

Razvoj hibridne osebno prilagojene učne poti s pomočjo umetne inteligence za poklicno izobraževanje in usposabljanje za inovacije v kmetijstvu



Co-funded by
the European Union

Modul: Orodja za podporo kmetijski programski opremi

Razvoj vsebine lekcije/enote/teme

Financirano s strani Evropske unije. Izražena stališča in mnenja so zgolj stališča in mnenja avtorja(-ev) in ni nujno, da odražajo stališča in mnenja Evropske unije ali Evropske izvajalske agencije za izobraževanje in kulturo (EACEA). Zanje ne moreta biti odgovorna niti Evropska unija niti EACEA.



ENOTA 1: UVOD V PROGRAMSKO OPREMO V KMETIJSTVU

Uvod

Globalni kmetijski sektor, zlasti v Evropi, doživlja obdobje preobrazbe, saj prevzema bistveno vlogo pri blaženju vplivov na okolje kljub številnim izzivom. Sektor se sooča s tremi glavnimi izzivi, ki pomembno vplivajo na kmetijsko dejavnost in trajnost. Prvi večji izziv so podnebne spremembe, ki so temeljito spremenile tradicionalne sezonske vzorce. Kmetje se zdaj spopadajo z daljšimi obdobji suše, ki se nepredvidljivo izmenjujejo z obdobji prekomernih padavin, zaradi česar so tradicionalni vzorci pridelave manj zanesljivi. Drugi kritični problem je postopno poslabšanje rodovitnosti tal, ki neposredno vpliva na pridelek in trajnost kmetijstva. Tretji izziv izhaja iz nenehne nestabilnosti cen na kmetijskih trgih, ki jo v veliki meri poganjajo geopolitične negotovosti, in vplivajo na svetovno trgovino in dobavne verige.

V odgovor na te izzive se je **digitalizacija v kmetijstvu** pojavila kot transformativna rešitev, ki ponuja izboljšave na petih ključnih področjih (Ref. 1):

Tabela 1: Digitalizacija v kmetijstvu: ključna področja



Ta modul se osredotoča zlasti na preučevanje **programskih sistemov in tehnoloških orodij**, ki jih lahko kmetije uporabijo za doseganje ciljev natančnega kmetijstva. Natančno kmetijstvo temelji na dveh osnovnih komponentah:

- **Strojna oprema:** To vključuje vso fizično opremo, vključno s senzorji, stroji in napravami za spremljanje, ki zbirajo in prenašajo podatke s polja.
- **Programska oprema:** To vključuje vse programe in aplikacije, ki obdelujejo podatke, nadzorujejo opremo in zagotavljajo orodja za podporo odločanju pri kmetijskih dejavnostih.



Razumevanje programske opreme v kmetijstvu

Preden raziščemo, kako programska oprema izboljša kmetijske dejavnosti, je bistveno, da jasno razumemo, kaj programska oprema v tem kontekstu zajema. V osnovi je programska oprema sestavljena iz organiziranih zbirk **programov, datotek in podatkovnih struktur**, ki skupaj opravljajo določene funkcije. V kmetijskem sektorju se osredotočamo predvsem na **aplikacijske programe**, ki so zasnovani tako, da uporabnikom pomagajo učinkovito in natančno opravljati določene naloge. Programsko opremo lahko na splošno razdelimo v več vrst, od operativne programske opreme, ki omogoča osnovno delovanje sistema (kot so iskalniki in osnovne aplikacije), do specializirane aplikacijske programske opreme, ki jo je mogoče namestiti na različne naprave (Ref. 2).

Aplikacije, ki se običajno imenujejo »apps«, so na voljo v dveh glavnih kategorijah:

- Za računalnike (kot so **brskalniki in sistemi za upravljanje kmetij**).
- Za mobilne naprave (**pametne telefone in tablične računalnike**).

Med **tradicionalnimi programskimi sistemi** in **sodobnimi aplikacijami** obstaja pomembna razlika. Sistemska programska oprema zahteva začetno namestitev in konfiguracijo, da omogoči osnovno delovanje naprave. Nasprotno pa se sodobne aplikacije običajno lahko pridobijo in namestijo prek namenskih trgovin z aplikacijami, kar poenostavi proces uvajanja. Medtem ko so aplikacije odlične za opravljanje določenih nalog, celoviti programski sistemi ponujajo bolj integrirano in prilagodljivo funkcionalnost za širši nabor opravil (Ref. 2). **Mobilne aplikacije** so spremenile **upravljanje kmetijstva, saj omogočajo prenosni dostop do ključnih informacij in sistemov za nadzor**. Te aplikacije ponujajo izrazite prednosti v sodobnem kmetijskem poslovanju. Omogočajo dostop do informacij in njihovo vnašanje s **katerega koli mesta**, če je na voljo **omrežna povezava**. Poleg tega so mobilne aplikacije značilne po **uporabniku prijaznih vmesnikih**, zaradi česar so njihova uporaba še posebej intuitivna. Njihova stroškovna učinkovitost je izboljšana z uvedbo rešitev v oblaku in prilagodljivimi modeli licenciranja, ki jih bomo podrobneje preučili v zadnji enoti.

Ključna vloga programske opreme v trajnostnem kmetijstvu

Kmetijski programski sistemi so ključni za doseganje trajnosti v sodobnem kmetijstvu, **saj povečujejo učinkovitost proizvodnje** in hkrati **zmanjšujejo vpliv na okolje**. Z digitalizacijo kmetijske dejavnosti vodijo odločitve, ki temeljijo na podatkih, in optimizirajo uporabo virov. Na primer, sistemi za spremljanje zdravja tal in razvoja pridelkov uporabljajo senzorje za ustvarjanje podrobnih zemljevidov polj, kar omogoča ciljno usmerjene posege, kot je npr. uporaba pesticidov samo na prizadetih območjih. To zmanjšuje količino odpadkov, znižuje stroške in zmanjšuje škodo za okolje. Te tehnologije revolucionirajo tudi živinorejo, saj **neprekinjeno spremljajo zdravje živine, omogočajo zgodnje odkrivanje bolezni in preventivne ukrepe** ter **izboljšujejo tako dobro počutje živali kot tudi produktivnost kmetij**. Poleg tega avtomatizacija programske opreme zmanjšuje fizične zahteve za delavce, izboljšuje varnost in omogoča boljšo razporeditev virov. **Tehnologija veriženja blokov**



izboljšuje sledljivost proizvodov, zagotavlja preglednost v dobavni verigi in gradi zaupanje potrošnikov z dokumentiranjem poti vsakega proizvoda od polja do potrošnika. S temi inovacijami digitalizacija izboljšuje okoljsko, socialno in gospodarsko trajnost, učinkovitost upravljanja virov, delovne pogoje in globalno konkurenčnost.

Programska oprema v evropski viziji

Evropska unija je **digitalne tehnologije** in **programske sisteme** postavila v središče svoje strategije za preoblikovanje kmetijstva, saj priznava njihovo bistveno vlogo pri doseganju trajnostnih kmetijskih praks. S celovitim okvirom politik, mehanizmov financiranja in regulativnih pobud **EU aktivno podpira digitalno evolucijo kmetijskega sektorja**. Mejniki v tej strateški viziji je **Uredba o podatkih** (Ref. 3), ki predstavlja pomemben napredek pri vzpostavljanju integriranega trga podatkov v vsej Evropski uniji. Ko bo ta uredba začela veljati septembra 2025, bo uvedla temeljne spremembe v načinu upravljanja in vrednotenja kmetijskih podatkov. Zakon določa načela za pravično porazdelitev vrednosti, ustvarjene s podatki, in zagotavlja, da **lahko** kmetje in kmetije **pošteno** izkoristijo informacije, ki jih ustvarjajo njihove dejavnosti. Ta zakonodaja je bila skrbno oblikovana, da spodbuja odgovorno uporabo kmetijskih podatkov, hkrati pa ohranja trdno zaščito zasebnosti in posameznikovih pravic v okviru obstoječega regulativnega okvira. Uredba o podatkih je del **evropske strategije za podatke**, ki se osredotoča na **uvvedbo interneta stvari v kmetijstvu**. Omogoča zbiranje in analizo podatkov v realnem času, kar izboljšuje upravljanje virov in odzivanje na izredne razmere. Ta digitalna preobrazba **podpira tako okoljsko trajnost** kot tudi **gospodarsko odpornost** v kmetijskem sektorju.

Podatki: temelj digitalnega kmetijstva

Učinkovitost kmetijskih tehnoloških sistemov temelji na **visokokakovostnih podatkih**, ki podpirajo informirano odločanje. Kmetije ustvarjajo edinstvene, kontekstualne podatke o tleh, pridelkih, podnebnju in strojih, kar omogoča natančne operative strategije. Vendar pa občutljiva narava teh podatkov **zahteva močno zaščito, da se prepreči zloraba**, saj so lahko **komercialno dragoceni** in **vplivajo na zasebnost**. Med izzivi so nejasno lastništvo podatkov in protokoli o zasebnosti, kar povzroča oklevanje kmetov pri delitvi podatkov. Poleg tega razdrobljeni informacijski sistemi ustvarjajo izolirane podatkovne silose, kar ovira celovito analizo in sprejemanje odločitev. Za reševanje teh izzivov je kmetijski sektor uvedel napredne varnostne protokole. Ti vključujejo napredne sisteme šifriranja in stroge nadzore dostopa, ki so usklajene z glavnimi regulativnimi okviri, kot so **Uredba o podatkih**, **Zakon o upravljanju podatkov** in **Splošna uredba o varstvu podatkov** (GDPR). Sprejetje načel varnosti že pri zasnovi v kmetijskih programskih platformah je okrepilo prakse upravljanja podatkov in izboljšalo skladnost z zakonodajo. Ti kombinirani tehnološki in regulativni ukrepi so znatno izboljšali sposobnost sektorja **AgriTech** za inovacije, hkrati pa ohranili visoke varnostne standarde v okviru evropske politike (Ref. 5). Evropska unija se je na te izzive odzvala z uvedbo celovitih **predpisov za varstvo in izmenjavo kmetijskih podatkov**. Uredba o podatkih posebej obravnava uporabo



informacij, zbranih prek naprav IoT, in zahteva **izrecno soglasje lastnika za uporabo podatkov**. Ta regulativni okvir ustvarja bistvene zaščitne ukrepe proti nepooblaščenemu dostopu in kršitvam zasebnosti, hkrati pa **spodbuja odgovorne prakse izmenjave podatkov**, ki koristijo celotnemu kmetijskemu sektorju.

GDPR ima ključno vlogo za kmete, ki nameravajo uporabljati programsko opremo za natančno kmetijstvo, saj zagotavlja, da se zbrani podatki (npr. geolokacija, pridelki, uporaba kmetijskih vložkov) obdelujejo pregledno, varno in v skladu z zasebnostjo kmetov. Ker osebne ali kmetijske podatke včasih uporabljajo tretje osebe (npr. ponudniki programske opreme ali zavarovalnice), morajo kmetje vedeti in nadzorovati, kako in kdo jih uporablja (Evropski odbor za varstvo podatkov (EDPB), smernice o pojmi upravljavca in obdelovalca v GDPR).

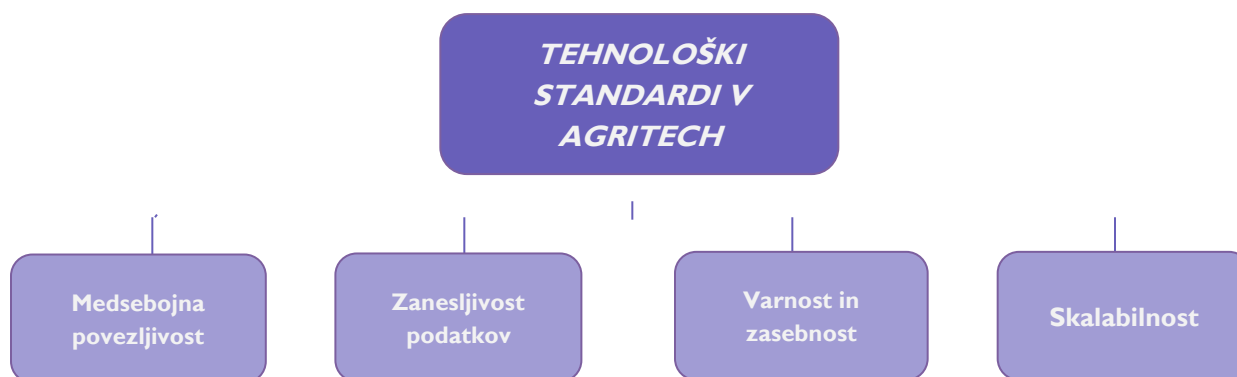
Uporaba digitalnih tehnologij v kmetijstvu zahteva preglednost, jasno opredelitev lastništva podatkov in zaupanje med akterji v dobavni verigi (Van der Burg in Wiseman, 2021). GDPR pomaga preprečiti neprimerno uporabo podatkov, s čimer povečuje raven zaupanja kmetov v uporabo takšne programske opreme. S tem strukturiranim pristopom k upravljanju podatkov lahko sodobno kmetijstvo izkoristi moč informacijske tehnologije, hkrati pa **zaščiti interese kmetov** in **ohrani varnost občutljivih kmetijskih podatkov**.

Tehnološki standardi

Tehnološki standardi v sektorju AgriTech obsegajo celovit okvir **protokolov, specifikacij in metodologij**, ki omogočajo nemoteno **integracijo med različnimi kmetijskimi sistemi in tehnologijami**. Kot je navedeno v (Ref. 5), ti standardi tvorijo temelj za interoperabilnost kmetijske tehnologije in zagotavljajo, da različni sistemi in oprema lahko učinkovito komunicirajo in delujejo skupaj.

Na področju AgriTech tehnološke standarde zaznamujejo štiri bistvene lastnosti:

Tabela 1 : Tehnološki standardi v AgriTechu



Ti standardi izboljšujejo delovanje sistemov. Znatno izboljšujejo dostopnost podatkov med različnimi sistemi, hkrati pa **zmanjšujejo splošno zapletenost** ekosistema kmetijske tehnologije. S tem, da odpravljajo težave z združljivostjo med različnimi komponentami, ti



standardi izboljšujejo operativno učinkovitost kmetov. Poleg tega omogočajo večjo trajnost, saj omogočajo izvajanje okolju prijaznih kmetijskih tehnik prek programskih sistemov, ki so sposobni **obdelovati različne vrste podatkov iz več virov**.

V kmetijski tehnologiji se je kot bistvena komponenta uveljavilo več ključnih vrst tehnoloških standardov:

- **GNSS (globalni navigacijski satelitski sistem);**
- **Standardi za podatke;**
- **Standardi IoT;**
- **ISOBUS.**

S pomočjo teh standardiziranih okvirov lahko kmetijski tehnološki sistemi dosežejo potrebno integracijo in funkcionalnost, ki sta potrebni za sodobno kmetijsko dejavnost.

