu. Vsi ti dejavniki lahko bistveno prispevajo k izboljšanju kakovosti okolja in trajnosti (Larson in sod., 1997; Mulla in Khosla, 2016). Tehnologije PK, kot so samodejno vodenje, tudi samodejno krmiljenje, ter analitika strojev, lahko pripomorejo k manjšemu prekrivanju in boljšemu nadzoru med obdelavo tal, sajenjem, škropljenjem in žetvijo. S tem se zmanjša poraba časa, dela, goriva in materialov. Natančno namakanje omogoča uporabo različnih količin vode na različnih območjih. Z uporabo prave količine vode po potrebi se zmanjša poraba vode, ne da bi to negativno vplivalo na učinkovitost pridelka (Association of Equipment Manufacturers, 2024).

PK ima velik potencial, da prispeva k trajnostnemu razvoju. Deluje kot sistem upravljanja kmetijstva, ki omogoča celovit pristop k upravljanju prostorske in časovne spremenljivosti pridelkov in tal na polju, s ciljem izboljšanja uspešnosti in trajnosti kmetije (Finco, 2023). Okoljske koristi PK izhajajo predvsem iz optimizacije rabe vhodnih sredstev v pridelavo, kot so semena, gnojila (zlasti učinkovita uporaba dušika), pesticidi, voda za namakanje in dizelsko gorivo. Pomembno je opozoriti, da nekatere študije poročajo, da se količina vložkov ne zmanjša, temveč se njihova uporaba optimizira (Balafoutis in sod., 2017; Gebbers in Adamchuk, 2010; Finco in sod., 2023). S

kmetijsko-okoljskega vidika je upravljanje gnojenja eden najpomembnejših ciljev PK. Zlasti dušik ob neučinkoviti uporabi gnojil v sistemih pridelave poljščin lahko najprej v obliki emisij amonijaka izhlapi v zrak (ter prispeva k emisijam toplogrednih plinov) ali pa izpere z njiv v obliki nitratov in onesnaži površinske in podzemne vire (Basso in sod., 2016; Finco in sod., 2023). V mnogih primerih agronomskih, gospodarskih in okoljskih koristi dejansko ni mogoče določiti, saj so odvisne od več drugih dejavnikov, kot so velikost kmetije (večje kmetije imajo običajno več sredstev za naložbe v nove tehnologije) ali bolj dinamične spremenljivke, kot so podnebje ali stanje tal (Koutsos in Menexes, 2019).

### ŠTUDIJA OKOLJSKEGA ODTISA PRIDELAVE PŠENICE IN KORUZE Z UPORABO SPLETNEGA ORODJA COOL FARM TOOL - PRIMERJAVA DVEH KMETIJ

Za oceno učinkov preciznega kmetovanja na okoljski odtis pridelave smo analizirali dva primera tehnološko naprednih slovenskih kmetij. Obe uporabljata sodobno mehanizacijo in digitalna orodja, a se razlikujeta predvsem v načinu obdelave tal. V nadaljevanju so predstavljene metodologije zbiranja podatkov, uporaba orodja Cool Farm Tool za oceno emisij toplogrednih plinov ter rezultati primerjalne študije okoljskega odtisa pridelave pšenice in koruze na teh dveh kmetijah.

#### METODOLOGIJA

Kmetija A (Pomurje): V času izvajanja projekta so tla obdelovali na konvencionalen način. V poskus sta bila vključena 2 GERKa: (i) GERK 1 (posevek 2024: koruza): skupna velikost 9,05 ha, 1,4 km oddaljen od kmetije. Po analizi tal vsebujejo tla 3,6 % organske snovi, pH 6,7, stopnja založenosti z fosforjem je B, ter stopnja založenosti z kalijem C. Na površini ni bilo namakanja koruze; (ii) GERK 2 (posevek 2024: pšenica): velikost 9,84 ha, od kmetije oddaljen 4 km. Po analizi tal vsebujejo tla 3,3 % organske snovi, pH 6,3, stopnja založenosti z fosforjem je B, ter stopnja založenosti z kalijem D. Na površini ni bilo namakanja pšenice.

Kmetija B (Podravje): Tla so v času izvajanja projekta obdelovali pretežno po načelih ohranitvenega kmetovanja, brez oranja, prakso pa izvajajo na parcelah že več kot 10 let. V poskus sta bila vključena 2 GERKa: (i) GERK 1 (posevek 2024: koruza): skupna velikost je 37,35 ha, ter je od kmetije oddaljen 11,4 km. Po analizi tal vsebujejo tla 3,1 % organske snovi, pH 6,7, stopnja založenosti z fosforjem je B, ter stopnja založenosti z kalijem C. Na površini ni bilo namakanja koruze. GERK 2 (posevek 2024: ozimna pšenica): skupna velikost je 34,75 ha, ter je od kmetije oddaljen 5,0 km. Po analizi tal vsebujejo tla 2,5 % organske snovi, pH 6,1, stopnja založenosti z fosforjem je C, ter stopnja založenosti z kalijem C. Na površini ni bilo namakanja pšenice.

