

INTELEKTUALNI PRODUKT 03

Analiza zdravlja useva, Senzori i Fotogrametrija

Datum: 06.2022

Naziv projekta: Pametna poljoprivreda Trening i Implementacija

Kod projekta: 2020-1-EL01-KA226-VET-094682

Akronim projekta: SATI



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Predgovor

Upotrebljene oznake i prezentacija materijala u ovom informativnom produktu ne podrazumevaju izražavanje bilo kakvog mišljenja od strane projekta u vezi sa pravnim ili razvojnim statusom bilo koje zemlje, teritorije, grada, oblasti ili njenih vlasti. Moguće pominjanje specifičnih kompanija ili proizvoda proizvođača, bez obzira da li su oni patentirani ili ne, ne znači da su oni odobreni ili preporučeni od strane partnerstva ovog projekta u odnosu na druge slične proizvode koji nisu pomenuti. Stavovi izraženi u ovom informativnom produktu su stavovi autora i ne odražavaju nužno stavove partnera. Osim ako je drugačije naznačeno, kopiranje materijala, preuzimanje i štampanje za privatne studije, istraživačke ili nastavne svrhe ili za upotrebu u nekomercijalnim proizvodima ili uslugama ni na koji način se ne podrazumeva. Potrebno je odgovarajuće priznanje projekta kao izvora i nosioca autorskih prava i da partnerstvo podržava stavove, proizvode ili usluge korisnika.

SATI © 2021

Opis intelektualnog produkta

Precizna poljoprivreda (PA) je pristup upravljanja celom farmom koristeći informacione tehnologije, podatke o satelitskom pozicioniranju (GNSS), daljinsko detekciju i prikupljanje proksimalnih podataka (doi: 10.2861/587580). Ovaj projekat ima za cilj da obezbedi kompletну platformu za obuku u najnaprednjim izazovima poljoprivrede. Predmeti su birani u skladu sa osnovnim zahtevima za agronome, stručnjake za osiguranje poljoprivrede i poljoprivrednike. Teme kao što su fotogrametrija, monitoring polja, analiza zdravlja useva i senzori, i upotreba bespilotnih vazdušnih sistema (UAS) su opisane i analizirane kao teorija i studije slučaja na pojednostavljen način kako bi se stručnjaci upoznali sa novim trendovima politike u sektoru nauke o životnoj sredini i poljoprivredi.

Ovaj dokument će predstaviti različite tipove senzora koji se koriste u poljoprivredi i procedure za izradu mape polja, kao i praćenje vremenskih i drugih fizičkih parametara sa udaljenosti. To je suštinski proces s obzirom da operater farme očekuje ove informacije kako bi doneo svoje odluke. Ovaj kurs je namenjen poljoprivrednicima i agronomima, oni će naučiti osnove korišćenja UAS-a sa odgovarajućim senzorom za procenu zdravlja njihovog uzgoja i procena prinosa.

Uvodni modul ovog kursa biće fiziologija biljaka i fotosinteza za početnike. Modul će biti razumljiv čak i neagronomima ili biologima, fokusiraće se na pripravnike sa nekoliko disciplina. Svrha je da se kurs obrati operaterima sa nenaučnim iskustvom, npr. poljoprivrednicima, ali je u ovoj fazi važno obezbediti razumljiv materijal za obuku za polaznike. Za dalje proučavanje dodatni materijal biće dostupan naprednim čitaocima. Dakle, materijal upućujemo širokoj publici i različitim ciljnim grupama.

Pored toga, u ovom dokumentu biće napravljena posebna odredba da se materijal predstavi na pojednostavljen način s obzirom na to da među polaznicima postoji proširena kognitivna pozadina. Očekuje se da će to biti najpopularniji proizvod zbog postojeće svesti potencijalnih polaznika. Biće opisane specifikacije različitih senzora i biće predstavljena naučna pozadina za upotrebu ovih senzora i analizirani standardi kao i studije slučaja / primeri najkomercijalnijih senzora. Mapiranje je krajnji cilj kursa. Partnerstvo će predstaviti i koristiti, kao studije slučaja, stvarne mape sa eksperimentalnih polja, praćene stvarnim podacima dobijenim nakon žetve. Tako će se paralelno prikazivati „tradicionalni“ način prikupljanja podataka i inovativan način predložen ovim projektom. Polaznik obuke će imati priliku da razume inovaciju i prednosti koje proizilaze za poljoprivrednike.

U vezi sa fotogrametrijom Prvo poglavje kursa biće pregled 35-godišnje istorije daljinske detekcije u poljoprivredi, evolucije od niske prostorne i vremenske rezolucije satelitskih snimaka i vazdušne fotogrametrije do naprednijih tehnologija i koncepata koji stoje iza ideja korišćenja u poljoprivredi. Drugi modul će se fokusirati na aktuelne tehnologije izdvajanja informacija iz svemirskih i vazdušnih senzora i primenu informacija u preciznoj poljoprivredi. Aplikacije zasnovane na vazdušnim multispektralnim, RGB i termalnim kamerama, LiDAR sistemima i svemirskim optičkim i radarskim senzorima, uključujući: praćenje zdravlja useva, biomasu i procenu prinosa, zone upravljanja, otkrivanje bolesti, brojanje biljaka, itd. Korišćenje fotogrametrijskih metoda za generisanje 3D rekonstrukcije reljefa terena ili krošnje, web i desktop aplikacije koje služe kao interfejsi za usluge koje se pružaju zainteresovanim stranama u poljoprivredi (npr. poljoprivrednicima, agronomima, industriji itd.) su takođe opisane u ovom poglavljju.

Materijal će pružiti jedinstvenu edukaciju polaznicima različitih profila (od farmera do naprednih korisnika) u zavisnosti šta postoji na tržištu i kako se može koristiti. Treći modul će imati za cilj da pripremi polaznike za budućnost daljinskog prikupljanja podataka i pružanja informacija. Govoriće se o trendu sinergije između satelitskih podataka sa visokom vremenskom i spektralnom rezolucijom sa podacima visoke prostorne rezolucije sa dronova i senzorskih sistema zasnovanih na terenu. Biće reči o moći tehnologija kao što su fuzija podataka,

metode veštačke inteligencije. Ovaj dokument će biti kreiran za sve tipove krajnjih korisnika sledeće generacije precizne poljoprivrede.

Pored toga, biće reči i o osnovama korišćenja bespilotnih letelica i satelitskih snimaka kao i o fotogrametriji, jer je ovo deo intelektualnog produkta, koji je više namenjen polaznicima sa iskustvom u poljoprivredi.

-Daljinska detekcija i upotreba u dobijanju indeksa vegetacije (npr. NDVI)

-Polaznici će takođe naučiti kako da „čitaju“ mape koje su produkt primene dronova, kao i kako da pripreme mapu i opravdaju različitost na terenu.

Jezici: Engleski, Grčki, Španski, Turski i Srpski

Tip produkta: Kurs / kurikulum - Pilot kurs / modul

Datum početka: (dd-mm-yyyy) 01-03-2021

Datum završetka: (dd-mm-yyyy) 30-06-2022

Verzija: 1.1

Kolofon

Sadržaj ovog kursa je zasnovan na nekoliko izvora:

- a) Materijal za učenje su razvili piloti profesionalci, akademski eksperti.
- b) Materijal za obuku je "razvijen od nule" za obim ovog projekta.
- c) Istraživački materijal je nastao od strane njihovih autora.
- d) Reference su opisane u odeljku „Dalje studiranje“ ovog kursa.

Materijali su pripremljeni kao knjiga i materijal za učenje na daljinu za platformu za e-učenje. Molimo kontaktirajte nas (upa@upa.es) ako je vaše ime slučajno izostavljeno.



Materijal za kurs je dostupan pod ovim delom i licenciran je pod generičkom licencom Creative Commons Attribution-Noncommercial 2.0.

Metodologija

Tip produkta je Kurs / kurikulum - Pilot kurs / modul. Podaci će biti prikupljeni za svaku zemlju učesnicu iz zvaničnih izvora i biće predstavljeni nedavni slučajevi.

Kopartneri će podjednako doprineti rezultatu.

MKV će doprineti prenošenjem stručnosti u tehnologiji senzora kao ključni igrač u ovoj tehnologiji u Turskoj i prisustvom na evropskom nivou. Uzimajući u obzir da su senzori i mapiranje terena dva koncepta, koja su zasnovana na nedavnim tehnološkim dostignućima i imaju striktno naučnu osnovu, partnerstvo nakon inicijalne prezentacije materijala za obuku od strane MKV-a u senzorima i mapiranju od strane Gilaba će pojednostaviti materijal za potrebe stručnog obrazovanja. Gilab će, kao što je pomenuto, pripremiti mapiranje sa glavnim komercijalnim softverom, a isti metod će se primenjivati i u ovom slučaju.

Ovaj produkt ima glavnu ulogu u prezentaciji i ukupnom prikazu projekta, takođe u svrhu širenja, jer je najčešći pogled na ono što se zove precizna poljoprivreda. Na taj način, ostali partneri će podjednako doprineti prvom zadatku prikupljanja podataka, pripremi materijala za obuku, pojednostavljinju materijala, ali i prezentaciji i diseminaciji izlaznih rezultata zainteresovanim stranama u kombinaciji sa diseminacionim videom. Ovaj zadatak će se zasnivati na kapacitetu diseminacije španskog partnera (UPA) i Spirito-a (Grčka) kao centra za obuku i iskustvu EIEO i MKV u pripremi dokumentacije za diseminaciju. Izvor podataka za pripremu rezultata biće uglavnom iz tekućeg rada partnera u preciznoj poljoprivredi (engl. *Precision Agriculture - PA*).

Gilab će preneti svoje znanje i iskustvo u PA na osnovu sistema i aplikacija koje koriste podatke prikupljane primenom udaljenih senzorima iz dva H2020 projekta i sopstvenih komercijalnih rešenja. Materijal će biti strukturiran tako da predstavlja teorijsku osnovu za tehnologije koje se koriste za prikupljanje i analizu geoprostornih podataka za PA i primere najbolje prakse. Slučajevi će biti dizajnirani da pokažu korisnost tehnologije i da nauče polaznike kako da koriste tehnologiju. Iskustvo kompanija Spirito, MKV i EIEO u obrazovanju i obuci biće ključno za usvajanje pristupa koji će biti od najveće koristi za polaznike. UPA kao sindikat malih farmera, uz bliski kontakt sa malim poljoprivrednicima, prilagođiće materijal da bude pojednostavljen i jasan za korisnike koji se smatraju značajno uskraćenim za napredne tehnologije i PA.

Uvod

PAGE 1

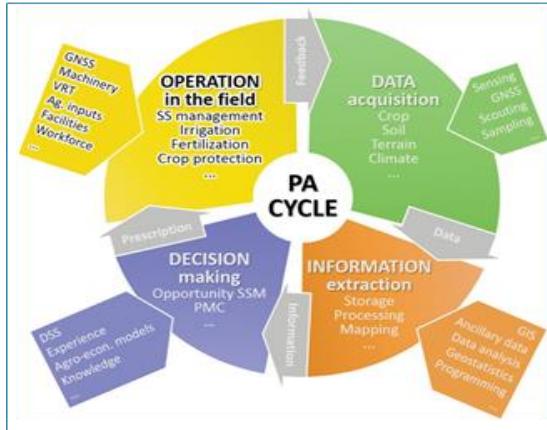
1. Uvod u Preciznu poljoprivrodu (PA - engl. Precision agriculture)

1.1. Definicija precizne poljoprivrede

Precizna poljoprivreda (PA) je upravljanje prostornom i vremenskom varijabilnosti u korišćenju poljoprivrednih inputa za povećanje ekonomskog povrata i smanjenje uticaja na životnu sredinu. Proces koji je započeo sa PA je doveo do procesa pametne poljoprivrede sa karakteristikom povezivanja sa bilo kog mesta danas, gde su se tehnike bežične komunikacije značajno razvile kao nastavak precizne poljoprivrede. Kako struktura zemljišta varira od regiona do regiona što uzrokuje prostornu varijabilnost, nijedno zemljište nema homogenu strukturu čak ni unutar sebe. Kada se proizvodno područje pažljivo ispita, lako se može uočiti da se biljke različito razvijaju unutar polja. Dakle, šta je to što stvara ove razlike unutar istog polja. Razlog za ove razlike je fizička, hemijska i biološka struktura zemljišta koja se može promeniti na svakom hektaru ili čak na svakom kvadratnom metru. Upotreba senzora i PA alata je rezultirala povećanom efikasnošću i smanjenim troškovima dostavljenim alatima za donošenje odluka koji povećavaju poljoprivrednu produktivnost.

PA koristi tehnologije zasnovane na informatičkom dobu za kreiranje preporuka specifičnih za lokaciju koje uzimaju u obzir prirodne varijacije i varijacije izazvane upravljanjem. Važno je istaći da PA tehnologije ne zamenjuju suštinsku ulogu farmera u procesu odlučivanja. Osnovne ideje iza zaštićenih područja sastoje se od poboljšanih upravljačkih odluka, viših prinosa i smanjenih poljoprivrednih uticaja. PA se često definije tehnologijama, kao što su GPS (engl. *Global Positioning System*), GIS (engl. *Geographic Information Systems*), fotogrametrija i daljinska detekcija (engl. *Remote Sensing*) automatsko upravljanje, monitori prinosa i đubrivo sa promenljivom dozom. Koliko god da su ove tehnologije važne, ljudski proces donošenja odluka ključni sastojak uspeha PA (Fulton, 2018; Griffin et al., 2018).

Faze uspešne implementacije PA su date na slici 1. Prva se sastoje u prikupljanju što više podataka o usevu, zemljištu, terenu i životnoj sredini. Izlaz u ovoj fazi su podaci koji se obrađuju tokom faze ekstrakcije informacija. Kada se podaci pretvore u informacije, vreme je za donošenje upravljačkih odluka. Rezultat u ovoj fazi su recepti koje treba primeniti u poslednjoj fazi. Strelice oko ciklusa su mogući ulazi potrebni u svakoj fazi. Kada su informacije i recepti prikazani kao mape i ciklus traje nekoliko dana da se završi, to je slučaj takozvanog PA zasnovanog na mapi. Nezavisno je od razumevanja koje vrste informacija će omogućiti bolje donošenje odluka i pronalaženje isplativih načina za prikupljanje prostorno referenciranih informacija i njihovo korišćenje za poboljšanje korišćenja zemljišta i odluka o upravljanju zemljištem u okviru farme. Neki generalizovani koraci u usvajanju PA za različite ciljeve upravljanja prikazani su na slici 2.



Slika 1. Faze uspešne implementacije PAagriculture
(www.newaginternational.com)

Cilj	Kako mogu da se koriste PA alati i tehnike
1 Optimizacija prosečnog upravljanja usevom i povećanje efikasnosti poljoprivrede	GPS lokacija i snimanje za izviđanje useva i uzorkovanje zemljišta, i jednostavno eksperimentisanje na polju (npr. nove sorte ili pesticidi). Navođenje vozila i automatsko upravljanje za povećanje efikasnosti (npr. smanjeno preklapanje), uspostavljanje kontrolisanog saobraćaja, sejanje u međuredove, zaštićeno prskanje itd.
2 Određivanje lokacije i veličine prostorne i sezonske varijabilnosti	GPS povezan sa monitorima količine/kvaliteta prinosa i senzorima zemljišta, georeferenciranim podacima dobijenim na daljinu, koji se koriste za razvoj mapa varijabilnosti. Mape bruto marže su pripremljene na osnovu prinosa i kvaliteta. Mape se mogu poređiti po godišnjim dobima i usevima da bi se identifikovala područja stabilnog relativnog prinosa ili margine.
3 Određivanje uzoraka prostorne varijabilnosti i optimalni odgovor upravljanja	Kombinovanje nekoliko sezona slojeva podataka o zaštićenim područjima da bi se identifikovali verovatni uzročni faktori, nakon čega slede ciljana terenska istraživanja (npr. uzorkovanje profila tla). Korišćenje klimatskih podataka sa modelima useva i finansijskim modelima kako bi se testirali alternativni odgovore menadžmenta (npr. izbegavajte, smanjite unose, uzbujajte tolerantne useve ili poboljšajte)
4 Optimizacija proizvodnog inputa: odnos proizvodnje za količinu i kvalitet zrna. Maksimiziranje bruto marže i minimiziranje ekološkog otiska.	Korišćenje slojeva podataka PA kako bi se razgraničile zone upravljanja na polju ili farmi, korišćenje tih podataka za zasnivanje odluka o usevu (npr. tip i sorta) i priprema ulaznih aplikacija za VRT koristeći kontrolere promenljive brzine. Korišćenje monitora prinosa i finansijske analize da se proveri rezultat i podupre dalje prilagođivo upravljanje.
4 Poboljšanje kontrole kvaliteta zrna i marketing proizvoda	Primena GPS sa monitorima kvaliteta zrna i alatima za agregaciju da bi se ispunili zahtevi kvaliteta i postigle premije u ceni. Elektronsko označavanje informacija o operacijama na terenu i utovarima žitarica i preuzimanje u sisteme upravljanja životnom sredinom, pruža podatke koji podržavaju marketing i kontrolu/osiguranje kvaliteta
5 Povećanje eksperimente/probne aktivnosti na farmi	Primena PA mape za dizajniranje ispitivanja na farmi, sa GPS-om koji omogućava precizan raspored i monitore prinosa za beleženje rezultata

Slika 2 Generalizovani koraci u usvajanju PA za različite ciljeve upravljanja (Leonard i Philip, 2006.)

Tehnologije za preciznu poljoprivredu

Da bi se informacije prikupljale i efikasno koristile, važno je da svako ko razmišlja o preciznoj poljoprivredi bude upoznat sa savremenim dostupnim tehnološkim alatima. Široka lepeza alata uključuje hardver, softver i najbolje prakse upravljanja. Oni su ukratko opisani u sledećim paragrafima.

Prijemnici Globalnog sistema pozicioniranja (GPS): sateliti Globalnog sistema pozicioniranja emituju signale koji omogućavaju GPS prijemnicima da izračunaju svoju lokaciju. Ove informacije se pružaju u realnom vremenu, što znači da se kontinuirane informacije o položaju pružaju dok su u pokretu. Posedovanje preciznih informacija o lokaciji u bilo kom trenutku omogućava da se mapiraju merenja zemljišta i useva. GPS prijemnici, koji se nose na terenu ili montiraju na uređaje, omogućavaju korisnicima da se vrate na određene lokacije kako bi tretirali ta područja.

Praćenje prinosa i mapiranje: monitori prinosa zrna kontinuirano mere i beleže protok zrna u kombajnu. Kada su povezani sa GPS prijemnikom, monitori prinosa mogu da obezbede podatke neophodne za mape prinosa. Merenje prinosa je od suštinskog značaja za donošenje zdravih upravljačkih odluka. Međutim, tlo, pejzaž i drugi faktori životne sredine takođe treba da se odvaze kada se tumači mapa prinosa. Informacije o prinisu pružaju važne povratne informacije u određivanju efekata inputa kao što su količine đubriva, seme, pesticidi uključujući obradu zemljišta i navodnjavanje. Pošto na merenje prinosa iz jedne godine mogu da utiču vremenske prilike, uvek je preporučljivo ispitati podatke o prinisu za nekoliko godina.

Daljinska detekcija: Daljinska detekcija je prikupljanje podataka sa udaljenosti. Senzori podataka mogu jednostavno biti ručni uređaji, montirani na avion ili satelit. Podaci dobijeni na daljinu pružaju alat za procenu zdravlja useva. Stres biljaka povezan sa vlagom, hranljivim materijama, sabijanjem, bolestima useva i drugim zdravstvenim problemima često se lako otkriva na slikama iznad glave. Novi senzori sa visokom spektralnom rezolucijom poboljšavaju informacije prikupljene sa satelita. Daljinska detekcija može otkriti varijabilnost tokom sezone koja utiče na prinos useva i može biti dovoljno blagovremena za donošenje upravljačkih odluka koje poboljšavaju profitabilnost tekućeg useva. Snimci daljinske detekcije mogu pomoći da se odredi lokacija i obim stresa useva. Analiza takvih slika korišćenih u tandemu sa izviđanjem može pomoći da se utvrdi uzrok određenih komponenti stresa useva. Snimci se zatim mogu koristiti za razvoj i implementaciju plana tretmana na licu mesta koji optimizuje upotrebu poljoprivrednih hemikalija.

Geografski informacioni sistemi (GIS): Geografski informacioni sistemi su računarski hardver i softver koji koriste atributе karakteristika i podatke o lokaciji za izradu mapa. Važna funkcija poljoprivrednog GIS-a je skladištenje slojeva informacija, kao što su prinosi, mape istraživanja zemljišta, podaci sa daljinskog snimanja, izveštaji o izviđanju useva i nivoi hranljivih materija u zemljištu. Geografski referencirani podaci mogu biti prikazani u GIS-u, dodajući vizuelnu perspektivu za interpretaciju. Pored skladištenja i prikaza podataka, može se koristiti za procenu alternativnog upravljanja kombinovanjem slojeva podataka da bi se proizvela analiza scenarija upravljanja.

Upravljanje informacijama: Usvajanje PA zahteva zajednički razvoj veština upravljanja i relevantnih baza podataka. Efikasno korišćenje informacija zahteva od farmera da ima jasnу predstavu o poslovnim ciljevima i ključne informacije neophodne za donošenje odluka. Efikasno upravljanje informacijama zahteva više od alata za analizu evidencije ili GIS-a.

1.1.1 Prostorna i vremenska varijabilnost

Uslov koji pokreće usvajanje precizne poljoprivrede je varijabilnost. Varijabilnost se može razdvojiti na prostornu i vremensku komponentu. Prostorna varijabilnost je varijacija u karakteristikama useva, zemljišta i životne sredine na udaljenosti i dubini. Vremenska varijabilnost je varijacija u karakteristikama useva, zemljišta i životne sredine tokom vremena. Promenljivost se može videti u prinosu, plodnosti zemljišta, sadržaju vlage, teksturi zemljišta, topografiji, snazi biljaka i populaciji štetočina.

PA ima za cilj da poboljša sposobnost uzbudjivača da upravlja u okviru varijabilnosti polja. PA pruža poljoprivrednicima alate za kvantifikaciju varijabilnosti zemljišta, terena i useva i na taj način prilagođava agronomске prakse i fino podešava aplikacije resursa kako bi bolje odgovarale ovim varijablama. Varijabilnost može biti i prostorna i vremenska.

Prostorna varijabilnost: Da li je varijacija pronađena u zemljištu, terenima i svojstvima useva širom oblasti u datom trenutku. Na primer pH zemljišta i prinos useva.

Vremenska varijabilnost: Da li je varijacija pronađena u svojstvima zemljišta i useva unutar polja pri različitim merenjima u vremenu. Na primer, razlika u mapama prinosa od jedne sezone do druge.

U okviru inicijative za zaštitu prirode razmatraju se četiri široke faze u razvoju zaštićene oblasti:

Faza 1 se odnosi na prepoznavanje da se značajna varijabilnost u prinosu i profitu javlja unutar polja i utvrđivanje da li su zone prinosa stabilne ili nestabilne između godina (godišnjih doba). Ova faza je generalno zasnovana na sopstvenom znanju uzbudjivača o parcelama, slikama biomase i prinosu.

Faza 2 se odnosi na identifikaciju osnovnih uzroka varijabilnosti prinosa.

To uključuje dubinu tla, tip zemljišta i kapacitet zadržavanja vode, hranljive materije, nadmorsknu visinu, podzemnu slanost, zbijenost, prisustvo štetočina i bolesti ili uticaj prethodnog upravljanja (npr. stare ograde, ramovi i prethodni tip useva).