Integracija programske opreme in upravljanje podatkov v kmetijstvu

Analiza podatkov je postala temelj sodobnega kmetijskega poslovanja, ki ga poganjajo trije temeljni imperativi. Z okoljskega vidika **natančno sledenje podatkom** kmetom omogoča, da **zmanjšajo izgubo proizvodov in zmanjšajo negativne vplive na okolje**. Gospodarske koristi se pojavijo z analizo agronomskih podatkov, ki omogočajo boljšo optimizacijo donosa, hkrati pa zagotavljajo, da se pri pridelavi uporabljajo **le nujno potrebni tehnični viri**, s čimer **se nadzirajo proizvodni stroški**. Operativne prednosti se kažejo v zmožnosti razvijanja ciljnih strategij na podlagi napovednih analiz potencialnih groženj za pridelek (Ref. 6). Vendar pa sama razpoložljivost različnih podatkovnih tokov predstavlja izziv brez ustreznih integracijskih orodij. Sistemi **za načrtovanje poslovnih virov (ERP)** so se izkazali kot ključna rešitev, saj kmetijam omogočajo **takojšen dostop do natančnih** in pravočasnih informacij za celovito upravljanje procesov. Ti sistemi se odlikujejo po dveh glavnih značilnostih:

- **Integrirana funkcionalnost:** vsi podatki, vneseni v sistem, so takoj na voljo v vseh modulih prek brezhibne integracije v enotnem okviru ERP;
- **Večfunkcionalnost:** sistem usklajuje več operativnih procesov na eni platformi, ki obsega načrtovanje pridelka, upravljanje skladišč, finančne operacije, prodajo, nabavo in druge bistvene funkcije.

Medtem ko so bili **sistemi ERP** v preteklosti obravnavani kot sistemi z omejeno uporabnostjo v kmetijsko-živilskem sektorju, sodobne rešitve zdaj učinkovito racionalizirajo različne procese, specifične za kmetijstvo (Ref. 7). Ti sofisticirani sistemi upravljanja, ki bodo podrobneje obravnavani v nadaljevanju te enote, predstavljajo pomemben napredek v zmogljivostih kmetijske programske opreme.

Kmetijska programska oprema obsega **različna specializirana orodja**, ki surove podatke pretvarjajo v uporabne informacije za kmete. Te rešitve lahko razdelimo v štiri različne tipe:



- **Programska oprema za povezovanje sistemov:** na primer ISOBUS, ki omogoča nemoteno komunikacijo med opremo različnih proizvajalcev;
- **Programska oprema za analizo in podporo odločanju:** vključuje sisteme za podporo odločanju (DSS), ki obdelujejo zapletene podatkovne nize za oblikovanje operativnih smernic;
- **Programska oprema za poslovno upravljanje:** zasnovana za celovito načrtovanje in operativno spremljanje;
- **Programska oprema za sledljivost in e-trgovanje:** izboljšuje preglednosti dobavne verige in omogočanje neposrednega dostopa do trga.

Sklepno lahko rečemo, da je programska oprema postala nepogrešljivo orodje za modernizacijo in trajnostni razvoj kmetijskega sektorja. Njihova integracija s progresivnimi evropskimi politikami, kot je Uredba o podatkih, in naprednimi tehnologijami, kot je internet stvari, ustvarja izjemne priložnosti za **izboljšanje operativne učinkovitosti, zmanjšanje izgube virov** in reševanje globalnih kmetijskih izzivov s trajnostnimi praksami.

Internet stvari (IoT) v kmetijskih sistemih

Internet stvari predstavlja transformativno tehnologijo, ki internetno povezljivost razširja prek tradicionalnih računalniških naprav na vsakdanje predmete in ustvarja »**pametne**« **naprave z edinstvenimi digitalnimi identitetami**. Ti digitalno izboljšani predmeti **vzpostavljajo mrežo medsebojno povezanih naprav**, ki so sposobne avtonomne komunikacije in izmenjave podatkov. Uporaba interneta stvari v kmetijstvu je prinesla znatne **izboljšave tako v kakovosti kot količini proizvodov**, hkrati pa optimizirala operativne stroške in povečala donosnost kmetij (Ref. 8). Posebej pomemben dosežek je bila vzpostavitev brežhibnega okvira medsebojne povezanosti med človekom, strojem in predmetom, ki kmetom omogoča hiter in dinamičen nadzor nad kmetijsko opremo in napravami. Ta **napreden nivo nadzora** je dosežen s stabilnimi brezžičnimi omrežji za prenos podatkov, ki **povezujejo različne digitalne identitete** po kmetiji. V praktičnih aplikacijah se IoT kaže skozi fizične predmete, opremljene z digitalnimi zmogljivostmi, kot so senzorji na polju ali naprave za spremljanje, nameščene na strojih. Ti sistemi zbirajo podatke o pridelavi in jih pošiljajo centraliziranim sistemom upravljanja za analizo in ukrepanje.

Kmetijski sistemi IoT imajo tri osnovne funkcije:

- **Zbiranje in prenos podatkov iz naprav za pridelavo**, vključno s kritičnimi meritvami, kot so ravni vlažnosti tal;
- **Izvajanje avtomatiziranih sistemov pridelave**, ki vključujejo upravljanje namakanja in krmljenje živine;
- **Celovito spremljanje kmetijskih dejavnosti in procesov.**

Pomemben napredek v komunikacijski tehnologiji IoT je **protokol Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)**. Ta protokol se je široko uveljavil zaradi svoje zmožnosti vzdrževati



zanesljivo izmenjavo informacij na velike razdalje in prek različnih fizičnih ovir, zaradi česar je še posebej primeren za kmetijske aplikacije (Ref. 9). Sposobnost spremljanja dejavnosti v realnem času je **v sodobnem kmetijstvu** postala **vse bolj pomembna**. Ta sposobnost kmetom omogoča, da so nenehno seznanjeni z vsemi dejavnostmi na kmetiji in stanjem poslovanja. Takšno spremljanje se izkaže za posebej dragoceno pri specializiranih kmetijskih dejavnostih, kot so prevoz živine ali prevoz proizvodov, ki morajo izpolnjevati posebne regulativne standarde. S pomočjo sistemov IoT lahko kmetje te dejavnosti nenehno spremljajo, s čimer zagotavljajo skladnost in ohranjajo kakovost proizvodov skozi celoten prevozni proces.

Praktični primeri

Da bi ponazorili praktično izvajanje sistemov IoT v kmetijstvu, si oglejmo dva reprezentativna primera, ki **prikazujeta, kako ta tehnologija rešuje posebne operative izzive**. Prva študija primera zadeva kmetijo, ki prideluje sadje in zelenjavo in upravlja distribucijo pokvarljivih proizvodov trgovcem na drobno in sejmom. Ključni izziv v tej dejavnosti je ohranjanje neprekinjene hladne verige skozi celoten proces prevoza. Tehnologija IoT ponuja celovito rešitev prek mreže senzorjev, nameščenih v hladilnicah in prevoznih vozilih. Ti senzorji kmetom omogočajo daljinsko in neprekinjeno spremljanje temperaturnih pogojev, s čimer zagotavljajo svežino in kakovost proizvodov. Poleg spremljanja temperature sistem IoT zbira podatke o različnih parametrih prevoza. Sistem spremlja porabo goriva, zmogljivost vozil in učinkovitost poti, kar omogoča vpogled v vpliv na okolje in operative stroške. To celovito zbiranje podatkov kmetiji omogoča izvedbo primerjalnih analiz različnih načinov prevoza in poti, kar olajša sprejemanje informiranih odločitev o najbolj stroškovno učinkovitih in okoljsko trajnostnih logističnih rešitvah. Druga študija primera preučuje skladiščenje žita v razsutem stanju, s posebnim poudarkom na varnostnih sistemih za velika silosna skladišča, v katerih se skladišči pšenica ali ječmen. Ti postopki se soočajo z dvema pomembnima varnostnima tveganjema: mehanskimi blokadami v transportnih sistemih in potencialno nevarnostjo požara v skladiščnih prostorih. Za reševanje teh izzivov je bil razvit inovativen sistem spremljanja na podlagi IoT (Ref. 10). Ta varnostni sistem uporablja mrežo brezžičnih senzorjev, strateško nameščenih po skladiščni in transportni opremi. Ti senzorji neprekinjeno spremljajo različne parametre, vključno z zmogljivostjo opreme, temperaturnimi ravnmi in pretokom materiala. Zbrani podatki se obdelujejo prek inteligentnih sistemov za spremljanje, ki lahko zaznavajo zgodnje opozorilne znake morebitnih težav. Ko sistem zazna zaskrbljujoče vzorce ali pogoje, ki bi lahko kazali na neposredno blokado ali varnostno tveganje, samodejno sproži opozorila upravljavcem objekta, kar omogoča preventivno posredovanje, preden pride do incidentov. Te študije primerov kažejo, kako tehnologija IoT spreminja kmetijske dejavnosti z zagotavljanjem zmogljivosti spremljanja v realnem času, izboljšanjem varnostnih ukrepov in omogočanjem odločanja na podlagi podatkov v različnih vidikih kmetijske proizvodnje in distribucije.



ENOTA 2: PROGRAMSKA OPREMA ZA NATANČNO KMETIJSTVO

Uvod

Sodobno kmetijstvo stoji na pragu tehnološke revolucije s pomočjo metod natančnega kmetijstva, ki tradicionalne kmetijske prakse spreminjajo v na podatkih temelječe z viri učinkovite dejavnosti. Ta enota raziskuje bistvene programske sisteme, ki omogočajo to preobrazbo, in preučuje, kako ti sistemi sodelujejo pri ustvarjanju celovitih rešitev za upravljanje kmetij. Precizno kmetijstvo predstavlja sofisticiran pristop k upravljanju kmetij, ki izkorišča napredne tehnologije, kot so sistemi za določanje položaja, polavtomatsko vodenje, senzorji na robotskih sistemih in senzorji za pridobivanje podatkov, da se doseže optimalna izraba virov in hkrati izboljša produktivnost s trajnostnimi metodami (Ref. 11). V osnovi ta pristop temelji na brezhibni integraciji več ključnih tehnoloških sistemov, ki delujejo usklajeno, da kmetom omogočajo izjemen nadzor nad svojimi dejavnostmi.

Temelj natančnega kmetijstva je tehnologija **globalnega navigacijskega satelitskega sistema** (GNSS). Ti sistemi **za** določanje **položaja** so **temelj natančnih kmetijskih dejavnosti**, saj zagotavljajo natančne podatke o lokaciji kmetijskih strojev. Ta zmogljivost je neprecenljiva pri številnih kmetijskih dejavnostih, od začetne priprave tal do končne žetve. Ko se traktor premika po polju, mu tehnologija GNSS **omogoča natančno določanje položaja**, kar zagotavlja, da se dejavnosti, kot so **setev, gnojenje in ukrepi za zaščito pridelka**, izvajajo z izjemno natančnostjo. V povezavi z GNSS tehnologijo **geografski informacijski sistem (GIS) pretvarja surove podatke o lokaciji v pomembne kmetijske informacije**. Z integracijo GNSS pozicioniranja in podrobnih zmogljivosti prostorske analize GIS ustvarja sofisticirane **zemljevide polj**, ki **razkrivajo razlike v stanju tal, zdravju pridelkov** in drugih ključnih kmetijskih parametrov.

Te podrobne vizualizacije omogočajo kmetom, da identificirajo posamezna območja na svojih poljih, ki zahtevajo posebno pozornost ali drugačen pristop k upravljanju. Razumevanje teh temeljnih tehnologij – GNSS in GIS – ustvarja potrebno podlago za raziskovanje **naprednejših programskih sistemov za natančno kmetijstvo**. Ti vključujejo sofisticirane satelitske navigacijske sisteme, ki avtomatizirajo delovanje strojev, tehnologije spremenljive stopnje odmerjanja, ki prilagajajo uporabo vložkov glede na razmere na polju, in **sisteme ISOBUS** (ISO 11783), ki omogočajo nemoteno komunikacijo med različnimi kmetijskimi stroji in priključki. Integracija teh treh ključnih tehnologij – GNSS, GIS in ISOBUS – ustvarja močan okvir za upravljanje kmetijstva. Ta enotni sistem kmetom omogoča izvajanje kmetijskih dejavnosti z doslej nedosegljivo natančnostjo, kar znatno zmanjša odpadke in operativne stroške ter hkrati zmanjša vpliv na okolje. Ker se svetovno kmetijstvo sooča z vse večjimi izzivi zaradi podnebnih sprememb,



pomanjkanja virov in naraščajočega povpraševanja po hrani, ta orodja za natančno kmetijstvo niso le koristna, ampak so nujna za trajnostno kmetijsko proizvodnjo.

Razumevanje globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (GNSS)

Globalni navigacijski sistemi, skupaj znani kot GNSS (Global Navigation Satellite System), izvirajo iz vojaške tehnologije, ki so jo razvile Združene države Amerike.. Kar se je začelo kot sistem **Navastar**, se je razvilo v več globalnih navigacijskih omrežij, ki jih upravljajo različne države ali subjekti:

1. **GPS (Global Position System)**: ta **sistem Združenih držav Amerike**, ki deluje od leta 1995, ostaja najbolj razširjena mreža za določanje položaja na svetu;
2. **GALILEO**: prispevek **Evropske** unije k globalni navigaciji, deluje od leta 2016;
3. **GLONASS**: ruski globalni satelitski navigacijski sistem;
4. **BEIDOU**: kitajski satelitski navigacijski sistem.

Glede na svojo široko uporabo je sistem GPS odličen model za razumevanje delovanja teh sistemov za določanje položaja. GPS deluje prek **usklajenega sodelovanja** treh različnih segmentov:

- **prostorski segment;**
- **kontrolni segment;**
- **uporabniški segment.**

Ti segmenti delujejo v neprekinjeni harmoniji in izmenjujejo podatke v skrbno usklajenem procesu. Prostorski segment **prejema informacije iz kontrolnega segmenta, meri časovne podatke in prenaša signale za določanje položaja v uporabniški segment**. Ta zapleten ples podatkov temelji na sofisticiranih matematičnih modelih, ki s pomočjo skrbne kalibracije kontrolnega segmenta izračunajo natančne položaje in hitrosti satelitov. Kontrolni segment sestavlja šest strateško nameščenih postaj vzdolž ekvatorialnega pasu Zemlje. Te postaje imajo dve ključni funkciji: **analizirajo položaje satelitov in vzdržujejo varnostne kopije podatkov**. Ko sateliti preletijo nad njimi, postaje izmerijo več ključnih parametrov:

- **hitrost satelita;**
- **vzorke trajektorije;**
- **višina orbite;**
- **dodatne pomembne meritve.**

Te meritve se obdelujejo s pomočjo sofisticiranih matematičnih modelov na vsaki postaji. Uporabniški segment obsega vso opremo, ki je sposobna sprejemati, shranjevati in obdelovati GPS signale. Ti signali vsebujejo dva temeljna elementa: kodo in fazo. Koda se kaže kot prepoznavni kvadratni val, medtem ko se faza kaže kot sinusni val. Sateliti prenašajo te signale prek dveh nosilnih frekvenc, označenih z L1 in L2, vsaka z različnimi valovnimi dolžinami.