Ob vseh zbranih podatkih smo nato s pomočjo spletnega programa Cool Farm tool izračunali okoljski odtis pridelave. Orodje – Cool Farm Tool je spletna aplikacija za izračun okoljskega odtisa pridelave, ki upošteva podatke o rastlinah, tleh, uporabljenih gnojilih/pesticidih, porabi goriva, načinu obdelave, transportu in spremembah ogljika. Rezultat so emisije CO<sub>2</sub>-ekvivalenta po dejavnostih in na enoto pridelka.

V času poskusa smo spremljali naslednje parametre:

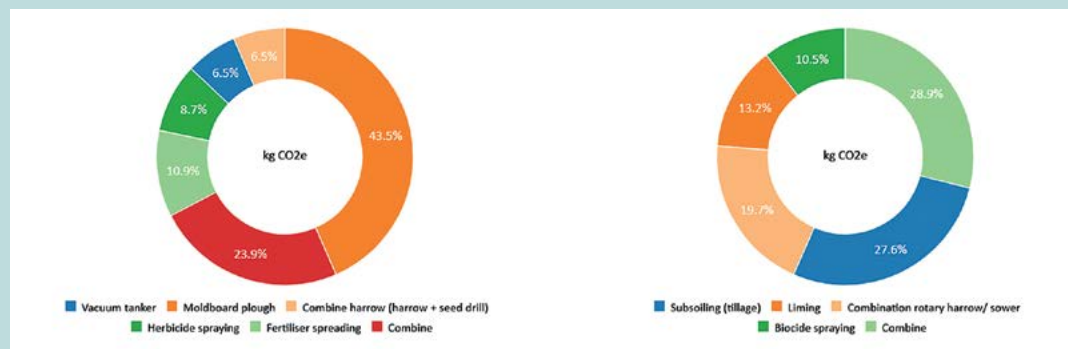
- Podatke o pridelavi (pridelek, vlaga, ostanki organske mase na njivi,...).

- Podatke o stanju tal,
- Spremljanje vnosov pridelave (uporabljeni gnojila in pesticidi).
- Posamezna delovna opravila (uporabljeni mehanizacija, storilnost, poraba goriva,...).
- Transport pridelka od površine do kmetijskega gospodarstva.

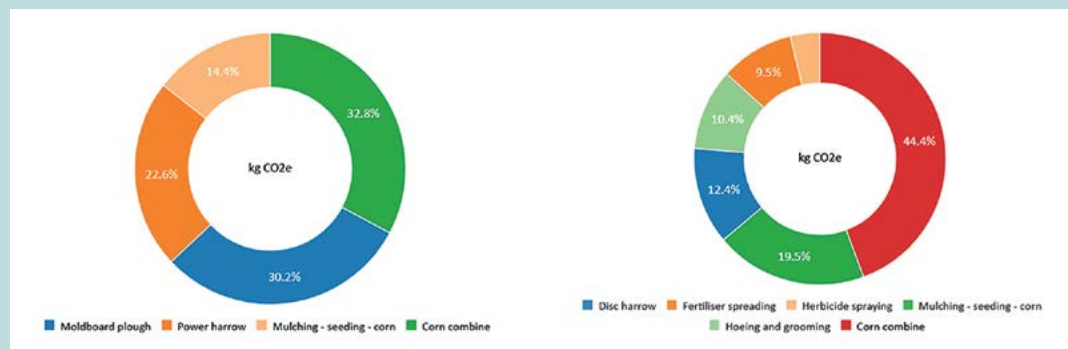
### REZULTATI: PRIMERJAVA OKOLJSKEGA ODTISA PRIDELAVE PŠENICE IN KORUZE MED KONVENCIONALNO IN OHRANITVENO OBDELAVO

Ključni poudarki:

- Obe kmetiji sta tehnološko napredni, vendar se razlikujeta v pristopu do obdelave tal: Kmetija A uporablja konvencionalno obdelavo, Kmetija B pa ohranitveno.



Slika 19: Grafična primerjava okoljskih odtisov nastalih zaradi delovnih operacij na kmetiji (Kmetija A, levo in Kmetija B, desno) pri pridelavi pšenice



Slika 20: Grafična primerjava okoljskih odtisov nastalih zaradi delovnih operacij na kmetiji (Kmetija A, levo in Kmetija B, desno) pri pridelavi koruze

- Pri pridelavi koruze so bile emisije na hektar skoraj enake (1.280 vs. 1.290 kg CO<sub>2</sub>e/ha), vendar ima Kmetija B nižji emisijski odtis na kilogram pridelka (0,08 vs. 0,10 kg CO<sub>2</sub>e/kg), kar nakazuje večjo učinkovitost pridelave.
- Pri pšenici je ogljični odtis bistveno višji kot pri koruzi, predvsem zaradi večjega števila delovnih operacij pri pridelavi pšenice.
- Kmetija B z ohranitveno obdelavo dosega primerljive ali boljše okoljske rezultate na račun manjše porabe energije pri izvajanju delovnih operacij ter ponora CO<sub>2</sub> zaradi dolgoletne ohranitvene obdelave tal.