Ova faza zahteva poređenje mapa zona prinosa sa drugim mapiranim podacima za parcelu, na primer iz ispitivanja tla, elektromagnetne indukcije (EM ili EMI) ili gama-radiometrijskog istraživanja, ispitivanja bolesti, fotografija iz vazduha ili podataka o konturi, nakon čega sledi terenska inspekcija i ispitivanja kako bi se utvrdili tačni uzročni faktori. Do kraja ove faze, uzbudjivači bi trebalo da znaju glavne osnovne uzroke varijabilnosti prinosa, i da li je praktično da ih direktno poboljšaju (npr. kidanje, ispravljanje nedostatka hranljivih materija, kreč), ili da promene upravljanje (npr. korišćenje tolerantnih sorti useva, smanjujući unos đubriva na površinama koje ne reaguju i povećavajući ih tamo gde postoji dobar odziv prinosa).

Faza 3 se odnosi na pitanje „da li je važno?

Drugim rečima, znajući skalu varijacije u prinosu (faza 1), osnovne uzroke i moguća rešenja (faza 2), da li je vredno preuzimati bilo šta po tom pitanju? U ovoj fazi, iskustvo uzbudjivača/savetnika i modeli useva se koriste za procenu verovatnog uticaja na prinos u različitim sezonskim uslovima i između različitih useva. Kombinovanjem rezultata sa finansijskom analizom, uzbudjivači mogu da utvrde da li je ekonomski razumno rešavati varijabilnost prinosa korišćenjem PA.

Postoji mnogo faktora koji doprinose prostornoj i vremenskoj varijabilnosti unutar polja. Neki od ovih faktora mogu uključivati:

Atribute zemljišta i teren : pH vrednosti zemljišta, tekstura, struktura i dubina, organska materija zemljišta, voda u tlu, hemija zemljišta i ograničenja tla. Neke karakteristike zemljišta, kao što je tekstura zemljišta, su veoma stabilne i veoma malo se menjaju tokom vremena. Druge karakteristike, kao što su nivoi nitrata, sadržaj vlage u zemljištu i sadržaj organske materije u tlu, mogu sadržati značajne količine prostorne i vremenske varijabilnosti. Teren se može proceniti prikupljanjem GNSS podataka o nadmorskoj visini koji se mogu koristiti za generisanje raznih derivata nadmorske visine kao što su nagib, aspekt i indeks vlažnosti.

Prakse upravljanja: Praksa useva (npr. kontrola saobraćaja u poljoprivredi) i istorija upravljanja (npr. strateški pravac poljoprivrede, plodoređ).

Faktori životne sredine: Vreme, korov, insekti i bolesti.

PA uključuje prikupljanje uzoraka zemljišta i useva kako bi se dobile informacije o ovoj varijabilnosti. Promenljivost utiče na mnoge odluke, uključujući šta, kako i kada uzorkovati. Metode uzorkovanja se razlikuju u pogledu troškova prikupljanja uzoraka i analize uzoraka. Zahtevi za učestalost uzorkovanja mogu uticati na način na koji poljoprivrednik upravlja novcem, radom i vremenom. Da bi se znalo koja se varijabilnost pripisuje tlu, potrebno je uzorkovanje tla i mapiranje. Postoji mnogo strategija za uzorkovanje tla. Pored sistematskog mrežnog uzorkovanja zemljišta, dobra praksa je ciljano uzorkovanje, koje se vrši prema površinama koje su prethodno mogle biti definisane uz pomoć karata prinosa. Treba pronaći ravnotežu između reprezentativnog broja uzoraka i njegove cene. Alternativa koja je prihvaćena je upotreba senzora tla u pokretu. Kako oni kontinuirano uzorkuju tlo, rezultat je povećanje rezolucije prostornog uzorkovanja.

Električna provodljivost (EC) je najčešće merena osobina zemljišta. Njegov interes leži u tome što je EC obično u dobroj korelaciji sa svojstvima zemljišta kao što su tekstura (glina), sadržaj vlage ili salinitet. Pošto ove osobine utiču na potencijal prinosa, informacije koje daju senzori tla mogu se zatim prikazati u obliku odgovarajućih EC mapa da bi se prikazala područja koja zahtevaju različite prakse upravljanja. Štaviše, preklapanje mapa prinosa i EC omogućava bolje razumevanje onoga što se dešava na terenu i koji uzroci prostorne varijabilnosti se mogu utvrditi. Dodatni podaci se dobijaju korišćenjem daljinskih senzora.

Veličina ovih faktora će uticati na stepen varijabilnosti unutar polja i na izvodljivost upravljanja tom varijabilnosti.

Karta prinosa pšenice koja prikazuje prostornu varijabilnost prinosa sa pratećim histogramom ovih podataka. Jedan od načina za početak implementacije PA je kroz mape prinosa. Mapiranje prinosa je sada izvodljivo za mnoge useve, tj. žitarice, krmne kulture, vinograde i neke hortikulturne useve. Poljoprivrednici mogu da prikupljaju podatke o prinisu tokom žetve i da ih koriste za kreiranje mapa prinosa kao alata za analizu prostorne varijabilnosti svojih parcela. Postoji niz softvera za kreiranje i vizuelizaciju karata, budući da su Geografski informacioni sistemi (GIS) ili programi zasnovani na GIS-u zanimljiva opcija za čuvanje i obradu dobijenih podataka o prinisu. Kada se dobiju karte prinosa, farmeri i savetnici moraju da pretvore te informacije u odluke upravljanja kako bi se bavili prostornom i vremenskom varijabilnosti svojih useva. Obrazac varijacije prinosa je kritičan u ovoj fazi. Kada je ovaj obrazac dobro strukturiran, različite oblasti se mogu definisati unutar dijagrama za specifične strategije upravljanja. Međutim, neophodno je poznavati uzroke takve varijabilnosti da biste doneli najbolju upravljačku odluku pre preduzimanja bilo kakve akcije. Mape prinosa pokazuju efekat brojnih parametara koji utiču na prinis useva zajedno sa posledicama upravljanja poljoprivrednim proizvođačima.

Neki inputi za proizvodnju useva mogu da variraju na osnovu mapa generisanih iz podataka

uzorkovanja prikupljenih mesecima ili čak godinama pre primene. Krečnjak koji se primenjuje za rešavanje pH varijabilnosti zemljišta je jedan primer takvog unosa. Međutim, drugi inputi kao što je N đubrenje su funkcija mineralizacije N koja zavisi od temperature zemljišta i sadržaja vlage koji se brzo menjaju. Ako se karakteristika tla brzo menja, logično je koristiti opremu koja oseća i reaguje na ovu varijabilnost u „realnom vremenu“. Pristupi upravljanja celim poljem zanemaruju varijabilnost u karakteristikama zeljišta i nastoje da primene inpute za proizvodnju useva na jedinstven način. U stvari, ne tako davno, farmeri su smatrali kontrolere aplikacija koji su im omogućavali da održavaju stalne stope primene širom polja kao „najsavremenije“. Aplikacije sa konstantnom brzinom su se često zasnivale na informacijama o celom terenu.

Upravljanje varijabilnosti:

Identifikujte i izmerite varijabilnost, kvantifikujte varijabilnost i na prostornoj i na vremenskoj skali. Istražite uzrok varijabilnosti. Procenite strategije za optimizaciju upravljanja varijabilnosti.

Kombinujte i uporedite slojeve podataka gde je to prikladno. Na primer:

- Proceniti vremensku varijabilnost polja upoređivanjem podataka o prinosu tokom nekoliko godina; i,
- Ispitati prostornu varijabilnost polja upoređivanjem odgovarajućih visinskih derivata sa podacima o prinosu da bi se odredio uticaj terena na prinos.

Generalno, poučnije je uporediti podatke o prinosu iz iste vegetacijske sezone (tj. karte zimskog prinsa sa drugim kartama zimskih prinsa i letnje karte prinsa sa drugim kartama letnjih prinsa). Sezonska varijabilnost može imati pomoćni efekat na uzastopne useve.

Kritički procenite agronomске prakse:

- Da li se pritisci korova, bolesti i štetočina mogu smanjiti alternativnim strategijama upravljanja?
- Da li su ciljevi prinsa i kvaliteta u skladu sa trenutnim unosima đubriva?

Identifikovanje razloga za uočenu varijabilnost omogućiće razmatranje odgovarajućih opcija upravljanja. Ove opcije će biti specifične za resurse i ciljeve pojedinca i moraju biti izbalansirane u odnosu na sve ekološke aspekte. Ekonomija je jedan od najvažnijih faktora koji utiču na prelazak sa upravljanja usevima na celom polju na upravljanje usevom specifično za lokaciju.

PA može uticati i na troškove inputa i na prihod od proizvodnje useva:

- Povećanje prinsa sa istim nivoom inputa, jednostavno preraspodela
- Ciljanje inputa tamo gde su potrebni
- Poboljšanje kvaliteta useva

Postizanje ovih ciljeva zahteva da poljoprivrednik identificuje odgovarajuće ciljeve i strategije.

Ozbiljna pitanja na koja farmeri treba da odgovore pre nego što usvoje preciznu poljoprivredu uključuju:

- Kako se karakteristike useva, zemljišta i životne sredine razlikuju prostorno i vremenski?
- Da li ova varijacija utiče na prinos useva i/ili kvalitet useva?
- Može li se ovom varijabilnosti upravljati profitabilno?

- Koji su kratkoročni i dugoročni ciljevi?
- Da li imam resurse za implementaciju PA?

1.1.2. Primene: povrtarske kulture, ratarske kulture, vinogradarstvo (studija slučaja)

Fuzija podataka i primena promenljive stope na polju kukuruza za navodnjavanje u Turskoj (studija slučaja)

- Kombajn (Nev Holland, CKS840) sa mapiranjem prinosa ssiem je korišćen od 2006. do 2016. godine.
- Uzorkovanje tla je obavljeno na udaljenosti uzorkovanja od 50m pomoću GNSS-a.
- Uzorkovanje biljaka je urađeno u skladu sa georeferenciranjem.
- EC (Electrical Conductiviti) EMI - 38 Skeniranje je obavljeno i EC-a karte su kreirane u različitim sezonomama rasta.
- Snimci daljinske detekcije (Astel) snimljene 2007, 2008, 2009.
- Izvršena je adaptacija VRT-a na mašineriju za đubrivo domaće proizvodnje

U ovoj studiji korišćene su promenljive količine fosfora i azotnog đubriva. Dok su ove studije bile sprovedene, aplikacije su započete nakon što je površina od 27 hektara bila rezervisana za uporednu studiju istovremenih aplikacija poljoprivrednika i aplikacija sa promenljivom dozom nakon istraživanja i studija uzorkovanja zemljišta u ovoj oblasti. Mape primene fosfora pripremljene na osnovu rezultata analize dobijenih iz uzoraka zemljišta uzetih tehnikom uzorkovanja rešetkom primenjene su na istraživano područje (slika 3). 5 različitih doza za primenu pojavilo se u oblasti istraživanja (tamno plava je zanemarljiva). U eksperimentalnim blokovima kreiranim u studiji modifikovan je električnim aktuatorima i korišćen zajedno sa sistemima upravljanja sejalice sa skladištem đubriva (slika 4). U vreme setve, doza đubriva se ostavlja u zoni boje sejalice. Dve glavne varijabilne doze za primenu su dobole na težini u studiji (Slika 3). U oblastima rezervisanim za farmera, farmer je slobodno obavljao sopstvenu praksu. Na ovim prostorima nije bilo intervencija. Kao izvor fosfornog đubriva u đubrenju korišćeno je trostruko superfosfatno đubrivo. Kao rezultat primene fosfora sa promenljivom dozom, količina fosfornog đubriva primenjena na površinu primene je ostvarena sa 40% manje đubriva u poređenju sa poljoprivrednim aplikacijama. Za primenu zasnovanu na senzoru, multispektralni proksimativni senzor je montiran na traktor da bi se odredio N status useva kukuruza koji varira po polju merenjem refleksije od krošnji useva na oko 40 ha polja kukuruza u regionu Čukurova. N-senzor je montiran na traktor na visini od 2,8 metara i detektuje razlike u refleksiji svetlosti iz izabranog opsega, pretvarajući dobijene vrednosti koje su u korelaciji sa biomasom useva ili gustinom hlorofila useva u optimalnu količinu primene koja omogućava primenu opreme sa promenljivom dozom. Da bi se odredio optimalni nivo N, kreirano je šest različitih nivoa N aplikacionih parcela na 500 m dugih i 18 redova širokih testnih parcela na terenu. Svaka parcella je skenirana senzorom i odvojeno požnjevena kombajnom koji je implementiran sa sistemom mapiranja prinosa i GNSS-om.

Utvrđeno je da je ekonomski optimalni nivo N oko 310 kg/ha za ovo polje (Turker i Gucdemir, 2018).

Polje ima tri različita nivoa upravljanja (proizvodnje) prema prethodnim kartama zemljišta i prinosa. Da bi se uskladili sa uslovima, senzor za blizinu povezan je sa modifikovanim rasipačem đubriva sa promenljivom dozom. Ova modifikovana jedinica je zatim korišćena za primenu promenljive stope N prema stvarnoj potražnji kao on-line, u režimu realnog vremena. U prvoj godini studije, 20% N je sačuvano bez ikakvog gubitka prinosa. Ova aplikacija je omogućila poljoprivredniku da u prvoj godini ima ujednačeniji rast i prinos.



Slika 3. Rasipač đubriva koji se koristi sa primenom zasnovanom na karti i prilagođen linearnim aktuatorima i primenom azotnog đubriva zasnovanog na senzorima u polju kukuruza (Turker i Gucdemir, 2018).

Da bi se izdvojile karte prinosa u ovoj studiji, korišćen je model kombajna za žito Nev Holland CKS840. Deskriptivna statistika koja se odnosi na rezultate analize zemljišta sumirana je u tabeli 1. Sve analize koje se odnose na dostupnost hranljivih materija, nivo dovoljnosti i njihov koeficijent varijacije na istraživanom području date su u tabeli. Kalijum i druge hranljive materije su utvrđene kao dovoljne na velikom delu polja. Za N i P, planirano je da se primena đubriva sa promenljivom dozom primenjuje samo za azot i fosfor. Drugi mikronutrijenti su primenjeni iz listova.

Tabela 1: Deskriptivna statistika i CV (Turker i Gucdemir, 2018).

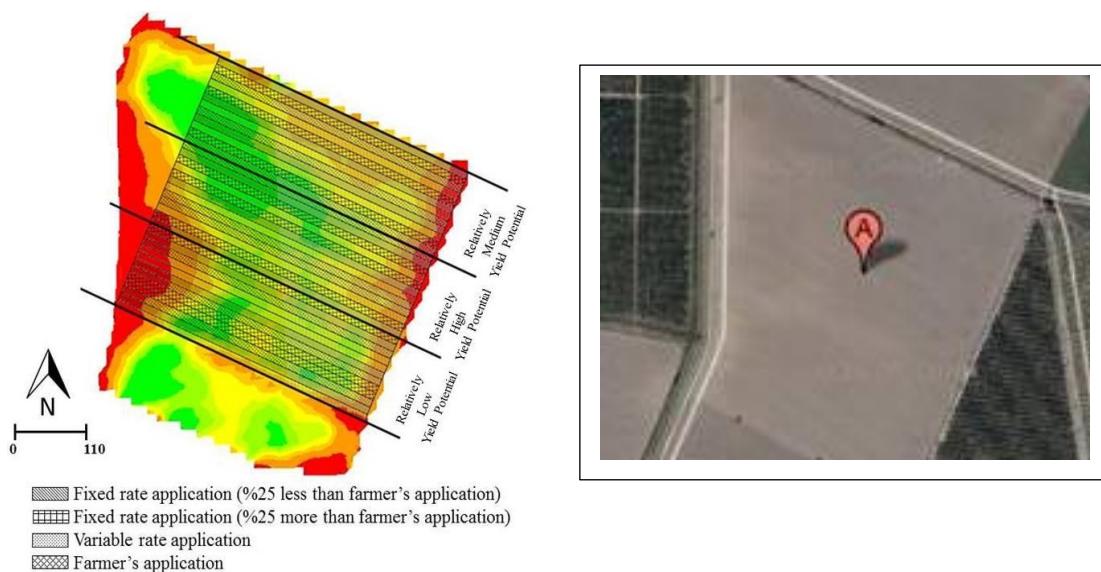
Hranljivi sastojci	Mean	Min	Max	Std	CV (%)	Variability level	Critical value range
Total Nitrogen (%)	0,1	0,03	0,15	0,025	23,1	Medium	< 1
Phosphorus (P_2O_5) (kg/da)	2,9	0,4	29	1,88	65,6	High	< 6
Potassium (K_2O) (kg/da)	72,9	11	134	27,5	37,7	High	< 30
Lime (%)	26,2	23	29	1,17	4,5	Low	1-15
Iron (Fe) (ppm)	14,3	4,85	35,9	6,13	42,8	High	< 4,5
Boron (B) (ppm)	1,3	0,38	2,35	0,43	33,9	High	< 0,2
Zink (Zn) (ppm)	0,5	0,07	6	0,96	175	High	< 0,7
Manganese (Mn) (ppm)	4,7	0,49	10,8	2,34	50	High	< 1

Dizajn eksperimenta za određivanje optimalne količine azota

Da bi se odredila optimalna količina azota u ovoj njivi kroz odnos između unosa azota i prinosa, šest nivoa azota (0; 7,5; 15; 22,5; 30; 37,5 kg/ha) - uključujući količinu primene (35 kg/ ha), sprovedeni su u 18 redova i 5,5 ari u svakoj traci. Sakupljeno je 16 srednjih redova i rezultati su procenjeni.

Prema kartama prinosa istraživanog područja postoje tri različite zone sa različitim potencijalima prinosa. Stoga, uzimajući u obzir ove različite potencijale i važnost upotrebe različitih doza azotnog đubriva zbog razlika u indeksima refleksije svetlosti i biomase, stopa azota se mora povećati ili smanjiti. Dakle, u naredne dve godine, da bi se uporedila konvencionalna i primena azota sa promenljivom dozom, eksperiment je organizovan kao randomizovani kompletan blok dizajn u četiri

tretmana i devet ponavljanja sa površinom od oko 27 ha (Slika 4).

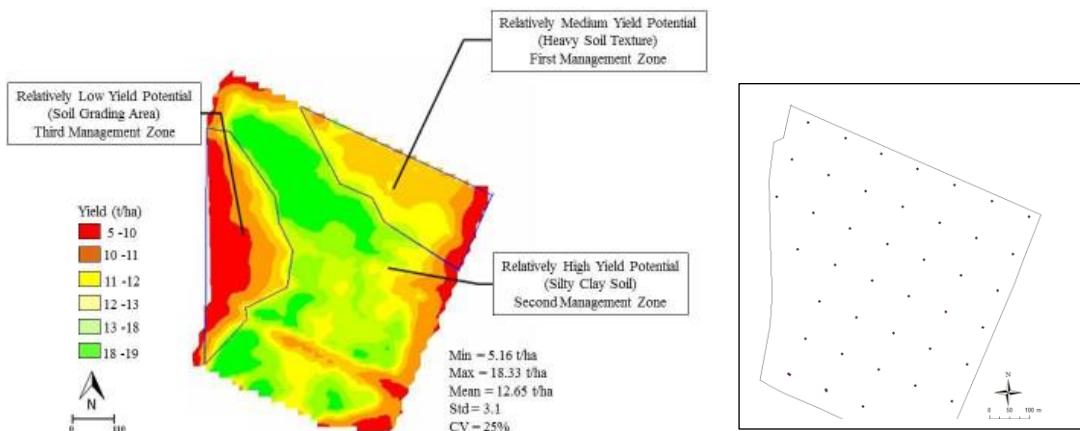


Slika 4. Primjenjeni eksperimentalni dizajn i google slika. (Napomena: Svaki blok ima 150 širine i 500 dužine i sadrži 18 redova kukuruza.). (Gucdemir i Turker, 2010).

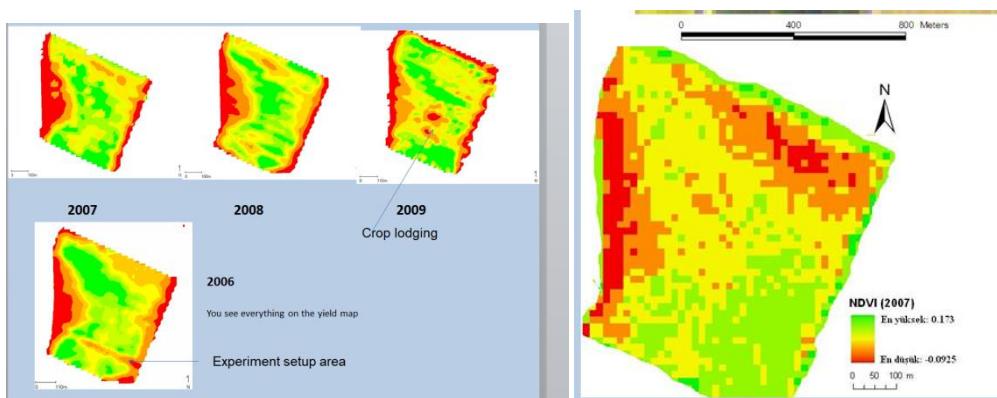
Zbog postojeće tri različite zone upravljanja, 4 doze đubriva i 9 ponavljanja su korišćeni za primenu svih stopa azota u ovim zonama (Slika 3). Da bi se postigli pouzdani rezultati, broj replikacija je povećan kada su dizajnirani eksperimentalni blokovi. Uzimajući u obzir da je blizu 75 procenata azotnog đubriva korišćenog kao azotno đubrivo u sredini sezone, mala količina azota (70 kg/ha) je primenjena ravnomerno na sve trake.

Mapiranje prinosa pre primene promenljive stope

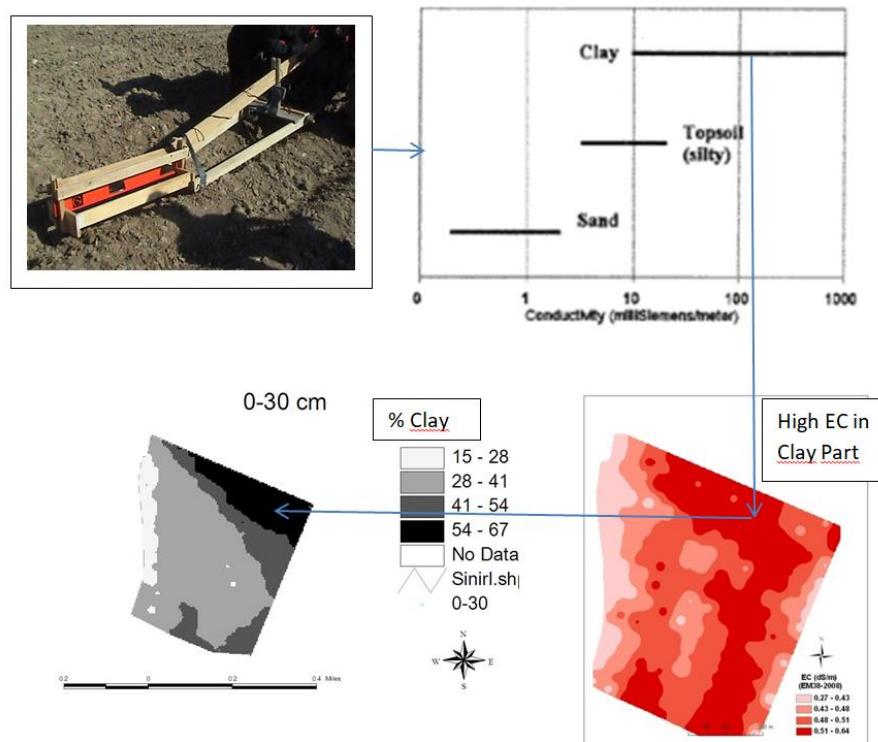
Da bi se izbegla prekomerna upotreba đubriva u oblastima sa niskim prinosom i oblastima sa visokim prinosom, kombinovanjem mapiranja prinosa i ispitivanja zemljišta mogla bi se smanjiti količina nepotrebnog đubriva. U cilju identifikacije potencijala prinosa na proučavanom području, površina je požnjevena tokom prve nedelje septembra 2010. godine, dok su nastavljeni tipični poljoprivredni radovi. Mapa prinosa za 2010. godinu koja je data na slici 5 je pripremljena korišćenjem New Holland PLM softvera. Prostorne varijacije u prinosu mogu se razumeti ispitivanjem karte i tabele u vezi sa prinosom. Na osnovu rezultata praćenja prinosa zabeležen je prosečan prinos od 12,6 t/ha. Za praćenje prinosa, ukupno 36186 podataka prikupljeno je od strane kombajna opremljenog sistemom za snimanje i merenje, a 933 podataka/ha korišćeno je za izradu karte prinosa. Analizom različitih zona prinosa koje su prikazane na slici 5, može se zaključiti da 57% ukupnog polja ima relativno visoke vrednosti prinosa, dok 26% i 17% polja ima relativno srednje i niske vrednosti prinosa. Slična varijabilnost u kartama prinosa zabeležena je uzastopnih godina (Slika 6). Sličan obrazac je primećen tokom merenja EC i mapiranja na terenu (Slika 7). Za takve uslove, odgovarajuća aplikacija azota u realnom vremenu je napravljena, može se videti na slici 8.