Posamezni sateliti ustvarjajo edinstvene kode, ki omogočajo določanje položaja z **natančnostjo 5–10 metrov**. **GPS določi položaj z merjenjem časa prenosa bitnih zaporedij, poslanih s satelitov na Zemljo.**

Ta proces zahteva natančno sinhronizacijo med dvema atomskima urama – eno na satelitu in drugo v sprejemniku. Ker pa je opremljanje GPS-sprejemnikov z atomskimi urami nepraktično, se izračuni časa opirajo na matematične obdelovalne sisteme. Dodatne analize in pretvorbe koordinat nato prinesejo končni položaj. Meritve faze ponujajo alternativno metodo za določanje položaja, vendar zahtevajo različne pristope obdelave zaradi negotovosti pri izračunu števila ciklov med sateliti in sprejemniki. **Natančnost določanja položaja je odvisna** od več dejavnikov, vključno s **značilnostmi sprejemnika** (trajanje merjenja in metoda zaznavanja) in **geometrijo satelita**. V aplikacijah natančnega kmetijstva, kjer GPS spremlja premično opremo, vgrajene omejitve sistema pomenijo, da noben sprejemnik ne more doseči natančnosti, ki bi bila boljša od 5–10 metrov brez popravka. Kmetje lahko natančnost izboljšajo z diferencialnimi in nediferencialnimi korekcijskimi tehnikami, ki pomagajo zmanjšati te napake pri določanju položaja. Ta sofisticiran sistem globalnega določanja položaja je spremenil sodobno kmetijstvo in omogočil natančno delo na polju in upravljanje virov, kar bi bilo še pred nekaj desetletji nemogoče.

GIS in predpisni zemljevidi

Razumevanje spremenljivosti tal predstavlja enega od temeljnih izzivov sodobnega kmetijstva. Kmetijska zemljišča redko ohranjajo enotne lastnosti na celotni površini; namesto tega se običajno pojavljajo znatne **razlike v razpoložljivosti hranilnih snovi** med posameznimi območji znotraj istega polja. Ta prirojena spremenljivost predstavlja kritičen izziv za kmetijsko upravljanje. Tradicionalne kmetijske metode, ki uporabljajo enotne količine gnojila na celotnem polju, ne upoštevajo te naravne spremenljivosti. Takšni pristopi neizogibno povzročajo, da nekatera območja prejemajo preveč hranil, medtem ko druga ostajajo podhranjena. Ta neučinkovitost ne le zapravlja vire, ampak lahko vodi tudi do okoljskih problemov na prekomerno gnojenih območjih, hkrati pa zmanjšuje potencialni pridelek na podhranjenih območjih. Rešitev je v sprejetju bolj natančnega pristopa k obdelavi zemlje, ki upošteva in se odziva na **heterogenost posameznih parcel**. Kmetje imajo zdaj na voljo različna sofisticirana orodja **za izdelavo podrobnih zemljevidov tal**, vključno s topografskimi meritvami, elektromagnetno indukcijo, meritvami električne prevodnosti in upornosti, analizo gama žarkov, radarjem za penetracijo tal, podatki senzorjev proizvodnje in spektroskopsko analizo (Ref. 12). Sodobni programski sistemi so revolucionirali ta proces kartiranja **z ustvarjanjem celovitih zemljevidov terena in povezanih podatkov, ki so bistveni za načrtovanje natančnih kmetijskih dejavnosti**. V središču tega tehnološkega **napredka je geografski informacijski sistem (GIS)**. GIS se uporablja v številnih sektorjih, vendar se je njegova uporaba v kmetijstvu v zadnjih letih znatno povečala. GIS deluje kot integriran sistem, ki **zbira, shranjuje in obdeluje prostorske podatke**, kar omogoča sofisticirano analizo, preoblikovanje in vizualizacijo kmetijskih pokrajin (Ref. 13). Sistem temelji na georeferenčnih prostorskih slikah, ki lahko zagotovijo podrobne podatke o stanju tal na različnih globinah. **V natančnem kmetijstvu je GIS dragocen za**



ustvarjanje večplastnih digitalnih zemljevidov, ki prikazujejo hranila v tleh, vlago, stopnjo škodljivcev in pridelek. Integracija teh plasti pomaga kmetom prepoznati polja, ki potrebujejo posebno obdelavo.

Predpisni zemljevidi, ustvarjeni prek GIS, so bistveni za napredne kmetijske tehnologije, kot je Variable Rate Technology – Tehnologija variabilne aplikacije (VRT), saj omogoča natančno načrtovanje, ki vodi do:

- **Optimizirane rabe virov in boljšega gospodarski donos;**
- **večjo okoljsko trajnost;**
- **zmanjšano uporabo pesticidov;**
- **učinkovitejšo uporabo gnojil.**



Slika 1 : Digitalni zemljevid polja

Satelitski navigacijski sistemi v natančnem kmetijstvu

Sodobno natančno kmetijstvo se v veliki meri opira na **satelitske navigacijske sisteme**, da doseže **izjemno natančnost pri delu na polju**. Ti sistemi omogočajo upravljavcem kmetijskih strojev, da **med različnimi kmetijskimi opravili**, od začetne priprave tal do končne žetve, ohranjajo **natančne vzporedne poti**. Ta natančnost se izkaže za neprecenljivo pri vseh kmetijskih opravilih, vključno z **obdelavo tal, setvijo, uporabo gnojil, ukrepi za zaščito pridelka in žetvijo**. Glavna prednost satelitskega vodenja je v njegovi **sposobnosti, da zmanjša prekrivanje prehodov in odpravi vrzeli v pokritosti polja**. Ta natančnost prinaša pomembne **koristi tako v gospodarskem kot v okoljskem smislu**. Z zmanjšanjem prekrivanja kmetje dosežejo znatno **zmanjšanje porabe goriva**, zmanjšajo uporabo kmetijskih

vložkov in zmanjšajo obrabo opreme.

Dodatne prednosti vključujejo **zmanjšano utrjevanje tal** in možnost nadaljevanja dela tudi v slabih vidnih razmerah, kot so prah, megla ali tema. Čeprav sedanja tehnologija ne more popolnoma odpraviti prekrivanja prehodov, so jih sodobni sistemi znatno zmanjšali. Današnji sistemi običajno **ohranjajo stopnjo prekrivanja okoli 10 %**, čeprav **se ta številka lahko**



poveča na 30 % pri delu z **nepravilnimi ali manjšimi konfiguracijami polj**. Da bi razumeli, kako delujejo ti sistemi za vodenje, je treba preučiti tri glavne vrste satelitske tehnologije za vodenje, ki so na voljo kmetom. Pomoč pri vožnji predstavlja osnovno rešitev, ki ponuja stroškovno učinkovit pristop k natančnemu vodenju. Ta sistem uporablja senzorje, nameščene na kmetijskih strojih, za določanje položaja opreme in izračun optimalnih trajektorij, ki **zmanjšujejo prekrivanje površin**.

Sistem operaterju posreduje navodila prek svetlobne vrstice ali **digitalnega zaslona**, na katerem so prikazana priporočena pot, že prevožena območja in preostala delovna območja (Ref. 14). **Polavtomatska vožnja**, znano tudi kot vzporedno vožnjo, vključuje v nadzorne sisteme vozila naprednejše tehnologije. Ta napredna konfiguracija vključuje **funkcije popravljanja poti v realnem času**, ki odpravljajo zamude, povezane z odzivnim časom operaterja, in tako zmanjšujejo napake pri pozicioniranju. Polavtomatski sistemi ponujajo dve glavni možnosti krmiljenja: **električno krmiljenje** in **hidravlično krmiljenje**. Električni krmilni sistemi uporabljajo mehanske krmilne naprave, ki odpravljajo neskladnosti, ki so običajno povezane z ročnim krmiljenjem. Naprednejši hidravlični krmilni sistemi nadomeščajo mehanske krmilne naprave z naprednimi hidravličnimi sistemi, **ki ponujajo vrhunsko zmogljivost, vendar so dražji**. Za doseganje natančnega pozicioniranja se ti navigacijski sistemi opirajo na tri glavne tehnologije popravljanja:

- **GPS (Global Positioning System)** zagotavlja osnovno pozicioniranje z natančnostjo do 30 centimetrov, čeprav se zmogljivost lahko razlikuje glede na razpoložljivost satelitov in hitrost vozila;
- **DGPS (diferencialni globalni sistem za določanje položaja)** doseže izboljšano natančnost približno 10 centimetrov z vključitvijo korekcijskih signalov iz geostacionarnih satelitov;
- **RTK (Real Time Kinematic)** predstavlja vrhunec natančnosti, saj ohranja natančnost v okviru 2 centimetrov s korekcijskimi signali, ki se prenašajo prek radijskih valov ali omrežij UMTS.

Ekonomska upravičenost satelitskih navigacijskih sistemov se razlikuje glede na velikost kmetije in vrsto dejavnosti. Ti sistemi so še posebej dragoceni za **srednje velika in velika poljedelska gospodarstva** ter **kmetijske izvajalce**. Vendar pa lahko znatna začetna naložba, zlasti za polavtomatske sisteme, predstavlja izziv za manjša kmetijska gospodarstva. Za dejavnosti, kjer bi se tradicionalni sistemi na podlagi GPS lahko izkazali za predrage, obstajajo alternativne tehnologije vodenja. Te vključujejo mehanske senzorje, optične sisteme in 3D kamere. Te cenovno dostopnejše rešitve uporabljajo obstoječe vrste pridelkov kot referenčne točke za popravke trajektorije v realnem času, kar ponuja stroškovno učinkovit pristop k natančnemu vodenju. S to sofisticirano integracijo satelitske tehnologije in kmetijskih strojev sodobno kmetijstvo dosega raven natančnosti, ki znatno izboljša tako operativno učinkovitost kot okoljsko trajnost.



Tehnologija Variabilne Aplikacije (VRT)

Tehnologija variabilne aplikacije (VRT) predstavljajo napredno rešitev za obravnavanje **naravne spremenljivosti na kmetijskih poljih**. Ti sofisticirani sistemi omogočajo kmetijskim strojem, da **samodejno** prilagajajo **aplikacijo (odmerek)** nanašanja **kmetijskih vložkov**, odzivajoč se na **specifične razmere tal in potrebe pridelkov na različnih območjih** polja. Ta natančen nadzor nad porazdelitvijo vložkov pomeni pomemben napredek v primerjavi s tradicionalnimi enotnimi metodami nanašanja. Ti vsestranski sistemi **se lahko vključijo v široko paleto kmetijske opreme**, vključno s sejalnicami, presaditvenimi stroji, škropilnicami za zatiranje škodljivcev in obdelavo, trosilniki gnojil in namakalnimi sistemi. Vendar pa učinkovita izvedba VRT zahteva celovit niz podpornih tehnologij. Sistem temelji na usklajenem delovanju več ključnih komponent: natančnih senzorjev, sofisticiranih krmilnih enot, satelitskih sprejemnikov in avtomatiziranih izvedbenih mehanizmov. V osrčju sistema, ki je običajno nameščen v kabini stroja, se nahaja centralna krmilna enota. Ta enota **v realnem času** obdeluje **vhodne podatke o različnih lokacijah na polju** in med delovanjem nenehno prilagaja pretok kmetijskih vložkov. Sistemi VRT lahko delujejo na dva različna načina: **z uporabo vnaprej pripravljenih predpisanih zemljevidov** ali **na podlagi podatkov senzorjev v realnem času** (Ref. 15). Pristop z predpisnimi kartami zahteva skrbno pripravo podrobnih kart polj, ki dokumentirajo različne lastnosti tal in zahteve pridelkov. Ta metoda je močno odvisna od natančne lokalizacije stroja, saj mora sistem nenehno povezovati trenutni položaj opreme z ustrezno cono na predpisni karti. Delujoči stroj nato spreminja svojo stopnjo porazdelitve glede na svoj položaj in zahteve, določene v predpisni karti. Za učinkovito izvajanje tega pristopa mora biti stroj opremljen z naprednimi sistemi sledenja. Polje je treba razdeliti na homogene cone, vsaka z določenimi stopnjami razporeditve. Ko se stroj premika po polju, samodejno prilagaja stopnje nanašanja vložkov med temi conami. Ta prilagoditev poteka prek aktuatorja, ki nadzira **mehanizem odpiranja** priključka ali **volumetrični nadzorni sistem**, ki se odziva na ukaze iz vgrajenega računalnika na podlagi podatkov o položaju iz satelitskega sprejemnika.

Pristop na podlagi senzorjev ponuja alternativno metodo za razporeditev spremenljivih količin. Ta sistem uporablja kazalnike, ki izhajajo iz podatkov v realnem času o lastnostih tal ali stanju pridelka, zbranih prek niza senzorjev. Optični senzorji imajo pri tem pristopu posebno pomembno vlogo. Ti senzorji neprekinjeno zbirajo podatke in jih pošiljajo obdelovalni enoti, ki nato izvedbenemu mehanizmu sporoči ustrezne stopnje nanašanja. Ker ta metoda **temelji** predvsem **na podatkih o trenutnem stanju pridelka**, lahko pogosto deluje brez potrebe po natančnem sledenju položaja (Ref. 16). Sistemi VRT so se izkazali za posebej dragocene pri več ključnih kmetijskih dejavnostih, vključno z **natančnim sejanjem** in **nanašanjem granuliranih gnojil**. S svojo sposobnostjo samodejnega prilagajanja količin glede na razmere na polju ti sistemi kmetom pomagajo **optimizirati uporabo virov** in hkrati **ohraniti produktivnost pridelka**. Ta tehnologija predstavlja pomemben korak naprej v natančnem kmetijstvu, saj kmetom omogoča, da uporabijo točno tisto, kar je potrebno, tam, kjer je potrebno, s čimer izboljšujejo tako gospodarsko učinkovitost kot tudi okoljsko trajnost.