Spodaj je podan primer emisij, katere nastanejo pri delovnih opravilih pridelave ozimne pšenice (Slika 19). Največje razlike so vidne pri obdelavi. Na kmetiji 1 (grafikon spodaj levo) uporabljajo konvencionalno obdelavo z plugom. V tem primeru uporaba pluga predstavlja 43,5% skupnih emisij glede na vsa opravila. Na kmetiji 2, kjer tla obdelujejo na ohranitveni način, pa orodje za ohranitveno obdelavo prispeva le 27,6% skupnih emisij glede na vsa opravila.

Podobne rezultate dobimo, kadar primerjamo okoljski odtis pridelave koruze med obema kmetijama (Slika 20). Ker vzorčni kmetiji nista uporabljali enakih vnosov pri pridelavi, je primerjava takšnih rezultatov manj relevantna. Opazne pa so razlike v emisijah zaradi obdelave tal. Na kmetiji 1 (grafikon levo) je zaradi uporabe pluga nastalo 30,2% emisij glede na skupne emisije delovnih opravil. Na kmetiji 2 pa je nastalo zaradi orodja uporabljenega v ohranitveni obdelavi le 12,4% emisij glede na skupne emisije delovnih opravil.

*Uporaba precizne tehnologije in digitalnih orodij pri kmetovanju lahko pomembno prispeva k zmanjšanju okoljskega odtisa pridelave poljščin. Še posebej izrazito je to pri optimizaciji gnojenja, saj največ toplogrednih plinov nastane prav pri nesmotrni uporabi in proizvodnji gnojil. Ohranitvena obdelava tal, kot jo izvaja Kmetija B, pa dodatno prispeva k zmanjšanju emisij, kar je še posebej pomembno pri večjih površinah. Rezultati raziskav dveh tehnološko naprednih in obsežnih slovenskih kmetij ponujajo dragocen vpogled v to, kako lahko različne kmetijske prakse in sodobne tehnologije vplivajo na okolje.*

## 5. Ekonomski vidiki

Z uvajanjem različnih tehnologij preciznega kmetijstva na naše kmetije izboljšujemo tehnologijo proizvodnje, povečujemo natančnost opravil, olajšujemo posamezna dela, zmanjšujemo porabo reprodukcijskega materiala, povečujemo pridelek in zmanjšujemo obremenitev kmetijstva na okolje. Napredne tehnologije omogočajo natančno spremljanje in upravljanje kmetijskih površin. S tem kmetje lažje prilagajajo svoje delo specifičnim potrebam posameznih delov polja, kar vodi do bolj učinkovite rabe virov. Na primer, uporaba tehnologij za precizno gnojenje in škropljenje lahko zmanjšuje količino uporabljenih gnojil in fitofarmaceutskih sredstev (FFS), kar neposredno prispeva k nižjim stroškom in manjši okoljski obremenitvi.

Ob tem se moramo vprašati, kakšne posledice ima uvajanje teh tehnologij za ekonomičnost proizvodnje. Posamezne izboljšave v proizvodni tehnologiji, kot je manjše prekrivanje pri uporabi FFS ali gnojil zaradi uvedbe tehnologij natančnega gnojenja in škropljenja, lahko zmanjšajo porabo reprodukcijskega materiala. Zaradi doziranja, prilagojenega specifičnim potrebam rastlin, se lahko poveča pridelek in izboljša kakovost pridelkov. Vsekakor pa je treba upoštevati tudi začetne stroške naložb v sodobne tehnologije, ki so lahko visoki, zlasti za manjše kmetije. Poleg tega te tehnologije zahtevajo usposabljanje kmetov in vzdrževanje opreme, kar dodatno vpliva na skupne stroške. Kljub temu dolgoročne koristi – kot so višji donosi, nižji stroški inputov in bolj trajnostna pridelava – pogosto odtehtajo začetne izzive.

### KALKULATOR STROŠKOV KMETIJSKE MEHANIZACIJE

Da bi kmetje lažje ocenili smiselnost naložb v kmetijsko mehanizacijo, je bil v okviru pilotnega projekta *"Racionalna raba kmetijske mehanizacije na slovenskih kmetijah"* razvit Kalkulator stroškov kmetijske mehanizacije. To digitalno orodje omogoča natančen izračun stroškov uporabe kmetijskih in gozdarskih strojev ter primerjavo stroškov med različnimi stroji in napravami. S tem kmetom pomaga pri sprejemanju optimalnih odločitev glede nakupa, najema ali skupne rabe mehanizacije.

Uporaba takšnega kalkulatorja je še posebej koristna za manjše kmetije, saj omogoča simulacijo različnih scenarijev in oceno, pri kateri velikosti kmetije se investicija v precizno mehanizacijo začne povračati. Za več informacij in dostop do kalkulatorja stroškov kmetijske mehanizacije lahko obiščete spletno stran Farm Manager ([www.farm-manager.si](http://www.farm-manager.si)).

### PRIMER PRIKAZA STROŠKOV TRAKTORJA IZ APLIKACIJE

Spodnji primeri, izračunani s pomočjo »Kalkulatorja stroškov kmetijske mehanizacije«, prikazujejo stroške uporabe traktorja pri različnih obsegih letne rabe.