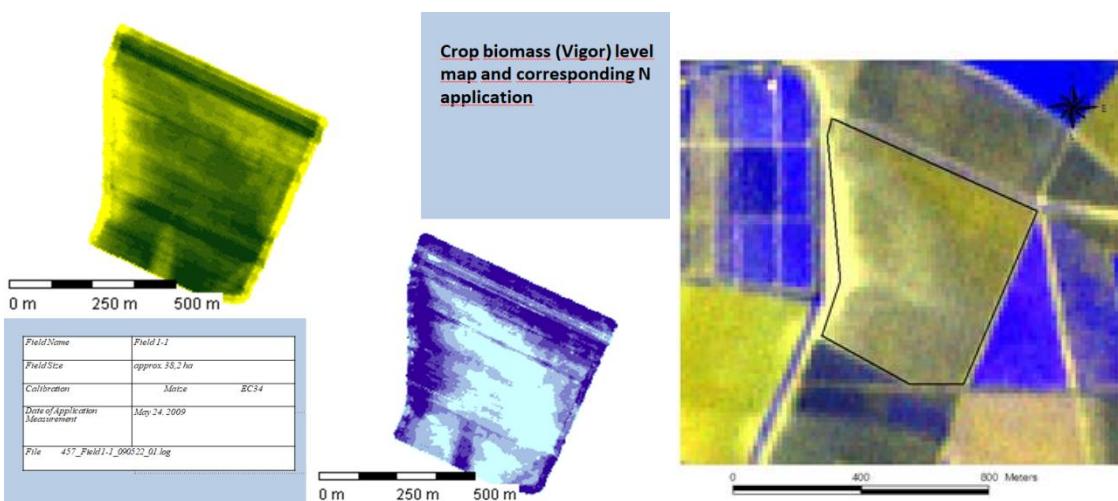
Slika 5. Mapa prinosa područja istraživanja, mesta uzorkovanja zemljišta i zona sa različitim potencijalom prinosa (Adana, Turska) (Gucdemir i Turker, 2010).



Slika 6. Mape prinosa u različitim godinama i NDVI (Gucdemir i Turker, 2011).

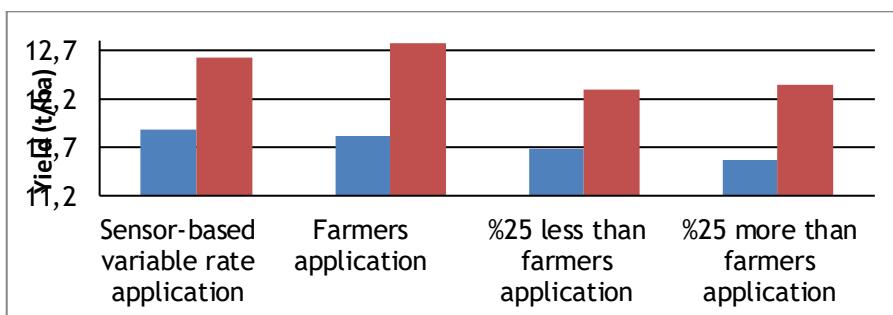


Slika 7. Otkrivanje EC mapiranja tla i mapa polja sa glinom (Gucdemir i Turker, 2010)



Slika 8. Satelitski snimak polja sa desne strane (Astel) i Proksimalni sensing statusa biomase i odgovarajuća primena azota u realnom vremenu (Turker i Gucdemir, 2018)

Rezultati: Razlike između prosečnih prinosa dobijenih iz različitih primena testirane su analizom varianse. Rezultat analize je pokazao da su razlike između srednjih vrednosti prinosa utvrđene kao značajne ($P=0,039$). Dakle, može se reći da je korišćenje različitog tretmana u primeni azota dovelo do značajnih razlika u vrednostima prinosa. Duncan grupisanje za srednji prinos ($P=0,05$) jasno je identifikovalo različite grupe između aplikacija zasnovanih na senzorima i aplikacija farmera i druge dve aplikacije (Slika 9). Korišćenjem ove procene napravljene između prinosa, aplikacije zasnovane na senzorima su postale istaknute, dok druge aplikacije zaostaju za njima.



Slika 9. Poređenje primene N zasnovane na senzorima u odnosu na klasične farmerske aplikacije.

2. Napredak i mogućnosti implementacije PA

2.1. Uzorkovanje i prikupljanje podataka

Kvantifikacija varijacije se može dobiti uzorkovanjem. Gustina uzorkovanja zavisi od više faktora (ciljevi, varijabilnost polja, troškovi), i može da se kreće od jednog uzorka za nekoliko hektara do detaljnijeg pokrivanja polja. Uzorci se dobijaju za cela polja ili delove polja da bi se obezbedile prosečne vrednosti. Postoji nekoliko uobičajenih metoda uzorkovanja koje karakteriše destruktivno uzorkovanje (Slika 9):

- Jednostavno nasumično: Lokacije se biraju nasumično i možda neće obuhvatiti strukturu

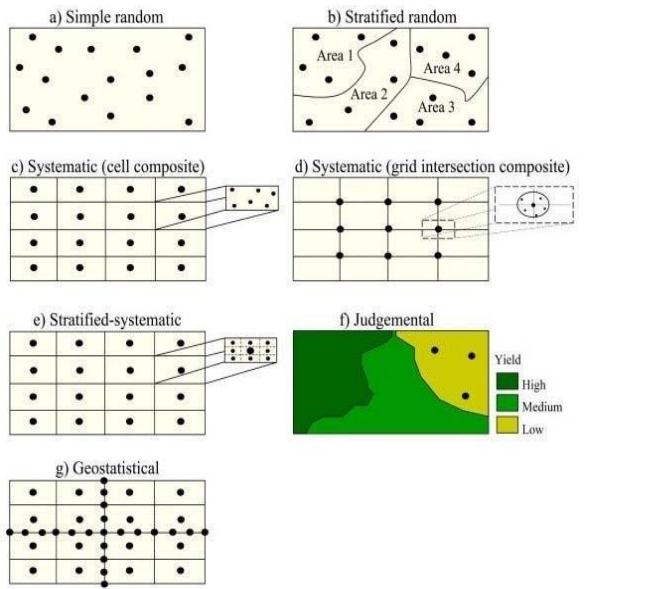
varijacija atributa od interesa (Slika 10a).

- Stratifikovano nasumično: Polje je podeljeno na nekoliko oblasti prema svojim karakteristikama (npr. topografija), a lokacije za uzorkovanje se biraju nasumično, a zatim kompozitno, smanjujući uticaj lokalne heterogenosti (Slika 10b).
- Sistematsko (uzorkovanje mreže): Polje je podeljeno na mreže i uzorci se nasumično prikupljaju unutar svake ćelije, a zatim se kombinuju (Slika 10c).
- Drugi pristup je da se centralna tačka pozicionira na presecima mreže, gde se uzorci nasumično sakupljaju u radiusu od 3 m, a zatim kompozitni (Slika 10d).
- Stratifikovano-sistematično: Svaka ćelija je dalje podeljena na manje ćelije kako bi se pokušala prevazići pristrasnost uvedena sistematskim uzorkovanjem (Slika 10e).
- Procena: Lokacije uzorkovanja se odlučuju na osnovu posmatranja specifičnog problema (npr. nizak prinos) i nije statistički tačno (Slika 10f).

Sakupljanje uzoraka uključuje intenzivan rad i troškove laboratorijske analize, namećući ograničenje na broj uzoraka koji se mogu prikupiti da bi se kvantifikovala eksperimentalna greška među ponavljanjima tretmana. Ipak, smanjenje broja uzoraka ima direktnе implikacije na menadžment jer može dovesti do pogrešnih odluka. Zahtev za poboljšanom efikasnošću povećao je interesovanje za izvođenje eksperimenata na terenu koji uzimaju u obzir prostornu varijabilnost i reprodukuju bolje scenarije za stvarnu farmu. GPS omogućava prikupljanje georeferenciranih podataka, dok GIS omogućava prostornu analizu i vizuelizaciju interpoliranih karata. Na nivou farme, eksperimentalne jedinice su bile pojedinačna polja sa jedinstvenim upravljanjem bez replikacije. Međutim, poznavanje varijabilnosti unutar polja navodi nas da podelimo celo polje na područja pojedinaca prema zemljištu ili drugoj varijabilnosti.

Tehnologije i metode analize su promenile strategije za uzorkovanje podataka kao što je prikazano na slici 3:

- Ciljano ili usmereno: Uzorci se prikupljaju u skladu sa statistički rigoroznim dizajnom uzorkovanja. Dokazi za promenu vrednosti izmerenog svojstva posmatrani iz vazdušnih snimaka, prinsipa ili drugih mapa se zatim koriste za određivanje dodatnih lokacija.
- Geostatistički: Primjenjuje se kada je cilj da se proizvedu precizne interpolirane kriging karte. Kada je semivariogram poznat, rastojanje između lokacija uzorka je jednako polovini opsega semivariograma. Ali kada semivariogram nije poznat, uzorci se prikupljaju kao kod sistematskog uzorkovanja, tada se semivariogram kao i tačna udaljenost uzorkovanja mogu definisati smanjenjem broja uzoraka (Slika 10g).



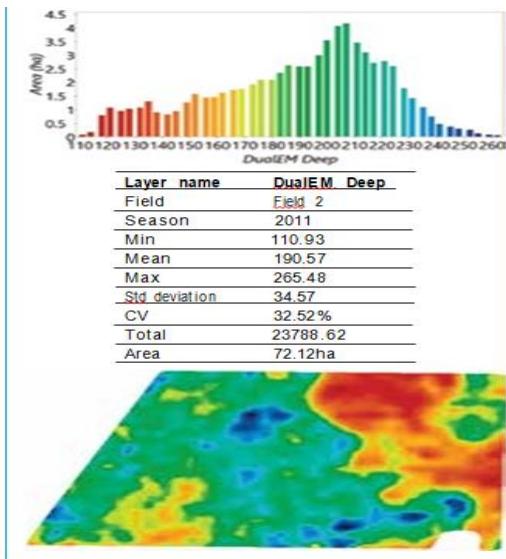
Da bi se razumela prostorna varijabilnost, potreban je veliki broj podataka, što može zahtevati mnogo ljudskih napora za prikupljanje podataka. Da bi se odgovorilo na ovu činjenicu, razvijeni su automatski mobilni uzorkivači tla. Kontinuirano uzorkovanje je još jedno rešenje u nastajanju, gde se svaka lokacija na terenu meri neinvazivnim tehnikama (npr. elektromagnetska indukcija, daljinsko ispitivanje), i nema potrebe za interpolacijom ili dizajnom uzorkovanja zemljišta. Značajan napor je sada fokusiran na razvoj senzora u realnom vremenu koji bi pomogli u šemama uzorkovanja za preciznu poljoprivredu. Ipak, uzorkovanje će i dalje biti korisno za potrebe kalibracije, kao i za razvoj statističkih metoda pogodnih za analizu različitih vrsta zemljišta i useva.

2.2. Analiza i prezentacija podataka

Sposobnost kreiranja mapa koje prikazuju prostornu varijabilnost je fundamentalna za preciznu poljoprivredu. Mape pružaju sažetak podataka i pomažu da se vizualizuje prostorna varijabilnost unutar polja. Svi mapirani podaci treba da budu grafički sumirani sa histogramom, tabelom učestalosti koja prikazuje distribuciju podataka i prikazuje boje predstavljene na mapi. Histogrami su dragocena alatka koja naglašava iskrivljenosti ili karakteristike unutar podataka koje možda nisu očigledne kada se gledaju neobrađeni podaci ili sloj mape. Histogram olakšava kreiranje grafikona u boji koji je značajan za podatke. Podešavanje grafikona boja koji se koristi za prikaz podataka mape može da ilustruje razliku koja nije bila istaknuta prethodnim grafikonom boja. Ne postoji standardizovana šema boja koja se koristi za prikaz prostornih podataka u PA. Šeme boja se razlikuju od dobavljača podataka ili proizvođača softvera do drugog. Zbog toga je važno pogledati opseg vrednosti povezanih sa bojama na grafikonu, jer svaka boja neće uvek odražavati istu vrednost na drugoj mapi. Na primer, ovde je data šema boja od crvene do plave i gde crvena predstavlja minimalnu vrednost podataka, a plava predstavlja maksimalnu vrednost podataka. Primer ispod (Slika 11) je EM mapa koja prikazuje opseg EM vrednosti od 110 do 265. Visina svake trake u boji ukazuje na ukupnu površinu (vertikalna osa) unutar polja koje odgovara svakoj EM vrednosti (horizontalna osa).

Imperativ je da slojevi karte budu što precizniji ako se na njih treba osloniti pri donošenju upravljačkih odluka. Neki skupovi prostornih podataka, kao što je prinos, zahtevaju obradu da bi se uklonile sve greške i odstupanja iz skupa podataka. GIS paketi koji imaju prilagođeni uvoz podataka o prinosu,

generalno će ponuditi određeni nivo filtriranja za ispravljanje podataka. Filtriranje i ispravljanje podataka će promovisati „čišći“ skup podataka za kreiranje mape.



Slika 11. Primer prostornih podataka koji uključuje prostornu mapu, statistiku sloja podataka i histogram karte i grafikon u boji (Sauer i dr., 2010).

Interpolacija podataka

Interpolacija prostornih podataka uzima pojedinačne tačke podataka i konvertuje ih u mrežni format. Ovaj regularni izlaz mreže se postiže procenom vrednosti iz okolnih vrednosti. Uobičajene metode interpolacije koje se nude u GIS paketima uključuju Kriging, Spline i Inverse Distance Weight. Poznavanje prostorne statistike je korisno kada se generišu površinski slojevi karte. Interpolirani izlaz iz datog skupa podataka može značajno da varira u zavisnosti od modela koji se koristi. Svaki model pretpostavlja odnos između tačaka podataka koji mogu ili ne moraju postojati. Metoda „izglađivanja“ ne bi trebalo da se koristi za sakrivanje grešaka u skupu podataka. Pogrešne tačke moraju biti uklonjene ili ispravljene pre nego što se izvrši bilo kakva interpolacija podataka. Većina podataka o prinosu je veoma varijabilna i precizan prikaz na karti će pokazati mnoge lokalne maksimume i minimume koji mogu otežati tumačenje. Pošto mape prinosu i drugi skupovi prostornih podataka pomažu u identifikaciji trendova širom polja, koriste se tehnike interpolacije da bi se prikrale visoko lokalizovane varijacije i istakli prostorni trendovi. GIS paket treba da prikaže osnovnu zbirnu statistiku za skup podataka. Ovo uključuje informacije o sloju podataka (Vaše ime, Farma, Naziv polja, Sezona), minimalne, maksimalne i srednje vrednosti i standardnu devijaciju.

Koristeći relativno jednostavne statističke proračune, nivo varijabilnosti na terenu se može brzo utvrditi. Standardna devijacija opisuje širenje ili „disperziju“ podataka oko srednje ili očekivane vrednosti. Što je veća standardna devijacija, to je veća varijabilnost u podacima i manje je korisna srednja vrednost kao deskriptor tipične oblasti unutar polja. Druga mera varijabilnosti podataka je koeficijent varijacije (CV). CV normalizuje varijaciju u podacima izražavajući standardnu devijaciju kao odnos prema srednjoj vrednosti. Što je veća CV vrednost, veća je prostorna varijabilnost. CV se takođe koristi za upoređivanje varijabilnosti između različitih skupova podataka, na primer prinosu od jedne godine useva do sledeće (Tabela 2).

Tabela 2: Neki opšti standardi za tumačenje nivoa varijabilnosti i verovatnoće povrata ulaganja u VRT (Sauer et al., 2010).

CV Value	General observations
<5%	Generally not enough variability to warrant any action.
>5% <10%	Investigate to assess the economic benefit of managing the variability, particularly in high value crops.
>10% <15%	Sufficient variability to expect to see a financial benefit in managing the variability in most crops.
>15%	Highly suitable for variable rate treatment (VRT) with a high payback expected.

Analiza podataka

Tehnike tumačenja mogu se kretati od brzog i jednostavnog posmatranja do rigoroznije statističke analize korišćenjem GIS softvera. Oba pristupa imaju svoje mesto u PA. Dobre odluke se često mogu doneti u deliću vremena koristeći veoma jednostavne tehnike. Jednostavan pristup interpretaciji podataka može uključivati vizuelno poređenje različitih slojeva podataka za polje. Ovo olakšava identifikaciju prostornih obrazaca kroz vizuelno uporedno poređenje. Identifikovanje obrazaca, koji se ponavljaju u skupovima podataka, jesu i daje pouzdanje za određivanje zaključka. Od jednakog značaja za identifikaciju obrazaca koji se ponavljaju je identifikacija nedoslednosti između slojeva podataka. Na primer, nekoliko godina sličnih mapa prinosa pšenice i vegetativnih slika za polje mogu biti praćene mapom prinosa pšenice koja prikazuje različite obrasce. Takva nedoslednost će prirodno postaviti pitanje „Zašto“ i može zahtevati dalje istraživanje i dijagnostiku, pružajući priliku uzgajivaču da nauči nešto novo o svojoj oblasti.

Postoje i situacije kada je potreban rigorozniji pristup analizi podataka. Statistička poređenja i prostorne korelacije između slojeva podataka mogu otkriti odnose koji možda nisu vizuelno očigledni. U bilo kojoj interpretaciji podataka ljudsko učešće je od vitalnog značaja. Uzgajivač ili konsultant koji je aktivno uključen u proces analize je verovatnije da će ispitati svoje podatke, proveriti njihov integritet i uključiti svako autohtonu znanje koje poseduju. Izgradnja GIS-a za farmu nije proces preko noći. Iako može biti kratkoročnih dobitaka kao što su poboljšane strategije uzorkovanja korišćenjem mapa prinosa ili snimaka iz vazduha, dugoročna agronomski isplativost može zahtevati godine predanog prikupljanja podataka. Prepoznavanje stabilnih prostornih obrazaca i sticanje razumevanja osnovnih procesa je dugoročna isplata.

Upravljanje podacima

Efikasno upravljanje podacima zahteva vreme, novac, dobre kompjuterske veštine, dobre organizacione veštine i beskrajno strpljenje. Podaci postaju korisni tek kada se organizuju i analiziraju. GIS softver može pomoći ovom procesu. Za neke pojedince izgradnja dobrog skupa podataka za njihovu farmu predstavlja izazov koji su spremni da prihvate. Međutim, za mnoge uzgajivače ovo je zastrašujući i izazovan zadatak.

Postoji nekoliko renomiranih komercijalnih softverskih programa koji se mogu koristiti za upravljanje prostornim podacima; SMS, PLM, Farmworks, Mapshots i SST. Iako ovi programi mogu da čitaju

generičke formate datoteka i mogu da uvezu neobrađene podatke od mnogih proizvođača hardvera, oni ne dozvoljavaju da se podaci lako dele na različitim platformama. Pored toga, početni trošak paketa, koji se može činiti velikim, zapravo će biti samo mali deo ukupne investicije. Troškovi pribavljanja i obrade podataka brzo će nadmašiti početne troškove softvera i hardvera. Za mnoge uzgajivače održavanje sopstvenog GIS-a možda neće biti izvodljivo. Ovi uzgajivači mogu imati koristi od specijalizovanih usluga menadžera podataka. Pojava usluga analize podataka može ukloniti teret za pojedince da upravljaju sopstvenim podacima i osloboдиće resurse (kao što je vreme) koji bi se mogli efikasnije alocirati. Specijalizovani menadžeri podataka nude paket usluga i predstaviće prostorne podatke i svaku analizu u tačnom i upotrebljivom formatu. Unos uzgajivača biće ključ za uspešnu interpretaciju podataka. Što je menadžer podataka bolje upoznati sa svakodnevnim operacijama poljoprivrede, to bolje.

U PA postoje različiti formati datoteka sa podacima. „Format“ datoteke opisuje način na koji se podaci čuvaju u kompjuterskoj datoteci. Neki formati proizvode manje datoteke (broj bajtova) tako da se mogu lako preneti bežično ili preko interneta. Drugi formati mogu proizvesti datoteke veće veličine (više bajtova) koje su optimizovane za brži pristup podacima unutar softverskih programa. Tipovi datoteka sa otvorenim i dobro poznatim strukturama koje mogu da koriste mnogi različiti softverski paketi poznati su kao generički formati. Generičke datoteke će biti u skladu sa poznatim standardom i mogu se otvoriti u opšte dostupnom softveru kao što su grafički uređivači, uređivači teksta ili tabele. To uključuje datoteke promenljive odvojene zarezima (*.csv), jpg i tif datoteke. Postoje i generički formati datoteka prostornih podataka (vektorski i rasterski) koje koristi GIS softver. To uključuje datoteke oblika, GeoTIFF i GeoJPG i KML datoteke. Druga grupa formata datoteka u PA se nazivaju vlasnički formati. One se generalno generišu od strane određenog komada opreme (ili marke opreme) kao što je monitor prinosa. Vlasničke datoteke često sadrže velike količine podataka i čuvaju se u kompaktnom formatu koji se može koristiti samo sa odabranim softverskim proizvodima.

Kao alat za upravljanje, precizna poljoprivreda se sastoji od četiri elementa: geografskog pozicioniranja (GPS), prikupljanja informacija i podrške odlučivanju i tretmana sa promenljivom stopom. Mapiranje prinosa može se smatrati petom komponentom, u kojoj mapiranje prinosa omogućava farmeru da prati stvarni rezultat od različitih inputa (Pedersen, 2004).

Međutim, mapiranje prinosa je takođe alat koji omogućava prikupljanje informacija o prethodnim godinama prinosa na polju, koje se mogu koristiti kao podrška odlučivanju za dizajniranje sledeće strategije unosa.