Kartiranje proizvodnje v sodobnem kmetijstvu

Analiza podatkov je bistvena v sodobnem upravljanju kmetij, kartiranje proizvodnje pa je ključno orodje za **razumevanje uspešnosti polj** in **načrtovanje strategij**. Z zajemanjem in analiziranjem podrobnih podatkov o proizvodnji lahko kmetje prepoznajo vzorce, ocenijo sezonska nihanja in sprejemajo utemeljene odločitve. Programska oprema za natančno kmetijstvo se je razvila do te mere, da zajema podatke o pridelku v realnem času, kar kmetom omogoča merjenje donosa po posameznih območjih znotraj polj in poenostavlja upravljanje podatkov. **Kartiranje proizvodnje** kmetom pomaga razumeti **spremenljivost polj**, omogoča učinkovite tehnike natančnega kmetijstva (npr. VRT in ciljno obdelavo) in prispeva k gospodarski in okoljski trajnosti. Usklajeno je s cilji Zelenega dogovora in pobude »od vil do vilic« ter izboljšuje sledljivost proizvodov v celotni dobavni verigi. Sodobna programska oprema tudi količinsko opredeljuje proizvodnjo stranskih proizvodov, kar podpira trajnostne kmetijske prakse in načela krožnega gospodarstva. Sodobni kartografski sistemi uporabljajo napredne senzorske mreže, nameščene na žetvenih strojih, ki v realnem času zagotavljajo podatke o donosu, vlažnosti in parametrih kakovosti. Sistem z visoko natančnostjo **georeferenčno označuje podatke** z uporabo **satelitskih sprejemnikov GNSS** in **RTK-korekcije**, kar zagotavlja natančne meritve donosa in optimizirano upravljanje virov. Za zaznavanje proizvodnje se običajno uporabljajo ultrazvočni senzorji, nameščeni na žetvenem traku, čeprav se njihova namestitve razlikuje glede na tip stroja. Ti senzorji merijo pretok zrnja z dvema osnovnima metodama:

- **Merjenje udarca:** senzorji zaznavajo posamezne udarce zrnja in jih pretvarjajo v merjenje količine;
- **Merjenje prostornine:** sistemi izračunajo donos z merjenjem časa, potrebnega za zbiranje določenih količin (Ref. 17).

Pravilna kalibracija senzorjev ostaja ključna za **ohranjanje natančnosti**. Sistem mora upoštevati tudi 10–20 sekundno zamudo med košnjo pridelka in zaznavo senzorja. **Napredna programska oprema kompenzira te zamude** in druge spremenljivke, kot so **zunanje vlažne razmere**, ki lahko vplivajo na odčitke, da zagotovi natančne podatke o donosu. Da bi ponazorili to tehnologijo v praksi, upoštevajmo žetev žita, kjer se ta tehnologija široko uporablja. Sodobni kombajn meri donos skoraj vsako sekundo, pri čemer **je vsaka meritev natančno georeferencirana**. Sistem izračuna donose za posamezna območja tako, da izmerjeno proizvodnjo deli z žetvenim območjem, ki se določi s senzorji delovne širine in merjenjem hitrosti. Programska oprema za kartiranje nato generira podrobne vrednosti »**površinskega donosa**«ta za vsako točko na polju, z možnostjo pretvorbe meritev v suho snov na podlagi podatkov senzorja vlage.

S pomočjo te sofisticirane integracije senzorjev, satelitske tehnologije in obdelave podatkov kartiranje proizvodnje kmetom omogoča brezprimeren vpogled v uspešnost njihovih polj, kar omogoča natančnejše in učinkovitejše kmetijske prakse.



ISOBUS

Sodobno kmetijstvo pogosto vključuje več sofisticiranih naprav, ki delujejo usklajeno. **ISOBUS** predstavlja revolucionarni **standardizirani komunikacijski protokol**, ki omogoča učinkovito komunikacijo med različnimi kmetijskimi stroji in priključki **z uporabo skupnega jezika**. Ta mednarodni standard, uradno znan kot ISO 11783 »Traktorji in stroji za kmetijstvo in gozdarstvo – Serijsko krmiljenje in podatkovne mreže za komunikacijo«, je nastal sredi 90. let 20. stoletja kot odgovor na vse večjo kompleksnost integracije kmetijske opreme (Ref. 18). Razvoj tehnologije ISOBUS je rešil pomemben praktični izziv, s katerim so se soočali kmetje, ko je kmetijska oprema postala vse bolj digitalizirana. Pred uvedbo ISOBUS-a so upravljavci potrebovali ločene krmilne naprave za vsako elektronsko opremo v kabini traktorja, kar je ustvarjalo neurejeno in neučinkovito delovno okolje. ISOBUS je to situacijo revolucioniral z uvedbo **enotnega sistema, ki je omogočal upravljanje različnih elektronskih strojev** in priključkov prek **enega samega vmesnika**. Srce tega sistema je »univerzalni terminal«, ki služi kot **centralizirano krmilno središče** in samodejno upravlja vse signale, ki jih **med delovanjem** zaznavajo **delovni pripomočki**. To enotno krmiljenje je mogoče, če so vsi pripomočki **združljivi z ISOBUS**, kar omogoča hkratno komunikacijo med pripomočki in glavnim strojem. Ta raven integracije kmetom zagotavlja brezprimerne možnosti avtomatizacije, **hkrati pa optimizira agronomsko učinkovitost** in **okoljsko trajnost**, saj omogoča sinergijsko delovanje sistemov natančnega kmetovanja.

Sistem ISOBUS sestavljajo štiri bistvene komponente, od katerih so tri ključne za njegovo delovanje:

- **ECU** (elektronska krmilna enota) **orodje** upravlja posamezne priključke;
- **ECU traktorja usklajuje** delovanje celotnega sistema;
- **Univerzalni terminal (UT)** zagotavlja vmesnik za upravljanje;
- **Joystick**, ki je sicer neobvezen, izboljša uporabnost sistema.

Fundacija za elektroniko v kmetijstvu (AEF) je vzpostavila **standardizirane funkcionalnosti** znotraj sistemov ISOBUS, skupaj s **specifično simboliko**. Ta standardizacija zagotavlja, da lahko elektronska oprema komunicira prek skupnih jezikovnih elementov, kar je ključnega pomena za kmete pri izbiri izdelkov z združljivimi funkcionalnostmi po AEF (Ref. 19).

Ključne funkcionalnosti ISOBUS vključujejo:

- **Univerzalni terminal (UT)**: omogoča centralizirano upravljanje vse opreme ali porazdeljeno upravljanje prek več terminalov;
- **Task Controller Basic (TC-BAS)**: olajša uvoz podatkov o delovni zmogljivosti iz opreme;
- **Pomožni krmilni sistemi (AUX-O in AUX-N)**: zagotavljajo dodatne možnosti krmiljenja za kompleksne naprave, pri čemer črka »O« označuje starejše sisteme, črka »-N« pa novejši;



- **Geo-based Task Controller (TC-GEO):** zajema podatke, povezane s položajem;
- **Osnovna ECU traktorja (TECU):** spremlja bistvene parametre, kot so hitrost in moč priključka;
- **Krmilnik opravil za nadzor odsekov (TC-SC):** upravlja avtomatski nadzor odsekov na podlagi GPS-pozicioniranja (Ref. 19).

Ena najbolj dragocenih lastnosti ISOBUS-a je njegova modularnost, ki kmetom omogoča, da svoje sisteme sčasoma razširijo, ko se potrebe spremenijo. Ko se komponente povežejo, posamezne **ECU-je posredujejo svoje operativne zahteve na centralni vodilni trak traktorja**. Ne glede na proizvajalca ali model, delovni stroji pošiljajo standardizirane ukaze na monitor v kabini traktorja, kar zagotavlja enotni vmesnik za upravljanje za različne tipe opreme. Ta sofisticirana integracija kmetijskih strojev prek ISOBUS predstavlja pomemben napredek v kmetijski tehnologiji, saj omogoča **učinkovitejše in natančnejše kmetijske operacije**, hkrati pa **poenostavlja** upravljanje opreme za upravljavce. Standardiziran pristop sistema zagotavlja združljivost med proizvajalci, kar kmetom olajšuje gradnjo integriranih, učinkovitih kmetijskih sistemov, ki se lahko razvijajo v skladu z njihovimi potrebami.

ENOTA 3: SIMULACIJSKI MODELI IN DSS V KMETIJSTVU

Uvod

Ta enota proučuje integracijo **simulacijskih modelov** in **sistemov za podporo odločanju (DSS)** v sodobne okvire kmetijskega upravljanja. Natančno kmetijstvo je v osnovi odvisno od sinergije med naprednimi računalniškimi tehnologijami in analizo prostorskih podatkov za optimizacijo razporeditve kmetijskih virov, povečanje produktivne učinkovitosti in zmanjšanje vplivov na okolje. V tem tehničnem okviru simulacijski modeli in DSS služijo kot bistvena računalniška orodja za analizo in napovedovanje kompleksnih kmetijskih scenarijev s statistično natančnostjo. Simulacijski modeli sistematično **ponavljajo interakcije med agronomskimi spremenljivkami, klimatskimi parametri in upravljavskimi odločitvami**, kar omogoča kvantitativno analizo njihovih učinkov na razvoj pridelka in donos. Z integracijo teh modelov s tokovi podatkov v realnem času sistemi za podporo odločanju (DSS) ustvarjajo na dokazih temelječa operativna priporočila, ki omogočajo natančno upravljanje virov, kot so namakalna voda, uporaba gnojil in ukrepi za zatiranje škodljivcev. Ti računalniški sistemi **pretvarjajo surove kmetijske podatke v uporabne informacije**, ki kmetijskim upraviteljem omogočajo izvajanje odločitev na podlagi trdnih analitičnih okvirov in hkrati spodbujajo trajnostno rabo virov.

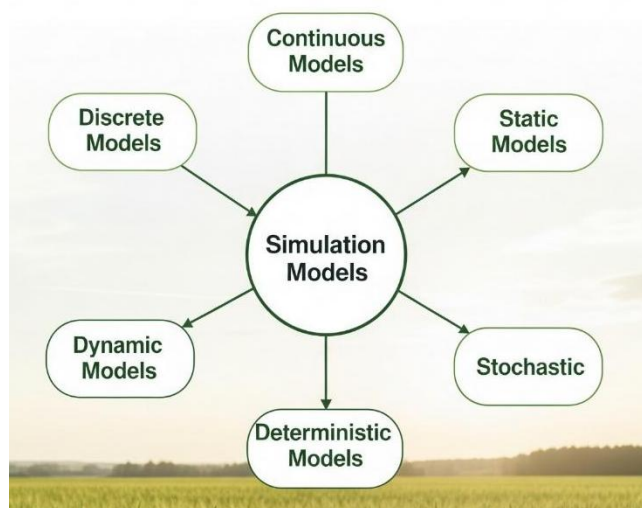
Simulacijski modeli

Simulacijski modeli kmetijskih pridelkov predstavljajo sofisticirane računalniške okvire, ki **reproducirajo fiziološke procese pridelkov** v odzivu na okoljske spremenljivke. Ti modeli



obdelujejo kompleksne okoljske vložke, vključno s toplotnimi gradienti, vlažnostjo zraka in edafskimi značilnostmi, **da simulirajo razvoj pridelkov in odzive pridelka** (Ref. 20). Integracija različnih senzorskih omrežij, ki vključujejo meteorološke sisteme za spremljanje in senzorje za analizo tal, omogoča tem modelom obdelavo večdimenzionalnih tokov podatkov, kar kmetom zagotavlja celovite analitične vpoglede. Učinkovita implementacija modela **zahteva obsežno zbiranje okoljskih podatkov**, vključno s podrobnimi fizikalno-kemijskimi lastnostmi tal, meteorološkimi parametri in potencialnimi patogenimi pritiski, ki lahko vplivajo na razvoj pridelka (Ref. 21).

Simulacijske modele v kmetijstvu lahko razvrstimo na podlagi njihovega računskega pristopa k obdelavi spremenljivk in časovne dinamike:



Slika 2 : Simulacijski modeli

Izbira in izvajanje ustreznih simulacijskih modelov zahteva skrbno upoštevanje **več dejavnikov**. Izbira modela je odvisna predvsem od posebnih analitičnih zahtev in značilnosti pridelka, ki se preučuje. **Modeli, specifični za posamezne pridelke**, ponujajo večjo **natančnost zaradi podrobne parametrizacije** za določene vrste. Izvajanje poteka po sistematičnem postopku: začetna kalibracija modela določi natančne ocene parametrov, ki jim sledijo strogi postopki validacije. Metodologije validacije vključujejo tako subjektivno oceno

strokovnjakov kot statistično validacijo z uporabo kvantitativnih indeksov.

Za ponazoritev tega okvira upoštevajte model gnojenja z dušikom. Takšen model mora vključevati **več parametrov**, da lahko natančno simulira dinamiko dušika. Ti parametri na primer vključujejo:

Tabela 2 : Primer parametrov simulacijskega modela

Parametri	Opis
Koncentracija dušika v tleh	Kvantitativna meritev razpoložljivega dušika v različnih plasteh tal
Koncentracija organske snovi (OM)	Ocena vsebnosti organskih snovi v tleh, ki vplivajo na hitrost mineralizacije dušika
Porazdelitev mineralnega dušika	Prostorska analiza dušikovih spojin v celotnem talnem profilu
Hidrološke konstante tal	Ključni parametri, vključno s poljsko kapaciteto, točko venenja in hidravlično prevodnostjo.
Izhlapevanje	Merjenje izgube vode s površine tal in vodnih teles



Temperatura zraka in tal	Nenehno spremljanje temperaturnih gradientov, ki vplivajo na biološke procese
Indeks mineralizacije	Stopnja pretvorbe organskega dušika v oblike, ki so na voljo rastlinam
Absorpcija dušika v pridelkih	Časovni vzorci absorpcije dušika pri posameznih sortah pridelkov
Absorpcija vode v pridelkih	Vzorci absorpcije vode, ki vplivajo na transport in razpoložljivost hranil

Primer uresničitve simulacijskega modela

Po pojasnitvi delovanja simulacijskega modela bomo za boljše razumevanje vloge dejavnikov pri njegovi uporabi navedli primer razvoja simulacijskega modela za glivične bolezni. Simulacijski modeli za zgodnje odkrivanje glivičnih bolezni prinašajo pomembne kmetijske koristi z **optimizacijo časovnega razporeda in zmanjšanjem uporabe pesticidov**, kar na koncu ščiti sezonske pridelke (Ref. 22). Razvojni proces se začne z jasno opredelitvijo problema, pri čemer se upoštevajo tako **gospodarski parametri** kot tudi **zahteve integriranega varstva rastlin (IPM)**. Naslednja faza vključuje izdelavo podrobnega diagrama poteka s sistemsko analizo, pri čemer se preuči vsaka faza okužbe. Ta pristop omogoča natančno opredelitev stanja sistema in identifikacijo prehodnih dejavnikov med stanji (Ref. 21). Razvoj simulacijskega modela za obvladovanje glivičnih bolezni v kmetijstvu vključuje več ključnih faz. Najprej se problem jasno opredeli z analizo biološkega cikla bolezni in ključnih spremenljivk, ki vplivajo na dinamiko okužbe, kot so okoljske razmere, stopnje okužbe in širjenje. Ta faza vključuje izdelavo podrobnih diagramov poteka, ki prikazujejo medsebojne vplive med komponentami sistema. Nato se te informacije pretvorijo v natančne matematične enačbe, ki poganjajo računalniški model in omogočajo natančne kvantitativne simulacije. **Validacija modela** vključuje primerjavo napovedi z zgodovinskimi podatki in meteorološkimi opazovanji, medtem ko preverjanje na terenu zagotavlja, da simulacije odražajo dejanske kmetijske razmere. Ko je model dokončan, se lahko uporablja kot samostojno orodje ali se vključi v bolj zapletene sisteme za podporo odločanju, kar kmetom zagotavlja dragoceno pomoč pri učinkovitem napovedovanju in obvladovanju izbruhov glivičnih bolezni, optimizaciji uporabe pesticidov in zaščiti pridelka. Vključitev v sisteme za odločanje omogoča tudi združevanje več modelov in virov podatkov, kar izboljša analitične zmogljivosti in natančnost napovedi. Ta sistematičen pristop zagotavlja bolj trajnostno in ciljno usmerjeno obvladovanje bolezni, zmanjšuje stroške in vpliv na okolje. Nazadnje, **nenehno posodabljanje in prilagajanje modela** novim podatkom in pogojem zagotavlja njegovo dolgoročno učinkovitost.



