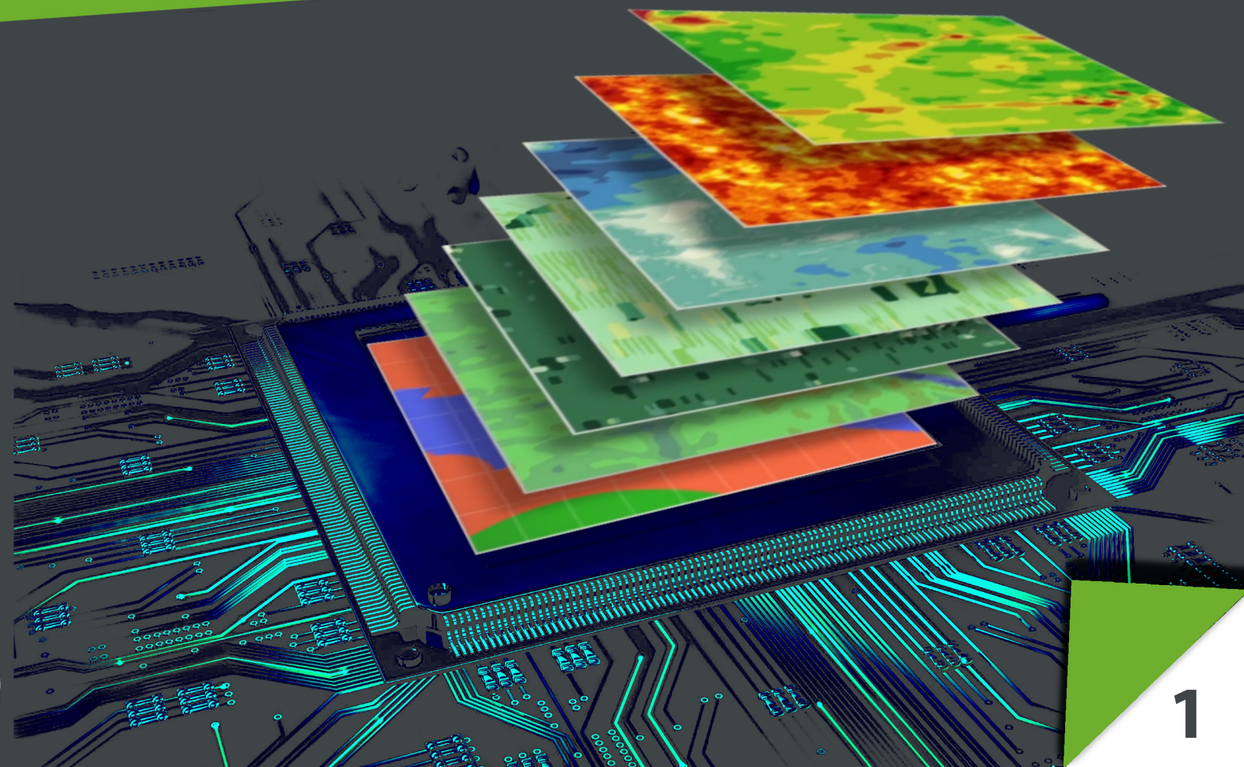
UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

PRECIZNA POLJOPRIVREDA

MARKO M. KOSTIĆ

PRECIZNA POLJOPRIVREDA

Marko M. Kostić



1

Marko M. Kostić

Precizna poljoprivreda

UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRVREDNI FAKULTET

NOVI SAD, 2021

EDICIJA „OSNOVNI UDŽBENIK“

Osnivač i izdavač Edicije:

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet Novi Sad

Trg Dositeja Obradovića 8

21000 Нови Сад

Godina osnivanja:

1954.

Glavni i odgovorni urednik Edicije:

Dr Nedeljko Tica, redovni profesor,

Dekan Poljoprivrednog fakulteta

Članovi Komisije za izdavačku delatnost:

Dr Ljiljana Nešić, redovni profesor - predsednik

Dr Branislav Vlahović, redovni profesor

Dr Milica Rajić, redovni profesor

Dr Nada Plavša, vanredni profesor

Autor:

Dr Marko Kostić, vanredni profesor

Glavni i odgovorni urednik:

Dr Nedeljko Tica, redovni profesor

Dekan Poljoprivrednog fakulteta

Urednik:

Dr Marko Kostić, vanredni profesor

Tehnički urednik:

Dr Marko Kostić, vanredni profesor

Lektor

Tanja Kovačević

Profesor književnosti i srpskog jezika

Redaktor:

Dr Marko Kostić, vanredni profesor

Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu

Izdavač:

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet Novi Sad

Zabranjeno preštampavanje i fotokopiranje. Sva prava zadržava izdavač.

CIP - Каталогизација у публикацији
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

631(075.8)

КОСТИЋ, Марко, 1983-
Precizna poljoprivreda / Marko M. Kostić. - Novi Sad : Poljoprivredni fakultet, 2021 (Novi Sad : Perins inženjering). - 230 str. : ilustr. ; 30 cm. - (Edicija "Osnovni udžbenik")

Tiraž 20. - Bibliografija.

ISBN 978-86-7520-572-2

COBISS.SR-ID 37097737

Predgovor

Poljoprivredna proizvodnja na otvorenom polju, čak i danas kada se smatra da je sve dostižno, daleko je od determinističkog procesa. Neverovatno složen ekosistem, koji se može posmatrati 6-dimenziono (3-D nadzemni prostor + 3-D podzemni prostor), prevazilazi trenutne mogućnosti razumevanja u onoj meri u kojoj bi sa izvesnom pouzdanošću proces proizvodnje mogao kontrolisati čovek. O tome koliko je poljoprivreda složena delatnost (što mnogi nikad ne bi pomislili) govori sledeće: ako uzmemo u obzir igru šah, koja važi za složenu misaonu igru, gde imate 40 mogućih poteza na 30 različitih načina (40^{30} kombinacija poteza), i uporedimo je sa poljoprivredom, gde npr. imamo cca. 150 dana u toku proizvodnog ciklusa, 10 mogućih odluka poljoprivrednika i 10 mogućih stanja vremenskih prilika, dolazi se do impozantnog broja mogućnosti ($10^{150}\times10^{150}$), koji je daleko veći nego u slučaju šaha. Više na ovu temu obrađeno je u Uvodu knjige.

Filozofija precizne poljoprivrede je domenski i vremenski univerzalna. Ona treba da se primenjuje uvek i u svakoj situaciji, bez obzira na to da li se odnosi na poljoprivredu ili ne. **Racionalni pristup, uz uvažavanje objektivnih okolnosti, jedini je način da se postignu željeni ishodi koji će za duži period biti postojani.** Upravo takva percepcija može osigurati održivost delatnosti koja se bavi kompleksnim, živim sistemima, što predstavlja najveći izazov čovečanstva u 21. veku.

Ovaj udžbenik je prvenstveno namenjen studentima osnovnih akademskih studija za predmet Precizna poljoprivreda, ali je pisan tako da ga mogu sa lakoćom čitati i razumeti svi ostali kojima je ova oblast interesantna. Tokom rada na udžbeniku, nastojalo se da se na koncizan način prikažu svi segmenti precizne poljoprivrede u meri kojom se tekst neće opterećivati komplikovanom terminologijom i količinom sadržaja. S obzirom na širinu teme, zadatak u tom smislu nije bio jednostavan. Unet je deo ličnog stava, koji je proistekao iz višegodišnjeg naučnog i praktičnog rada sa alatima precizne poljoprivrede, proučavanja naučne i stručne literature vodećih autora, sa namerom da ukaže na činjenice koje se tiču određenih tehnologija. Na kraju knjige dat je spisak stranih reči i fraza sa objašnjenjem na srpskom jeziku čime je olakšano razumevanje sadržaja knjige.

Autor se zahvaljuje studentima koji pokazuju veliko interesovanje prema ovoj oblasti, što je dalo dodatni motiv da se udžbenik završi u najkraćem roku.

Autor

Pisanje udbenika finansijski podržalo Poslovnom udruženju uvoznika i izvoznika poljoprivredne mehanizacije iz Novog Sada (https://www.ami-ns.org.rs/).



Sadržaj

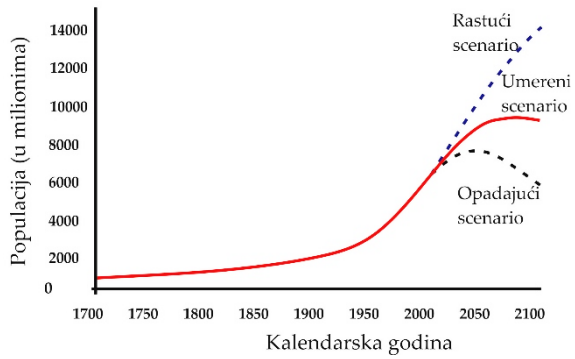
1 UVOD U KONCEPT....1
1.1 Istorijat nastanka precizne poljoprivrede....4
1.2 Evolucija poljoprivrede....8
1.3 Istorijat razvoja Geostatistike u okvirima Precizne poljoprivrede....11
1.4 Prihvatljivost savremenih rešenja....12
2 GEOPOZICIONIRANJE U POLJOPRIVREDI....19
2.1 Orbite satelita....21
2.2 Prenos podataka sa *GPS* satelita....22
2.3 Određivanje pozicije prijemnika....24
2.4 Frekvencije signala....25
2.5 Uzroci nastanka greške *GPS* lokacije....25
2.6 Tačnost/Preciznost *GPS* prijemnika....29
2.7 Tipovi greške *GPS*-a....29
2.8 Tehnike poboljšanja tačnosti *GPS* prijemnika (diferencijalna korekcija)....32
2.9 Pozicioniranje korišćenjem android telefona....37
2.10 *GPS* i kontrolisano vođenje mobilnih sistema....38
2.11 *GNSS* navigacioni sistemi....42
2.12 Isplativost nabavke opreme za *GPS* navigaciju....44
2.13 Specijalni zahtevi prema vođenju mobilnih sistema....46
3 DETEKTORI I IZVRŠIOCI....49
3.1 Senzori....49
3.2 Pokretači/Aktuatori....53
4 SENZORSKO MERENJE OSOBINA ZEMLJIŠTA....55
4.1 Osobine zemljišnog kompleksa....56
4.2 Detekcija topografije....58
4.3 Detekcija unutrašnjih osobina zemljišta....60
4.4 Senzori mehaničkog otpora zemljišta....74
5 SENZORSKO MERENJE OSOBINA USEVA....83
5.1 Vegetativni indeksi....86

5.2 Primena optičkih senzora za blisku (proksimalnu) detekciju 90
5.3 Upravljanje azotom primenom bliske detekcije 95
5.4 Daljinska detekcija 102
6 SENZORSKO MERENJE PRINOSA NA ŽETVENIM MAŠINAMA 115
6.1 Snimanje prinosa zrnastih useva (*Yield monitoring*) 115
6.2 Snimanje prinosa pri spremanju kabaste stočne hrane 120
6.3 Monitori prinosa na kombajnima korenastih useva 121
6.4 Monitori kvalitativnih parametara 121
6.5 Obrada podataka sa monitora prinosa 122
7 *ISOBUS* STANDARD KOMUNIKACIJE 125
8 TEHNOLOGIJA PROSTORNO PRILAGODLJIVE APLIKACIJE (*VRT*) 129
9 PROSTORNO PRILAGODLJIVO ĐUBRENJE 135
9.1 Primena senzora u postupku definisanja normi đubrenja 136
10 PROSTORNO PRILAGODLJIVA OBRADA ZEMLJIŠTA 147
11 PROSTORNO PRILAGODLJIVA SETVA 161
12 PROSTORNO PRILAGODLJIVA PRIMENA HERBICIDA 167
13 PROSTORNO PRILAGODLJIVA PRIMENA FUNGICIDA 179
14 UPRAVLJANJE INFORMACIJAMA U PRECIZNOJ POLJOPRIVREDI 183
15 RAD SA PODACIMA U PRECIZNOJ POLJOPRIVREDI 187
16 REČNIK PRECIZNE POLJOPRIVREDE 201
17 *Literaturne odrednice* 221

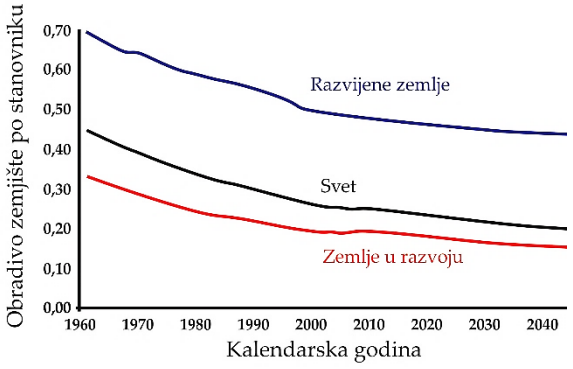
1 UVOD U KONCEPT

O poljoprivrednoj proizvodnji se u globalnim razmerama često govori kao o strateškoj industrijskoj grani, s obzirom na činjenicu da se njome obezbeđuje osnovna sirovina za ishranu ljudske populacije. Međutim, objektivno posmatrano, poljoprivreda je dugo bila tehnološki najzaostalija privredna grana u kontekstu naprednosti sistema i procedura, ali i nivoa intelektualnog kapaciteta koji je bio angažovan na rešavanju problema u poljoprivredi. Sredinom 20. veka desila se tzv. zelena revolucija, koja je drastično uticala na povećanje proizvodnosti po jedinici površine. S pojavom novih, genetički unapređenih sorti i hibrida, mineralnih đubriva, pesticida i uređaja za dopunsko navodnjavanje, smanjen je rizik od negativnog uticaja klimatskih činilaca, a u isto vreme su stvoreni uslovi za naglo povećanje prinosa. Istovremeno je tekla tehničko-tehnološka revolucija, koja je omogućila upotrebu modernih vučno-pogonskih agregata, čime su poboljšani kvalitet obrade zemljišta i nega useva.

Prethodno pomenuto nije suštinski promenilo karakter poljoprivredne proizvodnje. Ona se i dalje temeljila na tradicionalnom shvatanju, bez velikog upliva poljoprivrednika u domenska saznanja, jer nije postojala realna potreba zato što su proizvedene količine u potpunosti zadovoljavale tadašnje potrebe. Sa demografskom ekspanzijom čovečanstva (slika 1.1), nametnulo se objektivno pitanje održivosti u smislu zadovoljavanja narastajućih potreba za poljoprivrednim proizvodima.



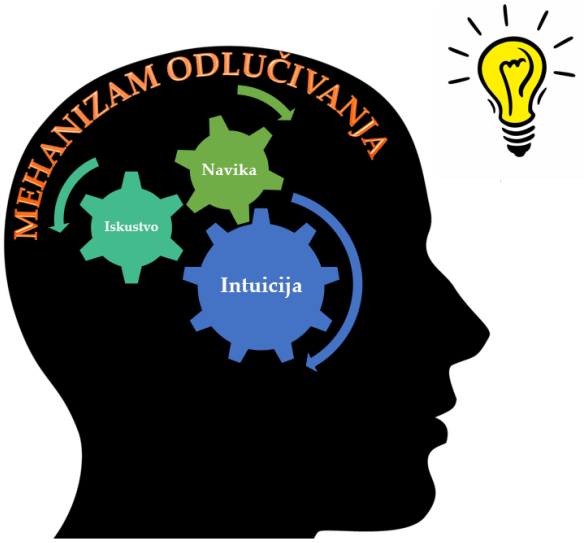
Slika 1.1. Porast ljudske populacije sa predviđanjem daljeg trenda (Ganivet, 2019)



Slika 1.2. Raspoloživost zemljišnim resursom po stanovniku u vremenskom domenu (Bruinsma, 2009)

Sa druge strane, tržište hrane postavilo je više kriterijume po pitanju kvaliteta i zdravstvene bezbednosti proizvoda, i sve to u uslovima ograničenih agroekoloških potencijala (slika 1.2). Korisnici poljoprivrednih proizvoda nisu više samo obični potrošači, već bitan faktor koji utiče na metode proizvodnje u poljoprivredi putem ekonomskih, ekoloških i političkih mehanizama. U tom smislu, globalni zadatak poljoprivredne proizvodnje ne odnosi se samo na obezbeđivanje dovoljnih količina zdravstveno bezbedne hrane, uz minimalne troškove, već i na smanjivanje štetnog uticaja takve proizvodnje na okolinu, čime bi se ispoštovao princip dugoročne održivosti. Jedini način za dostizanje pomenutih ciljeva je maksimiziranje efikasnosti primenjenih agrotehničkih mera.

Ako se zna da biljna proizvodnja na otvorenom polju predstavlja rezultat složenih interakcija između biljke, zemljišta, klime i primenjenih agrotehničkih mera, onda se može zaključiti da je način donošenja odluka o primeni neke mere ključan za održivost i produktivnost takvog sistema. Tekuća praksa pri donošenju odluka u biljnoj proizvodnji temelji se na tradicionalnim obrascima, prethodnom iskustvu, intuiciji individue, a najviše nasleđenim navikama iz prošlosti (slika 1.3). Takav stohastično-inertan način upravljanja zemljišnim resursom, koji je po prirodi vremenski i prostorno promenljiv entitet, donosi rezultate koji nisu u saglasju sa količinom uloženih sredstava.



Slika 1.3. Ilustracija sprege subjektivnih kriterijuma u odlučivanju

Osim na nepouzdano upravljanje i donošenje odluka, konvencionalna poljoprivreda se oslanja na prosečne vrednosti parametara, ne uvažavajući heterogenost zemljišnog kompleksa. Svako polje se tretira kao jedna proizvodna jedinica, čije se stanje ocenjuje globalno kao prosek stanja svih njenih delova, dok se mere primenjuju podjednako na celoj površini polja. Rezultati su, shodno prisutnim varijabilnostima stanja zemljišta, veoma varijabilni, u krajnjem ishodu niži od očekivanog i mnogo niži od maksimalno mogućeg. Na prostorne varijabilnosti prirodnih sistema utiču antropogeni i prirodni faktori, kao što su tip zemljišta, klima, topografija i primenjena tehnologija. Koncept „đubrenje biljaka umesto zemljišta“, tj. depozicija u trake uz red, dodatno povećava nejednakosti u sadržaju hranljivih materija u zemljištu (*Hu et al., 2015*). U uslovima R. Srbije, zbog nedostataka savremene tehnike koja bi omogućila ujednačeno kvalitetno izvođenje određene operacije (pre svega đubrenja), ali i zbog neobučenosti korisnika, veoma često se određena aktivnost obavlja nekontrolisano promenljivo, tj. neujednačeno u prostoru. U prilog stalnom povećanju varijabilnosti na jednom polju ide i proces

ukrupnjavanja polja nakon uvođenja visokoproduktivnih mašina. Taj proces se odigrava u našim uslovima putem mera komasacije, gde se zarad efikasnije organizacije proizvodne delatnosti formiraju veće proizvodne jedinice, i to prostim združivanjem manjih u jedinstveno polje-tablu. Prvobitne granice bile su najčešće prirodne granice između različitih tipova zemljišta, reljefa ili nekih drugih pejzažnih različitosti, koje nakon združivanja čine jedinstvenu proizvodnu celinu sa svim unutrašnjim različitostima. Dakle, sa povećavanjem veličine polja, povećava se neujednačenost jednog polja (*Oliver, 2010*). Iz svega pomenutog može se zaključiti da **uprosečivanje heterogenog kompleksa kakvo je zemljište ima za posledicu ograničavanje potencijala resursa kojim se raspolaže**.

Veliki iskorak u odnosu na konvencionalnu poljoprivredu je, svakako, proizvodnja po principima precizne poljoprivrede (*site-specific managment*, *targeting managment*, *precision agriculture*, *smart farming* itd.). **Preciznom poljoprivredom se nastoji proniknuti u zakonitosti delovanja svih elementarnih promenljivih koje posredno ili neposredno utiču na prinos na diskretnom lokalitetu.** Tehnologija precizne poljoprivrede je najvećim delom okrenuta spoznaji objektivne konstelacije činilaca na onom nivou na kojem se bitne promene dešavaju (*Kostić et al., 2016*). Prema navodu *McBratney et al. (2005)*, tehnologijom precizne poljoprivrede se bolje objašnjavaju odnosi i poreklo varijabilnosti u polju i daju se osnove za lokalno prilagodljiv koncept proizvodnje po principu: „broj pravilno donesenih odluka po jediničnoj površini u jedinici vremena dovodi do povećanja neto prihoda“ primenom najsavremenije tehnologije i naučnih dostignuća. Precizna poljoprivreda se može opisati krilaticom 4P, tj**. dati Pravu stvar, na Pravo mesto, u Pravo vreme i u Pravoj količini**. Upravljanje prostornim resursima i procesima izuzetno je složeno, zahteva integraciju velikog broja osnovnih naučnih disciplina i primenu skupa složenih tehnologija. Da bi sve biljke dale svoj maksimum u toku proizvodnog ciklusa, neophodno je obezbediti optimum svih ključnih parametara, podjednako na svim delovima parcele (*Hemmat i Adamchuk, 2008*). Za kvalitetnu primenu precizne poljoprivrede neophodno je raspolagati što većom količinom podataka sa poznatim „geografskim poreklom“. Često se u literaturi napominje da se precizna poljoprivreda temelji na podacima (*Data driven*). Podaci ne moraju *a priori* biti numerički sa visokom tačnošću. Informaciona vrednost podataka u preciznoj poljoprivredi zasniva se na njihovoj prostornoj gustini i relativnoj tačnosti (*Kostić et al., 2015*).

Iako sama ideja o upotrebi informacije o prostornoj varijabilnosti bitnih parametara zemljišta u cilju optimizacije njivske proizvodnje postoji još od 1929. godine (*Linsley i Bauer, 1929*), precizna poljoprivreda kao koncept nije mogla biti ranije uvedena u konvencionalnu proizvodnju u punoj meri i na ekonomski prihvatljiv način, pre svega zbog tehnološke zaostalosti u odnosu na zahteve koji se postavljaju ovim konceptom. Da bi se ispoštovali pomenuti principi, neophodna je primena novih tehnologija kao što su *GPS* (*Global Positioning System*), senzorska tehnologija, tehnologija promenljivih normi (*Variable Rate Application*) i informacioni „alat“ za iščitavanje i tumačenje i

prikazivanje parametara (*Geographic Information System*), veštačka inteligencija, mašinska vizija, robotika itd.

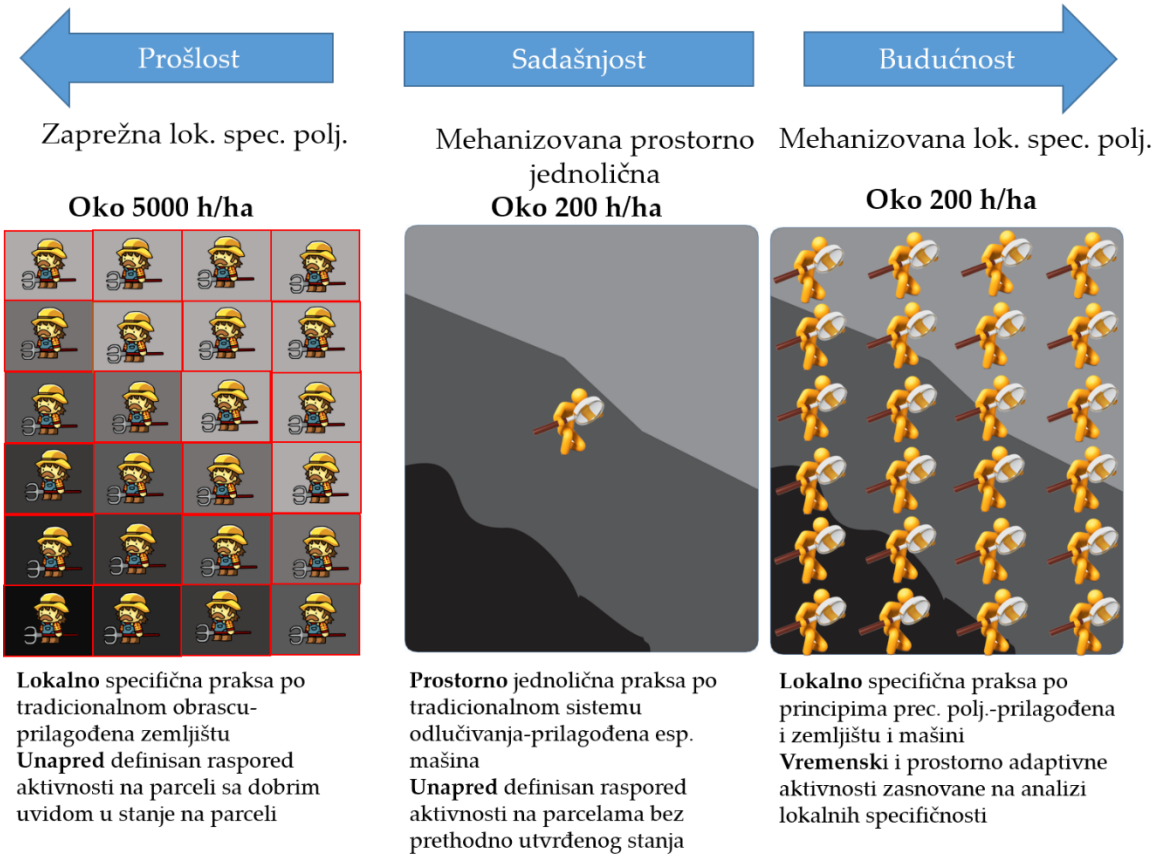
U cilju optimizacije poljoprivredne proizvodnje razvijani su novi alati. Tako je 70-ih godina prošlog veka razvijena nova disciplina (geostatistika), bazirana na statističkoj analizi podataka koji su geografski adresirani. Geostatističke tehnike bile su inicijalno razvijene za potrebe geoloških istraživanja (*Journel i Huijbregts, 1978*), a potom ubrzo implementirane i u poljoprivredi (*Burgess i Webster, 1980a*; *McBratney i Webster 1981*). Svrha upotrebe geostatističkih alatki je to što se pomoću njih sa uspehom mogu predvideti prostorne raspodele neke promenljive na onim delovima na kojima nije obavljeno uzorkovane ili merenje. *Buchter et al. (1991)* navodi da su pojedinačni uzorci zemljišta najčešće prostorno zavisni i da ih treba tretirati kao prostorno povezana merenja, što predstavlja osnovu za kompleksnu analizu prostorne varijabilnosti zemljišta. **Samo razumevanje i prostorno modelovanje zemljišnih karakteristika ima malu upotrebnu vrednost u preciznoj poljoprivredi ukoliko se one ne mogu staviti u korelaciju sa fenomenima kao što su vlažnost, mehanički sastav, bilans hraniva itd., koji daju ključni doprinos prinosu zrna i ukupne biomase.** Istraživanja ekološke sredine kakvo je zemljište u praksi se svode na uzimanje prostorno diskretizovanih uzoraka od kojih se dobijaju podaci koji se predstavljaju kontinualno u prostoru (*Oliver i Webster, 2014*).

Varijabilnosti u polju potiču od različitih izvora, a pripisuju se dejstvu čoveka i prirodnih faktora. Prirodni faktori najdominantnije utiču na varijabilnost proizvodnje. Tu se pre svega misli na fizička svojstva zemljišta koja utiču na prirodne procese: kretanje vode, pristupačnost vode i hraniva, efikasnost herbicida, razvoj korena, eroziju itd. Ljudska aktivnost ima jednako snažan uticaj na proizvodnju kao i sve aktivnosti koje se dešavaju u zemljištu. Nejednako sabijanje zemljišta, kao neminovna posledica upotrebe teške visokoproduktivne, mehanizacije utiče na varijabilnost prinosa manje ili više, u zavisnosti od biljne vrste. Raspodeljivanje đubriva po parceli je uvek u nekoj meri neujednačeno (uticaj vetra, različita distribucija granula na širini zahvata, nepravilno uklapanje prohoda). Bilo kako, da bi se mogla razumeti varijabilnost polja, potrebna je enormno velika količina podataka različitih parametara (*Clark, 1999*). Jedan od preduslova za kvalitetnu primenu precizne poljoprivrede je prethodno utvrđen pouzdan sistem prikupljanja prostornih informacija u polju (*Kostić et al., 2014b*).

1.1 ISTORIJAT NASTANKA PRECIZNE POLJOPRIVREDE

Metodološki, preciznu poljoprivredu su poljoprivredni proizvođači sprovodili još u ranim fazama razvoja poljoprivrede. U prošlosti, proizvođači su bazirali svoju proizvodnju na samodovoljnosti, organizujući je na malim poljima čije su proizvodne karakteristike poznavali veoma dobro. Zbog toga su svoja polja podelili na još manje površine na kojima su gajili one kulture koje su najbolje reagovale na karakteristike

tog mikro-polja (slika 1.4). Tada je za njih pojam preciznosti značio osiguravanje dovoljne količine hrane za opstanak domaćinstva.



Slika 1.4. Ilustracija razvoja njivske poljoprivrede sa stanovišta procesa odlučivanja

Sve do 80-ih godina prošlog veka, princip odlučivanja bio je na nivou jednog polja. Stanje parcele je određivano na osnovu uzetih uzoraka, a krajnji rezultat analize je prosečno stanje nekog posmatranog parametra, čime je praktično isključena analiza varijabilnosti tog parametra na parceli. Takođe, prinos jednog polja posmatran je kao ukupna težina zrna sa tog polja. Prvi put je termin precizna poljoprivreda (*precision farming*) upotrebljen kao naslov radionice koju je organizovao Državni univerzitet u Montani (SAD). Pre toga upotrebljavali su se drugi termini poput „prostorno specifični menadžment u biljnoj proizvodnji“ (*site-specific crop managment*) ili „prostorno specifični menadžment u poljoprivredi“ (*site-specific agriculture*). Prve dve naučne konferencije koje su se tematski odnosile na preciznu poljoprivredu imale su u naslovu termin "prostorno specifični menadžment", dok je treća iz 1996. bila naslovljena kao "precizna poljoprivreda". Sam koncept moderne precizne poljoprivrede je usavršavan i dodatno potpomognut tehnološkim napretkom informacionih tehnologija (*Schueller, 1997*). Tehnološki razvoj omogućio je dodatnu preciznost lokalno prilagodljive tehnologije i premestio je fokus sa polja, kao proizvodne jedinice, na njene unutrašnje varijabilnosti. *Robert (1999)* naglašava da je od sredine 70-ih i ranih 80-ih godina prošlog veka postojala svest farmera o potencijalnim pogodnostima pravljenja evidencije u proizvodnji i razumevanju potreba zemljišta i biljaka. Nakon toga je *SoilTeq* radio projekat (*Luellan, 1985*) tokom

kojeg je razvijen rasipač mineralnog đubriva sa mogućnošću promene norme u hodu, koji spada u tzv. tehnologiju aplikacije promenljivih normi (*Variable Rate Technology*). Prvu *VRT* mašinu koristila je 1985. godine poljoprivredna kooperativa *CENEX* (*Farmers Union Central Exchange*). Istraživač *David Mulla* je 1986. godine sarađivao sa firmom *SoilTeq* u cilju kreiranja specijalizovanog *GIS* programa za prostorno mapiranje hraniva. Prve mape u ovom softveru kreirane su 1987. godine. *Robert (1999)* napominje da je razvoj mikroprocesora sredinom 80-ih godina omogućio razvoj računara namenjenih opremi i kontrolerima u poljoprivredi, *GPS* sistema za globalno pozicioniranje, primenu senzora, akviziciju i obradu prostornih podataka i upotrebu *GIS*-a za proizvodnju mapa. Može se reći da je 80-ih godina prihvaćen novi pogled na poljoprivrednu proizvodnju (*Cochrane, 1993*). Jedan od ključnih momenata je uvođenje monitora prinosa od strane proizvođača kombajna *Massey Ferguson* tokom 1982. godine (tabela 1.1). Uređaj je bio montiran na elevatoru čistog zrna čime je prinos praćen kontinualno u vremenu. Ista firma je 1984. godine napravila ogled u Velikoj Britaniji s ciljem sagledavanja uslova u kojima se može primeniti monitor prinosa za merenje varijabilnosti. U to vreme nisu bili dostupni *GPS* prijemnici, pa je firma organizovala ogled na sledeći način: napravili su mrežu dimenzije polja 10 × 10 m na usevu pšenice i početak svakog polja su obeležili markerima. Čitava njiva sa poljima požnjevena je jednim kombajnom i sa dva čoveka. Jedan je bio vozač, dok je drugi ručno beležio prinos sa merača za svako pojedinačno polje. Tokom 90-ih godina, kada je počela primena *GPS* prijemnika, snimanje prinosa je postalo rutina. Prvi *GPS* prijemnici koristili su se na traktorima 1991. godine, ali velika greška od oko 100 m nije zadovoljavala potrebe mapiranja. Sredinom 1990-ih godina Ministarstvo odbrane SAD ukinulo je selektivnu dostupnost za diferencijalni *GPS* (*DGPS*) čime je preciznost pozicioniranja povećana na 5 m do 10 m, a tokom 2000-ih je tačnost dodatno povećana. Pre 1990-ih, mape su se vrlo malo koristile u poljoprivredi. *Schafer et al. (1984)* naveli su da se mape zemljišta i topografije mogu koristiti u kontroli rasipača mineralnih đubriva, prskalica i oruđa za obradu. Prva mapa prinosa od strane *Searcy et al. (1989)* pokazuje uticaj sabijenosti zemljišta na prinos. *National Research Council (1997)* daje jasnu definiciju precizne poljoprivrede na sledeći način: "**precizna poljoprivreda je strategija upravljanja koja se oslanja na informacione tehnologije radi dobijanja podataka sa različitih izvora i donošenja odluka koje su u skladu sa potrebama poljoprivredne proizvodnje**". Oni su dodali da precizna poljoprivreda ima tri komponente: dobijanje podataka u odgovarajućoj razmeri, interpretaciju i analizu podataka i implementaciju menadžmenta u odgovarajuće vreme i u odgovarajućoj količini. Osnovni kamen spoticanja za širu primenu precizne poljoprivrede bila je mala gustina informacija o usevu i zemljištu u odnosu na kompleksnost problema i nepoznavanje međusobnih relacija svih faktora. Danas postoje tehnike koje omogućavaju merenje parametara u hodu (*on-the-go*) kao što je merenje pH zemljišta (*Viscarra Rossel i McBratney 1998*), mehaničkog otpora zemljišta (*Kostić et al, 2014*, *Kostić et al., 2016*), električne provodljivosti itd.

Tabela 1.1. Prekretnice u razvoju precizne poljoprivrede (Lowenberg-DeBoer i Erickson, 2019)

Godina	**Tehnologija**	**Proizvođač/Organizacija/Naziv proizvoda**
1983.	Dopuštanje korišćenja *GPS* u civilne svrhe	Vlada *US*
1987.	Kompjuterski kontrolisan *VRT* rasipač min. đubriva	*Soil Teq*
1988.	Ručni navigacioni uređaj	*Magellan*
1992.	Prvi monitor prinosa	*Ag Leader, Yield Monitor 2000*
1992.	Prva konferencija posvećena istraživanju u preciznoj poljoprivredi	*International Conference on Precision Agriculture*
1995.	Prva konferencija posvećena afirmaciji industrije za potrebe precizne poljoprivrede	*InfoAg*
1997.	Automatsko navođenje	*Beeline*
1997.	Pokretni senzor za merenje električne provodljivosti zemljišta	*Veris*
1997.	Monitor prinosa pamuka	*Micro-Trak, Zycom*
2000.	Okončanje selektivne dostupnosti *GNSS*	Vlada SAD
2002.	Integrisani *VRT* sistem sastavljen od optičkog senzora i rasipača sa opcijom za promenljivu aplikaciju	*N-Tech Industries, Greenseeker*
2003.	Pokretni senzor za merenje pH zemljišta	*Veris, Soil* pH *Manager* (*MSP*)
2006.	Automatizovana kontrola sekcija krila prskalice	*Trimble, AgGPS EZ-Boom 2010*
2009.	Kontrola sekcija na sejalicama	*Ag Leader, Sure Stop*
2017.	Prva potpuno automatizovana proizvodnja na otvorenom polju	*Harper Adams University*

Problem kod sistema za merenje u hodu je to što oni mere indirektno neku osobinu zemljišta ili stanje useva bez mogućnosti kompenzacije uticaja ostalih faktora, pa je neminovna pojava greške u manjem ili većem procentu (*Kostić et al., 2013*). *National Research Council (1997)* naglašava da "**tekuće tehnike mapiranja su limitirane zbog nedovoljnog razumevanja za neophodnošću primene geostatistike u postupku prikazivanja varijabilnosti stanja useva i zemljišta", kao i da "povećanje znanja i veština iz oblasti geostatistike treba da unapredi interpretaciju informacija precizne poljoprivredne proizvodnje**". Prethodni navodi ukazuju na to da je veliki deo geostatistike utvrđen u preciznoj poljoprivredi. Povezivanje geostatistike i precizne poljoprivrede bilo je neophodno s obzirom na to da geostatistika zahteva

dovoljno podataka u intervalima kojima se objašnjava varijabilnost izračunavanjem odgovarajućih prostornih modela.

1.2 EVOLUCIJA POLJOPRIVREDE

Poljoprivreda 1.0

Ustanovljava se početkom 20. veka. Učešće ljudskog rada je veliko, sa niskom produktivnošću, jer dominiraju zaprege kao pomoćna sredstva. Ovakva poljoprivreda je mogla da obezbedi dovoljno hrane za ljudske potrebe, ali je zahtevala veliki broj malih farmi gde je 1/3 populacije bila angažovana u poljoprivrednoj proizvodnji.

Poljoprivreda 2.0

Ova faza razvoja poznata je još pod nazivom „Zelena revolucija" i počela je sa razvojem u poznim 1950-im kada je uvedena praksa dodavanja mineralnih đubriva, upotreba pesticida, sorti i hibrida uz primenu visokoproduktivne mehanizacije, što je značajno povećalo prinose i dobiti.

Poljoprivreda 3.0

Afirmiše se nova filozofija u poljoprivredi pod nazivom precizna poljoprivreda. Smatra se da je početak razvoja koncepta povezan sa krajem 20. veka, kada je ukinuta selektivna dostupnost *GPS* signala, odnosno kada je visoka tačnost pozicioniranja bila ostvariva i u civilne svrhe.

Precizna poljoprivreda podrazumeva rešenja kao što su:

- Satelitska navigacija – krenula ranih 90-ih korišćenjem *GPS* signala za ručno vođenje. Prvi sistemi automatskog vođenja su se pojavili krajem 90-ih. Tokom 2000-ih tačnost je unapređenja na svega 1 cm.
- Senzori i kontrola – tokom 90-ih kombajni su bili opremljeni monitorima prinosa uz georeferenciranje podataka. Prvi uređaji za prostorno promenljivu aplikaciju su počeli da se razvijaju. Visoka cena opreme i niska cena đubriva usporili su prihvatanje ove tehnologije.
- Telematika – tehnologija koja se koristi za praćenje flote vozila. Ona se pojavila ranih 2000-ih i bila je motivisana potrebama u industriji transporta. Bazira se na tehnologiji bežične komunikacije koristeći *GSM* mreže i omogućava optimizaciju logističkih procesa na gazdinstvu.
- Upravljanje podacima – softveri za poljoprivredu pomoću kojih se beleže sve operacije na polju, pripremaju nabavke, prave finansijski bilansi itd.

Preciznom poljoprivredom se nastoje unaprediti efekti agrotehničkih operacija time što se one čine produktivnijim i delotvornijim u postizanju boljih finansijskih. Namera je da svaka jedinka (biljka ili životinja) dobije tačno onoliko koliko joj je potrebno. Poljoprivreda 3.0 se može posmatrati kao prva faza uvođenja precizne poljoprivrede. Fokus se pomerio sa puke efikasnosti u smislu postizanja dobiti po svaku cenu na

traženje načina da se smanje troškovi i unapredi kvalitet, ujedno i dobit, uz očuvanje prirodnog okruženja. Uvođenje sistema odlučivanja na osnovu informacionih veština je ključ ovog razdoblja.

Poljoprivreda 4.0

Predstavlja novi zamah precizne poljoprivrede koji počinje početkom 2010. godine i bazira se na razvoju sledećih tehnologija:

- jeftinih i unapređenih senzora i izvršilaca,
- jeftinih mikroprocesora,
- širokopojasnih mrežnih komunikacionih infrastruktura,
- oblak-servera i
- analitike u okviru velikih podataka (*big data analytics*).

Sa povećavanjem količine podataka u poljoprivredi raste potreba za uvođenjem nekog vida automatizovane manipulacije podacima kako bi se izvukle korisne informacije upotrebljive u sistemu odlučivanja. Novi algoritmi su razvijeni da bi pretvorili podatke u korisne informacije, optimizovali proizvodnju i smanjili rizik proizvodnje. U principu, količina podataka koja je do danas generisana sa polja ne može se okarakterisati kao velika (*big data*).

Ovaj koncept je još poznat i po nazivima Digitalna poljoprivreda (*Digital agriculture*) ili Pametna poljoprivreda (*Smart agriculture*), a uveden je kada su se telematika i upravljanje podacima počeli kombinovati sa već poznatim konceptom precizne poljoprivrede, poboljšavajući tačnost operacija. Poljoprivrednicima je omogućeno da prate operacije u realnom vremenu na kontrolnoj tabli i donose odluke zasnovane na hipotezi o povećanju finansijskih rezultata.

Poljoprivreda 5.0

Početak nove ere u poljoprivredi započinje sa masovnim korišćenjem robotskih sistema u različitim operacijama u polju uz podršku internet stvari (*Internet of Things IoT*), samohodnih autonomnih uređaja (roboti i bespilotne letelice) i veštačke inteligencije. Sa novim okolnostima u poljoprivredi, koje se ogledaju u rapidnom smanjenju raspoložive radne snage, pojavili su se izazovi u pravovremenom obavljanju agrotehničkih operacija. Jedan od načina da se premoste pomenuti problemi jeste uvođenje robota i bespilotnih letelica (više o bespilotnim letelicama u poglavlju 5.4). Roboti u poljoprivredi su prisutni već duže vreme, npr. na stočarskim farmama gde se muža krava može potpuno automatizovati korišćenjem robotskih uređaja (slika 1.5). Takođe, postoje robotski sistemi za branje plodova u objektima zaštićenog prostora (slika 1.6), koji se sa velikim uspehom koriste samo ukoliko je konfiguracija biljaka (uzgojni oblik, oblik i boja ploda) i objekta unapred prilagođena radu robotske platforme. Međutim, još uvek postoji mnogo „praznog prostora“ u razvoju robotskih platformi za potrebe poljoprivrede, tj. njihova primena je veoma ograničena, pre svega zbog proizvodne cene i nepredvidivog ambijenta u kojem treba da operišu.



Slika 1.5. Robotizovani uređaj za mužu krava

U kontekstu poljoprivredne proizvodnje, *IoT* omogućava razmenu podataka između svih aktera (korisnici, savetodavci, senzori, baze podataka, mašine) u realnom vremenu. Jedan od razloga sporijeg prihvatanja precizne poljoprivrede jesu dodatne procedure za prenos i ažuriranje podataka dobijenih tokom rada na polju, ali i njihovo strukturiranje i skladištenje koje zahteva angažovanje dodatnih ljudskih resursa usko specijalizovanih za te poslove. Savremena poljoprivredna oprema će omogućiti neograničen prenos podataka u realnom vremenu posredstvom mreže mobilne telefonije i pristup sa bilo koje lokacije i uređaja zahvaljujući oblak (*cloud*) opciji, te će time pomenuta poteškoća biti prevaziđena.



Slika 1.6. Robot za branje plodova u savremenom stakleniku

U SAD je procenjeno da 10–15% poljoprivrednika koristi tehnologiju *IoT* na svojim farmama. Smatra se da ova tehnologija može uticati na drastično povećanje produktivnosti do 2050. godine. U situacijama kada postoji mnoštvo podataka sa polja koji se razmatraju pri donošenju odluke, prirodni potencijali čoveka nisu u stanju da efikasno sagledaju svu složenost međusobnih odnosa ključnih parametara koji su

sadržani u podacima. Veštačka inteligencija (*AI*) sa svojim tehnikama (duboko učenje, fazi logika, neuralne mreže, genetski algoritmi i ekspertski sistemi) u tim situacijama može imati presudan značaj.

Trenutno postoji veliko interesovanje za ulaganje u nove tehnologije u poljoprivredi što je motivisano predviđanjima po kojima će u bliskoj budućnosti potrebe prevazići proizvodnju i potencijalno povećati dobiti. U prilog priči o razmerama investicija u poljoprivredu je činjenica da je porast vrednosti fizičke imovine *start-up* preduzeća koja se bave razvojem tehnologija za poljoprivredu oko 10^9 US dolara na godišnjem nivou. Finansiranje projekata u oblasti *AI* za poljoprivredne svrhe povećalo se za 450% u poslednjih pet godina (*Murugesan et al., 2019*).

1.3 Istorijat razvoja Geostatistike u okvirima Precizne poljoprivrede

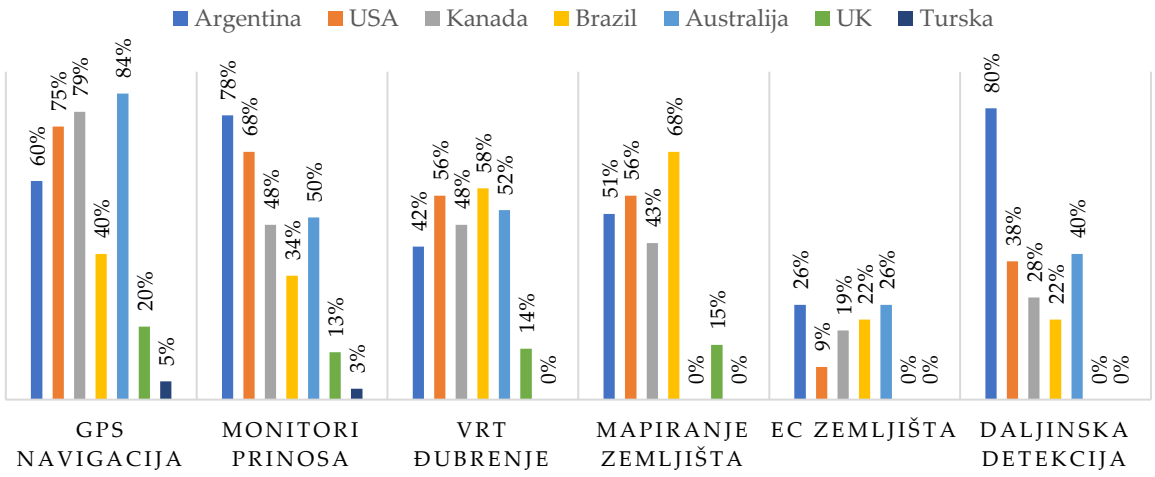
David Mulla je prva osoba koja je primenila geostatistiku eksplicitno u preciznoj poljoprivredi (*Mulla i Hammond (1988*). Rad je napisan sa ciljem predstavljanja geostatistike kao tehnike za mapiranje sadržaja hraniva u zemljištu, određivanja prirode i obima varijabilnosti i određivanja potrebne gustine uzorkovanja radi prepoznavanja prostorne tendencije zemljišta. Isti autori su izjavili da program za varijabilnu primenu inputa zahteva odgovarajuću strategiju uzorkovanja i preciznu mapu sa potrebama biljaka. Njihove preporuke su: „ako postoji varijabilnost u polju, onda proizvođači treba da izbegavaju ujednačen tretman“. Autori su upotrebili geostatistiku za interpoliranje među vrednosti na osnovu rada iz oblasti pedologije autora *Warrick et al. (1986)*. *Burgess i Webster (1981a)* i *Burgess et al. (1981b)* primenili su geostatistiku na podacima o zemljištu. Cilj im je bio da odrede prostornu strukturu u varijabilnosti primenom variogramske analize i da primenom kriging tehnike predviđanja generišu mapu varijabilnosti zemljišnih parametara. Iako je njihov rad bio ranije objavljen u odnosu na rad *Mulla i Hammond (1988),* koji se direktno odnosio na preciznu poljoprivredu, on nije bio vođen prema modernim principima precizne poljoprivrede.

Tokom istog perioda *Miller et al. (1988)* i *Webster i Oliver (1989)* primenili su geostatistiku u svrhu poljoprivrede. *Miller et al. (1988)* pokušali su da objasne razvoj i prinos gajenih biljaka pomoću prostorne veze fizičkih i hemijskih osobina zemljišta. U svom radu računali su variograme i unakrsne variograme za nekoliko parametara, a ujedno su koristili kriging za proizvodnju mapa. *Webster i Oliver (1989)* prvi su upotrebili disjunktivni kriging u poljoprivredne svrhe. Radovi autora *Mulla* tokom 1980-ih i 1990-ih išli su u pravcu implementacije geostatistike u preciznu poljoprivredu (*Mulla, 1989*; *Mulla, 1991*; *Mulla, 1993*; *Bhatti et al., 1991*). Broj studija na polju primene geostatistike u preciznoj poljoprivredi je permanentno rastao sve do 2008. godine, nakon čega se taj broj smanjivao. Razlog za to je opšte prihvatanje

geostatistike u preciznoj poljoprivredi, zbog čega autori ne moraju eksplicitno da objašnjavaju korišćene geostatističke metode.

1.4 PRIHVATLJIVOST SAVREMENIH REŠENJA

Procena prihvatljivosti rešenja koja obuhvata termin precizna poljoprivreda nije jednostavna. Još uvek se vode polemike o tome koje sve poljoprivredne delatnosti se mogu podvrgnuti tehnologiji precizne poljoprivrede; da li je to samo ratarska ili se podrazumevaju i ostale grane. Takođe, ne postoji jasna razlika u tumačenju koncepta, jer se pojavljuju sinonimi kao što su *site-specific farming*, *smart farming* i *digital farming*. Na zvaničnoj internet stranici Univerziteta *Lleida*, istraživači iz *AgroTIC* odseka dali su 27 različitih tumačenja pojma precizne poljoprivrede (*Lleida University, 2018*). Nije jasno šta se podrazumeva pod pojmom tehnologija precizne poljoprivrede. Da li je to primena bilo kog od alata i uređaja koji su deo tehnologije ili se podrazumeva da se sprovodi potpuno selektivni pristup delovima parcele i primenjuje promenljiva aplikacija? Sve pomenuto usložnjava analizu i uvodi zabunu mnogim autorima koji su se bavili ovim pitanjem. Ponajviše problemi nastaju u fazi prikupljanja podataka, jer se metode mogu značajno razlikovati od autora do autora, te rezultati nisu međusobno uporedivi. Na primer, podaci koji su prikupljani odnose se na pojedine veličine gazdinstva, tipove proizvodnje, geografsku lokaciju itd. U pojedinim studijama se podaci izražavaju u procentima u odnosu na broj gazdinstava, a kod drugih je to izraženo u površini na kojoj se primenjuje određena tehnologija.



Slika 1.7. Prihvatanje elemenata precizne poljoprivrede u svetu prema navodima autora DeBoer i Erickson (2019)

Mnogi autori koji su se bavili ovim pitanjem navode različite faktore koji utiču na stepen prihvatanja kao što su prosečna starost, nivo obrazovanja, tip proizvodnje, udeo vlasništva nad zemljištem, veličina gazdinstva, zaduženost kod banaka, korišćenje konsultantskih usluga, utisak o profitabilnosti precizne poljoprivrede, korišćenje računara itd. Takođe, konstatovano je da posedovni status poljoprivrednika značajno utiče na zainteresovanost za preciznu poljoprivredu. Tako

je, na primer, u Argentini zabeležen veliki procenat uvođenja raznih naprednih rešenja precizne poljoprivrede, jer se zemljište u velikoj meri zakupljuje. Zakupci su primorani da zbog neposedovanja znanja o prethodnom gazdovanju niti o varijabilnostima polja koja obrađuju koriste savremena senzorska i informaciona rešenja kako bi nadomestili taj nedostatak. Sve dosadašnje studije, iako svestrane po metodologiji, pokazale su da je navigacija primenom *GPS* tehnologije najdominantnije prisutna na svim meridijanima, mada se čak i u tome podaci značajno razlikuju (slika 1.7).

Satelitska navigacija (*GNSS*)

Iako postoji više opcija opreme za navođenje – vođenje (ručno, poluautomatsko i autopilot), poljoprivrednici rado nabavljaju uređaje u skladu sa veličinom gazdinstva, po principu manje gazdinstvo jeftiniji uređaji. Generalno, najšire usvajanje odnosi se na tehnologiju *GNSS* (navigacija pomoću *GPS*) iz više razloga:

- relativno jeftina nabavka opreme,
- univerzalna primena na svim modelima i tipovima traktora bez obzira na starost,
- prenosivost sa traktora na traktor,
- jednostavno rukovanje,
- merljive ekonomske koristi u svim tipovima proizvodnje (ratarska, povrtarska, voćarsko-vinogradarska).

Monitori prinosa (*yield monitor – YM*)

Ova tehnologija je najviše prisutna u Argentini i Severnoj Americi. Međutim, mali procenat monitora se koristi za mapiranje prinosa. Jedan od razloga je to što nisu svi kombajni opremljeni *GPS* sistemom, te nemaju mogućnost georeferenciranja podataka o prinosu, samim tim i mapiranja. Drugi razlog je to što korisnici ne umeju da manipulišu podacima, jer nemaju stručne kvalifikacije. Takođe, problem prenosa podataka sa monitora prinosa na *PC* je objektivna barijera, jer je on doskora zahtevao korišćenje spoljnje memorije (*USB* ili *PCMCIA*) kao posrednika u prenošenju i pažljivo vođenje arhive podataka, što poljoprivrednicima uvodi nove aktivnosti na koje oni nisu navikli. Uvođenjem tehnologije „internet stvari" (*IoT – internet of things*) i „oblak" (*cloud*) tehnologije značajno se pojednostavljuje prenos od izvora podataka do baze. Takođe, novi kombajni koji se prodaju opremljeni su monitorima prinosa ili instalacijom za naknadnu ugradnju, što će sigurno u budućnosti dati zamah široj primeni.

Tehnologije promenljivih normi (*VRT*)

Ova tehnologija je u najmanjoj meri zastupljena širom sveta. Kada se kaže *VRT*, misli se isključivo na prilagodljivu primenu mineralnog đubriva, dok su u povoju tehnologije promenljive gustine setve i primene pesticida. Samo je na nekoliko lokaliteta u svetu ova tehnologija dominantno zastupljena, a to je u Minesoti i u Severnoj Dakoti (SAD) u proizvodnji šećerne repe. Mnogi su razlozi za to, pre svega

nabavna cena, koja je izuzetno visoka u poređenju sa drugim alatima precizne poljoprivrede. Korišćenje *VRT*-a je uslovljeno operativom za prikupljanje, analizu i interpretaciju podataka. Poljoprivrednici nisu u mogućnosti samostalno da operišu alatima, niti da donose odluke utemeljene na agronomskim principima i prikupljenim podacima. U SAD je to prepušteno savetodavnim agencijama koje su specijalizovane za obavljanje određenih poslova davanja podrške poljoprivrednicima. Poljoprivrednici jesu zainteresovani za tehnologiju, ali još uvek smatraju da je ekonomska strana ta koja usporava šire prihvatanje. Izostaje i naučna ekspertiza koja nedvosmisleno potvrđuje da *VRT* ima doprinose u smanjenju troškova ili povećanju roda. Činjenica koja ne ide u prilog nabavci *VRT*-a jeste da je intenzitet varijabilnosti nekog polja manje izražen kao faktor prinosa u rodnim godinama, tj. onda kada ima dovoljno padavina u toku proizvodne sezone, što je u našim uslovima periodičnog karaktera. Odnos cene đubriva i cene poljoprivrednih proizvoda je još jedan ekonomski parametar od koga zavisi budućnost *VRT*-a. Ono što u budućnosti može biti „vetar u leđa“ jeste uspostavljanje *ISO-BUS* komunikacionog standarda za poljoprivredne mašine kojim je omogućeno *plug and play* povezivanje mašina i upravljanje sa traktorskog monitora. Vrlo često se u našoj praksi dešava da se mašine koje su namenjene za varijabilnu aplikaciju koriste kao konvencionalne mašine, jer imaju mogućnost automatske kontrole norme, što je za poljoprivrednike značajno sa aspekta postizanja visoke tačnosti aplikacije bez postupka kalibracije za različite materijale koje žele primeniti.

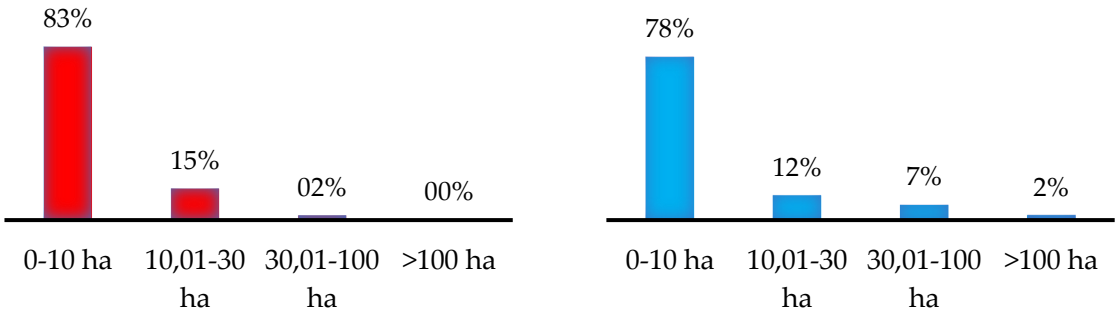
Uzorkovanje sa mapiranjem

Uzorkovanje može da se obavlja na tradicionalan način tako da se uzorci prikupljaju ručno po principu slučajnog rasporeda lokacija na parceli, te da se naknadno formira zbirni uzorak kao reprezentativni na osnovu kojeg se iz analize procenjuje stanje osnovnih hraniva. Napredniji način podrazumeva korišćenje specijalizovanog vozila sa opremom za automatsko uzorkovanje *GPS*-om pomoću kojeg se po utvrđenoj šemi uzimaju uzorci čija je adresa formulisana u obliku geografskih koordinata. Takav pristup omogućava izradu prostornih mapa i proizvodnih zona koje se među sobom razlikuju, ali su unutar sebe relativno homogene. Obe pomenute tehnike zahtevaju značajno učešće vremena i finansijskih sredstava, s obzirom na to da se moraju platiti usluge trećem licu (laboratorija, savetodavna agencija). U ovom pogledu, napredak se vidi sa potencijalnim mobilnim laboratorijama (*Veris Tech*), koje imaju mogućnost da u hodu obavljaju merenje (provodljivost zemljišta, pH, kapacitet razmene katjona, humus) bez dodatnih troškova.