2.3. Izveštavanje, sledljivost i povratne informacije farmera

Sledljivost znači mogućnost praćenja bilo koje hrane, hrane za životinje, životinje za proizvodnju hrane ili supstance koja će se koristiti za potrošnju, kroz sve faze proizvodnje, prerade i distribucije“ (Anonimni, 2007). Koncept sledljivosti u poljoprivredi jednostavno se odnosi na sve faze prikupljanja, klasifikacije, konzervacije i primene podataka koji se odnose na sve neophodne procese u lancu snabdevanja hranom kako bi se potrošačima i drugim zainteresovanim stranama pružila sigurnost u vezi sa poreklom, lokacijom i istorijatom proizvoda, kao i upotreba u upravljanju krizama u slučaju problema sa kvalitetom i bezbednošću hrane. Dakle, sledljivost je mogućnost da se otkrije farma na kojoj je proizvod rastao i utrošeni inputi. Takođe pruža mogućnost pregleda zapisa kako bi se utvrdila tačna lokacija i istorija proizvoda u hrani lanac snabdevanja (Opara, 2003) Što se tiče definicije sledljivosti u oblasti bezbednosti i bezbednosti hrane, može se konstatovati da je sledljivost sposobnost da dokumentuje sve relevantne elemente potrebne za određivanje životne istorije proizvoda, kao što su kretanja, procesi i kontrole. Dakle, sledljivost je sredstvo za bolje i efikasnije upravljanje za proizvođače hrane, farmere i krajnje korisnike u pogledu kvaliteta hrane.

Pored mogućnosti sledljivosti da brzo i lako prati ili opozove proizvode tokom krize, postoje izveštaji o prednostima korišćenja sledljivosti koji su navedeni u nastavku:

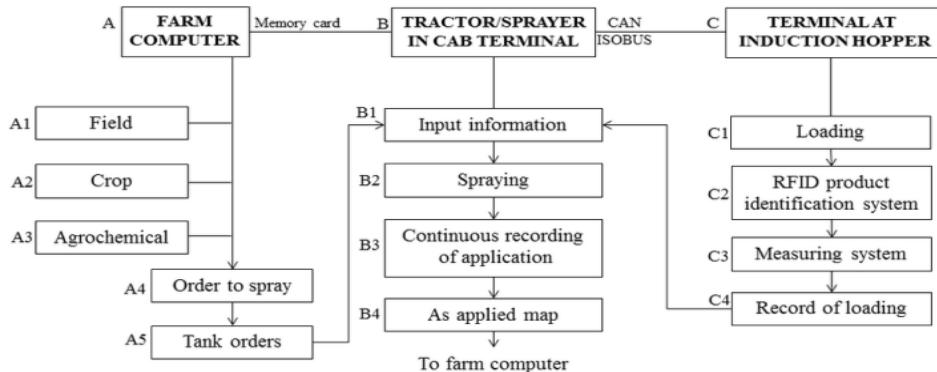
- Poboljšava efikasnost proizvodnje i smanjuje potrebu za radnom snagom
- Poboljšava kontrolu zaliha, proverava tvrdnje o proizvodima i poboljšava bezbednost hrane

Uprkos problemima implementacije, održavanja i rada sistema sledljivosti koji se odnose na osoblje, kupce, dobavljače, konsultante i softver, koristi od korišćenja ovih sistema su više od navedenih problema i troškova, što može biti pogodan razlog za razvoj sistema sledljivosti (Sparling et al., 2006). PA može pružiti mogućnosti za praćenje proizvoda kroz sistem. Ove mogućnosti uključuju proces koji opisuje sve prakse koje su urađene da bi se proizveo konačni proizvod. Shodno tome, sposobnost praćenja i sledljivosti proizvoda postaje jedno od glavnih pitanja u istraživanju precizne poljoprivrede, posebno praćenja operacija na farmi (McBratnei et al., 2005). Korišćenje geografskog informacionog sistema (GIS) kao alata za preciznu poljoprivredu može obezbediti sredstva za poboljšanje informacija o sledljivosti povezujući ih sa agroekološkim situacijama, kao što su stanje zemljišta, lokalna svojstva i slivovi. Stoga se geosledljivost može definisati kao sposobnost da se identificuju karakteristike direktnog i indirektnog okruženja polja kako bi se dokumentovala istorija događaja koji se dešavaju u proizvodnom području koji mogu uticati na useve od sadnje do žetve (Oger et al. , 2010).

Jedna od primena vezanih za sledljivost u preciznoj poljoprivredi je korišćenje tehnologije radiofrekventne identifikacije (RFID). Poslednjih godina, korišćenje RFID oznaka razvijeno je u mnogim oblastima poljoprivrede kao što su stočarstvo, hortikultura, kao i precizna poljoprivreda. Proširena upotreba RFID-a u preciznoj poljoprivredi omogućava povećanje efikasnosti, produktivnosti i profitabilnosti poljoprivrednih sistema uz izbegavanje neželjenih efekata na životnu sredinu. Dobijanje informacija u realnom vremenu omogućava poljoprivrednicima da prilagode strategije u bilo kom trenutku obezbeđujući solidnu osnovu za prepoznavanje razlika i promene u upravljanju u skladu sa tim. Zbog lakše instalacije RFID-a u poređenju sa drugim ožičenim sistemima, senzori se mogu široko koristiti za dobijanje detaljnih lokalnih informacija. Upotreba RFID-a u preciznoj poljoprivredi može uključivati sledeće stavke:

- Merenje temperature zemljišta pomoću bežičnih senzora
- Usklađivanje kanti ubranog voća sa odgovarajućim stablima tokom berbe u voćnjacima
- Terenska vozila kao pomoć u upravljanju voznim parkom
- Priključci za proizvode (seme, đubriva, pesticidi, itd.) se ugrađuju u mašinu, detektujući šta se stavlja u rezervoar ili rezervoar mašine (Ruiz-Garcia i Lunadei, 2011)

Kao primer istraživanja korišćenjem RFID-a, možemo se pozvati na članak Peets et al. (2009) koji je urađen da bi se identifikovalo koje podatke treba čuvati u sistemu automatskog evidentiranja kako bi se pratila primena agrohemikalija. U ovom istraživanju razvijen je prototip sistema za identifikaciju i verifikaciju agrohemikalija u sistemima sledljivosti i upućivanje na postojeće nacionalne baze podataka pesticida koristeći RFID označenjem baze podataka za evidenciju detaljnih podataka (Slika 12).



Slika 12: Nacrt dijagrama toka podataka sistema sledljivosti farme u PA (Peets et al., 2009)

2.4. Kako implementirati PA sa niskom cenom trenutne tehnologije

Tradicionalni poljoprivredni menadžment se transformiše u fleksibilniji i dinamičniji, zasnovan na prikupljanju podataka u realnom vremenu o varijablama od interesa za planiranje i nadzor useva. Sistemi za praćenje poljoprivrede omogućavaju njihovu konfiguraciju na različitim prostornim i vremenskim razmerama u odnosu na resurse ekosistema, proširenje parcela, vrste useva i ciljeve koji se žele. Brzi razvoj tehnologija precizne poljoprivrede i njihov potencijal da transformišu sisteme poljoprivredne proizvodnje se povećavaju, pre svega, pružanjem razvojnih mogućnosti koje podržavaju veću digitalnu inkluziju malih proizvođača i otvaranje novih mogućnosti u ovom sektoru. Međutim, kritični izazov poljoprivrednog sektora su visoki troškovi za usvajanje novih tehnologija, posebno za male i srednje poljoprivrednike u zemljama u razvoju. Na nivou malih proizvođača, ove strategije zahtevaju da se konfigurišu i implementiraju korišćenjem jeftinih tehnologija precizne poljoprivrede.

PA se obično povezuje sa sofisticiranim tehnologijama koje se razlikuju po ceni. Uobičajene tehnologije povezane sa preciznom poljoprivredom uključuju računarski hardver i softver, GPS i opremu za praćenje prinosa, i opremu za aplikacije sa promenljivom stopom. Uprkos značajnim troškovima, PA se ponekad može isplatiti ako rezultira efikasnijim korišćenjem resursa i inputa. Kada se celo polje tretira jednolično, neke oblasti će dobiti prevelike količine đubriva ili pesticida što neće rezultirati većim prinosima. Ovi principi precizne poljoprivrede su relevantni za male i velike farme i za visokotehnološke i niskotehnološke pristupe prikupljanja informacija.

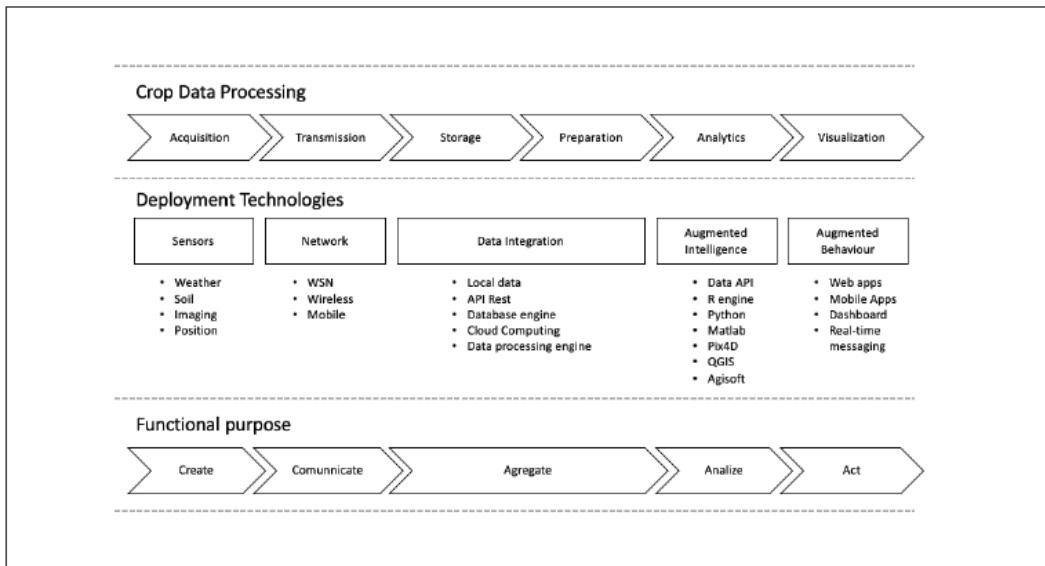
UAV tehnologija omogućava primenu strategija praćenja useva za određivanje zdravstvenog statusa, nivoa azota i drugih hranljivih materija. Može da obezbedi podatke koji omogućavaju ciljanu primenu poljoprivrednih zadataka i proizvoda na površinama koje su prethodno identifikovane i ograničene pomoću kompjuterskih algoritama, i upravo kroz ovu tehnološku primenu PA ima smisla. Slike koje prikuplja UAV omogućavaju izradu geolokacijskih mape useva na kojima je moguće odrediti područja sa korovom (Barrero i Perdomo, 2018), omogućavajući programiranje primene herbicida u kritičnim zonama (lang, lang, & Mo, 2018). Pored toga, mape useva omogućavaju praćenje rezultata primene đubriva i herbicida kako bi se procenila njihova efikasnost i izvršila prilagođavanja na dinamičan i fleksibilan način (Castaldi, Pelosi, Pascucci i Casa, 2017). Autori(Schut, Traore, Blaes i de Bi, 2018) su radili sa malim farmama kako bi pokazali kako se slike koje je prikupio UAV mogu koristiti za procenu prostorne varijabilnosti prinosa i odgovora na različite tretmane đubriva. U tabeli je prikazana komparativna analiza tehničkih karakteristika vazdušnih platformi analiziranih u literaturi za jeftina rešenja.

Tabela 3. Jeftine dizalice za male proizvođače. Izvor: (Velazquez E, 2020)

Platform	Type	Camera	Height (m)	Resolution (cm/pixel)	Vegetation index	Software analysis	Reference
----------	------	--------	------------	-----------------------	------------------	-------------------	-----------

DJI Matrix 600 Hexacopter	Parrot Multispectral Sequoia	120	5	NDVI, NDRE y GNDVI	Pix4D	Handique et al., 2017	
SenseFly eBee 3	Fixed wing	RGB Canon S110 con Filtro NIR	115	5	exG2, exR, exG y NGRDI	Pix4D QGIS v2.16 SAGA-GIS Orfeo Toolbox v5.6.1	
Asctec Falcon 8	Octacopter	RGB Sony NEX 5n	100	2	GRVI	ENVI	
DJI Phantom 3 Quadrocopter	Parrot Multispectral Sequoia	30	4	DVI, NDVI, NDGI, NDRE	Pix4D v.3.0.1 QGIS v2.14 Matlab ANN Toolbox	Romero et al., 2018	
Hawkeye	Parafoil	Tetracam ADC Lite	35 - 45	2	NDVI y GNDVI	ExelisVIS ENVI v4.8	Hunt et al., 2018
Oktokopter XL	Octacopter	Tetracam MiniMCA 6	100	5	NDVI, NDRE, GNDVI	ArcGIS v10.0	Krienke et al., 2017
Zeta Phantom FX-61	Fixed wing	Micasense Rededge	60 - 70	1.82 y 4.77	NDVI y NGRDI	Pix4D Matlab ANN Toolbox	Barredo & Perdomo, 2018
Microdrone MD4-100	Quadrocopter	Olympus Pen E-PM1	50 - 100	1.9 y 3.81	-	Agisoft PhotoScan v1.2.4	Jiménez-Brenes et al., 2017

Strategije zahtevaju učešće stručnog kadra, koji tumači podatke i pruža podršku malim vlasnicima, što otežava njen rad. Različite tehnologije implementirane u proučavanim slučajevima prema njihovoj funkcionalnoj nameni grupisane su u senzore, komunikacione mreže, integraciju podataka, poboljšanu inteligenciju i povećane performanse u modelu PA kao što je prikazano na slici 13. Ključna tačka za uspeh tehnoloških strategija je sprovođenje povećanog ponašanja; stoga je neophodno koristiti tehnologije vizuelizacije kako bi se na jasan i lak način predstavila interpretacija podataka, a zatim i rezultati. Svi oni će izazvati snagu razumevanja malih zemljoposednika o tome kako se usev razvija. Ovo će doprineti održivom rastu poljoprivrednih ekonomija kroz jačanje znanja, komunikacije i saradnje. Pored toga, relevantno je da strategije uključuju aspekte koji se odnose na obuku, transfer i usvajanje PA tehnologija.

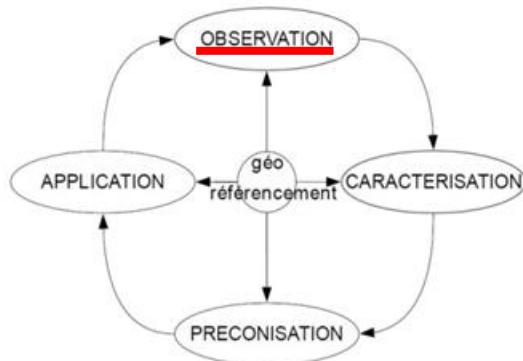


Slika 13. Tehnologije niske cene primenjene u PA (Velazquez E, 2020)

3. Uvod u senzore

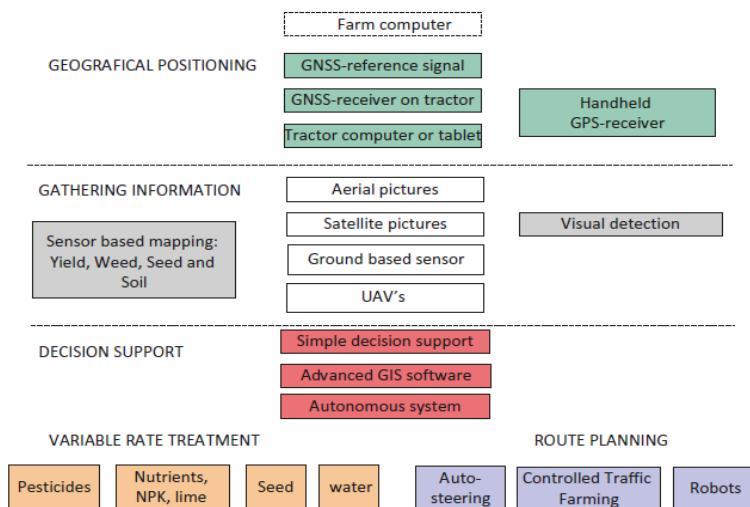
3.1. Metrologija (tačnost, preciznost, rezolucija, greška, itd.)

Generalno, senzor je uređaj koji detektuje promene u fizičkim ili električnim ili drugim veličinama. Dakle, proizvodi električni ili optički izlaz signala kao potvrdu promene u toj specifičnoj količini. Dakle, senzor je modul ili čip koji posmatra promene koje se dešavaju u fizičkom svetu i šalje povratne informacije mikrokontroleru ili mikroprocesoru. Pobuda (napajanje) i uzemljenje moraju biti obezbeđeni za senzor za pravilan rad. Senzori su postali osnova i vitalni deo PA. Koriste se za posmatranje, karakterizaciju, prepoznavanje i primenu u PA (Slika 14).



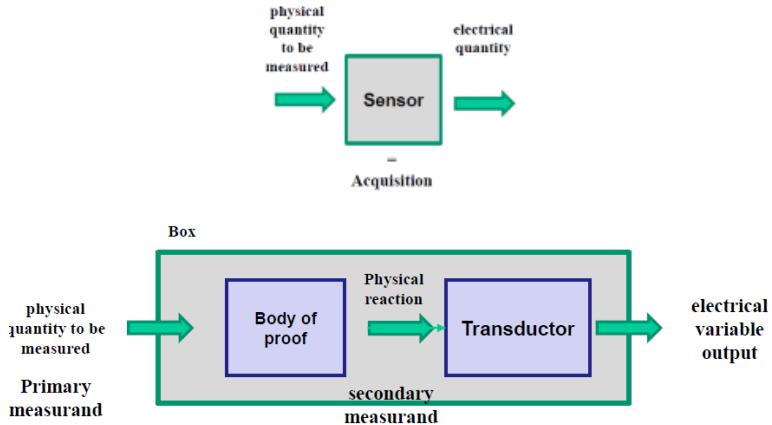
Slika 14. Svrha upotrebe senzora u preciznoj poljoprivredi (Bratnei, 2000)

Slika 15 ilustruje vezu između različitih tehničkih sistema i senzora u preciznoj poljoprivredi od geografskog pozicioniranja i senzorskih sistema do podrške odlučivanju, aplikacije unosa sa promenljivom brzinom.



Slika 15. Senzori i tehnički sistemi primjenjeni u preciznoj poljoprivredi (Sorenson, 2018)

Bez obzira na tip senzora i njegov obim, on je deo mernog lanca. Senzori su prvi elementi lanca prikupljanja podataka. Ovo su interfejsi između „fizičkog (stvarnog) sveta“ i „električnog sveta“. Senzor da rezimiramo;



Tačnost senzora je maksimalna razlika koja će postojati između stvarne vrednosti (koja se mora meriti primarnim ili dobrim sekundarnim standardom) i prikazane vrednosti na izlazu senzora. Opet, tačnost se može izraziti ili kao procenat pune skale ili u apsolutnom iznosu. U osnovi, 'Tačnost' jednostavno opisuje koliko blisko prikazana vrednost predstavlja stvarnu meru koja se prati, uzimajući u obzir sve moguće izvore greške koji su relevantni za aplikaciju. Jasno je da se tačnost može usko definisati za dati skup radnih uslova, ali je od vitalnog značaja uzeti u obzir sve faktore koji doprinose ako su potrebni najbolji rezultati.

Rezolucija je parametar koji predstavlja najmanji prirast merne veličine koji može da odredi senzor. Rezolucija većine modernih senzora je dobra i uglavnom ograničena nivoima buke ~ povezanih elektronskih kola. Generalno, rezolucija većine analognih tehnika sensinga, npr. merač naprezanja, induktivni, kapacitivni bi bio u granicama od 10 delova na milion, ali inkrementalni digitalni i apsolutni digitalni uređaji imaju rezolucije određene direktno dizajnom i uglavnom ograničene brojem bitova.

Preciznost se može opisati kao ponovljivost merenja. Kada su vaši senzori precizni, vaša očitavanja će biti dosledna. Ova specifikacija je najmanja inkrementalna promena ulaznog parametra koja se može detektovati u izlaznom signalu. Rezolucija se može izraziti ili kao proporcija očitanja (ili čitanja u punoj skali) ili u apsolutnim iznosima.

Treba imati na umu da postoje dva glavna aspekta ovih potencijalnih izvora greške. Prvo, tu je inherentna performansa senzora, a drugo, kvalitet sredstava za merenje te performanse, tj. opreme za kalibraciju. Opšte je prihvaćeno da oprema za testiranje mora biti najmanje pet puta tačnija od uređaja koji se testira da bi bili sigurni da su tvrdnje za senzor tačne.

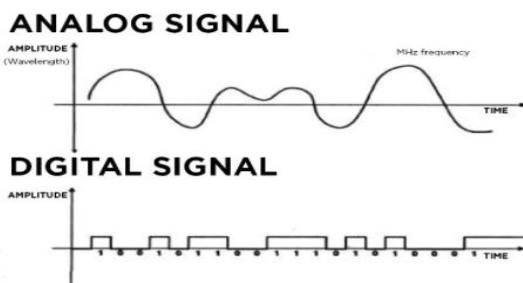
3.2. Tipovi signala

3.2.1. Analogni i digitalni

Postoje različiti tipovi senzora koji proizvode kontinuirani analogni izlazni signal i ovi senzori su analogni senzori. Prema prirodi izlaznog signala, senzori se mogu podeliti u sledeća dva tipa:

(1) Analogni senzor: Pretvara ne-električnu energiju, koja se meri, u napon ili struju, koja se stalno menja. Ako je potrebna saradnja sa digitalnim displejom ili digitalnim računarom, potrebno je da bude opremljen analogno-digitalnim (A/D) uređajem za konverziju. Ovaj kontinuirani izlazni signal koji proizvode analogni senzori je proporcionalan merenoj veličini. Generalno, postoje različite vrste analognih senzora; praktični primeri različitih tipova analognih senzora su sledeći: akcelerometri, senzori pritiska, svetlosni senzori, zvučni senzori, senzori temperature itd. Dakle, analogni senzor detektuje spoljašnje parametre (brzinu vetra, sunčeve zračenje, intenzitet svetlosti, itd.) i daje analogni napon kao izlaz. Dakle, izlazni napon može biti u opsegu od 0 do 5V. Gore navedeni senzori su u osnovi analogni.

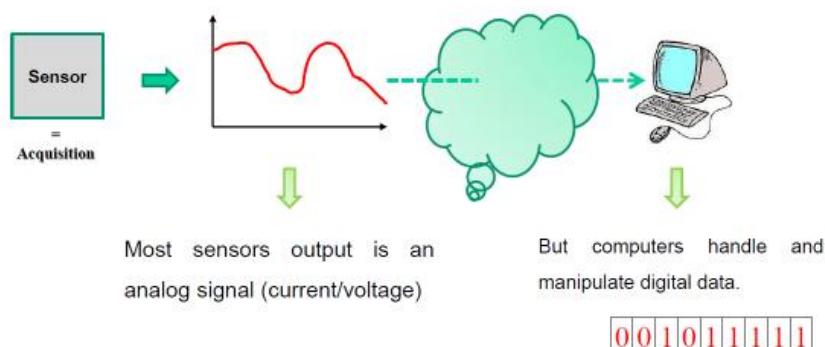
(2) Digitalni senzor: Može direktno pretvoriti ne-električnu energiju u digitalnu količinu, direktno se koristiti za digitalni prikaz i proračun, direktno sarađuje sa računarima i ima prednosti snažne sposobnosti protiv smetnji i pogodan je za prenos na daljinu. Trenutno se ovaj tip senzora može podeliti u tri kategorije: pulsni, frekventni i digitalni izlaz. Kao što su senzori za rešetke.