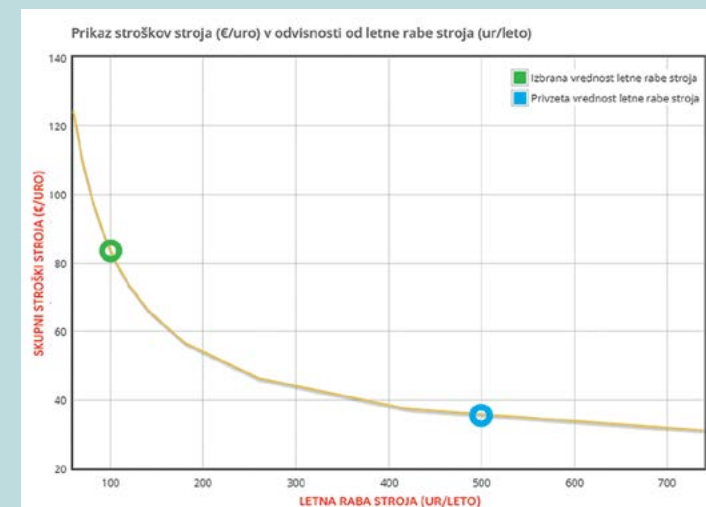
Slika 21 prikazuje, kako se stroški uporabe stroja na uro zmanjšujejo z večanjem njegove letne rabe. Pri nizki izkoriščenosti, denimo pod 100 ur letno, znašajo stroški tudi več kot 120 €/uro, medtem ko se pri večji rabi (npr. 500 ur/leto) znižajo na približno 35 €/uro. To jasno ponazarja pomen zadostne izkoriščenosti strojev – nizka raba povzroči izrazito višje stroške na enoto.

Da bo vpliv letne rabe na strukturo stroškov še bolj razviden, sta v nadaljevanju prikazana primera sestave stroškov traktorja pri dveh različnih obsegih uporabe.

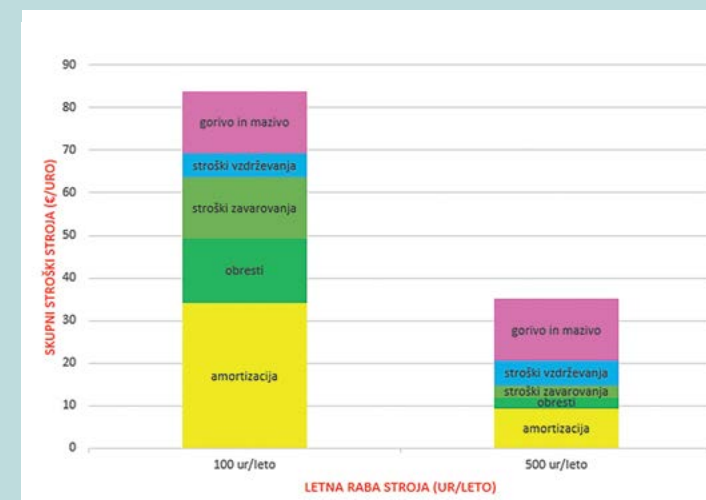
Slika 22 prikazuje sestavo stroškov traktorja na enoto (€/uro) pri dveh različnih obsegih letne rabe: 100 ur/leto in 500 ur/leto. Pri manjši izkoriščenosti so fiksni stroški (amortizacija, obresti, zavarovanje) na uro bistveno višji, saj se porazdelijo na manj opravljenih ur. Ko je traktor v uporabi več ur letno, se ti stroški občutno zmanjšajo, zaradi česar postane uporaba stroja tudi ekonomsko bolj upravičena.

Variabilni stroški, kot sta gorivo in vzdrževanje, na enoto ostajajo enaki, saj so neposredno povezani z dejansko uporabo. Skupni strošek uporabe se zato z večjo letno rabo stroja občutno zniža. Razlika med stolpcema nazorno pokaže, kako pomembna je dobra izkoriščenost strojev za doseg nižjih stroškov na enoto in s tem večjo stroškovno učinkovitost.

Za kmetije, ki same ne dosegajo zadostne izkoriščenosti za samostojno investicijo, se kot smiselna alternativa ponuja sodelovanje v strojnih krožkih, najem storitev ali druge oblike skupne rabe mehanizacije. Na ta način lahko tudi manjše kmetije dostopajo do sodobne, precizne opreme in izkoristijo njene prednosti – brez večjih začetnih vlaganj. Takšen pristop pripomore ne le k večji učinkovitosti, temveč tudi k trajnostnemu razvoju slovenskega kmetijstva.