Srbija i precizna poljoprivreda

Poljoprivreda u R. Srbiji predstavlja najznačajniju privrednu granu sa učešćem od 19,4% u ukupnom izvozu. Ukupan angažman populacije u poslovima poljoprivrede procenjuje se na 30%. Ako se u obzir uzmu podaci o posedovno-parcelnoj strukturi (slika 1.8a), može se zaključiti da najveći broj gazdinstava raspolaže malim posedom (>90%) koji ima slabe investicione potencijale. U strukturi setve dominiraju

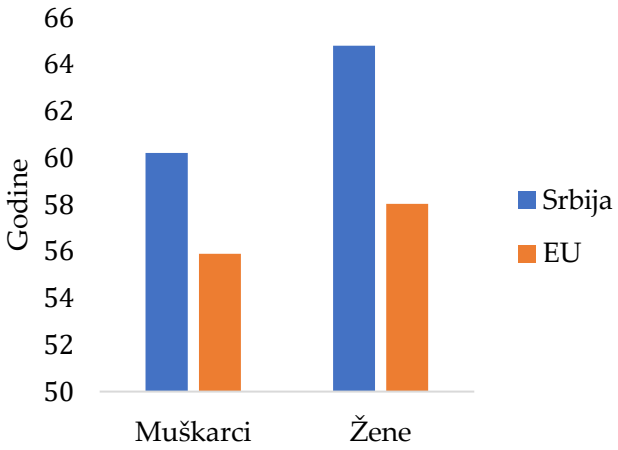
niskoprofitabilne biljne vrste kao što su žitarice (>50%), dok industrijskog bilja ima cca. 14%, a povrtarskih, voćarskih i vinogradarskih vrsta ukupno ima oko 30% (Izvor: Agrosmart). Slična situacija je prisutna je EU (slika 1.8b).



a) b)

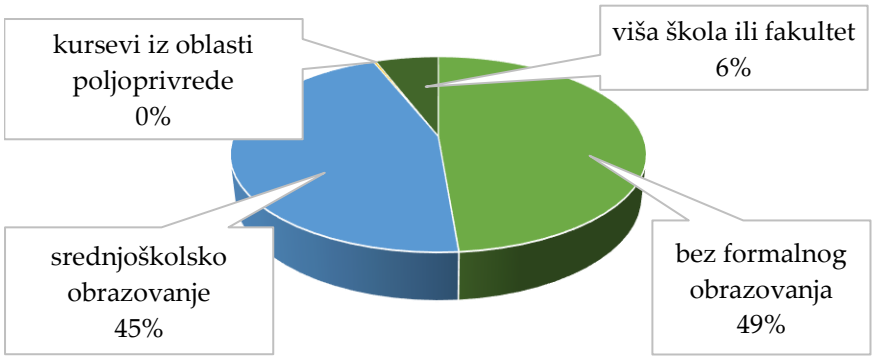
Slika 1.8. Dijagram veličine gazdinstava prema intervalima raspoloživog zemljišta: a) *R. Srbija (Anketa o strukturi poljoprivrednih gazdinstava, 2018); b) EU (Eurostat, 2016)*

Negativna okolnost u poljoprivredi Srbije, ali i Evropske unije jeste činjenica da je starosna struktura poljoprivrednih proizvođača nepovoljna, gde u populaciji dominiraju pojedinci stariji od 50 godina (slika 1.9). Opšte je poznato pravilo da se promene u navikama starijih ljudi teško prihvataju. U tom smislu ovo predstavlja dodatni apsurd namere da se moderna tehnologija koja podrazumeva napuštanje osnovnih principa konvencionalne poljoprivrede uvede dovoljno brzo među poljoprivrednike starije dobi.



Slika 1.9. Prosečna starost nosioca gazdinstva u EU (Eurostat, 2016)

Poljoprivredu u R. Srbiji, osim velike starosti nosilaca gazdinstava, pogađa i činjenica o veoma niskom stepenu obrazovanja, gde je generalno svega 6% visokoobrazovano, a čak 49% bez ikakvog formalnog obrazovanja (slika 1.10). Preduslov prelaska na modernu tehnologiju je razumevanje efekata primene, za šta su potrebna bazična znanja iz prirodnih i tehničkih nauka. Sve pomenuto uveliko izostaje i realno je očekivati da, ukoliko se ne bude insistiralo na edukaciji poljoprivrednika, upitno je kojom brzinom će se poljoprivredna praksa Srbije prilagođavati aktuelnim trendovima.



Slika 1.10. Nivo obučenosti nosilaca poljoprivrednih gazdinstava u R. Srbiji (Anketa o strukturi poljoprivrednih gazdinstava, 2018)

Socioekonomski aspekt precizne poljoprivrede

Lokalno prilagođena poljoprivredna praksa (precizna poljoprivreda) zapravo je drevna tekovina, ali je ideja o uvođenju informatičkih alata radi bolje kontrole relativno mlada. Još od prvobitnih formi biljne proizvodnje zemljoradnici su instinktivno obavljali aktivnosti saglasno posebnostima svojih polja. Na primer, pojedine biljne vrste bile su zastupljene isključivo na „nižim" terenima, dok su ostale gajene na „višim". Takođe, stajsko đubrivo, koje se oduvek smatralo kao eliksir za zemljište, prioritetno se dodavalo na „slabijem" zemljištu gde su biljke davale slabiji rod. Đubrenje azotnim hranivima strnih žita u proleće vrlo često se radi u dva navrata kako bi se što bolje iskoristio aktivni azot iz đubriva. Ne tako davno, poljoprivrednici su obično u drugom navratu azotna đubriva primenjivali lokalno na strninama, prema vizuelnoj proceni gustine i zelenilu biljaka. Iako to nije bila egzaktno procenjena količina na osnovu izmerenih parametara, ideja je identična kao i u tehnologiji precizne poljoprivrede.

Danas su poljoprivredni proizvođači primorani da hrle ka novim tehnološkim dostignućima u želji da obezbede profitabilnu proizvodnju, ali i pod pritiskom jakog marketinga koji mora da opravda uložena sredstva u razvoj novih sistema. *De facto*, poljoprivrednici imaju svest da je tehnologija neophodna, ali uglavnom nisu spremni na investicije koje nisu potvrđene u praksi. **Da bi se razumele tekovine u poljoprivredi, dinamika prihvatanja/neprihvatanja tehnologije precizne poljoprivrede, moraju se sveobuhvatno sagledati elementi koji učestvuju, pritom ne misleći samo na prirodne resurse, već uzeti u obzir glavni akter, a to je čovek-poljoprivrednik, tj. njegova percepcija.** Naime, do pre deceniju ili nešto više, poljoprivredna praksa u globalnim razmerama temeljila se na intuitivnosti individue bez egzaktnosti zasnovane na merljivim i ponovljivim ekspertizama. Na prečac su se pojavile nove okolnosti, i to brzinom koja nije zabeležena u dosadašnjoj istoriji postojanja poljoprivrede. Ciljevi su postavljeni visoko, a izazovi nikad veći. Šta to znači? Kada se priča o tehnologiji u poljoprivredi, obično se diskutuje na temu efekata, mogućnosti primene, isplativosti investicije itd., ali zapravo najvažniji momenat se odnosi na nerazumevanje raznorodnosti agroekološkog okruženja i pristupa u obavljanju poljoprivredne delatnosti na različitim lokalitetima. Ovo znači da neka

rešenja, tehnička ili tehnološka, mogu imati potpuno različite doprinose za poljoprivrednike različitih regija. Poljoprivreda u otvorenom okruženju je niskokontrolabilna, vremenski neponovljiva, te je potvrda neke tehnologije mnogo neizvesnija nego u drugim delatnostima. Takođe, parametar koji je latentno prisutan, a na koji se ne obraća pažnja u dovoljnoj meri jeste postojanje paradoksa u politici koja se sprovodi prema poljoprivredi na globalnom nivou. Teži se što pre i po svaku cenu da se primeni tehnologija koja podrazumeva korišćenje najsavremenijih tehničkih rešenja od strane proizvođača, baratanje naprednim informacionim tehnologijama, posedovanje širokog spektra fundamentalnog znanja iz domena agronomije i sve to od populacije ljudi koji su po tradiciji u svim zemljama sveta na najnižem nivou školske spreme. Sa druge strane, poljoprivreda je veoma složena kao proces, što potvrđuju neuspeli pokušaji da se iznađu globalna rešenja. Naime u 2011. godini svetski poznata firma *IBM* (*https://www.ibm.com/us-en/?lnk=m*), zajedno sa prestižnim izraelskim naučnim institutom *Technion* iz Haife (*https://www.technion.ac.il/en/home-2/*), pokrenula je projekat za poljoprivredu tzv. *Cloud-computing project*. U okviru projekta sarađivali su brojni *IT* stručnjaci i partneri iz poljoprivrede sa ciljem prikupljanja različitih akademskih i fizičkih podataka iz poljoprivrednog okruženja kako bi se napravila jedinstvena platforma za predviđanja koja bi pomogla poljoprivrednicima pri donošenju odluka u realnom vremenu. Iz intervjua sa nekoliko *IBM*-ovih članova projektnog tima, dobijena su uverenja da je poljoprivredu moguće "algoritmovati" vodeći se ubeđenjem da algoritmi mogu da reše sve probleme ovog sveta. Ranije iste godine, *IBM* kognitivan sistem učenja postigao je zapanjujuće rezultate na brojnim takmičenjima. Isti sistem počeo je da se primenjuje u medicini sa velikim uspehom, što je delimično dovelo do napuštanja projekta u poljoprivredi. Nakon toga su u *IBM*-u shvatili da je zadatak pravljenja kognitivnog sistema mašinskog učenja za poljoprivredu mnogo komplikovaniji nego što su oni mogli ikad da zamisle. Šta poljoprivredu čini drugačijom? **Utvrdili su da je poljoprivreda jedna od najkomplikovanijih i najnepredvidljivijih delatnosti u domenu statističke kvantifikacije.** Čak i ako posmatramo samo jedno polje, uslovi su promenljivi na različitim delovima (nepredvidivost klime, kvaliteta zemljišta i prisustva bolesti i štetočina). U poređenju sa medicinom, ljudski organizam je zatvoren sistem gde spoljnja sredina ima relativno mali uticaj na procese koji se dešavaju u njemu. Poljoprivreda je deo prirodnog otvorenog okruženja u kom postoje brojne interakcije pripadajućih faktora, a proizvodnja je samo jedan deo tog sistema. Da bi se u potpunosti razumelo kako treba upravljati zemljištem, neophodno je da se uzme u obzir nekoliko stotina ili čak nekoliko hiljada faktora. Problem razvijanja mašinskog učenja i veštačke inteligencije u poljoprivredi nije to što naučnici nemaju kapacitet da razviju programe i protokole, već to što u poljoprivredi ne postoje dva identična slučaja, ili slična okruženja gde bi ovakvi sistemi mogli da se potvrde, odnosno uspešno testiraju. Da bi veštačka inteligencija i mašinsko učenje imali smisla u rešavanju problema neophodno je dostići nivo saznanja gde su sve prirodne interakcije fizičkog ili materijalnog razumljive. Sa druge strane, činjenica je da multidisciplinarnosti nema u dovoljnoj meri ni u naučnim krugovima, jer vladaju

uvrežena mišljenja vodećih naučnika da fokus treba da bude na jednoj oblasti. Tako na primer, neki naučnici su eksperti za biljke, drugi za zemljište, treći za obradu slika, dok je za punu primenu precizne poljoprivrede neophodno znanje svih. Posledica individualizma je lošija koordinacija svega nekoliko stručnjaka tokom razvoja određenog rešenja, što se negativno odražava na upotrebnu vrednost takvog rešenja.

2 GEOPOZICIONIRANJE U POLJOPRIVREDI

Sistem globalnog pozicioniranja primenom orbitalnih satelita (*GPS*) otvorio je vrata široj primeni precizne poljoprivrede. S obzirom na to da je biljna proizvodnja povezana s velikim površinama, potreba za određivanjem prostorne lokacije u vidu geografske adrese (širina i dužina) neophodna je da bi se aktivnosti mogle izvoditi prema unapred prostorno definisanim protokolima. Sve što dolazi sa polja kao podatak, ukoliko sadrži geografsku adresu, ima višestruko veću upotrebnu vrednost u daljoj analizi. Postoji širok spektar alata za satelitsku navigaciju i geopozicioniranje koji su namenjeni različitim agronomskim situacijama, od uzorkovanja useva/ zemljišta do autonomnog navođenja vozila.

Globalni navigacioni satelitski sistem (*GNSS*) standardni je industrijski izraz za satelitske navigacione sisteme koji pružaju geoprostorno pozicioniranje na Zemljinoj ili blizu njene površine.

Dok je termin *GPS* ušao u moderni jezik kao pojam koji se povezuje s navigacijom, zapravo je *GPS* nosilac američkog globalnog satelitskog sistema pozicioniranja *NAVSTAR*. *GPS* (*Global Positioning System*) trenutno je jedini potpuno funkcionalan globalni satelitski navigacioni sistem, koji se sastoji sad već od 33 satelita, raspoređenih u orbiti Zemlje i koji šalju radio-signal na površinu Zemlje. *GPS* prijemnici, na osnovu ovih radio-signala mogu da odrede svoju poziciju. *GPS* projekat je lansiralo 1973. ministarstvo odbrane SAD. Prvobitno je bio korišćen u vojne svrhe, a potom od 1980-ih i za civile. Devedestih je SAD degradirao signal zbog čega je bio neupotrebljiv u preciznoj poljoprivredi. U maju 2000. god. ukinuta je „selektivna pristupačnost" *GPS* signala, čime je greška pozicioniranja značajno smanjena i omogućena je puna implementacija precizne poljoprivrede. Osim *GPS* navigacionog sistema, postoje i drugi koji nemaju toliku zastupljenost shodno broju satelita (tabela 2.1). Široko prihvatanje *GPS* prijemnika tokom proteklih 10–15 godina od strane nevojnih korisnika podstaklo je razvoj nove generacije *GNSS*, nazvane *GNSS-2* sistemi, koji imaju veći fokus na civilnu primenu. Glavna razlika između sistema *GNSS-1* i *GNSS-2* je kvalitet radio-signala. Ukoliko se koristi *GNSS-1* za dobijanje povišene tačnosti pozicioniranja za civilne korisnike, potreban je drugi signal (diferencijalni korekcioni signal). *GNSS-2* sistemi će imati povećanu tačnost bez diferencijalnog signala i nosiće informacije na više frekventnih opsega. Kao i globalni sistemi, postoji nekoliko regionalnih satelitskih navigacionih sistema u funkciji (npr. *BeiDou* Kina) ili u fazi razvoja (npr. *QZSS*, Japan i *IRNSS*, Indija). Ovi regionalni

sistemi imaju tendenciju da koriste konstelaciju geostacionarnih satelita, a ne konstelaciju satelita u orbiti kao što su *GPS* i *GLONASS*, stoga se primenjuju samo u određenim regionima i često u određene svrhe.

Tabela 2.1. Ostali operativni navigacioni sistemi

	BeiDou je regionalni satelitski sistem ***PRC***. Kina razvija sistem i planira da do 2020. uvede u operativnu upotrebu 35 satelita. Tačnost 10 m.
	Galileo je globalni satelitski sistem u vlasništvu Evropske unije započet 2005. Operativan je od 2016. i plan je da do 2020. bude 20+ satelita. Tačnost 1 m.
	***GLONASS* (*Глобальная Навигационная Спутниковая Система*)** globalni je satelitski sistem Ruske Federacije. Razvoj započet 1976. Postao operativan od 1982. i sadrži 24+3 satelita. Tačnost 5-7 m.
	***IRNSS* (*Indian Regional Navigation Satellite System*)** autonomni je sistem napravljen da pokrije regiju Indije. Sistem ima sedam satelita i trebalo bi da je operativan od 2018. U 2016. promenjeno je ime u *Navigation Indian Constellation*.
	Quasi - Zenith Satellite System regionalan je sistem, osnovala ga je vlada Japana. Plan je da do 2018. budu operativna 4 satelita, a do 2023. godine sedam satelita.

Svi *GNSS* imaju tri uobičajene komponente:

- svemirski segment – sateliti koji kruže oko Zemlje;
- kontrolni segment – stanice pozicionirane na Zemljinom ekvatoru za kontrolu satelita koji prati i održava satelite i
- korisnički segment – koji se sastoji od prijemnika koji koriste signale sa satelita za izračunavanje lokacije na Zemljinoj ili blizu njene površine.

Kontrolni segment prati *GPS* satelite, ažurira njihove orbitalne pozicije, kalibriše i sinhronizuje njihove časovnike. Sledeća važna funkcija je određivanje orbite svakog

satelita i predikcija njegove putanje za naredna 24 časa. Te informacije se prenose do svakog satelita i zatim emituju sa njega. To omogućava *GPS* prijemniku da zna gde može očekivati da pronađe satelit. Satelitski signali se primaju na stanicama u *Ascension*, *Diego Garcia*, *Hawaii* i *Kwajalein*. Merenja se zatim šalju u Glavnu kontrolnu stanicu (*Master Control Station*) u *Colorado Springs*, gde se obrađuju u cilju određivanja bilo kojih postojećih grešaka na svim satelitima. Informacija se zatim šalje nazad do četiri prateće stanice opremljene zemaljskim antenama i odatle se prosleđuju na satelite.

Korisnički segment čini svako ko koristi *GPS* prijemnik za prijem *GPS* signala i određuje svoju poziciju i/ili vreme. Tipične primene u korisničkom segmentu su kopnena navigacija, lociranje vozila, premer, marinska navigacija, vazdušna navigacija, kontrola mašina itd.

Masovna primena navigacije u poljoprivredi omogućena je tek kada je ostvareno da relativna greška bude ispod 0,5 m. Najznačajniji napredak u tom smislu je primena *DGPS – differential GPS*. Kod nas je dostupna besplatna *EGNOS* diferencijalna korekcija. To je sistem geostacionarnih satelita i zemaljskih referentnih stanica koje omogućavaju prijem "korekcija" *GPS* signala i na taj način povećanje preciznosti *GPS*-a, i to do pet puta bolje nego korišćenjem samog *GPS*-a. Na primer, korišćenjem samog *GPS*-a imate preciznost ±5–10 m 95% vremena korišćenja, a ukoliko pored *GPS* signala koristite i *WAAS*/*EGNOS*, greška će biti manja od 3 m 95% vremena (i manja u zavisnosti od antene i uređaja).

Još viša tačnost pozicioniranja može da se ostvari pomoću gušće mreže zemaljskih stanica, koje koriste neki od korekcionih signala, a vlastitim programom dodatno smanjuju greške pozicioniranja. Mobilni, traktorski, *GPS* prijemnik tada mora da ima mogućnost da sa tim stabilnim stanicama ostvaruje radio-vezu, radi prijema korekcionog signala. Dakle, u tom slučaju, *GPS* prijemnik, osim signala od navigacionih satelita, korekcioni signal prima od zemaljske stanice, a ne od geostacionarnog satelita. Ovakav sistem najčešće se označava sa *RTK* (*Real Time Kinetics* ili *RTK*).

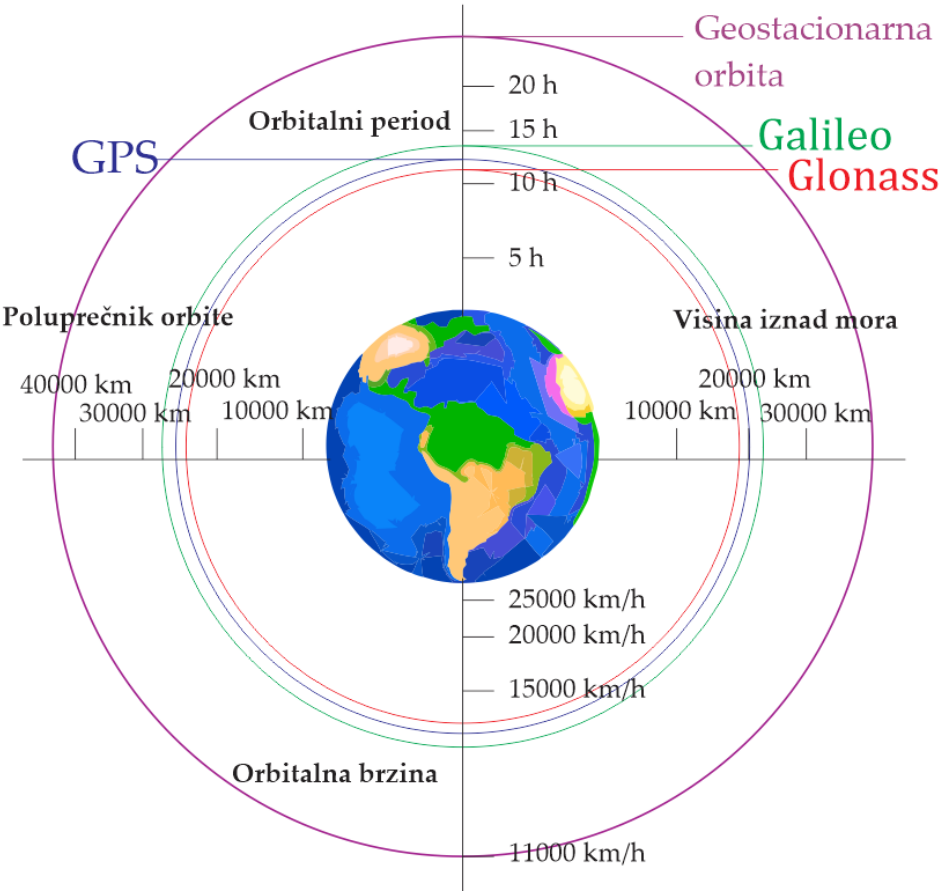
2.1 ORBITE SATELITA

Sateliti prate eliptične orbite krećući se oko Zemlje, što je najvećim delom uzrokovano silom gravitacije, ali određena pomeranja nastaju usled:

- uticaja gravitacije Meseca i Sunca,
- pritiska solarne radijacije i
- nejednake gravitacije Zemlje.

Uticaj poremećaja mora biti tačno modeliran za dobijanje željene tačnosti pozicije satelita u orbiti. Orbita satelita (slika 2.1) opisana je sa šest „Keplerovih orbitalnih elemenata“. Ako je poznat položaj satelita u orbiti u nekom vremenu, tada se može

predvideti njegova pozicija u orbiti nakon određenog vremena korišćenjem orbitalnih elemenata.



Slika 2.1. Orbite satelita

Orbitalni elementi za satelite se nazivaju „efemeris“ podaci i sadržani su u navigacionoj kod-poruci. Svaki satelit emituje efemeris podatke koje primaju zemaljske stanice radi kontrole, koje naknadno šalju podatke do svakog satelita radi korekcije. Orbitalni elementi imaju određene netačnosti s obzirom na poremećaje, zato moraju imati korekcione faktore u kalkulaciji prave orbitalne pozicije. Orbite se dele u sledeće tipove:

- niske orbite visina <1.500 km,
- srednje orbite visina 10.000–20.000 km (*GPS* sateliti),
- geosinhrone zemaljske orbite gde je period rotacije jedan dan (23h56min4.1s) i imaju fiksnu poziciju u vremenu i
- geoorbite u ekvatorijalnoj ravni – geostacionarne.

2.2 PRENOS PODATAKA SA *GPS* SATELITA

Satelitski signali se prenose putem *GPS* satelita u kodiranom formatu noseći sa sobom informacije o poziciji satelita, vremenu atomskog časovnika i kvalitetu mreže. Signali se prenose na dve razdvojene frekvencije koje su iste za sve satelite. Primenjuju

se dva različita šifrovanja: *public* šifrovanje koje daje nižu preciznost navigacije i šifrovanje za potrebe vojske SAD. Svaki satelit odašilja informacije u dvofrekventnom radio-signalu. L1 opseg ima dva koda za rangiranje, grubu akviziciju (C/A) i precizni (P) kôd. C/A kôd je signal koji se koristi za merenje rastojanja u većini osnovnih civilnih operacija. P kôd mogu dekodirati samo vojni *GPS* prijemnici. L1 opseg takođe sadrži navigacionu poruku koja pruža precizne informacije o korekciji orbite i sata pojedinog satelita (podaci efemerisa) tako da se prijemnikom može izračunati položaj satelita u prostoru u odnosu na centar Zemlje. Tu su i grube informacije o putanjama svih satelita, očekivane opšte greške u prenosu i opšte informacije o stanju celog satelitskog sistema (almanahovi podaci). L2 opseg nosi samo P kôd.

I C/A i P signali su digitalni kodovi koji su jedinstveni za svaki satelit. Slanje sa satelita se ponavlja u vremenu 1.000 puta u sekundi sa informacijom o vremenu prenosa signala. Prijemnici imaju skladište jedinstvenih kodova koje generišu sateliti. Kada prijemnik presreće digitalni kôd sa satelita, satelit može prepoznati njegovo mesto u prostoru i izračunati iz pridružene navigacione poruke. Na ovaj način obavlja se računanje vremena potrebno radio-signalu da doputuje od satelita do *GPS* prijemnika.

GPS signali su kodirani kao što su i radio-signali koje primaju radio-prijemnici da bismo mogli prenositi i slušati muziku. U tzv. *code-phase* režimu prenosa signala, C/A kôd koji se prenosi radio-talasom L1 opsega koristi se za određivanje vremena putovanja signala sa svakog satelita do prijemnika. Kada kôd stigne do prijemnika, vreme prijema se upoređuje sa navedenim vremenom prenosa, a razlika je vreme potrebno da signal dospe sa satelita do prijemnika. Trenutno je *code-phase* režim prenosa signala ograničen na L1 opseg radio-talasa, osim ako korisnik nema vojni dekoder koji može da čita P kôd. Izračunavanje vremena putovanja, korišćenjem informacije iz kôda na samo jednom radio-talasu, ograničava stepen tačnosti koji se može postići. To se dešava zbog relativno dugog ciklusa prenosa kôda (1/1.000 sekunde) i grešaka uvedenih lokacijom i vremenskim kašnjenjima prenosa signala kroz Zemljinu atmosferu. Upotreba informacija iz kodova na dve frekvencije može eliminisati ovu grešku.

Kada je uključen *GPS* prijemnik, ono što se događa zavisi od toga kada i gde je poslednji put radio. Svi prijemnici moraju znati vreme i pribaviti „almanac“ podatke zajedno sa „efemeris“ podacima sa svakog satelita koji će se koristiti za određivanje geolokacije. Svi sateliti prenose „almanac“ podatke na svakih 12,5 minuta i smatraju se važećim nekoliko meseci. Podaci „efermeris“ jedinstveni su za svaki satelit, prenose se svakih 30 sekundi i smatraju se validnim 30 minuta. Prijemnik koji se već neko vreme ne koristi ili ako je premešten više od 300 km, neće imati validne informacije o tačnom vremenu, lokaciji, satelitima koji bi trebalo da budu „vidljivi“ ili o tome gde se nalaze na nebu . Tada se pokreće tzv. hladno startovanje.

Hladno startovanje podrazumeva sledeće postupke:

- izvršava pretragu C/A koda i frekvencije da bi pronašao satelit;
- kada se pronađe jedan satelit, vreme se sinhronizuje i „almanac“ podaci se preuzimaju;
- tri satelita se lociraju, a zatim se izračunava približna lokacija prijemnika;
- podaci „efemeris“ se preuzimaju sa najmanje četiri satelita kako bi se omogućilo potpuno 3-D pozicioniranje i
- ceo proces traje manje od 15 minuta.

Prijemnik koji ima uskladištenu poslednju poziciju, zajedno sa važećim „almanac“ informacijama o lokaciji satelita, prebacuje se na tzv. toplo startovanje.

Vruće startovanje podrazumeva sledeće postupke:

- tri satelita se lociraju, a zatim se izračunava približna lokacija prijemnika;
- podaci „efemeris“ se preuzimaju sa najmanje četiri satelita kako bi se omogućilo potpuno 3-D pozicioniranje i
- ceo proces traje manje od minuta.

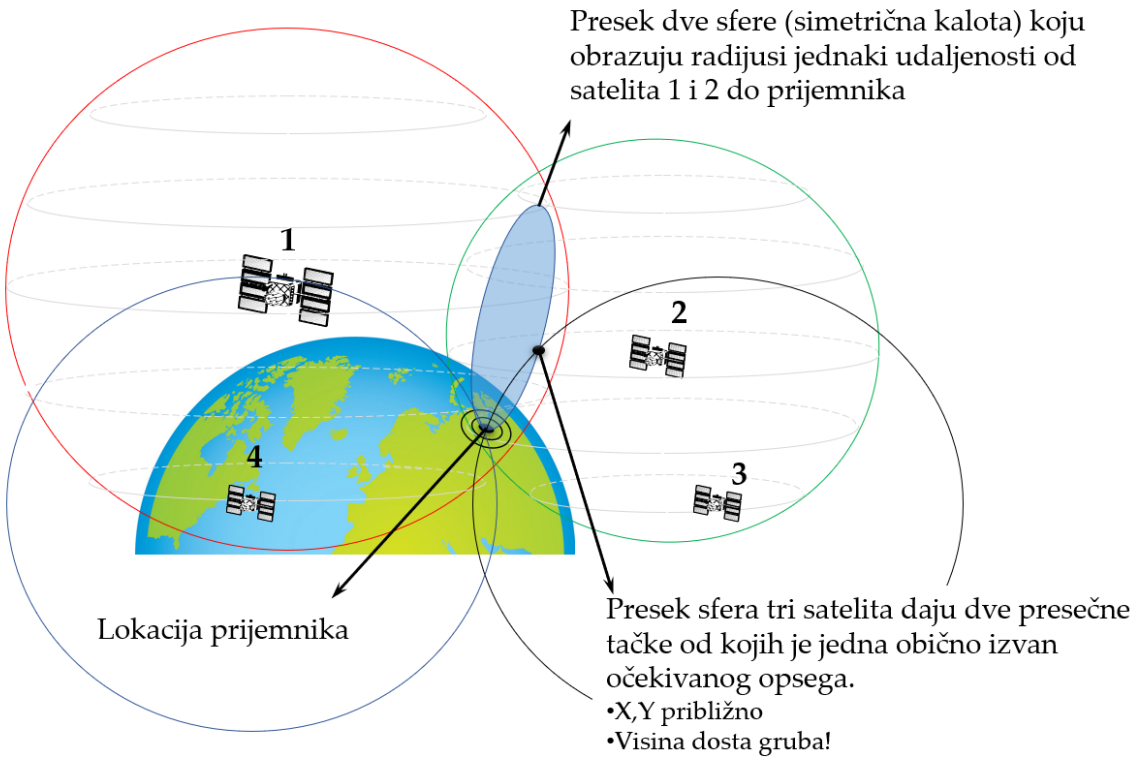
Prijemnik koji ima trenutni „efemeris“, „almanac“, lokaciju i vreme prijemnika, a koji je izgubio satelitske signale zbog problema sa smetnjama, izvršiće ponovnu akviziciju.

2.3 ODREĐIVANJE POZICIJE PRIJEMNIKA

GPS prijemnik koristi informacije prikupljene od satelita za određivanje lokacije za definisano vreme. *GPS* prijemnik to može učiniti jer satelitski signali koji se prate putuju brzinom svetlosti, koja ima konstantnu vrednost od 299.792,5 km/s. Kada se odredi vreme potrebno za putovanje signala od satelita do prijemnika, može se izračunati udaljenost između satelita i prijemnika po sledećem obrascu:

$$vreme\ putovanja\ signala\ (s) \times brzina\ signala\ \left(\frac{m}{s}\right) = rastojanje\ (m)$$

Kada se to učini za određeni broj satelita i odredi se informacija o lokaciji svakog satelita u svemiru u odnosu na Zemlju, podaci se mogu koristiti za lociranje prijemnika, i to postupkom trilateracije. Triangulacija je tehnika određivanja položaja (razdaljine) korišćenjem geometrijskih parametara putanja satelita. Rastojanje satelita od prijemnika se određuje na osnovu vremena potrebnog da radio-signal pređe put od satelita do prijemnika. Da bi se zaista geolocirao, prijemnik treba da odredi sopstvennu širinu, dužinu i nadmorsku visinu. To je poznato kao položaj u tri dimenzije (3-D). Da bi se to desilo, prijemnik mora biti u mogućnosti da pristupa podacima sa najmanje četiri satelita (slika 2.2.).



Slika 2.2. Prikaz metode određivanja lokacije prijemnika na Zemlji posredstvom tri (četiri) satelita metodom triangulacije. Rastojanja od prijemnika do satelita se izračunavaju i koriste u kombinaciji sa međusobnim položajima satelita

2.4 FREKVENCIJE SIGNALA

Svi sateliti šalju L1 i L2 signale. Satelitska mreža koristi *CDMA* spektralnu tehniku dekodiranja pomoću pseudoslučajne sekvence koja je različita za svaki satelit (tabela 2.2).

Tabela 2.2. Frekvencije satelita

Talasna dužina	**Frekvencija**	**Opis**
L1	1.575,42 MHz	Gruba akvizicija (C/A) – za civile, šifrovana preciznost (P(Y)) – za vojsku plus
L2	1.227,60 MHz	P(Y) kod + L2C i kodovi za vojsku
L3	1.381,05 MHz	Koristi se za detekciju nuklearne detonacije
L4	1.379,913 MHz	Koristi se za ispitivanje dodatnih jonosferskih uticaja
L5	1.176,45 MHz	Dodat u procesu modernizacije *GPS*

2.5 UZROCI NASTANKA GREŠKE *GPS* LOKACIJE

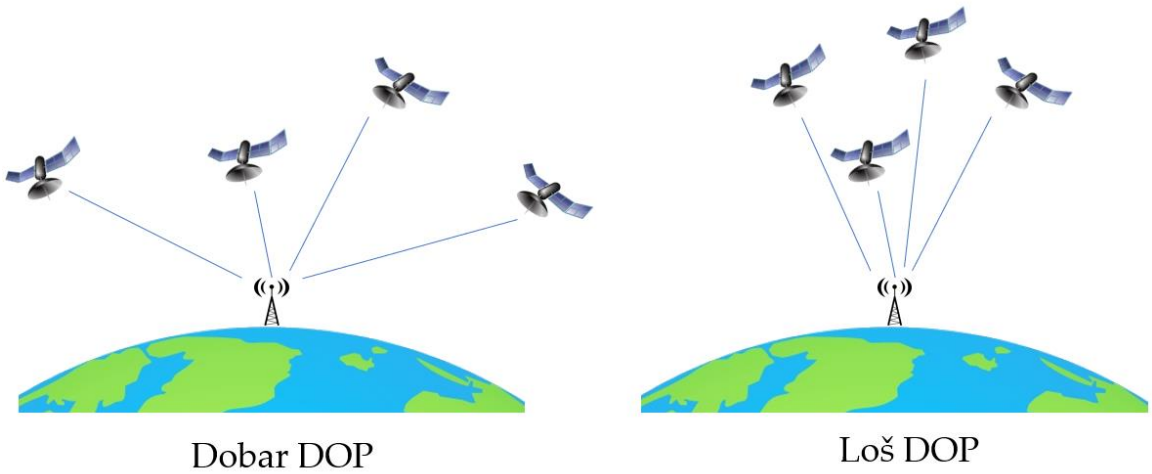
Osim načina rada koji se koristi u vremenskom procesu (C/A kôd prema P kôdu u odnosu na fazu nosača), na grešku izračunavanja položaja koju izračunava prijemnik

može uticati i veliki broj izvora grešaka. **Najveći uticajni faktor na pojavu greške je gubitak vidnog polja između prijemnika i satelita.** Iz tog razloga, prijemnici rade manje tačno u zatvorenom ili pak u okruženju visokih objekata (zgrade i drveće). Ovo je posebno važno imati na umu kada se koristi *GPS* u poljima koja su okružena visokim rastinjem, koje može poremetiti signal. Osim gubitka vidnog polja, glavne greške u tačnosti pozicioniranja su:

- raspored satelita u orbiti u odnosu na prijemnik (*Dilution of precision*),
- greške satelita,
- greške prijemnika,
- atmosferski uticaj,
- višestruka refleksija (*Multipath error*),
- selektivna dostupnost (*Selective Availability, SA*) i
- greške zbog godišnjeg zanošenja (*Drift*).

Raspored satelita u orbiti (*DOP*)

Osim grešaka u određivanju udaljenosti između satelita i prijemnika, tačnost geolokacije je funkcija geometrijskog rasporeda satelita sa kojima prijemnik komunicira. Optimalni raspored satelita iznad prijemnika je u slučaju kada je jedan satelit direktno iznad prijemnika, a ostala tri ili više ravnomerno raspoređeno u vazdušnom prostoru oko prijemnika. Kako sateliti kruže oko Zemlje, njihova geometrija u odnosu na prijemnik varira i greške koje nastaju će se razlikovati. To je glavni uzrok dnevnih promena u tačnosti geolokacije.



Slika 2.3. Prikaz različitih konstelacija satelita iznad prijemnika i uticaj DOP vrednosti

Prijemnici koji mogu istovremeno komunicirati sa više od 12 satelita manje su podložni uticaju ove pojave na grešku. Različiti tipovi rasipanja tačnosti ili *DOP* faktora mogu biti izračunati:

- *VDOP* (*Vertical Dilution of Precision*) – daje informaciju o degradaciji tačnosti u vertikalnoj ravni;

- *HDOP* (*Horizontal Dilution of Precision*) – daje informaciju o degradaciji tačnosti u horizontalnoj ravni;
- *PDOP* (*Positional Dilution of Precision*) – daje informaciju o degradaciji tačnosti u 3D prostoru i
- *GDOP* (*Geometric Dilution of Precision*) – daje informaciju o degradaciji tačnosti u 3-D prostoru i vremenu.

Najkorisniji je *GDOP* jer uključuje najviše informacija. Neki računaju *PDOP* ili *HDOP* koji ne uključuju vremensku komponentu. Najtačnije pozicije će generalno biti sračunate kada je *DOP* nizak (obično manji od 4, slika 2.3).

Greške satelita

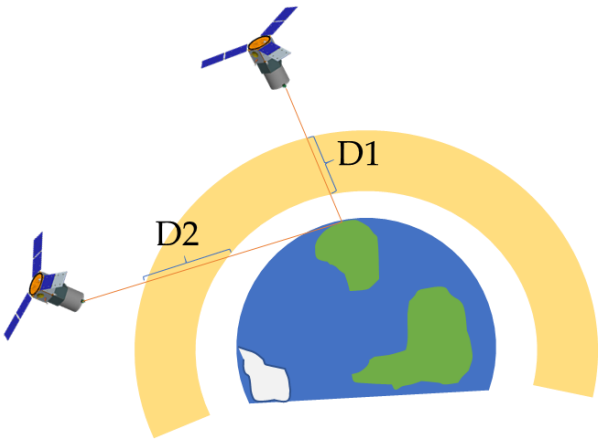
Iako su časovnici na satelitima veoma tačni (oko 3 nano sekunde), oni ponekad neznatno kasne i izazivaju male greške utičući na tačnost izračunate pozicije. Američki departman za odbranu prati satelitske časovnike koristeći Kontrolne segmente i koriguje vremenske razlike na atomskim časovnicima satelita. Koliko je bitno tačno merenje vremena govori primer da ako se pretpostavi da je greška u računanju vremena svega 0,001 s, greška koja nastaje u određivanju rastojanja između satelita i prijemnika je oko 300 km.

Atmosferski uticaj

Kako satelitski signal prolazi kroz jonosferu, on može biti manje ili više degradiran zbog refleksije o čestice unutar atmosfere (slika 2.4). Ovi uticaju su promenljivi u vremenu, jer se i sama jonosfera menja. Atmosferska kašnjenja izazivaju grešku u računanju rastojanja, jer utiču na vreme putovanja signala. Jonosfera ne izaziva konstantno kašnjenje signala. Postoji više faktora koji utiču na veličinu kašnjenja izazvanu jonosferom. Signali sa niskih satelita su više opterećeni greškom od signala sa satelita na višim elevacijama usled većeg puta kroz atmosferu koje signal prelazi u prenosu do prijemnika. Noću postoji veoma mali jonosferski uticaj. Po danu, sunce povećava efekat jonosfere i usporava signal. Jonosferske greške mogu biti umanjene korišćenjem sledećih metoda:

Prva metoda podrazumeva računanje srednje vrednosti efekta smanjenja brzine radio-talasa izazvane jonosferom. Ovaj korekcioni faktor može biti primenjen na računanje rastojanja. S obzirom na to da se korekcija lokacije obavlja na osnovu srednje vrednosti greške, a da se greška u realnom vremenu menja, takva metoda se nije pokazala kao optimalna.

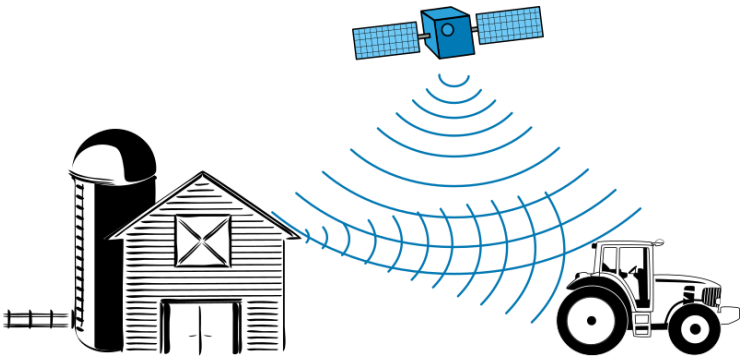
Druga metoda uključuje korišćenje dvofrekventnih *GPS* prijemnika koji mere L1 i L2 frekvencije *GPS* signala. Poznato je da kada radio-signali putuju kroz jonosferu bivaju usporeni obrnuto proporcionalno njihovoj frekvenciji. Zato, ako se upoređuju vremena dolaska dva signala, može biti izvedena tačna ocena.



Slika 2.4. Prikaz različitog uticaja atmosfere na degradaciju signala za različite pozicije satelita u odnosu na prijemnik

Višestruka refleksija

Višestruka refleksija se javlja kada je antena prijemnika pozicionirana blizu neke velike reflektivne površine kao što su razni objekti (ambari, silosi, itd., slika 2.5). Satelitski signal ne dolazi direktno u antenu, već udara u obližnji objekat i reflektuje se prema prijemniku. Time se produžava vreme putovanja signala i stvara grešku u određivanju rastojanja. Greške ovog tipa se mogu smanjiti postavljanjem bazne stanice ili izbegavanjem visokih građevinskih objekata. Višestruka refleksija utiče samo na visokotačna, tj. geodetska merenja. Jednostavni ručni navigacioni prijemnici nisu opterećeni ovim uticajem, jer im je greška pozicioniranja u startu relativno velika.



Slika 2.5. Ilustracija odbijanja GPS signala od objekta koji se nalaze u blizini prijemnika

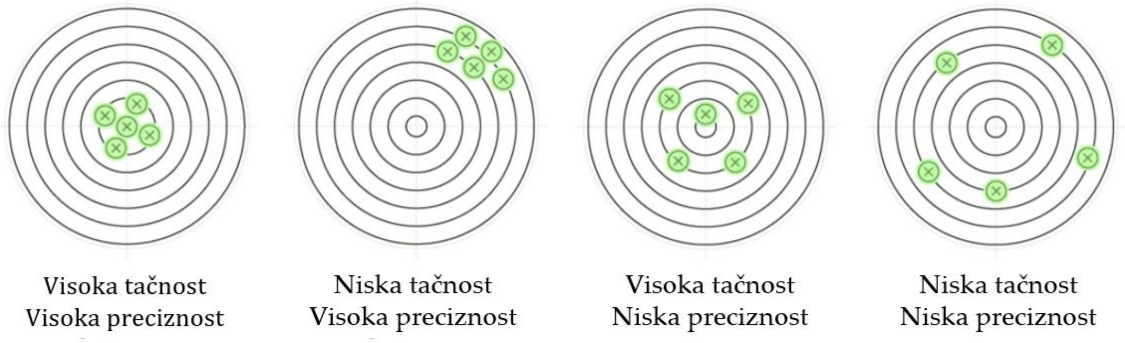
Selektivna dostupnost (S/A)

Selektivna dostupnost je proces koji je primenio Američki departman za odbranu na *GPS* signal. On se sprovodi kako bi se kontrolisalo korišćenje pune tačnosti *GPS* sistema, podvrgavajući satelitske signale procesu poznatom kao *dithering* kojim se namerno unosi šum u osnovni signal, a time se neznatno menja vreme na satelitskim časovnicima. Osim toga, efemeride (ili putanja koju će satelit pratiti) koje se emituju neznatno se razlikuju od onih u realnosti. Krajnji rezultat je degradacija tačnosti pozicije.

S/A utiče na korisnike koji primaju samo nekorigovani *GPS* signal. Prijemnici koji primaju diferencijali signal (više u daljem tekstu) nisu bitno opterećeni putem S/A.

2.6 TAČNOST/PRECIZNOST *GPS* PRIJEMNIKA

Često se među korisnicima javlja zabuna oko termina tačnosti i preciznosti *GPS* prijemnika. Pod pojmom tačnosti se podrazumeva odstupanje generisane *GPS* adrese (lokacije) od apsolutno tačne i ona se ne odnosi na ponovljivost u vremenskom domenu (slika 2.6), dok je preciznost termin koji podrazumeva pomerenost izmerene *GPS* koordinate u odnosu na prethodno generisane i to ne mora biti u korelaciji sa tačnošću. To znači da prijemnici koji daju tačnije koordinate ne moraju biti istovremeno i precizni. Takođe, kada se radi o numeričkim podacima *GPS* koordinata, neki prijemnici definišu lokacije brojevnim izrazom koji ima manje ili više decimala. Na primer, ako imamo zapis u decimalno izraženim stepenima (19,123E, 45,123N), ne možemo proceniti na osnovu broja decimala koliko je podatak tačan (koliko koordinate odstupaju od apsolutno tačnih), ali možemo da kažemo koliko je precizno izražena koordinata.

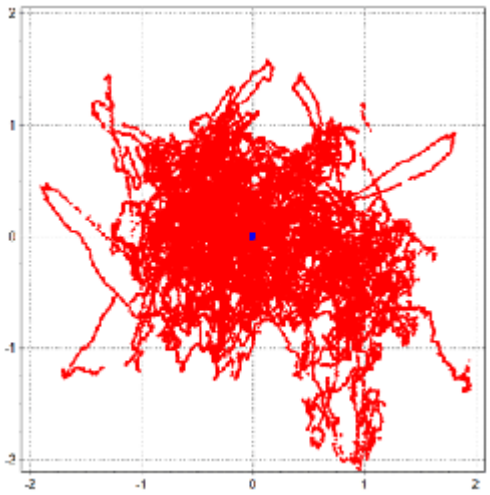


Slika 2.6. Slikovni prikaz razlike u tačnosti i preciznosti GPS merenja

2.7 TIPOVI GREŠKE *GPS*-A

Ocenjivanje kvaliteta rada *GPS* prijemnika zavisi od primenjenih kriterijuma i namene (operacije) uređaja. Neki radovi u poljoprivredi prilikom kojih se primenjuje *GPS* navigacija zahtevaju visoku apsolutnu tačnost pozicioniranja, a neki samo relativnu. Apsolutna greška se u literaturi naziva još i **statička greška**, dok se relativna naziva **dinamička greška** (*ISO, 2009*). Kada se govori o sistemima za navigaciju poljoprivrednih mašina, pod pojmom greške podrazumeva se maksimalno poprečno odstupanje trenutne linije vođenja od izabrane (*Adamchuk et al., 2007*) u periodu između dva prohoda (*pass-to-pass*). Važnost provere dinamičke i statičke tačnosti uređaja za navigaciju u poljoprivredi potvrđuju studije više autora (*ION, 1997*; *Stombaugh et al., 2002*; *Han et al., 2004*; *Borgelt et al., 1996*; *Stoll i Kutzbach, 2000*; *Al-Gaadi*

i Ayers, 1998). Drugi autori (*Gomez-Gil et al., 2013*; *Gomez-Gil et al., 2011*) razvijali su metodologiju za unapređenje preciznosti postojećih *GPS* uređaja.



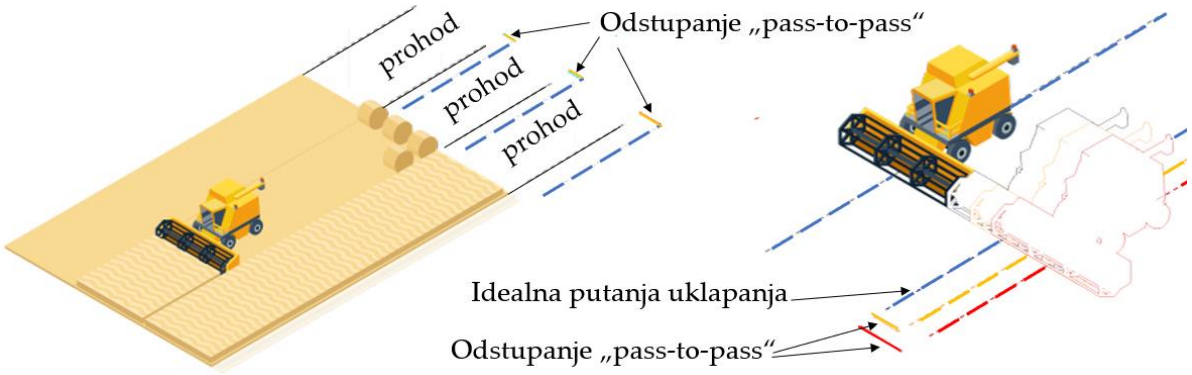
Slika 2.7. Dijagram poređenja prostornog rasipanja podataka sa dva GPS prijemnika koji primaju signale različite tačnosti u periodu od 24 h. Prijemnici su radio u stacionarnom režimu i bili su postavljeni na identičnim lokacijama. Crvene tačke predstavljaju vrednosti GPS prijemnika bez korekcije signala, a plave tačke podatke GPS prijemnika sa RTK korekcijom.

Na dinamiku *GPS* navođenja mašina po parceli, osim tačnosti prijemnika, uticaj ima i konfiguracija terena kao i geometrija mašine koja se navodi (traktor, kombajn, samohodne mašine), što je *Adamchuk et al. (2007)* istakao u svojim navodima.

Apsolutna ili **statička greška** pozicioniranja predstavlja odstupanje izmerenih koordinata *GPS* prijemnika za neku lokaciju na Zemlji u odnosu na apsolutno tačne koordinate identične lokacije. Statička greška se određuje za duži ili kraći period. Drugim rečima, statička greška je odstupanje (u metrima) između geografskih koordinata koje su generisane na identičnoj lokaciji sa identičnim uređajem u definisanom vremenskom razmaku (slika 2.7).

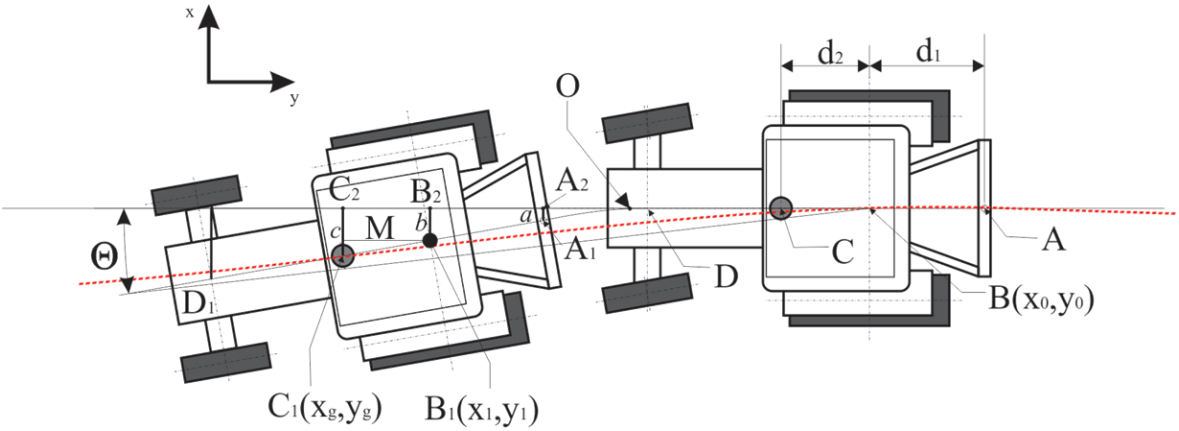
Relativna ili **dinamička greška** predstavlja odstupanje koje nastaje pri određivanju relativne pozicije prijemnika prema prethodno određenoj (ma koliko ona bila apsolutno tačna) u kratkom periodu. Za uklapanje paralelnih prohoda ovaj podatak ima veći značaj nego statička greška, iako u svakom smislu dinamička ima manju apsolutnu vrednost za isti nivo statičke greške. Na slici 2.8 grafički se objašnjava koncept dinamičke greške. Ako bi se poljoprivredno vozilo kretalo po polju po ustaljenim šablonima uz asistenciju *GPS* uređaja, pri povratku na istu lokaciju prema navigacionim uputstvima *GPS* uređaja javio bi se pomak, tj. greška. Veličina pomerenosti se koristi za izražavanje tzv. *pass-to-pass* tačnosti *DGPS* uređaja. Ova pojava dovodi do određenog stepena preklapanja prohoda i pojave preskoka u pokrivenosti. Greška koja se definiše od prethodnog prohoda do narednog prohoda uzima u obzir vremenski interval od 15 minuta, što je procenjeno kao dovoljno vreme

za jedan prohod na tipičnom polju za koje će raspored satelita iznad *GPS* prijemnika biti približno isti, kao i vremenski uslovi.



Slika 2.8. Greška nastala u navođenju mašina kao posledica pass-to-pass greške

Autori *Kostić et al. (2015a)* sproveli su teoretsku analizu uticaja koncepcije traktora (standardni/zglobni) i konfiguracije (geometrijski parametri) na grešku pri *GPS* navigaciji. U obzir su uzeli da se radi o *DGPS* prijemniku. U teoretskom razmatranju definisali su matematički model koji opisuje funkciju promene odstupanja priključne tačke (veze sa mašinom), u zavisnosti od položaja *GPS* prijemnika i karakterističnih dimenzija traktora (slika 2.9).



Slika 2.9. Šematski prikaz pomerenosti traktora od idealne putanje vođenja (Kostić et al., 2015a)

Na osnovu izvedenih modela, zaključeno je da je koncepcija zglobnih traktora povoljnija sa aspekta *GPS* navođenja pri ručnoj korekciji jer je kabina postavljena na središtu između dva pogonska mosta, tj. pomerena unapred u odnosu na standardne koncepcije traktora, što je zapravo osnovni razlog te prednosti. Jednom rečju, što je više *GPS* antena udaljena od tačke kačenja priključne mašine, to se odstupanje od idealne linije manje „prenosi“ na priključnu mašinu.

2.8 TEHNIKE POBOLJŠANJA TAČNOSTI *GPS* PRIJEMNIKA (DIFERENCIJALNA KOREKCIJA)

Postoje mnogobrojne tehnike radi unapređenja osobina navigacionog sistema kao što su tačnost, pouzdanost i dostupnost, integrisanjem spoljnih informacija u proces izračunavanja globalne pozicije od strane mobilnih prijemnika. Doprinos unapređenju tačnosti nekih od sistema na nivou Republike Srbije dat je u tabeli 2.3. Ovi sistemi se generalno dele na osnovu načina na koji *GPS* prijemnik prima informacije o korekciji osnovnog signala. Neki sistemi (*SBAS – satellite-based augmentation system*) prenose dodatne informacije o izvorima grešaka (kao što su greške atomskih časovnika, efemeri ili uticaj jonosfere) dok drugi (*GBAS – ground based augmentation system*) omogućavaju direktno merenje greške signala u prethodnom periodu što se koristi za kompenzaciju greške.

Tabela 2.3. Pregled tačnosti korekcionih signala dostupnih na teritoriji R. Srbije

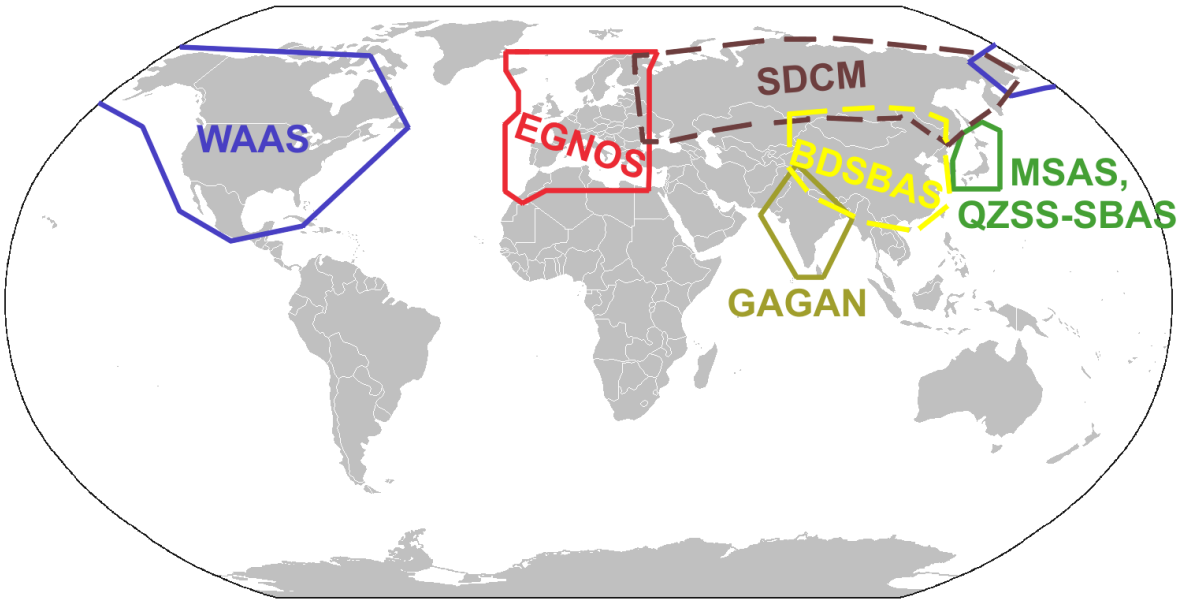
***DGPS* koncept**	**Korekcioni signal**	**Zahtevan signal**	**Tip greške, cm**	
			Statička	**Dinamička**
SBAS	*Egnos*	L1/L2	90	15
SBAS/GBAS	*RangePoint RTX*	L1/L2	50	15
SBAS/GBAS	*OmniSTAR G2*	L1/L2	8–10	5–10
SBAS	*OmniSTAR HP*	L1/L2	10	5
SBAS	*OmniSTAR VBS*	L1		<100
SBAS	*OmniSTAR XP*	L1/L2	12	7
L1/L2	*StarFire 1*	L1/L2		7,5
L1/L2	*StarFire 2*	L1/L2		10
L1/L2	*StarFire 3*	L1/L2		3
SBAS/GBAS	*RTK (AGROS)*	L1/L2	2,5	2,5

DGPS sistem funkcioniše na sledeći način: da bi se procenila greška, *GPS* sateliti istovremeno komuniciraju sa prijemnikom i baznim stanicama (najbližim) za koje se znaju tačne koordinate. Na baznim stanicama postoji prijemnik koji takođe određuje *GPS* lokaciju bazne stanice na osnovu signala pristiglih sa satelita i upoređuje sa apsolutno tačnom koja je unapred poznata. Dobijena razlika predstavlja grešku koja se šalje preko geostacionarnih satelita (*SBAS*) ka prijemnicima koji preračunavanjem koriguju koordinate koje su izračunali na osnovu signala sa satelita.