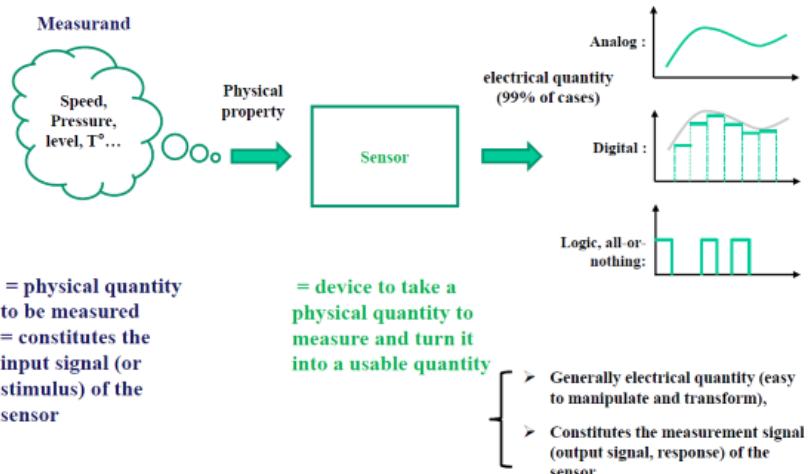
Razlika između analognog i digitalnog signala

Za razliku od analognog senzora, digitalni senzor proizvodi diskretne vrednosti (0 i 1). Diskrete vrednosti se u digitalnoj komunikaciji često nazivaju digitalnim ili binarnim signalima. Elektronski senzori ili elektrohemijski senzori u kojima se konverzija podataka i prenos podataka odvijaju digitalno su digitalni senzori. Ovi digitalni senzori zamenjuju analogne senzore jer su sposobni da prevaziđu nedostatke analognih senzora. Digitalni senzor se sastoji uglavnom od tri komponente kao što su senzor, kabl i predajnik. Ali, u digitalnim senzorima, signal koji se meri direktno se pretvara u digitalni izlaz signala unutar samog digitalnog senzora. Dakle, ovaj digitalni signal se prenosi kablom digitalno. Postoje različite vrste digitalnih senzora koji prevazilaze nedostatke analognih senzora. Većina izlaza senzora je u obliku analognog signala, ali računari rukuju i manipulišu samo digitalnim podacima. Zbog toga je neophodna analogna u digitalna konverzija. Konverzija analognog/digitalnog signala odvija se uglavnom u dve faze;

- 1) Prvi se zove uzorkovanje (diskretizacija vremenske skale)
- 2) Drugi se zove kvantizacija (amplituda digitalizacije / struja signala)



Struktura digitalnog i analognog mernog lanca je data u nastavku (CIHEAM, 2016)

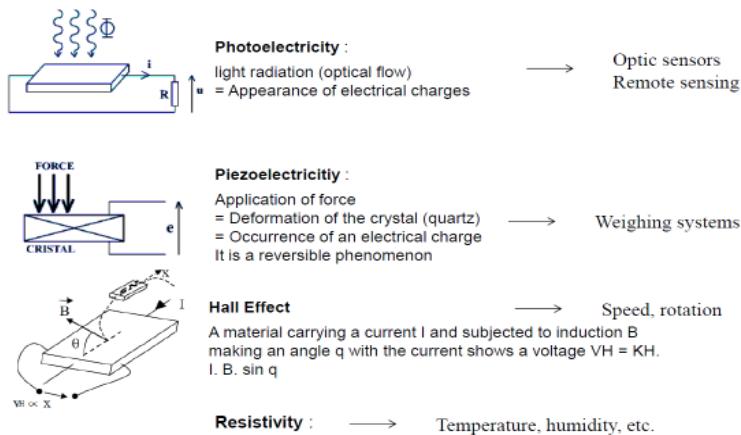


3.3. Klasifikacija senzora

Tipovi senzora su veoma široki i možemo koristiti različite kriterijume da ih klasifikujemo, kao što su njihovi principi konverzije (osnovni fizički ili hemijski efekti rada senzora), njihova upotreba, tipovi izlaznih signala i materijali i procesi koji ih čine .

3.3.1. Klasifikacija prema principu merenja

Uloga senzora je da pretvara jednu energiju u drugu formu energije, tako da mnogi naučnici takođe koriste „Transducer“ da se odnose na „Senzor“. Klasifikacija senzora prema principima merenja je data u nastavku.



3.3.2. Klasifikacija prema merenoj varijabli

Ako su ulazne veličine: temperatura, pritisak, pomeraj, brzina, vlažnost, svetlost, gas i druga ne-električna energija, odgovarajući senzori se nazivaju senzori temperature, senzori pritiska, senzori za merenje, itd. Ova metoda klasifikacije jasno objašnjava svrhu senzora i pruža udobnost korisniku. Lako je izabrati potreban senzor prema objektu merenja. Nedostatak je što ovaj metod klasifikacije razvrstava senzore sa različitim principima u jednu kategoriju. Teško je otkriti zajedničke karakteristike i razlike u mehanizmu konverzije svakog senzora. Zbog toga je nepovoljno shvatiti neke osnovne principe i metode analize senzora. Zato što se isti tip senzora, kao što je piezoelectric senzor, može koristiti za merenje ubrzanja, brzine i amplitudu mehaničkih vibracija, kao i udarca i sile, ali princip rada je isti.

Ova metoda klasifikacije većinu tipova fizičkih veličina deli u dve kategorije: Osnovni senzori (osnovne veličine) i specifični senzori (izvedene veličine). Na primer, sila se može smatrati osnovnom fizičkom veličinom, a pritisak, težina, napon, moment itd. mogu se izvesti iz sile. Kada treba da izmerimo gore navedene fizičke veličine, treba da koristimo samo senzore sile. Dakle, razumevanje odnosa između osnovnih fizičkih veličina i izvedenih fizičkih veličina je veoma korisno za to koje senzore sistem koristi. Senzori klasifikovani kao osnovni i specifični su dati u nastavku.

➤ « Basic » sensors :

- ✓ **Temperature,**
- ✓ **Humidity (air or soil)**
- ✓ **Luminosity, radiance**
- ✓ **Pressure,**
- ✓ **Precipitation,**
- ✓ **pH,**
- ✓ **Flow rate liquid (but also grains...),**
- ✓ **Force, torque**
- ✓ **Speed, acceleration**
- ✓ **Position,**
- ✓ **...etc**

➤ « Specific » sensors :

- ✓ **Fruit growth,**
- ✓ **Insects counting,**
- ✓ **Sap flow,**
- ✓ **Gas CO₂, NO₂...**
- ✓ **Fruit Maturity (Spectron...)**

4. Globalni navigacioni satelitski sistemi

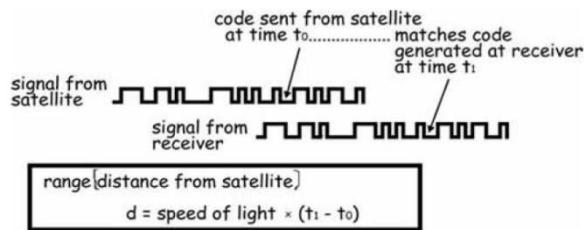
Globalni navigacioni satelitski sistemi (GNSS) su standardni generički termin za satelitske navigacione sisteme koji obezbeđuju autonomno geo-prostorno pozicioniranje sa globalnom pokrivenošću. Bilo koji GNSS se koristi za precizno određivanje geografske lokacije prijemnika korisnika bilo gde u svetu. Trenutno postoje dva operativna GNSS sistema (GPS i GLONASS) i dva sistema u razvoju (Galileo i BeiDou).

4.1. Princip rada i greške naspram dronova

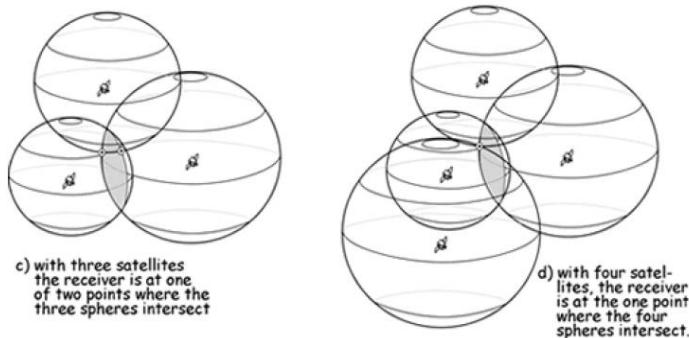
Geo-lokacija pomoću satelitskih navigacionih sistema zasniva se na mogućnosti merenja vremena potrebnog da signal putuje od satelita do prijemnika. Radio signali putuju brzinom svetlosti, koja je konstantna, pa ako je poznato vreme putovanja onda se može odrediti rastojanje između satelita i prijemnika. Pošto je pozicija satelita uvek poznata, zbog stalnog praćenja satelitskih orbita, može se izračunati lokacija prijemnika korisnika, ako prijemnik dobija signale od najmanje četiri satelita.

Svaki GNNS navigacioni satelit kontinuirano emituje svoju poziciju zajedno sa podacima o vremenu na dve frekvencije (L1 i L2). L1 opseg nosi dva koda, kod grube akvizicije (C/A) i precizni (P) kod. C/A signal se takođe naziva „faza koda“ ili „Standard Positioning Service“ (SPS) i glavni je signal koji se koristi u civilnim aktivnostima. P signal se takođe naziva „Usluga preciznog pozicioniranja“. L2 opseg nosi samo P kod. I C/A i P signali imaju vremenski referentni digitalni kod koji se naziva pseudo slučajni kod. Prijemnici sadrže almanah pseudo slučajnih kodova koje generišu sateliti i vreme kada su generisani. Kada prijemnik presretne digitalni kod sa satelita, on može da uporedi digitalni signal

sa svojim almanahom kako bi utvrdio kada je signal generisan. Vreme putovanja je razlika između vremena kada je signal presretnut i vremena kada je generisan (slika 9). Razlika između C/A i P koda je u rezoluciji koda i samim tim u tačnosti određivanja vremena i udaljenosti. Sateliti takođe prenose opšte satelitske informacije u „fazi nosioca“. Fazni signali nosioca se emituju na oba opsega L1 i L2 i na mnogo višoj frekvenciji od faze koda. Viša frekvencija omogućava preciznije merenje dometa između satelita i prijemnika. Međutim, faza nosioca nije vremenski referencirana kao faza koda. Ovo čini interpretaciju signala podložnom „proklizavanju ciklusa“. Da bi se minimizirao ovaj efekat, prijemnici faze nosioca koriste C/A kod da daju grubu procenu i signal faze nosioca da poboljšaju ovu procenu. Samo napredne GNSS jedinice mogu da tumače signal „faze nosioca“.



Ako GNSS prijemnik komunicira sa tri satelita (tj. nalazi se na određenoj udaljenosti od svakog satelita), onda njegova pozicija mora da leži na preseku tri „udaljene“ sfere koje formira sa njima. Ovo daje dve moguće lokacije (vidi sliku 10), od kojih je jedna nerealna. Ako se prati četvrti satelit, onda se mogu uzeti u obzir i greške vezane za vreme i pronaći preciznija lokacija. Većina prijemnika neće dati očitavanje osim ako se četiri satelita ne prate istovremeno.



Slika 16. Uticaj broja satelita koji komuniciraju sa GPS prijemnikom na tačnu lokaciju (Leonard i Philip, 2006)

GNSS sistem se sastoji od tri segmenta;

- Spatial segment



- Control segment



- User segment



Diferencijalni GNSS (DGNSS) je sistem uvećanja GNSS zasnovan na poboljšanju tačnosti prijemnika korisnika (ili prijemnika rovera) pomoću diferencijalnih informacija ili korekcija koje obezbeđuje obližnja referentna GNSS stanica ili mreža ovih stanica. Primena ovog koncepta omogućava da se

uobičajeni izvori grešaka između satelita i prijemnika ponište ili ublaže, zbog dvofrekventnih merenja faze nosioca i primene obrade dvostrukе razlike. U DGNSS pristupu, koristimo prednost poznavanja tačne merene pozicije referentne stanice. Na ovaj način je moguće izvesti odstupanja između procenjene pozicije i stvarne pozicije, i na taj način izračunati korekcije GNSS pseudodometa svakog satelita. Takve korekcije su onda korisne za poboljšanje položaja prijemnika korisnika.

Koristeći osnovni prijemnik sa dobro poznatim koordinatama, RTK sistem se sastoји od korisničkog prijemnika i komunikacione veze za prijem i korišćenje zdravorazumskih satelitskih merenja da bi se ostvarile odgovarajuće razlike za dobijanje centimetara. Osim kvaliteta signala (C/A naspram P u odnosu na nosioca), na grešku u geo-lokaciji koju izračunava prijemnik može uticati jedan ili više sledećih izvora greške.

Greške satelita. Greške u tajmingu ugrađenih atomskih satova ili greška u prenošenoj lokaciji satelita (greška efemeride).

Greške prijemnika. Sposobnost GPS prijemnika i povezanog softvera da se nosi sa termičkom i elektronskom bukom iz spoljašnjih izvora kao što su motori, utičaće na to koliko tačno prijemnik može da se geolocira.

Atmosferske greške. Da bi stigao do GPS prijemnika, satelitski signal treba da prođe kroz Zemljinu atmosferu i, posebno, jonosferu i troposferu koje degradiraju/usporavaju brzinu signala.

Višestruke greške. Ovo su greške koje nastaju kada GPS antena primi signale koji se reflektuju iz sekundarnog izvora, kao što su obližnje šupe ili silosi. Ovo produžava vreme putovanja i na taj način stvara grešku u određivanju udaljenosti. Višestruke greške se mogu minimizirati tako što se fiksna antena bazne stanice ne postavlja u blizini zgrada i operativnim mobilnim sistemima dalje od velikih struktura.

Continental drift greške. Australijski nanosi su 7 cm u pravcu severoistoka svake godine. Potrebna je fiksna DGPS bazna stanica da bi se prevazišao ovaj problem i osigurala ponovljivost iz sezone u sezoni i tačnost od ± 2 cm.

Geometrija satelita. Tačnost geo-lokacije je takođe funkcija geometrije satelita koji se koriste za geo-lokaciju. Optimalna geometrija je da jedan satelit bude direktno iznad, a druga tri ravnomerno raspoređena. Kako sateliti kruže oko Zemlje, njihova geometrija u odnosu na prijemnik varira i razblaživanje grešaka položaja će varirati; ovo je glavni uzrok dnevних varijacija u tačnosti geo-lokacije. Prijemnici sa više od 12 satelitskih kanala za praćenje pomažu minimiziranju ovog efekta.

4.2. Prijemnici i tačnost

Postoje različite vrste GNSS prijemnika koji se koriste u poljoprivredi. Oni su objašnjeni u nastavku;

Samostalni GNSS prijemnici: Poznati su kao prijemnici sistema standardne pozicije (SPS), rade koristeći samo osnovni C/A kod na L1 opsegu sa navigacionih satelita. Oni su najjeftiniji dostupni GNSS prijemnici jer nema dodatnog signala korekcije ili složenog kola za korišćenje P koda ili faze nosioca. SPS prijemnici imaju najnižu tačnost geolokacije (obično ± 5 m, ali može biti i veća) od svih GNSS prijemnika na tržištu.

Prijemnici diferencijalne korekcije: Greška u GNSS signalu može se utvrditi snimanjem GNSS signala na fiksnoj snimanoj lokaciji. Poređenjem pozicije GNSS prijemnika sa posmatranom pozicijom može se utvrditi fizička greška. Diferencijalni GNSS koristi ovu poznatu grešku da ispravi SPS geo-lokaciju. Ispravka se može snimiti nezavisno i SPS geo-lokacija kasnije korigovana (post-procesing) ili se ispravka može primeniti u realnom vremenu.

DGNSS ili DGPS u realnom vremenu: Za njih su potrebne dve antene: jedna za prikupljanje C/A koda i određivanje geo-lokacije, a druga za primanje faktora korekcije da bi se poboljšala tačnost geo-lokacije. Dostupni su različiti izvori za signal korekcije, na primer sa lokalne bazne stanice, slobodne obalske navigacione signalizacije ili mreže širokog područja (WADGPS). Ovi GNSS prijemnici su obično skuplji od samostalnih GNSS prijemnika, jer su im potrebne dodatne komponente da prihvate signal korekcije i ažuriraju geo-lokaciju.

Prijemnici faze nosioca: GNSS ili GPS prijemnici faze nosioca koriste fazni pomak signala nosioca informacija između širenja na satelitu i prijema od strane korisnika. Ovaj metod nudi potencijalno veću preciznost (centimetarski nivo), ali takođe zahteva skuplje prijemnike. Fazni sistemi nosioca mogu biti jednofrekventni (tj. pristupiti samo signalima L1 opsega) ili dvofrekventnim (tj. pristupiti signalima L1 i L2 opsega). Dvofrekventni prijemnici imaju prednost bržeg vremena akvizicije. Mnogi prijemnici takođe mogu da pristupe GLONASS-u kao i GPS satelitima ako je potrebno. Ako se koristi lokalna bazna stanica i korekcija se izračunava i emituje preko radio predajnika, kaže se da sistem radi u kinematickom režimu u realnom vremenu (RTK).

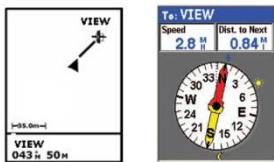
4.3. Primena u poljoprivredi (slučaj upotrebe)

GNSS primena u preciznoj poljoprivredi

- 1) Određivanje tačaka
- 2) Merenje površine parcele
- 3) Topografsko kartiranje
- 4) Aplikacije za varijabilno tretiranje (prskalice za useve)
- 5) Mapiranje prinosa
- 6) GNSS kod upravljanja traktorom
- 7) Poljoprivredna daljinska detekcija

1)Određivanje tačaka

- The target point is selected on map screen.
- The target position is highlighted.
- A cursor location indicates present position
- The GNSS navigation compass provides guidance to target.



2) Merenje površine parcele

- Šetajte granicom polja sa GNSS prijemnikom;
- Označite procenu perimetra i površine;
- Dozvoljena tolerancija = Perimetar * 1,25 m. (JRC Tehnički vodič)
- Greška = (Prava površina - Izmerena površina) / Perimetar [<1,25 metar]
- Sa EGNOS-om, performanse su značajno poboljšane. Znači znatno bolja procena površine.

3) Topografsko mapiranje

- Počinje sa prikupljanjem prostornih podataka sa podacima o visini iz RTK GNSS sistema (unutar 2 cm horizontalne preciznosti). (Slika 17).
- Kada se podaci prikupe, softver analizira podatke da bi napravio mape kontura, nadmorske visine, nagiba i aspekta.
- Topografski podaci se prikupljaju vožnjom traktora preko polja tokom obavljanja poljoprivredne operacije u redovnim intervalima otkosa, pri čemu GNSS jedinica beleži tačke podataka na svakih 5-10m.

- Što je širina trake uža, to bolje, jer se prikuplja više podataka za izradu detaljnijih topografskih karata pejzaža.



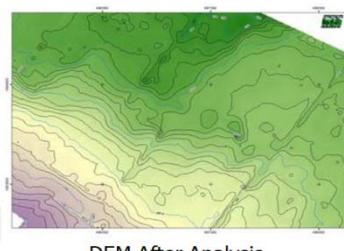
RTK GPS Mounted in a 4WD Vehicle

RTK GPS System Inside a Vehicle

Slika 17. RTK GPS system for Parcel Area Measurement mounted on Vehicle (Salem, 2007)



Point Data Surveyed by GNSS RTK



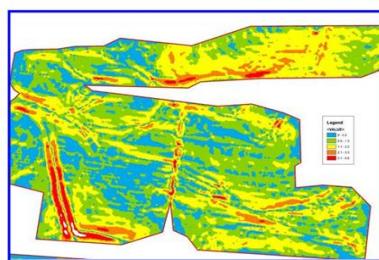
DEM After Analysis

Slika 18. Podaci o tačkama koji su prikupljeni GNSS RTK i DEM nakon analize (Salem, 2007)

Benefiti topografskog mapiranja farme

Korisni za dizajn slojeva farme

- Maksimiziranje operativne efikasnosti farme,
- Kontrola erozije, i
- Minimiziranje nakupljanje vode.



Slope Map:

Blue represents areas of very low slope (< 0.5%); which maybe prone to water logging.

Red represents areas of higher (steeper) slope, which have higher susceptibility to erosion.

Contour lines laid over satellite imagery.

This shows slopes and surface water flows; an extremely useful planning and layout design tool.



Slika 19. Karte kao produkt topografskog mapiranja (Salem, 2007)

4) Aplikacije za varijabilno tretiranje

- Dozvoliti poljoprivrednicima da tretiraju samo zahvaćena područja polja.
- GNSS je potreban jer oprema sa promenljivom brzinom mora da zna gde da promeni brzinu ulaza.
- Izračunava željenu količinu hemikalije koju treba primeniti u svakom trenutku.
- GNSS sistem se mora koristiti za kontinuiranu korelaciju lokacije na terenu sa koordinatama na mapi i željenom stopom primene za tu koordinatu.
- Većina kontrolora sa varijabilnom dozom zapravo pokušava da sinhronizuje dozu primene sa pozicijom na terenu „gledajući unapred“ na mapi za sledeću promenu doze. Ovo uzima u obzir vreme potrebno za promenu brzine koja izlazi iz aplikatora i brzinu traktora na terenu.

5) Mapiranje prinosa

- Tradicionalno, farmeri su imali jedan prosečan broj u pogledu prinosa useva za jedno polje.
- Prosečan prinos useva maskira varijabilnost prinosa koja postoji na polju.
- Mappa prinosa procenjuje proizvodnju polja i kako se ona prostorno razlikuje na polju
- Omogućava proizvođaču da istražuje pitanje zašto su određene oblasti proizvodile na način na koji su to uradile.

Mapa prinosa pruža 2 važne informacije:

- Varijabilnost prinosa:

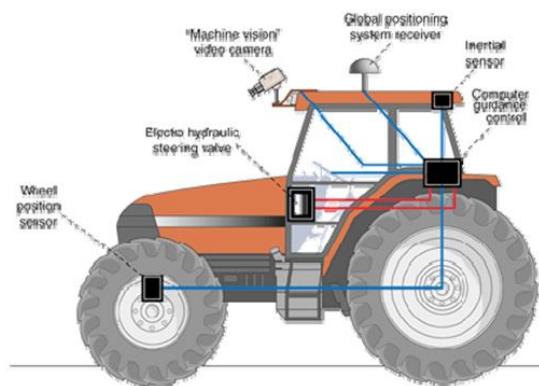
- Ilustrovano na mapi skupom boja, pri čemu svaka boja predstavlja opseg prinosa.
- Legenda karte govori kako da se pričita varijacija prinosa.
- Mappa koja prikazuje uglavnom jednu boju znači nedostatak varijabilnosti prinosa.

- Proizvodnja prinosa:

- Označeno relativnom veličinom niskog i visokog prinosa područja.
- Koja boja preovlađuje na karti pokazuje da li na polju postoji visok ili nizak prinos.
- Područja niske proizvodnje mogu ukazivati na probleme sa nivoom hranljivih materija u zemljištu, stresom vode ili pritiskom štetočina.

6) GNSS pomoć kod upravljanja

- Poljoprivrednici beleže svoje rute dok oru svoje njive pomoću GNSS sistema za snimanje
- Traktor se tada može programirati da prati istu rutu - za kultivaciju, dubrenje, kontrolu štetočina i žetvu.