Slika 21: Grafični prikaz stroškov traktorja (€/uro) v odvisnosti od letne rabe stroja (ur/leto)



Slika 22: Grafični prikaz strukture stroškov glede na letno izkoriščenost traktorja (100 ur/leto in 500 ur/leto)

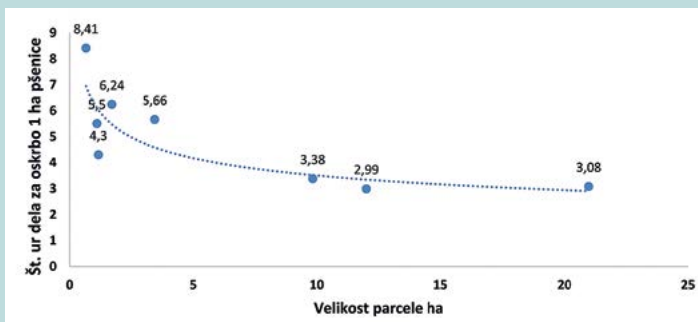
Ob upoštevanju, da precizne tehnologije zahtevajo znatne naložbe v novo kmetijsko mehanizacijo, se zato poraja vprašanje racionalnosti takšnih nakupov glede na velikostno strukturo kmetij v Sloveniji. Poraba dela pri pridelavi pšenice je primerljiva z drugimi poljščinami, zato lahko ob upoštevanju dodatnih in naknadnih posevkov na kmetiji ugotovimo, da je nakup takšne me-

hanizacije ekonomsko smiselne le za največje kmetije ali kmetijska podjetja. Pri manjših kmetijah pa koristi preciznega kmetijstva pogosto ne pokrijejo dodatnih stroškov, povezanih z nakupom in vzdrževanjem tehnologije. Zato je pri uvajanju preciznih tehnologij ključno reševati vprašanje racionalne rabe kmetijske mehanizacije. Ena od rešitev je večja vključenost kmetij v opravljanje storitev z mehanizacijo ali kolektivni nakupi opreme, kar omogoča deljenje stroškov in povečuje dostopnost tehnologij tudi za manjše kmetije.

### REZULTATI ŠTUDIJE EKONOMIKE PRAKTIČNIH PRIMEROV EIP PROJEKTA

V okviru EIP projekta smo izvajali poskuse VRA dognojevanja žit ter spremljali stroške (porabo delovnih ur, repromateriala kot so gnojila, FFS, semena ter energenti) in prihodke (pridelek). Podatke, pridobljene od partnerskih kmetij smo tudi primerjali s podatki pridobljenimi od drugih kmetij

izven EIP projekta, da bi lahko podali bolj specifično oceno, kakšen je bil učinek uporabe tehnologij preciznega gnojenja v primerjavi s kmetijami, ki le-te metode ne uporabljajo. Analizirali smo koliko strojnega in ročnega dela je potrebnega za oskrbo 1 ha proizvodnje pšenice na vzorčnih kmetijah (Slika 23). Podatki, prikazani v grafikonu, izhajajo iz kmetij z različnimi tehnologijami proizvodnje, kmetijsko mehanizacijo, velikostmi parcel in obsegom obdelovalnih površin. Vzorčne kmetije obdelujejo od 20 do 800 ha kmetijskih površin. Analiza je pokazala, da obdelava enega hektarja pšenice zahteva od 3 do 9 ur ročnega in strojnega dela, pri čemer so kmetije z večjimi parcelami (10 ha ali več) uporabljale tehnologije preciznega kmetijstva. Te kmetije so praviloma opremljene z zmogljivejšo mehanizacijo, ki omogoča večjo delovno storilnost.



Slika 23: Potrebne strojne in ročne ure za oskrbo 1 ha pšenice v odvisnosti od velikosti parcele in strojne opremljenosti kmetije

## 5.1 Ekonomska učinkovitost VRA

Gnojenje s spremenljivo dozo (VRA) temelji na prilagajanju količine gnojil specifičnim potrebam posameznih delov polja, kar se doseže z uporabo tehnologij, kot so satelitski posnetki, ciljno vzorčenje in uporaba senzorjev tal in GPS-vodeni stroji. Cilj VRA ni nujno zmanjšanje skupne količine gnojil, temveč njihova bolj ciljna razporeditev. V nekaterih primerih se poraba gnojil celo nekoliko poveča na območjih, kjer so tla revnejša, da se izravnajo razlike v rodovitnosti. Vendar pa lahko dolgoročno VRA vodi do manjše porabe gnojil zaradi boljše učinkovitosti in zmanjšanja odvečne aplikacije. Tehnologija namreč omogoča natančno kartiranje tal in prilagajanje doz gnojil glede na razlike v vsebnosti hranil znotraj polja. V praksi VRA gnojenje omogoča kmetom, da bolje izkoristijo potencial svojih polj. Na primer, na območjih z višjo rodovitnostjo se lahko količina gnojil zmanjša, medtem ko se na manj rodovitnih delih polja poveča, kar optimizira skupni donos. Vendar

pa je učinkovitost VRA gnojenja močno odvisna od kakovosti podatkov, na katerih temelji – torej od natančnosti analize tal in natančnosti satelitskih posnetkov. Velik vpliv ima tudi človeški faktor, saj napačna interpretacija podatkov, nepoznavanje lastnosti površine (kot so npr. tekstura tal na posameznih delih polja, topografija ipd.) ter tudi nezadostne digitalne veščine in tehnološka opremljenost lahko zmanjšajo pričakovane koristi.