SBAS se koristi za poboljšanje kvaliteta *GPS*-a na regionalnom nivou. Nekoliko zemalja je implementiralo sopstveni *SBAS*. Na primer, u Evropi to je *EGNOS* (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), koji pokriva većinu Evropske unije (EU), zajedno sa nekim susednim zemljama i regionima. Ostali nacionalni *SBAS* uključuju (slika 2.10):

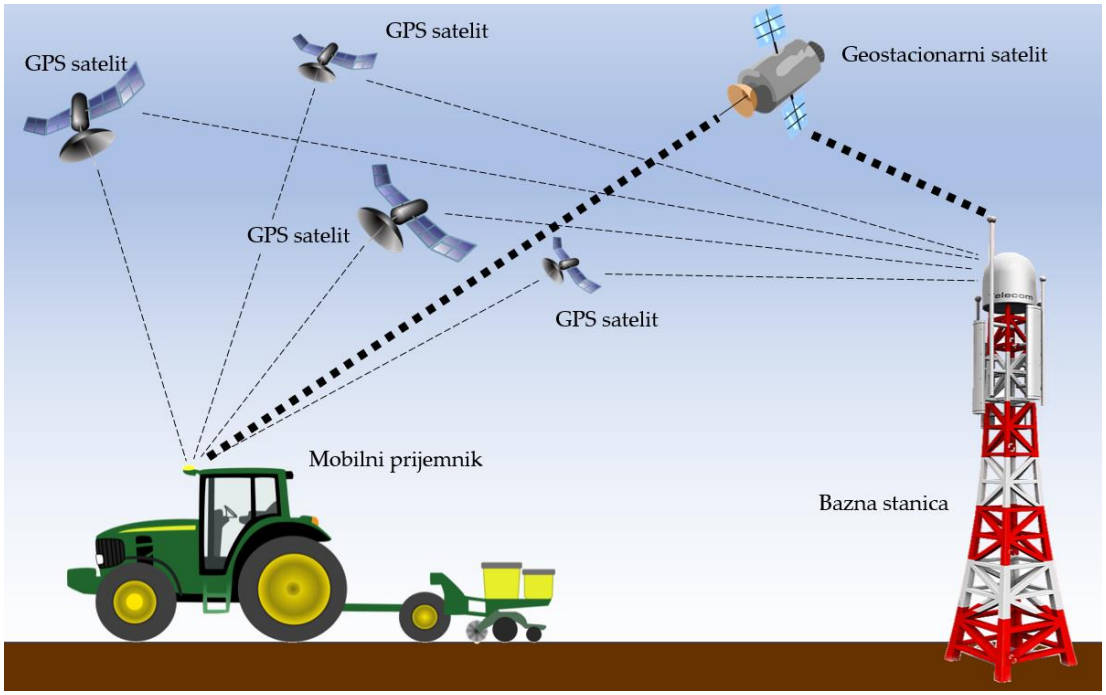
- *WAAS* (*Wide Area Augmentation System* – SAD),
- *MSAS* (*Multi-functional Satellite Augmentation System* – Japan),
- *GAGAN* (*GPS and GEO Augmented Navigation* – Indija),
- *SNAS* (*Satellite Navigation Augmentation System* – Kina),
- *WADGPS* (*Wide Area Differential Global Positioning System* – Južna Koreja) i
- *SDCM* (*System for Differential Corrections and Monitoring* – Rusija).

EGNOS je regionalni evropski sistem povećanja tačnosti satelitskog sistema pozicioniranja kao što su *GPS* (*NAVSTAR*) i *Galileo*, ispravljanjem nekoliko izvora grešaka koji utiču na *GPS* signale. *EGNOS* se sastoji od mreže 40 zemaljskih stanica i tri geostacionarna satelita koji služe za prenos korekcionog signala do prijemnika. Geostacionarni sateliti koji su pozicionirani tačno iznad ekvatora na visini od 38.500 km imaju sinhronizovanu rotaciju sa Zemljom, tj. nalaze se na južnoj strani od prijemnika ukoliko je u pitanju regija Evrope. Sistem koristi *GPS* merenja uzeta na tačno lociranim referentnim stanicama raspoređenim širom Evrope.



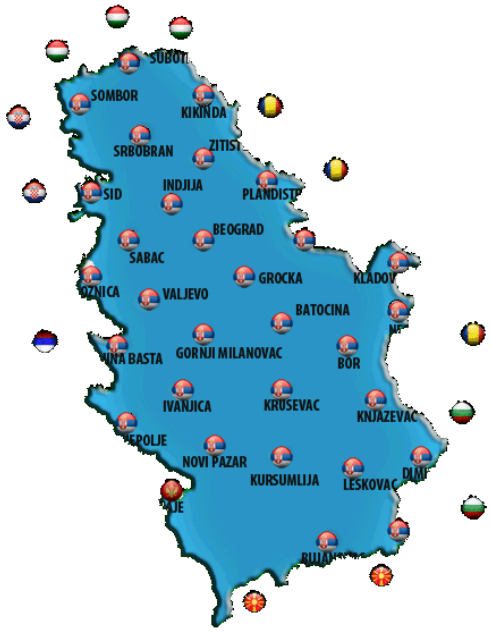
Slika 2.10. Pokrivenost SBAS korekcionim signalima

Ispravke koje prenosi *EGNOS* doprinose ublažavanju izvora grešaka u vezi sa satelitskim satovima, satelitskim položajem i jonosferskim efektima. Ostali izvori grešaka (troposferski efekti, refleksija i vrsta prijemnika) efekti su koje ne može ispraviti ovaj sistem poboljšanja. *EGNOS* takođe može otkriti izobličenja koja utiču na signale koji se prenose *GPS*-om, sprečavajući korisnike da prate nekvalitetne ili ometajuće signale koji mogu dovesti do pogrešnog pozicioniranja. *EGNOS* je u Evropi dostupan svakom korisniku koji je opremljen odgovarajućim *DGPS*/*SBAS* prijemnikom. Za statičke prijemnike, korekcija se može snimiti odvojeno, da bi se pozicija naknadno ispravila (naknadna obrada). S obzirom na to da se u poljoprivredi koriste mobilni sistemi, time i prijemnici, korekcija se može preneti na mobilni prijemnik radio ili *GSM* vezom (internetom) i primeniti u realnom vremenu (slika 2.11).



Slika 2.11. Relacija između satelita, prijemnika i bazne stance pri diferencijalnoj korekciji GPS signala (SBAS)

GBAS koristi mrežu stacionarnih referentnih stanica za evidentiranje promene između položaja *GPS* prijemnika i poznatih fiksnih pozicija baznih stanica. Ove stanice beleže varijacije izmerenih satelitskih pseudorastojanja i interno izračunatih pseudorastojanja i šalju direktno mobilnim prijemnicima koji koriguju izračunate koordinate. Najčešći oblik *DGPS*-a deluje u radio-frekvencijskom opsegu 285-325 kHz. *GBAS* pruža korekciju u blizini civilnih aerodroma za potrebe avio-saobraćaja.



Slika 2.12. Mreža permanentnih baznih stanica AGROS mreže

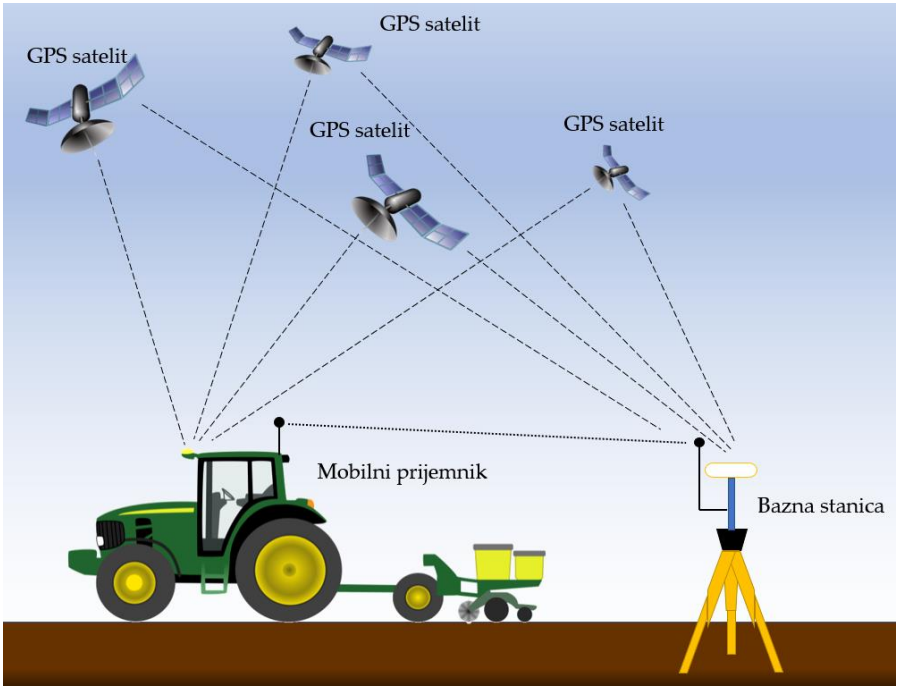
Aktivna geodetska osnova Srbije – AGROS

AGROS predstavlja mrežu permanentnih *GNSS* baznih stanica pravilno raspoređenih na međusobnom rastojanju od oko 60 km (slika 2.12) koja predstavlja servis za ostvarivanje preciznog satelitskog pozicioniranja prijemnika na teritoriji Republike Srbije. Mreža je uspostavljena u fazama, od 2002. godine do 5. 12. 2005. Ekonomsko korišćenje servisa AGROS počinje 16. 12. 2005. AGROS mreža ima ukupno 32 permanentne stanice sa kontrolnim centrom u Beogradu, gde se korisnicima pruža tačnost od 2 cm do 3 cm (*RTK* servis) i >50 cm (*DGPS* servis). Od

novembra 2010. godine puštene su u rad permanentne stanice koje omogućavaju prijem signala *GPS* i *GLONASS* satelitskih sistema.

***RTK* (*Real-time kinematic*)**

RTK je tehnika *GNSS* pozicioniranja kojom se postiže najviši nivo tačnosti (maksimalna greška 1–2 cm). Bazira se na merenju faze nosača satelitskog signala i obradi signala koja podrazumeva primenu naprednih statističkih metoda za korigovanje faze kako bi se eliminisala većina normalnih grešaka nastalih u prenosu *GPS* signala. *RTK* korekcije se šalju preko bazne stanice koja mora biti do 10 km (zavisi od konfiguracije terena) udaljena od prijemnika kako bi se korekcija nesmetano prenosila radio-talasima (slika 2.13). Jedna stanica može da podmiruje više od 10 prijemnika istovremeno. Tačnost korekcije se smanjuje sa povećanjem rastojanja između bazne stanice i prijemnika. Za svaki 1 km povećanja rastojanja opada tačnost za 1 mm (*Heraud i Lange, 2009*). Ovaj nedostatak se javlja kada se koristi sopstvena bazna stanica i može se otkloniti korišćenjem šire mreže baznih stanica kao što je u R. Srbiji AGROS mreža. U tom slučaju, korekcija se prenosi putem internet veze posredstvom mrežnih operatera mobilne telefonije. Ukoliko korisnik poseduje sopstvenu baznu stanicu, tada se korekcija dobija bez naknade, dok ukoliko se koristi mreža permanentnih baznih stanica, tada se ne mora investirati u sopstvenu baznu stanicu, ali se plaća mesečna pretplata dobavljaču.



Slika 2.13. Komunikacija u slučaju RTK korekcije položaja korišćenjem bazne stanice

RTK-GPS tehnologija omogućava poljoprivredniku da se ponovo vrati na istu lokaciju tokom vegetacione sezone ili čak u narednim godinama. Otuda se na njegovu preciznost u georeferenciranju može pouzdati ne samo u toku perioda između dva prohoda već i u mnogo dužem intervalu (od sezone do sezone). Ova karakteristika je važna kada je potrebno obaviti neku operaciju po ponovljenim trasama na parceli,

odnosno vođenje mora biti po tačno definisanim rutama u odnosu na prethodne prohode.

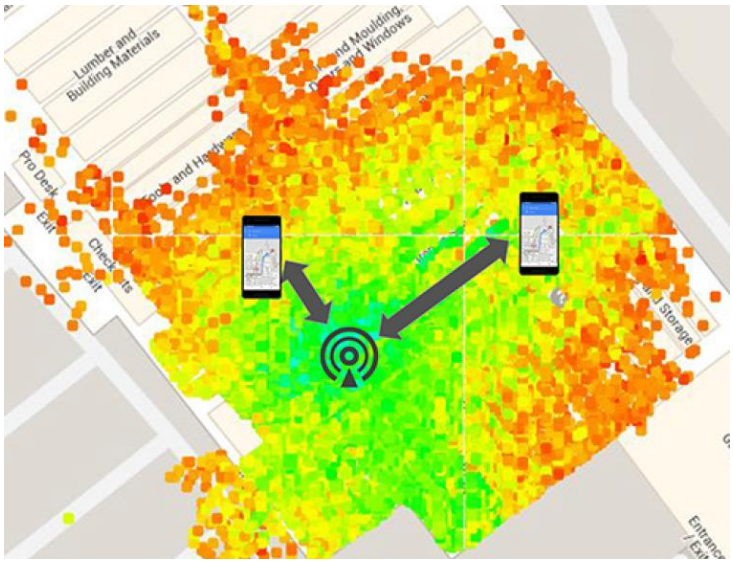
Tabela 2.4. Terminologija kojom se definišu tačnosti GPS prijemika

Skraćenica	**Pojam**	**Verovatnoća greške**	**Objašnjenje pojma**
CEP	*Circular error probability*	50%	Poluprečnik kružnice opisane oko stvarne pozicije na kojoj se nalazi *GPS* prijemnik u koju upada 50% lokacija (tačaka) koje su određene *GPS* prijemnikom
R68	*Horizontal 68*	68%	Poluprečnik kružnice opisane oko stvarne pozicije na kojoj se nalazi *GPS* prijemnik u koju upada 68% lokacija (tačaka) koje su određene *GPS* prijemnikom
R95	*Horizontal 95*	95%	Poluprečnik kružnice opisane oko stvarne pozicije na kojoj se nalazi *GPS* prijemnik u koju upada 95% lokacija (tačaka) koje su određene *GPS* prijemnikom
RMS	*Root mean square error*	68%	Kvadratni koren iz aritmetičke sredine horizontalnog odstupanja *GPS* lokacija u odnosu na stvarne (X) podignutih na kvadratni stepen $RMS=\sqrt{\frac{1}{n}(X_1^2+X_2^2+\ldots+X_n^2}$
2RMS	*2×Root mean square error*	98%	Dvostruka vrednost *RMS*
1 σ	*Standar deviations*	68%	Prosečno odstupanje od procenjenog položaja
2 σ	*2×Standar deviations*	95%	Dvostruka vrednost prosečnog odstupanja od procenjenog položaja
SER	*Spherical error probability*	50%	Veličina poluprečnika sfere centrirane oko stvarne pozicije prijemnika koja obuhvata procenjenu poziciju sa verovatnoćom od 50%
3-D RMS	*Three-dimensional root square error*	68%	Kvadratni koren iz aritmetičke sredine trodimenzionalnog dostupanja *GPS* lokacija u odnosu na stvarne (X) podignutih na kvadratni stepen

Kako bi se ocenio kvalitet rada *GPS* prijemnika definisana je standardna procedura (*Institute of Navigation, 1997*), kao i parametri kojima se opisuje odstupanje (tabela 2.4).

2.9 POZICIONIRANJE KORIŠĆENJEM ANDROID TELEFONA

Kvalitet pozicioniranja korišćenjem mobilnog telefona koji ima ugrađen *GPS* prijemnik nije se menjao duži niz godina i iznosi svega 2–5 m greške u 95% vremena, što je za većinu aplikacija u poljoprivredi nedovoljna tačnost. U tom smislu u povoju su dve tehnologije koje će značajno unaprediti tačnost *GPS* prijemnika na telefonima, i to u zatvorenim prostorijama (*Round Trip Time – RTT* tehnologija) i pod otvorenim nebom (*Dual frequency* i *Carrier phase measurement*).

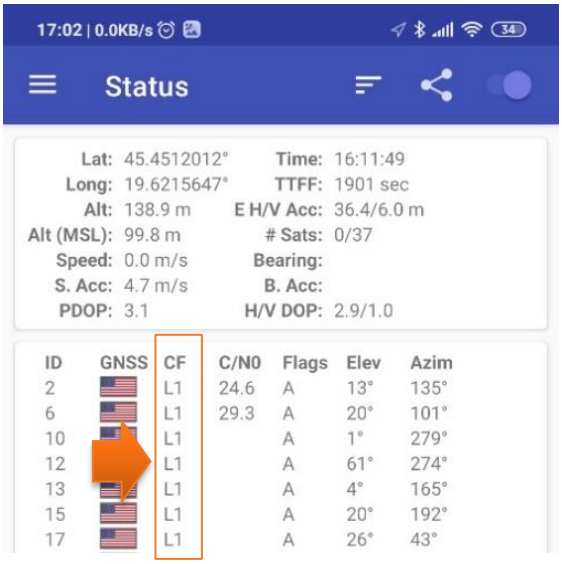


Slika 2.14. Prikaz snage WiFi signala u zavisnosti od relativne pozicije telefona u odnosu na pristupnu tačku

WiFi RTT lociranje u zatvorenim prostorijama zasniva se na merenju vremena leta *RF* signala sa tačnošću od jedan do dva metra. Dosadašnja tehnika lociranja pomoću *WiFi* pristupnih tačaka (*access point*) bazirala se na metodi procene korišćenjem informacije o snazi *WiFi* signala koji prima prijemnik. Međutim, ako se pogleda slika 2.14, može se zaključiti da u situaciji gde su dva telefona različito udaljena u odnosu na pristupnu tačku, a pri tome je snaga signala ista, ova metoda nema mogućnost razlikovanja lokacije ova dva telefona. *RTT* meri vreme potrebno da se pošalje poruka od pristupne tačke do telefona i nazad. Budući da radio-signali putuju istom brzinom kao i vidljiva svetlost, ako se pomnoži ukupno vreme ciklusa sa brzinom svetlosti i podeli sa dva, dobija se udaljenost, a samim tim i raspon od telefona do pristupne tačke.

Od 2017. godine počela je proizvodnja *GPS* čipova koji rade sa dualnom frekvencijom (L1/L5 *GPS* signal, E1/E5a *Galileo* signal) i namenjeni su automobilskoj industriji i industriji mobilnih telefona. Ovim će se omogućiti prijem oba *GPS* signala uz dekodiranje informacija o razdaljini korišćenjem fazne metode. Pomenuta tehnika

je uveliko dostupna na komercijalnim *GPS* prijemnicima koji imaju specijalne namene i u tom smislu ne predstavlja novinu. Novi hardver *GPS* prijemnika na telefonima treba da omogući brzi start i maksimalnu grešku lociranja u optimalnim uslovima manje od 1 m. Korišćenjem dvojnih signala smanjuje se uticaj greške nastale usled višestruke refleksije signala u okruženju sa visokim objektima. Svaki korisnik može proveriti da li njegov telefon koristi *carrier-phase GPS* tehnologiju, tj. da li ima mogućnost prijema drugog signala nosača faze. Ako se instalira aplikacija *GPSTest* (*https://play.google.com/store/apps/details?id=com.android.gpstest&hl=en*) na telefon, mogu se iščitati osnovne informacije o prijemu *GPS* signala (slika 2.15). Kolona CF nam govori da li telefon prima samo L1/E1 *GPS* signale ili ima mogućnost da primi i drugi L5/E5a. Ukoliko prima oba, onda se mogu postići veće tačnosti kao što je to ranije napomenuto.



Slika 2.15. Slika ekrana mobilnog telefona sa aplikacijom GPSTest i prikazom osnovnih informacija o GPS vezi. Crveno polje označava vrste signala koje telefon prima. U konkretnom slučaju radi se o telefonu koji prima samo L1 GPS signal.

2.10 *GPS* I KONTROLISANO VOĐENJE MOBILNIH SISTEMA

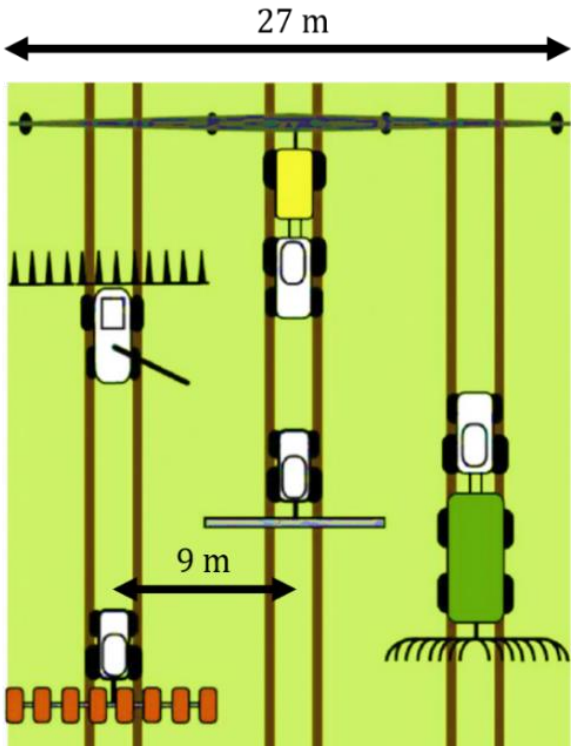
Pod pojmom „precizno“ u terminu precizna poljoprivreda među poljoprivrednicima se najčešće podrazumeva pravilno kretanje poljoprivredne mehanizacije po velikim proizvodnim poljima uz manju ili veću podršku *GPS* sistema. Potreba za navođenjem mašina javila se još pre više od 100 godina kada su korišćeni primitivni mehanički sistemi za vođenje po izabranoj putanji (*Adamchuk, 2007*), koji su se zasnivali na pravljenju referentnog traga ili pravljenju privremenih vizuelnih traka (slika 2.16). Sa pojavom širokozahvatnih mašina (preko 3 m) i trendom ukrupnjavanja polja, potreba za asistiranim vođenjem mašina se dodatno osnažila. Pravilno uklapanje prohoda širokozahvatnih mašina zahteva veliku pažnju i iskustvo rukovaoca. Ma koliko iskustvo posedovao, rukovalac je izložen velikom naporu, koji se pojačava sa smanjenjem vidljivosti (noću, po magli ili u prašnjavim uslovima) i

neizbežno dovodi do nepravilnog uklapanja. Ručno vođenje mašina na velikim parcelama je problematično po dva osnova. Prvi se odnosi na odmeravanje širine zagona i „otvaranje“ prvog prohoda.



Slika 2.16 Prvi traktor sa automatskim vođenjem u operaciji obrade zemljišta (Heraud i Landge, 2009)

Na parcelama pravilnog oblika taj zadatak je, u zavisnosti od širine polja i mašine, relativno jednostavniji nego u slučaju polja nepravilnog oblika.



Slika 2.17. Šematski prikaz položaja gazećih trasa (stalnih tragova) u odnosu na zahvate radnih mašina

Drugi jeste kontinuirano vođenje na definisanom odstojanju od prethodnog prohoda, što nije jednostavno ako se uzme u obzir da savremene mašine za primenu

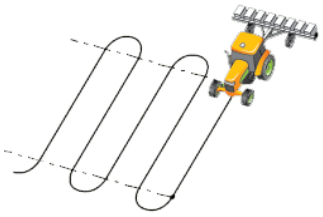
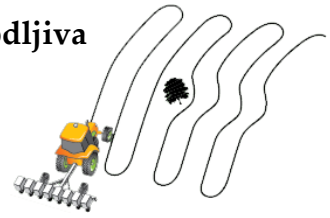
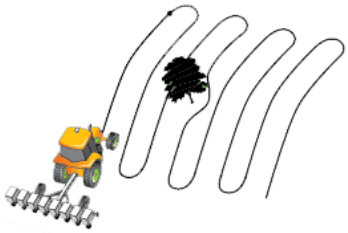
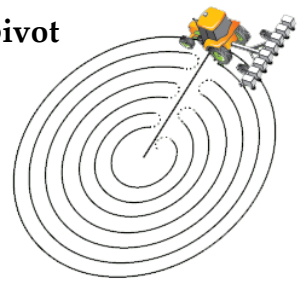
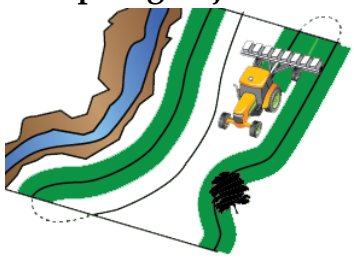
pesticida ili mineralnog đubriva mogu dostići zahvate preko 20 m. U uslovima savremene poljoprivredne prakse poznata je tehnika postavljanja stalnih tragova (slika 2.17) kojim se donekle pojednostavljuje vođenje u usevima gustog sklopa. Mana ove tehnike je potreba za obnavljanjem stalnih tragova na početku nove sezone i to što zahvati radnog oruđa moraju biti usklađeni. U slučaju da ne postoji mogućnost postavljanja stalnih tragova, najčešće se koristi tehnika markiranja penom (slika 2.18) ili diskosnim crtalima traga. Sa ukidanjem selektivne dostupnosti *GPS* signala 2000. godine, primenom tehnike georeferenciranja i računara, konačno je bilo moguće navoditi poljoprivredne mašine po virtuelnim putanjama koje su usklađene prema obliku parcele i širini zahvata mašine. Ova tehnika je prihvatljiva u slučaju kada se koristi *DGPS* signal i prijemnik koji prima osnovni L1 signal i fazno modulisan signal L5. Princip navigacije pomoću *GPS* se bazira na georeferenciranju putanje koju definiše sam korisnik, a na osnovu nje računarska jedinica generiše virtuelne putanje za buduće prohode i preračunava odstupanje trenutne pozicije prijemnika od prve najbliže. Referentna putanja se postavlja na samom početku, tj. pri prvom prohodu. Putanje po kojima *GPS* navodi mobilni agregat mogu biti identične/ponavljajuće ili prilagodljive prethodnom prohodu.



Slika 2.18. Princip markiranja prohoda sa penom

U uslovima R. Srbije dominantno se primenjuju pravolinijske linije vođenja. U tom smislu, korisnicima *GPS* navigacionih sistema na raspolaganju je više opcija kretanja po polju (tabela 2.5). Prilikom kretanja po parceli, prijemnik memoriše prethodne pozicije u internu memoriju kao zapis o pokrivenosti. Pri tome se beleže dodatni parametri kao što su radna brzina, vreme provedeno na polju i druge informacije koje unosi sam korisnik pri otvaranju nove sesije.

Tabela 2.5. Oblik putanje traktorskog agregata u zavisnosti od izabranog načina GPS navođenja

Oblik linije vođenja	Opis i primena
A-B 	Najčešće korišćen šablon. Korisnik prvim prohodom određuje pravac dodavanjem tačaka A i B. Obično su to tačke na krajevima parcele. Pravac A-B je referentni u odnosu na koji se daju linije vođenja u narednim prohodima.
A+ 	Koristi se u slučaju kada se želi koristiti prethodno definisana linija vođenja (A-B). U tom slučaju dodaje se samo početna tačka (A) u odnosu na koju sistem pomera linije vođenja za širinu radnog zahvata mašine.
Prilagodljiva 	Navođenje se obavlja na osnovu putanje prethodnog prohoda. Ta putanja se uvek malo ili više razlikuje od oblika početne putanje. Najčešće se koristi ukoliko postoje objekti na polju koje treba zaobići.
Identična 	Koristi se kada su granice parcele blago zakrivljene. Navođenje se obavlja u odnosu na putanju prvog prohoda između referentnih tačaka A i B. U ovom slučaju, sistem beleži sve lokacije prijemnika između tačaka A i B na osnovu kojih formira krivu referentnu liniju. Ona se koristi za preslikavanje identične putanje levo/desno pomerene za širinu zahvata.
Centar-pivot 	Koristi se za vođenje na poljima gde se primenjuje navodnjavanje sistemima centar-pivot. Linija vođenja je kriva u obliku savršene kružnice. Korisnik definiše početnu i krajnju tačku (A i B).
Dvostrano prilagodljiva 	Ovaj šablon se koristi ukoliko je oblik polja sa izraženim zakrivljenjima sa više strana. U tom slučaju se koriste dve referentne linije zasebno za svaku stranu polja. Za vođenje se koristi ona linija koja je bliža prijemniku.

2.11 *GNSS* NAVIGACIONI SISTEMI

Vođenje mobilnih sistema u poljoprivredi primenom *GPS* pozicioniranja se može obaviti na dva načina:

- poluautomatskim vizuelnim prikazom (*LED* traka i na monitoru) trenutne udaljenosti (orijentacije) od idealne linije vođenja uz ručnu korekciju pravca kretanja i
- automatskim vizuelnim prikazom na monitoru sa automatskom korekcijom pravca kretanja.

Navođenje sa *LED* trakom predstavlja najekonomičnije rešenje *GPS* uređaja za navigaciju. Sastoji se od antene (L1 ili L1/L5) i kontrolne jedince sa *LED* trakom. Horizontalno postavljena *LED* traka ima jedan red lampica kojima se u realnom vremenu prikazuje relativni položaj linije vođenja u odnosu na prijemnik. Sistem koristi *DGPS*, gde je, prema navodima autora *Bombien (2005),* prosečno odstupanje u odnosu na prethodni prohod oko 22 cm. Ova greška je apsolutna i ne zavisi od širine zahvata radne mašine. Sistem je lako prenosiv, brzo se postavlja i pušta u rad, ali ima ograničene mogućnosti (prijema *GPS* signala, opcija kontrole sekcija, *ISOBUS* komunikacija). Napredniji uređaji imaju integrisan *LCD* monitor sa *LED* trakom (slika 2.19) koji pružaju korisniku dodatne informacije kao što su urađena površina, trenutna brzina, utrošeno vreme, kvalitet *GPS* signala itd. Takođe, ovi uređaji imaju mogućnost dopunjavanja dodatnim podsistemima od kojih su najznačajniji:

- autopilot,
- kontrola pojedinačnih sekcija priključne mašine radi promenljive primene određenog sredstva (*Section Control*);
- praćenje prinosa (*Yield Monitor*), koje se koristi na univerzalnim kombajnima radi zapisivanja izmerenog prinosa i naknadnog kartiranja;
- uređaj za kompenzaciju zanošenja mašina pri radu na nagibu (*TrueTracker*) i
- uređaj za ravnanje terena.



a)



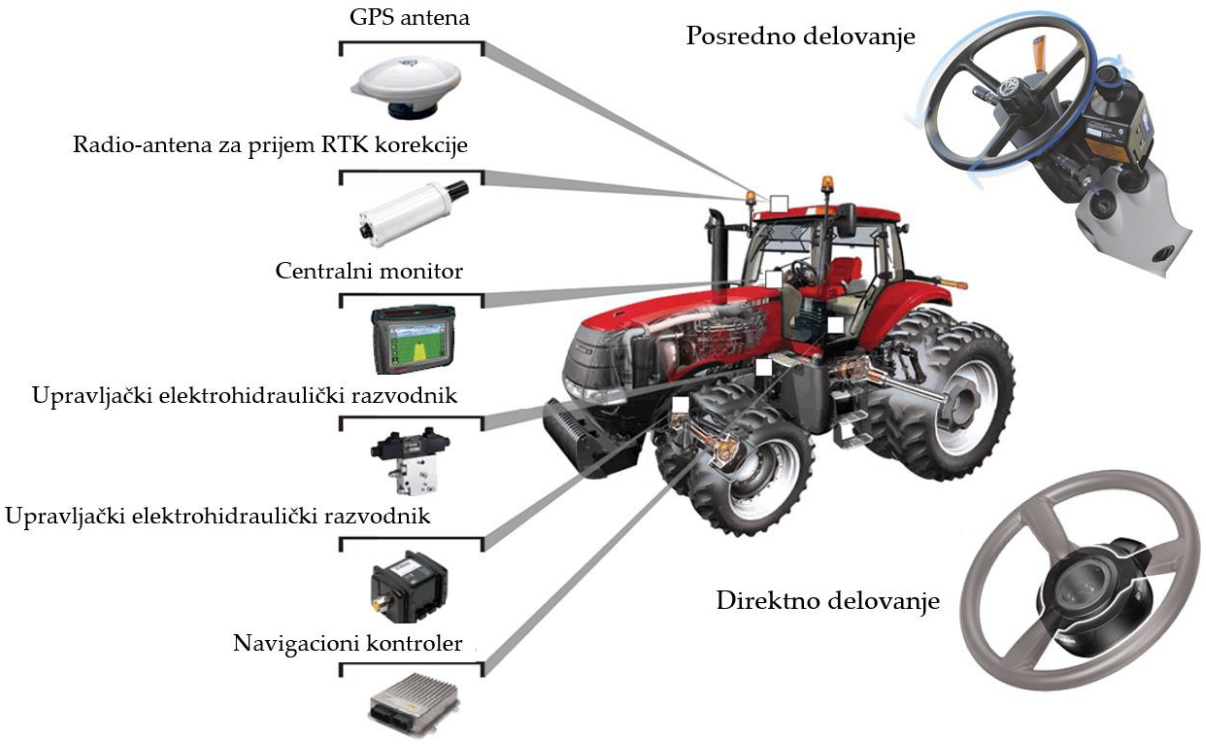
b)



c) d)

Slika 2.19. Različite izvedbe korisničkog interfejsa GPS prijemnika: a) LED panel sa indikacijom relativnog položaja prijemnika u odnosu na liniju vođenja; b) grafički ekran sa intergisanom LED trakom i komandnim tasterima; c) grafički ekran osetljiv na dodir sa integrisanom LED trakom; d) grafički ekran osetljiv na dodir sa Android operativnim sistemom.

Napredni uređaji imaju ugrađenu unutrašnju memoriju ograničenog kapaciteta u koju se zapisuju svi radni parametri koje je uneo sam korisnik i koje generiše *GPS* uređaj. Podaci se mogu preneti na *PC* posredstvom internet veze (kod najnovijih) ili pomoću spoljašnje *USB* memorije. Ovim je omogućeno dokumentovanje operacija u jedinstven programski prostor radi dalje analize. Primenom sistema automatskog vođenja i *RTK DGPS* korekcije signala moguće je smanjiti nivo greške vođenja na svega 2–5 cm (*Bombien 2005*; *Reckleben 2011*).



Slika 2.20. Prikaz uređaja koji su neophodni za rad u režimu Autopilot

Kod sistema automatskog vođenja ugrađuju se dodatni uređaji kako bi se obezbedila visoka tačnost vođenja (slika 2.20).

U traktore koji su opremljeni kružnim razvodnikom hidrauličnog ulja (orbitrol) u okviru upravljačkog uređaja ugrađuje se poseban izvršni uređaj u vidu elektromotora ili u novije vreme torusni elektromagnet koji direktno deluje na letvu točka upravljača (slika 2.20). Za razliku od sistema ručnog vođenja, automatsko vođenje ima višestruke prednosti koje se ogledaju u značajno manjem zamoru rukovaoca u svim uslovima rada, bržoj reakciji i većoj tačnosti vođenja. Poseban slučaj je rad na nagnutom terenu, kada do izražaja dolazi nekontrolisano poprečno pomeranje celog agregata, a ponajviše priključne mašine.

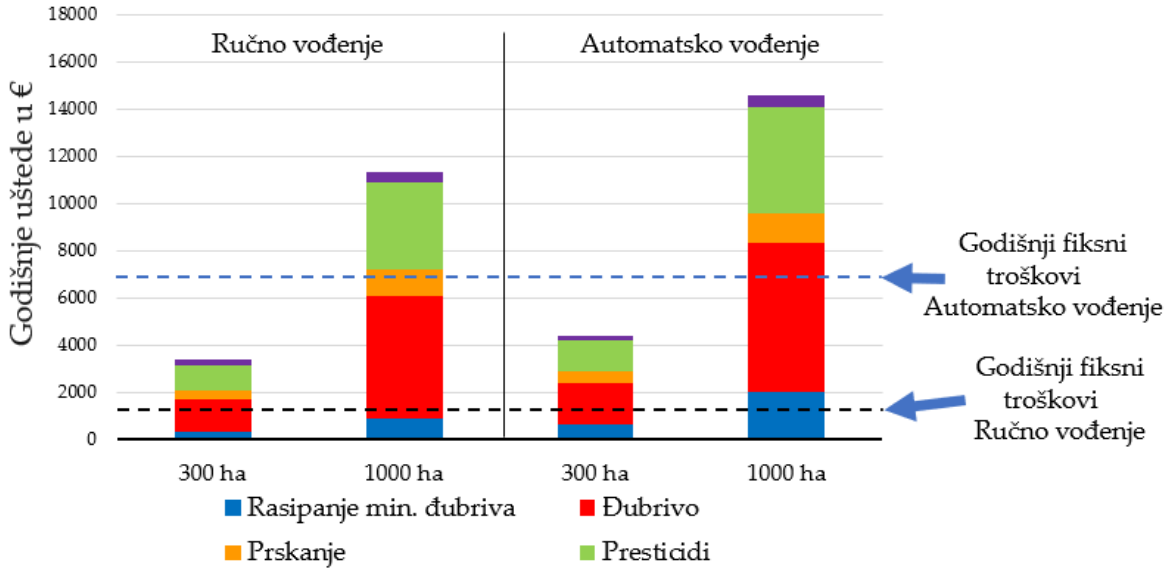
2.12 ISPLATIVOST NABAVKE OPREME ZA *GPS* NAVIGACIJU

Cena nabavke opreme za navigaciju ima širok raspon u zavisnosti od mogućnosti *GPS* prijemnika, tačnosti koja se postiže, načina vođenja (ručno/automatsko) i dodatnih opcija (tabela 2.6). Uobičajeno je da se samostalni dvofrekventni *DGPS* prijemnik kombinuje sa opremom koja podrazumeva ručno vođenje, i to za potrebe manje tačnosti, dok se za operacije gde se zahteva visoka tačnost koristi *DGPS* + prijemnik *RTK* korekcije + komplet za automatsko upravljanje. Razlog je logičan, jer je minimalna greška vođenja sa ručnom korekcijom pravca i *RTK* signalom preko 10 cm (*Heraud i Lange, 2009*). Nabavna cena *GPS* navigacionog uređaja koji koristi *SBAS* sa ručnom korekcijom pravca je od 1.200 € do 5.000 €. Nasuprot tome, cena nabavke potpuno automatizovanog sistema *GPS* navigacije sa *RTK* korekcionim signalom iznosi između 15.000 € i 20.000 €. Opravdanost investicije zavisi od visine finansijskih sredstava koje treba uložiti i predviđene dinamike otplate u periodu amortizacije. Procena dinamike povrata uloženog kapitala zavisi od ušteda koje ćemo imati primenom *GPS* tehnologije navođenja. Te uštede nisu generalnog karaktera i zavise od veličine gazdinstva, setvene strukture, veličine i oblika parcele, konfiguracije terena itd. Korisnost primene *GPS* navigatora se ogleda u smanjenju površine koja se višestruko tretira usled nekontrolisanog preklopa, najčešće u zonama sastavljanja prohoda priključne mašine. Proizvođači navigatora redovno navode i smanjenje mogućih preskoka, tj. oplazina, ali u praksi se one vrlo retko dešavaju. Razlog za to je činjenica da rukovaoci više preferiraju rad sa povećanim preklopom, naročito tokom obrade zemljišta zbog lepšeg vizuelnog izgleda parcele nakon završetka operacije. Međutim, korist primene navigatora se ogleda u indirektnim efektima, a to su povećanje produktivnosti mašinskih agregata, skraćenje roka obavljanja agrotehničkih operacija, skraćenje perioda amortizacije mašina jer se intenzivnije koriste, smanjenje investicija u mobilne sisteme zbog većeg dnevnog učinka. Sve gorepomenuto je teško egzaktno izmeriti i ide od slučaja do slučaja, te se literaturni podaci na ovu temu mogu smatrati relativno tačnim.

Tabela 2.6. Okvirne proizvodne cene poljoprivrednih navigatora

Tip *GPS* uređaja	**Greška vođenja, m**	**Cena opreme, €**
Jednofrekventni prijemnik sa ručnom korekcijom pravca	2–25	70–400
Jednofrekventni *DGPS* prijemnik sa ručnom korekcijom pravca	1–3	800–1.000
Dvofrekventni *DGPS* prijemnik sa ručnom korekcijom pravca	0,1–0,3	1.500–3.000
RTK-GPS sa automatskom korekcijom pravca	0,01–0,01	20.000–40.000

Prema rezultatima *Reckleben (2011)*, preklop tokom izvođenja pripreme zemljišta operacija bez *GPS* navigatora ili nekog drugog vizuelnog pomagala iznosi oko 8%. Preklop prohoda pri korišćenju *GPS* navigatora sa ručnom korekcijom pravca i prosečnom širinom zahvata radnih mašina od 6 m iznosi oko 4,4%, dok je pri automatskom vođenju to svega 0,2%. Uštede date na slici 2.2 se odnose na operacije u proizvodnji zrnastih kultura u Nemačkoj. One obuhvataju uštede u repromaterijalu tokom hemijskog tretmana i rasipanja mineralnih đubriva, ali ne obuhvataju uštede usled povećanja proizvodnosti mašinskih agregata.



Slika 2.21. Grafikon prikazuje godišnje uštede u ratarskoj proizvodnji zbog primene GPS sistema navigacije kao posledicu smanjenja grešaka tokom uklapanja prohoda pri izvođenju različitih operacija. Troškovi uključuju i uštede u ljudskom i mašinskom radu (Reckleben, 2008).

Uštede rastu ukoliko su cene repromaterijala više i obrnuto. Na osnovu analize autora *Reckleben (2008)*, *GPS* navigatori sa ručnom korekcijom pravca su preporučljivi srednjim gazdinstvima, dok su sistemi automatskog vođenja opravdani na velikim posedima. Posebno mesto *RTK-GPS* automatskih sistema se može naći u sledećim operacijama:

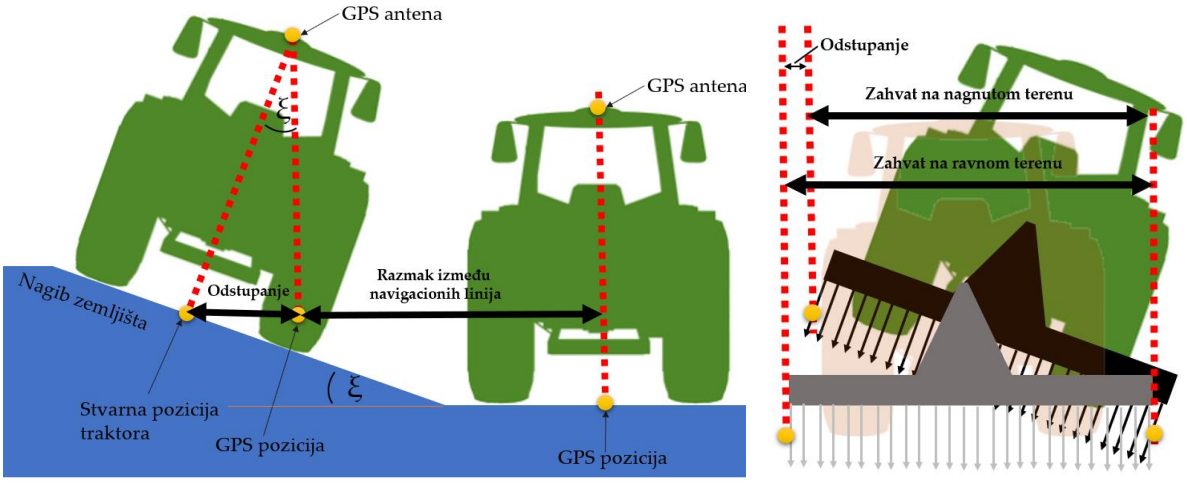
- *No-till* setva u međured prethodnog useva,
- obrada u trake i setva u obrađene trake,
- međuredna obrada po prethodno posejanom usevu primenom *RTK-GPS*,
- inkorporacija đubriva i pesticida u zonu reda biljaka i
- operacije na visokoprofitabilnim kulturama kao što su šećerna repa i povrće.

2.13 SPECIJALNI ZAHTEVI PREMA VOĐENJU MOBILNIH SISTEMA

Gorepomenute tehnologije uspešno se primenjuju na ravnim terenima. S obzirom na činjenicu da se značajan deo svetske poljoprivrede izvodi na nagnutim terenima, zadatak u takvim uslovima se bitno usložnjava. Hipotetički, rad na nagibu se može postaviti na dva načina:

- rad na jednakom nagibu i
- rad na promenljivom nagibu.

Da bi *GPS* prijemnik imao stabilan prijem signala od satelita, neophodno je obezbediti neometano „vidno polje“ antene prema vazdušnom prostoru u svim pravcima. Iz tog razloga *GPS* prijemnici se postavljaju na najuzvišenija čvrsta mesta na mehaničkoj konstrukciji traktora ili kombajna posmatrano u vertikalnoj ravni projekcije, što je najčešće kabina rukovaoca. Problem vođenja traktorskog agregata po nagnutom terenu je posledica odstupanja položaja *GPS* prijemnika u odnosu na stvarni položaj celog sistema (slika 2.22a).



a) b)

Slika 2.22. Greška u navođenju traktora na nagnutom terenu usled odstupanja horizontalne projekcije položaja GPS prijemnika u odnosu na simetralu traktora (a) i promene efektivnog zahvata mašine

Kod traktora većih kategorija, vertikalna pomerenost *GPS* antene od podloge može biti i preko 3 m, što se značajno odražava na odstupanje. Veća visina kabine uzrokuje veće greške i obrnuto. S obzirom na to da traktor obavlja operaciju koja podrazumeva

upotrebu priključnih mašina koje prate konfiguraciju terena, određena odstupanja u navođenju nastaju zbog naginjanja priključne mašine (slika 2.22b). Linije vođenja leže na Zemljinom elipsoidu koji je matematička interpretacija njenog oblika. Kada se projektuju širine horizontalno postavljene i nagnute priključne mašine na elipsoid koga možemo aproksimirati ravnom podlogom, dobija se određen nivo odstupanja. To ukazuje da vođenje po zamišljenim navigacionim linijama koje su na fiksnom odstojanju na elipsoidu neće dovesti do uklapanja prohoda već do izvesnog preskoka. Sve gorepomenuto sugeriše da **nije dovoljno imati supertačan *GPS* prijemnik da bi se zadovoljili svi uslovi, nego je potrebno u realnom vremenu korigovati poziciju linije vođenja kada se radi na nagnutom terenu**. Kako bi *GPS* uređaj mogao da radi korekciju, neophodno je da poseduje informacije o veličini nagiba i inerciji sistema. Zbog toga su u navigacioni kontroler (slika 2.20) ugrađeni žiroskop i inercioni senzor koji mere potrebne parametre neophodne za preračunavanje korigovane lokacije navigacione linije. Problem koji se javlja nezavisno od tačnosti vođenja traktora jeste odstupanje položaja priključne nošene ili polunošene mašine u odnosu na središte traktora. Ovo se obavezno dešava kada se radi na nagibu ili na ravnom terenu tokom obrade zemljišta. Bočni nagib dovodi do zanošenja usled delovanja sile gravitacije (slika 2.23), dok su na ravnom terenu mašine za obradu sklone nekontrolisanom bočnom pomeranju zbog interakcije radnih tela i zemljišta koje predstavlja heterogen sistem. Neujednačenost fizičko-mehaničkih svojstava zemljišta, u sadejstvu sa radnim telima, teži da pomeri mašinu prema rastresitijim zonama koje su nepravilno površinski raspoređene na polju.



Slika 2.23. Prikaz vođenja agregata na nagnutom terenu

Zarad postizanja najvišeg nivoa tačnosti vođenja celokupnog traktorskog sistema razvijena je posebna opcija korigovanja pravca kretanja priključne mašine. Ovaj dodatni uređaj je sačinjen od mehaničke ramske konstrukcije sa elementima za vođenje (slika 2.24a). Korigovanje pravca najčešće se obavlja pomoću zakretnih

točkova ili diskosnih crtala kojima upravlja mehaničko-hidraulični sistem. Sistem poseduje dodatni *GPS* prijemnik koji se postavlja na ram priključne mašine. Time je omogućeno praćenje trenutne pozicije priključne mašine i merenje odstupanja, što je osnova za korigovanje pravca mašine u realnom vremenu. Postoji i drugi koncept (slika 2.24b) kod kojeg se koristi mehanički ram sa hidrauličkim aktuatorima koji predstavlja posrednu vezu između traktora i priključne mašine. Ram ima mogućnost promene geometrije, tj. kontrolisanog poprečnog pomeranja priključnih tačaka u odnosu na traktor, kako bi se iskorigovala pozicija priključne mašine.



a)



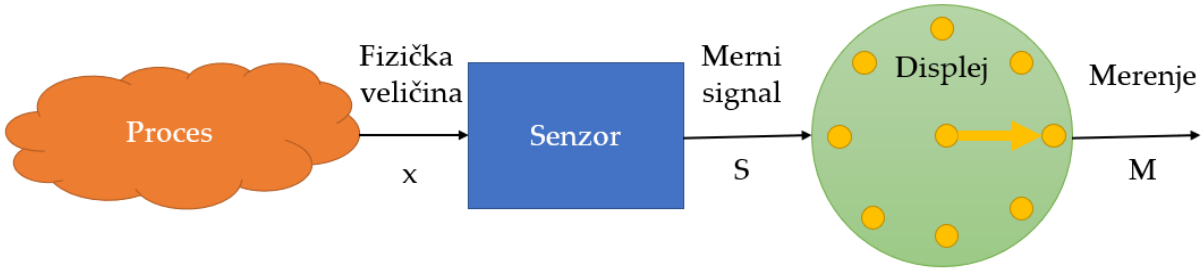
b)

Slika 2.24. Dodatna oprema za korigovanje položaja priključnih mašina

3 DETEKTORI I IZVRŠIOCI

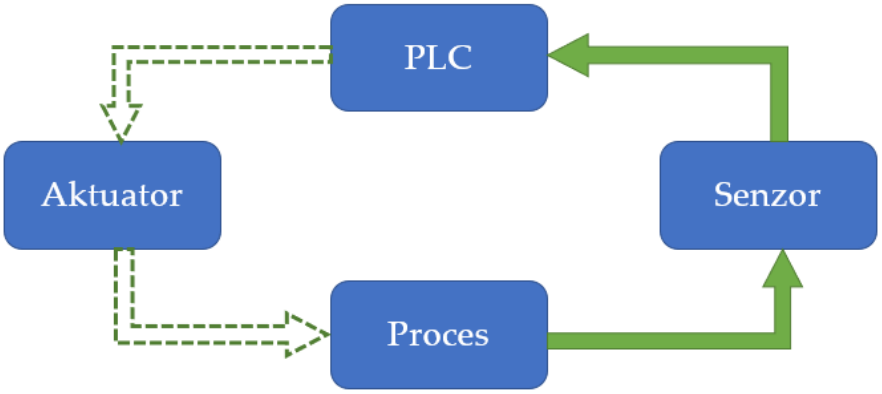
3.1 SENZORI

Postoji više tipova pretvarača koji se koriste u mnogim oblastima radi praćenja i kontrole tehnike i procesa, a to su senzori i izvršioci (aktuatori).



Slika 3.1. Jednostavan model instrumentacije

Generalno, pretvarači (*transducers*) uređaji su koji pretvaraju jedan oblik energije u drugi. Primer pretvarača je solarna ćelija koja pretvara solarnu u električnu energiju. Takođe, to su mikrofon, elektromotor itd. Ali kad se govori o kontroli procesa, onda se misli na one pretvarače – senzore koji služe za praćenje nekih fizičkih parametara i generisanje izlazne veličine koja je informaciono upotrebljiva.



Slika 3.2. Senzori između procesa i procesora

Senzori i merna oprema su od fundamentalnog značaja za pravilan rad savremenih tehničko-tehnoloških sistema. Senzor (davač, detektor) uređaj je koji meri fizičke veličine i pretvara ih u signal čitljiv posmatraču i/ili instrumentu i koji je pogodan za

dalju obradu (slika 3.1). Na primer, živin termometar konvertuje izmerenu temperaturu u širenje živine tečnosti, koja se može očitati na cevi sa podeocima.

Senzori imaju široku primenu u svakodnevnom životu: kod ekrana osetljivih na dodir, kod vrata i elevatora u javnim objektima, kod osvetljenja i alarma i mnogih drugih uređaja.

Senzori su suštinska veza između procesa i dela za obradu informacija (neki mikroračunar – *PLC*, slika 3.2). *PLC* (*Programmable Logic Controller*) programabilni je logički kontroler, odnosno mikroračunar koji izvršava upravljačke algoritme.

Klasifikacija senzora

Senzori se mogu klasifikovati po različitim kriterijumima:

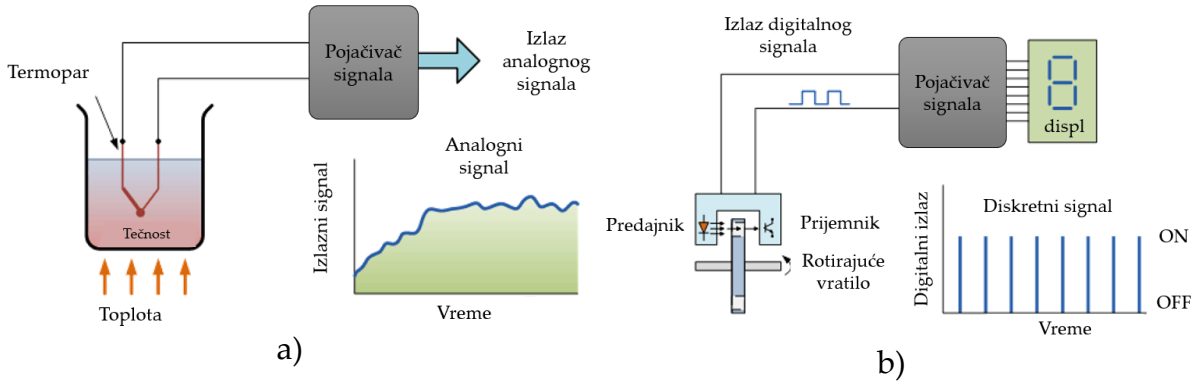
- po veličinama koje mere (tabela 3.1),
- tipovima signala i interfejsa,
- osobinama i karakteristikama,
- klasi kvaliteta,
- principu rada,
- tehnologiji proizvodnje,
- poljima primene i
- ceni.

Tabela 3.1. Klasifikacija senzora po merenim veličinama

Klasa	**Merena veličina**
Mehaničke veličine	Pomeraj, ugao, nivo, nagib
	Brzina, ubrzanje, vibracije, protok
	Sila, pritisak, obrtni momenat
	Masa, gustina, viskoznost
	Brzina zvuka, buka, frekvencija zvuka
Termalne veličine	Temperatura kontakta, temperatura zračenja
Električne veličine	Napon, struja, električna snaga
	Otpornost, impedansa, kapacitivnost, induktivnost
	Magnetno polje, električno polje
Hemijske i fizičke veličine	Ph vrednost, vlažnost, toplotna provodljivost
	Sadržaj suspendovane materije, sadržaj prašine
	Molekuli gasa, molekuli tečnosti, molekuli čvrstih tela
	Jačina svetlosti, talasna dužina, boja

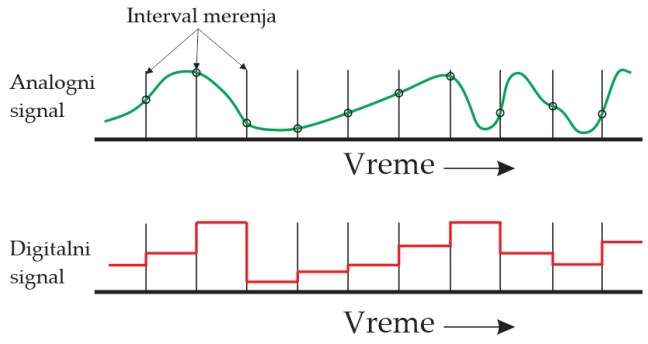
Senzori se mogu podeliti prema izlaznoj veličini na analogne i digitalne (slika 3.3). Kod analognih senzora odziv je u obliku kontinualnog analognog signala predefinisanog tipa i opsega (slika 3.4). Prednost im je to što imaju veću rezoluciju merenja, zahvaljujući čemu pružaju detaljnije informacije o procesu nego diskretni senzori. Nedostaci su im veća kompleksnost u poređenju sa digitalnim senzorima,

veća podložnost uticaju šuma itd. U analogne senzore spadaju akcelerometri, žiroskopi, senzori pritiska, senzori svetlosti, zvučni senzori i temperaturni senzori. Digitalni senzori daju izlazni podatak u paralelnom digitalnom formatu ili u obliku povorke impulsa koji se prebrojavaju. To su apsolutni optički enkoder i inkrementalni optički enkoder.



Slika 3.3. Komparativni prikaz analognog (a) i digitalnog senzora (b)

Idealan senzor je onaj koji je lineran u celom opsegu merenih vrednosti. Trebalo bi da je dobijeni signal uvek linearno srazmeran merenoj vrednosti. Pri tome na njega ne bi smeo da ima uticaj nijedan drugi objekat u okruženju, niti bi on smeo da ima ikakav uticaj na mereni objekat. To je u praksi neostvarivo. Zato se meri njegova osetljivost kao odnos između izmerene i stvarne veličine.