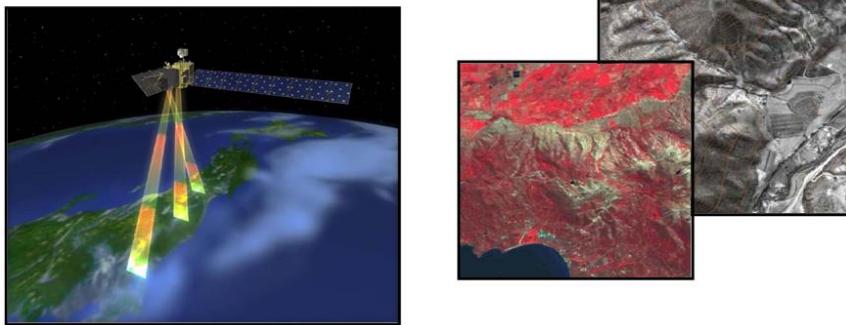


Hands-Free GNSS Assisted Steering

The Wired Tractor

7) Daljinska detekcija u poljoprivredi

- Daljinsko detektovanje = nadgledanje stanja njihovih polja bez fizikog dodirivanja koristeći slike snimljene sa daljine snimljene sa tačke gledišta visoko iznad polja (npr. sateliti ili avioni).



Slika 20. Poljoprivredna daljinska detekcija, praćenje polja pomoću satelita (Salem, 2007.)

5. Komercijalni senzori u preciznoj poljoprivredi

5.1. Osetljivost useva

Senzori useva pružaju poljoprivrednicima brza, objektivna, kvantitativna i precizna (ponovljiva) merenja koja je teško ili nemoguće dobiti drugim sredstvima. Što se tiče udaljenosti između senzora i mete, tehnike sensinga se mogu klasifikovati kao proksimalno ili daljinsko ispitivanje (RS). Tehnički, daljinsko merenje je svako merenje dobijeno bez kontakta sa elementom koji se meri. Međutim, u PA je opšte prihvaćeno da su tehnike proksimalnog sensinga one koje se koriste za merenja na zemlji. Stoga se svako mjerjenje dobijeno od dronova, aviona ili satelita smatra RS. Prednosti i nedostaci obe tehnike sensiranja mogu se videti u tabeli 4.

Tabela 4. Prednosti i nedostaci tehnika proksimalnog i daljinskog senzora

PROXIMAL SENSING	REMOTE SENSING
+ Usually very high spatial resolution + Simpler technologies + Possibility of using multiple sensors at a time + On-the-go derived operation capabilities	+ No contact with the crop or soil + Large scale measurements (field, farm or region) + Instantaneous (single-shot) measurements keeping environmental conditions all the same
- Need to step on the field - Small scale measurements - Longer acquisition times (resulting in different environmental conditions)	- Usually lower spatial resolution - Usually more expensive techniques - More meteorology dependent - Need for atmospheric corrections when using satellites

Što se tiče prostorne rezolucije merenja, neki proksimalni sistemi sensinga (senzori i registratori podataka) mogu da vrše merenja samo na jednoj lokaciji. Razlog može biti ili da je senzoru potrebno posebno podešavanje ili da se mora ručno pokrenuti. Drugi senzori su u stanju da ostvare kontinuirana merenja tokom vremena bez posebnih zahteva za sensing, tako da ih je potrebno samo pomerati kroz polja dok snimaju njegov izlazni signal i koordinate GNSS prijemnika da bi georeferencirali merenja. Ove poslednje se obično nazivaju tehnikama detekcije u pokretu.

Kada senzori treba da miruju na terenu, npr. zakopani senzori vlage u zemljištu ili senzori pričvršćeni za voće, oni mogu farmerima pružiti podatke visoke vremenske rezolucije. Prostorna rezolucija je,

međutim, obično veoma niska jer direktno zavisi od broja senzora raspoređenih na terenu. Često postoji samo jedan ili nekoliko senzora po hektaru i to čini lokaciju senzora veoma važnim pitanjem koje treba unapred razmotriti. Ove vrste senzora se obično povezuju bežičnim komunikacijama u takozvane bežične senzorske mreže (WSN).

5.1.1. Karakterizacija krošnje i biomase

Optički senzor se obično koristi za merenje varijabilnosti u zemljištu i vegetaciji. Optičko snimanje koristi vidljive, bliske infracrvene (NIR) i termalne delove elektromagnetskog spektra. U preciznoj poljoprivredi, daljinska detekcija se uglavnom koristi za detaljno praćenje useva kroz izračunavanje tzv. vegetacionih indeksa (VI). Najpoznatiji VI je indeks normalizovane razlike vegetacije (NDVI), koji je jednostavan proračun, koristeći refleksiju vegetacije na crvenom (R) i bliskom infracrvenom (NIR) opsegu elektromagnetskog spektra:

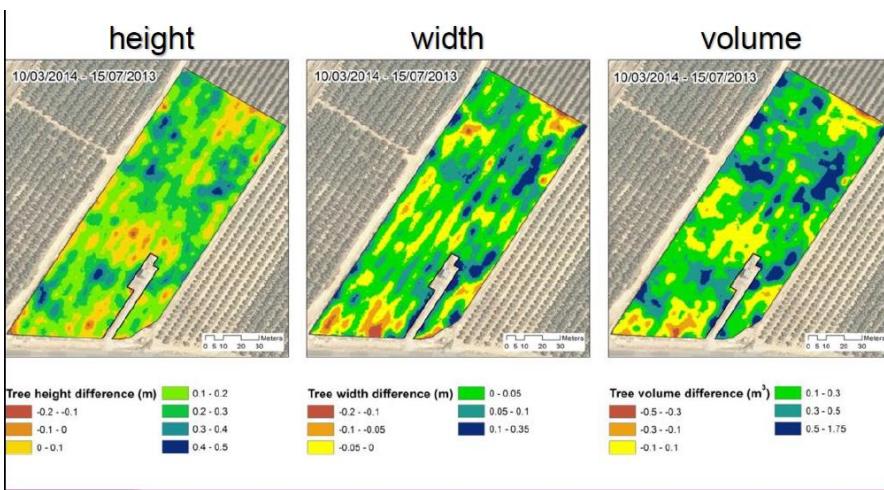
Klasifikacija senzora se može videti u nastavku prema karakterizaciji vegetacije;

- Crop sensors:
 - Detection and ranging (optical and ultrasonic)
 - For crop detection
 - For crop/canopy characterization
 - Radiometric
 - RGB detection
 - Indices for biomass estimation (and vigour and health status)
 - Other

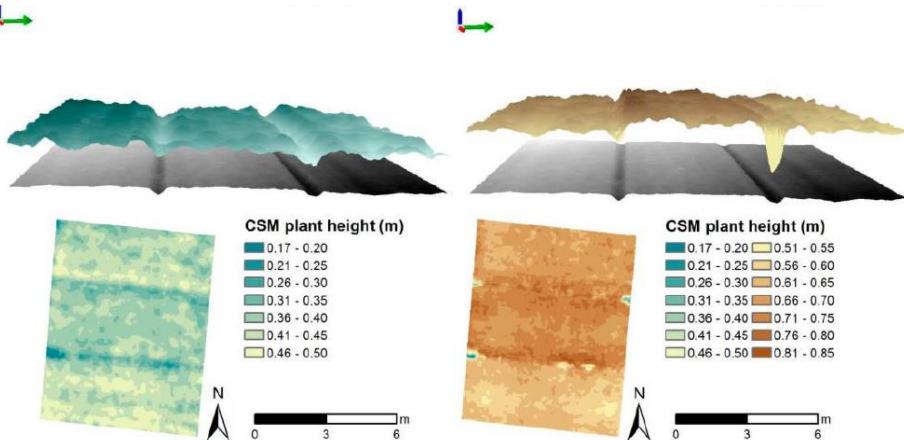
Detekcija i rangiranje useva (optički i ultrazvučni (CIHEAM, 2016)



LIDAR - Mape rasta krošnje za parametre stabala (CIHEAM, 2016)



RGB detekcija od UAV za parametre postrojenja (CIHEAM, 2016)



Biomasa kroz radiometrijske indekse koji se koriste za merenje zdravlja i vitalnosti biljaka

Senzori za merenje refleksije useva mogu se klasifikovati prema platformi. Prizemni optički senzori mogu prikupljati podatke o refleksiji i čuvati ih u tekstualnoj datoteci. Senzori tla se takođe mogu klasifikovati na aktivne i pasivne. Osnovna razlika je u tome što je pasivnim senzorima potreban spoljni izvor svetlosti, poput sunca. Aktivni senzori imaju sopstveni izvor svetlosti. U nastavku je navedeno nekoliko brendova koji se ručno koriste na tržištu, od kojih svaki ima svoje karakteristike konstrukcije.

Crop Circle™



Manufacturer	Holland Scientific
Height of operation	0.25m to 2.5m
Field of view	Height x 0.6 (up to 8 sensors on CANbus)
View angle	nadir
Active light source	Model ACS-220: Yellow (560nm) or Red (650nm) & NIR (770nm) Model 270: 3 user-configurable bands (420 to 800nm)
Data output	Model ACS-220: band information and NDVI or YNDVI Model 270: band information and user-defined index
Calibrations	Crop biomass and nitrogen uptake

<http://hollandscientific.com/product/crop-circle-acs-430-active-crop-canopy-sensor/>

Greenseeker®



Manufacturer	Ntech Industries (Trimble)
Field of view	0.6m (multiple sensor capable)
Height of operation	0.8 – 1.2m above target
View angle	nadir
Active light source	Red (660nm) & NIR (770nm)
Data output	NDVI or four alternatives and nitrogen recommendation
Calibrations	Yield potential and nitrogen responsiveness – winter wheat, spring wheat, canola, corn, sorghum, cotton

<http://www.trimble.com/Agriculture/greenseeker.aspx>

**Yara N Sensor®
i Yara N Sensor ALS
(Active Light Source)**



http://www.sensoroffice.com/hp_home2/index.jsp

Manufacturer	Yara Fertilisers
Height of operation	Tractor cab height
Field of view	3m wide strip on each side of the tractor
View angle	oblique
Active light source	Red edge (730nm) and (760nm)
Data output	Biomass index and nitrogen recommendation
Calibrations	winter wheat, winter barley, spring wheat, spring barley, potatoes, protein in winter wheat

TOPCON CROPSPECT™

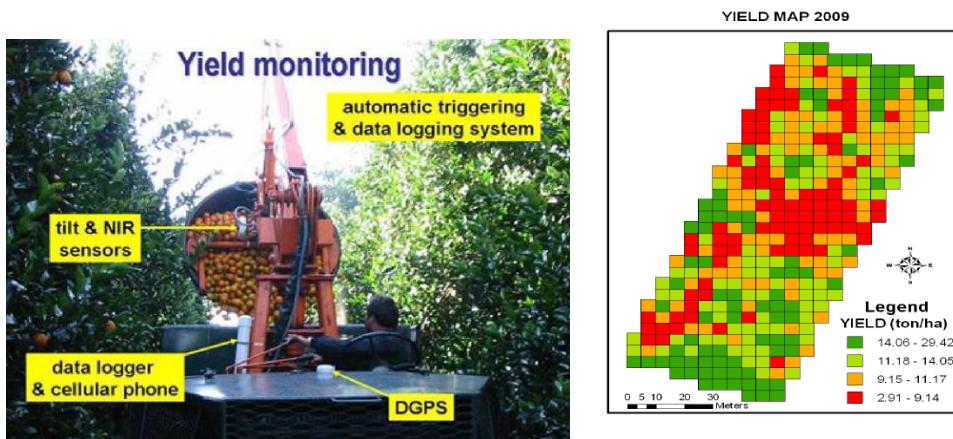


Manufacturer	Yara Fertilisers & TOPCON
Height of operation	Tractor cab height
Field of view	3m wide strip on each side of the tractor
View angle	oblique
Active light source	730-740 nm and 800-810 nm
Data output	Biomass Index and N recommendation
Calibrations	winter wheat, winter barley, spring wheat, spring barley, potatoes, protein in winter wheat

<http://ag.topconpositioning.com/ag-products/x20-application-kits/cropspec>

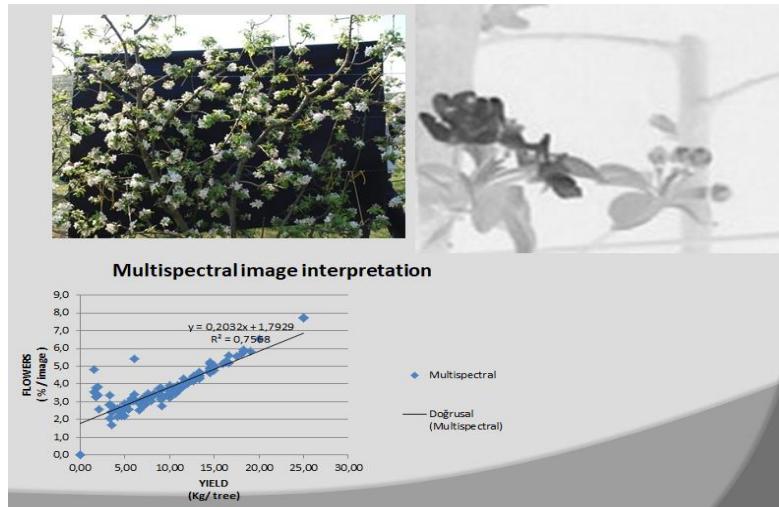
5.1.2. Praćenje cveća i plodova

Voće je sakupljeno pomoću sistema za merenje paletnih kanti voća u PA. Kante su uklonjene hidrauličnim liftom koji je koristio ćelije za punjenje da ih izmeri i GPS za snimanje položaja. Ovim pristupom, na primer, primećena je varijabilnost prinosa u voćnjaku od 3,6 ha. U većini useva količina je jedna komponenta proizvodnje polja. Kvalitet proizvoda je druga komponenta za voćarske kulture, kvalitet obično uključuje spoljašnje parametre (veličinu, boju, oblik, teksturu površine i masu), unutrašnje parametre (slatkoća, kiselost ili unutrašnje bolesti) i svežinu (Slika 21). Možemo definisati površine polja koje sazrevaju ranije ili kasnije i vršiti odvojenu žetvu, ostavljajući kasno sazrevanje da sazre korišćenjem nedestruktivnih metoda.



Slika 21. Sistem mapiranja prinosa u voćnjacima i odgovarajuće karte prinosa (Gemtos, 2012)

Koristeći daljinsku detekciju otkrili su visoku korelaciju između mapa indeksa vegetacije u blizini početka zrelosti i mapa kvaliteta grožđa. Vegetacijski indeksi su procenjeni izmerenom refleksijom biljaka. Korelacija između ovih indeksa i prinosa, kvaliteta proizvoda, stanja vode ili dostupnosti hranljivih materija prikazane su u literaturi. Refleksija svetlosti je prilično komplikovana i na nju utiče nekoliko faktora zbog kojih u mnogim slučajevima korelacija nije jasna. Visoku korelaciju između prostornog prinosa i prostorne distribucije cvetova u jabukama su otkrili Liakos i dr. SLikajući i analizirajući ih, možemo predvideti raspodelu prinosa u voćnjaku i konačni prinos (slika 22).



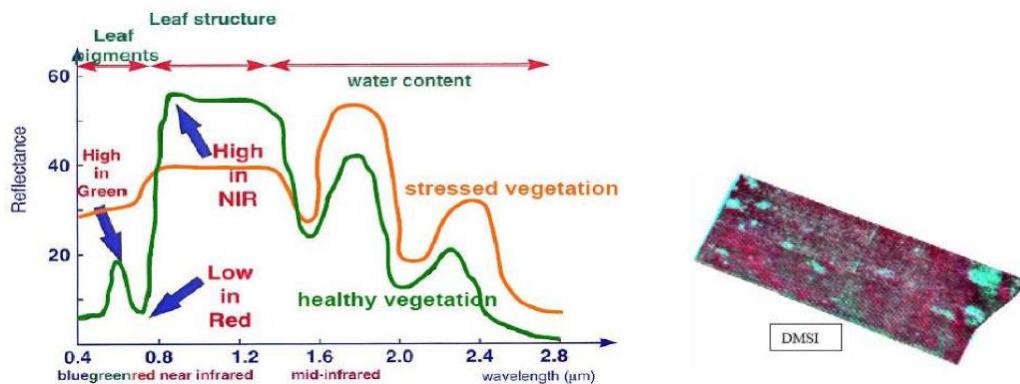
Slika 22. Multispektralna slika cveća za tumačenje prinosa (Liakos et al., 2017)

5.1.3. Osetljivost zdravlja useva

Problem - Samo preventivni sanitarni tretmani, - Potencijalna detekcija mora da se uradi veoma rano, - Poteškoće u identifikaciji specifičnih simptoma, - Nema dostupnih specifičnih senzora za otkrivanje bolesti, ali je fluorescencija jedna moguća prilika i potencijalnost hiperspektralnih slika se takođe istražuje,

Trenutna rešenja: Dostupna u velikim razmerama za bolesti u višegodišnjem uzgoju

- filoksera (loza),
 - Flavescencija (fitoplazma),
- Posmatranje u velikim razmerama (> hiljada ha) da bi se identifikovala moguća pojava bolesti.



Izvor: http://agrifish.jrc.it/marsstat/db_and_infrastructures/EVMI_remote_sensing_data.pdf

Trenutna rešenja velikih razmara za višegodišnje useve;

Primeri: od 2001. godine godišnji snimci iz vazduha od strane odbora industrije grožđa Južne Australije - vazdušni snimci NIR, rezolucija 0,5-1m. - Više od 90% vinograda je kontrolisano,

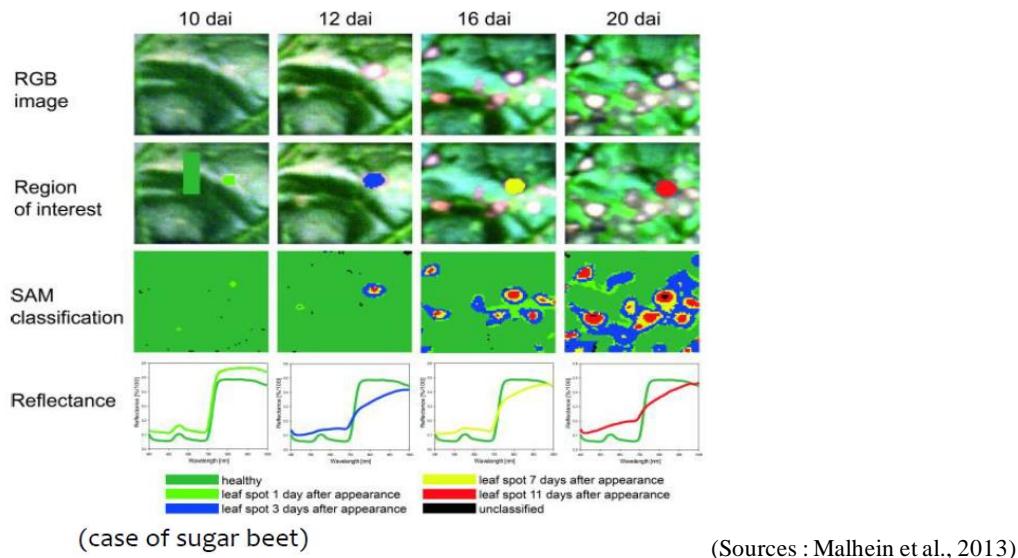
Princip :

- Obrada slike (NDVI ili drugi vegetacion indeks),
- Analiza slike od strane ljudskih stručnjaka i veza sa bazom podataka vlasnika (najteže),
- Identifikacija mogućih simptoma za temeljnu inspekciju istine

Possible future solutions : fluorescence



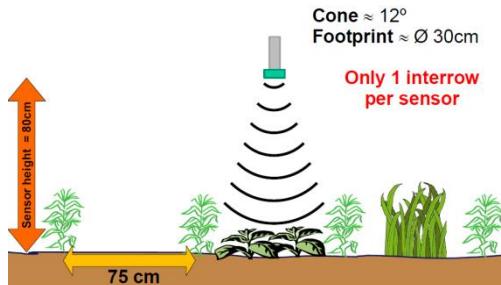
Hiperspektralna (visoka prostorna rezolucija)



5.1.4. Detekcija i klasifikacija korova

- Weed sensors:
 - Presence (optical and ultrasonic)
 - For weed detection and classification
 - Radiometric
 - For weed detection and classification

Ultrazvučna detekcija korova i rangiranje (CIHEAM, 2016)



RGB detekcija korova (CIHEAM, 2016)

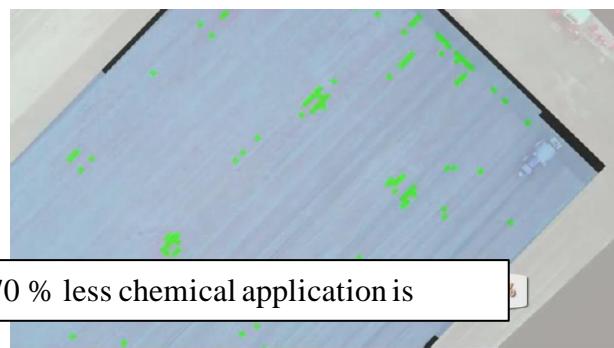


www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169911002602



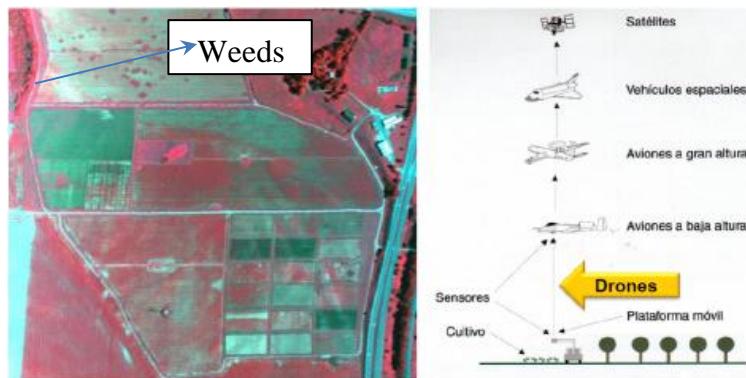
<https://youtu.be/QUmE3WDYyLw>

RGB detekcija korova od UAV ((CIHEAM, 2016)

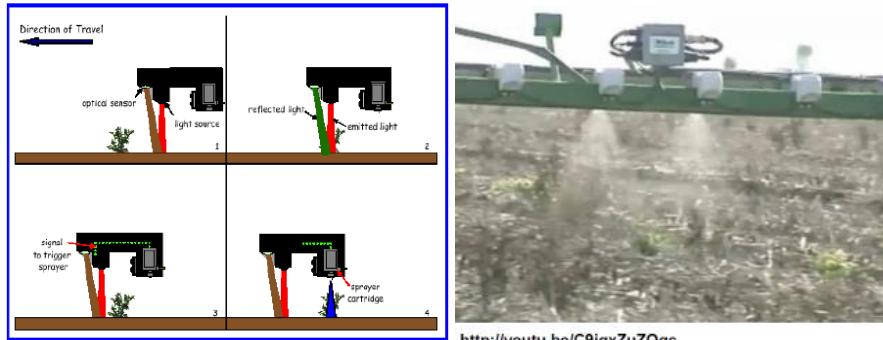


<https://www.youtube.com/watch?v=TjX-FhmdhZc>

VIS + NIR detekcija detekcija korova (CIHEAM, 2016)

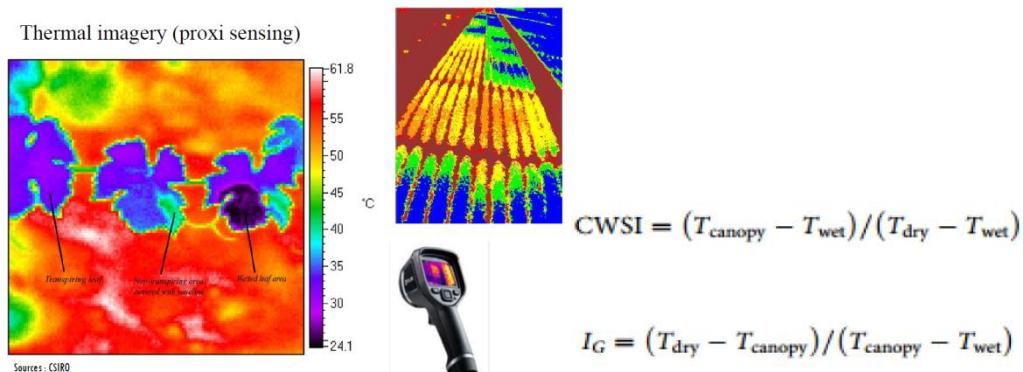


Tragač korova: otkrivanje korova i prskanje na osnovu senzora (CIHEAM, 2016)



5.1.5. Nedostatak vode

Nedostatak vode nastaje kada nema dovoljno vode za kretanje u biljkama. Pošto neke biljke zahtevaju više vode od drugih, neke mogu patiti zbog nedostatka padavina, nedostatka vode u zemlji ili nemogućnosti da se skladišti dovoljno vode da bi preživele sušne mesece. Temperatura krošnje je odavno prepoznata kao indikator statusa vode biljaka i kao potencijalno sredstvo za planiranje navodnjavanja. Status vode je procenjen termalnom kamerom i snimcima sa mobilnih ili vazdušnih platformi.