*Prihranki repromateriala (predvsem gnojil) pri VRA gnojenju so pogosto manjši, kot se pričakuje, saj je cilj VRA optimizacija razporeditve hranil in ne nujno zmanjšanje skupne količine gnojil. Po drugi strani pa je povečanje pridelka pogosto dokumentirano v študijah o VRA gnojenju, saj natančna razporeditev hranil optimizira rast rastlin.*

Številne študije potrjujejo pozitivne učinke VRA v različnih kmetijskih okoljih. Na primer, raziskava iz Severne Italije je pokazala skoraj 14-odstotno povečanje pridelka pri uporabi VRA, kljub enaki skupni količini gnojil kot pri običajnih metodah (Romano in sod., 2024). Tudi pri pridelavi pšenice v Turčiji se je VRA izkazalo za ekonomsko upravičeno, saj je upoštevanje prostorskih razlik v hranilih omogočilo povečanje pridelka med 1 % in 10 %, odvisno od velikosti obdelovalne površine, zaradi natančnega prilagajanja odmerkov gnojil glede na spremenljivost tal pa tudi do 37-odstotne prihranke pri gnojilih (Tekin, 2010). Študija, ki je obravnavala rezultate 31 primerov VRA dognojevanja žit z dušikom, je pokazala, da je bila z uporabo VRA dosežena večja učinkovitost rabe dušika, kar je zmanjšalo obratovalne stroške, čeprav brez pomembnega vpliva na pridelek. Skupni ekonomski učinki govorijo v prid VRA gnojenju, saj so prihranki pri materialu morda manjši, a so koristi z vidika učinkovitosti in trajnosti precejšnje (Medici in Canavari, 2022).

Čeprav so koristi VRA jasne, je treba upoštevati začetne stroške in raznolikost učinkov med posameznimi kmetijami in pogoji. Uspešnost tehnologije je namreč odvisna od značilnosti tal, vrste pridelka in vremenskih razmer. Kljub temu VRA ostaja obetavna tehnologija za povečanje kmetijske produktivnosti in trajnostno rabo virov.

## 6. Sklepne misli

Precizno kmetijstvo in digitalizacija predstavljata pomemben korak k bolj trajnostni, učinkoviti in konkurenčni pridelavi poljščin in zelenjave v Sloveniji. Kljub številnim izzivom, kot so visoki začetni stroški, pomanjkanje digitalnih znanj, razdrobljena struktura kmetij ter nezadostna tehnična podpora, rezultati praktičnih poskusov kažejo na pomembne prednosti uvajanja teh tehnologij. Med najpomembnejšimi so povečanje učinkovitosti rabe virov, optimizacija agrotehničnih ukrepov, zmanjšanje okoljskih obremenitev ter pogosto tudi izboljšanje pridelka in ekonomskih izidov.

Spremenljivo gnojenje (VRA) je eden izmed ključnih ukrepov preciznega kmetijstva, ki dokazuje, da natančna razporeditev hranil omogoča boljši izkoristek potenciala tal in rastlin. Čeprav skupna poraba gnojil ni vedno bistveno manjša, se z optimizacijo odmerkov izboljša učinkovitost gnojenja, kar dolgoročno prispeva tako k manjšim stroškom kot tudi k zmanjšanemu negativnemu vplivu na okolje. Ekonomske analize in študije potrjujejo, da se vlaganja v VRA na večjih kmetijah lahko povrnejo v nekaj letih, pri čemer ostajajo koristi tudi v letih s slabšimi pridelki.

V prihodnje bo za uspešno širjenje preciznega kmetijstva ključno zagotoviti ustrezno izobraževanje kmetov, krepitev svetovalne službe in vzpostavitev praktične podpore na terenu. Potrebno bo tudi razviti prilagojene rešitve za manjše kmetije ter okrepiti infrastrukturo na podeželju. S stalnim razvojem tehnologije, zniževanjem stroškov opreme ter večanjem digitalne pismenosti se bo dostopnost teh pristopov povečevala.

Priročnik je nastal kot odgovor na potrebo po praktično uporabnih, razumljivih in na podatkih utemeljenih informacijah o uvajanju preciznega kmetijstva v slovenski prostor. Verjamemo, da bo služil kot dragocen vir znanja za kmete, svetovalce in vse, ki verjamejo v prihodnost kmetijstva, ki temelji na podatkih, znanju in trajnostnem ravnanju z viri. Precizno kmetijstvo ni zgolj tehnologija, ampak način razmišljanja – pametnejše, bolj informirano in odgovorno kmetovanje.