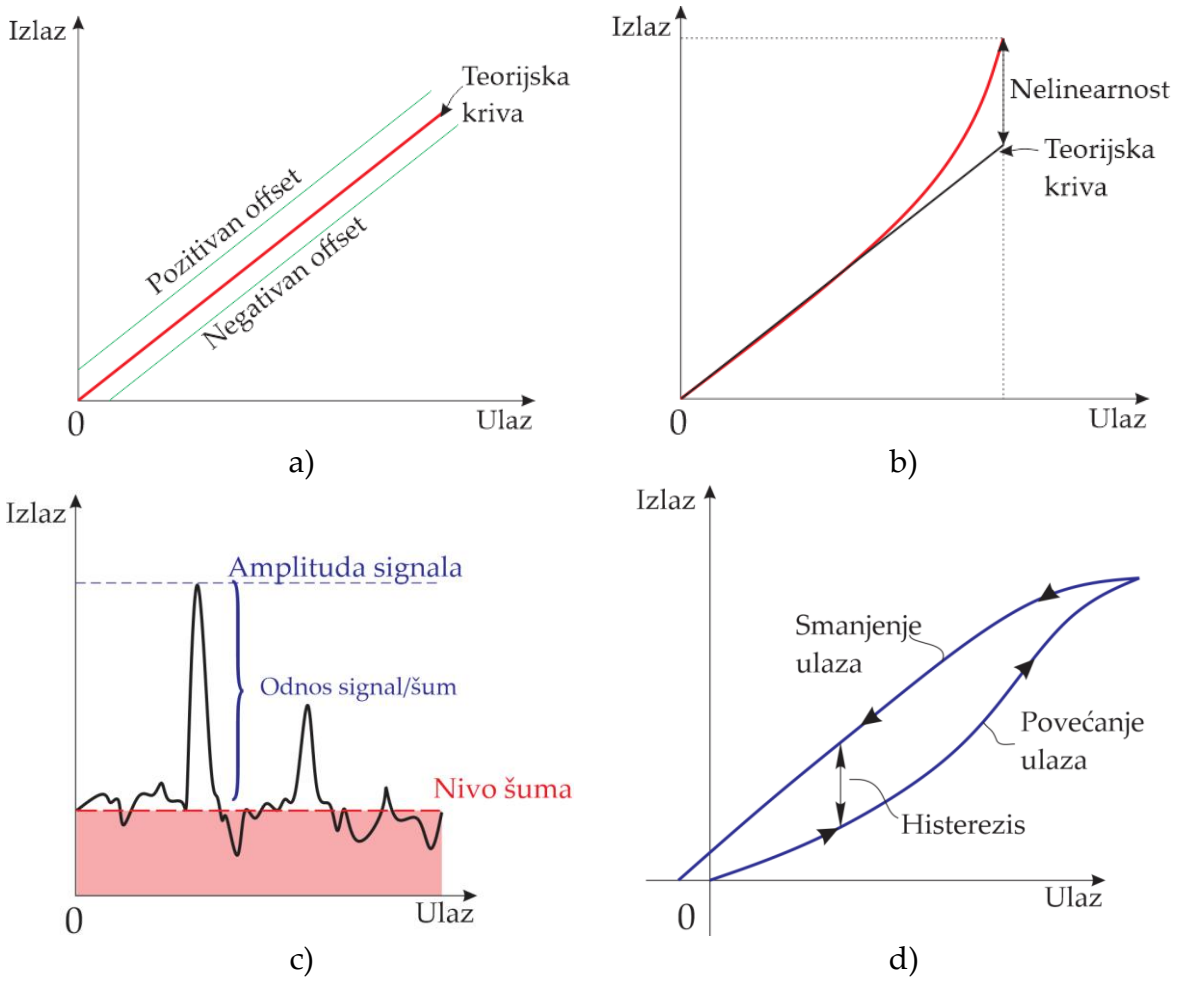


Slika 3.4. Rezolucija podataka analognog i digitalnog zapisa

Osetljivost pojedinih senzora može biti različita, tj. varirati kod različitih veličina. Osetljivost se definiše kao nagib prave linije kroz dve definisane tačke u mernom opsegu ili uopšteno, minimalni ulaz fizičkog parametra koji će stvoriti uočljivu promenu izlaza. Greška osetljivosti je relativno odstupanje (%) nagiba linije kroz ove tačke u poređenju sa optimalnim ili nagibom nultog odstupanja.

Merni opseg je interval merene vrednosti u kojem senzor ima specificirane karakteristike. Opseg dobijenih veličina je uvek limitiran, tako da svaki senzor ima svoju maksimalnu (gornju granicu), odnosno minimalnu vrednost (donju granicu). U slučaju da su izmerene vrednosti izvan opsega, senzor će dati minimalnu ili maksimalnu vrednost.

Odstupanje ili *offset* je odstupanje izmerene od stvarne vrednosti. Ukoliko izmerena veličina nije nula, kada je stvarna veličina nula, kaže se da senzor ima početni pomeraj (slika 3.5a).



Slika 3.5. Dijagramski prikazi odstupanja merene od stvarne vrednosti usled offset-a (a), nelinearnosti senzora (b), pojave šuma u osnovnom signalu (c) i histerezisa (d)

Linearnost pretvarača izražava u kojoj meri stvarna, izmerena kriva senzora odstupa od idealne krive. Kada osetljivost nije konstantna za različite izmerene vrednosti, to nazivamo **nelinearnost** (slika 3.5b). Ona se obično javlja na krajevima opsega merenja. Može biti pozitivna ili negativna.

Kada izlazni signal senzora menja vrednost u vremenu, a da se pritom ne menja stanje mernog objekta, to nazivamo **pomak** (*drift*). Ova pojava se dešava usled promene karakteristika materijala od kojeg je sačinjen senzor pod uticajem promene temperature senzora, napona baterije, spoljnih ometajućih faktora.

Šum (*noise*) pojava je izobličenja osnovnog signala sa senzora pod dejstvom spoljnih faktora. Odnos amplitude osnovnog signala i šuma naziva se S/N odnos (*signal-to-noise ratio*) i on predstavlja bitnu karakteristiku signala (slika 3.5c). Šum može da nastane kada se merenjem senzora obuhvate pojave koje se ne tiču posmatranog objekta. Na primer, kada se meri težina vozila na vagi, tada merne ćelije detektuju vibracije zbog rada motora, što dovodi do pojave šuma.

Histereza je greška koja se javlja kada se za ista stanja merene pojave, u slučaju kad se vrednost povećava i u suprotnom kada se smanjuje, dobijaju različiti izlazi na senzoru (slika 3.5d).

3.2 POKRETAČI/AKTUATORI

Za razliku od senzora, pokretači prevode električni signal u mehanički rad. Pokretač zahteva kontrolni signal i glavni izvor energije. Upravljački signal je relativno niske energije i može biti električni napon ili struja, pneumatski ili hidraulički pritisak, ili čak ljudska snaga. Njegov glavni izvor energije može biti električna struja, pritisak hidraulične tečnosti ili pneumatski pritisak. Kada primi upravljački signal, pokretač reaguje pretvarajući energiju signala u mehaničko kretanje.

Pokretači mogu biti tipizirani na sledeći način:

- hidraulični,
- pneumatski,
- električni i
- mehanički.

Hidraulični pokretač se sastoji od hidromotora ili cilindra koji koristi hidrauličku snagu za obavljanje mehaničkog rada. Mehaničko kretanje može biti pravolinijsko (slika 3.6a), kružno (slika 3.6b) ili oscilatorno.



a) b)

Slika 3.6. Pokretači: a) linearni - hidrocilindar i b) rotacioni - hidromotor

Kako je tečnost skoro nemoguće komprimovati, hidraulički pogon može preneti veliku silu sa tačnim odzivom. Nedostatak se ogleda u ograničenom ubrzanju, tj. relativno sporoj reakciji kada treba obaviti dugohode operacije u kratkom vremenskom intervalu.

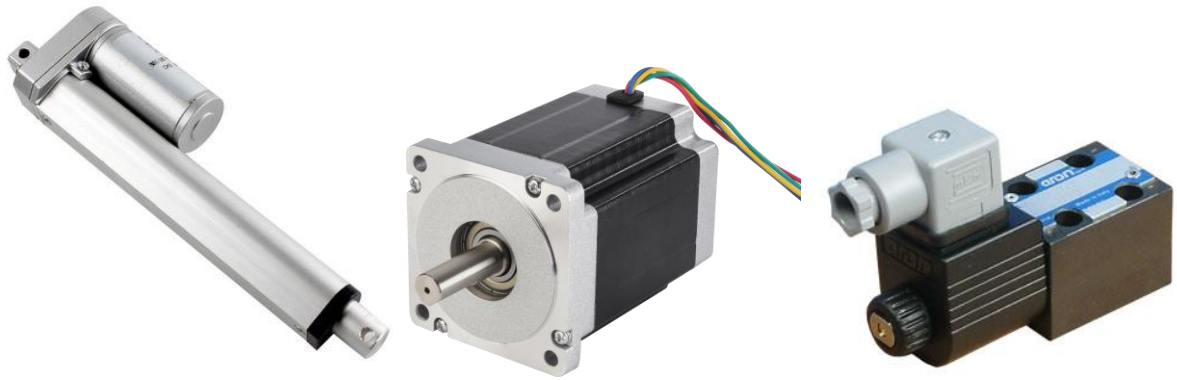
Pneumatski pokretač (slika 3.7) pretvara energiju pritiska vazduha u linearno ili rotaciono kretanje, omogućavajući da se dobiju znatne sile od relativno malih promena pritiska i uz veliku brzinu reagovanja. Pneumatski izvršioci su poželjni za glavne upravljačke komande, jer se može brzo reagovati pri pokretanju i zaustavljanju. Štaviše, pneumatski pokretači su sigurniji, jeftiniji i često pouzdaniji i

snažniji od ostalih pokretača. Ove sile se često koriste na ventilima za pomeranje dijafragme da bi uticale na protok fluida kroz ventil. Po konstrukciji su slični hidrauličnim pokretačima.



Slika 3.7. Pneumatski linearni aktuator

Električni pokretač može pružiti silu/zakretni moment na jedan od više načina (slika 3.8). Elektromehanički pokretači se mogu koristiti za napajanje motora koji pretvara električnu energiju u mehanički obrtni moment ili linearno delujuću silu. Električna energija se koristi za aktiviranje opreme kao što su ventili u elektrohidrauličnim razvodnicima. Mehanički pokretači (slika 3.9) funkcionišu tako što izvršavaju pokret pretvaranjem jedne vrste kretanja, kao što je rotaciono, u drugu vrstu, kao što je linearno kretanje. Primer su stalak i zupčanik. Rad mehaničkih pokretača zasnovan je na kombinacijama konstrukcijskih komponenti kao što su zupčanici i šine, ili remenice i lanci.



a) b) c)

Slika 3.8. Električni pokretači: a) linearni; b) rotacioni i c) elektromagnetni



a) b) c)

Slika 3.9. Mehanički pretvarač rotacionog u linearno kretanje (a), linearnog u oscilatorno kretanje (b) i rotacionog u rotaciono kretanje uz povećanje obrtnog momenta (c)

4 SENZORSKO MERENJE OSOBINA ZEMLJIŠTA

Mape prinosa zrna i vegetativnih parametara (kao što je *NDVI*) mogu pružiti informaciju o varijabilitetu proizvodnosti polja, ali ne daju informaciju o uzrocima njihovog nastanka. U nekim slučajevima je to posledica prethodne prakse, ali u najvećem broju slučajeva je to u vezi sa osobinama zemljišta. Tradicionalno, ocenjivanje stanja zemljišta se u uslovima R. Srbije sprovodi periodično i po principu jedno polje jedan uzorak, ili ako je velika parcela, onda više uzoraka, ali bez prostornog adresiranja lokacija sa kojih su uzeti uzorci. Ovakav pristup praćenja stanja zemljišta, bez obzira na to da li je u pitanju precizna poljoprivredna ili pak konvencionalna praksa, ne pruža doslednost u vremenskom domenu. Pre svega, da bismo mogli sagledati određeni parametar kroz duži period, neophodno je izvoditi uzorkovanje zemljišta u kontrolnim (fiksnim) lokacijama na parceli koje će biti reprezent stanja na datoj lokaciji. Ukoliko bismo zanemarili ovaj princip, usled prisutne heterogenosti zemljišta i po površini i po dubini, podaci dobijeni analizom uzetih uzoraka za različite godine ne bi bili uporedivi.

Ispitivanje stanja zemljišta radi mapiranja pojedinih svojstava i definisanja proizvodnih zona svodi se na uzimanje uzoraka koji su prostorno nepovezani, od kojih se dobijaju podaci i kontinualne prostorne mape (*Oliver i Webster, 2014*). Na poljima sa nepoznatom istorijom najčešće se primenjuje praksa uzimanja uzoraka u pravilnom pravougaonom rasporedu sa gustinom od 1 uzorak po hektaru kao ekonomski prihvatljiv trošak. Nedostaci ovih metoda jesu veliko vremensko angažovanje za dobijanje relativno malog broja prostornih informacija i visoka cena usluge laboratorijske analize. Prirodna nehomogenost i delovanje čoveka mogu proizvesti ekstremna stanja merenih parametara na pojedinim lokacijama, koji kao takvi ne predstavljaju realnu sliku polja (*Kostić et al., 2014*). S obzirom na to da se radi o ručnim tehnikama merenja, neophodna je naknadna obrada podataka, što dodatno povećava mogućnost nastajanja subjektivne greške (*Campbell i O'Sullivan, 1991*). Prednost ovakvih tehnika je u tome što se početno stanje zemljišta minimalno narušava, tj. ostaje neporemećeno. U okvirima precizne poljoprivrede postoji trend uvođenja senzorske detekcije kao racionalnije tehnike prikupljanja podataka. Dolaženje do veće gustine podataka primenom jednostavne tehnike uz minimalne troškove omogućava dobijanje kvalitetnijeg uvida u kritične zone na polju. Smatra se da je komponenta senzorske detekcije fundamentalna za preciznu poljoprivredu. Suštinski, tu postoje dve metode detekcije, a to su:

- merenje na mestu (*in-situ)* i
- merenje u hodu (*on-the-go*).

Tehnika merenja u mestu je po pravilu dugotrajnija i ona se sprovodi najčešće onda kada se želi doći do visokotačnih podataka koji mogu poslužiti za kalibraciju uređaja koji mere u hodu. Primenom tehnike detekcije u hodu može se unaprediti i pojeftiniti proces prikupljanja njivskih informacija za potrebe naučnih istraživanja i primene precizne poljoprivrede. Merenje mehaničkog otpora obrade, električne provodljivosti i sličnih parametara zemljišta, uz istovremeno određivanje geografske lokacije dobijenih podataka, može doprineti pojednostavljivanju postupka terenskog istraživanja putem smanjenja potrebnog broja uzoraka (*Kostić et al., 2016*).

Širok spektar elektromagnetnih talasa omogućava detekciju velikog broja parametara, kako zemljišta, tako i biljaka. Najveći broj uređaja koristi mali deo elektromagnetnog spektra, i to u opsegu vidljivih i infracrvenih talasa, mikro ili radar-talasa. Važno je shvatiti da u svakom slučaju nije moguće direktno odrediti osobine zemljišta pomoću senzora. Indikacije su uvek indirektne pojave. Odgovarajuća svojstva zemljišta utiču na elemente rasprostiranja elektromagnetnih talasa ili struje, poput amplitude, frekvencije, brzine širenja itd. Procena svojstava zemljišta se obavlja upoređivanjem elemenata elektromagnetnog zračenja ili električne struje sa parametrima zemljišta. **Treba napomenuti da postoji suštinska razlika u detekciji korišćenjem elektromagnetnog zračenja ili struje u pogledu prirode prodiranja talasa/struje, te mogućnosti praćenja površinskih ili dubinskih osobenosti zemljišta**. Recimo, vidljiva i infracrvena svetlost se koriste za ocenu površinskih svojstava zemljišta ili biljaka, dok mikrotalasi, radarski talasi, kao i električna struja imaju snagu prodiranja u duboke slojeve, te se mogu koristiti za ocenu parametara koji se odnose na unutrašnje osobine.

4.1 OSOBINE ZEMLJIŠNOG KOMPLEKSA

Svaki poljoprivrednik intuitivno zna da je zemljište promenljiva kategorija, kako prostorno, tako i vremenski, iako za to ne poseduje egzaktan podatak (slika 4.1). Ova činjenica je još jasnija istraživačima koji imaju konkretne ekspertize iz oblasti proučavanja zemljišta. **Zemljište je složen sistem sačinjen od tri faze (čvrsta, tečna i gasovita) unutar kojeg postoji dinamika fizičkih, hemijskih i bioloških procesa na koje deluju klima, reljef, čovek, matična podloga itd.** Promene koje se dešavaju u zemljištu su širokog prostornog i vremenskog konteksta. Pojedini pedogenetski procesi se dešavaju na mikroskali i traju vrlo kratko, dok postoje i oni koji su trajni i rezervisani su za široke geografske prostore. Neke od važnijih osobina zemljišta koje se menjaju u prostoru su:

- sadržaj organske materije (humus),
- pH,
- vlažnost,

- mehanički sastav (sadržaj gline, praha i peska),
- zapreminska masa,
- struktura,
- poroznost,
- kapacitet za razmenu katjona (CEC) i dr.



Slika 4.1. Prostorna neujednačenost poljoprivrednog zemljišta uslovljava promenljivo stanje useva

Da bi se uspešno upravljalo prostornim resursom, od velikog značaja su informacije o stanju što većeg broja parametara, ali i poznavanje mehanizama delovanja na biljne vrste. Razvojem senzorske tehnologije omogućeno je praćenje mnogih parametara zemljišta i biljaka indirektno. Senzori su, osim *GPS* tehnologije, ključ uspešne primene tehnologije precizne poljoprivrede.

Varijacije u stanju zemljišta i biljaka mogu imati različit karakter. Osnovna pretpostavka pri modelovanju prostornih entiteta je da se promene u prostoru dešavaju postepeno. Međutim, postoje i slučajevi kada to nije tako. Ako se uzme u razmatranje tip zemljišta, onda će se prelaz sa jednog na drugi tip dešavati postepeno, što znači da su parametri zemljišta prostorno povezani, to jest linearno se menjaju sa međusobnim rastojanjem dva ispitivana lokaliteta. U suprotnom, ukoliko imamo izražen antropogeni uticaj ili pojavu klimatskog ekscesa, moguće je da se promene jave naglo u nepravilnom rasporedu, koje ne mogu biti matematički modelirane. Na primer, sabijanje zemljišta teškom mehanizacijom je najčešće takvog karaktera ili dejstvo erozije nakon obilnih padavina. Drugim rečima, varijabilnosti na polju mogu biti ili ne moraju biti u međusobnoj korelaciji kada se stave u kontekst prostora. Međutim, u zavisnosti od prostorne dimenzije, neke pojave mogu biti čak i na malim razdaljinama prostorno nestrukturne (randomizovane), ali ako se sagledaju u širem

prostornom području sa primerenom rezolucijom, mogu se dobiti vrlo povezane relacije. U tom smislu važno je da svaki prostorni entitet bude podvrgnut metodološki adekvatnoj opservaciji. To znači da se unapred moraju poznavati prostorna i vremenska dinamika promenljive da bi merenja bila sprovedena sa dovoljnom prostornom i vremenskom rezolucijom. Na primer, tekstura i sadržaj humusa su vremenski sporo promenljive kategorije, te ih treba kontrolisati u dužim vremenskim razmacima (>5 godina). Međutim, sadržaj hraniva u zemljištu, a pre svega azot se menja rapidno, te strategija praćenja iziskuje učestala merenja (nekoliko puta godišnje). Generalno, precizna poljoprivreda teži visokoj prostornoj rezoluciji, mada, uobičajen termin za prostornu rezoluciju je veličina ćelije (*cell size*). Jedna ćelija je jedinično virtuelno polje unutar veće proizvodne parcele koja se tretira ujednačeno i specifično u odnosu na druge ćelije. Stoga mala veličina ćelije (polja) odgovara velikoj prostornoj rezoluciji i obrnuto. U tradicionalnoj poljoprivredi jedna ćelija je jedna proizvodna parcela. Svaka ćelija ima pravougaoni oblik čija širina mora biti usklađena sa širinom zahvata priključnih mašina, tj. širina ćelije mora biti deljiva sa širinom zahvata mašina bez ostataka.

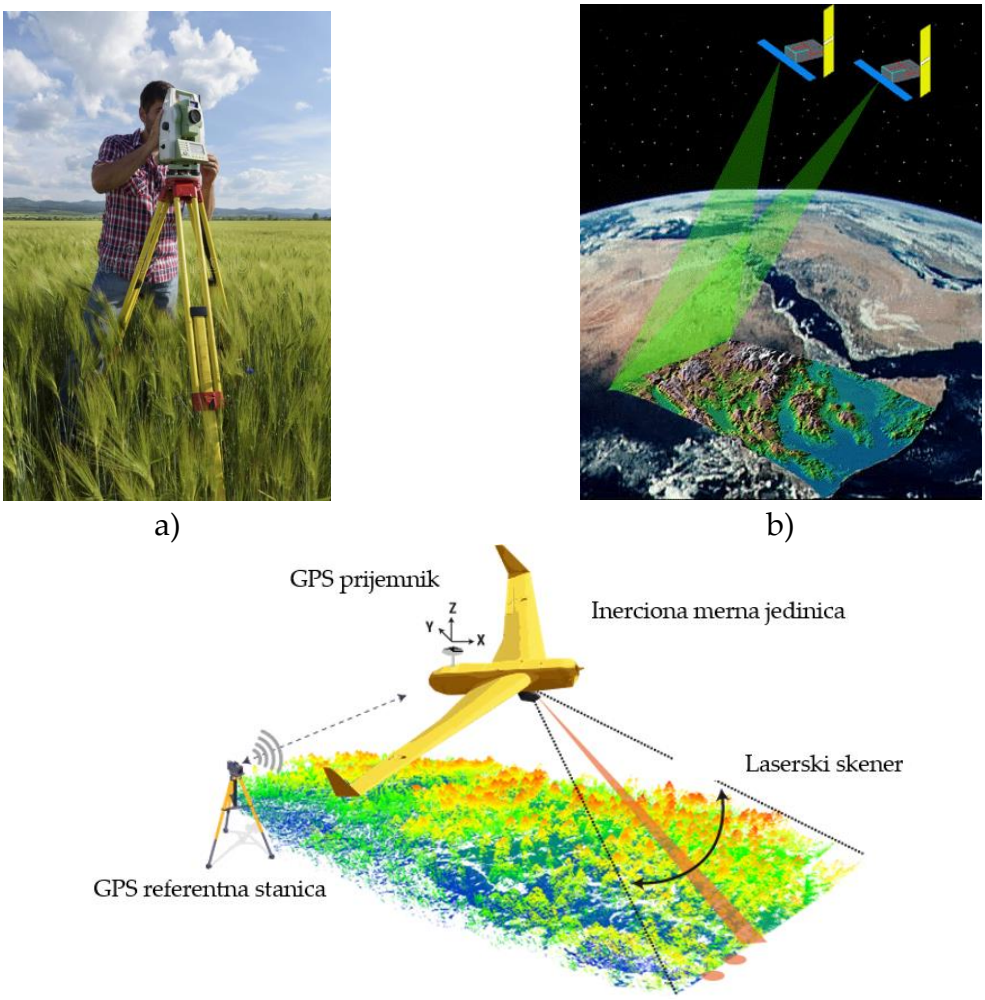
4.2 DETEKCIJA TOPOGRAFIJE

Topografija je jedan od glavnih uticajnih faktora na intenzitet varijabilnosti, kako karakteristika zemljišta, tako i prinosa. U najvećem broju slučajeva je presudan za krajnji ishod proizvodnje. Dugoročni uticaj topografije se ogleda pre svega u kretanju čestica zemljišta pod uticajem erozije po principu da se najfinije čestice gline spuštaju sa viših na niže delove parcele. Otuda i potiče različitost kvaliteta zemljišta na istoj parceli sa izraženim topografskim kolebanjem. Takođe, topografija utiče i na trenutno stanje mikroklime (vlažnost vazduha i temperatura) na određenom lokalitetu. Orijentacija nagiba u odnosu na strane sveta ima uticaj na zagrevanje zemljišta. Tako su južne padine uvek povoljnije za biljnu proizvodnju od severnih zbog boljeg toplotnog bilansa. U vinogradarskoj proizvodnji na severnoj hemisferi vinova loza se uzgaja isključivo na južnim padinama. Za određivanje reljefnih karakteristika mogu se koristiti tradicionalne tehnike korišćenjem geodetskih totalnih stanica. Ove metode su veoma tačne, ali nisu pogodne za korišćenje u preciznoj poljoprivredi (slika 4.2a). Moderne tehnike za merenje topografskih osobina terena su visokoautomatizovane od kojih su najznačajnije:

- Radarska interferometrija (*InSAR*) – koristi se u geodeziji i daljinskoj detekciji. Tehnika se zasniva na korišćenju najmanje dve slike sa radarske aparature (koje mogu biti postavljene na letelicu ili satelit) radi kreiranja digitalnog modela površine koja se snima (slika 4.2b). Princip merenja je sličan tehnologiji laserskog skeniranja. Jedan izvor zračenja (satelit 1) emituje mikrotalasne signale, a prijemnik sa antenom (satelit 2) registruje signale koji se reflektuju od površine. Na osnovu izmerenog vremena određuje se rastojanje do površine od koje se reflektuje mnoštvo signala koje karakterišu

njihova amplituda i faza (*Sušić et al., 2014*). Ova tehnika ima mogućnost detektovanja milimetarskih promena.

- Inerciono georeferenciranje (*Dead reconing*) – proces je izračunavanja trenutnog položaja na osnovu prethodno utvrđenog i podataka o ubrzanju i kursu tokom proteklog vremena.
- *RTK-GPS* – korišćenjem globalnog navigacionog sistema uz *RTK* korekciju.
- Lasersko merenje (*LiDAR – light imaging, detection, and ranging*) – metoda je kojom se meri udaljenost od primopredajnika do cilja korišćenjem laserske svetlosti i merenjem komponenata reflektovane svetlosti senzorom (slika 4.2c). Razlike u vremenu povratka reflektovane laserske svetlosti i talasnim dužinama se koriste za pravljenje digitalnih 3-D modela. Naziv lidar, koji se sada koristi kao akronim otkrivanja i rangiranja svetlosti (*Ring, 1963*).



Slika 4.2. Prikaz različitih tehnika premera reljefnih struktura: a) optički teodolit, b) satelitski radar i c) laserski

Sve prethodno navedene tehnike se mogu upotrebiti za prikupljanje podataka od kojih se naknadno mogu proizvesti digitalni modeli elevacije ili u literaturi poznato kao DEM. U poljoprivrednoj praksi se najviše koristi tehnika *GPS* sa *RTK* diferencijalnom korekcijom, jer daje dovoljnu tačnost podataka koji se mogu

prikupljati pri obavljanju bilo koje agrotehničke operacije uz asistirano *GPS* vođenje. Viši kvalitet podataka se dobija kada se ukrste zapisi sa istog polja uzeti u više navrata. Operacija kojom se smanjuju oscilacije u visinama zasniva se na aritmetičkom usrednjavanju za svaku lokaciju.

4.3 DETEKCIJA UNUTRAŠNJIH OSOBINA ZEMLJIŠTA

Zemljište je specifično okruženje koje karakteriše veliki broj parametara koji su međusobno uslovljeni u određenoj meri. Zemljište je složen entitet koji je prožet živim i neživim materijama, stohastičkog je karaktera bez željene predvidljivosti (*Kostić et al., 2016*). Svega nekoliko osobina su u fokusu agronomske struke, jer su studije pokazale njihovo nedvosmisleno dejstvo na vitalne procese u biljkama. Treba napomenuti da zemljište karakteriše niz drugih specifičnosti koje direktno ili indirektno mogu uticati na biljku, ali i na one osobine zemljišta koje su najvažnije za biljku. To sugeriše na kompleksnost procesa merenja pojedinačnih parametara korišćenjem senzora. U svetu postoji veliki broj idejnih rešenja senzora od kojih je veoma mali broj komercijalno dostupan u svrhu primene u preciznoj poljoprivredi. Osnovni razlog je mala pouzdanost podataka pri radu na različitim podlogama, komplikovana konstrukcija i/ili složena procedura obrade podataka. Svi senzorski sistemi detektuju neki od fizičkih fenomena koji se manje ili više pozitivno odnose sa nekom od interesnih karakteristika zemljišta (slika 4.3).



Slika 4.3. Mogućnosti za detekciju osobina zemljišta pomoću senzora

Najčešće je interakcija složena i ne zavisi samo od jednog činioca zemljišta, te je tumačenje podataka složeno. Osobine zemljišta kojima se manipuliše pri definisanju strategije obrade, setve i đubrenja su tekstura, sadržaj organske materije, pH reakcija i nivo osnovnih hraniva. Prikupljanje georeferenciranih informacija o pomenutim parametrima ima krucijalan značaj u primeni prostorno adaptivne agrotehnike. Neke

osobine su više, a neke manje dinamične u vremenu. Tako su tekstura i sadržaj organske materije podatak koji može da se smatra verodostojnim za period od više godina, dok je sadržaj mineralnog azota veoma promenljiva kategorija u toku jedne godine, jer su migracije azota u zemljištu uslovljene padavinama i kretanjima nivoa podzemnih voda, ali i gubicima usled različitih biohemijskih procesa. Još veća dinamika promene stanja zemljišta odnosi se na vlažnost, koja ima presudan uticaj na prinos biljaka.

Tehnike detekcije zemljišta kojima se može uraditi veliki broj opservacija u hodu (tabela 4.1) uz georefernciranje svrstane su u grupe prema koncepciji i mehanizmu delovanja na:

- električne,
- optičke,
- mehaničke i
- elektrohemijske.

Proksimalna senzorska detekcija je tehnologija kojom se procena stanja zemljišnih parametara obavlja na malom rastojanju između predmeta posmatranja i senzora. Za razliku od daljinske detekcije, proksimalna podrazumeva direktan kontakt ili bliskost senzora i zemljišta.

Tabela 4.1. Mogućnost primene različitih senzorskih konstrukcija u detekciji osobina zemljišta (Adamchuk et al., 2004)

Osobine zemljišta	**Električni**	**Optički**	**Mehanički**	**Elektrohemijski**
Tekstura	da	da	-	-
Organska materija	da	da	-	-
Vlažnost	da	da	-	-
Zaslanjenost	da	-	-	da
Sabijenost	-	-	da	-
Dubina oraničnog sloja	da	-	da	-
pH	-	da	-	da
Sadržaj N	da	da	-	da
Sadržaj P, K	-	-	-	da
CEC	da	da	-	-

Karakteristike zemljišta se određuju na osnovu razlika u fizičkim i fizičko-hemijskim osobinama indirektno merenjem dielektrične konstante, električne provodljivosti/otpornosti, magnetne osetljivosti, sile itd. Najčešće se te metode koriste za prepoznavanje tipova zemljišta, topografskih razlika, prirodnih nejednakosti itd. Postoje mnogi uređaji, prototipna rešenja koja su korišćena u raznim istraživanjima, za potrebe poljoprivrede i ocene stanja zemljišta. Najviše se koriste sistemi koji mere elektromagnetnu indukciju (*EMI*), električnu otpornost (*ER*) i georadar (*GPR*) (*Allred et al., 2010*). Prve dve tehnike su se isključivo koristile za merenje saliniteta zemljišta sve do 90-ih godina prošlog veka kada se konstituisala precizna poljoprivreda kao

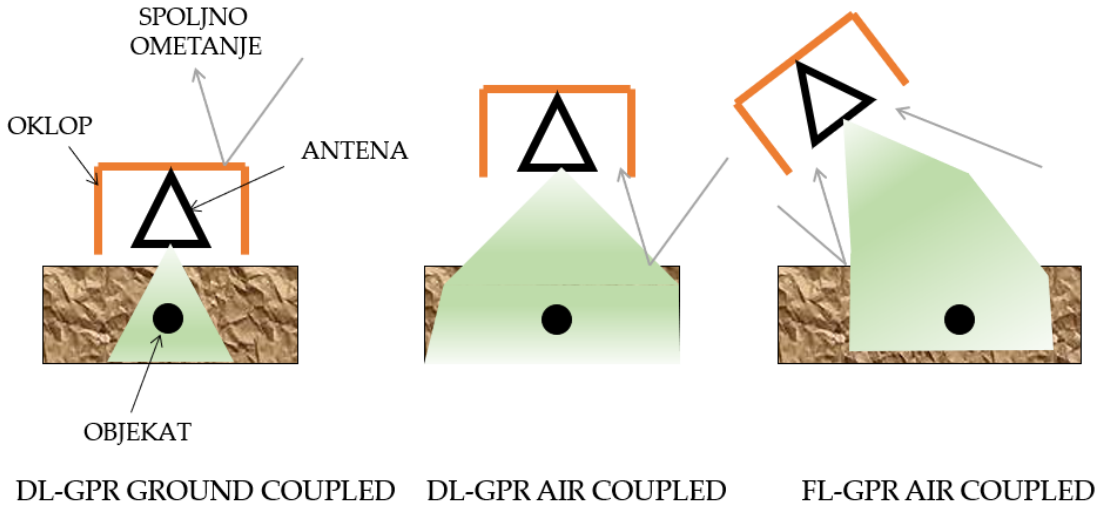
legitiman pravac gde im je primena višestruko uvećana. *GPR* se 70-ih godina prvobitno koristio kao dopunska metoda za ocenu kvaliteta zemljišta u poljoprivredi, dok je unapređenjem tehnika obrade podataka i integracijom *GPS* tehnike sa *GPR*-om polje primene prošireno.

Georadar je tipični širokopojasni impulsni sistem koji emituje elektromagnetne impulse veoma visoke frekvencije (oko 30 MHz do 1,2 GHz) u zemljišni sloj (slika 4.4). Frekvencija signala omogućava da signal prodre kroz sloj zemljišta, dok je širina propusnog opsega potrebna za vizuelizaciju visoke rezolucije (*Rail et al., 2014*). Deo emitovane energije se usled interakcije sa zemljištem reemituje i vraća prema prijemniku radara. Uređaj meri amplitudu povratnog signala u vremenskom domenu, a varijacije se obrađuju i mogu se prikazivati na grafičkom displeju. Postoje dve koncepcije georadara (slika 4.5) i to *DL-GPR* (*down-loking GPR*) i *FL-GPR* (*forward-looking GPR*). Najveći broj *DL-GPR* je postavljen tik uz zemljište ili se direktno dodiruje (*ground-coupled*) kako bi se pospešio prenos energije kroz zemljište. Uređaj se nalazi u zaštićenom kućištu radi smanjenja interferencije osnovnog i parazitskih signala. Koncepcije koje imaju prevoznu platformu (*air-coupled*) predviđene su da rade na malim razdaljinama od zemljišta gde postoji vazdušni prostor između senzora i podloge. Osnovna prednost im je ponovljivost merenja.



Slika 4.4. GPR radar montiran na mobilnu konstrukciju

FL-GPR uređaji skeniraju veću površinu u odnosu na *DL-GPR* kod kojeg je antena usmerena ka napred u odnosu na pravac kretanja. Međutim, njihova mana je što su veoma osetljivi na spoljnje uticaje. Tehnika snimanja georadarom je generalno korisna kada postoje drastične razlike u materijalu koji je suspendovan u zemljišnom sloju. Dielektrična konstanta materijala je osobina koja najviše doprinosi promenama signala. Iako zapreminska masa i mineralni sastav utiču na dielektrične osobine, sadržaj vode je glavni uticajni faktor. Stoga je georadar koristan za prepoznavanje slojeva zemljišta sa različitim sadržajem vlage. Takođe, može se koristiti za lociranje vazdušnih ili vodenih pora i šupljina. Najbolji efekat rada se postiže na zemljištima sa grubom strukturom (peskovito, kamenito), jer je najmanje slabljenje signala pri prolasku kroz sloj. Georadar se prvobitno koristio u geologiji, arheologiji i građevini za lociranje vodenih zona u zemljištu, cevovoda, kamenja, ostataka drevne građevine itd. Uopšteno, osnovni nedostatak georadara je opadanje kvaliteta zapisa sa povećanjem dubine i smanjivanjem frekvencije signala. Sa povećanjem frekvencije signala povećava se rezolucija sistema, ali se smanjuje domet - dubina.

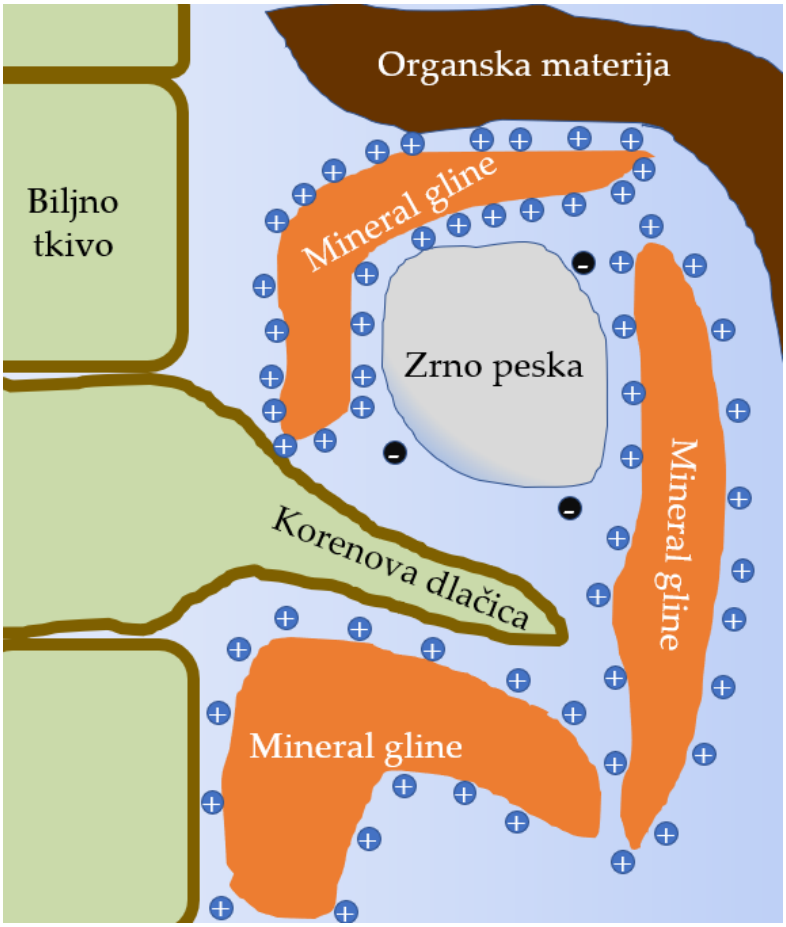


Slika 4.5. Koncepcije GPR senzora

Domet niskofrekventnog georadara za zaslanjena zemljišta ide do 30 cm dubine, a za vlažna glinovita do 1 m (*Daniels, 2004*). Na suvim i peskovitim terenima dubina penetracije niskofrekventnog signala prevazilazi 50 m (*Smith i Jol, 1995*). Georadari nisu u mogućnosti da detektuju boju zemljišta i blage prelaze u strukturi. Savremeni georadari imaju veliku rezoluciju, integrisan *GPS* prijemnik i prenosivi su, što ih čini veoma pogodnim za upotrebu na terenu (slika 4.4). Zbog snažnog odziva prema promeni dielektričnih osobina koje su u direktnoj korelaciji sa sadržajem vode u zemljištu, georadar se, prema navodima *Huisman et al. (2003),* uspešno može koristiti za mapiranje parametra vlažnosti zemljišta. U tu svrhu, razvijeno je nekoliko robustnih modela za procenu stanja vlage u zemljištu na osnovu dielektričnih karakteristika zemljišta. Među najviše korišćenima je onaj koji je razvio autor *Topp et al. (1980)*.

Električna provodljivost zemljišta (ECa)

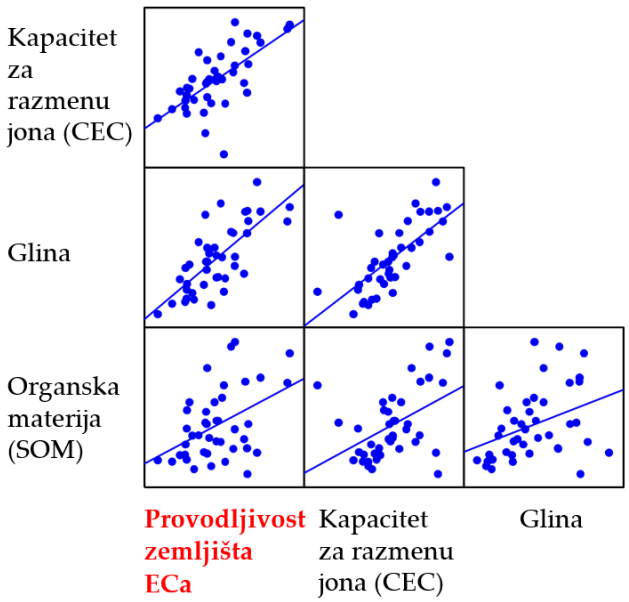
Električna provodljivost je mera lakoće proticanja električne struje kroz neku materiju. Jedinica mere je *Siemens* po metru (S/m). Ponekad se umesto provodljivosti koristi električni otpor (ER) što predstavlja recipročnu vrednost od EC. ER parametar se meri korišćenjem Omovog zakona, te je merna jedinica Ω (m Ω). Zemljište je veoma heterogena sredina, jer se sastoji od čvrstih materija, gasova i tečnosti. Čvrsti sastojci uključuju i mineralne i organske materije (slika 4.6). Električna provodljivost zemljišta je posledica složenih odnosa između velikog broja faktora kao što su sadržaj gline i organske materije, sabijenost, zaslanjenost, vlažnost, veličina pora i temperatura (*Samouëlian et al., 2005*; *Grabbers, 2009*, slika 4.7). Ako se izuzmu krupan kamen i organska materija, ostatak čvrstih čestica u zemljištu je pesak (2,00–0,05 mm), prah (0,05–0,002 mm) i glina (manji od 0,002 mm). Suv pesak može se smatrati lošim provodnikom električne struje. Frakcija gline sastoji se ne samo od minerala gline već i od organske materije koja je vezana za minerale. Ove glineno-humusne veze znatno doprinose protoku struje u zemljištu, posebno u vlažnim uslovima (tabela 4.2).



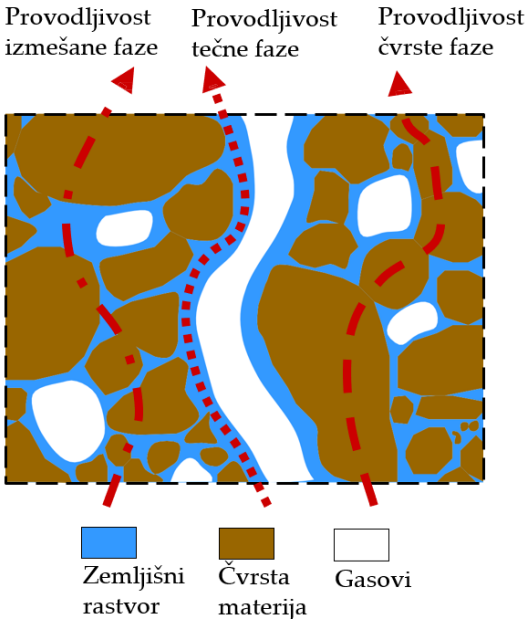
Slika 4.6. Prikaz koncentracije naelektrisanja kao nosioca provodljivosti u zemljišnom kompleksu

Prah ima prelazne karakteristike. Vazduh u zemlji predstavlja izolator, dok se tečnosti mogu posmatrati kao elektrolitički vodeni rastvor sa jonima koji su u njemu rastvoreni (slika 4.8). Joni u tečnostima, kao i na površini glinasto-humusnih veza doprinose dobroj provodljivosti. Električna provodljivost zemljišta može biti detektovana metodom direktnog upuštanja struje galvanskim kontaktom ili beskontaktno, kapacitivnom ili elektromagnetnom indukcijom. Pri direktnoj metodi, struja se „ubrizgava" u zemljište i odmerava se razlika potencijala na elektrodama koje su na određenom rastojanju (*Samouëlian et al., 2005*). Metoda merenja električne provodljivosti zemljišta direktnim povezivanjem zemljišta i elektroda je tradicionalana metoda koja podrazumeva kontakt određenog broja elektroda sa zemljištem. Kod najvećeg broja uređaja postoje dve elektrode preko kojih se naizmenična struja male frekvencije (150–220 Hz) upušta u zemljište, i dve prijemne elektrode na kojima se meri razlika potencijala. Iako teoretski, sistem može koristiti samo dve elektrode, u praksi se pokazao kao veoma nestabilan (*Corwin, 2008*). Rastojanje između elektroda je fiksno kao i jačina struje koja se ubrizgava. Vertikalna i horizontalna rezolucija podataka zavisi od konfiguracije elektroda (*Samouëlian et al., 2005*). Zapremina koja se obuhvata merenjem se povećava sa povećanjem rastojanja između elektroda, ali se time smanjuje preciznost merenja. Postoje tri najčešće

kombinacije redosleda i rasporeda elektroda, i to *Schlumberger*, *Wenner* i dipol-dipol (*Allred et al., 2008*).



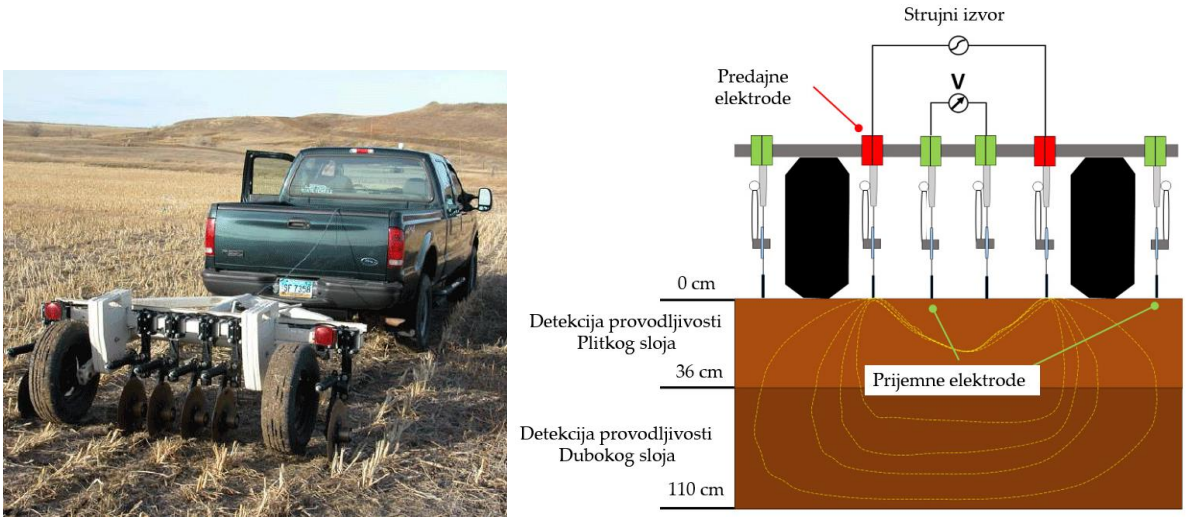
Slika 4.7. Multifakorijalna korelaciona analiza (Grabbers, 2009)



Slika 4.8. Provodljivost zemljišnih faza za el. struju

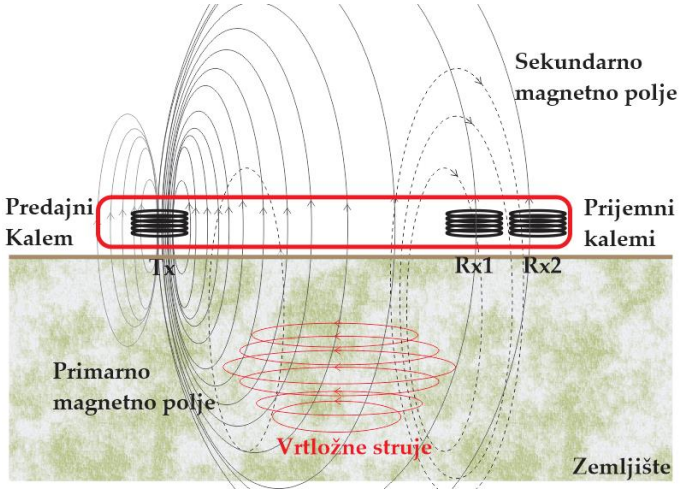
Wanner raspored daje bolje rezultate u merenju površinskih promena otpornosti, dok *Schlumberger* i dipol-dipol raspored daju bolju sliku po dubini zemljišnog sloja (*Allred et al., 2008*). Autor *Samouëlian et al. (2005)* navodi da je metoda pogodna za razgraničavanje tipova zemljišta ukoliko se primeni u više navrata na istom lokalitetu. Tradicionalno merenje električne provodljivosti zemljišta ubadanjem elektroda u zemljište je prilično ekstenzivan i dugotrajan proces koji nije našao veću primenu u praksi. Određena unapređenja u tom smislu napravili su autori *Allred et al. (2008)*. Napredan sistem za prikupljanje velike količine prostornih podataka merenjem el. provodljivosti zemljišta u hodu razvila je američka firma *Veris technologies*. Sistem je vučenog tipa sa elektrodama u vidu šest diskosnih crtala (dva strujna i četiri potencijalna) na fiksnom rastojanju. Sistem *Veris 3100* (slika 4.9) konfigurisan je u *Wenner*-ovom rasporedu (*Sudduth et al., 2005*) i predviđen je za kontinualno mapiranje ECa parametra na dve dubine (0-30 cm i 0-90 cm). Ovi sistemi su osetljivi na prisustvo biljnih ostataka ili gajenih biljaka i nije preporučljivo primenjivati ih na smrznutom, kamenitom ili obrađenom zemljištu zbog, u tom slučaju, lošeg kontakta elektroda i zemljišta. Sistem je vučen, prilagođen za rad sa putničkim vozilima. Brzina vožnje po polju pri merenju može ići do 15 km/h, dok razmak između susednih prohoda može biti do 20 m. Veći razmak i veća brzina merenja smanjuju prostornu rezoluciju podataka, ali se povećava učinak koji na dnevnom nivou dostiže čak 200 ha. Najpovoljnije je meriti pri stanju vlažnosti zemljišta približnom poljskom vodnom kapacitetu (PVK). Merenje elektromagnetne indukcije se zasniva na merenju provodljivosti zemljišta prema elektomagnetnim talasima. Za razliku od prethodnog gde se koristi struja niske frekvencije, elektromagnetne sonde koriste struje malog

intenziteta, ali visoke frekvencije.



Slika 4.9. Konfiguracija senzora za merenje električne provodljivosti zemljišta Veris 3100

Uređaj se sastoji od jednog predajnog namotaja i jednog ili više prijemnih, postavljenih na definisanom rastojanju. Naizmenična struja u primarnom kalemu generiše promenljivo magnetno polje koje indukuje vrtložne struje u zemljištu, a one pak indukuju struju na sekundarnom kalemu (slika 4.10). Na prijemnim kalemovima se meri amplituda i faza magnetnog polja primara i sekundara. Polje koje se indukuje na sekundaru je proporcionalno sa strujom u zemlji što se koristi za preračunavanje električne provodljivosti zemljišta (ECa) koja se izražava u mS/m. Električna provodljivost zemljišta je prema autorima *Greenhouse i Slaine (1983)* ponderisana vrednost provodljivosti u odnosu na dubinu.



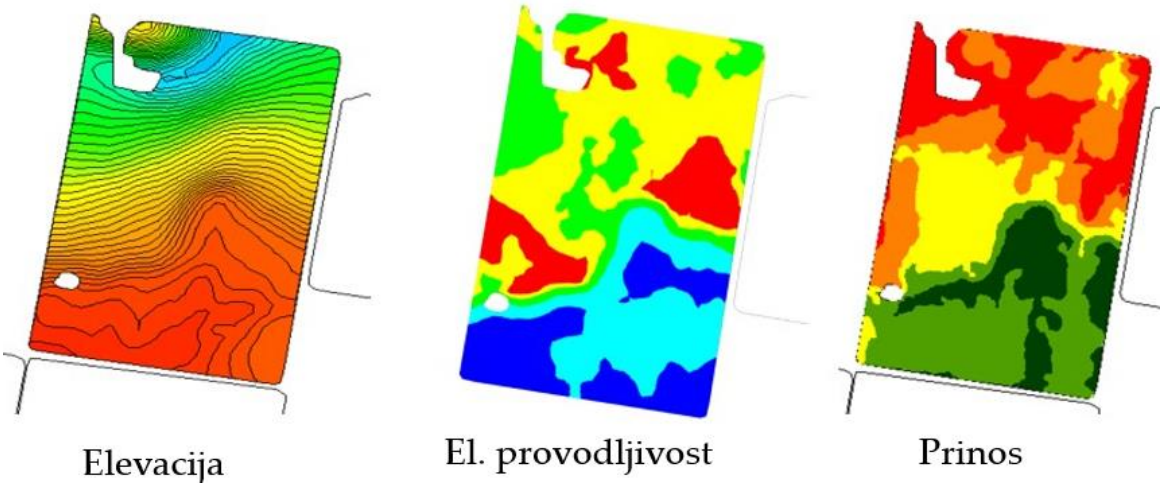
Slika 4.10. Princip rada sonde za merenje elektromagnetne provodljivosti zemljišta

Prema autoru *McNeil (1980)* električna provodljivost zemljišta zavisi od vrste i koncentracije jona u zemljišnom rastvoru, udela gline, sadržaja vode i njene temperature. Uređaji za merenje provodljivosti zemljišta su lake konstrukcije i lako prenosivi, ne zahtevaju kontakt sa zemljištem već samo konstantnu udaljenost od zemljišta.

Uređaji su pogodni za merenje varijabilnosti parametara zemljišta kao što su salinitet, *CEC* (*cation exchange capacity*), sadržaj $CaCO_3$, sadržaj vode, sadržaj organskog ugljenika, sadržaj hraniva, pH, zapreminske mase i strukture (*Doolitle i Brevik, 2014*). Efikasnost predviđanja varijabilnosti primenom ECa vrednosti zavisi od stepena koreliranja sa posmatranom osobinom zemljišta. Najbolji efekti su vidljivi na zemljištima sa značajnijim prostornim varijacijama (slika 4.11). Prema *Corwin (2008)* i

Lück et al. (2009) merenje i mapiranje ECa je najkorisnija metoda u poljoprivredi za prikazivanje prostornih varijabilnosti zemljišnih karakteristika. Mape ECa su korisne za razumevanje uticaja prirodnog pejzaža na unutrašnju građu zemljišta. Dubina do koje se obrađuje zemljište je za komercijalne uređaje od 30 cm do 300 cm. U tzv. vertikalnom modu merenja dubina penetracije el. magnetnih talasa je maksimalna, ali je širina zahvatanja minimalna, dok za horizontalni režim snimanja važe suprotna pravila (slika 4.12).

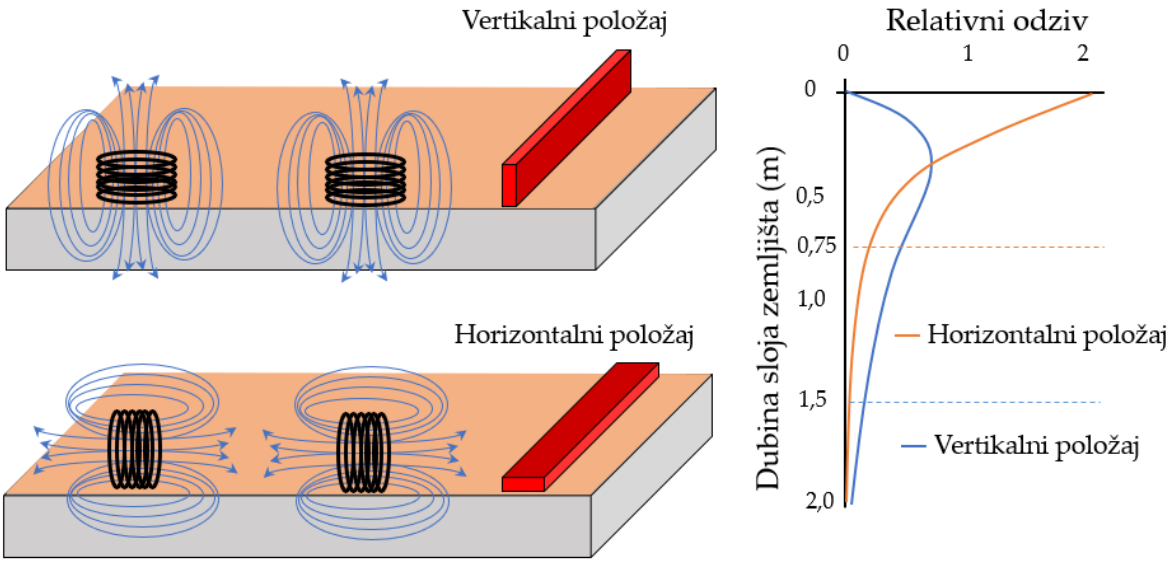
Dubina skeniranja treba biti usklađena sa dubinom korenovog sistema biljaka koje se gaje. To znači da ukoliko se gaje biljke sa dubokim korenom (preko 1 m) kao što su kukuruz, suncokret, šećerna repa itd., poželjno je merenje obaviti vertikalno postavljenom sondom.