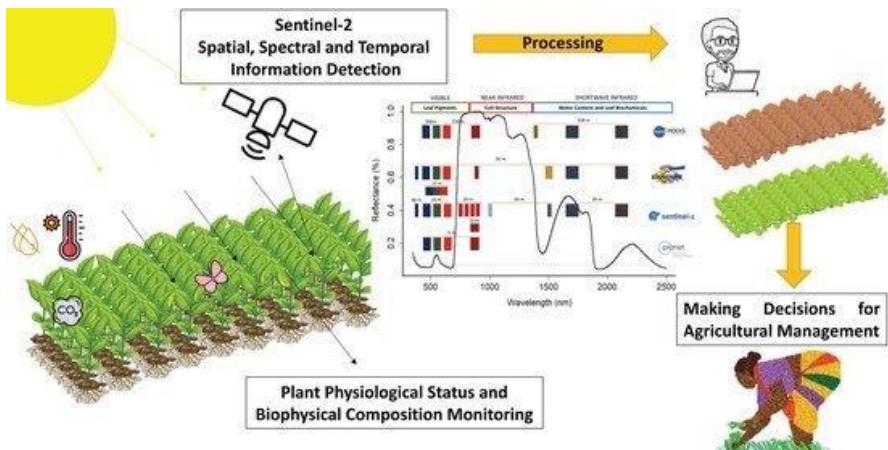
Termalne slike (proksi sensing) (Jones and Ksavier, 2014)

CVSI, IG: Indeks vodenog stresa useva

Mnogi radovi su otkrili dobre korelacije između CVSI, IG i statusa vode biljaka.

5.1.6. Praćenje prinosa (NDVI i VARI indeks)

Pošto sistemi daljinske detekcije direktno posmatraju nadzemnu komponentu krošnje useva na velikim površinama sa mogućnošću izvođenja parametara za svako polje, oni bi mogli biti primarni izvor za prikupljanje informacija o varijabilnosti rasta useva na kvantitativnoj i redovnoj osnovi. Povezivanje informacija daljinskog istraživanja i simulacionog modela useva pruža alternativu za mapiranje prinosa useva na nivou farme i utvrđivanje uzroka varijabilnosti u proizvodnji useva.



Remote sensing for agriculture monitoring: Sentinel-2 features and precision agriculture (

6. Obrada podataka senzora: od podataka senzora do informacija za farmera

6.1. Primena slučaja upotrebe

„Proširenje prakse precizne poljoprivrede u regionu GAP“

Projekat je sproveden u cilju efikasnog obavljanja poljoprivrednih aktivnosti u regionu Jugoistočne Anadolije. U prvoj fazi vršene su analize sa različitim izvorima podataka daljinske detekcije i zemaljskim spektralnim merenjima. Pored toga, razvijen je aplikativni softver za precizne analize poljoprivrede uz pomoć operatera i web aplikacije. U drugoj fazi studije, čija je prva faza završena, cilj je merenje povećanja prinosa primenom varijabilnog đubrenja u biljci kukuruza. Cilj je da se rezultati projekta distribuiraju prvo u GAP regionu, a zatim u celoj Turskoj.

U okviru projekta planiran je rad na proizvodima od kukuruza, pamuka i pšenice; Urađen je plan aktivnosti i odabранo je pilot područje površine 1000 hektara na kome će se izvoditi radovi u okviru projektnih aktivnosti. Za prikupljanje odgovarajućih podataka, analizu i interpretaciju prikupljenih podataka korišćene su različite metode (satelitski snimci, multi/hiperspektralne kamere za vazdušne platforme, spektrometri, senzori koji će se koristiti u zemaljskim platformama) za precizne poljoprivredne primene u određenom pilot regionu. Sprovedeno je određivanje postojeće strukture biljaka i detaljna istraživanja zemljišta, a satelitski snimci su napravljeni i obrađeni za uzorak biljke pilot područja. Studije prikupljanja podataka o vazduhu i zemlji su sprovedene za akviziciju spektralnog potpisa. Za efikasno korišćenje sistema razvijen je aplikativni softver sa dva različita interfejsa kao nacionalni, korisnički i krajnji korisnik, koji se u tom smislu može nazvati prvim u Turskoj koji obrađuje i tumači prikupljene podatke.

Farmer web interfejs omogućava prikupljanje spektralnog odziva dobijenog u različito vreme u pilot području, izradu mapa đubrenja i primene pesticida, detekciju uzorka proizvoda sa 95% tačnosti sa satelitskih i vazdušnih snimaka, predviđanje prinosa, otkrivanje razvojnih problema u biljkama i dostavljanje problema farmerima preko konsultanta farmera. Među glavnim rezultatima projekta su integracija satelitskih snimaka i kontinuitet sistema, integracija istraživanja zemljišta i mapa produktivnosti, kao i upotreba različitih tipova podataka.

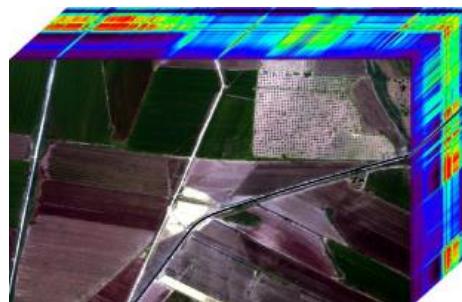
Prikupljanje podataka

Satelitski snimci

U projektu se koriste domaći satelit Gokturk-2, besplatni snimci NASA i ESA satelita: Landsat 8, EO-1 Hiperion, Sentinel-1, Sentinel-2 i komercijalni sateliti SPOT 6/7, TerraSAR-Ks, RapidEie. Neki od snimaka se mogu dostaviti kao prethodno obrađeni snimci, dok su drugi snimci spremni za analizu unošenjem radiometrijskih i geometrijskih korekcija. Razlike u vremenskoj, prostornoj i spektralnoj rezoluciji korišćenih satelita daju prednost u pristupu različitim informacijama istovremeno. Na primer, dok satelit Gokturk-2 sa prostornom rezolucijom od 2,5 metara, za koji je planirano da proizvodi snimke na zahtev, može da snima u proseku jednom mesečno, sateliti Sentinel-2 sa prostornom rezolucijom od 10 metara daje snimke svakih 5 dana. Kontinuitet analiza razvoja biljaka obezbeđen je korišćenjem SAR snimaka umesto elektrooptičkih snimaka, koji se ne mogu koristiti posebno u prolećnim mesecima kada su padavine velike. Korišćenjem elektrooptičkih, SAR i hiperspektralnih satelitskih snimaka koji pokrivaju odabrana područja istraživanja u Haranskoj ravnici, izvršene su vremenske analize zasnovane na fenološkom razvoju biljaka koje se uzgajaju u regionu.

Snimci iz vazduha

U okviru pilot oblasti projekta, urađeno je 10 vazdušnih hiperspektralnih (HS) snimanja za unapred određene datume, uzimajući u obzir vegetativne periode razvoja regionala. VNIR HS vazdušna kamera NEO Hispek VNIR-1800, SWIR HS vazdušna kamera NEO Hispek SVIR-384 senzori se koriste za hiperspektralno snimanje. Primer VNIR HS slike je prikazan na slici 23.



Slika 23. VNIR hiperspektralna kocka podataka (Teke et al., 2019.)

Prikupljanje podataka na terenu

U okviru studija uzorkovanja zemljišta napravljene su mreže „60 metara x 60 metara” i prikupljeno je 170 uzoraka zemljišta. Otvorena je jama profila od 1,5 metara za svaku pilot oblast koja će biti primenjena sa geodetskim studijama i izvršeno je ispitivanje. Utvrđena su svojstva kao što su tekstura zemljišta, pH, zapreminska težina, salinitet, alkalnost, količina kreča, količina organske materije, azota, raspoloživi status fosfora/postazijuma/mikroelemenata i mapiran je sadržaj hranljivih materija u zemljištu. Tipovi zemljišta na istraživanom području pripremljeni su u karti (slika 24).



Slika 24. Prikaz tipova zemljišta u oblasti proučavanja na interfejsu poljoprivrednika (Teke et al., 2019)

Pored spektralnog odziva kukuruza i pamuka, prikupljeni su spektralni odzivi drugih biljaka koje rastu u regionu kao što su korov, vinova loza, biber, kikiriki i pšenica. ASD QualitySpec-Trek spektrometar je korišćen za prikupljanje spektralnih potpisa. Meteorološka stanica je bila posvećena merenju vlažnosti, količine padavina, veta, temperature i pritiska u sinhronizaciji sa aktivnostima prikupljanja podataka sa zemlje.

PRECIZNA POLJOPRIVREDNA ANALIZA

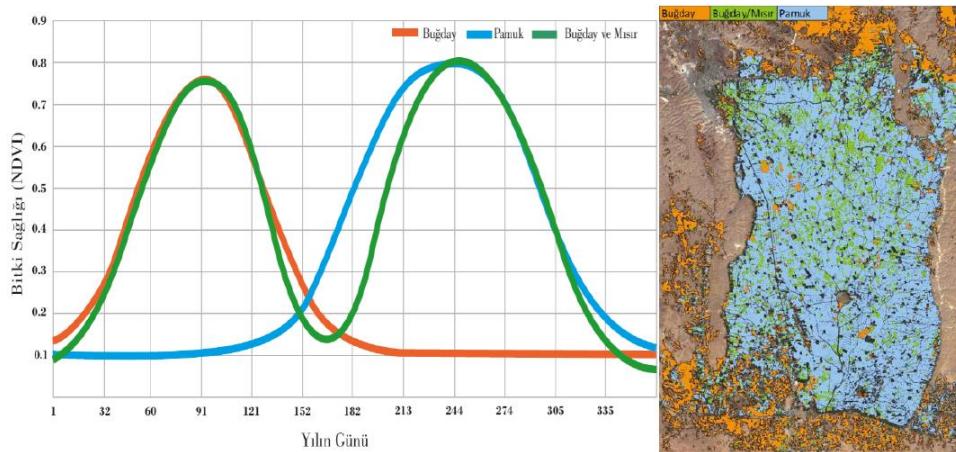
Osnovna svrha radnog paketa analize precizne poljoprivrede bila je analiza početnih i vrhunskih aktivnosti đubrenja. Pored toga, stečeno je znanje koje je pomoglo aktivnostima projekta i korišćeno u kasnijim fazama projekta: zahtevi osnovnog đubriva, zahtevi za najviše đubriva, procena prinosa, otkrivanje korova, detekcija anomalija, mapa obrazaca useva.

Mapiranje šablonu useva

U okviru projekta, sistem za detekciju proizvoda razvijen za proizvode od pšenice, kukuruza i pamuka je poboljšan kako bi uključio i druge proizvode koji se uzgajaju u regionu, kao što su slanutak i sočivo. Hiperspektralne slike su klasifikovane metodom usklađenog filtera i mapera spektralnog ugla (SAM). U klasifikaciji satelitskih snimaka korišćeni su podaci vremenskih serija, dinamičko vremensko iskrivljjenje (DTV) i SVM metode (Slika 25.). U okviru projekta izrađene su mape uzoraka proizvoda sa hiperspektralnim i satelitskim snimcima i SAR snimcima.

Početno i gornje mapiranje i primena aplikacije za đubrenje

U projektu su informacije o trenutnom zdravstvenom stanju biljaka dobijene iz đubrenja na osnovu mape i fotografija iz vazduha i satelitskih snimaka, a aplikacije đubriva sa promenljivom dozom vršene su tokom donjeg i gornjeg procesa primene đubriva. Korelacijom analiza napravljenih sa UAV i satelitskim snimcima i merenjima hlorofilmetrom, iz satelitskih snimaka se pravi mapa vrhunskog đubrenja za kukuruz.



Slika 25. Fenologija useva gajenih u Haranskoj ravnici i mapa uzoraka useva dobijena sa satelitskih snimaka Landsat 8 (Teke et al., 2019).

Detekcija anomalija

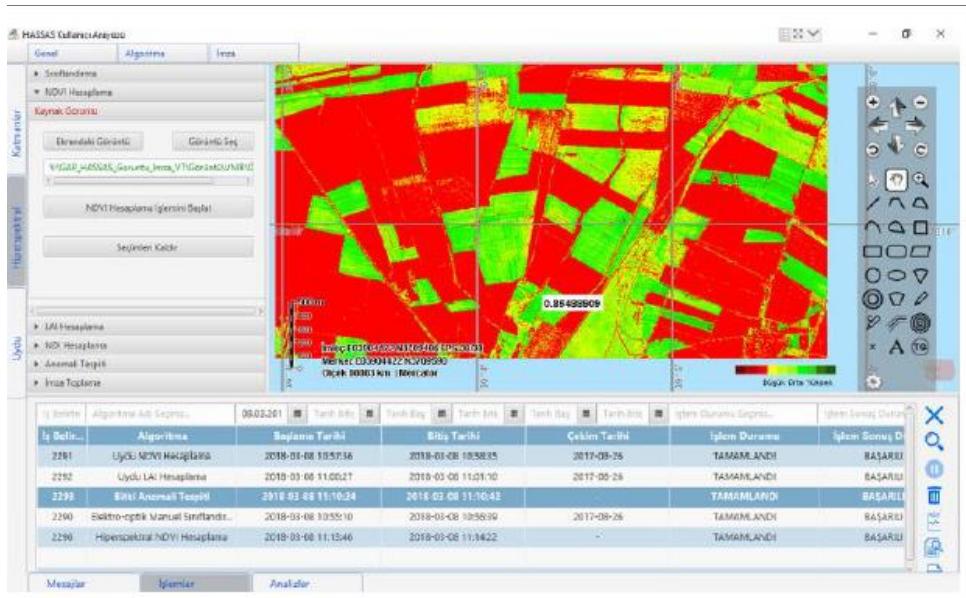
Detekcija anomalija je važna za proučavanje prostorno-vremenskih procesa promena zemljišnog pokrivača. Regioni anomalija na satelitskim snimcima mogu odražavati neočekivane promene pokrivača zemljišta kao što su porast podzemnih voda, bolesti i suša. Detekcija regionala anomalija u vremenskim serijama satelitskih snimaka je veoma važna za ispitivanje dinamičkih procesa u promenama zemljišnog pokrivača. Iako su mnoge metode analize vremenskih serija razvijene za otkrivanje promena zemljišnog pokrivača, nekoliko metoda koliko je nama poznato fokusira se na otkrivanje anomalija u vremenskim serijama satelitskih snimaka. Iako su razvijene različite metode za otkrivanje promena zemljišnog pokrivača korišćenjem vremenskih serija satelitskih snimaka, one su generalno dizajnirane da otkriju iznenadne promene zemljišnog pokrivača između određenih godina.

Detekcija korova

Korovi se prirodno pojavljuju sa biljkama i uzrokuju značajne gubitke prinosa i ekonomsku štetu. U drugoj fazi projekta, napravljeno je razdvajanje korova i biljaka pomoću UAV snimaka i satelitskih snimaka visoke rezolucije koji se prave tokom razvoja biljaka, a izrađene su i karte za kontrolu korova. Naročito, za detekciju korova su poželjne slike veoma visoke rezolucije; Vidi se da je upotreba veštačke inteligencije postala široko rasprostranjena u detekciji korova, zajedno sa metodama kao što su klasifikacija zasnovana na objektima i korišćenje različitih indeksa, a rešenja su počela da se automatizuju.

Aplikacioni softver i interfejs konsultanta za farmere

U okviru aplikativnog softvera za preciznu poljoprivredu postoje analize koje podržavaju donošenje odluka o pitanjima kao što su potrebe za navodnjavanjem, đubrenjem i prskanjem (Slika 26.). Klasifikacija se može vršiti automatski i prikupljanjem odziva sa snimaka, detekcija opštih i biljnih anomalija se može vršiti hiperspektralnim aerofotografijama, razvoj biljaka se može pratiti pomoću NDVI, LAI i NDI indeksnih algoritama. Analize napravljene sa Farmer Advisor Interface-om tumače poljoprivredni konsultanti i dostavljaju ih farmeru (Slika 4.). Analize su napravljene za parcele odabrane preko web aplikacije, obezbeđujući komunikaciju između poljoprivrednog konsultanta i farmera.



Slika 26. Aplikacija i web interfejs poljoprivrednika (Teke et al., 2019.)

6.2. Obrada podataka u realnom vremenu

Sistem prikupljanja podataka o poljoprivrednom zemljištu sastoje se od tri glavne komponente:

- Delovi za prikupljanje. Delovi za prikupljanje se sastoje od različitih senzora. U opremi za prikupljanje podataka na terenu koju smo dizajnirali, indeksni podaci koji se mogu prikupiti i direktno koristiti u simulacionim modelima useva su: vremenski podaci, uključujući maksimalnu i minimalnu temperaturu vazduha, padavine, intenzitet zračenja; podaci o zemljištu, uključujući temperaturu zemljišta, slojevitu vlažnost zemljišta. Uređaji za akviziciju mogu da prikupljaju i druge indikatore kao što su ugljen-dioksid, UV intenzitet i brzina vетра, kao i daljinski upravljana kamera dinamičkih i statičkih snimaka. Posebno treba napomenuti da prikupljanje podataka o zemljištu primenjuje hijerarhijski dizajn vlage u zemljištu i postavlja senzor vlažnosti zemljišta na svakih 10 cm u skladu sa potrebama modela useva za dobijanje stratifikovane vlažnosti zemljišta u realnom vremenu, koja definitivno nije mogla da ode prošlost.

- Sistem prenosa

Sistem prenosa se sastoje od komponenti za skladištenje i bežičnu komunikaciju. Njegova funkcija je privremeno skladištenje prikupljenih senzorskih podataka na licu mesta, i prenos ovih podataka na udaljeni korisnički server preko bežične komunikacione mreže i deponije. Načini prenosa su klasifikovani prema prirodi prenosa podataka, kako bi se uštedeli troškovi komunikacije. Tekstualni podaci se odnose na 2G komunikaciju, odnosno na SMS prenos. Statičke i dinamičke slike trenutno koriste 3G i 4G komunikacioni prenos.

- Sistem upravljanja softverom

Sistem za upravljanje softverom obuhvata konverziju formata podataka (konvertovanje podataka u datoteku koju mogu da čitaju modeli useva), kontrolu uređaja za akviziciju (daljinska kontrola vremena i frekvencije akvizicije, podešavanje ugla kamere, itd.) i statističku analizu podataka i izlaz ikona i drugih funkcionalnih modula.

Sistem akvizicije poljoprivrednog zemljišta u realnom vremenu uvodi akviziciju dinamičkih i statičkih slika u realnom vremenu i u stanju je da sproveđe trodimenzionalno morfološko istraživanje obrasca

rasta useva kroz analizu i kompjutersku obradu slike dobijenih slika. U međuvremenu, poljoprivrednik može analizirati trend rasta useva, situaciju sa štetočinama useva i preduzeti odgovarajuće mere upravljanja sa slikama u realnom vremenu.

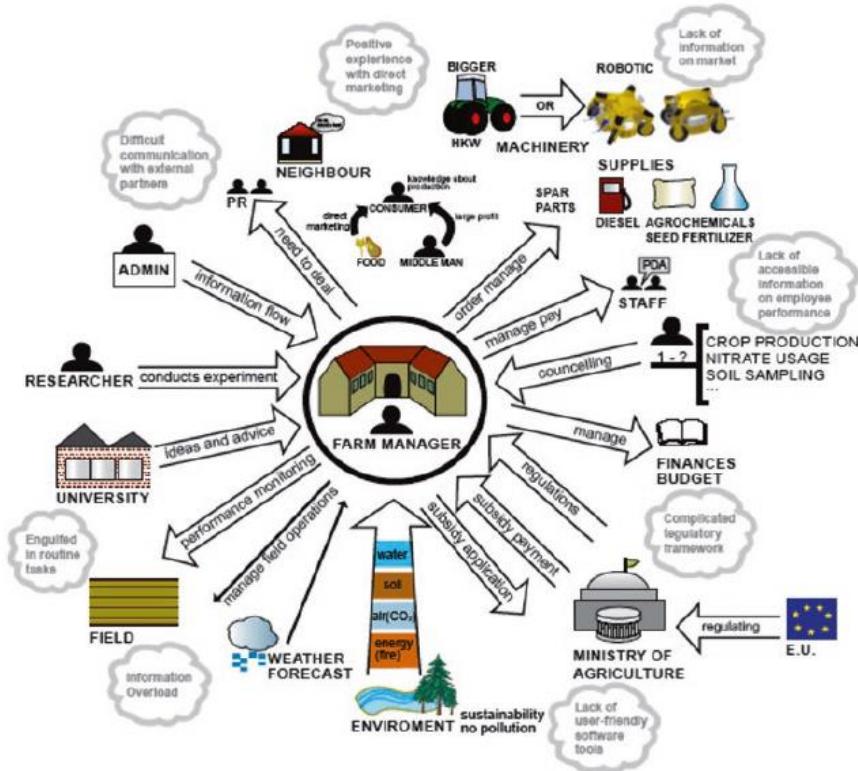
7. Informacioni sistem za upravljanje farmom

Informacioni sistem za upravljanje farmom (*engl. Farm management information systems - FMIS*) je napredovao od jednostavnih sistema za vođenje evidencije na farmama do velikih i složenih sistema kao odgovor na potrebu komunikacije i prenosa podataka između baza podataka kako bi se ispunili zahtevi različitih zainteresovanih strana. FMIS su elektronski alati za prikupljanje i obradu podataka radi pružanja informacija od potencijalne vrednosti u donošenju upravljačkih odluka (Boehlje i Eidman 1984). Oni postoje kada glavni donosioci odluka koriste informacije koje daje sistem evidencije farme da podrže svoje poslovno odlučivanje (Levis 1998). U detaljnijem izrazu, FMIS se definiše kao planirani sistem za prikupljanje, obradu, skladištenje i diseminaciju podataka u obliku potrebnom za obavljanje operacija i funkcija farme (Sørensen et al. 2010). Osnovne komponente FMIS-a uključuju specifične dizajne orijentisane na poljoprivrednike, namenske korisničke interfejse, funkcije automatizovane obrade podataka, stručno znanje i korisničke preferencije, standardizovanu komunikaciju podataka i skalabilnost.