## 7. Viri

- Agromedica. (2020). Kako vzorčim zemljo? <https://www.analiza-zemlje.si/kako-vzor269imono---naro269ilo.html>, [12. 12. 2024]
- Association of Equipment Manufacturers (2024). The environmental benefits of precision agriculture quantified. <https://www.aem.org/news/the-environmental-benefits-of-precision-agriculture-quantified> [7. 5. 2024]
- Balafoutis A., Beck B., Fountas S., Vangeyte J., Van der Wal T., Soto I., ... in Eory V. (2017). Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics. *Sustainability*, 9(8), 1339. <https://doi.org/10.3390/su9081339>
- Basso B., Dumont B., Cammarano D., Pezzuolo A., Marinello F., in Sartori L. (2016). Environmental and economic benefits of variable rate nitrogen fertilization in a nitrate vulnerable zone. *Science of the Total Environment*, 545, 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.104>
- Batte M. T., in VanBuren F. (1999, January). Precision Farming—Factors Influencing Profitability. In *Northern Ohio Crops Day meeting*, Wood County OH (Vol. 21).
- Boaşcă A., in Triff (2017). Research into optimizing the process of assessing the degree of destruction of rapeseed cultures after winter using image processing. *Journal of Young Scientist*, V.
- Bongiovanni R., in Lowenberg-DeBoer J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, 5, 359–387.
- Corrigan F. (2019). Multispectral Imaging Camera Drones In Farming Yield Big Benefits. <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/multispectral-sensor-drones-in-farming-yield-big-benefits/> [3. 6. 2024]
- Earl R., Wheeler P. N., Blackmore B. S., in Godwin R. J. (1996). Precision farming—the management of variability.
- European Parliament. (2016). Precision agriculture and the future of farming in Europe. European parliamentary research service (EPRS). Bruselj. Scientific Foresight Unit (STOA). Dostopno na [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS\\_STU\(2016\)581892\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU(2016)581892_EN.pdf) [3. 6. 2024]
- Finch S., Samuel A., in Lane G. P. (2014). Lockhart and Wiseman's crop husbandry including grassland. Elsevier.
- Finco A., Bentivoglio D., Belletti M., Chiaraluce G., Fiorentini M., Ledda L., in Orsini R. (2023). Does Precision Technologies Adoption Contribute to the Economic and Agri-Environmental Sustainability of Mediterranean Wheat Production? An Italian Case Study. *Agronomy*, 13(7), 1818.
- Gebbers R., in Adamchuk V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828–831.
- Geonics Limited. (2008). Operating Instructions: EM38-MK2 DATA LOGGING SYSTEM FOR FIELD COMPUTER Allegro CX Field PC, EM38MK2, Version 1.21.
- GNSS Geoservis. (2024). Globalni navigacijski satelitski sistemi. <https://www.gnss.si/kako-deluje/globalni-navigacijski-satelitski-sistemi> [7. 5. 2024]

- Agrobiznis (n. d.). Nastaja priročnik tehnologij za precizno kmetijstvo. Pridobljeno s <https://agrobiznis.finance.si/agro-hi-tech/nastaja-prirocnik-tehnologij-za-precizno-kmetijstvo/a/9023760> [12. 12. 2024]
- Farmdok (2017, 27. maj). Precizno kmetijstvo – Farmdok kmetijstvo. Pridobljeno s <https://www.farmdok.com/sl/2017/05/27/precizno-kmetijstvo-farmdok-kmetijstvo/> [7. 5. 2024]
- ISPA – International Society of Precision Agriculture. (2024). Precision Ag Definition. Pridobljeno 14. 11. 2024 s <https://www.ispag.org/about/definition>
- Johansen C. J. (1996). Overview of precision farming. V *Proceedings of Information Ag Conference*, Champaign, Illinois.
- Jurišić M., Plaščak I., Barač Ž., in Zimmer D. (2016). Application of the principle of electroconductivity and the use of EC scanner for determining the properties of the soil. *Technical Gazette*, 23(6), 1617-1621.
- Karlen D. L., Andrews S. S., Colvin T. S., Jaynes D. B., in Berry E. C. (1999, januar). Spatial and temporal variability in corn growth, development, insect pressure, and yield. V *Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture* (str. 101-112). Madison, WI, ZDA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.
- KGZS – Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije. (2019, 1. februar). Ali je tehnologija pravi način za izboljšanje kmetovanja? Pridobljeno s <https://www.kgzs.si/novica/ali-je-tehnologija-pravi-nacin-za-izboljsanje-kmetovanja-2019-02-01> [7. 5. 2024]
- KIS – Kmetijski inštitut Slovenije. (2022). Postopek odvzema vzorcev, primernih za analizo tal. Ljubljana.
- Večer (n. d.). Precizno kmetijstvo v skupini Panvita. Pridobljeno s <https://vecer.com/moj-uspeh/precizno-kmetijstvo-v-skupini-panvita-10349320> [7. 5. 2024]
- Kosjek K. (2020). Pametni sistemi za podporo pri odločanju v kmetijstvu [Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo].
- Koutsos T., in Menexes G. (2019). Economic, agronomic, and environmental benefits from the adoption of precision agriculture technologies: A systematic review. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 10(1), 40-56.
- Kritikos M. (2017). Precision agriculture in Europe: Legal, social and ethical considerations. Bruselj: Evropska komisija.
- Lakota M., Stajnko D., Vindiš P., Berk P., Kelc D., in Rakun J. (2019). Od preciznega k pametnemu kmetijstvu. V *Novi izzivi v agronomiji 2019: Zbornik simpozija* (str. 249-255). Slovensko agronomsko društvo.
- Larson W. E., Lamb J. A., Khakural B. R., Ferguson R. B., in Rehm G. W. (1997). Potential of site-specific management for nonpoint environmental protection. V *The state of site specific management for agriculture*. ISBN 9780891181347.
- McBratney A., Whelan B., Ancev T., in Bouma J. (2005). Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, 6, 7-23.
- Medici M., in Canavari M. (2022). Economic impacts of variable rate nitrogen fertilization: Input saving and yield increase in cereals. 2022. <https://doi.org/10.1079/cabreviews202217054>