Slika 4.11. Mape izvedene za tri prostorna entiteta u cilju grupisanja po sličnosti i dalje upotrebe u sistemu donošenja odluka putem koncepta lokacijski prilagođene agrotehnike

Ova metoda ocenjivanja stanja zemljišta je brza, neinvazivna, vremenski neprekidna, što omogućava prikupljanje velike količine podataka. Nedostatak merenja ECa ogleda se u kompleksnoj interakciji magnetnog polja sa faktorima u zemljištu, te je interepretacija podataka višeznačna. Uređaj zahteva redovnu kalibraciju. Veliki problem u merenju stvaraju metalni objekti u zemljištu ili neke druge strukture (šahtovi, delovi zalivnih sistema itd.). Vrednosti ECa predstavljaju sumiranu provodljivost zemljišnog sloja za definisanu dubinu opservacije. U tom smislu, uređaj nema mogućnost detektovanja specifičnih slojeva koji značajno odstupaju u odnosu na ostalu zapreminu profila. Prema tome, najbolji rezultati postižu se kada je zemljište ujednačeno po dubini u okvirima opsega merenja. Senzori koji mere provodljivost direktnim kontaktom elektroda i zemljišta su dominantni u SAD, dok elektromagnetne sonde imaju primat u Evropi i Kanadi. Najvažniji parametar profitabilnosti u poljoprivredi je prinos koji je po prirodi zavisan od velikog broja faktora. Primena EC senzora u raščlanjivanju elemenata prinosa može imati pozitivan efekat na donošenje pravilnih odluka. Uobičajeno je da prinos gajenih kultura zavisi od teksture zemljišta. Glina u sadejstvu sa organskom materijom doprinosi visokom kapacitetu za vodu, ali i kapacitetu za razmenu katjona, što je

neophodno za zadržavanje mineralnih hraniva u zemljištu. Sa druge strane, sadržaj gline iznad određenih vrednosti smanjuje propusnost zemljišta za vodu i vazduh, otežava razvoj korena biljke i često dovodi do pojave prevlaživanja, tj. vodoleži. Sadržaj gline generalno uzrokuje veće vrednosti EC zemljišta, i to na dva načina.



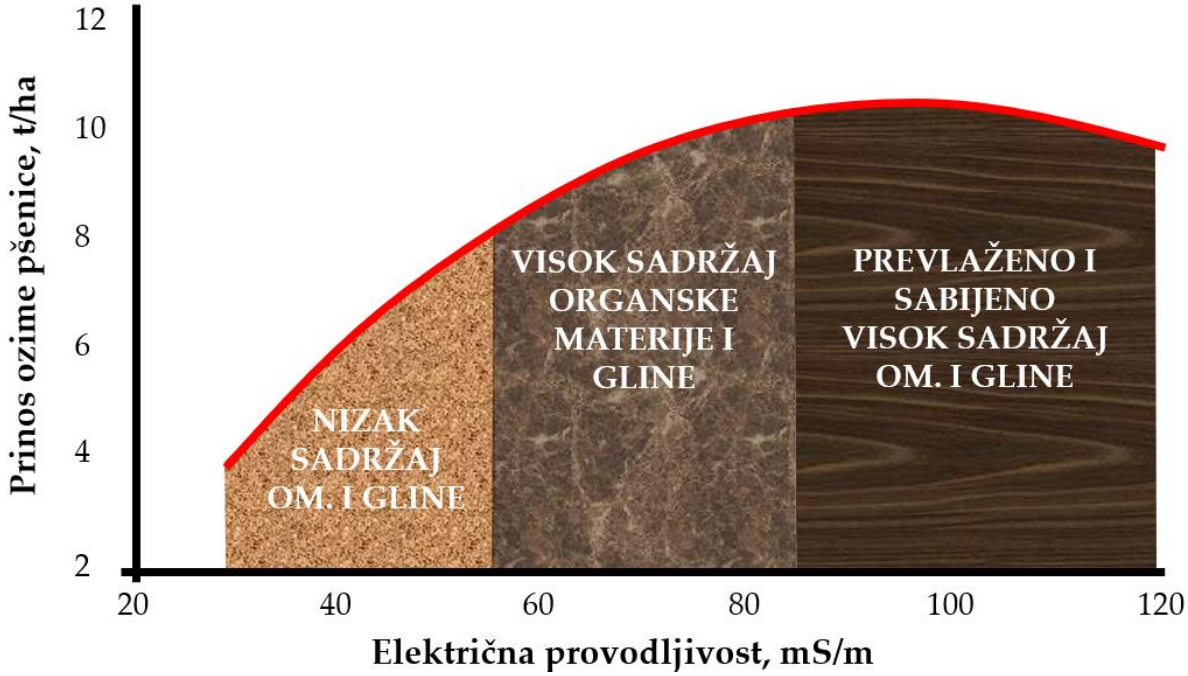
Slika 4.12. Polaritet elektromagnetnih kalemova i uticaj na režim merenja

Minerali gline su nosioci velikog broja pozitivnih jona koji za sebe vezuju negativno naelektrisane molekule kalcijuma, magnezijuma, natrijuma itd. i time doprinose boljoj strujnoj provodljivosti. Takođe, velika specifična površina čestica gline daje bolju kontaktnu površinu za prenos naelektrisanja i konačno glina u sadejstvu sa organskom materijom zadržava vodu i soli rastvorene u vodi i time daje bolji strujni odziv u odnosu na slabo akumulativna zemljišta kakva su recimo peskovita. Kada se analizira zavisnost prinosa i elektroprovodljivosti zemljišta, onda se pojavljuju dve karakteristične relacije (slika 4.13). Prva govori da se sa povećanjem koncentracije gline povećava prinos linearno, dok se daljim povećavanjem javalju negativni efekti po prinos i zbog toga postoji negativni trend zavisnosti EC zemljišta i prinosa. Prelomna tačka dijagrama se nalazi na 80 mS/m. Iznad ove granice je najverovatnije smanjen dotok vode do biljaka usled loše pokretljivosti kao posledica velikog procenta gline. U vlažnijim regionima, kritična provodljivost je već na 40 mS/m (*Domsch et al., 2003*; *Lueck et al., 2002*).

Tabela 4.2. Provodljivost zemljišnih frakcija (Bevan, 1998)

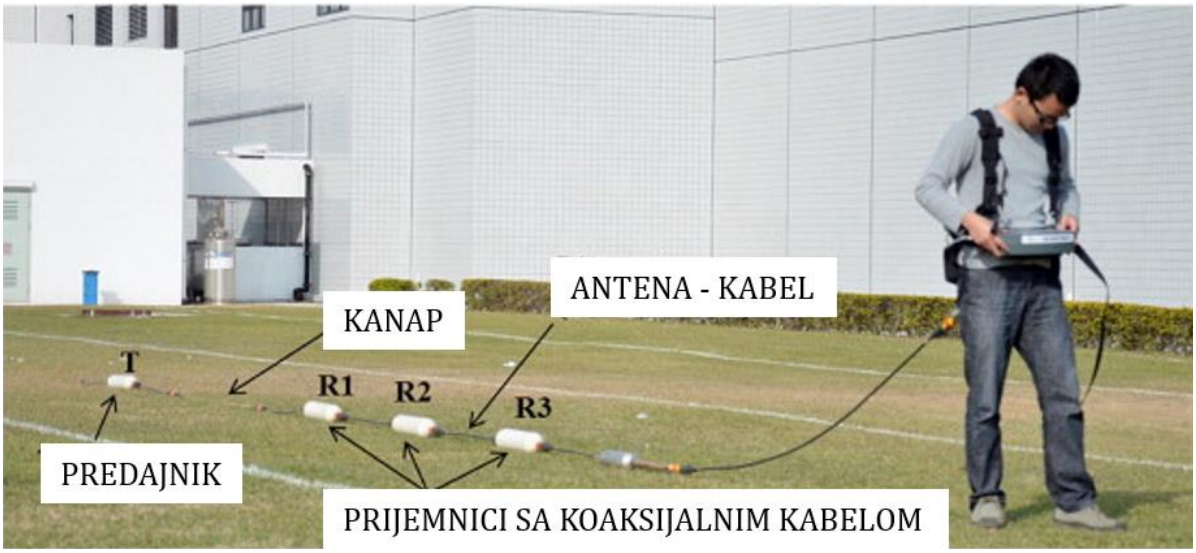
Frakcija	**Električna provodljivost (mS/m)**
Pesak	0,1–1
Ilovasti pesak	1,0–5,0
Ilovača	5,0–12,5
Prah	12,5–25,0
Glina	25,0–100

Detekcija provodljivosti zemljišta EC sondama mora obuhvatiti one zone (dubine) do kojih koren biljaka dopire. U slučaju da se skeniraju dublji slojevi u kojima potencijalno postoje nepropusne zone, postoji mogućnost dobijanja podataka koji neće biti u korelaciji sa prinosom. Generalno, el. provodljivost je korisna informacija o prostornim nejednakostima u raspodeli pre svega gline i vode kao najvažnijih indikatora potencijala za prinos. Veliki sadržaj gline ujedno može indirektno da uslovi nastajanje sabijenih slojeva koji usporavaju usvajanje hraniva i vode od strane biljaka, što stvara obrnut efekat na prinos, a daje visoku vrednost provodljivosti zemljišta.



Slika 4.13. Zavisnost električne provodljivosti zemljišta u sloju od 1,5 m i prinosa pšenice u studiji Neudecker et al. (2001)

Sistemi koji rade na principu kapacitivne induktivnosti koriste kapacitivnost za prenos električne struje u zemljište, koja se potom meri na površini i izražava vrednost električne provodljivosti. Sistem koristi koaksijalne kavezne kablove koji obrazuju jedan veliki kondenzator. Metalni kavez unutar kabela predstavlja jednu od ploča kondenzatora, a zemljište predstavlja drugu ploču. Spoljnja izolacija kabela predstavlja dielektrik smešten između dve ploče. Transmiter prenosi naizmeničnu struju na koaksijalni kabel, usled čega se indukuje naizmenična struja u zemljištu koja se nalazi na drugoj strani „kondenzatora". Naizmenična struja u zemljištu puni kondenzator koaksijalnog kabela, pa se izmerena kapacitivnost koristi za izračunavanje razlike potencijala (napona), uzrokovanog proticanjem struje kroz zemljište. Tipičan primer ovakvog uređaja prikazan je na slici 4.1. Povećanjem rastojanja između prijemnog i predajnog dipola povećava se dubina opservacije (*Walker i Houser, 2002*). Mana ovog sistema je što se vodovi (kablovi) lako upetljaju pri kretanju po parceli koja ima prirodne prepreke, što najčešće dovodi i do oštećenja. Ovi sistemi su pogodni za korišćenje na ekstremno tvrdim podlogama gde je nemoguće ostvariti penetraciju sistemom koji ostvaruje direktan kontakt.



Slika 4.14. Kapacitivni merač provodljivosti zemljišta

X spektrometar

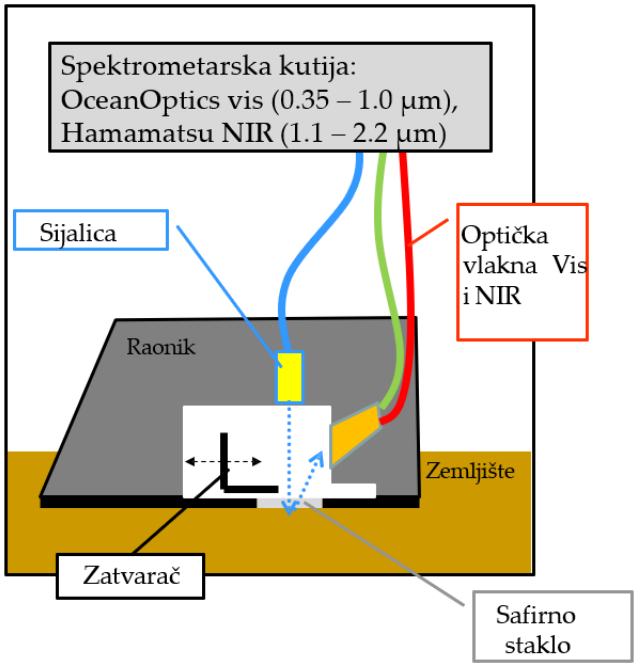
Prenosni spektrometar koriste visokoenergetske X zrake fotona kako bi prisilno isterali elektrone iz unutrašnjih atoma različitih struktura materijala. Nedostaci elektrona u strukturi atoma izazivaju nestabilnost, što uzrokuje premeštanje elektrona sa drugih atoma na mesta gde nedostaju. Ovaj proces dovodi do emisije X zraka, odnosno X fluorescencije. Emisija zraka je specifična za različite elemente, što se koristi za identifikaciju i kvantifikaciju gradivnih struktura (*Weindorf et al., 2012*). Opsežno objašnjenje primene uređaja koji radi na principu emisije X zraka dali su *Kalnicky i Singhvi (2001)*. Na slici 4.2 vidi se način korišćenja uređaja. Principijelno može se koristiti za procenu kontaminacije zemljišta metalima (*Schwartz et al., 2012*). Ovaj uređaj ima nedostatak što se merenje obavlja na veoma maloj zapremini zemljišta i kao takav nije našao širu primenu u preciznoj poljoprivredi. Dobre strane uređaja se ogledaju u tome što se dobijaju direktne vrednosti, bez potrebne prethodne kalibracije, lak je za korišćenje i ručno prenosan. Nedostaci su: može biti opasan po zdravlje ljudi, detektuje svega nekoliko elemenata, ima mali površinski zahvat i visoku cenu.



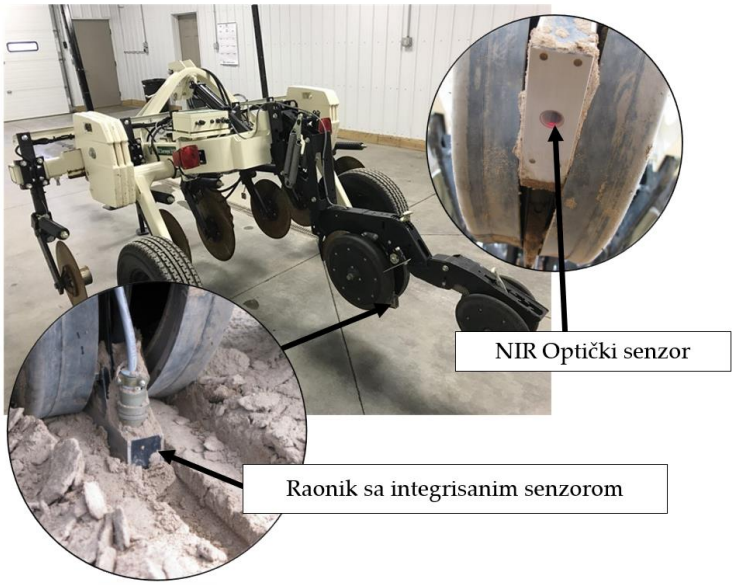
Slika 4.15. Prenosni XRF spektrometar

Optički (*NIR*) senzori

Optički senzori se koriste za merenje spektra reflektovanih zraka od zemljište bilo da se radi o refleksiji Sunčevih zraka ili zraka veštačkog izvora. Ovi senzori se koriste i za daljinsku detekciju (snimanje iz satelita, aviona i bespilotnih letelica). Mirenje spektra reflektovanih talasa se može obaviti za potrebe prikupljanja informacija sa parcele u diskrenim tačkama ili u hodu. Senzori rade u opsegu ultraljubičastog spektra (UV 100-400 nm), vidljivog (VIS 400-750 nm), blisko infracrvenog (NIR 750-2500 nm) i infracrvenog (IR 2500-25000 nm). Uobičajeno je da su senzori oplemenjeni sopstvenim izvorom svetlosti (slika 4.16). Optički senzori se mogu koristiti za određivanje brojnih osobina zemljišta kao što su mineralni sastav, sadržaj gline, boja zemljišta, vlažnost, organski ugljenik, pH i CEC (*Christy, 2008*; *Viscarra Rossel et al., 2009*; *Mouazen et al., 2010*). U nekim slučajevima ovo merenje se može podvesti u direktno merenje, i to onda kada se određena fizička osobina direktno odnosi sa spektrom reflektovanih talasa (mineralni sastav zemljišta ili sadržaj vode), ili indirektno kada je spektar reflektovanih zraka u korelaciji sa nekim parametrom u određenom opsegu talasnih



Slika 4.16. Konceptualna šema Vis-NIR spektrofotometra

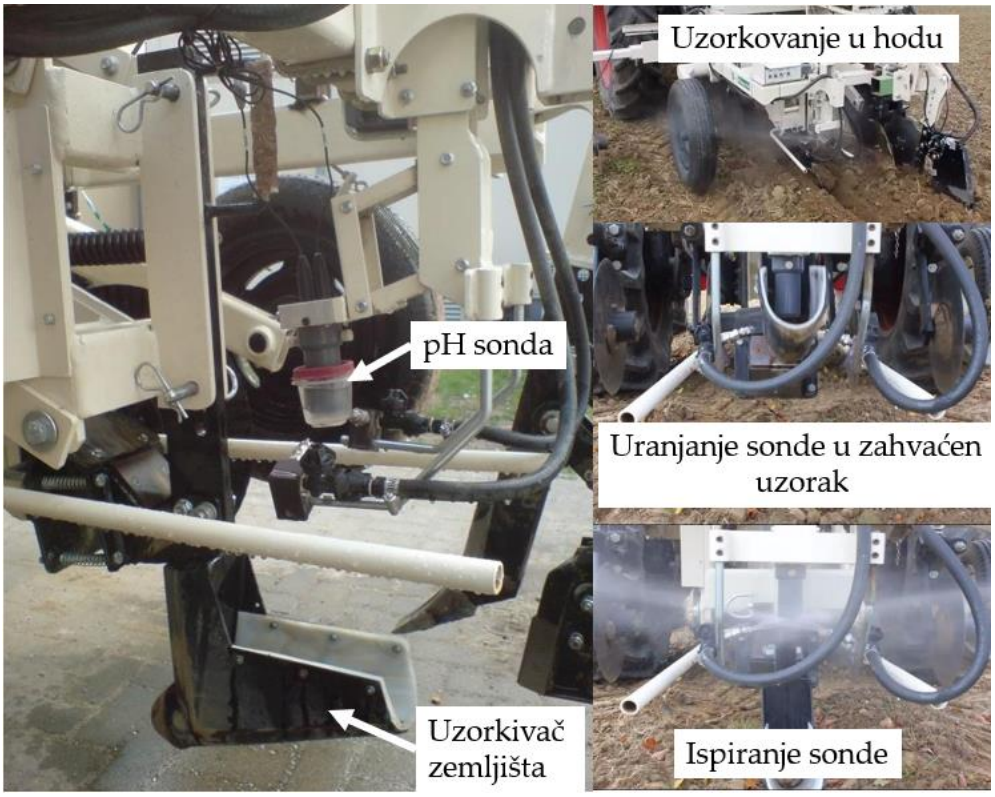


Slika 4.17. Komercijalno rešenje kombinovanog senzorskog sistema za spektrofotometrijsko merenje sadržaja organske materije u zemljištu

dužina, odnosno ukoliko je to posledica unakrsnog dejstva više parametara (procena sadržaja organske materije). Kalibracija senzora može biti jednostavna ako postoji linearna zavisnost ili se mora primeniti multivarijabilni model što usložnjava proces (*Viscarra Rossel et al., 2006*). Autori *Islam et al. (2003)* koristili su u svojim studijama kombinaciju ultraljubičastih i vidljivih zraka. Isti spektar su koristili *Schwertmann i Taylor (1989)* za određivanje neorganskih minerala. U velikom broju istraživanja korišćen je vidljiv spektar i blisko infracrveni spektar. Srednji infracrveni zraci daju bolju sliku o sadržaju minerala i organske materije. Prednosti ovog sistema detekcije se ogledaju u veoma brzom postupku merenja bez prethodne pripreme uzoraka (slika 4.17), relativno niskoj ceni senzora (<3000 USD) i potpuno je bezbedan za rukovaoce. Negativne osobine ovog tipa detekcije su komplikovana obrada spektralnih zapisa i izdvajanje karakterističnih potpisa, obavezna kalibracija na parceli, visoka cena senzora (>30.000 USD) i senzor mora imati idealne uslove pri merenju (dobar kontakt sa zemljištem).

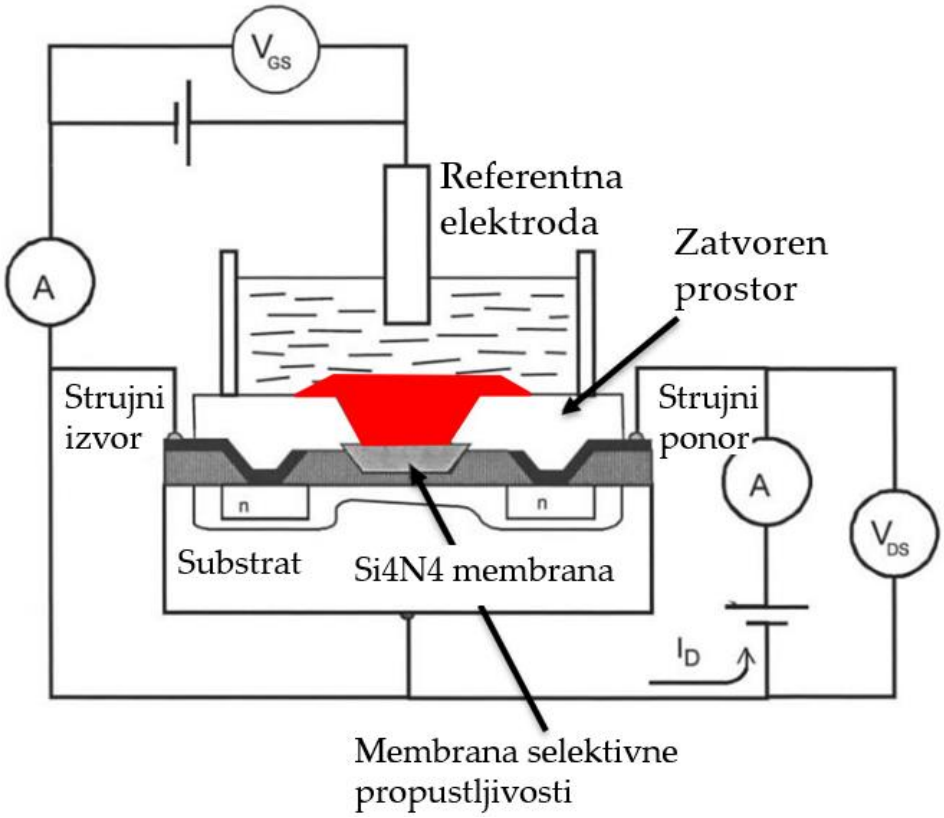
Senzor aktivnih jona

Ova vrsta senzora predstavlja malu pokretnu laboratoriju (slika 4.18) kojom se određuje sadržaj određenih jona i hemijskih jedinjenja, čime se indirektno određuju sadržaj hraniva u zemljištu i pH. Smatra se da ovi senzori pružaju najkorisnije informacije sa aspekta primene precizne poljoprivrede.



Slika 4.18. Senzorski sistem (ISFET) za mapiranje pH, električne provodljivosti i spektralne karakteristike

Uređaj ima specijalne elektrode *ISE* (*ion-selective electrodes*) ili je opremljen *ISFET* (*ion-sensitive field-effect transistor*) tranzistorom. Njima se detektuje aktivnost određenih jona na prelazu između osetljive membrane koja je potopljena u pripremljeni zemljišni rastvor. *ISE* sistem se sastoji od membrane osetljive na pojedine jone i referentne elektrode.



Slika 4.19. Električno kolo ISFET senzora pH zemljišnog rastvora

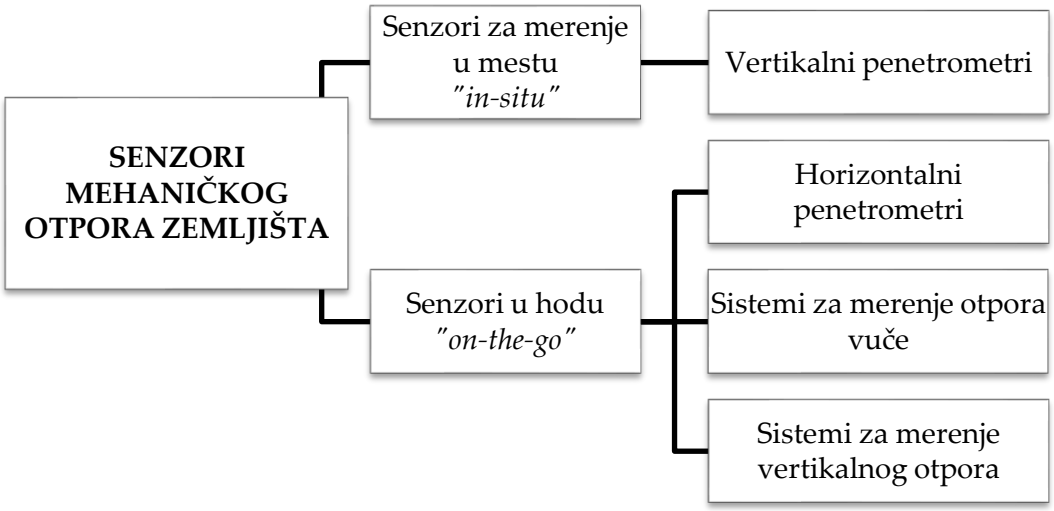
Razlika u potencijalu koja se javi između osetljive membrane i referentne elektrode se odmerava i pretvara u vrednost koja govori o aktivnosti pojedinih jona. Sonda koja radi uzorkovanje je opremljena membranom i elektrodom. *ISFET* sistem integriše *ISE* sistem i *FET* tranzistorski efekat. Struja između poluprovodnika (*Sors* i *Drejn*) kontroliše se elektrodom (*Gejt*) koja predstavlja osetljivu membranu na jone (slika 4.19). Budući da ciljani joni deluju na *Gejt* elektrodu, napon koji se javlja inicira struju između *Sors* i *Drejn* elektrode. *ISFET* u odnosu na *ISE* ima kompaktniju građu i bolji odnos signal-šum. Procedura koja se primenjuje tokom merenja aktivnosti jona se može podeliti na metodu kojom se po posebnim procedurama priprema uzorak i rastvor, i metodu direktnog merenja (*Viscarra Rossel et al., 2005*; *Adamchuk et al., 2005*). Direktna metoda je atraktivnija, brža, ali rezultati ne moraju uvek tačno određivati količinu pristupačnih hraniva. Tehnike koje se koriste za detekciju osobina zemljišta sa različitim uređajima date su u tabeli 4.3.

Tabela 4.3. Komercijalno dostupne tehnike za detekciju zemljišnih svojstava

Osobina zemljišta	Uticaj na prinos	Tip senzora	Kalibracija
Hraniva	Nedostatak N, P, K	*Vis/NIR/SWIR/MIR* spektroskopija, senzor aktivnih jona	Laboratorijska analiza uzoraka
pH rekacija	Redukcija pristupačnosti hranljivih elemenata	senzor aktivnih jona	
Organska materija	Smanjen kapacitet za vodu, erozija, sabijanje	*Vis/NIR/SWIR/MIR* spektroskopija,	
Kapacitet za razmenu katjona	Slabo vezivanje jona za adsorptivni kompleks zemljišta	Elektromagnetna provodljivost, Strujna provodljivost	
Zaslanjenost	Blokiranje osmotskih procesa, pogoršanje fizičkih osobina zemljišta	Elektromagnetna provodljivost, Strujna provodljivost, *GPR* radar	

4.4 SENZORI MEHANIČKOG OTPORA ZEMLJIŠTA

Sistemi za merenje mehaničkog otpora zemljišta mogu se podeliti u dve osnovne grupe (slika 4.20).

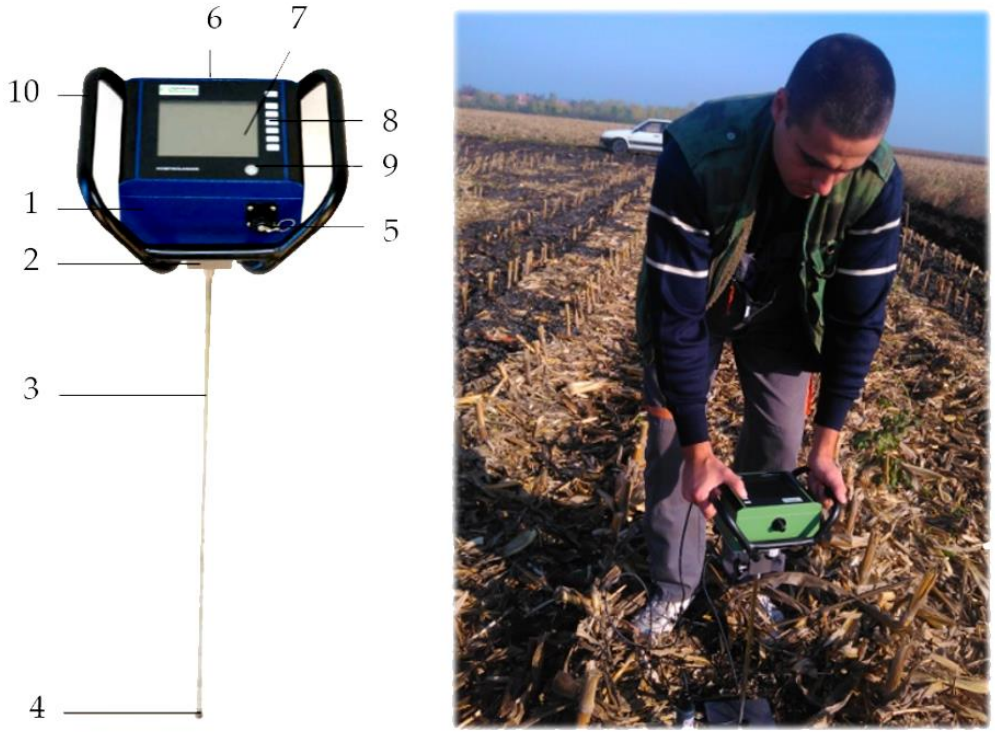


Slika 4.20. Podela sistema za merenje mehaničkog otpora zemljišta prema operativnoj koncepciji

Bazirana na postojećoj mernoj tehnologiji, razvijena je familija prototipnih uređaja za merenje ukupnog mehaničkog otpora zemljišta realno u vremenu i prostoru (*Gaultney, 1989*). Ti uređaji su pokazali da su u stanju da odrede fizičko stanje zemljišta. Njihova operativnost može biti predviđena za merenje na konstantnim dubinama (sistemi za merenje horizontalnog otpora) ili promenljivim dubinama (sistemi za merenje horizontalnog i vertikalnog otpora).

Vertikalni penetrometri

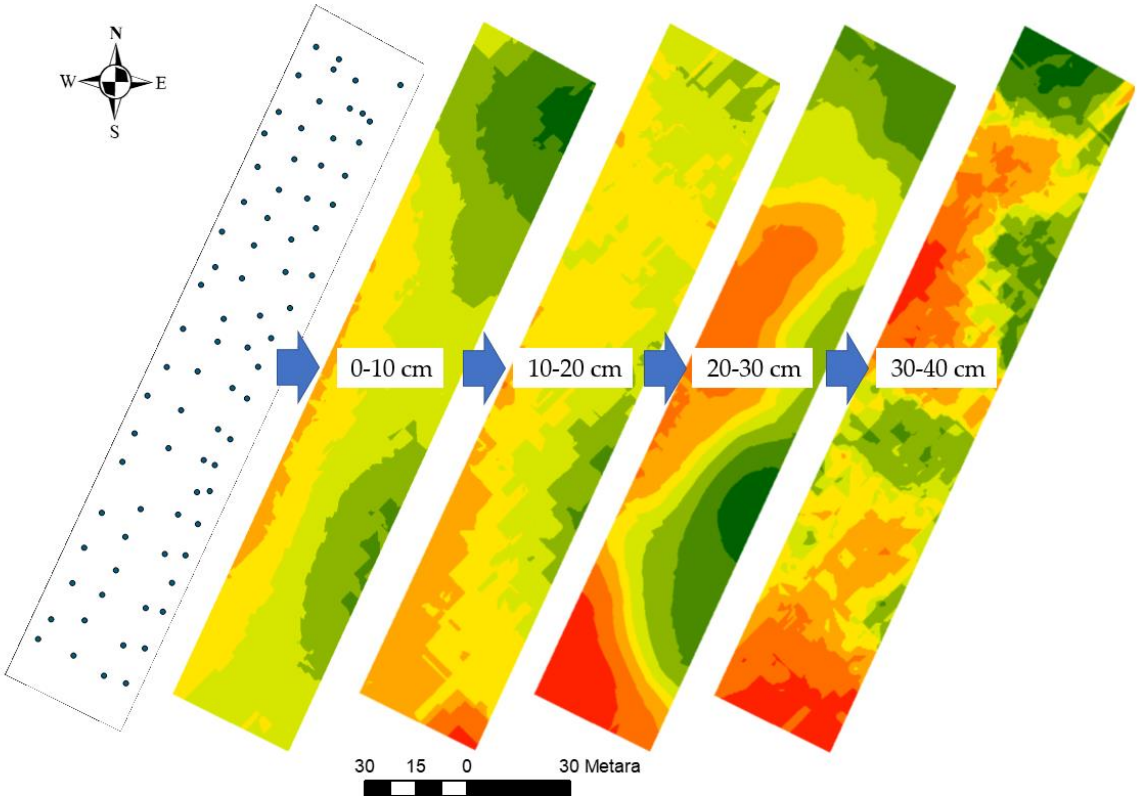
Konusni penetrometar se tradicionalno koristi za ocenu sabijenosti zemljišta po dubini. Prema standardu ASAE S313.3 (*ASAE, 2004*), konusni penetrometar se sastoji od štapa sa konusnim vrhom poznatog prečnika osnove, čiji ugao šiljka može biti 30° ili 60° (slika 4.21). Širina osnove konusa može biti 20,27 mm, 15,88 mm, 12,83 mm i 9,53 mm. Izbor vrha konusnog penetrometra zavisi od sabijenosti zemljišta i osetljivosti koja se želi postići tokom merenja. Za sabijenija zemljišta koriste se uži konusi sa manjim uglom, dok se na rastresitijim biraju širi sa većim uglom.



Slika 4.21. Konusni penetrometar „Penetrologger“ (Kostić, 2015)
1 - Vodootporno kućište; 2 - Amortizer udara; 3 - Sondirna šipka; 4 - Konusni šiljak; 5 - Komunikacioni priključak; 6 - GPS prijemnik; 7 -LCD ekran; 8 - Kontrolna tabla; 9 - Nivelator; 10 - Izolovane ručke

Standardno se za većinu poljoprivrednih zemljišta koriste konusi prečnika 12,83 mm i 15,88 mm. Brzina utiskivanja konusnog vrha treba da bude konstantna oko 3 cm/s. Kada su ručni penetrometri u pitanju, najveći problem predstavlja postizanje ujednačene brzine utiskivanja usled heterogenosti slojeva. Penetrometri su senzorski sistemi koji mere silu utiskivanja konusnog vrha u zemljište na određenim dubinama.

Dubina prodiranja konusa se detektuje istovremeno sa silom, a podaci se skladište u internu memoriju procesorske jedinice. Konusni indeks (CI), kao pokazatelj sabijenosti zemljišta, računa se kao količnik penetracione sile i površine osnovice konusa (jedinica kPa, MPa).



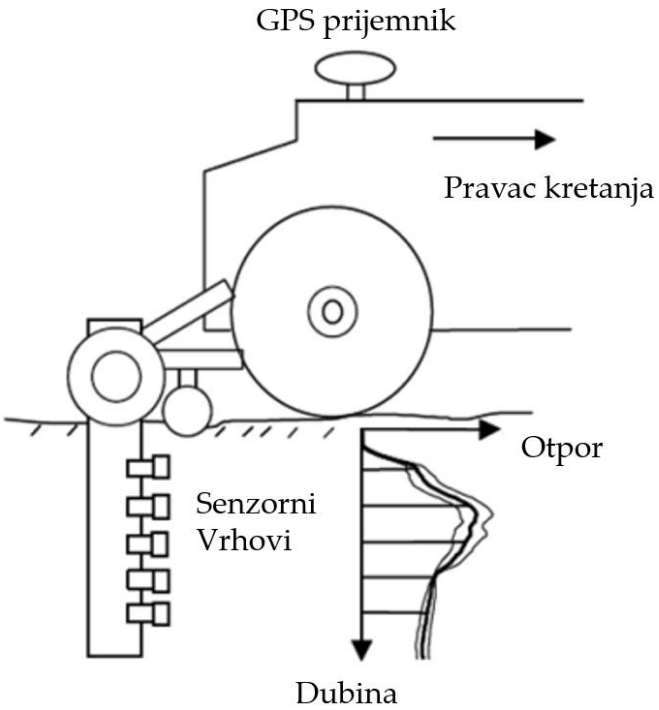
Slika 4.22. Prikaz lokacija merenja i varijabilnost sabijenosti zemljišta po slojevima. Mape su generisane kriging interpolacijom eksperimentalnih podataka (Kostić et al., 2013)

Indeks konusa je empirijski pokazatelj stanja zemljišta i proizvod je nekoliko svojstava zemljišta. Noviji modeli penetrometra su opremljeni jednofrekventnim *GPS* prijemnikom (tačnosti 2-5 m) kojim se određuje geografska lokacija svakog mernog mesta. Podaci o koordinatama omogućavaju dalju manipulaciju u *GIS* programima radi prostornog modelovanja. Grafički prikazani podaci u vidu interpoliranih mapa daju uvid na mesta na kojima postoji povećana sabijenost i gde treba primeniti postupke popravljanja fizičko-mehaničkih osobina zemljišta (slika 4.22).

Horizontalni penetrometri

Teorija nosivosti zemljišta pretpostavlja određeni način pomeranja površinskog sloja zemljišta prilikom objašnjavanja interakcije sa oruđem koje prodire. *Chung i Sudduth (2006a)* razvili su analitički model za procenu potrebne sile za prodiranje (sečenje i pomeranje) kroz zemljište konusnim penetrometrom upotrebom teorije nosivosti zemljišta (preuzeta iz oblasti geofizike). Oni su takođe osmislili analitički model za horizontalno kretanje prizmatičnog sečiva koristeći isti model. Na osnovu toga, model kretanja zemljišta za horizontalni penetrometar zavisi od položaja mernog - radnog elementa u odnosu na „kritičnu dubinu“. Takođe, pretpostavljeni model pomeranja

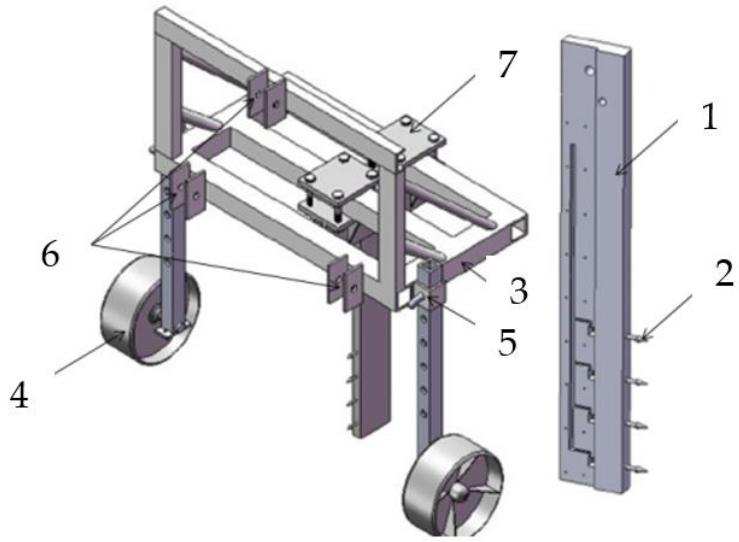
zemljišta je validan sve dok prizmatični element radi ispod kritične dubine. U suprotnom model pomeranja zemljišta je „srpast“ i merni element ne registruje isti otpor kao vertikalni penetrometar. Prema navodima (*Terzaghi, 1943*; *Meyerhof, 1951*; *Hu, 1965*) koje koristi *Kostić (2015)* u svom radu, pomenuti model je kombinacija tri prethodna modela i predstavlja dopunsku funkciju mase zemljišta, kohezije, adhezije i operativne brzine. Za merenje fizičkog stanja zemljišta u više slojeva razvijeno je nekoliko sistema (*Chung et al., 2003*; *Chung et al.,2004a*; *Chung et al., 2004b*; *Chung et al., 2005*; *Chung et al., 2006*; *Chukwu i Bowers, 2005*). U svojim radovima, autori objašnjavaju ideju o upotrebi horizontalnog penetrometra sa više mernih elemenata radi određivanja stepena sabijenosti zemljišta na konkretnim dubinama s ciljem lociranja dubine nepropusnih - sabijenih slojeva. *Chung et al. (2006b)* dizajnirao je senzor za merenje sabijenosti po dubini koga je nazvao SSPS. Senzor ima više prizmatičnih šiljaka sa uglom vrha od 60° i osnovom 361 mm² (19 x 19 mm), montiranih na vertikalnom nosaču širine 25,4 mm i sa uglom oštrice od 60°. Ovaj SSPS uređaj konstruisan je tako da ima vertikalno, u liniji raspoređene merne ćelije koje su povezane sa nosačem-sečivom (slika 4.23 i slika 4.24).



Slika 4.23. Operativni koncept merenja mehaničkog otpora zemljišta u više slojeva

Prizmatični šiljci su postavljeni ispred oštrice vertikalnog nosača i međusobno su odvojeni, na jednakim rastojanjima. Testirane su varijante sa različitim dužinama prizmatičnog šiljka i različitim međusobnim rastojanjima. Kao reprezentativna kombinacija odabrana je ona sa dužinom vrha od 5,1 cm i međusobnim rastojanjem 10 cm, radi minimiziranja uticaja rada vertikalnog nosača i susednih vrhova. Sabijenost zemljišta koja je dobijena tokom testa upotrebom SSPS senzora na dubini od 30 cm i vrednosti dobijene primenom standardnog konusnog penetrometra na istoj dubini su u linearnoj korelaciji (R^2=0,6), dok je na dubini od 10 cm daleko slabija

relacija. Slabu statističku povezanost podataka dobijenih na dubini od 10 cm autori objašnjavaju kao posledicu male prostorne varijacije. Međutim, to se može povezati sa pojavom različitih modela kretanja zemljišta pri jednom, odnosno drugom merenju. U prvih 10 cm dubine, zemljište je u stanju iznad kritične dubine za vertikalni nosač debljine 25,4 mm (15,2 cm kritična dubina), dok je zemljište ispred konusnog vrha na toj dubini u permanentnoj fazi pomeranja po modelu kapaciteta nosivosti zemljišta. Dijagram sabijenosti standardnog penetrometra je nelinearan, dok dijagram vrednosti dobijenih upotrebom horizontalnog penetrometra pokazuje linearnu zavisnost otpora i dubine (*Chung et al., 2004a*). Linearna zavisnost konusnog indeksa i *PSSI* otpora pri brzini kretanja od 0,5 m/s nije statistički značajna na dubini od 10 cm, dok je na dubini od 20 cm i 30 cm statistički značajna. Kada se poveća brzina na 1,5 m/s, odnosno 2,5 m/s, linearna zavisnost postaje značajna na svim dubinama. Sistem je traktorski nošeni sa ramskom konstrukcijom i vertikalnim nosačem koji na sebi ima merne vrhove na međusobnom rastojanju od 10 cm. Rezultati merenja otpora na dubinama od 10 cm, 20 cm, 30 cm i 40 cm ukazuju na značajan uticaj vlažnosti zemljišta na vrednosti otpora. Brzina kretanja raonih elemenata kroz zemljište u intervalu od 1,78 km/h do 3,57 km/h nije značajnije uticala na vrednosti otpora.



Slika 4.24. Model sistema OSBSMR-a: 1 - vertikalno telo; 2 - konusna šipka; 3 - šasija; 4 - potporni točak; 5 - fiksni otvori za podešavanje dubine; 6 - uređaj za priključivanje; 7 - rastavljiva veza vertikalnog nosača i šasije

Ustanovili su dobru korelaciju između CI i vrednosti za OSBSMR-a na dubinama 20-30 cm i 30-40 cm, dok je na dubinama 0-20 cm korelacija marginalna. Ova pojava je objašnjena kritičnom dubinom zemljišta od 20 cm.

Sistemi za merenje otpora vuče

Merenje otpora vuče raonog pluga može biti potencijalno korisna alatka za kontinualno mapiranje i služiti kao reprezentativna promenljiva zemljišnih karakteristika kao što je sabijenost zemljišta (*Hayhoe et al., 2002*; *Lapen et al., 2002*).

Filtracija signala i spektralna analiza sirovih podataka primenom brze Furijerove transformacije (FFT) omogućava bolju procenu prostornih pojava (*Hayhoe et al., 2002*). Isti autori dokazuju da su visokofrekventne oscilacije obično rezultat interakcije zemljišta i oruđa usled pojave mrvljenja zemljišta tokom obrade. *Stafford (1981)* utvrdio je da je periodično opterećenje oruđa za obradu posledica krte deformacije zemljišta, dok je izostanak periodičnosti u signalu posledica plastične deformacije. *Owen et al. (1990)* utvrdio je da prelazak sa krte deformacije zemljišta na plastičnu predstavlja znak da je nadmašena kritična dubina pri kojoj se zemljište podiže i pada bočno od radnog tela po modelu *Godwin i Spoor (1977)*. Sa druge strane, niske frekvencije promene opterećenja pri obradi ukazuju na varijaciju trenutnih fizičkih osobina zemljišta kao što su: vlažnost, mehanički sastav i/ili sabijenost (*Owen et al., 1990*; *Hayhoe et al., 2002*). *Andrade et al. (2003)* analizirao je podatke o sili otpora koja deluje na instrumentalizovani merni - radni organ korišćenjem FFT (Furijerova transformacija signala iz vremenskog u frekventni domen) i doneo zaključak da frekventni spektar amplituda zavisi od uslova u kojima je testiranje obavljeno. Dalja analiza podataka ukazuje na to da osnovni fenomen pomeranja zemljišta ne predstavlja determinisani haos, već obično Braunovo kretanje (*Brownian motion*).

Regresiona analiza *Lapen et al. (2002)* govori da se varijabilnost otpora vuče pluga najbolje objašnjava lokacijom na parceli, vrstom preduseva, konusnim indeksom i teksturom zemljišta u oraničnom sloju. Utvrđeno je da otpor vuče raonog pluga generalno raste sa porastom vrednosti konusnog indeksa i sadržaja gline. *Lapen et al. (2002)* predlaže da podaci o otporu vuče prikupljeni tokom normalne operacije obrade mogu biti korišćeni od strane proizvođača, koji su zainteresovani za prepoznavanje delova parcele gde sabijenost može ograničiti prinos.

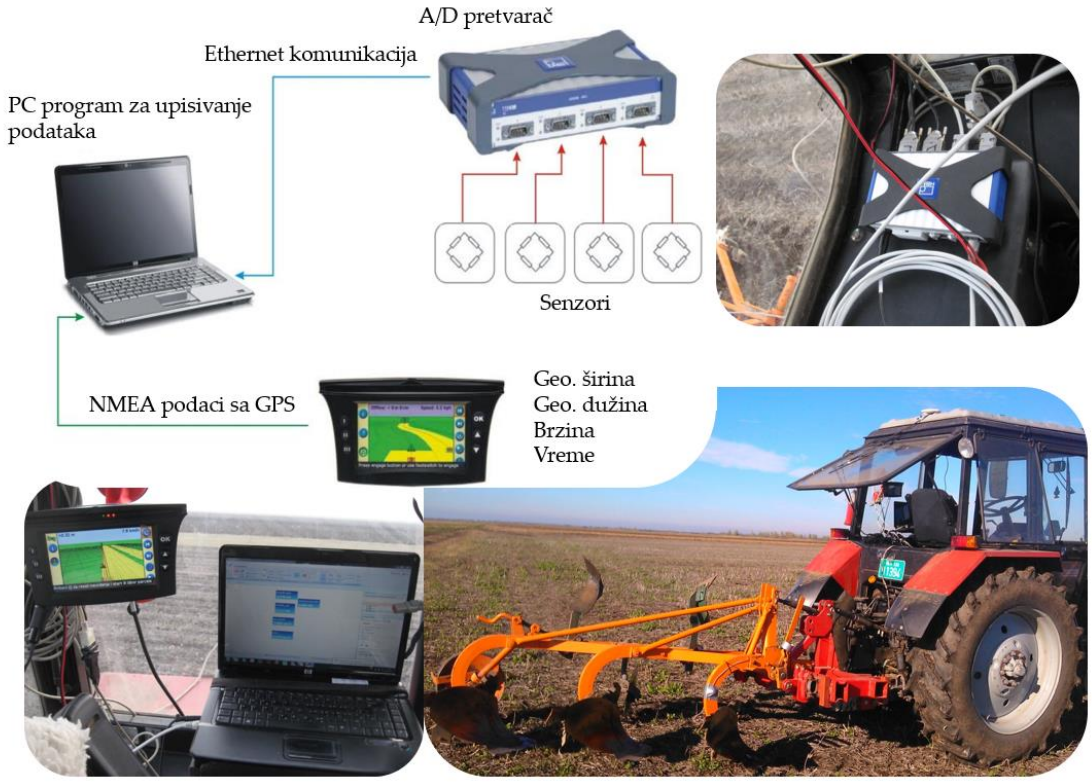
Metodu za unapređivanje načina određivanja fizičkih osobina zemljišta upotrebom podataka o otporu vuče predložio je *Van Bergeijk et al. (2001)*. U njegovim istraživanjima, informacije koje se prikupljaju automatski tokom oranja služe za predviđanje sadržaja gline u oraničnom sloju. Oni su utvrdili da upotreba otpora vuče pluga kao kovarijabile tokom kokriging interpolacije daje mogućnost redukcije broja uzoraka zemljišta radi utvrđivanja sadržaja gline sa 60 na 18 po hektaru uz porast greške za 20%. Na istom polju, utvrdili su da prostorna raspodela gline odgovara mapi prinosa.

Merenje otpora vuče mašina za obradu zemljišta se može obavljati uz primenu univerzalnih mernih ramova, instrumentalizovanih priključnih mašina ili pomoću instrumentalizovanih traktora na svojim podiznim hidrauličnim polugama koji imaju postavljene davače sile. Svi sistemi imaju određene prednosti i nedostatke, ali se uopšteno može reći da je merenje otpora vuče primenom mernih ramova više zastupljeno u naučnim istraživanjima u odnosu na instrumentalizovane traktore. Osnovni razlozi za to su jeftina izrada mernog rama, mobilnost i univerzalnost primene. Pored pomenutog, opterećenja koja se javljaju na mernim ramovima mere se u konkretnim ravnima bez razlaganja, dok su opterećenja koja se mere na podiznim

hidrauličnim polugama traktora prostorno orijentisana i teško ih je odrediti. Merni ramovi se koriste za merenje otpora vuče na standardnim mašinama i kroz istraživanja su se pokazali kao veoma korisna platforma za ispitivanje stanja zemljišta i efekata rada mašine. Kod druge kategorije sistema, senzori su postavljeni na radnoj mašini bez dodatne modifikacije mašine. Osnovni smisao ovih sistema je određivanje interakcije mašine i zemljišta (*Adamchuk et al., 2004*; *Formato et al., 2005*).

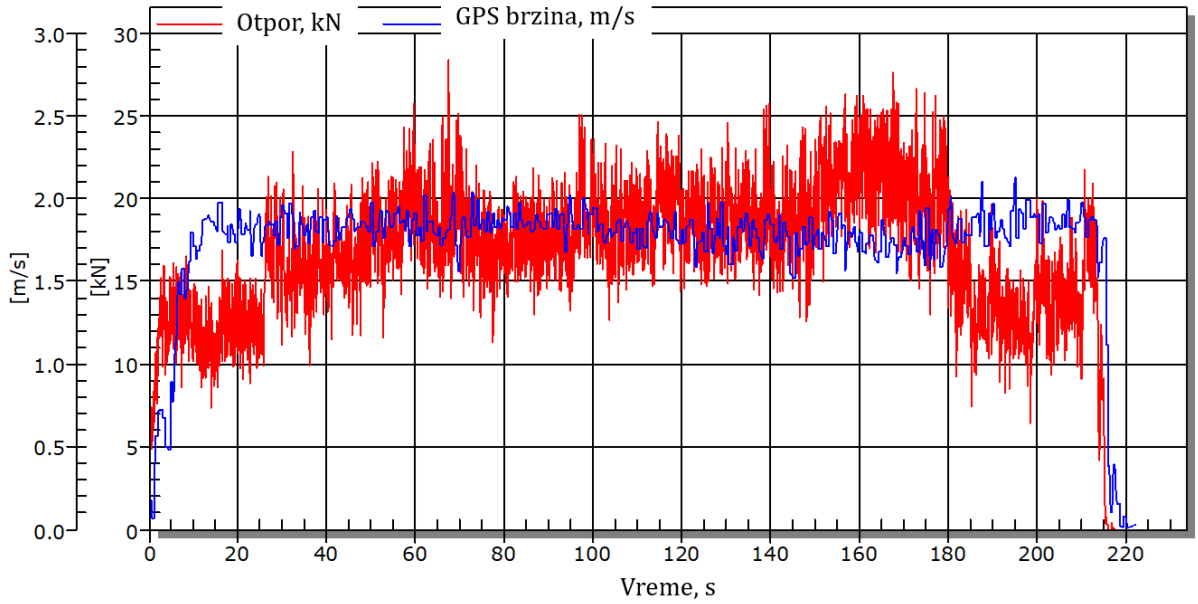
Ram je merni element na kome se nalaze instalirane merne ćelije, a oslanja se između traktora i mašine (*Kheiralla et al., 2003*; *Askari et al., 2011*; *Alimardani et al., 2008*; *Scholtz 1966*). Prednost merenja sile otpora mernim ramom je lako razlaganje na horizontalnu, vertikalnu i bočnu silu. Takođe, omogućava univerzalnu primenu na različitim traktorima i priključnim mašinama. Nedostatak predstavljaju porast ukupne mase sistema i promena polaznih geometrija agregata. Treća kategorija su sistemi koji su najmanje zastupljeni, a kod kojih se merne ćelije montiraju na poluge hidrauličnog sistema traktora (*Bentaher et al., 2008*; *Al-Janobi et al., 1998*). Kod ovog sistema se ne remeti početna geometrija, ali je analiza sila složena i podrazumeva korišćenje specijalnog, instrumentalizovanog traktora.

Autori *Kostić et al. (2014)* dizajnirali su i ispitali pouzdanost originalnog rešenja mehaničkog mernog rama opremljenog mernim ćelijama visoke tačnosti. Uređaj je namenjen za merenje opterećenja u pravcu kretanja traktorskog agregata tokom obrade zemljišta. Prilagođen je za rad sa traktorima i mašinama II i III kategorije (slika 4.25).



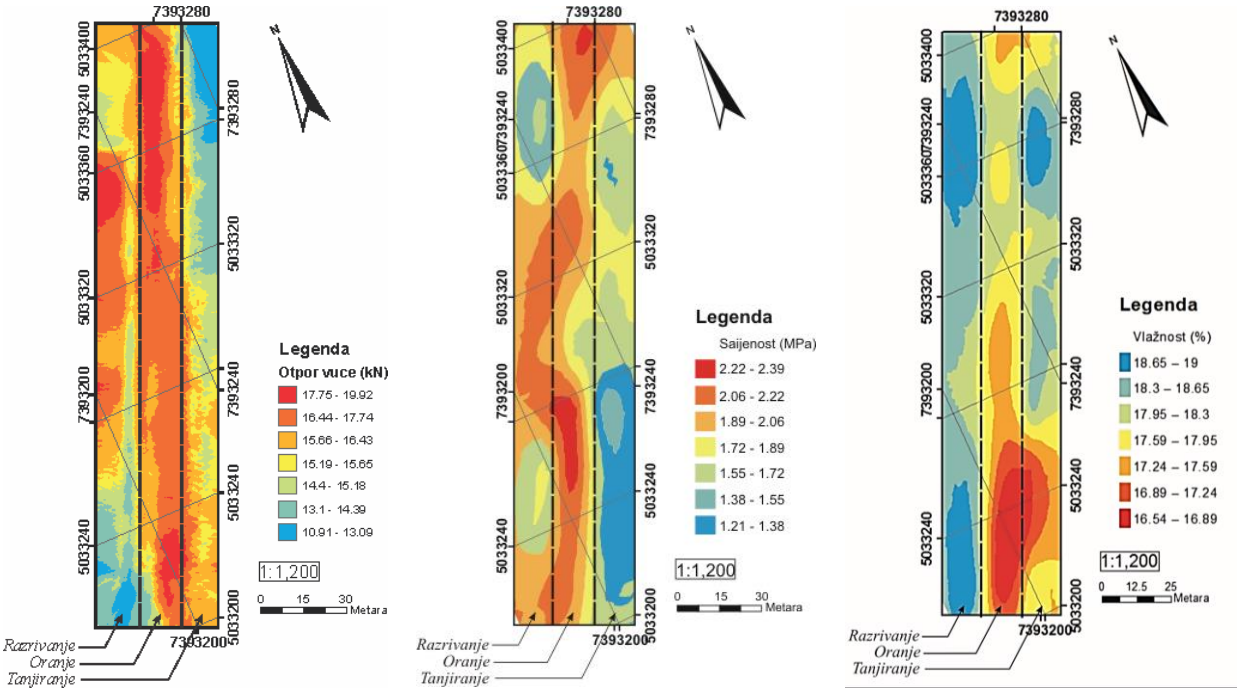
Slika 4.25. Sistem za merenje otpora obrade zemljišta u realnom vremenu i prostoru (Kostić et al., 2014; Kostić et al., 2016)

Sile nastale na mernim mestima su direktna posledica mehaničkog otpora deformacije zemljišta. Merni sistem ne meri bočna i vertikalna opterećenja. Zapis signala sa senzora sile i GPS prijemika dat je na slici 4.3. Uređaj predstavlja posrednu vezu mašine i traktora, suštinski se ponaša kao ekstenzija priključne mašine. Omogućava obavljanje operacije obrade i merenje otpora zemljišta realno u vremenu i prostoru bez remećenja kvaliteta rada i učinka mašine. U patentnoj dokumentaciji autori *Kostić i Malinović (2014)* detaljno su opisali elemente i funkcionalnost konstrukcije. Autori *Kostić et al. (2016)* koristili su isti merni ram za detekciju varijabilnosti fizičkih osobina zemljišta po principima precizne poljoprivrede. Da bi postigli različito stanje zemljišta tokom merenja otpora sa raonim plugom, zemljište je u prethodnoj proizvodnoj godini obrađeno primenom tri različite operacije (duboko oranje na 30 cm, razrivanje na 15 cm i tanjiranje na 10 cm dubine).