Sistem za podporo odločanju (DSS)

Zmožnosti simulacijskega modela je mogoče izboljšati z njegovo integracijo v napreden **sistem za podporo odločanju** (DSS), ki olajšuje strateško odločanje v kmetijstvu. Ti sistemi zagotavljajo bolj celovito analizo v okviru kmetijskega upravljanja in obravnavajo sodobne izzive, kot so podnebne spremembe. Kmetijski sektor je še posebej ranljiv za učinke podnebnih sprememb, kot so suše, ki se izmenjujejo z močnimi padavinami, ker poškoduje pridelke in ogroža varnost preskrbe s hrano. Okoljski izzivi vključujejo anomalije padavin, toplotni stres, povečan pritisk škodljivcev in bolezni ter ekstremne vremenske pojave.

Uvedba DSS ponuja ključne prednosti, med drugim:

- **Preventivno upravljanje:** zgodnje odkrivanje bolezni, škodljivcev in neugodnih vremenskih razmer;
- **Optimizacija virov:** natančno upravljanje gnojil, pesticidov in vode za učinkovitejšo rabo;
- **Povečana produktivnost:** usklajevanje dejavnosti s potrebami pridelkov za izboljšanje kakovosti;
- **Trajnost:** učinkovita raba virov, zmanjšanje vplivov na okolje.

Platforme DSS so še posebej koristne v programih **integriranega upravljanja škodljivcev** (IPM), saj optimizirajo uporabo pesticidov in stroške ter hkrati izboljšujejo produktivnost pridelkov, v skladu s cilji **Zelenega dogovora** in **strategijo »od vil do vilic«** v **SKP 2023–2027**. Poleg tega omogočajo natančno upravljanje gnojil, zmanjšujejo onesnaževanje vode in ozračja. Sistem DSS je še posebej pomemben za ekološko kmetijstvo, kjer so **preventivne strategije** ključnega pomena za preprečevanje bolezni in škodljivcev. Platforme DSS podpirajo to preventivno upravljanje s sistemi zgodnjega opozarjanja in integriranim spremljanjem.

Platforme DSS temeljijo na treh glavnih komponentah:

- **Znanjska baza:** formalizirano kmetijsko znanje, vključno s parametri, specifičnimi za posamezne pridelke, in modeli bolezni;
- **Inferenčni motor:** analizira vhodne podatke in daje priporočila za upravljanje;
- **Uporabniški vmesnik:** omogoča interakcijo s sistemom in predstavlja analitične rezultate na razumljiv način.

Platforme DSS združujejo več virov informacij, kot so senzorske mreže in kmetijske zbirke podatkov, ter ustvarjajo koristne vpoglede za kritične odločitve, kot so fitosanitarne obdelave.

Operativni okvir DSS sestavljajo tri faze:

- **Zbiranje podatkov:** spremljanje kritičnih spremenljivk prek senzorjev;
- **Analiza podatkov:** algoritemsko analiziranje v oblaku za prepoznavanje trendov;
- **Podpora pri odločanju:** prilagojena priporočila za optimizacijo kmetijskih dejavnosti.



Platforme DSS zagotavljajo podporo pri odločanju, ne pa predpisane rešitve, kar kmetom omogoča, da na podlagi celovite analize podatkov sprejemajo informirane odločitve. Uporaba DSS poveča učinkovitost dejavnosti, kot so namakanje, gnojenje in fitosanitarne obdelave.

Struktura DSS

Operativni okvir sistema za podporo odločanju temelji na **dinamičnem medsebojnem delovanju računalniškega sistema in kmetijskega odločevalca**. To medsebojno delovanje tvori temelj za učinkovito podporo kmetijskemu upravljanju.

Arhitektura DSS združuje dva temeljna računalniška sistema, ki delujeta skupaj:

- **Elektronska obdelava podatkov (EDP):** Ta sistem pretvarja surove kmetijske podatke v strukturirane informacije s pomočjo sofisticiranih algoritmov za obdelavo. Na primer, lahko pretvori surove meritve vlažnosti tal iz senzorjev v pomembne zahteve za namakanje.
- **Sistem za upravljanje informacij (MIS):** Ta sistem na podlagi izhodnih podatkov EDP obdeluje informacije, da ustvari uporabne referenčne točke za sprejemanje kmetijskih odločitev. Na primer, lahko pretvori obdelane podatke o vlažnosti tal v konkretna priporočila za načrtovanje namakanja.

Ti sistemi delujejo simbiotično znotraj okvira DSS, **da obdelajo potencialne scenarije odločanja**, ki so na voljo kmetijskim strokovnjakom.

Kmetijske platforme DSS lahko razdelimo v tri različne tehnološke klasifikacije na podlagi njihovih zmogljivosti strojne in programske opreme:

1. **Specifični DSS:** Ti sistemi so prilagojeni za reševanje posebnih kmetijskih izzivov posameznih kmetov. Sistem se lahko na primer osredotoča izključno na obvladovanje bolezni vinogradov v določeni geografski regiji.
2. **Generatorji DSS:** Ti predstavljajo bolj vsestranske platforme, ki so sposobne hitro ustvariti specifične aplikacije DSS za reševanje nastajajočih kmetijskih izzivov. Ponujajo fleksibilnost pri ustvarjanju prilagojenih orodij za podporo odločanju, ko se pojavijo nove potrebe upravljanja.
3. **Orodja DSS:** Ti temeljni komponenti omogočajo razvoj in izboljšanje tako specifičnih DSS kot generatorjev DSS, s čimer tvorijo tehnološko podlago za podporo odločanju v kmetijstvu.

Funkcionalna arhitektura DSS obsega pet bistvenih elementov:

1. **Rutinski paketi:** ti obsegajo optimizacijske algoritme, napisane v visokih programskih jezikih, ki omogočajo obdelavo poizvedb z izbiro ključnih besed. Sodobne implementacije vse bolj vključujejo umetno inteligenco za izboljšanje interpretacije poizvedb in rutinske izbire.
2. **Grafični vmesnik:** ta ključna komponenta pretvarja obdelane podatke v vizualno dostopne oblike, kot so grafi in diagrami, kar znatno skrajša čas, potreben za interpretacijo podatkov, v primerjavi z neobdelano numerično analizo.



3. **Sistemski multimedijski vmesnik:** ta vključuje mehanizme interakcije med človekom in računalnikom, vključno z vmesniki na dotik in sistemi glasovnih ukazov, ki omogočajo intuitivno delovanje sistema;
4. **Podatkovna baza:** služi kot repozitorij informacij, pri čemer omrežne podatkovne baze ponujajo posebne prednosti zaradi svoje zmogljivosti za podporo več modelov in lažje vključevanje v računalniško omrežje.
5. **Modelirnik:** ta komponenta ustvarja problematične scenarije in identificira potencialne rešitve z matematičnim upravljanjem informacij na podlagi pravil, kar omogoča sistematičen pristop k izzivom v kmetijstvu (Ref. 23).

Uporaba DSS v kmetijstvu

Praktična uporaba sistemov za podporo odločanju v kmetijstvu zahteva razumevanje, kako ti sistemi obdelujejo in integrirajo različne tokove podatkov, da ustvarijo smiselna priporočila za upravljanje. Da bi lahko učinkovito uporabljali DSS, morajo strokovnjaki najprej razumeti raznolike vire podatkov, na katerih temeljijo ti sistemi. Viri, iz katerih DSS črpa podatke za svetovanje kmetom, so različne narave. Segajo od modeliranja, instrumentacije do celo opazovanj na terenu. Z združevanjem podatkov iz tako raznolikih virov se zagotovi popolnejši končni rezultat. Upoštevajo se zlasti specifični modeli napovedi: v zvezi s konkretnim primerom se bodo upoštevali modeli napovedi, na primer napovedi napadov patogenov, in ne fenologija zadevne kulture. Med instrumenti pa se pogosto upoštevajo meteorološke postaje, ki lahko zagotovijo podatke o vetru, temperaturi, vlagi itd. Opazovanja kmeta so prav tako pomembni elementi za pridobitev popolnejše slike. Nadzor polja s strani upravljavca lahko zagotovi drugačne podatke od tistih, ki jih pridobijo instrumenti; tudi ti se obdelajo. Ta **integracija več virov podatkov** omogoča kmetijskim strokovnjakom, da sprejemajo **bolj utemeljene odločitve** o posegih v upravljanje pridelka, dodeljevanju virov in časovnem načrtovanju kmetijskih dejavnosti. Razumevanje teh virov podatkov in njihova integracija v okvir DSS omogoča strokovnjakom, da te sisteme učinkoviteje uporabljajo za izboljšanje rezultatov upravljanja pridelka. Sposobnost sistema, da obdeluje zapletene **tokove podatkov iz več virov** in **ustvarja praktična priporočila za upravljanje**, predstavlja pomemben napredek v tehnologiji podpore odločanju v kmetijstvu.

Uporaba za upravljanje s hranili

Kmetijska polja kažejo znatno notranjo heterogenost tako v strukturnih značilnostih kot v vzorcih porazdelitve hranil. Ta prostorska spremenljivost ustvarja zapletene izzive za upravljanje hranil, saj lahko posamezne rastline na istem polju imajo znatno različne rastne pogoje in razpoložljivost hranil. Sofisticirane zmogljivosti sodobnih DSS za upravljanje hranil obravnavajo to spremenljivost s **podporo natančnih strategij gnojenja, prilagojenih posamezni lokaciji**. Ti sistemi pomagajo kmetijskim strokovnjakom **optimizirati uporabo hranil** v heterogenih pogojih na poljih, hkrati pa povečati učinkovitost proizvodnje in zmanjšati stroške vložkov. Upravljanje dušika je primer uporabe DSS v upravljanju hranil. Ker je dušik običajno hranilo, ki ga večina pridelkov



potrebuje v največjih količinah, je njegovo upravljanje še posebej pomembno za uspeh v kmetijstvu. DSS, osredotočen na dušik, integrira več podatkovnih tokov, da ustvari celovito analizo dinamike dušika v kmetijskem sistemu. Sistem obdeluje vsebnost dušika v tleh, potrebe pridelkov po dušiku, meteorološke podatke in lastnosti tal, da modelira potencialne izgube dušika v trenutnih pogojih. Ta integrirana analiza omogoča kmetom, da sprejemajo informirane odločitve glede izbire gnojil, količine uporabe in časa (Ref. 24).



Slika 3: Natančno gnojenje z predpisnimi kartami

Naprednejše platforme DSS presegajo analizo posameznih hranil in zagotavljajo celovito podporo pri upravljanju hranil. Ti sistemi združujejo podatke o več hranilih in vsebnosti organskih snovi, kar omogoča bolj sofisticirane strategije upravljanja rodovitnosti. Takšni celoviti sistemi za upravljanje hranil (npr. za upravljanje rodovitnosti tal) so še posebej dragoceni za ekološko kmetijstvo, kjer je razumevanje kompleksnih interakcij med dinamiko organskih snovi in

razpoložljivostjo hranil bistveno za uspešno pridelavo poljščin. V ekološkem kmetijskem sistemu lahko na primer celovit DSS analizira vsebnost organskih snovi v tleh, stopnjo mineralizacije in vzorce kroženja hranil, da priporoči ustrezno uporabo organskih gnojil. Sistem bi lahko upošteval dejavnike, kot so prispevek zelenega gnojenja, dinamika kompostiranja in sezonski vzorci sproščanja hranil, ter ekološkim proizvajalcem zagotovil podrobna navodila za ohranjanje optimalne rodovitnosti tal ob upoštevanju zahtev ekološke certifikacije. Ta pristop k upravljanju hranil prek DSS omogoča strokovnjakom izvajanje natančnejših in učinkovitejših strategij gnojenja, kar na koncu podpira tako proizvodne cilje kot cilje okoljske trajnosti.

Uporaba za podporo rastlinam

Gospodarska trajnost kmetijskih dejavnosti je v osnovi odvisna od učinkovitega obvladovanja bolezni rastlin. Zdrave kulture kažejo večji potencial za doseganje vrhunskih proizvodnih standardov tako v kakovostnem kot količinskem smislu. V tem kontekstu sodobne strategije za nadzor bolezni vse bolj poudarjajo načela **integriranega varstva rastlin pred škodljivci** (IPM). IPM predstavlja sofisticiran pristop k nadzoru škodljivcev, ki združuje več tehnik upravljanja in hkrati uravnava parametre gospodarske, okoljske in socialne trajnosti. Ta metodologija daje prednost zaščiti ekosistema, ohranjanju zdravja ljudi in kmetijski donosnosti prek trajnostnih strategij nadzora škodljivcev (Ref. 25). Ključni cilji vključujejo optimizacijo učinkovitosti uporabe fitosanitarnih proizvodov, izboljšanje ekosistemskih storitev in širitev znanja kmetijskih



strokovnjakov. Natančno kmetijstvo, zlasti z uvedbo DSS, je ključni dejavnik za **napredne prakse IPM**. Sodobne platforme DSS združujejo meteorološke podatke in fenološke informacije o rastlinah, da podpirajo sofisticirane strategije za obvladovanje škodljivcev. Zmožnost analiziranja meteoroloških napovedi se izkaže za posebej dragoceno pri napovedovanju potencialnih pritiskov insektov ali patogenov. Napredni sistemi vključujejo zmožljivosti simulacije izgube pridelka, kar kmetijskim strokovnjakom omogoča oceno potencialnih gospodarskih vplivov določenih pritiskov škodljivcev na pridelavo poljščin (Ref. 24). Obstajajo DSS, ki so specifični za posamezne poljščine in zagotavljajo informacije za reševanje različnih problemov, kot so strategije obrambe in namakanje. Na primer, DSS za vinsko trto pomaga v boju proti boleznim, kot je peronospora, in škodljivcem, kot so molji, z uporabo modelov napovedovanja, terenskih raziskav in satelitskih posnetkov. Podobno DSS za tobak predlaga strategije proti patogenom za spodbujanje trajnostnega pridelovanja. Drug primer je DSS za nadzor oljčne muhe, ki združuje podatke iz modelov, instrumentov in opazovanj kmetov, ki so ključni za odkrivanje informacij, ki jih instrumenti morda ne zaznavajo. Ti sistemi pretvarjajo zapletene podatke v praktična priporočila in podpirajo učinkovitejše in trajnostno upravljanje škodljivcev z integracijo več virov podatkov in napredno analizo.