- Mulla D., in Khosla R. (2016). Historical evolution and recent advances in precision farming. V R. Ali in B. A. Stewart (ur.), *Soil specific farming: Precision agriculture* (str. 1-36). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18759>
- National Research Council. (1997). *Precision agriculture in the 21st century: Geospatial and information technologies in crop management*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Paukner M. (2021). Crop yields could grow 6% with broader adoption of precision ag technology. Pridobljeno 8. 5. 2024 s <https://www.precisionfarmingdealer.com/articles/4856-crop-yields-could-grow-6-with-broader-adoption-of-precision-ag-technology>
- Podatkovna baza SiStat. (2025). Pridobljeno 10. 1. 2025 s <https://pxweb.stat.si/SiStat/sl>
- QuantiFarm. (2025). Assessing the impact of digital technology solutions in agriculture in real-life conditions. Pridobljeno 18. 3. 2025 s <https://quantifarm.eu/>
- Rihter E. (2020). Pregled stanja in smernice razvoja preciznega kmetijstva v Sloveniji.
- Romano E., Bragaglio A., Bisaglia C., Assirelli A., Premoli E., in Bergonzoli S. (2024). Case Study on the Economic and Environmental Impact of the Introduction of the Variable-Rate Distribution of Fertilizer in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivation. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16041612>
- Say S. M., Keskin M., Sehri M., in Sekerli Y. E. (2018). Adoption of precision agriculture technologies in developed and developing countries. *The Online Journal of Science and Technology*, 8(1), 7-15.
- Schimmelpfennig D., in Ebel R. (2016). Sequential adoption and cost savings from precision agriculture. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 41(1), 97-115.
- Shishi Liu Li, L., Gao W., Zhang Y., Liu Y., Wang S., in Lu J. (2018). Diagnosis of nitrogen status in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) using in-situ hyperspectral data and unmanned aerial vehicle (UAV) multispectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 185-195.
- Sistem delovanja GPS. (2024). Pridobljeno 25. 3. 2024 s [https://sl.wikipedia.org/wiki/Globalni\\_sistem\\_pozicioniranja](https://sl.wikipedia.org/wiki/Globalni_sistem_pozicioniranja)
- Skupna kmetijska politika. (2025). Pridobljeno 27. 1. 2025 s <https://skp.si/>
- Tekin A. B. (2010). Variable rate fertilizer application in Turkish wheat agriculture: economic assessment. *African Journal of Agricultural Research*, 5(8), 647-652. <https://doi.org/10.5897/AJAR09.562>
- Thompson N. M., Bir C., Widmar D. A., in Mintert J. R. (2019). Farmer perceptions of precision agriculture technology benefits. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 51(1), 142-163.
- Travnikar T., Bedrač M., Bele S., Brečko J., Cunder T., Kožar M., ... in Zagorc B. (2019). Slovensko kmetijstvo v številkah: 2019. Kmetijski inštitut Slovenije.
- Trif A., Gidea M., Erghelegiu B., Boasca A., in Cimpenau S. M. (2018). Research into the utilization of aerial imaging for evaluating the state of vegetation.
- Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov (Uradni list RS, št. 52/16 in 81/16 – popr.). Pridobljeno s <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED7317> [8. 5. 2024]

- U.S. House of Representatives. (2002). *U.S. Code Title 7 – Agriculture, Chapter 103 – Agricultural research, extension, and education reform. Subchapter II – New agricultural research, extension, and education initiatives. Section 7623 (a) Definitions.* Washington, ZDA.
- Vindiš P., Lakota M., in Rakun J. (2025). *Osnove preciznega kmetijstva: Skripta (1. izd.)*. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede.
- Wu Yin, Zhang J., Ma L., in Yu Y. (2018). *E-agriculture in action: Drones for agriculture.* Food and Agriculture Organization of the United Nations in International Telecommunication Union, 9-33.
- Yegül U., Türker U., in Talebpour B. (2011). *Determination of some soil parameters with electromagnetic induction sensor.* Journal of Agricultural Machinery Science, 7, 19-25.

Priročnik je nastal v okviru projekta Precizno kmetijstvo in digitalizacija za bolj trajnostno pridelavo poljščin in zelenjave. Projekt je sofinanciran iz Programa razvoja podeželja 2014 – 2020 in Evropskega sklada za razvoj podeželja v okviru ukrepa Sodelovanje, podukrep 16.2: Podpora za pilotne projekte ter za razvoj novih proizvodov, praks, procesov in tehnologij.

Za vsebino priročnika je odgovoren Kmetijsko gozdarski zavod Murska Sobota. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano je organ upravljanja, pristojen za izvajanje pomoči iz Evropskega kmetijskega sklada za razvoj podeželja.



PRECIZNO  
KMETIJSTVO

**Precizno kmetijstvo  
in digitalizacija za bolj trajnostno  
pridelavo poljščin in zelenjave**