Slika 4.26. Zapis sa senzora u realnom vremenu za jedan prohod

Georeferencirane podatke o otporu obrade raonim plugom uporedili su sa georeferenciranim podacima sabijenosti, vlažnosti i teksture u proceduri statističke i geostatističke analize, a naknadno su izrađene tematske mape (slika 4.27). Prostorna distribucija vrednosti otpora vuče pokazuje izvesnu sličnost sa prostornom raspodelom vrednosti sabijenosti pre svega, ali i u manjem obimu i sa sadržajem vlage, no u obrnutoj srazmeri. Statističkim poređenjem vrednosti otpora vuče i sabijenosti po kriterijumu zajedničke geografske lokacije dobijena je visoka međusobna zavisnost (R^2=0,73).



a) b) c)

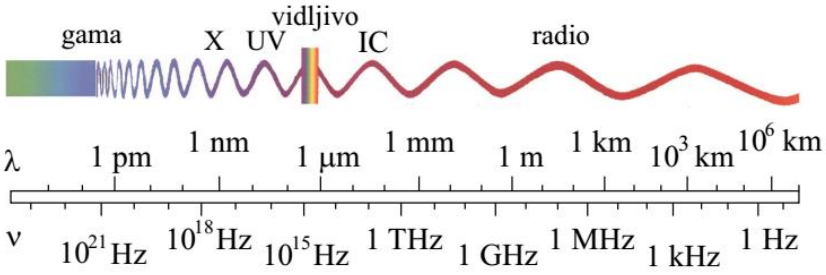
Slika 4.27. Mape dobijene analizom podataka sa mernog rama, penetrometra i uzoraka zemljišta: a) mapa otpora vuče; b) mapa sabijenosti zemljišta; c) mapa vlažnosti zemljišta

5 SENZORSKO MERENJE OSOBINA USEVA

Osobine gajenih biljaka na otvorenim poljoprivrednim parcelama najčešće imaju izraženiji stepen prostorne heterogenosti u odnosu na zemljište. Razvoj useva nije uslovljen samo kvalitetom zemljišta nego i uticajem mikroklimatskih faktora, genotipskih osobina sorte/hibrida, prisustvom bolesti i štetočina, kretanjem podzemnih voda, aktivnostima čoveka itd. Za detekciju prostorne varijabilnosti stanja useva veliku primenu imaju tehnike koje se baziraju na merenju spektra reflektovanih elektromagnetnih talasa ili tzv. spektrofotometrija.

Spektrofotometrija je metoda merenja interakcije svetlosti i materijala koji se osvetljava, odnosno talasnih dužina reflektovanih zraka koji se prikazuju u vidu spektra.

Postoji suštinska razlika u vremenskoj dinamici osobina useva u odnosu na osobine zemljišta. Pre svega, osnovne osobine zemljišta kao što su tekstura, sadržaj organske materije i pH menjaju se kontinualno u prostoru i prilično su stabilne u toku jedne proizvodne sezone, dok se u slučaju useva osobine drastično menjaju tokom razvojnog ciklusa jer biljke prolaze različite razvojne faze. Prema tome, momenat detekcije useva je od krucijalnog značaja za upotrebljivost podataka.



Slika 5.1. Spektar elektromagnetnih talasa

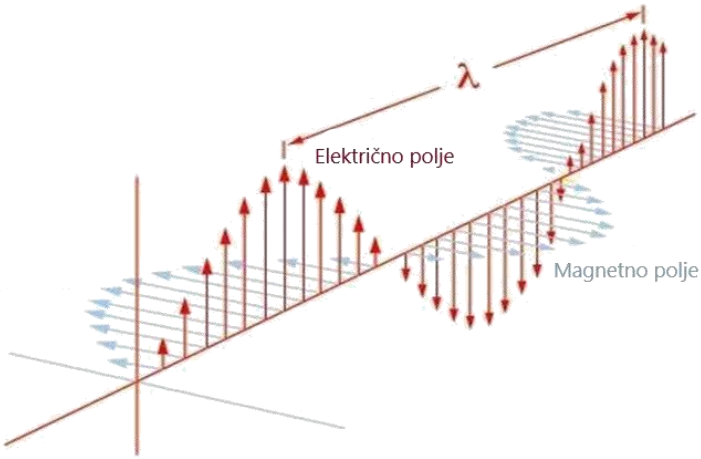
Elektromagnetni talasi se u zavisnosti od vrednosti svoje talasne dužine (ili učestalosti) dele u nekoliko grupa. Najveću talasnu dužinu imaju radio-talasi. Oni potiču od kretanja naelektrisanja u emisionim antenama, dobijaju se pomoću specijalno konstruisanih elektronskih uređaja i primenjuju se u telekomunikacijama. Infracrveni, vidljivi i ultraljubičasti talasi potiču od promena energije u atomima ili molekulima usled prelaska elektrona sa viših na niže elektronske nivoe (elektromagnetni spektar prikazan na slici 5.1). Rendgenski ili X-zraci su elektromagnetni talasi koji nastaju kada se brzi elektroni koče pri sudaru sa nekim

materijalom. Pojedine vrste zračenja u spektru nisu strogo odvojene jedna od druge, već dolazi do njihovog preklapanja (*Karamarković, 2005*).

Elektromagnetno zračenje dolazi do objekata na zemlji i u momentu kada dođe u dodir sa površinom nekog objekta menja svoj intenzitet, talasnu dužinu, smer, polarizaciju i faze.

Kakve će promene nastati zavisi od fizičkih i hemijskih osobina objekata, a ukoliko su u pitanju biljne ili životinjske strukture, zavisi od anatomije i fiziološkog stanja istih. Zračenje se može reflektovati, apsorbovati ili propustiti, ali predmet može i emitovati sopstvenu energiju. Na osnovu istraživanja senzorom, povratne informacije mogu se protumačiti u obliku karakteristika istraživanog objekta.

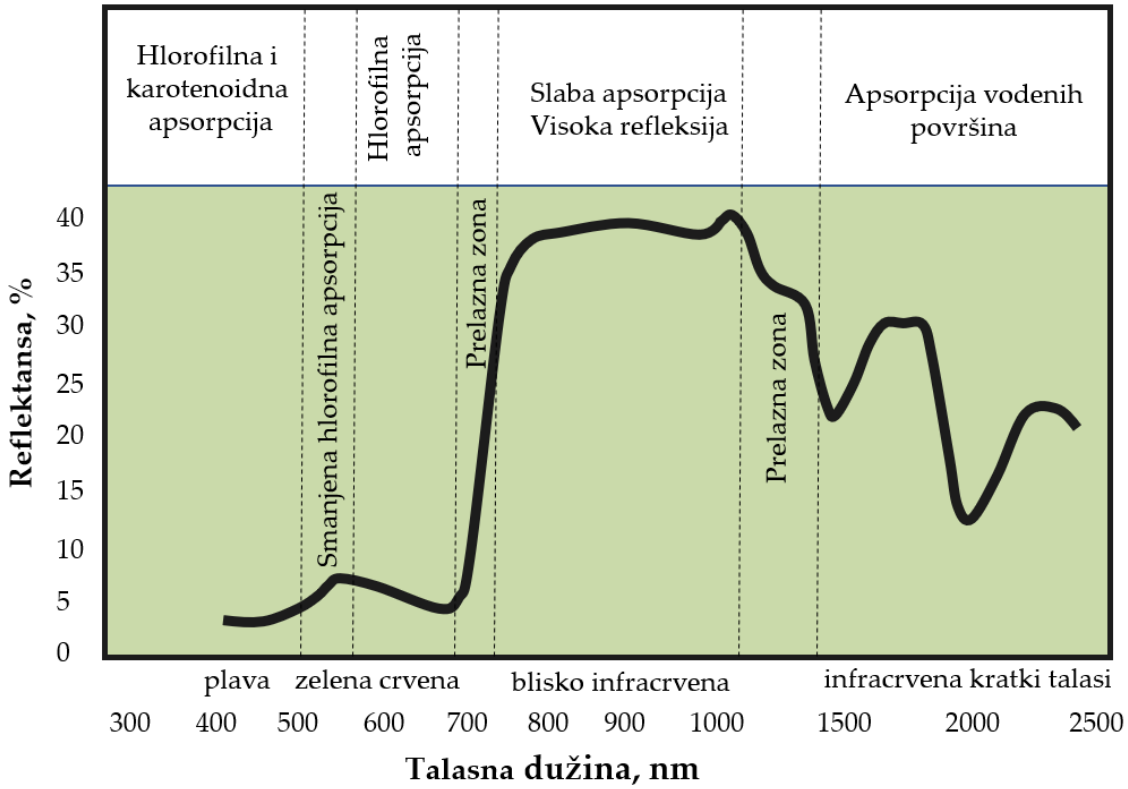
Svaki objekat poseduje energiju određene frekvencije i talasne dužine i može da emituje energiju dela elektromagnetnog spektra. Određene čestice materije poseduju električni naboj i stvaraju električno polje, koje deluje silom na svaki električni naboj koji se nalazi u njemu. Ove čestice čine električnu struju koja stvara magnetno polje. Magnetno polje takođe deluje silom na svaku česticu sa električnim nabojem u pokretu. Na taj način izmenjeno električno polje stvara magnetno polje, a izmenjeno magnetno polje stvara električno polje. Nastale promene vode ka uvećanju energije u vidu povezanih električnih i magnetnih polja sa vremenski i prostorno promenljivom jačinom. Vektori električnog i magnetnog polja međusobno su upravni, a u svakoj tački prostora pružaju se upravno na pravac pružanja energije (slika 5.2).



Slika 5.2. Prostiranje elektromagnetnog polja u prostoru (http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)

Zabeleženo zračenje, odnosno elektromagnetni spektar, koji sa sobom nosi elektromagnetna energija, naziva se jednim imenom snimak (*Mather, 1999*). Snimak je izvor informacija za ono što se posmatra, ali nije upotrebljiv sve dok se ta energija ne prevede u vidljivu sliku. U praksi se javlja veliki broj ili više vrsta snimaka, koji se mogu obrađivati računarskim putem. Ako se posmatra vidljivi deo spektra elektromagnetnih zraka, najveći deo se apsorbuje u procesu fotosinteze. Kod zdravih biljaka, refleksija crvene i plave svetlosti je malog intenziteta, dok je refleksija zelene

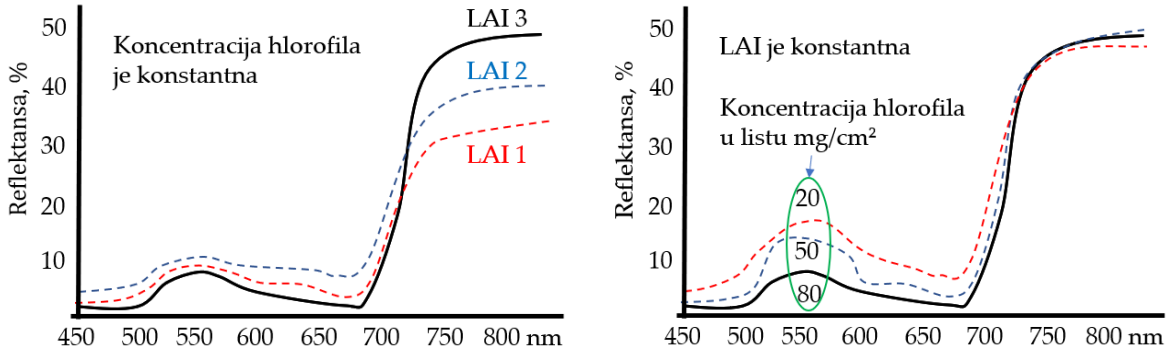
mnogo izraženija, što u ljudskom čulu vida daje osećaj zelene boje. Blisko infracrvena svetlost je u opsegu talasnih dužina od 700 nm do 2.500 nm i ima dva podopsega. Opseg od 700 nm do 1.300 nm ima visoku reflektansu, dok suprotno viši deo spektra od 1.300 nm do 2.500 nm ima nisku reflektansu.



Slika 5.3. Spektar reflektovanih talasa od strane vegetacije

Kada se posmatra spektar reflektovanih talasa od vegetacije ili zemljišta, onda je primetno da je u slučaju zemljišta, reflektansa značajno veća u delu vidljivog i blisko infracrvenog spektra, dok je u slučaju vegetacije u pomenutom spektru veća apsorpcija nego refleksija zbog fotosinteze biljnog tkiva. Stoga postoji nagli skok reflektanse vegetacije na prelazu od vidljivog do infracrvenog spektra. Ova zona prelaza se naziva crveni rubni spektar (*red edge*). Spektralna kriva prikazana na slici 5.3 predstavlja orijentacionu krivu kojom se pokazuje razlika u refleksiji između zemljišta i biljaka. Spektralna karakteristika reflektovane svetlosti od zemljište se razlikuje u zavisnosti od tipa zemljišta, udela organske materije i hemijskog sastava. Najveći uticaj na spektralni odraz vegetacije imaju udeo hlorofila u biljnom tkivu i količina biomase. Važan pokazatelj kod biljnih vrsta u karakterizaciji razvojne faze ima indeks lisne površine (*LAI - leaf area index*). Definiše se kao odnos lisne površine koja vrši aktivnu fotosintezu i površine pozadine. *LAI* ima najmanju vrednost u početnim fazama razvoja (0), a najveću u završnim fazama (do 8). *LAI* pokazatelj je veoma bitan prilikom analize koncentracije hlorofila gde se kao merodavan pokazatelj dobija količina hlorofila po jedinici površine lista. Stoga je korisno zasebno analizirati *LAI*, odnosno količine hlorofila pri analizi uticaja na spektar refleksije (slika 5.4). Uticaj količine hlorofila u listu je rezervisan isključivo za spektar ispod crvenog rubnog

opsega talasnih dužina. Veće talasne dužine ne utiču na refleksiju aktivne lisne površine. U vidljivom delu spektra je niža refleksija sa povećanjem koncentracije hlorofila u listu. Efekti površine lista i količine hlorofila na refleksiju u vidljivom delu spektra nisu isti. Više zelene površine smanjuje refleksiju u zoni crvene svetlosti, dok više hlorofila smanjuje refleksiju zelene svetlosti.



Slika 5.4. Spektar reflektovane svetlosti od biljaka zavisno do LAI (a) i koncentracije hlorofila (b). Prikazani su orijentacioni modeli preuzeti od Reusch (1997).

Refleksija u domenu vidljive i blisko infracrvene svetlosti se koristi za diferencijaciju između zemljišta i vegetacije. Ukoliko se želi dobiti detaljnije objašnjenje o osobinama biljaka, neophodno je pristupiti analizi pojedinačnih talasnih opsega u celokupnom spektru reflektovane svetlosti. Taj pristup se koristi prilikom analize više osobina kao što su biomasa, sadržaj vode i hraniva i još uvek se radi na usavršavanju tehnike.

U okviru daljinske ili bliske detekcije spektralnih karakteristika reflektovane svetlosti koriste se metode kojima se pojednostavljuje interpretacija rezultata u vidu korišćenja tzv. vegetativnih indeksa. Ovi pokazatelji predstavljaju algebarski odnos količine *NIR* (800 nm) i *RED* svetlosti (670 nm). Tako na primer, indeks koji se dobija kao R800/R670 može se koristiti za razlikovanje zone vegetacije od zone gole zemlje u cilju tretiranja samo pokrivenih površina u postupku hemijske zaštite useva.

Tzv. efekat prepoznavanja zelene boje (*green seeking*) može se postići pomoću Normalizovanog vegetativnog indeksa (*NDVI*) koji ima najširu primenu u detekciji stanja poljoprivrednih useva, iako ima određene nedostatke.

5.1 VEGETATIVNI INDEKSI

Postoji veliki broj vegetativnih indeksa koji se koriste u praksi bilo da su osnovni ili modifikovani.

Vegetativni indeks se izračunava korišćenjem različitih spektralnih opsega reflektovane svetlosti. Zdravstveno stanje biljke moguće je ispitati i proveriti, snimiti, a zatim i procesuirati pomoću različitih indeksa kao što su: *VI*, *NDVI*, *TNDVI*, *NDRE*, *VARI*, *SAVI*, *MSAVI2*, *TGI*, *SIPI2*, *LCI*, *BNDVI*, *GNDVI*. Svaki indeks ima drugačiju upotrebu i drugačiji vizuelni izlaz. Njihova svrha je provera trenutnog stanja biljke,

potreba za vodom i različitim hranljivim materijama, ili čak utvrđuju prisustvo bolesti ili insekata na biljci. Ovi indeksi se dobijaju snimanjem spektralnim kamerama ili optičkim senzorima čija cena zavisi od namene i rezolucije. Zbog visoke cene opreme, ali i zahtevnog rada tokom snimanja, najčešće se koriste usluge trećih lica koja će izvršiti snimanje ili usluge koje su na raspolaganju u vezi sa korišćenjem satelitskih snimaka sa manjom preciznošću.

Vegetativni indeks normalizovane razlike, ili u široj literaturi kao *NDVI* (*Normalised Difference Vegetation Index*), koristi se za merenje aktivnosti hlorofila u biljkama, što je u direktnoj srazmeri sa obezbeđenošću biljaka azotnim hranivima i ukupnom vitalnošću. U šumarstvu se koristi za kvantifikaciju indeksa šumske raznovrsnosti. U praksi se koristi više od 30 godina, najpre za globalnu analizu vegetacije i klasifikaciju površina na Zemlji na osnovu snimaka sa satelita. Smatra se najčešće korišćenim vegetativnim indeksom, jer se najlakše izračunava, ali veliki nedostatak je brzo dostizanje maksimalne vrednosti kod biljaka (tzv. zasićenje), te se nakon dostizanja maksimalnih vrednosti ne može koristiti za procenu stanja biljaka. Veoma je važan zbog praćenja sezonskih i višegodišnjih vegetacionih promena.

Matematički obrazac za izračunavanje *NDVI* vrednosti je:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

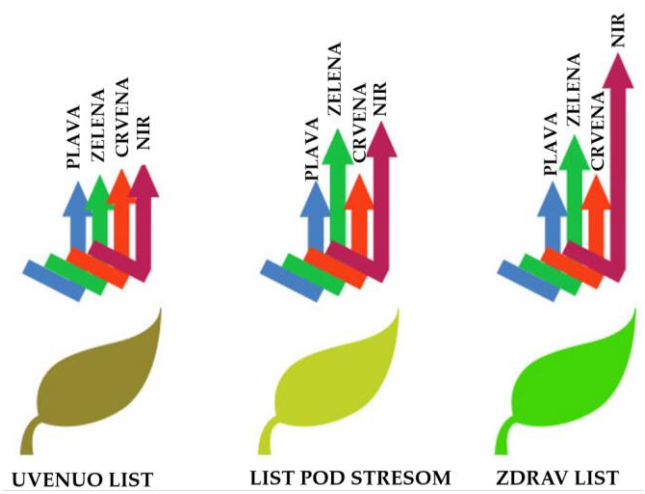
Gde je:

Nir – količina reflektovanih talasa u *NIR* talasnom opsegu i

Nred – količina reflektovanih talasa u *RED* talasnom opsegu.

Vrednosti ovog indeksa se kreću od -1 do 1, a vegetacija je u najvećem broju slučajeva od 0,3 do 0,8. Vrednosti od 0,2 do 0,3 predstavljaju travnata područja. *NDVI* je ekvivalentan *SR* (*Simple Ratio*) indeksu (*SR*=*RED*/*NIR*). Vrednosti *SR*-a se kreću od 0 do 30, a vegetacija je od 2 do 8. Zbog normalizacije vrednosti, *NDVI* daje merodavnije podatke u odnosu na *SR*. Skorija istraživanja pokazala su da empirijski podaci *NDVI* dobijeni satelitskom detekcijom mogu biti nestabilni, pošto variraju u zavisnosti od tipa i vlažnosti zemljišta i atmosferskih uslova. Iako se *NDVI* pokazao kao vrlo koristan prilikom procena vegetacionih osobina, mnogi bitni unutrašnji i spoljašnji uticaji ograničavaju njegovu globalnu korisnost. Poboljšani indeksi obično uključuju pozadinu zemljišta i/ili faktore atmosferskog prilagođavanja (*TNDVI, GNDVI, SAVI* i *MSAVI2*). *NDVI* vegetativni indeks često se koristi u naučnim istraživanjima kako kod nas tako i širom sveta (*Tagarakis et al., 2019*). Dobar je pokazatelj aktivnosti fotosinteze, jer kada je zemljište bez još izniklih biljaka, on je bliži nuli, a sa njihovim rastom i povećanjem fotosinteze i vrednost *NDVI* raste. Veće vrednosti u početku mogu označavati brži rast useva, ali i korova, dok niže vrednosti kasnije mogu označavati pojavu nekih bolesti, nedostatak vode ili hraniva (slika 5.5). ***NDVI* se može još opisati kao indeks zelenila biljaka koji pomaže da se numerički kvantifikuje razlika i kao podatak iskoristi za dalju analizu.**

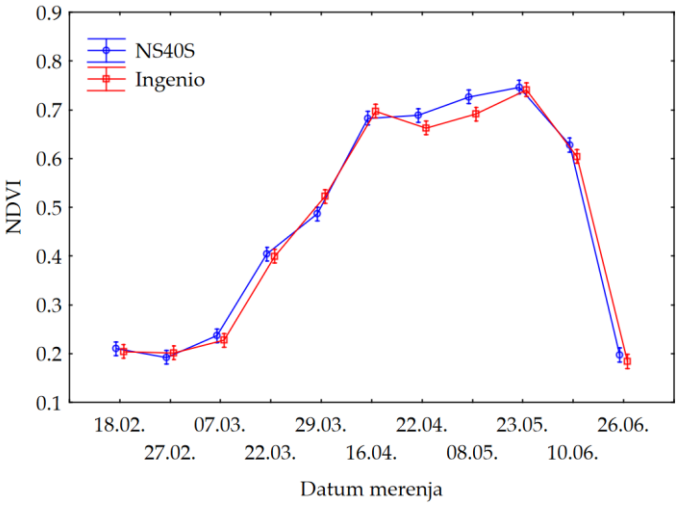
Veoma je pogodan za praćenje stanja useva gustog sklopa koji u ranim fazama prekrivaju površinu zemlje, npr. strna žita (slika 5.6).



Slika 5.5. Refleksija lista u zavisnosti od stanja

U slučaju strnih žita, zbog plitkog korena, svaki nedostatak azota se drastično odražava na stanje useva, koje se može vrlo pouzdano detektovati *NDVI* indeksom. Osnovna svrha korišćenja vegetativnih indeksa u poljoprivredi jeste prepoznavanje produktivnih potencijala useva na lokalnom nivou u cilju primene prostorno adaptivnog koncepta đubrenja pre svega, a potom zaštite ili navodnjavanja. Međutim, količina hlorofila u listu ne može se koristiti kao indikator produktivnosti bez uzimanja u obzir *LAI*. Korišćenje *NDVI* u širokorednim usevima može u ranim fazama razvoja biti opterećeno greškom zbog uticaja površine zemljišta na refleksiju. Ovo je naročito izraženo u slučaju kada se *NDVI* dobija iz satelitskih zapisa. **Korišćenjem tehnike bliske detekcije neposredno iznad biljke mogu se eliminisati uticaji refleksije zemljišta i time normalizovati satelitski zapisi uzeti na širem području.** Takođe, uticaj zemljišta na refleksiju se može eliminisati u prostprocesnoj obradi, što pokazuju autori u svojim radovima (*Homayouni et al., 2008*; *Liu et al., 2008*; *Pacheco et al., 2008*).

Upotreba *NDVI* zapisa sa satelita ograničena je mogućim preklapanjem momenta preleta satelita koji je periodičan (2 – 10 dana) i oblačnih dana, kada se ne mogu dobiti adekvatni podaci. S obzirom na to da je ovo nepredvidivo na dužoj vremenskoj skali, vrlo je nepouzdano oslanjati se isključivo na daljinsku detekciju u praćenju stanja useva.



Slika 5.6. NDVI indeks dobijen merenjem u različitim fazama uzrasta ozime pšenice na ogledu gde su korišćene dve sorte (NS40S i Syngenta Ingenio) i norme đubrenja od 0 kgN/ha do 200 kgN/ha. Podaci su iz lične baze autora i nisu publikovani u zvaničnoj literaturi.

VI (*Vegetative Simple Index*) pokazatelj je intenziteta fotosinteze, jer biljke u tom procesu upijaju crvenu, a reflektuju infracrvenu svetlost.

Niske vrednosti indeksa – smanjena fotosinteza može biti pokazatelj nedostataka vode, azota i drugih mineralnih materija.

$$VI = \frac{NIR}{RED}$$

NDMI (*Normalised Difference Moisture Index*) pokazuje količinu vlage u listovima biljaka. Namenjen je za detekciju suše ili procenu posledica nastalih usled nedostatka padavina. Vrednosti ovog indeksa su od -1 do 1.

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Gde je:

SWIR – količina reflektovanih talasa u SWIR talasnom opsegu.

NDRE (*Normalised Difference Red Edge*) indeks je dobar pokazatelj zdravlja biljaka, posebno kada je visok nivo hlorofila u listovima, što znači u srednjim i kasnijim fazama rasta. Može se koristiti za mapiranje potreba za prihranu azotom. Formula ovog vegetativnog indeksa je:

$$NDRE = \frac{(NIR - RE)}{(NIR + RE)}$$

Gde je:

RE - količina reflektovanih talasa u *RE* talasnom opsegu.

EVI (*Enhanced Vegetation Index*) koristi crveni i plavi spektar svetlosti zarad kompenzacije uticaja atmosfere. Smatra se da donosi poboljšanja u odnosu na *NDVI*, jer je dizajniran za minimiziranje uticaja atmosfere i zemlje ispod biljaka, osetljiviji je na male razlike među biljkama u kasnijim fazama. Formula za ovaj indeks je:

$$EVI = G\,\frac{NIR - RED}{NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L}$$

Gde je:

BLUE – plavi spektar svetlosti

L – koeficijent korekcije za pozadinu (L=1)

C1 i C – uticaj atmosfere (C1=6; C2=7,5)

G – faktor povećanja (G=2,5).

TNDVI (*Transformed Normalised Difference Vegetation Index*) dobija se preko *NDVI* indeksa, a njegove vrednosti su od 0 do 1. Od *NDVI* ima veći koeficijent odlučnosti, što je ujedno i jedina razlika među njima. Veća vrednost indeksa je sinonim za veći procenat vegetacije. Dobija se po formuli:

$$TNDVI = \sqrt{\frac{NIR - RED}{NIR + RED}}$$

GNDVI (*Green Normalised Difference Vegetation Index*) razvijen je pre dvadesetak godina. Za vrednost talasne dužine zelenog opsega ne uzima se centralna vrednost već talasna dužina od 550 μm, koja u stvari predstavlja donju granicu tog opsega. Nakon nekoliko istraživanja i ispitivanja ovog indeksa otkriveno je da je osetljiv na veoma male količine hlorofila. Formula za njegovo izračunavanje je:

$$GNDVI = \frac{NIR - GREEN_{550}}{NIR + GREEN_{550}}$$

Gde je:

$GREEN_{550}$ – zeleni spektar svetlosti talasne dužine od 550 μm.

SAVI (*Soil Adjustment Vegetaton Index*) modifikacija je *NDVI* koji kompenzuje uticaj refleksije sa zemljišta gde je slaba pokrivenost vegetacijom. Ovo posebno predstavlja problem kada se porede indeksi refleksije vegetacije koja se nalazi na različitim tipovima zemljišta. Vrednost ovog indeksa je u rasponu od -1 do 1 (manja vrednost = manje prisustvo vegetacije), a njegova formula je:

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - RED)}{NIR + RED + L}$$

L – koeficijent korekcije za određeni tip zemljišta (0-1). Na mestima sa gustom vegetacijom L=0, odnosno gde je prisustvo minimalno L=1. U većini slučajeva vrednost L=0,5 daje dobre rezultate.

MSAVI2 vegetativni indeks ima vrednost u istom rasponu kao *SAVI*. Izmenjena formula ne sadrži faktor L, već se vrednost indeksa računa samo pomoću radijacije koja je prikupljena u talasnim opsezima *NIR* i *RED*.

$$MSAVI2 = \frac{2 * NIR + 1 - \sqrt{((2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED))}}{2}$$

5.2 PRIMENA OPTIČKIH SENZORA ZA BLISKU (PROKSIMALNU) DETEKCIJU

Uspeh u upravljanju proizvodnjom useva sigurno je povezan sa metodom prikupljanja podataka, uslovljavajući validnost i upotrebljivost podataka u procesu donošenja odluka. Složenost praćenja i modeliranja prinosa useva ograničavajući je faktor za primenu svih postulata koncepta precizne poljoprivrede. Optički senzori postali su veoma popularni za dijagnostiku stanja azota u biljkama i za kontrolu sistema za prilagodljivu aplikaciju hraniva (*VRT*). Jednostavno rukovanje čini ih pogodnim za širok spektar primene na različitim usevima, a trenutni podaci mogu se prikupiti nedestruktivnim metodama uzorkovanja (*Magney et al., 2016; Kostić et al., 2016*).

Spektar elektromagnetnog zračenja je izuzetno veliki, tako da ne postoji uređaj koji može da obuhvati ceo spektar. Senzori se konstruišu tako da detektuju uže ili šire spektralno područje. Proksimalni optički senzori biljaka koriste uske opsege elektromagnetnog spektra koje pretvaraju u podatke. Oni se mogu prenositi i koristiti ručno, ali se mogu i montirati na poljoprivredno vozilo ili priključnu mašinu za isto.

Jedna od jednostavnijih podela senzora je na **aktivne i pasivne,** i to prema načinu registrovane energije.

Aktivni senzori primaju i šalju energiju, a registruju onaj deo koji se odbije o mereni objekat. Imaju sopstveni izvor svetlosti i mogu se koristiti tokom cele godine i tokom čitavog dana, bez obzira na vremenske uslove i položaj Sunca. Razlike u uslovima osvetljenja, poput oblačnosti, ne ugrožavaju rad senzora, pa su idealni za kontrolu varijabilne primene azotnih đubriva u pokretu (*Solari et al., 2008*). Senzor pravi zapis koji se automatski konvertuje u indeks. Oni emituju sopstvenu svetlost i mere spektar reflektovanih elektromagnetnih talasa, obično u vidljivom (*RGB*) i blizu infracrvenom spektru (*NIR*), pružajući niz vegetacijskih indeksa kao što je Indeks normalizovane vegetacione razlike (*NDVI*) (*Rouse et al., 1973*). Aktivni multispektralni senzori imaju veliki potencijal u brzoj proceni N statusa biljaka u ranim fazama koji pružaju adekvatne preduslove za optimizaciju upravljanja azotom (*Bean et al., 2018*). Stoga se aktivna proksimalna senzorika sve više koristi u poljoprivredi za procenu statusa i rasta useva, a pokazalo se da predstavlja koristan alat za procenu prinosa na kraju sezone kod velikog broja useva (*Tagarakis i Ketterings, 2017*). *NDVI* je najkorišćeniji indeks za dobijanje procena prinosa, ali su takođe korišćeni i drugi indeksi. Indeks dobro korelira sa statusom azota, sadržajem hlorofila, biomasom i površinom listova na mikro i makro nivou (*Solari et al., 2008*; *Wang et al., 2016*). Danas na tržištu postoji veliki broj komercijalnih senzora i oni će biti kratko predstavljeni u daljem tekstu.

Pasivni senzori samo prihvataju energiju koja dolazi od ispitivanog objekta. Pasivni multispektralni senzori koriste prirodni izvor svetlosti koji u velikoj meri zavisi od izlaganja suncu, oblačnosti, arhitekture i reflektivnih karakteristika skeniranih objekata koji bi mogli ugroziti stabilnost snimanja u vremenu, posebno ako se posmatra velika površina polja koja zahteva mnogo vremena (*Whetton et al., 2017*).

Rezultati brojnih studija zasnovanih na optičkim senzorima nude veliki broj modela koji bi se mogli koristiti u predviđanju zrelosti žitarica, potencijalu prinosa, proceni zdravstvenog stanja biljaka itd. (*Baral i Adhikai, 2015*; *Zecha et al., 2018*). Spektralna analiza reflektovanih talasa sa bilo kog useva dragocena je u prepoznavanju spektralnih „otisaka" koji pomažu u determinisanju nekih biotičkih ili abiotičkih procesa koje čovek ili mašina inače ne mogu prepoznati ili kvantitativno izraziti.

***Crop Circle* (*Holland scientific*)**

Senzor *Crop Circle* (slika 5.7) namenjen je za dobijanje osnovnih informacija o vegetativnom indeksu. Poseduje jedinstvenu tehnologiju koja omogućava korišćenje i danju i noću, nezavisno od uslova osvetljenja. Može se montirati na skoro sve vrste

poljoprivrednih vozila, a opet dovoljno je mali i lagan da se može koristiti i ručno. Informacije koje se dobijaju koriste se za kvantifikaciju uticaja hranljivih materija, vode, bolesti i drugih činilaca koji utiču na uzgoj biljaka.



Slika 5.7. Proksimalni optički senzor Crop Circle (https://hollandscientific.com)

Ovaj senzor omogućava višekanalno merenje pomoću tri optička merna kanala. Ono što ga čini jedinstvenim na tržištu jeste da spektralna refleksija koja se meri neće varirati ukoliko ima promena u visini senzora u odnosu na cilj merenja. Podaci koji se dobiju vrlo lako se skladište na memorijsku karticu i mogu se upariti sa *GPS* podacima.

***OptRx* (*Ag Leader*)**

OptRx senzor (slika 5.8), renomiranog proizvođača, *Ag Leader* predstavlja još jedan od odličnih komercijalnih senzora. Ono što ga čini specifičnim jeste direktna povezanost sa displejom, gde se može pristupiti očitavanju senzora. Senzor koristi talas koji reaguje čak i prilikom velike gustine biljaka. *OptRx* koristi jedinstvenu algoritamsku aplikaciju, što se u praksi pokazalo efikasnijim od onih koje koriste više algoritama. Za preporuku o primeni azota koristi se najnovija tehnologija – virtuelna referentna traka koja omogućava identifikaciju najzdravijeg područja polja u realnom vremenu. Takođe, kao i drugi moderni komercijalni senzori i ovaj se može koristiti i danju i noću. Koristeći ugrađen program, dodeljuje vegetativni indeks polju na osnovu biomase i sadržaja azota.



Slika 5.8. OptRx - Ag Leader senzor (www.agleader.com)

***N-Sensor* (*Yara*)**

Kompanija *Yara* kreirala je senzor koji se montira na traktorsku kabinu (slika 5.9), a omogućava merenje potreba za azotom na polju, i to u momentu dok se kreće kroz polje tako da se može odmah i prilagoditi količina primene đubrenja. Osigurava da se odgovarajuća i optimalna količina đubriva primeni na pojedinačni deo polja. Ova vrsta senzora svojom pojavom na tržištu postala je veoma važna za preciznu poljoprivredu, baš zbog svoje efikasnosti i tačnosti u merenju stvarnog statusa azota u usevima. Tehnike merenja nude mogućnost brzog, preciznog i ekonomičnog prenošenja tih informacija. Kao i ostali senzori, može se koristiti i danju i noću, i omogućava čisto skeniranje bez smetnji.



Slika 5.9. N-Sensor (https://www.yara.co.uk)

***GreenSeeker*-ručni (*Trimble*)**

GreenSeeker je jedan od najčešće korišćenih ručnih senzora za merenje *NDVI* zbog njegove neosetljivosti na svetlosne uslove i doba dana. Spektar reflektovanih talasa od biljne krošnje u vidljivim i blisko infracrvenim regionima snažno je zavisna od strukturnih i biohemijskih svojstava biljke i varira u zavisnosti od faze fenološkog rasta i uslova životne sredine (*Kumar et al., 2001*). Uređaj emituje blisko infracrvenu i crvenu svetlost, a na osnovu udela reflektovanih talasa preračunava *NDVI* vrednost (*Tagarakis et al., 2019*). *GreenSeeker* uređaj (slika 5.10) namenjen je isključivo za ručnu upotrebu. Lak je za korišćenje, upotrebljava se za procenu obezbeđenosti useva azotom kako bi se donele bolje odluke o prihrani na polju. Izmerene vrednosti prikazuju se na ekranu u vidu *NDVI* očitavanja u rasponu od 0 do 1. Više vrednosti sugerišu na bolju ishranjenost biljaka. Dobijene *NDVI* vrednosti u kombinaciji sa preporukama agronoma mogu se upotrebiti u određivanju norme aktivne materije azotnog đubriva. Uz senzor može se dokupiti i aplikacija istog proizvođača koja omogućava automatsko učitavanje izmerenih vrednosti na server, te lakše praćenje preko *PC*-a, telefona ili tableta.

Najvažnije karakteristike ovog senzora su:

- optički senzor visokog kvaliteta koji momentalno daje pouzdane rezultate;
- pregledan i čitljiv ekran, čak i na direktnom suncu, prikazuje očitavanja senzora;
- praktičan okidač za lako rukovanje, udoban ergonomski rukohvat i
- mikro USB priključak za punjenje interne baterije i komunikaciju sa telefonom.



Slika 5.10. GreenSeeker ručni senzor (https://agriculture.trimble.com)

GreenSeeker sistem (*Trimble*)

GreenSeeker sistem je senzor koji se montira na poljoprivredne mašine (slika 5.11) kao deo alata za automatsku promenu norme primene azotnog đubriva. Montaža je izuzetno jednostavna, kao i sama upotreba. Ovim sistemom se u realnom vremenu određuje količina azota korišćenjem složenih agronomski baziranih algoritama.



Slika 5.11. GreenSeeker sistem – postavljen na prednji podizni mehanizam traktora (https://agriculture.trimble.com)

CropSpec (*Topcon*)

CropSpec (slika 5.12) može se koristiti u konfiguracijama sa jednim ili dvostrukim senzorom. Senzori se postavljaju na krov kabine kako bi sa visine zahvatili veću površinu skeniranja i time dali stabilnije rezultate merenja. Primenjuje lasersku tehnologiju za merenje sadržaja hlorofila i koncentraciju azota. Merenja mogu biti stacionarna (*in-situ*) ili u hodu (*on-the-go*). Uređaj je predviđen kao podrška prilikom varijabilne primene đubriva, ali se može koristiti samo za merenje radi naknadne analize podataka i dobijanja tematskih mapa.



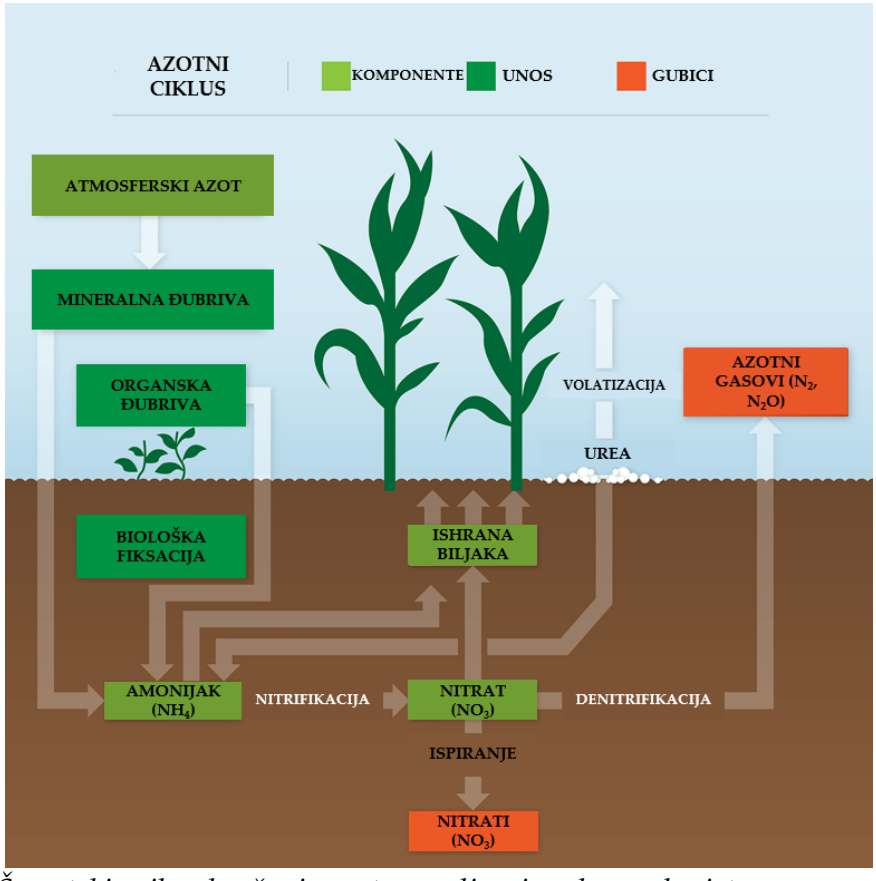
Slika 5.12. CropSpec (https://www.topconpositioning.com

5.3 UPRAVLJANJE AZOTOM PRIMENOM BLISKE DETEKCIJE

Trenutna poljoprivredna proizvodnja je u velikoj meri zavisna od bilansa azotnih hraniva u zemljištu, a u tome se najviše ističe proizvodnja strnih žita i kukuruza (*Ladha et al., 2005*). U tabeli 5.1 navedene su posledice neadekvatnog prisustva azotnog hraniva u zemljištu. Prema autorima *Raun et al. (2002)*, čak 67% primenjenog azota u proizvodnji žitarica se izgubi kao posledica procesa denitrifikacije, površinskog oticanja, isparavanja (volatizacije) i ispiranja u dublje slojeve (slika 5.13). Stoga je upravljanje azotnim hranivima u biljnoj proizvodnji od izuzetnog značaja, a u literaturi se taj parametar naziva iskorišćenost azota (*N use efficiency*). Jedna od metoda za procenu iskorišćenosti azotnog đubriva definisana je od strane *López-Bellido et al. (2001)* kao odnos postignutog prinosa i količine primenjenog azotnog đubriva. Postoje i druge metode kojima se postiže bolje iskorišćenje azotnih đubriva, a zasnivaju se na potencijalu za prinos, sadržaju organske materije i potencijalu za mineralizaciju (*Setiyono et al., 2011*) i drugim aspektima biljne proizvodnje. Ostale mere kojima se postiže bolja efikasnost primene azotnih đubriva odnose se na prilagođavanje poljoprivredne prakse kao što su: odabir adekvatnog hemijskog oblika azotnog đubriva (amonijačni ili nitratni) i adekvatne tehnike aplikacije za specifične biljne vrste. U uslovima savremene poljoprivredne proizvodnje đubrenje predstavlja jednu od važnijih agromelioracionih mera. Istraživanja u ovoj oblasti najčešće su usmerena u pravcu povećanja prinosa poljoprivrednih kultura, dok se baza njihovog kumulativnog dejstva (promene bioloških i hemijskih svojstava zemljišta) često zanemaruje (*Bogdanović et al., 1997*). *Džamić i Stevanović (2000)* ističu značaj mineralnih đubriva navodeći da genetski potencijal rodnosti biljaka može doći do punog izražaja samo u uslovima optimalne ishrane. Iz tog razloga, mineralna đubriva danas predstavljaju nezamenljivo sredstvo u povećanju prinosa gajenih biljaka. Pri određivanju količine i vrste mineralnih đubriva polazi se od:

- visine planiranog (očekivanog) prinosa;
- obezbeđenosti zemljišta pojedinim hranivima;
- prethodnog đubrenja;

- vrste preduseva, plodoreda;
- meteoroloških uslova;
- fizičkih osobina zemljišta (pre svega od mehaničkog sastava zemljišta);
- količina hraniva u đubrivu i
- koeficijenta iskorišćenja pojedinih hraniva od strane useva.



Slika 5.13. Šematski prikaz kruženja azota u poljoprivrednom ekosistemu

S obzirom na to da se sadržaj azota u zemljištu razlikuje u odnosu na lokaciju na parceli, nije moguće unapred znati optimalnu primenu da bi se postigli željeni nivoi prinosa za bilo koju godinu ili lokaciju (*Heggenstaller et al., 2019*). Azot iz zemljišta velikim delom potiče od organskih materija koje bakterije razlažu, ulazi u sastav mnogih značajnih jedinjenja za život biljaka, kao što su nukleinske kiseline, proteini, enzimi, hlorofil i dr.

Stopa mineralizacije i imobilizacije zavisi od hemijskog sastava ostatka, tačnije C/N odnosa ostatka. Koeficijent C/N veći od 20 dovodi do imobilizacije zaostalog azota, dok odnos manji od 15 dovodi do mineralizacije organskog azota. Izbor đubriva, vreme primene i način postavljanja đubriva su važni aspekti za minimiziranje gubitaka azota iz zemlje (*Rhezali et al., 2017*).

Ukoliko je primena đubriva neadekvatna, azot se može infiltrirati kroz nezasićeni sloj i tako dospeti do podzemne vode. Nepravilna i povišena upotreba može predstavljati direktan negativni uticaj i visoku kontaminaciju životne sredine, samim tim dovesti do negativnih uticaja po zdravlje ljudi i životinja. Kako bi se rizik smanjio,

najčešće se predlaže metoda đubrenja u određenim periodima tokom vegetacione sezone u količini koja će obezbediti dovoljno azota u kritičnim fazama za formiranje prinosa (*Clark et al., 2019*). Odlična pozicija azota među svim hranljivim sastojcima potiče od njegove uloge u stvaranju hlorofila, proteina i nekih drugih vitalnih jedinjenja poput fitohormona. Više od 90% azota iz zemljišta se nalazi u obliku organskih jedinjenja, dok mali deo postoji u obliku neorganskih jedinjenja, uključujući amonijum i nitrate.

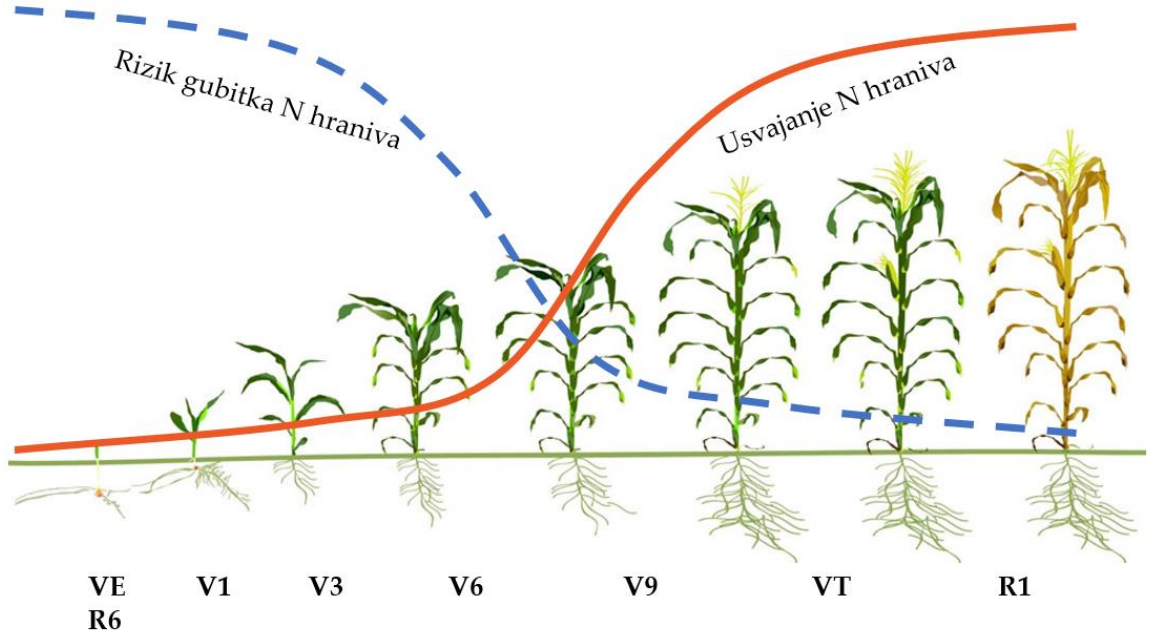
Tabela 5.1. Simptomi nedostatka i viška azotnog hraniva u zemljištu

nedostatak	▪ rast biljaka je smanjen ▪ smanjena sinteza hlorofila ▪ skraćena vegetacija ▪ prinos umanjen
višak	▪ tamnozeleni listovi ▪ biljke su suviše bujne ▪ zrenje je produženo ▪ belančevine se nagomilavaju, a nedostaju ugljeni hidrati, te se pogoršava kvalitet proizvoda

Brzina usvajanja azota zavisi od faze razvoja useva. Slika 5.14 pokazuje da je u ranoj fazi zahtev biljaka za azotom mali. Tokom kasne vegetativne i rane reproduktivne faze, potražnja za azotom rapidno raste. Primena azota neposredno pre ili tokom perioda najbržeg usvajanja azota osigurava njegovu najefikasniju upotrebu u usevu i smanjuje rizik od gubitaka. U istraživanjima *Tagarakis et al. (2019)* na mikroogledima, u uslovima južne Bačke (Srbija), gde su zasejani usevi kukuruza i pšenice sa nekoliko sorti/hibrida, sa više tretmana azotnim hranivima istovremeno sa setvom, ustanovljen je nizak stepen iskorišćenosti, tj. uticaja na krajnji prinos zrna. Indeks iskoristljivosti azotnog hraniva (*AE - agronomic efficiency*) u pomenutom ogledu, računat po autorima *Delogu et al. (1998)* za pšenicu imao je prosečan raspon 10–18 kg/kgN, dok je za kukuruz iznosio 22–35 kg/kgN. Tokom poslednje dekade, razvoj senzorske tehnike za potrebe poljoprivredne prakse ima za cilj da se prevaziđu ograničenja tradicionalne poljoprivrede. Mnogi od senzora su aktivnog tipa, što znači da imaju ugrađen sopstveni izvor svetlosti definisanog talasnog opsega. Komercijalne izvedbe su vrlo pogodne za korišćenje, jer su jednostavne za rad, lako prenosne i nisu destruktivne po gajenu biljku (*Magney et al., 2016*; *Kostić et al., 2016*).

Zbog toga su senzori za detekciju stanja useva veoma popularni kako u naučnim studijama, tako i među proizvođačima. Rezultati velikog broja studija gde su korišćeni pomenuti senzori pružaju veliki broj modela pomoću kojih se mogu predvideti faza razvoja, potencijal za prinos, zdravstveno stanje biljke itd. (*Zecha et al., 2018*). Aktivni multispektralni senzori su pokazali izuzetan potencijal za brzu procenu obezbeđenosti biljaka azotom tokom vegetacije, što je osnovni preduslov za optimizaciju procesa đubrenja (*Bean et al., 2018*). Najveći deo aktivnih senzora za blisku detekciju mere spektralni odraz reflektovane svetlosti, i to najčešće u delu

vidiljivog (400–700 nm) i blisko infracrvenog opsega (750–2.500 nm) talasnih dužina na osnovu kojih se može izračunati veliki broj vegetativnih indeksa kao što je *NDVI* (*Rouse et al., 1973*). Rana procena prinosa biljaka na osnovu spektralnog odraza je od suštinskog značaja jer predstavlja prvi korak u formiranju algoritama za varijabilnu primenu azotnih đubriva (*Moges et al., 2007*). Faza razvoja biljaka u kojoj se obavlja merenje senzorima ima veliki uticaj na tačnost procene prinosa (*Raun et al., 2005*). Prethodne studije u usevu kukuruza pokazuju da su faze uzrasta od V7 do V8 najpovoljnije za ranu procenu prinosa, dok faza V6 daje korisnija merenja *NDVI* vrednosti za potrebe varijabilne primene azotnih đubriva (*Tagarakis i Ketterings, 2017*; *Raun et al., 2005*).



Slika 5.14. Kumulativna kriva usvajanja azota u toku vegetativne sezone (Hergert, 2015)

Raun et al. (2001) uveo je novi pristup u proceni prinosa na osnovu očitavanja senzora u toku vegetacije. Ovaj novi indeks je nazvan procenjeni prinos (*Estimated Yield - ED*) i definisan je kao suma merenja *NDVI* vrednosti između dve iteracije u toku vegetacione sezone podeljen sa kumulativom dana razvoja biljke (*Growng Degree Days – GDD*).

$$EY = \frac{(NDVI_{T1} + NDVI_{T2})}{GDD}$$

Gde je:

EY – procenjeni prinos,

$NDVI_{T1}$, $NDVI_{T2}$ – normalizovani vegetacioni indeksi mereni u različitim fazama i

GDD – kumulativ broja dana koji se računa na osnovu srednjih dnevnih temperatura.

Nakon toga je indeks dodatno poboljšan time što je pojednostavljen i nazvan je „prinos procenjen u sezoni“ (*In Season Estimated Yield* – INSEY; *Raun et al., 2002*).

$$INSEY_{DAP} = \frac{\text{NDVI}}{\text{DAP}}$$

Gde je:

$INSEY_{DAP}$ – procenjeni prinos u sezoni i

DAP – broj dana posle setve, s tim da se dani računaju samo ako je *GDD*>0.

Nešto drugačiji prikaz *INSEY* indeksa u vidu $INSEY_{GDD}$ kod kojeg se koristi *GDD* za normalizaciju izmerenih vrednosti *NDVI*.

$$INSEY_{DAP} = \frac{\text{NDVI}}{\text{GDD}}$$

Gde je:

$INSEY_{GDD}$ – procenjeni prinos u sezoni i

GDD – kumulativ broja dana od setve do merenja.

Ovi pokazatelji dodatno normalizuju *NDVI* merenje tokom određenog perioda i različitih klimatskih okolnosti (*Teal et al., 2006*) i daju procenu usvajanja azota po danu (*Lukina et al., 2001*), odnosno proizvodnju biomase po danu (*Raun et al., 2005*).

Hlorofil u listovima biljke ima važnu ulogu u fotosintezi, a njegov sadržaj je važan indikator za procenu fiziološkog statusa biljke. Količina primenjenog azota utiče na efikasnost njegovog usvajanja od strane biljaka**. Visoka efikasnost primenjenog azota se dešava kada je njegova upotreba blizu minimuma potrebnog za postizanje optimalnog prinosa, a primena u periodu intenzivnog usvajanja**. Postoje dve glavne metode za merenje sadržaja hlorofila listova živih biljaka: refleksija i transmisija. Metoda refleksije može se koristiti za određivanje sadržaja hlorofila kod grupe biljaka u polju i kod pojedinačnih biljaka. Kvalitet i produktivnost useva direktno su povezani sa zelenim pigmentom vidljivim u lišću, što je posledica prisustva hlorofila. Hlorofil je veoma pouzdan pokazatelj fiziološkog stanja biljke i promene koje se mogu detektovati i kvantifikovati senzorima su vredan izvor informacija za svakog agronoma. Ova tehnika brze procene stanja azota u biljkama omogućava da se, pre svega kod žitarica, odrede količine koje treba dodati u toku vegetacije useva.

Proizvođači su veoma svesni činjenice da im prinosi značajno variraju iz godine u godinu, ali nisu svesni koliko je promenljiva iskorišćenost azotnog đubriva iz godine u godinu. Tehnologija primene *GreenSeeker* senzora koji je razvio Oklahoma univerzitet (SAD) omogućava predviđanje potencijala za prinos merenjem *NDVI* tokom sezone. Ključni element primene ove tehnologije je razumevanje postupaka koji su podrazumevani, a više su primereni naučnoj metodologiji nego agronomskoj praksi.

Upotreba kontrolne parcele (*N-Rich strip*) za procenu potreba za azotom

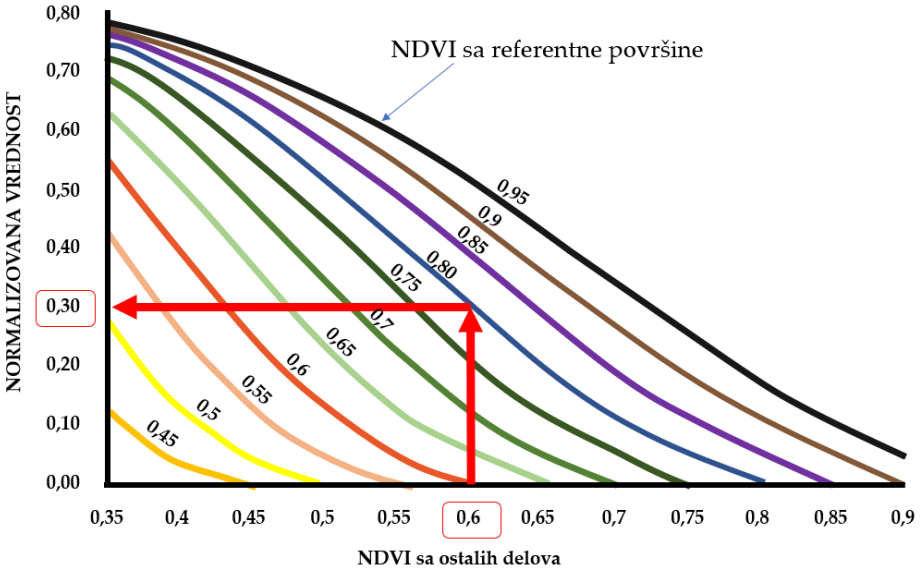
Na polju je veoma teško proceniti potrebe biljaka za azotnim hranivom vizuelnom metodom zbog velike površine parcela i nemogućnosti jasnog klasifikovanja. Zbog toga je korisno da se u okviru jedne parcele na maloj površini unutar nje postavi mikroogled koji će simulirati stanje useva u slučaju da je usev u svakom momentu vegetativnog razvoja u dovoljnoj količini obezbeđen azotnim hranivom. Korišćenjem tzv. *N-Rich* traka može se proceniti količina azota potrebna za maksimalni prinos uz ekonomsku isplativost.



Slika 5.15. Referentna površina (N-rich) za procenjivanje potreba biljaka za azotom

Referentna površina ili takozvana *N-Rich* traka predstavlja malu oblast unutar parcele na kojoj je primenjena više nego dovoljna količina azotnog đubriva tokom ili pre setve (slika 5.15), ali nikako preveliku količinu koja će izazvati fitotoksičnost. Ova oblast se koristi kao merilo (etalon) useva kod kojeg vigor biljaka nije ograničen zbog nedostatka azota. Referentna oblast (*N-Rich* traka) pomaže u određivanju potrebne količine azotnog đubriva, radi postizanja maksimalnog (ili željenog) prinosa na posmatranoj parceli. Čak i ako proizvođači ne koriste *NDVI* senzor, *N-Rich* metod je sam po sebi dragocen za procenjivanje da li postoji potreba za azotnim đubrivom. Pravilnom primenom *N-Rich* traka može se uštedeti više od 25$ po jutru (Raun et al., 2017) na osnovu racionalne primene azotnih đubriva. S obzirom na to da prinos značajno varira u zavisnosti od klimatskih faktora, posledično i iskorišćenost dodatog azota. Poljoprivrednici samostalno nisu u stanju da naprave validnu procenu potreba biljaka za azotom ukoliko nisu uzeli u obzir sposobnost biljaka da reaguju na azotno đubrivo i potencijal za prinos biljne vrste/sorte bez dodavanja N hraniva. **Drugim rečima, nemoguće je proceniti potrebe za N hranivima u toku sezone ako se koristi samo parametar „potencijal za prinos".** Mogući scenario je da u godinama sa visokim potencijalom za prinos postoji mali uticaj azotnog hraniva na prinos (tople i vlažne zime kada se velika količina azota obezbedi mineralizacijom organske materije i depozicijom iz padavina). U takvim situacijama, dodavanje azotnih hraniva ne bi dalo željeni efekat, što umanjuje finansijski efekat ove agrotehničke mere. Nasuprot ovoj situaciji, u uslovima hladne i suve zime, kada su biljke dobro formirale sklop, potreba za azotnim hranivima je velika, a potencijal za prinos nizak. U toj situaciji uticaj dodatnog

đubrenja N imao bi umereno do veliki uticaj na prinos. Preporuka prilikom postavljanja referentne trake je da se ½ ukupno namenjene količine azota doda u toku setve ili neposredno posle, a preostala količina u toku sezone. Generalno, kada je reč o ozimoj pšenici, ako se vizuelno ne vide razlike između referentne površine i ostalih delova, i to u fazi do početka vlatanja, to govori da je zemljište bogato azotom. Ukoliko se primete velike razlike, to je siguran znak da postoje velike potrebe za azotom.