Uporaba za podporo namakanju

V sodobnem kmetijstvu je zaradi podnebnih sprememb vse pomembnejše učinkovito upravljanje z vodo. Natančno namakanje – zagotavljanje vode »kadar, kjer in kolikor je potrebno« – je ključna strategija za reševanje problema pomanjkanja vode. Sistemi za podporo odločanju pri namakanju (DSS) združujejo podatke o tleh, vlagi, rasti rastlin in vremenu, skupaj s hidravličnimi modeli in satelitskimi posnetki, da zagotovijo natančna, prilagojena priporočila, tudi za posamezne sorte. Ti sistemi kmetom pomagajo uravnotežiti produktivnost in varčevanje z vodo, s čimer spodbujajo bolj trajnostne prakse namakanja v okoljih, kjer je vse večje pomanjkanje vode.

Uporaba za podporo trgu

Sistemi za podporo odločanju (DSS) presegajo agronomsko upravljanje polj in vključujejo ključne funkcije tržnega obveščanja. V sodobnem kmetijstvu mora biti kakovost proizvodnje povezana z izpopolnjenim poznavanjem trga, da se zagotovi gospodarska trajnost. Tržno usmerjeni DSS prek sistemov tržnih informacij (MIS) zagotavljajo celovite podatke, ki premostijo vrzel med proizvodnjo in komercialnim uspehom, kar je bistveno za doseganje poštene vrednosti kmetijskih proizvodov. MIS analizirajo različne tržne podatke, kot so trenutne in prihodnje cene, dinamika veleprodaje in maloprodaje ter trendi ponudbe in povpraševanja, ter ponujajo vpogled v učinkovite tržne strategije. Ti sistemi kmetom pomagajo sprejemati informirane odločitve o pozicioniranju proizvodov, času vstopa na trg, izbiri distribucijskih kanalov, pogajanjih o cenah in strateškem upravljanju zalog. Z integracijo tržnih informacij s podatki o proizvodnji lahko proizvajalci svoje kmetijske dejavnosti učinkoviteje uskladijo s tržnimi zahtevami (Ref. 24). Ta usklajenost se izkaže za posebej pomembno v današnjem kmetijskem gospodarstvu, kjer odzivnost trga pogosto določa gospodarsko trajnost dejavnosti. Uvedba tržno usmerjenih DSS



predstavlja strateški pristop za zagotovitev, da se vrhunska kmetijska proizvodnja pretvori v ustrezno tržno vrednost. Ti sistemi pomagajo premostiti kritično vrzel med odličnostjo proizvodnje in tržnim uspehom ter podpirajo splošno gospodarsko trajnost kmetijskih dejavnosti.





ENOTA 4: DIGITALNA PLATFORMA ZA KMETIJSTVO

Uvod

Digitalne platforme spreminjajo kmetijstvo z naprednimi zmogljivostmi obdelave podatkov, ki omogočajo integrirano upravljanje virov. Omogočajo spremljanje pridelka v realnem času, optimizacijo porabe vode in gnojil ter izboljšujejo sledljivost proizvodov. Integracija senzorjev, specializirane programske opreme in sistemov za podporo odločanju omogoča natančnejše in trajnostnejše kmetijske odločitve. Avtomatizacija in uvedba umetne inteligence omogočata napredne strategije za povečanje produktivnosti in zmanjševanja odpadkov. Kmetijski sektor pa se sooča z izzivi, kot so operativna zapletenost, varnost podatkov in omejena medsebojna povezljivost platform, ki jih je treba obravnavati, da se razvijejo učinkoviti in konkurenčni digitalni sistemi.

Digitalne platforme v kmetijstvu

Digitalne platforme so temeljna sestavina kmetijsko-tehnološkega sektorja, saj kmetijskim delavcem **omogočajo racionalno, hitro in varno upravljanje podatkov**. Kmetijsko okolje ustvarja podatke iz številnih virov, vključno s traktorji, operativnimi stroji in specializirano opremo. Dodatni tokovi podatkov izvirajo iz meteoroloških senzorjev, satelitskih sistemov in davčne dokumentacije, poleg tehnologij, ki so bile raziskane v [modulu »Robotika v kmetijstvu«](#). Poleg tega kmetijski strokovnjaki prispevajo dragocene opazovalne podatke na podlagi svojih neposrednih izkušenj na terenu (Ref. 26). Ta raznolika podatkovna pokrajina zahteva **integriran sistem upravljanja, ki temelji na načelih medsebojne povezljivosti**.

Medsebojna povezljivost pomeni »zmožnost dveh ali več sistemov, da izmenjujejo in uporabljajo informacije, kar omogoča povezovanje različnih domensko specifičnih digitalnih struktur v širši delovni tok« (Ref. 27). Ta zmožnost je bistvena za integracijo različnih virov podatkov, vključno z napravami IoT, satelitskimi posnetki in programsko opremo za upravljanje kmetij. Takšna integracija omogoča nemoteno izmenjavo podatkov in hkrati podpira regulativne pobude, kot je uredba o podatkih. Vzdrževanje zanesljivih, standardiziranih podatkov je ključnega pomena za analitične procese, raziskovalne dejavnosti in zahteve glede skladnosti, pri čemer tehnološki standardi igrajo pomembno vlogo pri zagotavljanju doslednosti podatkov (Ref. 28). Platforme za upravljanje kmetijskih podjetij izboljšujejo operativno učinkovitost z integracijo sistemov za medsebojno povezljivost. Te platforme pomenijo pomemben korak k informatizaciji kmetij, saj omogočajo strokovnjakom, da združijo razpoložljive podatke in jih sistematično integrirajo z zunanjimi podatkovnimi bazami in satelitskimi posnetki. Ta celovit pristop omogoča napredno upravljanje različnih kategorij informacij, ki zajemajo finančno, agronomsko, nepremičninsko, komercialno in operativno področje. Poleg tega te platforme omogočajo avtomatizacijo določenih postopkov, vključno z izdajo certifikatov kakovosti, obdelavo dokumentacije, spremljanjem dobavne verige in sledljivostjo informacij (Chiodini, 2024). Programska oprema



obdeluje velike količine heterogenih podatkov in jih sistematizira, da ustvari takoj razumljive informacije za kmetijske strokovnjake. Operativni okvir kmetijskih digitalnih platform se osredotoča na upravljanje velikih podatkov – obsežnih podatkovnih nizov, zbranih **iz več virov**. Ti vključujejo vremenske postaje, sisteme za spremljanje okolja, zunanje mreže senzorjev za podnebje in tla, satelitske posnetke, računalniške algoritme (DSS) in specializirane nize senzorjev. Platforme vzdržujejo dvosmerno komunikacijo s sistemi za določanje položaja (kot je GPS) in instrumenti za natančno kmetijstvo, ki se uporabljajo pri fitosanitarnih ukrepih, gnojenju in namakanju. Ta **povezljivost omogoča pridobivanje in prenos podatkov** ter zagotavlja celovito podporo pri sprejemanju kmetijskih odločitev. Platforme olajšujejo tudi trženjske operacije in funkcije poslovnega upravljanja. Na podlagi integrirane analize podatkov samodejno ustvarjajo dokumentacijo o skladnosti z zakonodajo, ki je potrebna na evropski, nacionalni in regionalni ravni.

Sposobnosti teh platform za podporo trženja obdelujejo velike količine podatkov, da ustvarijo dragocene vpoglede za:

- **Predelavo kmetijskih proizvodov in trženjske dejavnosti**
- **Sisteme za sledljivost in sledenje proizvodov.**
- Izvajanje **pametnih pogodb**
- **Procesov okoljske in etične certifikacije.**

Ta celostni pristop k upravljanju in analizi podatkov omogoča kmetijskim strokovnjakom, da sprejemajo utemeljene odločitve v vseh vidikih svojega delovanja, hkrati pa ohranjajo skladnost z zakonodajo in konkurenčnost na trgu.

Prednosti digitalnih platform v kmetijstvu

Digitalne platforme v kmetijstvu izkazujejo sofisticirane **zmogljivosti medsebojne povezljivosti**, ki omogočajo **integracijo različnih kmetijskih sistemov**, hkrati pa **obdelujejo kompleksne tokove podatkov v lahko dostopne informacije za kmetovalce.**



Te platforme ponujajo več hkratnih funkcij in ustvarjajo enoten okvir, ki obsega operativno upravljanje, optimizacijo virov in zmogljivosti za podporo odločanju. Glavna funkcionalna področja vključujejo:



Slika 3 : Funkcije digitalnih platform v kmetijstvu

Nenehen razvoj kmetijskih programskih sistemov omogoča postopno vključevanje novih tehnologij, zlasti umetne inteligence, kar dodatno izboljšuje zmogljivosti platforme in operativno učinkovitost.

Upravljanje in spremljanje kmetijskih virov

Kmetijske platforme zagotavljajo integrirane zmogljivosti upravljanja in spremljanja, kar omogoča celovit nadzor virov prek digitalnih sistemov. S pomočjo **geografskih informacijskih sistemov** (GIS) te platforme pretvarjajo geoprostorske podatke v podrobne zemljevide, kar omogoča spremljanje kritičnih parametrov. **Vključevanje podatkov v realnem času iz omrežij IoT** omogoča neprekinjeno spremljanje stanja tal, mikroklimatskih sprememb in razvoja pridelkov, kar zmanjšuje potrebo po fizičnih pregledih in optimizira stroške. Poleg tega upravljanje opreme vključuje analizo zmogljivosti in načrtovanje vzdrževanja, kar je bistveno pri obsežnih dejavnostih. **Centralizirani sistemi spremljanja** omogočajo proaktivno vzdrževanje, kar zagotavlja pripravljenost opreme za natančno kmetijsko delovanje, optimizacijo uporabe virov in izboljšanje operativne učinkovitosti.

Načrtovanje in optimizacija operacij

Natančno kmetijstvo temelji na sistematičnem načrtovanju operativnih dejavnosti, podprtem z napovednimi modeli in optimizirano dodelitvijo virov. Digitalne platforme pomagajo pri teh procesih z naprednimi analitičnimi zmogljivostmi, ki omogočajo strukturirano načrtovanje ključnih dejavnosti, kot so kolobarjenje, obdelava tal, setev, tretiranje, gnojenje in upravljanje namakanja. Na podlagi zgodovinskih podatkov in napovednih modelov platforme ustvarjajo predpisane karte, ki **optimizirajo dodeljevanje virov** glede na razlike med polji. Nekatere napredne platforme vključujejo tudi avtomatizirano nadzorovanje dejavnosti s stroji, združljivimi z **ISOBUS**, kar omogoča natančno izvedbo dejavnosti na podlagi analitičnih priporočil platforme. Ta pristop **optimizira operativno učinkovitost in ohranjanje virov**.



Podpora pri odločanju

Sodobne kmetijske platforme vključujejo več sistemov za podporo odločanju (DSS) v enoten operativni okvir, kar izboljša učinkovitost upravljanja in poenostavi proces odločanja. Te platforme združujejo zapletene tokove podatkov v jasna priporočila za upravljanje. Na primer, lahko združijo modele za napovedovanje bolezni, sisteme za načrtovanje namakanja in orodja za upravljanje hranil v enoten vmesnik. Integracija poteka prek modelov napovedovanja in DSS, ki analizirajo podatke v realnem času in zgodovinske podatke, da zagotovijo kontekstualizirana priporočila. Ta pristop zmanjša kompleksnost analize podatkov in pomaga kmetom sprejemati bolj utemeljene odločitve.

Upravljanje namakanja

Platforme za upravljanje kmetijstva vse bolj vključujejo napredne funkcije natančnega namakanja prek specializiranih modulov. Te razširitve znatno izboljšujejo digitalne zmogljivosti upravljanja kmetijskih dejavnosti. Vmesnik za upravljanje namakanja omogoča celovito daljinsko spremljanje prek **mobilnih aplikacij in spletnih portalov**, pri čemer uporablja podatke iz vremenskih omrežij, predvsem iz lokalnih poljskih postaj. Če lokalnih postaj ni, se uporabijo podatki iz bližnjih **meteoroloških postaj**, čeprav so manj natančni. S sistematično integracijo sistemov za zbiranje, obdelavo in interpretacijo podatkov te platforme omogočajo sofisticirano nadzorovanje namakalne infrastrukture. **Programska oprema se neposredno povezuje z enotami za nadzor namakanja, da upravlja več komponent sistema.** To vključuje avtomatizirano nadzorovanje delovanja ventilov, zaporedja aktiviranja črpalk, cikle čiščenja filtrov za odstranjevanje sedimentov in natančno uporabo fertgacije v določenih conah (Ref. 31).

Kmetijski strokovnjaki lahko te funkcije upravljanja izvajajo prek različnih digitalnih vmesnikov, vključno z namiznimi računalniki, tablicami in pametnimi telefoni. Napredne platforme vključujejo diagnostične zmogljivosti, ki samodejno zaznavajo anomalije namakalnega sistema in opozarjajo operaterje na težave, kot so uhajanje vode, prekinitve oskrbe ali nepravilnosti v porabi. Ta celovita zmogljivost upravljanja temelji na integriranih komunikacijskih tehnologijah, vključno z **omrežji Wi-Fi, mobilnimi sistemi 4G/5G in povezljivostjo Bluetooth.** Platforme **so povezane z** namakalno opremo, ki podpira **globalni navigacijski satelitski sistem (GNSS)**, vključno z avtomatiziranimi valjčnimi sistemi in namakalnimi roboti. Uvedba teh naprednih sistemov za upravljanje namakanja omogoča znatno izboljšanje konkurenčnosti kmetijstva z izboljšanjem kakovosti in količine proizvodnje ter zagotavljanjem **optimalnega časovnega razporeda namakanja.** Sistemi kažejo znatno povečanje učinkovitosti, saj je dokumentirano **zmanjšanje porabe vode do 30 % ob ohranitvi produktivnosti pridelkov** (Ref. 30).

Upravljanje gnojenja

Sodobne digitalne platforme vključujejo **specializirane module za upravljanje gnojenja**, ki kmetijskim delavcem omogočajo **izvajanje natančnih strategij upravljanja s hranili.** Ti sistemi podpirajo racionalno uporabo gnojil z integracijo več podatkovnih tokov, da se uporaba



hranil prilagodi dejanskim potrebam pridelkov, **ob upoštevanju kritičnih dejavnikov**, kot so fenološke razvojne stopnje, meteorološke razmere in lastnosti tal.