Poljoprivreda je složen sistem koji uključuje niz interakcija između farmera, savetnika, trgovaca, državnih organa, poljoprivrednih mašina, ekoloških propisa, ekonomskih procena i drugih. Ovaj sistem je sažet u obliku bogate slike na slici 27. FMIS može pokriti veliki broj funkcija, kao što su inventar, kalendar, direktna prodaja i funkcije upravljanja specifičnih za lokaciju. Skup od 10 funkcija predstavili su Fountas et al. (2015a) i dat je u tabeli 4.

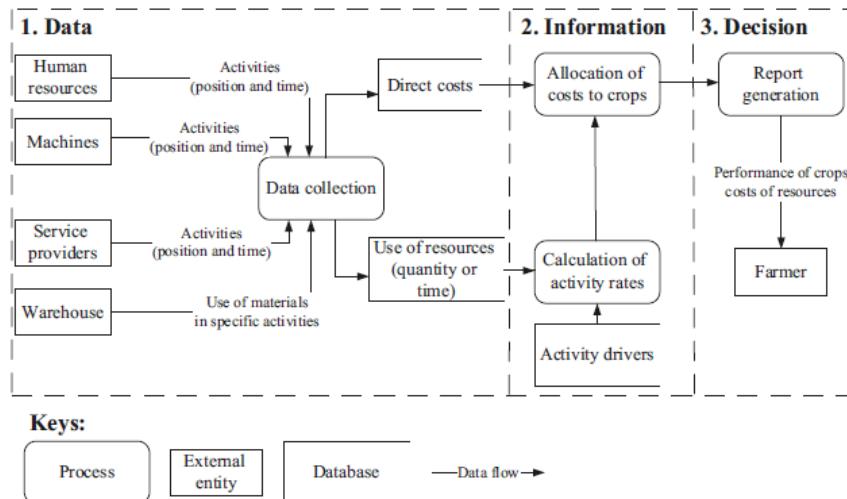
Tabela 4. Informacioni sistemi za upravljanje farmama (Fountas et al. 2015a)

Function title	Function description
Field operations management	Recording of farm activities to help farmer optimize crop production by planning activities and observing the actual execution of planned tasks. Preventive measures may be initiated based on the monitored data.
Best practice (including yield estimation)	Production tasks and methods related to applying best practices according to agricultural standards (e.g. organic standards, integrated crop management (ICM)). A yield estimate is feasible through the comparison of actual demands and alternative possibilities, given hypothetical scenarios of best practices.
Finance	Estimation of the cost of every farm activity, input–outputs calculations, equipment charge-outs, labour requirements per unit area. Projected and actual costs are also compared and input into the final evaluation of the farm's economic viability.
Inventory	Monitoring and management of all production materials, equipment, chemicals, fertilizers, and seeding and planting materials. The quantities are adjusted according to the farmer's plans and customer orders.
Traceability	Crop recall, using an ID labelling system to control the produce of each production section, including use of inputs, employees and equipment, which can be easily archived for rapid recall.
Reporting	Creation of farming reports, such as planning and management, work progress, work sheets and instructions, orders purchases, cost reporting and plant information.
Site-specific	Mapping the features of the field, analysis of the collected data, generation of variable-rate inputs to optimize input and increase output. This is the Precision Farming Technologies component. It could be separate software or integrated.
Sales	Management of orders, charges for services and online sales.
Machinery management	Includes the details of equipment usage, the average cost per work-hour or per unit area. It also includes fleet management and logistics.
Human resource management	Employee management, availability of employees in time and space, handling work times, payment, qualifications, training, performance and expertise.



Slika 27. Bogata slika informacionog sistema za upravljanje farmom (Pedersen i Lind, 2017)

Proces prikupljanja podataka povezan je sa ovim elementima prikazanim na slici 28: (1) vreme koje ljudski resursi utroše na useve, (2) vreme koje su mašine (npr. traktor) ili oprema (npr. uređaj za preciznu poljoprivredu) potrošile na svaki usev, (3) korišćenje spoljnih usluga u smislu troškova i vremena i (4) količina resursa raspoređenog na svaki usev, u određenom vremenu i na određenom mestu.



Slika 28. Dijagram toka podataka alokacije troškova na useve (Pedersen i Lind, 2017)

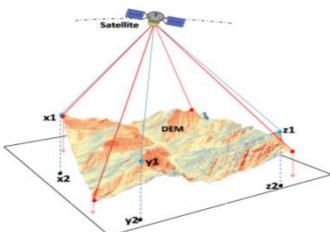
8. Fotogrametrija

Fotogrametrija je umetnost, nauka i tehnologija dobijanja pouzdanih informacija o fizičkim objektima i okolini kroz procese snimanja, merenja i interpretacije fotografskih slika i obrazaca snimljenih kao elektromagnetna energija i druge pojave. Fotogrametrija je stara skoro koliko i sama fotografija. Od svog razvoja pre otprilike 150 godina, fotogrametrija je prešla sa čisto analogne, optičko-mehaničke tehnike na analitičke metode zasnovane na kompjuterski podržanim rešenjima matematičkih algoritama i konačno na digitalnu fotogrametriju zasnovanu na digitalnim slikama i kompjuterskom vidu, koja je lišena bilo kog mehaničkog hardvera. Fotogrametrija se prvenstveno bavi preciznim merenjem trodimenzionalnih objekata i karakteristika terena sa dvodimenzionalnih fotografija. Aplikacije uključuju merenje koordinata; kvantifikaciju rastojanja, visina, površina i zapremina; izrada topografskih karata; i generisanje digitalnih modela nadmorske visine i ortofotografija.

Postoje dve opšte vrste fotogrametrije: vazdušna (sa kamerom u vazduhu) i terestrička (sa kamerom iz ruke ili na stativu). Terestrička fotogrametrija se bavi udaljenostima objekata do približno 200 m, takođe se naziva fotogrametrija bliskog dometa. Aerofotogrametrija malog formata se na neki način odvija između ova dva tipa, kombinujući tačku posmatranja iz vazduha sa bliskim udaljenostima objekata i visokim detaljima slike.

Fotogrametrija je disciplina koja se razvijala tokom mnogo decenija i bavi se preciznim georeferenciranjem fotografija iz vazduha, kao i svemirskih satelitskih snimaka (ponekad jednostavno ortosnimka) i njihovim merenjem. Ortorektifikacija će povećati tačnost proračuna površine različitih klasa korišćenja zemljišta i zemljišnog pokrivača. Položaji slika prizemnih objekata su pomereni zbog visinske razlike. Ova vrsta izobličenja se naziva reljefno pomeranje. Pomeranje reljefa između tačaka može se proceniti korišćenjem nekih osnovnih principa fotogrametrije kao što je merenje paralakse. Paralakse informacije se mogu koristiti da bi slika bila ortografska, sa svakom tačkom na svojoj tačnoj lokaciji u odnosu na druge tačke, bez obzira na nadmorsknu visinu (Schovengerdt, 2006). Izobličenje tačke gledišta je uklonjeno na takav način da bi svaka tačka na tlu trebalo da se posmatra sa direktnog nadirnog položaja optičkog centra satelitskih senzora. Pomeranje terena zahteva vrednosti mreže nadmorske visine koje su korišćene za korekciju snimaka daljinske detekcije. Ova prostorna mreža podataka o nadmorskoj visini poznata je kao digitalna nadmorska visina. Model (DEM), engl. *Digital Elevation Model* može se obraditi sa digitalnim stereo slikama para sa preklapanjem od više od 60 procenata. U ranijoj fazi daljinskog istraživanja, DEM je bio veoma grube rezolucije. Rezolucija postaje bolja sa unapređenjem tehnika dizajna senzora (Schovengerdt, 2006). Sada su 30 m DEM SRTM i ASTER slobodno dostupni.

Šematski dijagram prikazuje atribut terena sa nadmorskom visinom koja dobija pomeranje reljefa. Čini se da je tačka u visini (x_1, y_1, z_1) negde drugde (x_2, y_2, z_2) od stvarne pozicije (slika 14.7). Za dobijanje elevacionog izvora postavljena je digitalna elevatorska mreža koja je dodatno integrisana u satelitsku sliku radi ortorektifikacije.



www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportaal/uitleg-data/orthorectificatie/

Indeksi daljinske detekcije i značenja

Informacije o rastu, snazi i njihovoj dinamici iz kopnene vegetacije putem daljinskog senzora mogu

pružiti izuzetno korisne uvide za primenu u monitoringu životne sredine i poljoprivredi. Indeksi daljinske detekcije kao što su normalizovani indeks vegetacije razlike (NDVI), indeks vode na površini zemlje (LSWI), indeks suvoće temperature i vegetacije (TVDI), indeks vegetacije prilagođen zemljишtu (SAVI), indeks deficit-a vode (WDI), itd. dobijeni iz satelitskih snimaka su od pomoći za određivanje stanja razvoja useva i/ili stanja vlažnosti zemljишta. Indeks normalizovane razlike vegetacije (NDVI) izračunava gustinu vegetacije procenom varijacije između bliskog infracrvenog (koji vegetacija snažno vraća) i crvenog sjaja (koji vegetacija privlači). Štaviše, Indeks površinskih voda (LSWI) koristi kratkotalasnu infracrvenu (SWIR) i blisku infracrvenu (NIR) zonu elektromagnetskog opsega. Pored toga, indeks suvoće temperature-vegetacije (TVDI) se dobija iz prostorne temperature površine zemljишta- NDVI i može se koristiti kao marker vlažnosti zemljишta, a samim tim i pritiska vode vegetacije. SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) uzima u obzir vizuelne karakteristike tla na refleksiju biljnog pokrivača.

Procenjujući razliku u rasponu zaraženih i bujnih biljaka, naučnici mogu da prepoznaju stres useva.(Tabela 5).

Tabela 5. Glavni spektralni vegetacijski indeksi koji se koriste u poljoprivredi

Index	Equation	Usefulness
NG	G/ (NIR+R+G)	Carotenoids, anthocyanins, xanthophylls
NR	R/ (NIR+R+G)	Chlorophyll
DVI	NIR-R	Soil reflectance
GDVI	NIR-G	Chlorophyll, N status
NDVI	(NIR-R)/ (NIR+R)	Vegetation cover
GNDVI	(NIR-G)/ (NIR+G)	Chlorophyll and photosynthesis, N status

Abbreviation: A=adapted, D=difference, G=green, N=normalized, NIR=near-infrared, R=red, RVI=Ratio Vegetation Index, VI= Vegetation Index.

Poljoprivreda igra dominantnu ulogu u ekonomijama kako razvijenih tako i nerazvijenih zemalja. Satelitski i vazdušni snimci se koriste kao alati za mapiranje za klasifikaciju useva, ispitivanje njihovog zdravlja i održivosti i praćenje poljoprivrednih praksi. Poljoprivredne primene daljinskog senzora uključuju sledeće:

- Klasifikacija vrsta useva
- Procena stanja useva
- Procena prinosa useva
- Kartiranje karakteristika zemljишta
- Mapiranje praksi upravljanja zemljишtem
- Praćenje usklađenosti (poljoprivredne prakse)
- Praćenje štetočina i bolesti

Reference

- PAGE** 1
- Anonymous. (2007). Food Traceability. European Commission Directorate - General Factsheet https://ec.europa.eu/food/system/files/2016-10/gfl_req_factsheet_traceability_2007_en.pdf
- Barrero O and Perdomo S A. (2018). Precision Agriculture 19 (5), 809-822, 46: 2018: Weed detection in rice fields using aerial images and neural networks.
- Barrero, O., & Perdomo, S. A. (2018). RGB and multispectral UAV image fusion for Gramineae weed detection in rice fields. *Precision Agriculture*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9558-x>
- Burkart, A., Hecht, V. L., Kraska, T., & Rascher, U. (2018). Phenological analysis of unmanned aerial vehicle based time series of barley imagery with high temporal resolution. *Precision Agriculture*, 19(1), 134-146. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9504-y>
- Castaldi F, Pelosi F, Pascucci S and Casa R. (2017). *Precision Agriculture* 18 (1), 76-94, 2017. 93: A comparison of sensor resolution and calibration strategies for soil texture estimation from hyperspectral remote sensing.
- CIHEAM' - IAMZ. (2016). Course Notes on 'USE OF SENSORS IN PRECISION AGRICULTURE. Zaragoza (Spain), 7-12 March 2016
- Fountas S, Carli C, Sørensen CG, Tsiropoulos Z, Cavalaris C, Vatsanidou A, Liakos B, Canavari M, Wiebensohn J, Tisserye B (2015a) Farm management information systems: current situation and future perspectives. *Comput Electron Agric* 115:40-50
- Fulton, J., E. Hawkins, R. Taylor, and A. Frazen. 2018. Yield monitoring and mapping. In: D.K. Shannon, D.E. Clay, and N.R. Kitchen, editors, *Precision agriculture basics*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- Garcia R and Lunadai L.(2011). The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, DOI:10.1016/J.COMPAG.2011.08.010.
- Gemtos, T. 2012. Precision Agriculture Applications in High Value Crops. Lecture Notes. Lab of Farm Mechanization, University of Thessaly, Greece.
- Griffin, T.W., J.M. Shockley, and T.B. Mark. 2018. Eco nomics of precision farming. In: D.K. Shannon, D.E. Clay, and N.R. Kitchen, editors, *Precision agriculture basics*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- Güçdemir İ and Türker U (2010). Variable Rate Fertilizer Management Supported by Information and Satellite Based Technologies In Irrigated Corn in Çukurova Region. Project Supported by TÜBİTAK-1001 Project No:TOVAG-1050243.
- Handique, B. K., Khan, A. Q., Goswami, C., Prashnani, M., Gupta,C., & Raju, P. L. N. (2017). Crop Discrimination Using Multispectral Sensor Onboard Unmanned Aerial Vehicle. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences*, 87(4), 713-719. <https://doi.org/10.1007/s40010-017-0443-9>
- Hunt, E. R., Horneck, D. A., Spinelli, C. B., Turner, R. W., Bruce, A. E., Gadler, D. J., ... Hamm, P. B. (2018). Monitoring nitrogen status of potatoes using small unmanned aerial vehicles. *Precision Agriculture*, 19(2), 314-333. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9518-5>
- Joel Segarra, Maria Luisa Buchaillot, Jose Luis Araus and Shawn C. Kefauver (2020). Remote Sensing for Precision Agriculture: Sentinel-2 Improved Features and Applications. *Agronomy*, 2020, 10, 641; doi:10.3390/agronomy10050641.
- Jones, G and Sirault, Xavier, S. 2014. Imaging for precision agriculture - the mixed pixel problem with special reference to thermal imagery. 9th Conference of the Asian Federation for Information Technology in Agriculture, Perth, Australia, 29 Sept - 2 Oct 2014.

- Jiménez-Brenes, F. M., López-Granados, F., de Castro, A. I., Torres- Sánchez, J., Serrano, N., & Peña, J. M. (2017). Quantifying pruning impacts on olive tree architecture and annual canopy growth by using UAV-based 3D modelling. *Plant Methods*, 13(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s13007-017-0205-3>
- Krienke, B., Ferguson, R. B., Schlemmer, M., Holland, K., Marx, D., & Eskridge, K. (2017). Using an unmanned aerial vehicle to evaluate nitrogen variability and height effect with an active crop canopy sensor. *Precision Agriculture*, 18(6), 900-915. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9534-5>
- Leonard, E and Philip, P. 2006. Precision Agriculture Manual (GRDC). ISBN 1-876477-65-9.
- Liakos V, Tagarakis A, Aggelopoulou K, Fountas S, Nanos G D and Gemtos T (2017). In-season prediction of yield variability in an apple orchard. *Eur. J. Hortic. Sci.* 82(5), 251-259.
- Malhein A, Christian Hillnhütter, Thorsten Mewes, Christine Scholz, Ulrike Steiner, Heinz-Wilhelm Dehne, Erich-Christian Oerke. (2009). Disease detection in sugar beet fields: a multi-temporal and multisensoral approach on different scales. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* · September 2009.
- McBRATNEY A, Whelan B, Ancev T and Bouma J. Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 6, 7-23, 2005.
- Oger R and Buffed D. (2010). Geotraceability: An innovative concept to enhance conventional traceability in the agri-food chain. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 14(4).
- Oldeland, J., Große-Stoltenberg, A., Naftal, L., & Strohbach, B. J. (2017). The Potential of UAV Derived Image Features for Discriminating Savannah Tree Species. In *The Roles of Remote Sensing in Nature Conservation* (pp. 183-201). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64332-8_10
- Opara, L,U (2003). Traceability in agriculture and food supply chain: A review of basic concepts, technological implications, and future prospects. *European Journal of Operational Research* 1(1).
- Pedersen SM, Fountas S, Blackmore BS, Gylling M, Pedersen JL (2004) Adoption and perspectives of precision farming in Denmark. *Acta Agric Scand Sect B - Soil Plant Sci* 54(1):2-8
- Pedersen S M and Lind K M. (2017). Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives. *Progress in Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68715-5>
- Peets S, Casparin C, Blackburn K and Godwin R. (2009). RFID tags for identifying and verifying agrochemicals in food traceability systems October 2009Precision Agriculture 10(5):382-394.
- Romero, M., Luo, Y., Su, B., & Fuentes, S. (2018). Vineyard water status estimation using multispectral imagery from an UAV platform and machine learning algorithms for irrigation scheduling management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 109-117. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.02.013>
- Salem, R. 2007. GNSS for Precision Agriculture, METIS Second Master Training and Seminar, Cairo (Egypt).
- Sauer B, Wells T, Wells M, Neale T and Smart A (2010). Applying PA by Precision Cropping Technologies Pty Ltd. Enabled by GRDC funding for the project Precision Agriculture - Building knowledge, linking agronomy, growers profiting. Practical training for practical outcomes.
- Schut AGT, Traore PCS, Blaes X, de By RA (2018) Assessing yield and fertilizer response in heterogeneous smallholder fields with UAVs and satellites. *Field Crop Res* 221:98-107.
- Site-Specific Management Using Variable Rate Technologies. www.newaginternational.com. Precision Ag Corner (New Ag International 64, in Nov-Dec 2016).
- Schowengerdt, R.A. (2006) Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. Academic Press, Waltham.

Sparling, L.C., Wei, J.C. and Avallone, L.M. (2006). Estimating the impact of small-scale variability in satellite measurement validation. *Journal of Geophysical Research* 111: doi: 10.1029/2005JD006943.

ISSN: 0148-0227.

PAGE
Velazquez E, Acevedo O, Sandoval A, Trejo H and Palacios A. (2020). Low-cost Technological Strategies for Smallholders Sustainability: A Review. *J. Technol. Manag. Innov.* 2020. Volume 15, Issue 1.

Teke M, Mutlu N, Türker U, Çullu M A, Küpcü R, Bozgeyik F, Demirpolat C, Öztoprak A F, Deveci H S and Demirhan I H. (2019). Widespread Application of Sustainable Precision Agriculture Practices in Southeastern Anatolia Project Region (GAP). International Conference on Computer Technologies and Applications in Food and Agriculture (ICCTAFA). Pages 107-115. Konya-Turkey.

Türker U and Güçdemir İ. 2018. Sensor Application for Variable Rate Nitrogen on Corn Field. *Journal of Agricultural Machinery Science*. Volume 14. Number 1, pp.40-45.

PITANJA ZA INTELEKTUALNI PRODUKT 3

1. Koja od sledećih definicija najbolje opisuje preciznu poljoprivrednu?
 - a) Homogene aplikacije se vrše na svakoj tački poljoprivrednog polja
 - b) Primene specifičnih aplikacija se primenjuje gde je to neophodno na poljoprivrednom polju
 - c) Zahteva prosečne primene u celoj poljoprivrednoj oblasti
 - d) Zahteva veliku primenu u celoj poljoprivrednoj oblasti

2. Šta od sledećeg nije prostorna varijabilnost?
 - a) Varijacije u usevu
 - b) Varijacije fizičkih svojstava zemljišta
 - c) Varijacije u hemijskim svojstvima zemljišta
 - d) Klimatski uslovi

3. Najvažniji element koji razlikuje preciznu poljoprivrednu od klasične poljoprivrede
 - a) Upravljanje ulaznim podacima na osnovu specifičnih informacija
 - b) Na osnovu prosečnih informacija
 - c) Ima homogenu perspektivu
 - d) Na osnovu slučajnih aplikacija

4. Jedna komponenta „precizne poljoprivrede“ je vremenska varijabilnost. Šta od sledećeg najbolje opisuje ovu promenu?
 - a) Prirodni proces je zamenjen sintetičkim inputima.
 - b) Uticaj promena temperature na dostupnost hranljivih materija i vode.
 - c) Odnos površinske temperature zemljišta (0-15 cm) i temperature podzemlja (15-60 cm), koji utiče na razvoj useva.
 - d) Razlike između razvoja useva i potreba za hranljivim materijama se menjaju iz perioda u period (iz godine u godinu).

5. Koja od sledećih talasnih dužina refleksije koristi jedan od najpoznatijih vegetacionih indeksa, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)?
 - a) Zeleni-NIR
 - b) Plava-NIR
 - c) Crvena-NIR
 - d) samo NIR

6. Šta se dešava kada se spektrometrima otkrije zdrava biljka?
 - a) Apsorbuje više bliskih infracrvenih talasnih dužina, više reflektuje u vidljivim talasnim opsegima
 - b) Reflektuje više talasnih dužina blizu infracrvenih talasa, apsorbuje više u vidljivim talasnim opsegima
 - c) Više apsorbuje u vidljivim talasnim opsezima i više reflektuje u talasnim opsezima bliskim infracrvenim talasima.
 - d) Više se reflektuje u vidljivim talasnim opsezima i više u bliskim infracrvenim talasnim opsezima.

7. Koliko je satelita potrebno da se poveže za potpuno merenje sa GNSS i GPS?
 - a) 2 satelita b) 3 satelita c) 4 satelita d) 1 satelit

8. Kako se zove greška koja se javlja u signalima reflektovanim od sekundarnog izvora, odnosno sa visina kao što su hangari ili silosi u radu sa GPS-om?
 - a) Greške satelita b) Atmosferske greške c) Greške prijemnika d) Višestruke greške

9. Kako se zove najmanja inkrementalna promena koja se može detektovati u izlaznom signalu, a koja se može otkriti u očitavanju podataka napravljenim pomoću senzora?

- a) Tačnost
- b) Preciznost
- c) Rezolucija
- d) Greška

10. Šta je od ponuđenog aplikacija u realnom vremenu za primenu varijabilnog đubrenja?

- a) Aplikacija zasnovana na mapi
- b) Aplikacija zasnovana na senzorima
- c) Homogena aplikacija
- d) Model zasnovan na proceni, a zatim aplikacija

11. Koliki treba da bude nivo koeficijenta varijabilnosti da bi se povećala verovatnoća povrata ulaganja u tehnologiju primene promenljive stope?

- a) $5\% \leq$
- b) $>5\% \text{ i } \leq 10$
- c) $> 10\% \text{ i } < 15\%$
- d) $\geq 15\%$

12. Koja zemaljska karakteristika daje LSWI indeks dobijen korišćenjem kratkotalasnog infracrvenog (SWIR) i bliskog infracrvenog (NIR) regiona elektromagnetskog opsega?

- a) Indeks površinskih voda zemljišta
- b) Indeks normalizovane razlike vegetacije
- c) Indeks biljaka prilagođen zemljištu
- d) Temperaturni indeks suvoće biljke