Slika 5.16. Grafikon kojim se određuje normalizovana vrednost (https://www.trimble.com)

Ukoliko ne postoje vidljive razlike u odnosu na referentnu površinu to znači sledeće:

1. da je N u dovoljnoj meri obezbeđen mineralizacijom organske materije i unošenjem putem padavina ili
2. porast je ograničen nekim drugim parametrom čime se onemogućava da se uvide nedostaci N u hranivu.

U tom smislu, ova postavka daje informaciju o tome koliko je N dobijeno mineralizacijom od momenta setve do momenta senzorske detekcije. Ova tehnika se može primeniti na sve kulture, ali najviše smisla ima na onima kod kojih se u redovnoj praksi dodaje azot tokom vegetacije. U slučaju uređaja *GreenSeeker*, primena referentne površine za procenu potrebne količine azota u toku vegetacije se može odrediti na sledeći način:

1. senzorskom detekcijom na polju, utvrdi se *NDVI* vrednost na referentnom polju;
2. isto se ponovi, ali na ostalim delovima gde treba dodati N hranivo;
3. vrednosti se zabeleže i koriste u daljem kreiranju preporuke primenom modeliranih kriva;
4. ukoliko je npr. vrednost *NDVI*=0,8 kao što je prikazano na slici 5.2, a na ostalim delovima *NDVI*=0,6, onda se sa grafikona traži referentna vrednost koja je predstavljena na y osi;

5. referentna vrednost se dobija kada se na x osi nađe *NDVI* koji odgovara očitavanju sa polja, te se od nje vertikalno povuče linija do krive koja ima obeležje vrednosti sa referentne parcele;
6. u preseku krive i prave sa x ose, povuče se horizontalna linija do y ose i očita se normalizovana vrednost;
7. iz tabele 5.2 odabere se željeni prinos odgovarajuće gajene vrste (npr. za pšenicu 9.000 kg/ha), te preporučena količina azota (376) pomnoži sa referentnom vrednošću dobijenom iz grafikona;
8. rezultat (112,8 kg/ha) predstavlja količinu aktivnog N koju treba dodati.

Tabela 5.2. Potrebne količine azota prema očekivanim prinosima gajenih vrsta

Usev	**%N**	**Očekivani prinos (kg/ha)**								
		5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000	11.000	12.000	14.000
Jara pšenica	2,45	223	267	312	356	401	445			
Ozima pšenica	2,30	209	251	293	335	**376**	418			
Kukuruz	1,30		142	165	189	213	236	260	284	331

5.4 DALJINSKA DETEKCIJA

Daljinska detekcija je tehnika snimanja različitim uređajima koji su udaljeni od objekta snimanja, najčešće korišćenjem letelica kao što su avioni, helikopteri, orbitalni sateliti i bespilotne letelice. Daljinska detekcija se u velikom broju slučajeva obavlja senzorima za kreiranje slika ili dobijanje drugih podataka o fenomenu koji se snima. Snimanje se može obaviti tokom vegetacije kako bi se uočile razlike u stanju biljaka uzrokovane nedostatkom hraniva, vode ili napadom bolesti i štetočina. Često se u naučnim ekspertizama rade predikcije prinosa na osnovu rane detekcije stanja useva, naročito kod useva gustog sklopa.

Postoji 6 osnovnih elemenata sistema daljinske detekcije:

- izvor zračenja energije,
- objekat koji se snima,
- površina Zemlje,
- senzor,
- sistem obrade podatka i
- tumačenje.

Cilj daljinske detekcije je efikasno nadziranje velikih prostornih površina. Ponavljajuća snimanja nam omogućavaju praćenje određenih procesa koji mogu biti sezonskog (setvena struktura jarih useva na nekom području), godišnjeg (poplave tokom određenih meseci u godini) ili višegodišnjeg karaktera (sadržaj organske materije u zemljištu). Velika korist primene daljinske detekcije u poljoprivrednoj

proizvodnji je dobijanje vizuelnog uvida na velikim površinama u veoma kratkom periodu, bez potrebe za fizičkim prisustvom na svakom delu parcele i sprovođenjem posebnih procedura.

Osmatranje Zemlje sa satelita je otpočelo 1972. godine kada je *NASA* (*National Aeronautics and Space Administration*) lansirala satelit poznat pod nazivom Landsat I. Naučnotehničke i tehnološke inovacije, te praćenje i analiza satelitskih snimaka u poslednjih trideset godina iz temelja su promenili naše gledanje na Zemlju. Godinama je ta tehnologija bila povezana samo sa vojskom i nacionalnom sigurnošću ili razvojnim programima u visokonaučnim ili komercijalnim institucijama SAD. Međutim, širenje satelitske tehnologije i na druge zemlje, nagli razvoj kompjuterske tehnologije, omogućili su u celom svetu korišćenje ove tehnologije.

Zašto je za nas bitna slika sa visine? Ljudi komuniciraju sa spoljnom sredinom preko prirodnih čula kojih ima nekoliko. Ljudsko čulo vida po sistemu funkcionisanja pripada metodi daljinske detekcije. Pogled na sliku koja je snimljena sa visine je u neku ruku virtuelni pogled sa te visine. Međutim, prilikom daljinske detekcije se ne radi samo o običnom vizuelnom prikazu već postoji viši nivo uvida, s obzirom na to da se koriste senzori koji detektuju elektromagnete talase koji su izvan opsega vidljivog spektra. Najčešći nedostaci daljinske detekcije se ogledaju u sledećem:

- kalibraciji senzora jer izvori zračenja nisu vremenski konstantni,
- uticaju atmosfere na degradaciju zapisa,
- delikatnosti u tumačenju spektralnog zapisa,
- nemogućnosti snimanja svih talasnih dužina,
- komplikovanosti obrade zapisa.

Proces snimanja u daljinskoj detekciji može se bolje objasniti na sledeći način. Svaki objekat odaje elektromagnetnu energiju izračivanjem ili refleksijom zraka koji su poreklom sa spoljnjeg izvora. U svrhu detekcije elektromagnetnih talasa se koriste različiti senzori koji su generalno podeljeni na:

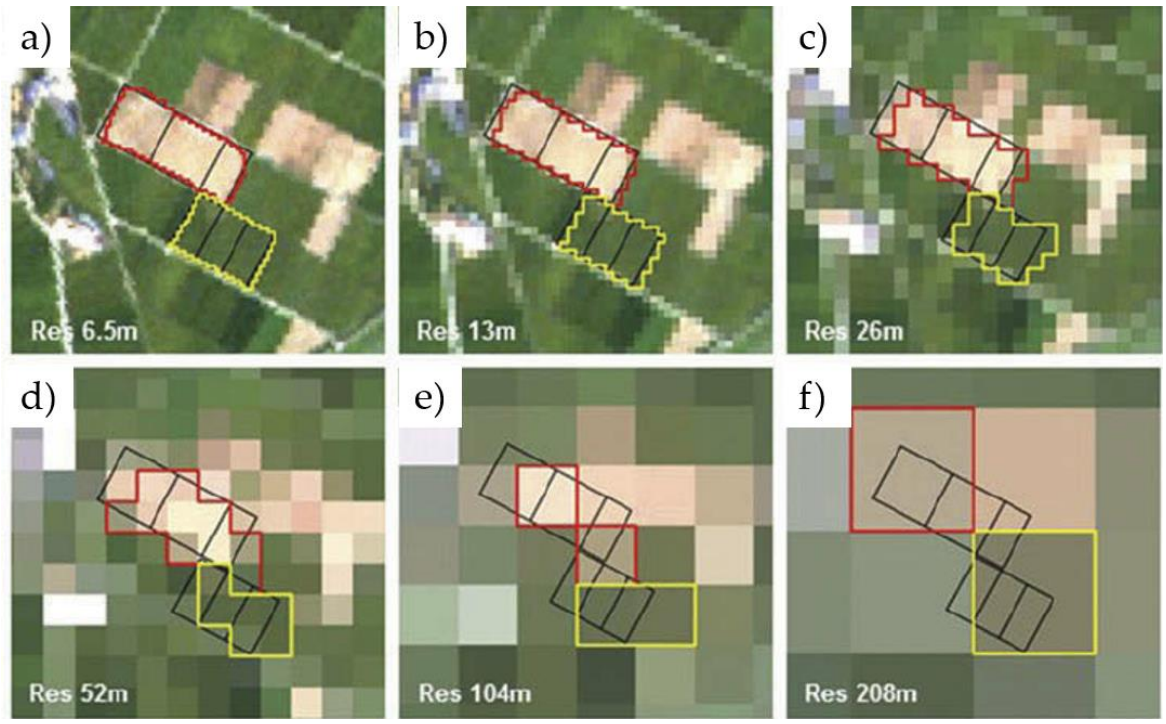
- aktivne senzore – imaju sopstveni izvor svetlosti kojim obasjavaju ciljani objekat i
- pasivne senzore – detektuju svetlost koju emituje prirodan izvor, a ne senzor.

Na osnovu broja i širine spektralnih opsega, senzori daljinske detekcije se dele na:

- panhromatske – mere širok opseg elektromagnetnog zračenja (crno-beli zapis) sa visokom prostornom rezolucijom i sa visokim kvalitetom slike (S/N visok);
- multispektralne – mere desetine talasnih opsega razdvojeno i
- hiperspektralne – mere stotine talasnih opsega razdvojeno.

Bez obzira na vrstu senzora koji je korišćen za dobijanje optičkog zapisa, njegovi osnovni elementi su:

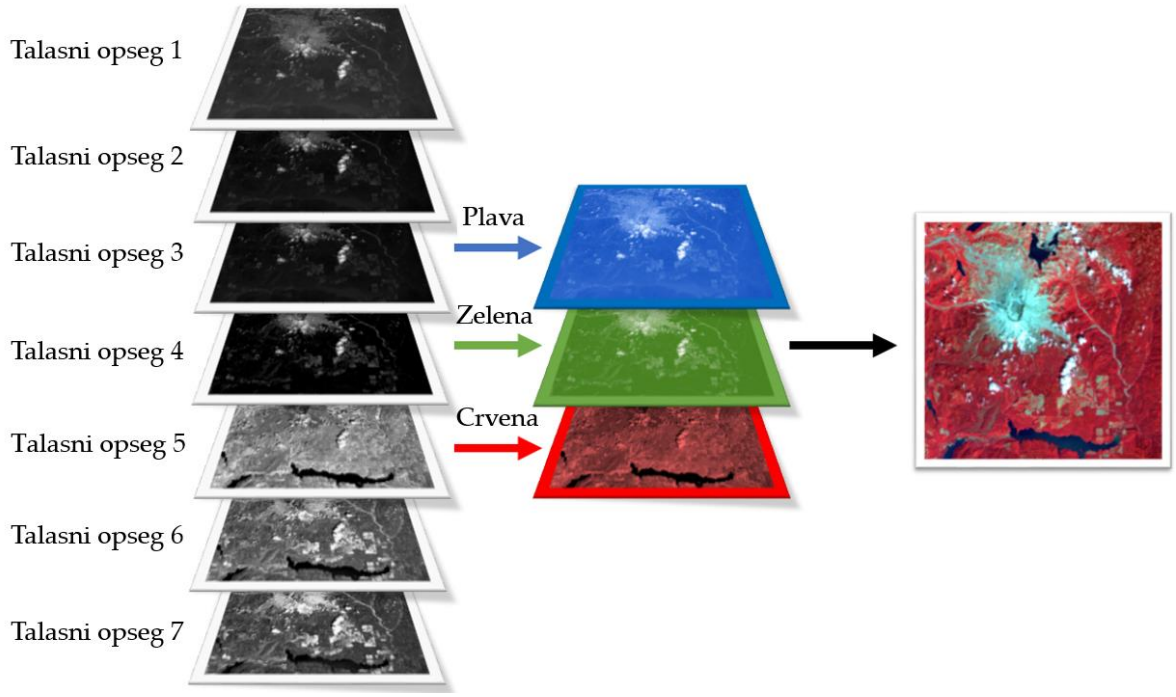
- prostorna rezolucija – predstavlja veličinu najmanjeg objekta koji se može raspoznati na slici, ili veličina piksela (slika 5.17);
- spektralna rezolucija – broj segmenata (spektralnih komponenti) koji su obuhvaćeni snimanjem (slika 5.18);
- radiometrička rezolucija – broj podataka koji se dobija iz svake komponente spektra (broj bitova po pikselu, slika 5.19) i
- vremenska rezolucija – vreme ponovljivosti snimanja istog područja.



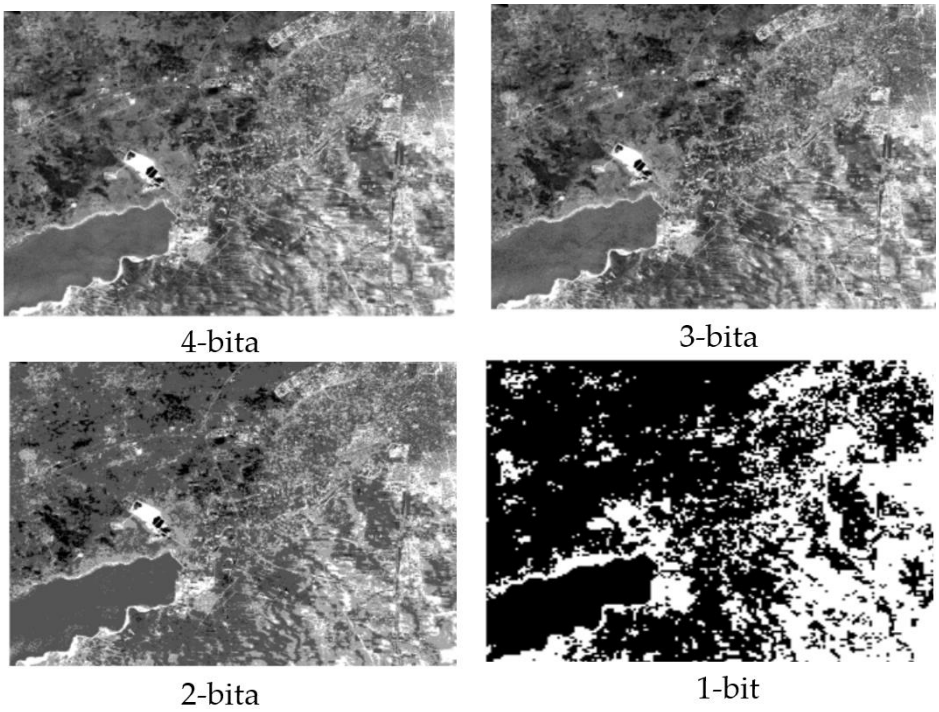
Slika 5.17. Prikaz istog objekta različitih rezolucija zapisa daljinskom detekcijom: a) rezolucija 6,5 m; b) rezolucija 13 m; c) rezolucija 26 m; d) rezolucija 52 m; d) rezolucija 104 m; f) rezolucija 208 m

Povećanje broja satelita u orbiti koji generišu slike omogućava dobijanje optičkih podataka sa bilo kog dela planete. Sa unapređivanjem senzora na satelitima, dobijanje spektralnog zapisa biljaka ili zemljišta sa neke teritorije je postalo prilično lako. Prostorna rezolucija zavisi od kvaliteta uređaja i visine sa koje se obavlja snimanje i obično je 1–2 m^2 ukoliko su u pitanju noviji sistemi. Prilikom satelitskog snimanja se kreće od 1 m^2 do 100 m^2. Senzori daljinske detekcije su pasivni i koriste prirodni izvor svetlosti za osvetljavanje površine. Prostorna rezolucija satelitskih sistema se razlikuje, i to:

- sistemi visoke rezolucije (*IKONOS, Quickbird, RapidEye*) 1–5 m,
- srednje rezolucije (*SPOT, LandSat*) 10–30 m,
- veoma grube (*MODIS*) 0,1–1 km.



Slika 5.18. Prikaz slika sa različitim spektralnim rezolucijama



Slika 5.19. Prikaz zapisa različite radiometrijske rezolucije

Mnogi senzori su multispektralni i mere refleksiju u 3–10 spektralnih opsega. Obično satelitski sistemi imaju širi spektralni opseg u odnosu na letelice (tabela 5.3). Neki multispektralni sistemi snimaju jedan spektralni opseg (*panchromatic* – crno/beli) sa visokom rezolucijom i visokim odnosom S/N, što omogućava prostornu rezoluciju od 0,3 m. Ovi zapisi se koriste da bi se poboljšala prostorna rezolucija multispektralnih slika. Taj proces se naziva *pan-sharpening*. Najnapredniji sistemi su hiperspektralni sa

mogućnošću snimanja 126–224 opsega talasnih dužina. Radiometrijska rezolucija ovih sistema se izražava kao broj bitova koji su neophodni da bi se opisao najviši nivo podatka. Tu imamo sledeće razlike:

- osmobitni sistem čuva podatke sa 2^8 (256) mogućih nivoa,
- 11-bitni sistem je u stanju da opiše 2^{11} (2048) nivoa i
- 16-bitni sistem opisuje najviše 2^{16} (65536) stanja.

Tabela 5.3. Sateliti koji se koriste u daljinskoj detekciji

Satelitska platforma	**Spektralna rezolucija**	**Prostorna rezolucija (m)**	**Vremenska ponovljivost (dani)**	**Godina i zemlja lansiranja**
MODIS	*RGB*, blisko infracrvena, srednja infracrvena	250–1.000	1–2	Lansiran 1999. god. od *NASA*
Landsat 5 TM	*RGB, NIR, MIR, LIR*	30, 120	16	Prvo lansiranje 1972. od *NASA* i *USGS*
Landsat 8	Panhromatska, multispektralna, termalna	15/30/100	16	*NASA* 2013. god.
RapidEye	*RGB*, granična crvena, blisko infracrvena	5	1	1998. god. osnovan od GMBh nemačke kompanije
Ikonos	Panhromatska *RGB*, blisko infracrvena	1 i 3,2	3	*DigitalGlobe* – SAD 1999. god.
Sentinel 2 (2A i 2B)	13 opsega u *RGB*, blisko infracrvena, kratka infracrvena	10, 20, 60	5, 10	Evropska svemirska agencija 2015. *Sentinel 2A* i 2017. *Sentinel 2B*
QuickBird	Panhromatska, blisko infracrvena, plava i zelena	2,6-2,9	1-3,5	*DigitalGlobe* – SAD 2001. god.
SPOT serija	Panhromatska, blisko infracrvena, plava i zelena	10	26	Francuska, 1986. god.

Radiometrijska rezolucija nije ista kod prikazanih sistema. Stariji *Landsat* imaju 8-bitne senzore, dok noviji *IKONOS*, *RapidEye* su 11-bitni. Senzor sa višom radiometrijskom rezolucijom „snima" podatke sa više spektralnih informacija. Praktičan značaj ove osobine je da se kod novijih sistema merenje (snimanje) može obaviti i u kasnijim vegetativnim fazama, a da pri tome ne dođe do zasićenja zapisa. Uopšteno, što je sistem više „bitni" to je moguće opisati više promena u vidu detalja na slikama.

Nedostatak optičkih senzora u daljinskoj detekciji je to što su osetljivi na atmosferske uticaje kao što su oblaci, dim, prašina i magla. Termalni i kratki talasi su manje osetljivi na ove pojave u odnosu na vidljive i *NIR* talase.

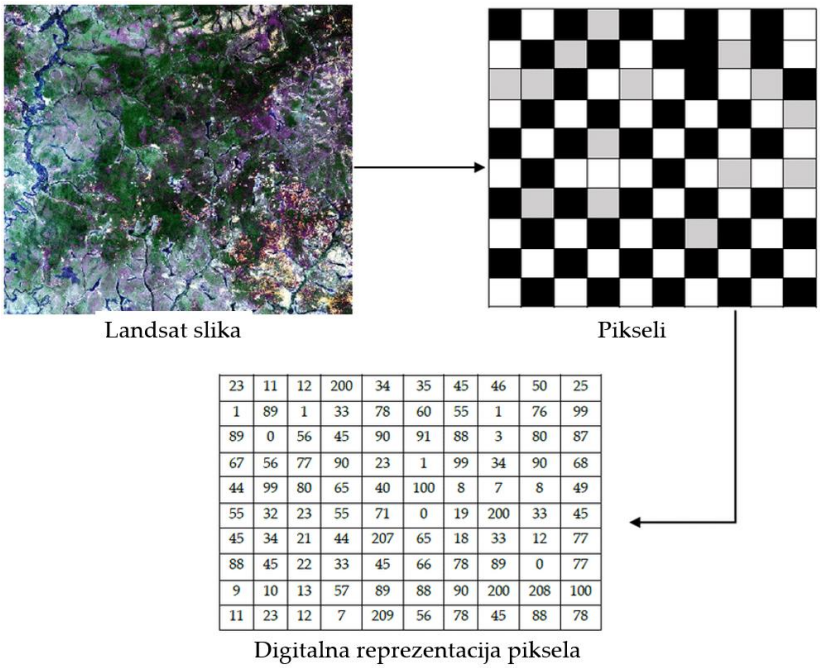
Obrada slike

Digitalna slika sačinjena je od elementarnih delova koji se nazivaju pikseli i predstavljaju raskršće pojedinačnih redova i kolona na slici (*Phiri i Morgenroth, 2017*). Niža numerička vrednost predstavlja niži nivo elektromagnetnog zračenja (slika 5.20). Računarska obrada slike podrazumeva klasterizaciju piksela na osnovu vrednosti koju nose (slika 5.20). **Mozaik koji nastaje grupisanjem piksela po klasama i bojenjem po definisanim kriterijumima naziva se tematska mapa.** U poslednjoj dekadi primetan je značajan napredak u domenu obrade digitalnih slika, pre svega s razvojem novih računarskih tehnika koje su podstaknute masovnom dostupnošću satelitskih snimaka visoke prostorne, radiometrijske i spektralne rezolucije. Paralelno, napredak kompjuterske tehnike i programa doprineo je razvoju metoda tumačenja digitalnih zapisa kroz razvoj tehnike prepoznavanja obrazaca (*pattern recognition*). Uvođenje numeričkih algoritama za prepoznavanje obrazaca bio je glavni pomak u klasifikaciji pokrivača zemljišta i osnova je savremenih metoda klasifikacije u daljinskoj detekciji u poljoprivredi. Obrada slika se uglavnom sastoji od sledećih faza:

1. predobrada,
2. poboljšanje slike i
3. klasifikacija.

Tokom predobrade, digitalne vrednosti piksela se kalibrišu kako bi se pročistila izobličenja i uklonili šumovi, sprovođenjem atmosferskih i topografskih korekcija (*Schowengerdt, 2012*). Digitalne vrednosti se obrađuju u vrednosti radijanse, tj. vrednosti koje odgovaraju refleksiji sa površine. Poboljšanje slike je postupak povećanja kvaliteta vizuelne reprezentacije slike. Obradom se poboljšava kvalitet snimaka u smislu bolje čitljivosti i zapažanja detalja, te identifikacije i klasifikacije željenih karakteristika. Na taj način postiže se mnogo bolja analiza i tumačenje sadržaja snimka, što je od izuzetne važnosti u daljinskoj detekciji. Ovaj korak nije presudan i u nekim situacijama se može preskočiti. Klasifikacija uključuje matematičko grupisanje vrednosti piksela u teme koje odgovaraju određenim karakteristikama na zemljinoj površini. Savremeni alati za klasifikaciju su razvijeni na bazi numeričkih pristupa u prepoznavanju oblika i ugrađeni su u algoritme programa

(*Lu i Weng, 2007*). Napredak u tehnikama mašinskog prepoznavanja putem veštačke inteligencije i mašinskog učenja značajno je doprineo razvoju naprednih neparametarskih klasifikatora (slika 5.21) kao što su veštačka neuronska mreža (*neural network*) i stablo odluka (*decision tree*).



Slika 5.20. Primer slike dobijene daljinskom detekcijom gde svaki piksel predstavlja numeričku vrednost podatka

Podaci putuju dugo od trenutka snimanja do korisnika i pri tome prolaze kroz višestruke promene: u atmosferi od Sunca do Zemlje, u atmosferi od Zemlje do senzora, u satelitu, od satelita do zemaljske prijemne stanice, od stanice do sistema za njihovo snimanje i pripremu za operativno korišćenje. Zato je često potrebno popraviti podatke pre interpretacije snimaka. Prevođenje podataka u odgovarajući korisnički format (konverzija slike) i korekcija snimaka zbog mogućih grešaka (radiometrijske i geometrijske) provodi se u tzv. fazi predobrade (*Jovanović, 2015*). Radiometrijska greška utiče na radiometrijske vrednosti piksela u slici. Geometrijska greška utiče na lokaciju piksela na slici (zbog rotacije Zemlje ili reljefa terena). Podaci snimljeni posredstvom satelita (izvorni podaci) često su opterećeni greškama, koje mogu biti uzrokovane senzorima za snimanje (senzor ne funkcioniše dobro), geometrijom orbite senzora, rotacijom Zemlje, formatom senzorskog snimanja i dr. Otklanjanje, ili barem umanjivanje takvih grešaka obično se provodi pre prikaza i analize snimaka. Takođe, osim ovih grešaka pojavljuju se i greške koje mogu nastati zbog različitih uzroka kao što su:

- greške u instrumentima (geometrija senzora),
- orbitalne geometrije satelita,
- rotacije Zemlje i njene zakrivljenosti,
- nestabilnosti platforme senzora (skretanje po pravcu, rotiranje, brzina, visina),

- panoramske (reljefne) distorzije i
- razlike u uzorkovanju i dr.



a) b)

Slika 5.21. Klasterizovane parcele pod kukuruzom (a) i sojom (b) na teritoriji AP Vojvodine (Izvor: Biosens Institut)

Postupak geometrijske korekcije može se podeliti na dva dela: postupak koji se temelji na geometriji satelitske orbite i postupak koji se temelji na kontrolnim tačkama na Zemlji. **Geometrijski korigovani snimci transformisani u neku kartografsku projekciju nazivaju se georeferencirani snimci, a postupak daljeg poboljšavanja snimaka naziva se geokodiranje**.

Primena bespilotnih letelica u preciznoj poljoprivredi

Bespilotna letelica je vazduhoplov kojim upravlja operater/navigator sa zemlje ili koja leti autonomno po zadatim zapamćenim putanjama. Prema autorima *Gogarty i Robinson (2012)*, najčešće korišćeni sinonimi za bespilotnu letelicu su „dron“ ili *UAV* (*Unmanned Aerial Vehicle*). Ovi uređaji se doslovno mogu nazvati letećim robotima. Tehnologija potiče iz vojne oblasti gde se koristi u izviđačke svrhe kao što je nadgledanje teritorija i direktne borbene svrhe, npr. izvođenje napada u uskim zonama. Dron je široku primenu našao u gotovo svim oblastima koje su povezane sa prikupljanjem geoprostornih podataka (geologija, građevinarstvo, arheologija, biologija, ekologija, šumarstvo itd.). Postoji veliki potencijal za primenu dronova u preciznoj poljoprivredi prilikom prikupljanja informacija sa polja (nadgledanje rasta i razvoja useva, detekcija bolesti i korova, potreba za navodnjavanjem ili đubrenjem). Osnovna prednost snimanja iz vazduha bespilotnom letelicom u odnosu na druge uređaje koji se koriste u daljinskoj detekciji (sateliti, pilotni vazduhoplovi i dr.) jeste velika vremenska i prostorna rezolucija. Vremenska rezolucija se ogleda u fleksibilnosti vremena leta, što je veoma važno s obzirom na vreme trajanja pojedinih vegetativnih faza i njihovu uslovljenost od primenjene agrotehnike i agroekoloških uslova. Takođe, misije leta se mogu izvoditi višestruko u zavisnosti od potreba korisnika. Prostorna rezolucija podrazumeva zapise visoke rezolucije od čak nekoliko cm po pikselu i zavisi od tipa senzora i visine leta tokom snimanja. Sa smanjenjem visine leta povećava se rezolucija zapisa, ali se smanjuje pokrivenost prostora od interesa. Senzori koje nose bespilotne letelice se odlikuju uskopojasnim ili širokopojasnim filterima sa određenim opsegom talasnih dužina i visokom

radiometrijskom rezolucijom (8–16 bita). Uticaj atmosferskih elemenata (npr. razvoj oblačnosti) manji je nego pri snimanju sa satelita ili aviona, jer je senzor bliže površini koju snima.

Nedostaci tehnologije snimanja dronom se ogledaju u ograničenim mogućnostima kada postoji potreba za informacijama sa većih površina. Bespilotne letelice koje se koriste u poljoprivedi su najčešće manjih dimenzija i pogone se preko punjive baterije koja ima ograničen kapacitet. Takođe, za mapiranje veće površine potrebno je preklapanje velikog broja pojedinačnih slika kako bi se dobila celina ili tzv. ortomozaik/ortofoto. Pravilno preklapanje fotografija je uslov za precizni ortomozaik, što zahteva stabilnost letelice kako bi se sprečile greške i zamućenost, koji nastaju kao rezultat razlike u osvetljaju i destabilizaciji slike (*Ivošević et al, 2015*).



a) b)

Slika 5.22. Letelica u obliku fiksnog krila (a) i sa rotacionim elisama (b)

Bespilotne letelice u poljoprivredi se mogu podeliti prema konstrukciji na dve osnovne kategorije: roto-koptere i letelice sa fiksnim krilom. Njihove dimenzije i mase variraju u značajnom opsegu od svega 200 g do superteških od 2.500 kg, odnosno dometa leta od 5 km do 1.500 km. Bespilotne letelice tipa fiksnog krila (slika 5.22a) zahtevaju određeni prostor za poletanje i sletanje, ali zahtevaju manje energije za prenos jedinične težine tereta i sposobne su da pokriju veće teritorije. Njihova mana se ogleda u tome što ne mogu da lebde u mestu, jer da bi održale visinu moraju da se kreću konstantno. Kod letelica sa elisama (slika 5.22b) ne postoji ovo ograničenje, što ih čini idealnim za nadzor sa velikom preciznošću. Takođe, roto-kopteri mogu poletati i sletati vertikalno sa bilo kog lokaliteta. Ne zahtevaju dodatni slobodan prostor ili početni zalet. Nedostatak im je manja autonomija leta zbog veće potrošnje energije, pa samim tim i manja pokrivenost terena. Naročitu pažnju i popularnost zadobijaju tzv. *VTOL* sistemi (letelice sa vertikalnim poletanjem i sletanjem) koji predstavljaju kombinaciju fiksnog krila i roto-koptera (slika 5.23). Ovi dronovi su prilagođeni za pokrivanje većih teritorija, a imaju mogućnost vertikalnog poletanja i sletanja pomoću propelera koji su smešteni na prednjoj i/ili zadnjoj strani letelice. Oni poleću vertikalno, a kada dostignu odgovarajuću visinu, postavljaju se u poziciju za horizontalni let. Prilikom sletanja proces se odvija obrnutim redosledom.

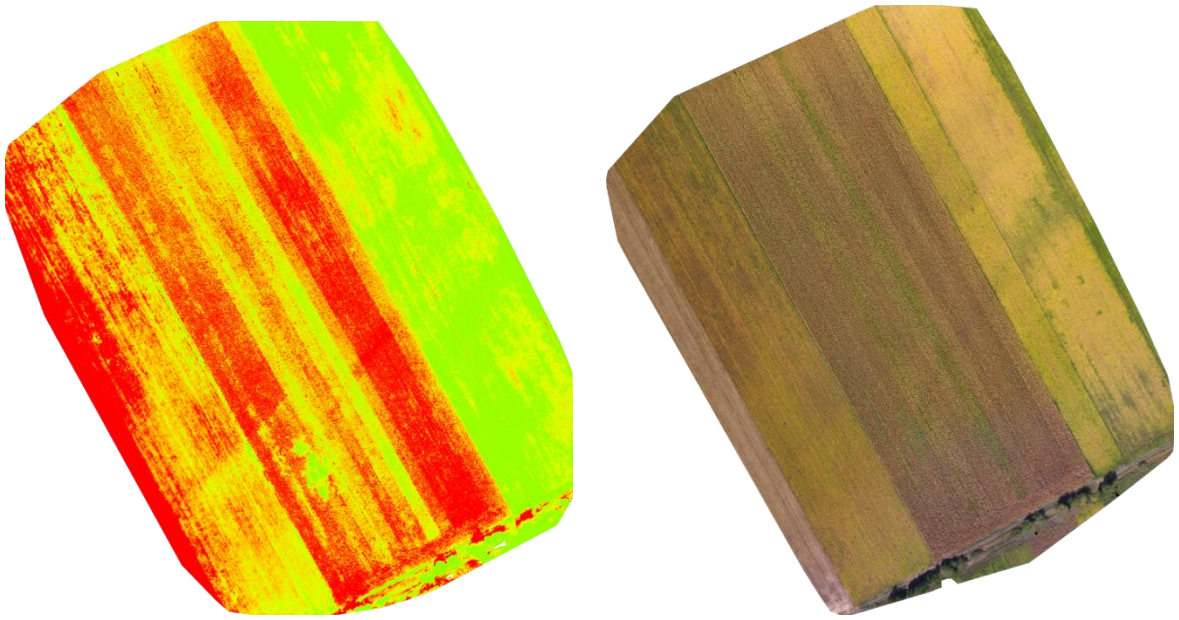
Bespilotne letelice se za potrebe nadzora u poljoprivredi opremaju različitim senzorima kao što su digitalne, multispektralne, hiperspektralne i termalne kamere. Prikupljanje i obrada podataka sa bespilotne letelice je proces koji uključuje kreiranje misije za prikupljanje podataka, prethodnu obradu slika, softversko preklapanje slika, izračunavanje vegetacionih indeksa u vidu matematičkih operacija na osnovu refleksije (spektralnog zapisa) biljaka, a zatim kreiranje odgovarajućeg modela za vizuelizaciju rezultata i interpretaciju.



Slika 5.23. VTOL (letelica sa vertikalnim poletanjem i sletanjem)

Faza prikupljanja podataka uključuje planiranje leta, označavanje geoprostornih kontrolnih tačaka za pravilno pozicioniranje i sam let *UAV*-a. Ispravna predobrada podataka sa potrebnom tačnošću podataka o *UAV* je ključni korak za razvoj modela (ortomozaika), jer bi nedostatak predobrade umanjio kvalitet sledećih procesa i stvorio pogrešne ishode. Predobrada podataka *UAV*-a uključuje izbor slika, precizno georeferenciranje i ortoispravljanje ili ortoraktifikaciju pomoću sistema kontrolnih tačaka. *UAV* softver pojednostavljuje planiranje leta, obradu i analizu podataka tako da se unosi mogu optimizovati i doneti bolje odluke uz smanjene troškove. Kreiranje misije leta je omogućeno pomoću mobilne aplikacije ili softvera za planiranje leta. Nakon neophodne predobrade podataka sledi generisanje 2-D/3-D modela iz kojeg se izračunavaju željeni vegetacioni indeksi i izvode potrebni zaključci (slika 5.24). Sistem upravljanja dronom može biti poluautomatski i automatski. Pri poluautomatskom načinu upravljanja neophodno je stručno osposobljeno lice za unos parametara leta, kao i eventualno preuzimanje kontrole nad letelicom u slučajevima nebezbednog terena (najčešće pri sletanju, izbegavanju prepreka i iznenadnih nepovoljnih vremenskih prilika). Ovaj sistem je poznat kao poluautonomni jer sadrži nekoliko unapred programiranih naredbi koje su autonomne, ali koje prethodno definiše rukovalac drona. Lice koje kreira misiju (slika 5.25) ima mogućnost manipulacije parametara kao što su: dimenzije terena, visina leta, stepen preklapanja između susednih fotografija, ugao kamere i osobine povezane sa karakteristikama slike. Potpuno autonomni dronovi imaju kontrolu koja im omogućava da obave sve prethodno definisane zadatke koji se tiču poleta, putanje leta, snimanja i sletanja, automatski bez asistencije operatera. Noviji dronovi imaju mogućnost prepoznavanja prepreka kao što su dalekovodi, zgrade ili drveće i opciju automatskog izbegavanja. Dronovi se razlikuju po brojnim karakteristikama i mogu se grupisati na osnovu veličine (težine), dužine leta, nosivosti, tipa pogona i cene. Dronovi mogu da dostignu težinu i do 2 t (*Lockheed Martin RQ-3 DarkStar*). Sve letelice koje su preko 200 kg težine svrstavaju se u superteške dronove. Srednje teški su u rasponu od 50 kg do 200 kg (*Phoenix, Raven*).

Letelice težine manje od 5 kg pripadaju grupi manjih dronova (*eBee*, *Phantom*, *Inspire*). U mikrodronove se ubrajaju letelice težine ispod pola kg za koje nije potrebna dozvola za letenje. Imaju različite mogućnosti u pogledu dužine leta. Neki dronovi mogu ostati u vazduhu i do 24 h sa preletom od 1.500 km do 2.000 km (*Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk*).



a) b)

Slika 5.24. Ortomozaik dobijen preklapanjem fotografija RGB kamere (a); ortomozaik dobijen preklapanjem fotografija dobijenih modifikovanom NDVI kamerom sa odgovarajućom skalom (b)

Manje letelice po pravilu imaju manju autonomiju leta. Manji dronovi, koji se najčešće koriste u komercijalne svrhe, imaju autonomiju leta od 15 do 30 min. što zavisi od više faktora (kapacitet baterija, nosivost tereta, brzina vetra, zahtevnost misije). Dronovi mogu dostizati različite visine leta. U poljoprivredi se za nadzor useva koriste relativno male visine zbog kvaliteta detalja u slici koji se želi postići. Niskoletni dronovi dostižu visinu do 1.000 m, srednjoletni od 1.000 do 10.000 m i visokoletni preko 10.000 m. Nosivost dronova predstavlja odnos njegove težine i težine korisnog tereta koji može da ponese. Pogonska jedinica može biti turbomlazni motor, ukoliko se radi o velikim dronovima, ili najčešće sa SUS motorom, odnosno elektromotorom. Mali dronovi imaju pogon na elektromotor, dok se za nadzor većih polja koriste kopteri sa SUS motorom. Dronovi koji koriste pogon elektromotora mogu imati dva tipa motora: motori sa četkicama i bez njih (*brushed* i *brushless*). Oni variraju u načinu rada. Motori bez četkica su mnogo snažniji i dugotrajniji pa se kod velikih roto-koptera mnogo češće upotrebljavaju. Cena drona zavisi od veličine, ali i od dodatne opreme, kao što su kamere i drugi senzori. Neretko je cena letelice jednaka ili čak manja od cene kvalitetne multispektralne kamere koja ide uz letelicu. Raspon cena se kreće od nekoliko stotina evra do nekoliko hiljada evra.



Slika 5.25. Isplanirana putanja leta bespilotne letelice

Tehnički nedostaci bespilotnih letelica

Postoji kompromis između kapaciteta nosivosti i vremena leta u bespilotnoj tehnologiji. Sa povećanjem korisnog opterećenja, dužina trajanja leta opada i stoga misija najčešće neće biti ispunjena sa jednom baterijom ili kapacitetom rezervoara. U ovakvim uslovima može da se manipuliše parametrima poput smanjenja preklopa između susednih fotografija ili povećanjem visine leta, pri čemu se gubi na rezoluciji i finim detaljima koji su često neophodni u preciznoj poljoprivredi. Dronovi sa fiksnim krilima efikasni su u potrošnji energije, ali imaju nedostatak u vidu nemogućnosti lebdenja i kontrole brzine. U budućnosti se umesto korišćenja jednog drona može očekivati upotreba više njih istovremeno sa istom misijom ili nastavkom zadate misije. Let rojeva bespilotnih letelica može uspešnije izvršiti zadatak čak i u slučaju neuspelog leta jednog drona, gde drugi preuzimaju njegovu ulogu i izvršavaju misiju. Ova tehnologija koristi veštačku inteligenciju i još je u fazi razvoja. Primena veštačke inteligencije omogućiće dronu da donosi pametne odluke i deluje u skladu sa njima nezavisno od ljudskih kontrolera. Upotreba dronova je još uvek zavisna od vremenskih uslova, ponajviše od vetra i padavina. Razlozi zbog kojih se primena dronova u poljoprivredi i dalje ne praktikuje u dovoljnoj meri jesu nedovoljno poznavanje tehnologije, nepristupačnost cene opreme i komplikovana i dugotrajna procedura za obradu podataka. Osim pomenutog, korišćenje senzora kao što su različite multispektralne/hiperspektralne/termalne kamere nosi sobom određene izazove. Kvalitet snimaka/slika iz vazduha podložan je atmosferskom uticaju, intenzitetu Sunčeve radijacije, položaju Sunca tokom dana i brzini vetra. Jedan od

bitnih aspekata primene dronova su zakonske odredbe koje regulišu njihovo korišćenje. U mnogim zemljama regulativne norme nisu najbolje prilagođene potrebama za korišćenjem dronova. Najjasniji i najbolje regulisan sistem zakona o bespilotnom vazduhoplovstvu imaju zemlje kao što su SAD, Nemačka, Velika Britanija, Španija i Holandija, dok ostale zemlje zaostaju po tom pitanju. Cena opreme je takođe jedna od velikih prepreka za njihovu širu primenu u poljoprivredi. Iako se argumenti odnose na dugoročne pozitivne efekte primene, veoma je teško ubediti potencijalne korisnike da investiraju u ovu tehnologiju. Autor *Sylvester (2018)* navodi u svom radu **da su za modernizaciju poljoprivrede najodgovorniji sami poljoprivrednici i njihov potencijal da se suoče sa nadolazećim tehnološkim promenama**.

6 SENZORSKO MERENJE PRINOSA NA ŽETVENIM MAŠINAMA

Efikasnost upravljanja zemljištem i biljkama snažno zavisi od metode prikupljanja podataka, njihove valjanosti i upotrebljivosti u procesu donošenja odluka. Ogromni naučni resursi angažovani su u razvoju poljoprivrednih senzorskih uređaja (niska cena, lako rukovanje, visoka efikasnost), algoritama i računarskog softvera koji bi mogli biti podjednako efikasni u različitim agroekološkim okruženjima. Međutim, prikupljanje ogromne količine podataka u preciznoj poljoprivredi ne može biti samo po sebi cilj ukoliko je upotrebljiva vrednost tih podataka niska. U ranim 2010-im, primena precizne poljoprivrede bila je stimulisana naprednim tehnološkim dostignućima kao što su jeftini senzori, aktuatori, mikroprocesori, širokopojasna mobilna komunikacija itd. Kao rezultat dobijeni su novi izvori podataka koji ne potiču samo od mašina već i sa drugih izvora. Oni omogućavaju raznim alatima sa novim algoritmima da prevedu podatke u operativne informacije.

6.1 SNIMANJE PRINOSA ZRNASTIH USEVA (*YIELD MONITORING*)

Snimanje prinosa biomase ili zrna (u zavisnosti od tipa žetvene mašine) smatra se jednom od najkorisnijih tehnika za procenu varijabilnosti zemljišta na nekom polju. To je ujedno prvi alat precizne poljoprivrede koji je bio dostupan na tržištu još 90-ih godina prošlog veka. Prvi put je automatsko snimanje prinosa zrna sa pozicioniranjem kombajna obavio *Bae et al. (1989)*. Prinos biljaka je direktna posledica združenog delovanja svih prisutnih činilaca, pre svega u zemljištu. Mada, u proizvodnji na otvorenom polju, veliki uticaj na prinos imaju vremenski uslovi, ali ako se pretpostavi da na jednom polju vladaju isti klimatski uslovi, onda su nejednakosti u prinosu najverovatnije posledica uticaja heterogenosti zemljišta.

Korišćenje monitora prinosa ne zahteva veliko predznanje korisnika niti angažovanje dodatnog vremena, što veoma pogoduje karakteru poljoprivrednih proizvođača, ali i objektivnim okolnostima manjka slobodnog vremena za dodatne aktivnosti. Ovu činjenicu potvrđuje visoko prihvatanje tehnologije u razvijenim zemljama, pre svega u SAD, Kanadi , Australiji i Brazilu. Snimanje prinosa se radi u hodu (*on-the-go*), tokom normalne operacije žetve, bez remećenja učinka i kvaliteta rada žetvene mašine. Zapisi prinosa mogu biti numeričke vrednosti bez geografske orijentacije ili pak georeferencirane, što svakako za preciznu poljoprivredu ima

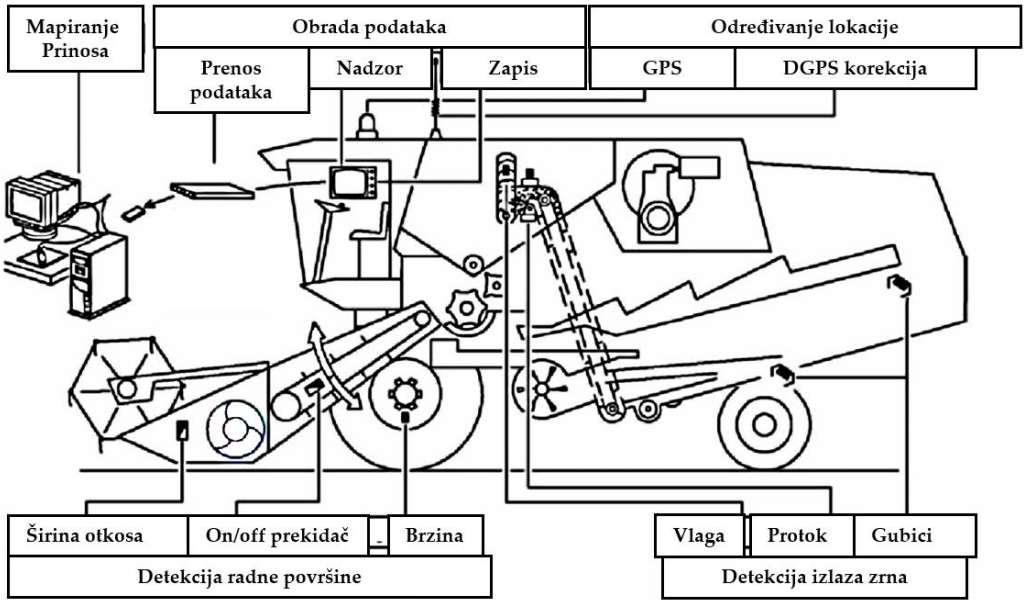
mnogo veći značaj. Georeferenciranjem podataka moguće je primenom geostatističkih alata interpolacije generisati prostornu mapu sa koje se mogu očitati vrednosti za bilo koji deo polja. Sa aspekta precizne poljoprivrede, georeferenciranje prinosa ima sledeće ciljeve:

- dobijanje informacije o produktivnim potencijalima specifičnih zona na polju,
- dobijanje informacije o efektima primene lokacijski specifične tehnologije i
- dobijanje informacije o količinama iznetog hraniva sa pojedinih lokacija na polju.

Snimanje prinosa zahteva minimalne izmene na postojećim konstrukcijama kombajna. Sistem obuhvata sledeće komponente:

- senzor protoka zrna/mase,
- senzor vlažnosti zrna/mase,
- senzor brzine elevatora zrna/mase,
- položaj hedera i
- *GPS* prijemnik.

Podaci sa ovih senzora šalju se na monitor u kabini rukovaoca koji obrađuje, prikazuje i memoriše podatke na internu ili eksternu memoriju (slika 6.1).



Slika 6.1. Prikaz sistema akvizicije georeferenciranih podataka o prinosu zrna na univerzalnom žitnom kombajnu

Primenom tehnologije telemetrije i internet stvari (IoT) podaci se mogu u realnom vremenu ažurirati na server kojima korisnik može u bilo kom trenutku pristupiti sa personalnog računara. Ovim je olakšan postupak manipulacije i čuvanja podataka, jer korisnik nije u obavezi da ručno premešta podatke sa kombajna na *PC*. Merenje prinosa zrna na kombajnima se obavlja indirektno, računanjem na osnovu izmerenih

i unetih parametara. Za ovu operaciju neophodne su vrednosti sa senzora protoka čistog zrna, senzora vlažnosti, podaci o radnom zahvatu i brzini kretanja.

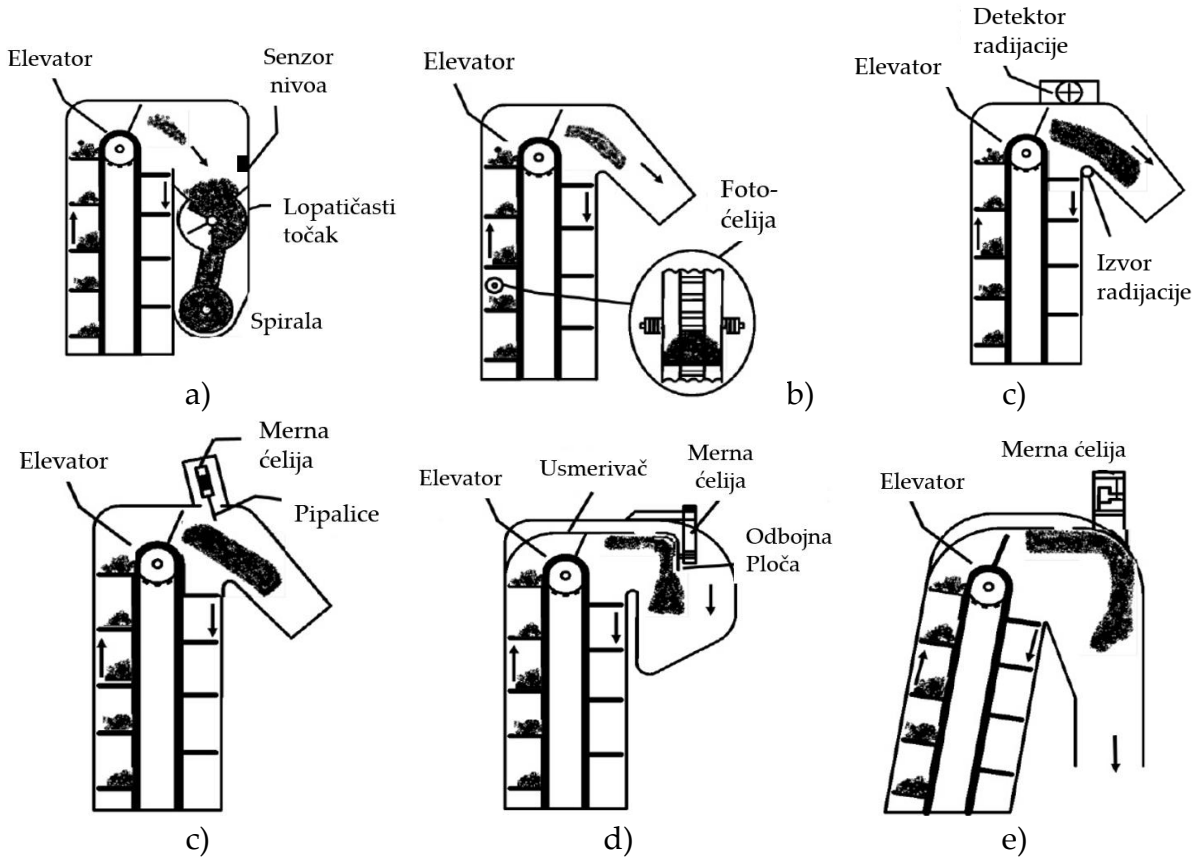
$$Ym=\frac{m_s \cdot 10.000}{v \cdot B \cdot \Delta t}$$

Gde je:

Ym – prinos suvog zrna (kg/ha),
m_s – masa suvog zrna izmerena za vreme Δt (kg),
v – brzina kombajna (m/s),
Δt – interval između dva merenja (s) i
B – širina zahvata hedera (m).

Postoje dva tipa senzora protoka zrna koji se koriste na kombajnima, i to senzori merači masenog protoka i zapreminskog protoka (slika 6.2). Svi oni se montiraju na gornjoj glavi elevatora čistog zrna. Kada je reč o senzorima koji mere zapreminski protok, masa zrna se preračunava na osnovu izmerenog zapreminskog protoka i specifične težine zrna. Zapremina se odmerava na osnovu količine zrna na lopatici elevatora čija je zapremina unapred poznata.

Prvi komercijalni monitor prinosa je koristio princip lopatičastog točka sa magnetnim brojačem obrtaja (*Claydon Yield-O-Meter*, slika 6.2a). Sistem radi na principu turbinskog kola, gde se međuprostor naizmenično puni i prazni zrnom, a frekvencija obrtanja aproksimira zapreminskim protokom. Turbinsko kolo se aktivira kada se akumulacioni prostor napuni, odnosno kada to senzor nivoa registruje. Tada se uključuje pogon rotora sa lopaticama koji prazni akumulacioni prostor. Maseni protok se računa na osnovu podatka o zapreminskoj masi zrna. Drugi sistem je baziran na foto-ćeliji koja je montirana na elevatoru zrna gde se maseni protok preračunava na osnovu poremećaja optičkog signala pri prolazu „gomile“ na lopaticama elevatora (*Claas Quantimeter*, slika 6.2b). Dužina mračne faze asocira visinu stuba zrna na lopatici elevatora, time i zapreminu, a indirektno i masu. Svi preračuni zapremine na osnovu vremena senčenja senzora zasnovani su na modelima koji su dobijeni tokom ispitivanja u fazi razvoja. Nuliranje monitora se obavlja tako što se sistem pusti da radi na prazno kako bi se zapamtilo vreme senčenja praznog hoda. Sistem kompenzuje uticaj nagiba na napunjenost lopatica na osnovu očitavanja sa senzora nagiba. Direktno merenje mase proteklog zrna je izvedeno pomoću senzora sile merenjem intenziteta udara zrna ili merenjem apsorpcije gama zraka od strane zrna. *Massey Ferguson Flowcontrol* je bio jedan od merača protoka na kombajnima koji su radili na principu radiometrije (slika 6.2c). Zrna koja su dolazila sa elevatora prolazila su zonu slabe radioaktivnosti (Americijum 241, 35 MBq aktivnost) i senzora radijacije. Količina apsorbovanog zračenja proporcionalna je masi zrna koje prođe pored senzora. Kad se uzme u obzir brzina kretanja zrna, dobije se maseni protok. Sličan sistem merenja protoka se koristi u prehrambenoj industriji.

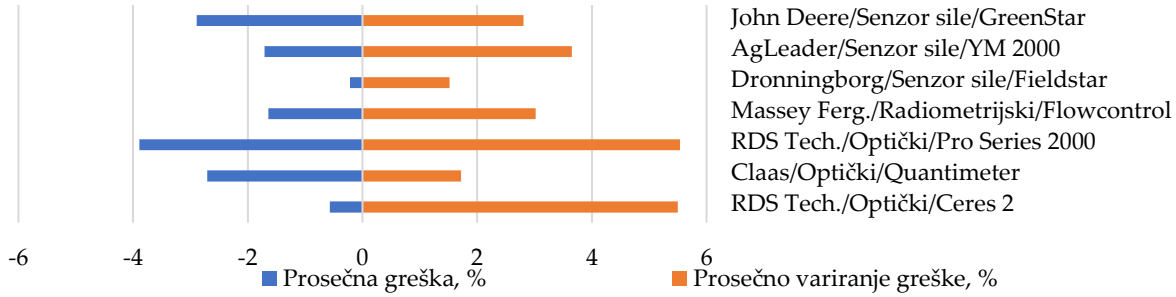


Slika 6.2. Sistemi merenja protoka zrna na elevatoru: a) protokometrija; b) fotometrija; c) radiometrija; d) dinamometrija tip-1; e) dinamometrija tip-2

Nekoliko sistema za merenje protoka na principu merenja udara razvijeni su u SAD. Uređaj indirektno meri maseni protok na osnovu intenziteta i frekvencije udara nadolazećeg zrna na elevatoru. Proizvođači *AgLeader* i *Case* kombinuju zakrivljenu odbojnu ploču koja je povezana sa mernom ćelijom, dok je kod *John Deere*-a zakrivljena ploča povezana sa oprugom i senzorom pomeranja ili senzorom sile (*Strubbe et al., 1996*; *Strubbe 1997*). Zrno koje dolazi sa elevatora udara o odbojnu ploču indukujući impuls sile ili pomeranje elementa koje se detektuje mernom ćelijom (slika 6.2d,f). S obzirom na to da je intenzitet udara srazmeran brzini i masi zrna, moguće je prevesti signal sa merne ćelije u podatak o masenom protoku.

Svi pomenuti sistemi imaju iste prateće komponente za akviziciju, a to su senzorni elementi, procesorska jedinica, prikazni monitor i memorijska jedinica. Današnji kombajni se proizvode sa ugrađenim monitorima ili bez njih, ali u tom slučaju kompletna električna instalacija i propratne komponente koje olakšavaju naknadnu instalaciju postoje kao redovna oprema. Ovo govori koliko je tehnika merenja prinosa pouzdana u radu, korisna prilikom donošenja budućih odluka i prepoznata među poljoprivrednim proizvođačima. Određeni proizvođači dodatne opreme za preciznu poljoprivredu nude univerzalna rešenja monitora prinosa koji se mogu ugraditi u sve postojeće kombajne uz manja prilagođavanja (*Demmel, 2001*).