Platforme dokazujejo vsestranskost v različnih sistemih pridelave in podpirajo upravljanje gnojenja za **tradicionalne dejavnosti na odprtem polju, sisteme fertigacije**, kmetijstvo v nadzorovanem okolju v rastlinjakih in **napredne hidroponične naprave** (Ref. 31). S pomočjo sofisticiranih analitičnih orodij ti sistemi omogočajo strokovnjakom, da razvijejo podrobne načrte gnojenja, **prilagojene posameznim pridelkom in ravnim pogojem**. Programska oprema analizira obsežne podatkovne nize, shranjene v sistemski bazi podatkov, **da ustvari natančna priporočila za upravljanje hranil**.

Ta digitalni pristop k načrtovanju gnojenja izboljša tako ekonomsko kot okoljsko učinkovitost upravljanja s hranili. Omogoča natančnejše odmerjanje, zmanjšuje stroške in zmanjšuje vplive na okolje, ki jih povzroča prekomerna uporaba gnojil. Natančno upravljanje z dušikom je še posebej pomembno za preprečevanje emisij toplogrednih plinov zaradi izhlapevanja in izpiranja nitratov, ki onesnažujejo vodo, zlasti med močnimi padavinami. S to digitalno natančnostjo lahko kmetje zagotovijo optimalno prehrano pridelkov in hkrati preprečijo okoljske probleme.

Upravljanje fitosanitarnih ukrepov

Sodobne digitalne platforme so bistveno orodje za izvajanje racionalnih strategij fitosanitarnega upravljanja. Ti sofisticirani programski sistemi vključujejo **namenske module za načrtovanje in izvajanje ukrepov**, čeprav je to zaradi več spremenljivk, ki jih je treba hkrati upoštevati, bolj zapleten izziv kot druge kmetijske dejavnosti. V okviru integriranega upravljanja škodljivcev te platforme **združujejo podatke o stanju pridelka, prisotnosti patogenov, populacijah plevela in meteoroloških razmerah**. Ta celovit pristop omogoča kmetijskim strokovnjakom, **da optimizirajo fitosanitarne posege** in hkrati dosežejo več ciljev: zmanjšanje proizvodnih stroškov, povečanje donosa in kakovosti pridelka ter zaščito biotske raznovrstnosti širšega ekosistema. V aplikacijah natančnega kmetijstva te platforme omogočajo **daljinsko upravljanje sofisticiranih tehnologij obdelave** prek integracije s stroji, opremljenimi s senzorji. Ta tehnološki okvir podpira dva osnovna pristopa k uporabi proizvodov:

1. **Ciljna distribucija:** Namesto enotne obdelave na celotnih parcelah sistem omogoča natančno uporabo le tam, kjer je to potrebno. Ta selektivni pristop znatno zmanjša porabo kemikalij, hkrati pa ohranja učinkovitost tretiranja.
2. **Uporaba na podlagi senzorjev:** Odločitve o obdelavi in stopnje uporabe se določijo s pomočjo analize podatkov senzorjev na terenu v realnem času, kar zagotavlja, da posegi ustrezajo dejanskim razmeram na terenu.

Platforme podpirajo dva glavna načina **lokalizirane distribucije proizvodov**. Prvi uporablja georeferenčno kartiranje, pri katerem se obdelave uporabljajo v skladu z predpisnimi kartami, ustvarjenimi z integracijo GIS. Drugi se opira na podatke senzorjev na terenu v realnem času, ki vodijo odločitve o uporabi. Programska oprema obdeluje **podatke iz različnih virov**, vključno s postajami za spremljanje na terenu, satelitskimi posnetki, operativnimi stroji, sondami za tla in



pastmi za spremljanje škodljivcev, dopolnjenimi z ročnimi opazovanji kmetijskih strokovnjakov. Napredne platforme dodatno zagotavljajo podporo pri skladnosti z zakonodajo, saj strokovnjake obveščajo o primernosti sredstev za obdelavo v okviru določenih proizvodnih sistemov. Ta funkcija zagotavlja, da so ukrepi v skladu z ustreznimi kmetijskimi predpisi, hkrati pa ohranja učinkovit nadzor nad škodljivci in boleznimi.

Dokumentacija in upravljanje strojev

Digitalne kmetijske platforme vključujejo administrativne funkcije za podporo skladnosti z zakonodajo, ki se po evropskih regijah razlikuje. V Umbriji morajo kmetije na primer izpolnjevati posebne zahteve v zvezi s proizvodnimi metodami in certifikati, kot so ekološko kmetovanje ali integrirana proizvodnja, da lahko dostopajo do subvencij SKP. Te platforme poenostavljajo dokumentacijo z avtomatizacijo obveznih registrov, kot so registri za fitofarmacevtska sredstva, s čimer zmanjšujejo administrativno breme in izboljšujejo natančnost. Integrirana orodja za skladnost omogočajo »pametno« upravljanje z vključitvijo dokumentacije v vsakodnevno poslovanje. Shranjujejo in spremljajo tudi certifikate, licence in poklicne kvalifikacije ter pošiljajo opozorila za nadaljšanje, da kmetom pomagajo ostati na tekočem z uredbami. Platforme upravljajo tudi osebe s spremljanjem kvalifikacij, usposabljanja in skladnosti s predpisi, kar olajšuje dodeljevanje nalog in poenostavlja upravne postopke. Na operativni strani povezava s kmetijskimi stroji z integriranimi senzorji omogoča spremljanje razmer na terenu in delovanja opreme v realnem času. Sistem zazna potrebno vzdrževanje in roke za izpolnjevanje predpisov ter pošilja opozorila za ukrepe, kot so kalibracije, s čimer zagotavlja učinkovitost, skladnost in preprečuje okvare.

Sledljivost

Sledljivost proizvodov je bistvena v sodobnih kmetijsko-živilskih sistemih. Kmetje uvajajo sisteme sledljivosti iz dveh glavnih razlogov:

- **Spremljanje procesov:** podrobna sledljivost omogoča natančne posege, ko se pojavijo težave, kar izboljša učinkovitost proizvodnje in upravljanje kakovosti.
- **Zaupanje potrošnikov:** pregledni sistemi povečujejo zaupanje potrošnikov, saj ti zahtevajo jasne informacije o poreklu proizvodov in načinih proizvodnje. Sledljivost je tudi močno tržno orodje.



Slika 4 : Tehnologijo veriženja blokov

Nekatere kmetijske platforme zdaj **vkjučujejo tehnologijo veriženja blokov**, ki zagotavlja varne in nespremenljive zapise ter zagotavlja preglednost in preverjanje v celotni dobavni verigi. Ti sistemi izboljšujejo operativno učinkovitost in konkurenčnost na trgu ter zadovoljujejo naraščajoče povpraševanje po preglednosti dobavne verige.

Omejitve digitalnih platform

Kljub pomembnemu prispevku k učinkovitosti, produktivnosti in trajnosti kmetijstva se digitalne platforme soočajo z več pomembnimi omejitvami, ki vplivajo na njihovo široko sprejetost in optimalno uporabo. Te omejitve je treba skrbno upoštevati pri uvajanju digitalnih rešitev v kmetijske dejavnosti:

Tabela 3 : Omejitve digitalnih platform

Omejitev	Opis
Omejitve medsebojne povezljivosti	Mnoge kmetijske platforme imajo omejeno združljivost z obstoječimi tehnologijami zaradi pomanjkanja standardizacije (razen ISOBUS), kar otežuje integracijo podatkov in usklajevanje sistemov ter ovira sočasno delovanje več sistemov opreme.
Omejitve dostopa do podatkov	Kmetje imajo težave pri dostopu do operativnih podatkov in njihovi izmenjavi, ker ponudniki ohranjajo lastništvo nad podatki, kar vzbuja zaskrbljenost glede nadzora in uporabe.



Zapletenost vmesnika	Vmesniki kmetijskih platform so pogosto zapleteni, zlasti za tiste z nizko digitalno pismenostjo, kar omejuje sprejemanje in koristi digitalnega upravljanja.
Gospodarske razmere	Stroški kmetijskih platform so pogosto previsoki, zlasti za majhne kmetije, saj je razmerje med stroški in koristmi ugodnejše za večje kmetije z večjimi ekonomijami obsega.
Zaskrbljenost glede varnosti podatkov	Obdelava občutljivih kmetijskih podatkov sproža skrbi glede zasebnosti in varnosti, kar vpliva na sprejemanje platform kljub predpisom, kot je GDPR.
Zahteve glede infrastrukture	Na podeželskih kmetijskih območjih je stabilna odvisnost od interneta izziv; slaba digitalna infrastruktura omejuje uporabo platform v oblaku in sistemov, ki potrebujejo posodobitve.
Vrzeli v znanju	Omejeno razumevanje zmogljivosti platforme s strani kmetov vodi do neoptimalne uporabe, kar zmanjšuje koristi digitalnih kmetijskih sistemov.
Izzivi lokalizacije	Raznolikost kmetijskih dejavnosti, zlasti v gorskih območjih, otežuje prilagajanje globalnih platform lokalnim potrebam.

Čeprav te omejitve predstavljajo pomembne izzive za izvajanje digitalnih platform, si ponudniki platform s stalnimi razvojnimi prizadevanji prizadevajo odpraviti te omejitve in izboljšati učinkovitost sistemov. Razumevanje teh omejitev omogoča kmetijskim strokovnjakom, da sprejemajo informirane odločitve o sprejetju platform, ob upoštevanju njihovega specifičnega operativnega konteksta in zahtev. Vendar je treba poudariti, da različni proizvajalci svoje izdelke nenehno razvijajo in izboljšujejo. Posledično se lahko nekatere opisane omejitve sčasoma odpravijo.

Dodatni paketi

Ponudniki digitalnih platform vse pogosteje ponujajo module, prilagojene posameznim pridelkom, običajno v obliki naročnine. Ta prilagojena orodja kmetom pomagajo pri upravljanju posebnih potreb njihovih pridelkov, saj vključujejo specifične podatke, na podlagi katerih dajejo ciljna priporočila skozi celoten pridelovalni cikel.

Paketi, prilagojeni posameznim pridelkom

Paket, prilagojen posamezni kulturi, lahko na primer vključuje podatke o analizi tal, lokalne podnebne vzorce in modele razvoja pridelka, da se oblikujejo natančna priporočila za upravljanje. Ta priporočila zajemajo **celoten proizvodni cikel**, od priprav pred setvijo do žetve. Sistem **upošteva ključne dejavnike**, kot so:



- zahteve za pripravo polja pred setvijo, specifične za posamezno poljščino;
- optimalne datume setve na podlagi lokalnih okoljskih pogojev;
- prilagojene načrte gnojenja, usklajene s potrebami pridelka po hranilih;
- ciljni protokoli za fitosanitarno spremljanje in posredovanje;
- optimizacija časa žetve na podlagi kazalnikov zrelosti pridelka.

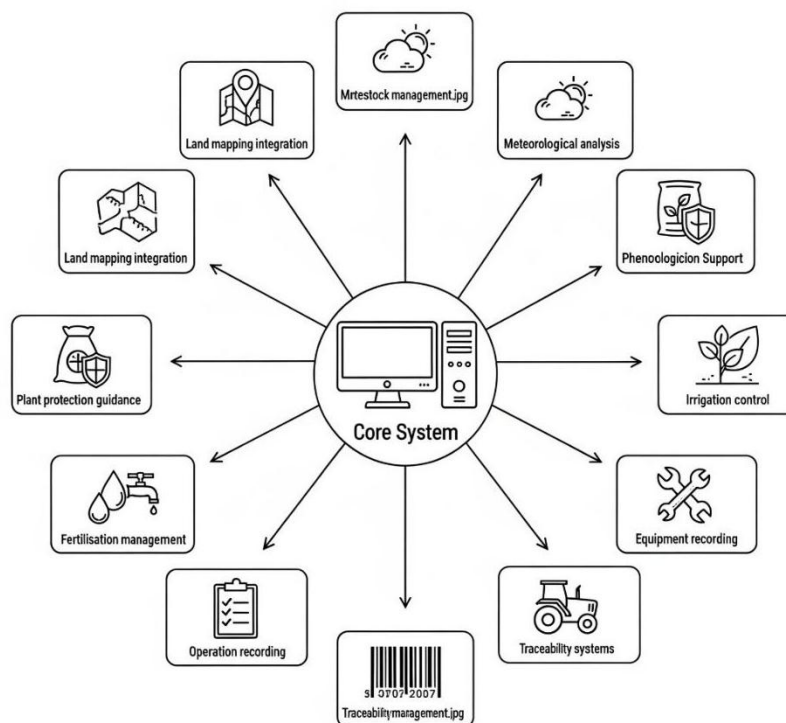
Vsak paket, prilagojen posamezni kulturi, vključuje posebne funkcije, ki upoštevajo edinstvene zahteve te kulture. Na primer, paket, namenjen vinogradništvu, lahko poudarja upravljanje krošnje in spremljanje bolezni, medtem ko se paket za žita lahko osredotoča na upravljanje dušika in optimizacijo vlage ob žetvi. S tem ciljnim pristopom imajo kmetijski strokovnjaki dostop do natančno kalibriranih orodij za upravljanje, ki so prilagojena njihovim specifičnim zahtevam glede kulture, kar omogoča učinkovitejše in uspešnejše upravljanje kulture v njihovih dejavnostih.

Paketi, namenjeni pridelavi oljk

Digitalne platforme ponujajo specializirane pakete za upravljanje oljčnega nasada, ki omogočajo celovit nadzor nad delovanjem oljčnega nasada v realnem času. Za kmetije, ki v proizvodnji oljk uporabljajo visoko zmogljive sisteme natančnega kmetovanja, so ta specializirana orodja za upravljanje postala bistvena za optimizacijo celotne verige proizvodnje oljčnega olja. Celovita platforma za pridelavo oljk običajno vključuje več integriranih funkcij upravljanja, ki zajemajo celoten proizvodni cikel. Te platforme združujejo podatke iz več virov, vključno z mrežami senzorjev, satelitskimi sistemi in meteorološkimi postajami, da zagotovijo sofisticirane analitične zmogljivosti.



Osnovne funkcionalnosti digitalne platforme, namenjene oljčarstvu, vključujejo:



Slika 5 : funkcije digitalne platforme

Ti sistemi obdelujejo obsežne podatkovne nize iz različnih virov, vključno z mrežami senzorjev, satelitskimi sistemi in meteorološkimi postajami, kar omogoča natančno upravljanje oljčnega pridelovanja s pomočjo integriranih digitalnih rešitev.

Praktične študije primerov

Uporaba za upravljanje oljčne muhe

Praktična vrednost digitalnih platform v pridelavi oljk postane še posebej očitna, ko preučimo njihovo uporabo pri **upravljanju napadov *Bactrocera oleae*** (oljačna muha). Ta pomemben škodljivec predstavlja precejšnje izzive tako za količino kot kakovost pridelka v sistemih pridelave oljk. Razumevanje biološkega cikla oljčne muhe je ključnega pomena za učinkovito upravljanje. Samica muhe odloži jajčeca v oljke, ko dosežejo ustrezno zrelost in ko postane kožica koščice prepustna. Po uspešnem oploditvi se razvijajoča ličinka hrani znotraj ploda in ustvarja tunele skozi meso oljke. Ta notranja prehranjevalna aktivnost ne le neposredno zmanjša kakovost ploda, ampak ustvarja tudi pogoje, ki spodbujajo gnitje in razvoj gliv, kar vodi do nepopravljive škode, ki vpliva na količino in kakovost olja.

Učinkovito integrirano zatiranje škodljivcev zahteva **preventivni pristop**, usmerjen v omejevanje razmnoževanja odraslih muh. Ta strategija **je** v osnovi **odvisna od celovitih**



sistemov spremljanja, ki spremljajo napredovanje okužbe in podpirajo odločitve glede zatiranja. Digitalne platforme podpirajo to spremljanje z integracijo ključnih okoljskih parametrov:

- **Meteorološke razmere:** sistem spremlja temperaturne pragove, ki vplivajo na vedenje in preživetje muh. Odrasle muhe so najbolj aktivne pri temperaturi med 24 in 28 °C in ustrezni vlažnosti, ko se povečata stopnja parjenja in okužbe. Ko pa temperatura preseže 35 °C, se stopnja umrljivosti mladičev znatno poveča.
- **Stanje razvoja plodov:** Platforma spremlja stopnjo zrelosti koščičastega sadja, da napove dovzetnost za napad škodljivcev.

Sodobne digitalne platforme združujejo te parametre z opazovanji na terenu, **da ustvarijo napovedne modele tveganja za napad**. Kmetijski strokovnjaki morajo začeti spremljanje, preden koščice postanejo dovzetne za odlaganje jajčec, pri čemer morajo združiti tehnološka spoznanja z rednimi ocenami na terenu skozi celoten cikel zorenja.

Sistem za podporo odločanju (DSS) obdeluje meteorološke podatke, opazovanja na terenu in kazalnike zrelosti plodov, da ustvari napovedi napada. Te napovedi omogočajo kmetijskim strokovnjakom, **da razvijejo ciljne strategije upravljanja in v realnem času ocenijo učinkovitost posegov**.

Uporaba za upravljanje pridelave koruze

Digitalne platforme ponujajo specializirane pakete za upravljanje **pridelave koruze**, ki obravnavajo edinstvene izzive te spomladansko-poletne žitne kulture. Medtem ko imajo mnoge žitne kulture skupne zahteve glede upravljanja, ima koruza posebne lastnosti, ki zahtevajo **posebne pristope k upravljanju**, kar jo naredi poučen primer specializiranih sistemov za upravljanje pridelave.

Kot poljska žitna kultura s spomladansko-poletnim biološkim ciklom zahteva pridelava koruze natančno upravljanje, zlasti v kritičnih fazah rasti. Pridelava se sooča z več pomembnimi izzivi:

- **Zahteve za kalitev;**
- **Upravljanje z vodo;**
- **Nadzor škodljivcev in plevela.**

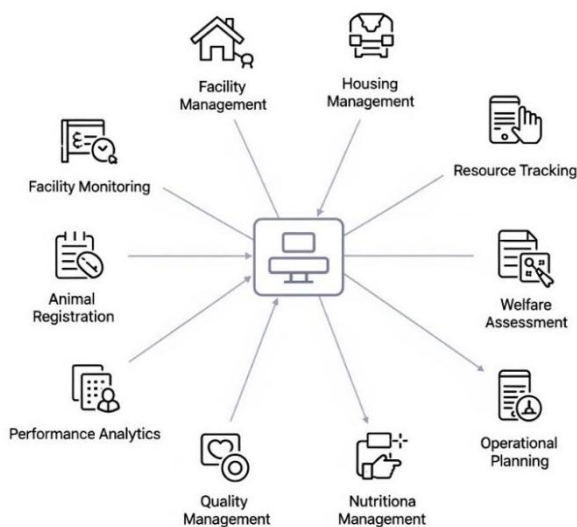
Specializirani paketi za upravljanje koruze združujejo več podatkovnih tokov za podporo trajnostnim sistemom pridelave z visokim donosom. Ti paketi ohranjajo osnovne funkcionalnosti platforme, kot so **upravljanje dokumentacije, sledenje opreme in beleženje skladnosti**, hkrati pa vključujejo analitične zmogljivosti, specifične za koruzo, ki obdelujejo podatke o okolju in pridelku. Sistem podpira okoljsko trajnostne prakse z integracijo: **modelov napovedovanja, indeksov vegetacije, ročnih opazovanj, analize pritiska škodljivcev**. Ti podatkovni tokovi vodijo natančne odločitve o: **času setve, upravljanju virov, načrtovanju namakanja**. Ta integrirani pristop omogoča strokovnjakom, da izboljšajo donos in trajnost v proizvodnji koruze.



Uporaba za upravljanje živine

Sodobne digitalne platforme segajo prek upravljanja pridelkov in vključujejo celovite **sisteme za upravljanje živinoreje**. Ti specializirani paketi obravnavajo ključne zahteve sodobnega dobrega počutja živali, vključno z **nadzorom dobrega počutja živali, zmanjšanjem vpliva na okolje, optimizacijo uspešnosti živinoreje** in **upravljanjem osebja** v vse bolj specializiranem delovnem okolju. Te platforme za upravljanje živinoreje omogočajo kmetijskim strokovnjakom, da vodijo podrobne digitalne evidence o specifikacijah objektov, značilnostih živali in delovnih strojih. Sistemi obdelujejo več tokov podatkov, da ustvarijo uporabne vpogleda v vse vidike živinoreje.

Integrirane zmogljivosti upravljanja platforme običajno vključujejo:



Slika 6 : funkcionalnosti digitalne platforme

Te funkcionalnosti se razlikujejo med posameznimi paketi proizvajalcev, vendar ostaja osnovni cilj nespremenjen: omogočiti **daljinsko digitalno upravljanje živinoreje** za izboljšanje splošne učinkovitosti hleva. S sistematično integracijo teh orodij za upravljanje lahko kmetijski delavci izvajajo natančnejše in učinkovitejše strategije upravljanja živinoreje, hkrati pa **ohranjajo visoke standarde dobrega počutja živali in kakovosti proizvodnje**.



VIRI IN LITERATURA

- Ref. 2 Evropska komisija, Digitalizacija evropskega kmetijskega sektorja, 2024, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitalisation-agriculture>;
- Ref. 3 E. Truzzi (2024), Qual è la differenza tra applicazione, software e programma, NEXTRE, <https://www.nextre.it/differenza-app-software-programma/>;
- Ref. 4 Uredba EU 2023/2854 EVROPSKEGA PARLAMENTA IN SVETA z dne 13. decembra 2023, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2854/oj/eng>;
- Ref. 5 Van der Burg, S., Wiseman, L. (2021). Zaupanje v pametno kmetijstvo: preglednost, lastništvo podatkov in moč. NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences,
- Ref. 6 K. Doolin (2024), Spodbujanje dvojnega prehoda v kmetijstvu in odpornega ekosistema inovacij – Standardi in platformizacija v središču pozornosti, Inštitut za znanost o informacijskih in komunikacijskih sistemih;
- Ref. 7 Gestione dei dati agricoli: produttività e sostenibilità, ArgoLogica (2023), [https://www.argologica.com/digital-library/gestione-dati-agricoli-produttivita-sostenibilita/#:~:text=I%20dati%20in%20agricoltura%20permettono,terreni%20o%20per%20certe%20stagioni.](https://www.argologica.com/digital-library/gestione-dati-agricoli-produttivita-sostenibilita/#:~:text=I%20dati%20in%20agricoltura%20permettono,terreni%20o%20per%20certe%20stagioni.;);
- Ref. 8 C.N. Verdouw, R.M. Robbemod, J. Wolfert (2015), ERP v kmetijstvu: izkušnje iz nizozemskega vrtnarstva, Računalniki in elektronika v kmetijstvu – zvezek 114, ELSEVIER, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.04.002>;
- Ref. 9 J. Xu, B. Gu, G. Tian (2022), Pregled tehnologije IoT v kmetijstvu, Umetna inteligenca v kmetijstvu – Zvezek 6, ELSEVIER – ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2022.01.001>;
- Ref. 10 L. Belli, L. Davoli, G. Ferrari, G. Oddi (2024), IoT v kmetijstvu: prednosti in primeri dejanske uporabe, SMART AGRICULTURE, Mercati Digitali, <https://www.agendadigitale.eu/mercati-digitali/iot-in-agricoltura-vantaggi-e-casi-duso-reali/>;
- Ref. 11 S. Martarello (2017), Internet stvari v kmetijstvu: šest primerov, Terra e Vita, <https://terraevita.edagricole.it/nova/nova-agricoltura-di-precisione/internet-of-things-agricoltura-esempi/>;
- Ref. 12 E. Barelli, E. Ocello, I. Olivieri (2024), Osservazioni su AGRICOLTURA DI PRECISIONE – Tendenze e applicazioni del Supercalcolo, Big Data e Quantum Computing, Centro Nazionale di Ricerca in HPC, Big Data and Quantum Computing, https://osservatorio.supercomputing-icsc.it/wp-content/uploads/2024/07/Report-Agricoltura-di-precisione_Osservatorio-ICSC-1.pdf;
- Ref. 13 T. Cinquemani (2024), Mappe del suolo, ecco come realizzarle da zero, AgroNotizie, <https://agronotizie.imaginetwork.com/agronomia/2024/02/23/mappe-del-suolo-ecco-come-realizzarle-da-zero/81020>;
- Ref. 14 Ghosh, P., & P. Kumpatla, S. (2022). GIS Applications in Agriculture. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.104786;
- Ref. 15 Sistemi di guida in Agricoltura, Progetto AGRICARE – Veneto Agricoltura 2017, <https://www.venetoagricoltura.org/upload/pubblicazioni/LIFE%20AGRICARE/5%20SISTEMI%20DI%20GUIDA%20IN%20AGRICOLTURA.pdf>;



- Ref. 16 C. Bisaglia (2018), *Agricoltura di precisione in Italia: un'opportunità di aggiornamento delle agrotecniche, di sviluppo professionale e di efficienza del settore*, CREA – Agriregionieuropa, <https://agriregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/53/agricoltura-di-precisione-italia-unopportunita-di-aggiornamento-delle>;
- Ref. 17 *Tecnologia a Rateo Variabile, Progetto AGRICARE – Veneto Agricoltura, 2017*, <https://www.venetoagricoltura.org/upload/pubblicazioni/LIFE%20AGRICARE/6%20TECNOLOGIA%20%20RATEO%20VARIABILE.pdf>;
- Ref. 18 A. Calcante (2021), *I sistemi per la mappatura delle produzioni*, Mondo Macchina - FederUnacoma, <https://www.mondomacchina.it/it/i-sistemi-per-la-mappatura-delle-produzioni-c3292>;
- Ref. 19 S. Marzani (2009), *ISOBUS: prednosti za uporabnike in proizvajalce kmetijskih strojev*, Agronotizie, <https://agronotizie.imaginenetwork.com/agrimeccanica/2009/06/24/isobus-vantaggi-per-utilizzatori-e-costruttori-di-macchine-agricole/7796>;
- Ref. 20 *Sistemi ISOBUS, Progetto AGRICARE – Veneto Agricoltura, 2017*, <https://www.venetoagricoltura.org/upload/pubblicazioni/LIFE%20AGRICARE/8%20SISTEMI%20ISOBUS.pdf>;
- Ref. 21 F. Chiosi (2016), *I modelli di simulazione colturali*, Agraria.org, <https://www.rivistadiagraria.org/articoli/anno-2016/i-modelli-di-simulazione-colturali/>;
- Ref. 22 *DINAMICA DI POPOLAZIONE E MODELLISTICA PER GLI ORGANISMI DANNOSI IN AGRICOLTURA, Dall'analisi dei sistemi alla correlazione dei dati*, VENETO AGRICOLTURA – Regione Veneto, 2020, <https://www.venetoagricoltura.org/wp-content/uploads/2024/03/Impaginato-VA-def.pdf>;
- Ref. 23 H. Wang (2023). *Epidemiologija in nadzor glivičnih bolezni v poljščinah*, Agronomija, 13(9), 2327. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092327>;
- Ref. 24 G. Iovane (2017), *SOLUZIONE TECNOLOGICA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI ED INFORMATION FUSION PER GRANDI MOLI DI DATI IN CONTESTO SMART CITIES: Parte II*, Università degli Studi di Palermo – ENEA, <https://www.ricercasistemaelettrico.enea.it/archivio-documenti.html?task=download.send&id=4076:soluzione-tecnologica-di-supporto-alle-decisioni-ed-information-fusion-per-grandi-moli-di-dati-in-contesto-smart-cities-parte-2&catid=153>;
- Ref. 25 S. Sridevy, M. Djanaguiraman (2023), *Pogled na sisteme za podporo odločanju v kmetijstvu*, The Pharma Innovation Journal, 12(5): 755-757, <https://agriregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/53/agricoltura-di-precisione-italia-unopportunita-di-aggiornamento-delle>;
- Ref. 26 *Upravljanje škodljivcev in pesticidov*, FAO 2017, <https://www.fao.org/pest-and-pesticide-management/ipm/integrated-pest-management/en/>;
- Ref. 27 FT. Cinquemani (2023), *Agricoltura 4.0 e interoperabilità dei dati. Facciamo il punto*, AgroNotizie – Image Line, <https://agronotizie.imaginenetwork.com/agricoltura-digitale/2023/10/06/agricoltura-40-e-interoperabilita-dei-dati-facciamo-il-punto/80027>;
- Ref. 28 M.A. Jouanjean, F. Casalini, L. Wiseman, E. Gray (2020), *Vprašanja v zvezi z upravljanjem podatkov v digitalni transformaciji kmetijstva: perspektiva kmetov*, OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, št. 146, OECD Publishing, Pariz, <http://dx.doi.org/10.1787/53ecf2ab-en>;



Ref. 29 K. Doolin (2024), *Spodbujanje dvojnega prehoda v kmetijstvu in odpornega ekosistema inovacij – Standardi in platformizacija v središču pozornosti*, Inštitut za znanost o informacijskih in komunikacijskih sistemih;

Ref. 30 G. Chiodini (2024), *INTRODUZIONE ALL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE E ALL'AGRICOLTURA 4.0*, Tečaj usposabljanja agronomov – CESAR;

Ref. 31 G. Fiorentini (2023), *Irrigazione 4.0 per un'agricoltura in rapida evoluzione*, Terra e Vita, <https://terraevita.edagricole.it/irrigazione/irrigazione-4-0-per-unagricoltura-in-rapida-evoluzione/>;

Ref. 32 R. Ciappelloni (2018), *Software gestionali sempre più user friendly*, Terra e Vita, <https://terraevita.edagricole.it/tecnica-tecnologia/software-gestionali-sempre-piu-user-friendly/>;