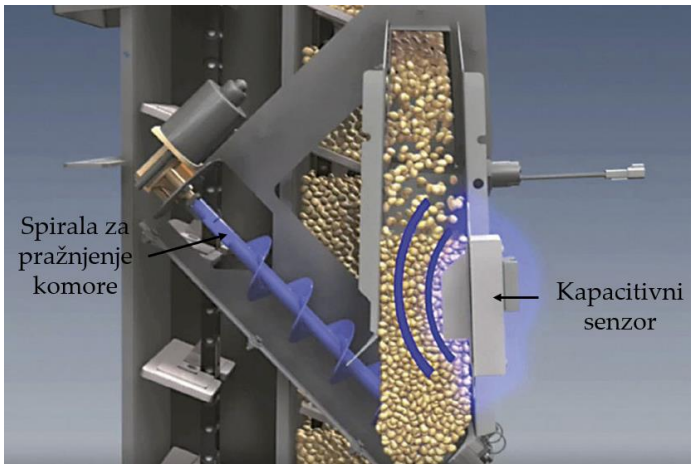
Slika 6.3 prikazuje rezultate ispitivanja monitora prinosa različitih proizvođača opreme. Očigledno je da postoje razlike u stabilnosti merenja i apsolutnoj grešci izmerenog prinosa, s obzirom na principe detekcije protoka mase. Prema datim podacima, sistem merenja protoka korišćenjem senzora sile udara zrna može se okarakterisati kao bolje rešenje u odnosu na optički ili radiometrijski.



Slika 6.3. Prosečne vrednosti greške u merenju prinosa za stacionarno testiranje u laboratorijskim uslovima (Demmel, 2001)

Poznata međunarodna organizacija *ASABE* (*American Society of Agricultural and Biological Engineers*) definisala je osnovne preduslove ili metode za testiranje monitora prinosa u okviru standarda (*ASABE Standard S578*) po kojima bi dobijeni rezultati testiranja bili uporedivi. Ovaj standard opisuje serije iterativnih postupaka kojima se mogu oceniti performanse monitora prinosa u laboratorijskim uslovima. Osim toga, *ASABE Standard S579* definiše procedure za ispitivanje monitora prinosa u njivskim uslovima.

Monitori prinosa su, osim meračima protoka, opremljeni i meračima vlage zrna. Merenje vlage je korisna informacija, jer se podaci o prinosu normalizuju na vrednost standardne – skladišne vlažnosti, čime se kompenzuje različitost u sadržaju vlage zrna na istoj parceli. Jednom rečju, da bi podatak o prinosu mogao biti uporediv, sve ubrano zrno mora biti svedeno na istu vrednost vlažnosti. Vlažnost zrna se meri po istom principu kao što je slučaj kod ručnih vlagomera. To su kapacitivni senzori koji mere promenu dielektrične konstante dielektrika koji je u slučaju vlagomera zrno, te na osnovu kalibracione krive preračunavaju vlagu u zrnu. Na kombajnima gde zrno neprestano prolazi, jedan deo toka zrna se periodično preusmerava u komoru gde su ugrađene ploče senzora (slika 6.4). Nakon merenja, komora se prazni i počinje nova

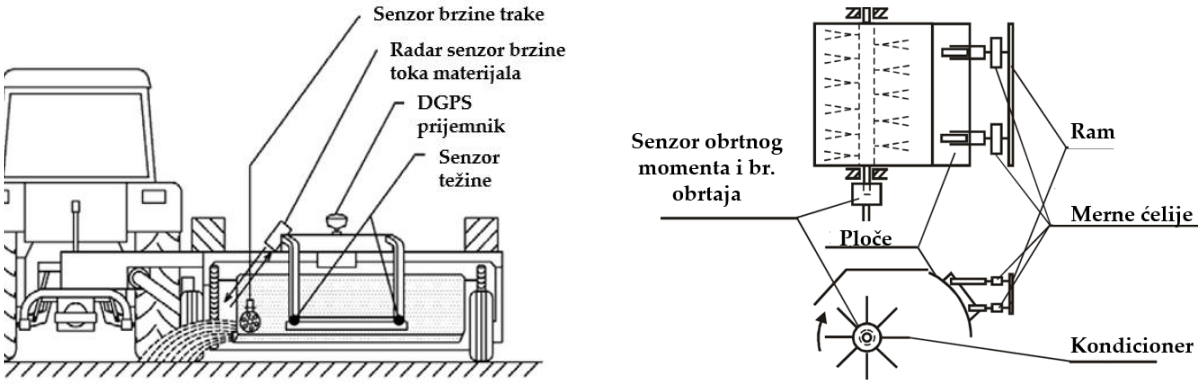


Slika 6.4. Prikaz „bypass" kanala sa ugrađenim senzorom vlažnosti zrna

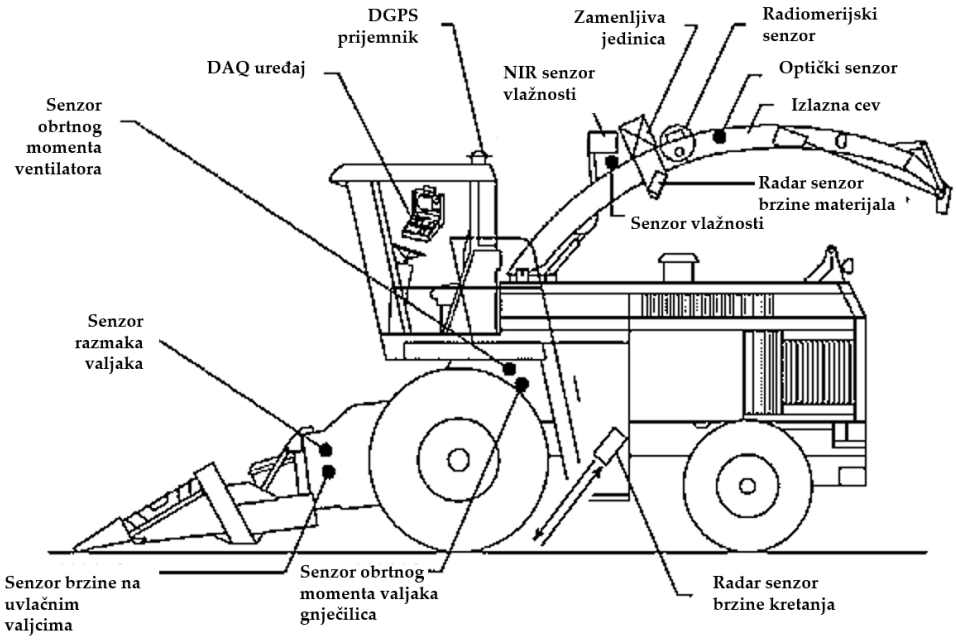
sesija koja se neprestano ponavlja. Ovo ukazuje na to da je učestalost merenja prinosa zrna (1 Hz) i vlažnosti različita (0,1–0,05 Hz).

6.2 SNIMANJE PRINOSA PRI SPREMANJU KABASTE STOČNE HRANE

U nekim zemljama Evrope, u značajnoj meri su zastupljene biljne vrste koje se koriste za ishranu domaćih životinja, pre svega goveda. U tom pogledu, neki autori su se bavili razvojem sistema za praćenje prinosa zelene mase na kosilicama (slika 6.5a).



Slika 6.5. Koncepti merenja prinosa krmnih kultura: a) merenje protoka na transportnoj traci (Demmel et al., 2002); b) merenje protoka na osnovu otpornog momenta na drobilici (Kumhala et al., 2003, Kumhala et al., 2007)



Slika 6.6. Dodatna oprema za mapiranje prinosa na silažnom kombajnu (Auernhammer et al.,1995)

Ti sistemi su bazirani na kontinualnom merenju mase na beskonačnoj traci koja prihvata pokošen materijal (*Demmel et al., 2002*), dok su *Kumhala et al. (2007)* merili otporni moment obrtanja kondicionera za lomljenje stabljike, da bi na osnovu

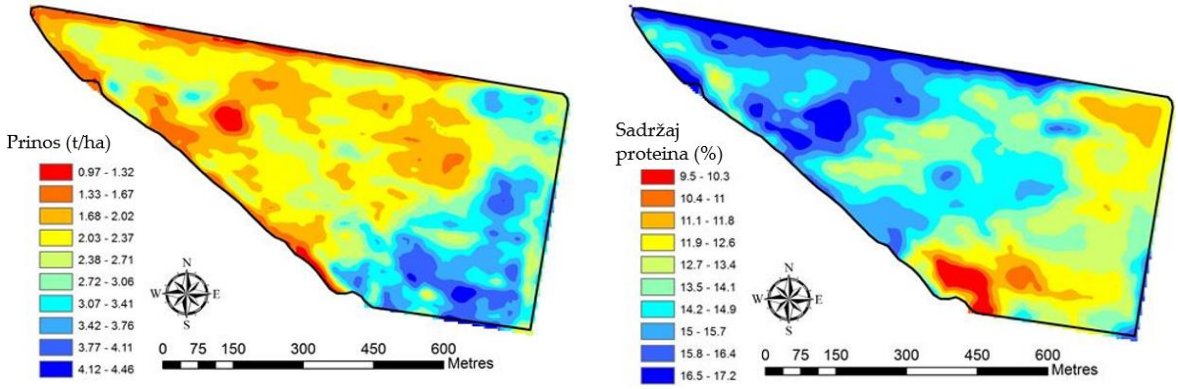
frekvencije udara modelirali protok pokošene mase (slika 6.5b). Na silažnim kombajnima su autori *Auernhammer et al. (1995)* primenili metod merenja protoka zasnovan na podacima o razmaku ulaznih valjaka i radiometrijskog merenja masenog protoka na izlaznoj cevi (slika 6.6). Izmereni protok materijala i pređeni put je za definisani radni zahvat mašine korišćen za preračunavanje prinosa po hektaru. Učestalost merenja je bila 1 Hz.

6.3 MONITORI PRINOSA NA KOMBAJNIMA KORENASTIH USEVA

Na kombajnima za ubiranje korenastih kultura razvijeno je nekoliko uspešnih sistema za praćenje prinosa u realnom vremenu i prostoru. Generalno, većina njih je koncipirana na principu merenja masenog protoka na lančastom i trakastom transporteru uz asociranje izmerenih vrednosti sa *GPS* koordinatama (*Harvestmaster version HM 500*). *Hennes et al. (2002)* primenio je tehniku merenja protoka adaptiranjem zakrivljene ploče na rotacionom čistaču kombajna za repu.

6.4 MONITORI KVALITATIVNIH PARAMETARA

Kvalitet ubranog biljnog materijala ima sve veći uticaj na realizaciju prodajne cene na tržištu poljoprivrednih proizvoda, samim tim i na zaradu. Kada je reč o žitaricama, kvalitet se izražava sadržajem proteina u zrnu, dok je kod industrijskih biljaka to sadržaj ulja i šećera. Precizno lokacijsko merenje sadržaja proteina ili ulja, zajedno sa prinosom, veoma je korisno u oceni kvaliteta mineralne ishrane gajene biljke, odnosno tehnologije đubrenja u pojedinim zonama na polju (slika 6.7). Na osnovu tih podataka mogu se doneti zaključci o eventualnim popravnim merama kako bi se povećao kvalitet krajnjeg proizvoda.



a) b)

Slika 6.7. Prikaz mape prinosa (a) i sadržaja proteina (b) u zrnu na polju od 40 ha

Kvalitet ubranog proizvoda može se meriti tokom žetve u realnom vremenu primenom tzv. *NIR* spektroskopije, odnosno optičkih senzora koji rade u opsegu blisko crvenog područja. Materijal koji je predmet merenja obasjava se *NIR* svetlošću koju jednim delom apsorbuju specifična jedinjenja u biljnom materijalu, dok se

reflektovana ili propuštena svetlost (u zavisnosti od tipa senzora) analizira, a dobijeni podaci su povezani sa sadržajem određenog kvalitativnog jedinjenja.

Uređaji koji rade na principu merenja propuštene *NIR* svetlosti moraju raditi sa stacionarnim uzorkom koji se „hvata“ u određenim vremenskim intervalima. Kod senzora koji detektuju reflektujuću *NIR* svetlost, merenje se obavlja kontinualno u vremenu.

6.5 OBRADA PODATAKA SA MONITORA PRINOSA

Podaci sa monitora prinosa predstavljaju skup numeričkih vrednosti koje imaju različitu informacionu važnost (slika 6.8). U zavisnosti od uređaja, jedan zapis može sadržati niz podataka sa različitih senzora sa kombajna koji mogu biti od koristi za naknadnu analizu. Osim parametara prinosa, zapis može sadržati i eksploatacione parametre radne mašine.

G-3 - Kukuruz 2016

FID	Shape	Field	Dataset	Produ	Obj	Distance_m	Track_d	Elevation_	Time	Swth_Wdth_	Diff_Statu	Crop_Flw_M	Moistur	Yld_Mass_W
0	Point	G-3	#16/09/26-12:57:3	CORN	1	0.613	144.3	113.533	9/26/2016	5.6	Yes	1.8868	21	1.5268
1	Point	G-3	#16/09/26-12:57:3	CORN	2	0.775	144.8	113.524	9/26/2016	5.6	Yes	6.6138	21	4.2331
2	Point	G-3	#16/09/26-12:57:3	CORN	3	0.864	145	113.515	9/26/2016	5.6	Yes	10.4244	21	5.9848
3	Point	G-3	#16/09/26-12:57:3	CORN	4	0.748	145.1	113.509	9/26/2016	5.6	Yes	14.2805	21	9.47
4	Point	G-3	#16/09/26-12:57:3	CORN	5	0.613	145.1	113.52	9/26/2016	5.6	Yes	14.1639	21	11.4613
5	Point	G-3	#16/09/26-12:57:3	CORN	6	0.64	144.6	113.522	9/26/2016	5.6	Yes	19.0323	21	14.751
6	Point	G-3	#16/09/26-12:57:3	CORN	7	0.722	143.8	113.509	9/26/2016	5.6	Yes	20.3587	21	13.9869
7	Point	G-3	#16/09/26-12:57:3	CORN	8	0.971	143.4	113.513	9/26/2016	5.6	Yes	27.4998	21	14.0482
8	Point	G-3	#16/09/26-12:57:3	CORN	9	1.274	142.5	113.512	9/26/2016	5.6	Yes	29.8928	21	11.6388
9	Point	G-3	#16/09/26-12:57:3	CORN	10	1.499	142.2	113.505	9/26/2016	5.6	Yes	34.6935	21	11.4804

Slika 6.8. Podaci monitora sa prinosa

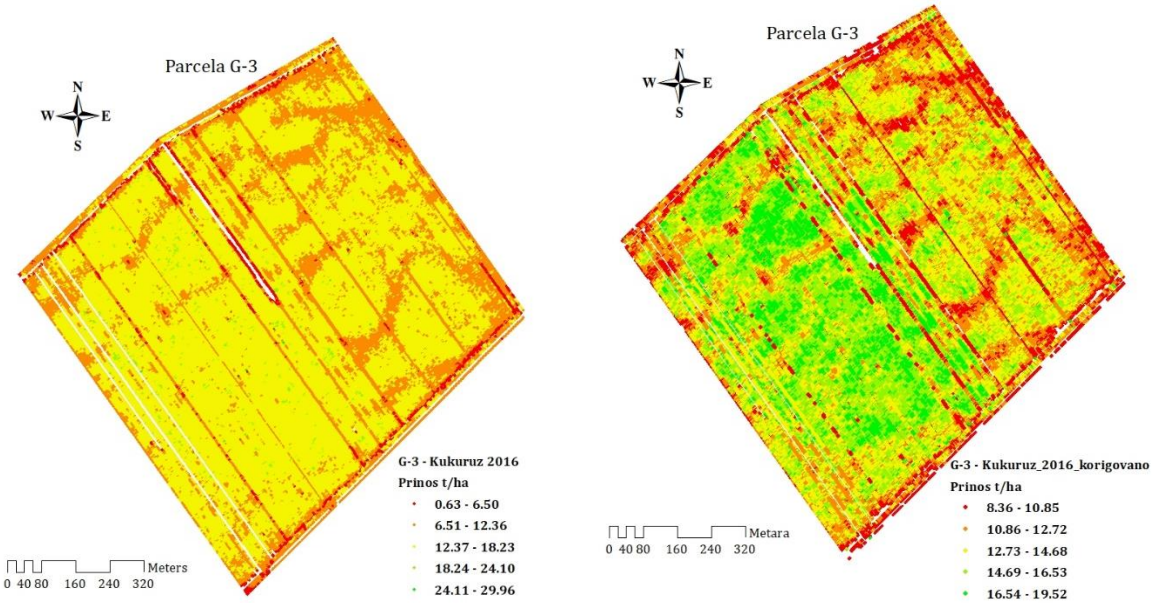
Sirovi podaci o prinosu, bez obzira na to koliko je kalibracija senzora na kombajnu dobro izvedena, relativno su upotrebljivi i moraju se podvrgnuti određenim manipulativnim operacijama kako bi se iz njih izvukli reprezentativni podaci. O čemu se zapravo radi? Svi podaci snimljeni na parceli imaju u sebi određen udeo pogreške koji može biti manji (zanemarljiv) ili veliki (mora se eliminisati).

Te greške uključuju sledeće:

- odstupanje od definisane širine zahvata,
- snimanje prinosa u praznom hodu,
- pogrešno podešen vremenski zaostatak detekcije i
- merenje pri naglim promenama brzine.

Osnovni pokazatelj kvaliteta podataka, odnosno dobijene mape prinosa na osnovu podataka o prinosu je raspon vrednosti za definisane intervale. Ukoliko su u paleti date vrednosti koje su izvan „realnih“, to je siguran znak da mapa nije dovoljno pouzdana (slika 6.9). Kada se radi na poljima nepravilnog oblika, ali i na onim sa pravilnim, često se dešava da završni prohod bude značajno manjeg zahvata od definisanog širinom hedera. Tada nastaju mala očitavanja, odnosno ekstremno niske vrednosti prinosa koje ne odgovaraju stvarnom stanju. Ovi podaci se lako lociraju na

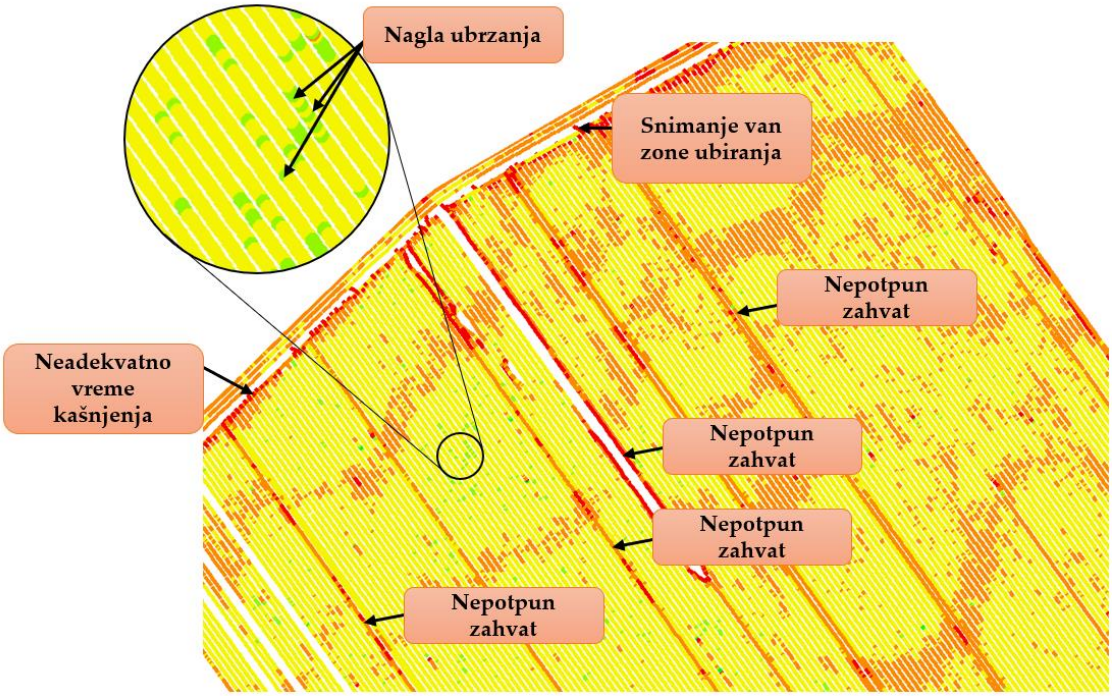
mapi u vidu besprekidnih tačkica iste boje, najčešće crvene (u zavisnosti od izabrane palete sa bojama).



a) b)

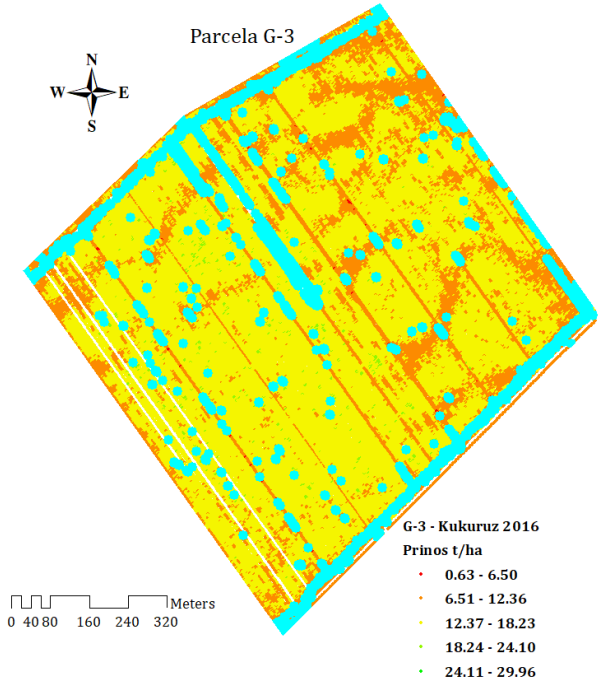
Slika 6.9. Mapa prinosa kukuruza izvedena na osnovu sirovih (a) i korigovanih (b) podataka sa monitora

Drugi slučaj nastanka pogrešnog očitavanja prinosa je kada se snimanje izvodi van zone produktivnog rada, tj. van nepokošenog useva. Najčešće je to slučaj kada se kombajn okreće na uzglavnici polja, a pri tome se ne isključi pogon hedera i istovremeno ostane u niskom položaju, što je signal za monitor prinosa da nastavi sa snimanjem (slika 6.10).



Slika 6.10. Mapa prinosa sa naznačenim neispravnim zapisima

Vreme od momenta košenja useva, pa do dolaska zrna na senzor protoka, kada se indirektno meri prinos, iznosi od 10 do 15 sekundi. Ovo zavisi od proizvođača, ali i mesta postavljanja *GPS* prijemnika. Greške koje nastaju ukoliko se kašnjenje nepravilno podesi izaziva pomeranje vrednosti o prinosu van stvarne lokacije.



Slika 6.11. Podaci koji se eliminišu u postupku filtracije

Nagla usporenja i ubrzanja kombajna mogu dovesti do grešaka u merenju, jer se u momentu kada kombajn uspori ili ubrza njegova brzina povezuje sa prethodno pokošenim usevom, što u kalkulaciji površinskog učinka (m^2/s), te prinosa daje veoma niske ili visoke vrednosti prinosa. Vrednosti se lako lociraju na mapi, jer se pojavljuju haotično po celoj površini (slika 6.10).

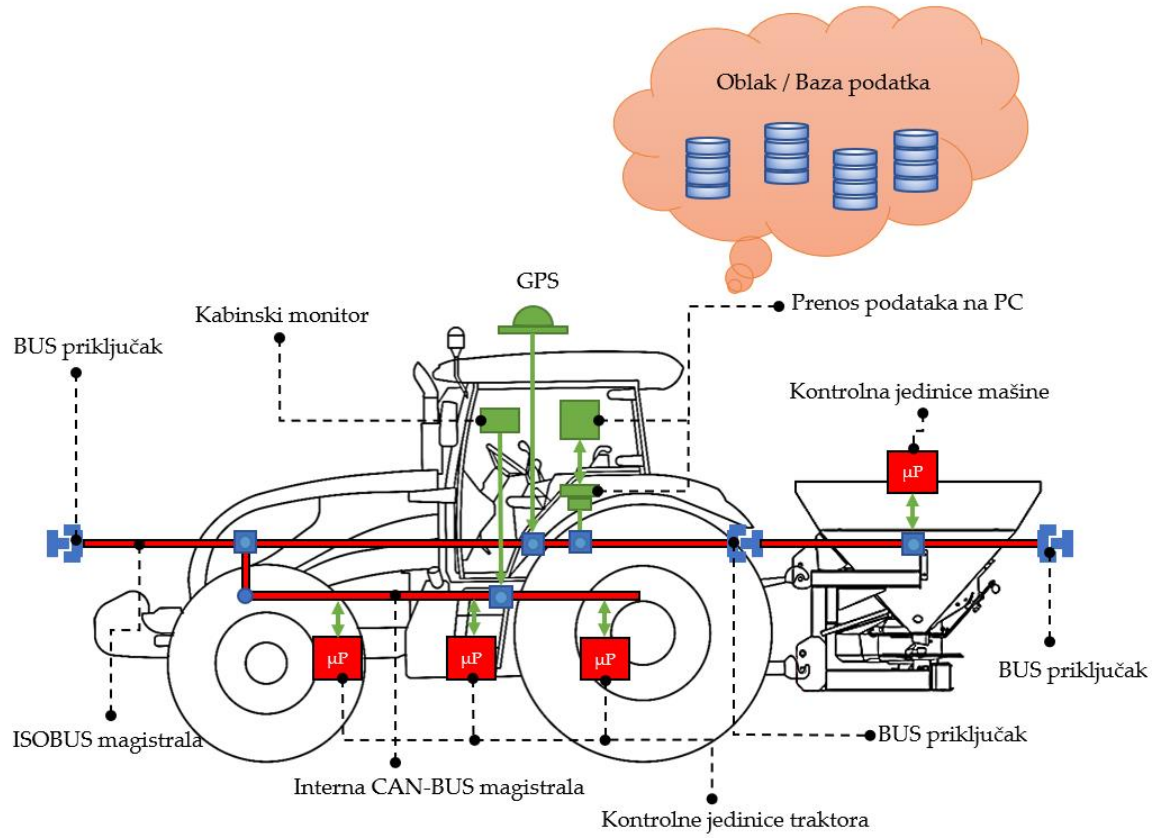
Postoje različite metode za čišćenje neispravnih podataka o prinosu. Prvi se može odnositi na interpretaciju statističkih podataka, a drugi na korišćenje kriterijuma minimalnih i maksimalnih vrednosti prinosa (slika 6.11).

7 *ISOBUS* STANDARD KOMUNIKACIJE

Krajem 20. veka sve više poljoprivrednih mašina bilo je opremljeno elektronskim komponentama za kontrolu rada. Kabinski displej je komunicirao sa eksternim uređajima na priključnoj mašini pomoću ožičenja čije je postavljanje zahtevalo znatno vremensko angažovanje. S obzirom na rapidni napredak u domenu razvoja elektronskih komponenti, moglo se pretpostaviti da će sa daljom elektrifikacijom biti teško izaći na kraj, ukoliko se bude morala ugrađivati svaki put kada se priključuje radna mašina za traktor. Početkom 80-ih godina prošlog veka, Institut za Biosistemsko inženjerstvo (*Institute of Biosystems Engineering*) predložio je prvi koncept za univerzalan prenos podataka između poljoprivrednih mašina. Trebalo je više od 10 godina da koncept preraste u standard. Pod vođstvom Nemačkog poljoprivrednog društva (*DLG*), 1986. godine formirana je ekspertska grupa koja se bavila ovim pitanjem. U saradnji sa drugim institucijama iz Evrope formiran je nemački standard *DIN 9684*. Standard definiše serijsku komunikaciju između traktora i radne mašine, kao i komunikaciju između poljoprivrednih mašina u globalu sa *PC* računarom. Takođe, ovim standardom definisana je komunikacija između rukovaoca i tehničkog sistema, poznata kao korisnički interfejs. Iako je to bilo preuranjeno u odnosu na realne okolnosti i nije na najbolji način specificiran standard, ideja o virtuelnom terminalu je preuzeta i ugrađena u standard *ISO 11873*.

Standardizacija *BUS* sistema je važna za univerzalne mašine kakav je traktor koji često priključuje različite radne mašine. Korišćenje nezavisnih uređaja koje prati kompletna instalacija je nepotrebno, jer se time povećavaju troškovi nabavke i održavanja, a i komplikuje se rukovanje. Takođe, svaka ova mašina postaje informaciono odvojena od ostalih sistema. Standardizacija razmene informacija između traktora i radne mašine omogućava korisniku da koristi veći broj mašina različitih proizvođača. Da bi se postiglo opšte prihvatanje ovakvog koncepta, neophodno je da povezivanje kontrolnih jedinica mašine i traktora bude krajnje jednostavno za korisnika. Poseban zahtev u pogledu standardizacije odnosi se na način prikaza informacija korisniku. Ove informacije se odnose na radne procese, radne parametre mašine i traktora.

Primena koncepta precizne poljoprivrede na velikim parcelama nije moguća bez elektronske kontrole uređaja na mašinama. Stalno usavršavanje poljoprivredne tehnike sa stalnim porastom izvora podataka čini opremu sve komplikovanijom.



Slika 7.1. ISO-BUS komunikaciona šema

Serija standarda sadržana u okvirima *ISO 11783* definiše komunikacionu šemu za kontrolu rada poljoprivrednih mašina (slika 7.1). Standard se sastoji od nekoliko celina:

- *ISO 11783-1*: Generalni standard za razmenu podataka,
- *ISO 11783-2*: Fizičko povezivanje,
- *ISO 11783-3*: Okvir mrežnog povezivanja,
- *ISO 11783-4*: Mrežni sloj,
- *ISO 11783-5*: Mrežno upravljanje,
- *ISO 11783-6*: Virtuelni terminal,
- *ISO 11783-7*: Poruke sa radne mašine,
- *ISO 11783-8*: Pogonski sklop poruka,
- *ISO 11783-9*: Kontrolna jedinica traktora,
- *ISO 11783-10*: Razmena podataka upravljačkog programa i upravljačkog informacionog sistema,
- *ISO 11783-11*: Rečnik elemenata mobilnih podataka,
- *ISO 11783-12*: Dijagnostika,
- *ISO 11783-13*: Server i
- *ISO 11783-14*: Kontrola redosleda.

ISO 11783 još uvek nije kompletiran iako je počeo da se razvija pre više od 25 godina. Neki njegovi delovi su pod nadzorom ili se još uvek usavršavaju.



Slika 7.2. Standardni devetokontaktni ISOBUS priključak

ISOBUS traktori su opremljeni sa nekoliko uređaja. Pre svega, tu je prepoznatljiva devetokontaktna utičnica (slika 7.2). Virtuelni terminal omogućava rukovaocu da preko traktorskog terminala upravlja radnom mašinom (slika 7.3). Na ovaj način je potpuno isključena potreba za posebnim, dodatnim terminalom radne mašine. Uređaj ima *USB* priključak, *Bluetooth* i *WLAN* komunikaciju.



Slika 7.3. Virtuelni terminal osetljiv na dodir koji ima mogućnost prikaza podataka sa više različitih mašina

Kontroler zadataka (*Task controller*) predstavlja program koji je zadužen da memoriše komande koje treba da izvrši na osnovu zadatih parametara. Takođe, kontroler zadataka memoriše parametre traktora i mašine kao što su potrošnja goriva,

urađena površina, ostvarena norma đubrenja itd. U kontroler se mogu učitati mape preporučenih normi u formatu *ISO-XML*. Upravljačka jedinica (*ECU*) radne mašine iščitava vrednosti sa senzora i šalje ih ka traktorskom terminalu koristeći *CAN* (*Controll Area Network*) mrežu. Današnji *ISOBUS* kontroleri imaju proširene mogućnosti te mogu podržavati istovremeni prikaz kamere koja se nalazi na radnoj mašini i radne parametre mašine. Takođe, omogućeno je pretraživanje interneta ugradnjom dodatnog modema.

8 TEHNOLOGIJA PROSTORNO PRILAGODLJIVE APLIKACIJE (*VRT*)

Tehnologija prostorno prilagodljive aplikacije je osnovni smisao precizne poljoprivrede. Ujedno, ona je i najskuplja za primenu, te je zbog toga još uvek u relativno malom procentu zastupljena čak i među poljoprivrednicima u najrazvijenijim zemljama. Međutim, nije samo cena prepreka. Ona je vrhunac implementacije svih tehnologija u njivskoj proizvodnji. Suština ove tehnologije je da se na mehanizovan način, kako to poljoprivreda inače obavlja, bez narušavanja proizvodnih kapaciteta mobilnih sistema omogući prostorno tačna primena predviđenih količina repromaterijala (đubriva, semena, vode za navodnjavanje i pesticida). Odluke kojima se vodi ova tehnologija objedinjuje senzorsku i informacionu tehnologiju u jednu celinu uz dodatak empirijskog iskustva agronoma ili poljoprivrednika. Suština je doći do optimalne proizvodnje koja će biti najisplativija i najodrživija. Postoje mnogi sistemi koji pomažu sprovođenju ove tehnologije. Tu spadaju bespilotne letelice, daljinska detekcija, veštačka inteligencija u obradi podataka, senzorska detekcija itd.

Generalno, razvijena su dva koncepta tehnologije promenljivih normi, i to:

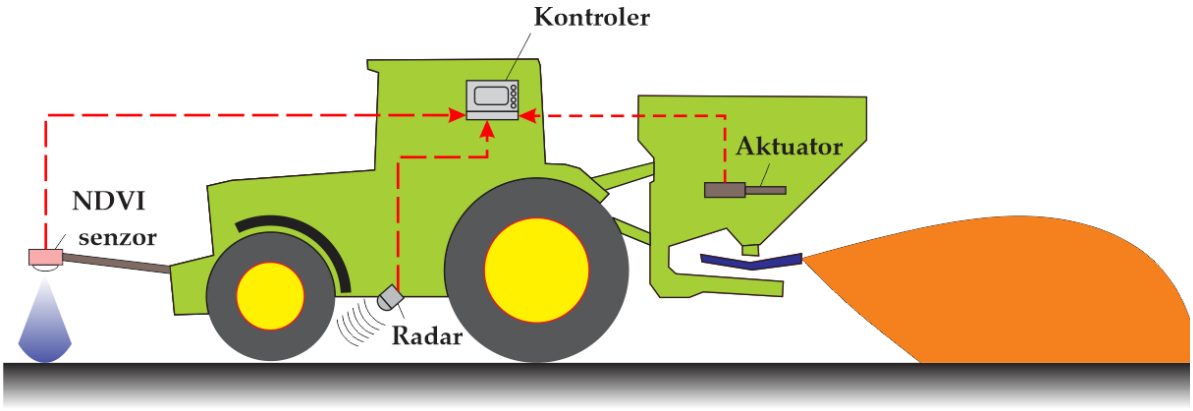
- promenljiva primena na osnovu mapiranih preporuka (slika 8.1a) i
- promenljiva primena na osnovu senzorskog očitavanja (slika 8.1b).

Senzorski sistemi (Slika 8.1a) ne zahtevaju korišćenje *GPS* prijemnika, nego merenje trenutne brzine kretanja i detekciju nekog parametra (osobine zemljišta ili useva i parametri okruženja) na parceli na osnovu kojeg će kontroler upravljati aktuatorom. Senzori moraju meriti sa visokom učestalošću i veoma brzim prenosom podataka do kontrolera. Kod ovih sistema rezolucija promene norme može biti znatno veća nego kod sistema koji koristi mape. Koncept koji za upravljanje koristi podatke sa *GIS* mape (slika 8.1b) podešava trenutnu normu na osnovu predefinisanih mapa koje se nazivaju mape preporuke. *GPS* prijemnik je obavezna oprema kojom sistem određuje trenutnu lokaciju i upoređuje sa vrednošću koja je zadata mapom na istoj lokaciji.

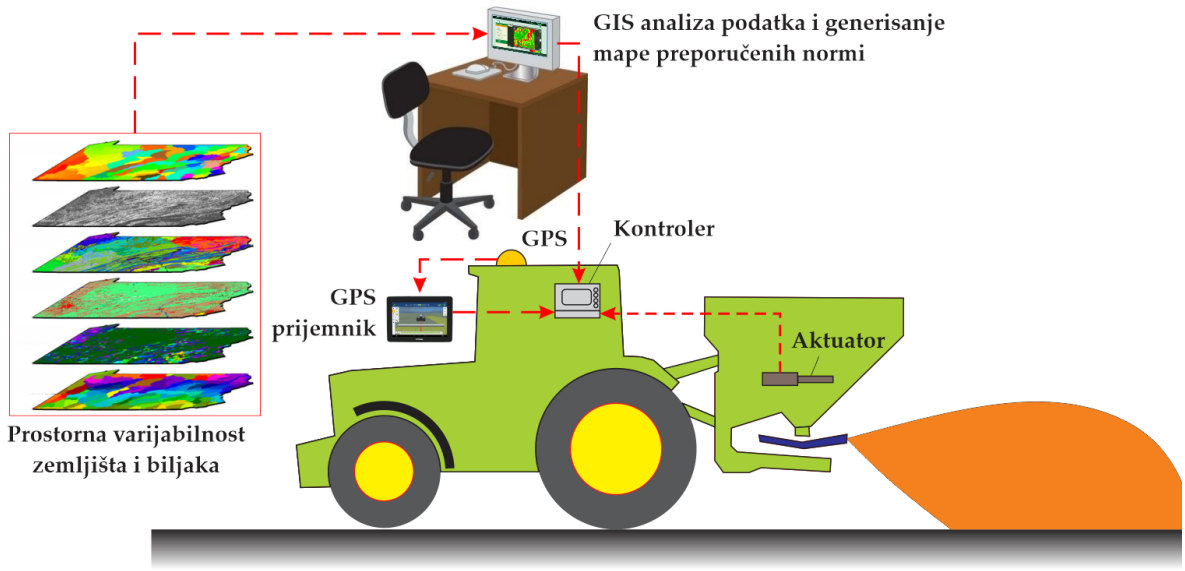
Prednosti korišćenja predefinisanih mapa su:

- nema potrebe za dodatnim senzorima na mašinama kojim bi se poskupila proizvodna cena mašine;

- norma se određuje na osnovu velikog broja podataka koji su dobijeni sa više izvora u dužem vremenskom ciklusu (primenjuju se pažljivo odabrane tehnike za preračunavanje norme);
- precizno predviđanje potrebnih količina (planiranje logistike transporta sredstava);
- ne postoji opasnost da će biti viška materijala ili manjka tokom rada;
- vremenski raskorak između uzorkovanja – merenja i primene daje mogućnost pažljivoj analizi dobijenih podataka;
- doprinosi boljem odlučivanju, a odluke su pouzdanije;
- dokumentovanje pokrivenosti površine parcele i daje prikaz o realizovanoj normi i
- sistem ima više vremena da se pripremi za predstojeću promenu norme, jer je izvesna i predvidiva.



a)



b)

Slika 8.1. Prikaz koncepta tehnologije promenljivih normi: a) komanda se izvršava na osnovu očitavanja senzora, a programski algoritam određuje trenutnu normu na osnovu logičkih kriterijuma (Sensor-based VRT); b) komande se daju na osnovu trenutne GPS lookacije traktora i definisanih normi u vidu tematskih mapa (Map-based VRT)

Nedostaci korišćenja predefinisanih mapa su:

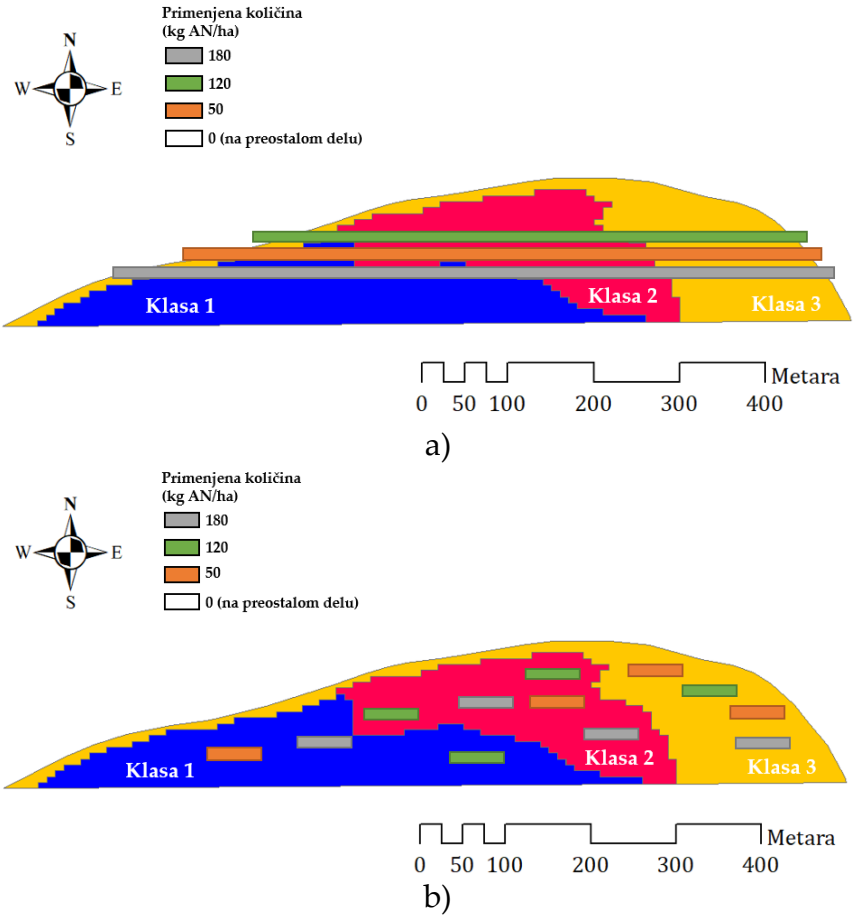
- zahteva primenu *GNSS* sistema;
- *DGPS* i *RTK* korekcija;
- iziskuje dopunsko vreme za sakupljanje uzoraka, analizu i obradu podataka;
- potrebno je posedovati specijalizovane programe kao i znati raditi u njima ili pak platiti konsultantsku firmu što povećava troškove;
- greške u aplikaciji mogu biti uzrok pogrešnog određivanja lokacije pri uzorkovanju – merenju;
- greška *GPS* prijemnika na mašini;
- loša kalibracija dozirnog uređaja;
- greške mogu nastati ukoliko se loše proceni stanje biljaka ili zemljišta na nekoj lokaciji;
- aplikacija se radi kontinualno u prostoru, a uzorkovanje – merenje je obično u diskretnim lokacijama i
- može se desiti da se zbog vremenskog razmaka od uzorkovanja do primene stanje zemljišta promeni.

Ukoliko kao poljoprivrednik razmišljate o primeni ove tehnologije, dobro proučite varijacije na parceli, njihov stvarni uticaj na prinos, jer da bi ulaganje u opremu bilo isplativo, nivo varijabilnosti mora biti na određenom nivou. Primena koncepta varijabilne aplikacije može se primeniti čak i na malim parcelama, i to ručnim podešavanjem norme. To praktično znači da mali poljoprivredni proizvođači koji u posedu imaju male parcele mogu ih tretirati pojedinačno ujednačeno, ali ukupno gledano različito i time ispoštovati principe prostorno adaptivnog koncepta. Ova tehnologija daje različite efekte u zavisnosti od klimatskih prilika tokom godine. U povoljnim godinama efekti su najmanji ili ih nema uopšte. Svaki proizvođač mora da sprovodi mini-eksperimente na svojim parcelama i da prati rezultate uz konsultaciju sa stručnim licima.

Provera odziva na promenljivu primenu

Svaki poljoprivrednik koji planira da primeni tehnologiju promenljivih normi treba da sprovodi mini-eksperimente kako bi proverio odziv parcele, odnosno proizvodnih zona prema promenljivoj aplikaciji. Na taj način bi stekao detaljniji uvid i bolje razumevanje na koji način proizvodne zone reaguju na različite norme tretiranja. Nakon definisanja granica proizvodnih zona na polju može se sprovesti eksperiment za pojedinačne materijale koji se primenjuju u polju. Dizajn eksperimenta treba da prati konfiguraciju mašine za aplikaciju, tj. širinu radnog zahvata, mogućnost variranja unutar radnog zahvata i brzinu odziva *VRT* sistema u pravcu kretanja. Eksperiment bi trebalo sprovesti na celom polju sa malim eksperimentalnim parcelama zastupljenim u svim proizvodnim zonama (slika 8.2). Korišćenje malih eksperimentalnih parcela omogućava ponovljivost i fleksibilnost u smislu lokacije postavljanja. Ponavljanje tretmana je osnova za dobijanje stabilnih rezultata i eventualno razdvajanje uticaja tretmana od ostalih uticaja koji se ne tiču agrotehnike.

Slučajan raspored tretmana takođe daje nepristrasnost u sprovođenju tretmana i time ih čini reprezentativnim za poređenje sa ostalim.



Slika 8.2. Dva načina provere efikasnosti primene VRT tehnologije: a) eksperimentalne parcele preko celog polja, b) male eksperimentalne parcele

Najveći deo polja treba da bude tretiran kontrolnim količinama (u skladu sa tradicionalnom praksom), dok ostali delovi treba da uključuju ostale norme. Najbolje informacije će se dobiti ukoliko postoje značajne razlike u primenjenim normama. Takođe bi trebalo sprovesti tzv. nultu aplikaciju, tj. bez primene kao jedan od tretmana. Ovo je posebno bitno ukoliko se želi istražiti mogućnost smanjenja primene određenog materijala. Kada se odabere odgovarajući dizajn ogleda, treba obratiti pažnju na sledeće stavke:

- Tretmani moraju biti raspoređeni u pravcu obavljanja agrotehničkih operacija.
- Svaki tretman treba da bude najmanje tri širine zahvata mašine za ubiranje tako da se dobije bar jedan pun zahvat hederom za svako eksperimentalno polje i da bi se izbegao uticaj susednog tretmana.
- Minimalna dužina eksperimentalnog polja zavisi od tipa kombajnskog snimača prinosa, odnosno njegove rezolucije snimanja. Sve podatke snimljene na početku i kraju eksperimentalnog polja bi trebalo eliminisati jer

su dobijeni pomešanim uticajem bliskih tretmana. Eksperimentalna polja bi trebalo da su minimum 100 m dugačka.

Brojne analize mogu biti preduzete radi obrade podataka sa različitim nivoom značajnosti. Standardne statističke procedure koriste testove radi prepoznavanja statistički značajnih razlika između grupa podataka. Najčešće korišćeni testovi su:

- t-test – koristi se za poređenje dva različita tretmana;
- analiza varijanse (*ANOVA*) – poredi više grupa podataka, tj. koristi se za analizu više od dva tretmana.

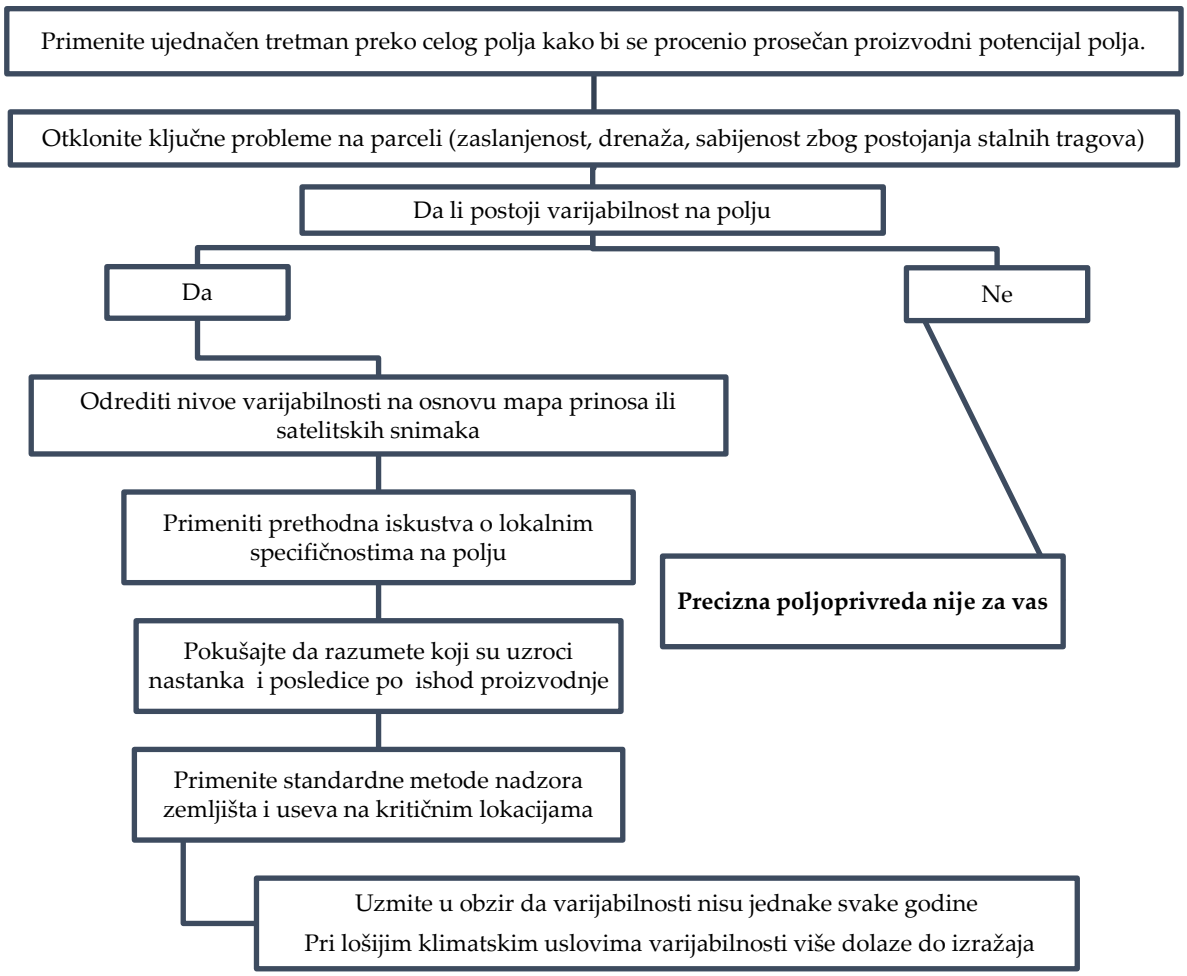
Ukoliko se koristi za poređenje dva tretmana, dobijaju se isti rezultati kao i pri t-testa. **Statistički „značajna razlika" je procena da su prosečne vrednosti dva tretmana dovoljno različite da je verovatnoća da se takva razlika dogodi slučajno, ispod postavljenog praga.** Prag ili nivo značajnosti se najčešće definiše na nivou 5% (p=0,05), ređe 1% (p=0,01). Na primer, ako neko tvrdi da „postoji samo jedna šansa od 100 da bi se nešto moglo dogoditi slučajno", onda to podrazumeva 0,01 nivo statističke značajnosti. Što je niži definisani prag značajnosti, to je stroži kriterijum za evidentiranje razlika. Preciznost testa se meri brojem dobijenih podataka, što znači da što je veći broj prikupljenih merenja, pouzdanost izvedenih zaključaka se povećava. Jedan od načina za poboljšanje pouzdanosti podataka dobijenih testovima je da se podaci sa jedne parcele podele u sekcije i da se kao takvi analiziraju. Ukoliko se koriste podaci od prinosa kao zavisno promenljiva varijabila u odnosu na primenjene tretmane, onda se podaci mogu podeliti po deonicama od po 20 m (umesto jedna od 100 m). Na ovaj način bi se povećao broj ponavljanja, odnosno sa istog tretmana bi se dobilo više podataka. **Treba napomenuti da postojanje statistički značajnih razlika ne znači nužno postojanje agronomski značajnih razlika. Isto važi ukoliko testovi ne pokažu statistički značajnu razliku; ne znači da ne postoji agronomski značajna razlika u rezultatima.**

Ukoliko se postavlja eksperiment sa više nivoa promene određene promenljive (tri ili više), moguće je proceniti optimalnu količinu na osnovu dobijenih rezultata. **U preciznoj poljoprivredi se ne cilja maksimalan prinos, nego optimalan u smislu uvažavanja troškova proizvodnje i finansijske dobiti.** U analizi profitabilnosti se koriste podaci o jediničnoj krajnjoj proizvodnoj ceni sredstva koje se primenjuje, kao i završni prihod od prodaje proizvedene robe. Prihodi i rashodi se računaju po jedinici utrošenog sredstva, odnosno ubrane količine. Dokle god je prihod za jediničnu količinu sredstva koje se primenjuje veći od jediničnog rashoda, dotle je proizvodnja isplativa.

Postupci pri uvođenju tehnologije promenljivih normi

Prvi korak u prevođenju konvencionalne u preciznu njivsku proizvodnju je opremanje *GPS* navigatorima kako bi se obezbedilo pravilno kretanje traktorskog agregata po parceli, **iako tehnologija precizne poljoprivrede nije nužno povezana sa *GPS* tehnologijom**. Na malim posedima gde je veličina polja mala, odnosno gde ne

postoji potreba za upravljanjem varijabilnostima, tehnologija precizne poljoprivrede može biti primenjena na nezavisnim poljima kao homogenim celinama koje bi se tretirale zasebno, u zavisnosti od utvrđenog stanja. Na velikim poljima je neophodna primena *GPS* uređaja kako bi se mogle pratiti lokalne specifičnosti polja i utvrditi uticaji prethodne prakse, klime, reljefa itd. na varijabilnost u prinosu biljnih kultura. Heterogenost zemljišta na poljima se razlikuje i jedinstvena je za svako polje koje se može menjati tokom vremena. Veoma bitan element za uspešnost tehnologije precizne poljoprivrede jeste kvalitet kvantifikacije bitnih parametara na polju, što zavisi od raspoložive opreme, obučenosti korisnika itd., ali i od objektivnosti pri tumačenju različitih informacija (slika 8.3). **Precizna poljoprivreda ne poznaje ustaljene procedure, već zahteva stalno unapređivanje načina donošenja i sprovođenja odluka. Primena promenljive aplikacije moguća je i bez sofisticiranih uređaja, s tim što je realizacija u tom slučaju daleko složenija i stresnija za čoveka.**



Slika 8.3. Logička šema koraka pri prelasku na tehnologiju precizne poljoprivrede

9 PROSTORNO PRILAGODLJIVO ĐUBRENJE

Dodavanje hraniva poreklom od mineralnih ili organskih đubriva je obavezna agrotehnička mera kojom se održava optimalan nivo hranljivih materija potrebnih za normalan razvoj gajenih useva. Iznošenje biljnog materijala, bilo da su u pitanju zrno ili vegetativni delovi, podrazumeva smanjivanje bilansa hraniva na parceli. Termin đubriva se odnosi na proizvode dobijene industrijskim inženjeringom od neorganskih jedinjenja kojima se biljka snabdeva potrebnim hranivima. **Pre uvođenja mineralnih đubriva u 20. veku, plodnost zemljišta održavana je uglavnom reciklažom organskih materijala i rotacijom useva.** Međutim, u okviru ovog sistema, pojave dovoljne količine poljoprivrednih proizvoda za ishranu stanovništva su bile endemske.

U početku 20. veka postojala je posebna briga o obezbeđivanju dovoljnih količina azotnih (N) đubriva, koje su uglavnom zavisile od izdašnosti čileanskih mineralnih ruda. Industrijska fiksacija atmosferskog N rešila je ovo pitanje. Od početka šezdesetih godina prošlog veka došlo je do velikog porasta potražnje za hranom, uzrokovanog znatnim povećanjem svetske populacije i povećanim životnim standardom. U velikoj meri unapređena je poljoprivredna proizvodnja, u kojoj je upotreba đubriva imala važnu ulogu. Svetska potrošnja đubriva se povećala skoro pet puta od 1960. godine.

Tehnika dodavanja hraniva se u konvencionalnom sistemu proizvodnje bazira na korišćenju informacije o prosečnom stanju različitih parametara, pre svega hemijskih makroelemenata zemljišta. Savremena poljoprivredna praksa menja pogled na polje, gde se podaci geografski orijentišu na relativno visokoj prostornoj rezoluciji. Ukoliko se prinos prati u toku žetve uz georeferenciranje podataka, onda se količina iznetog hraniva može odrediti na nivou male prostorne površine. Ovakav pristup đubrenju ima smisla ukoliko je količina hraniva u zemljištu bila optimalna u prethodnom vegetacionom periodu. Drugi bitan parametar je da je usev jedini ili dominantni uzrok smanjenja bilansa hraniva. U slučaju fosfora i kalijuma kao glavnih makroelemenata, uticaj ispiranja ili drugog vida gubitaka se može smatrati minimalnim zbog mehanizma vezivanja za adsorptivni kompleks zemljišta. Fosfor (P_2O_5) vezuje se u zemljištu u vidu kalcijum, aluminujum i gvožđe fosfata koji nisu rastvorljivi u vodi. Kalijum (K_2O) koji biljke ne iskoriste deponuje se u mineralima gline i organskoj materiji, dok u slučaju azota veliki uticaj imaju i klimatski uslovi direktno i indirektno biohemijski procesi u zemljištu.

Prostorno prilagodljivo đubrenje

Nitratne i sulfatne jone teško apsorbuju čestice zemljišta, lako se rastvaraju u vodi te su zbog toga podložni ispiranju u dublje slojeve i podzemne vode. Ispiranje ovih jona naročito je osobeno na peskovitim zemljištima, manje na zemljištima težeg mehaničkog sastava. Kako god, ova pojava je uvek prisutna u određenoj meri, bez obzira na tip zemljišta. Smanjenje gubitaka ispiranjem se može ostvariti ukoliko se omogući unošenje hraniva u pravim količinama i u pravo vreme koje bi se poklopilo sa sezonskim potrebama gajenih biljaka. Ovo se ne može ostvariti tokom zimskog perioda kada praktično nema vegetativne aktivnosti, time je i usvajanje hraniva beznačajno, a ispiranje se odvija u kontinuitetu. Stoga đubrenje azotnim i sumpornim đubrivima ne može biti zasnovano na strategiji vraćanja iznete količine. U tabeli 9.1 prikazane su količine hraniva koje se iznesu sa 1 t biljnog materijala, što može biti osnova za računanje potrebnih količina P i K koje treba dodati u sledećoj sezoni.

Tabela 9.1. Iznošenje hraniva u kg za 1 t prinosa (http://www.ipni.net/article/IPNI-3296)

	Ozima pšenica		**Kukuruz**		**Soja**		**Suncokret**	**Š. repa**
Usev	Zrno	Slama	Zrno	Stabljika	Zrno	Slama	Zrno	Koren
Azot (N)	19,0	12,0	12,0	8,0	55,0	18,0	27,0	1,9
Fosfor (P_2O_5)	8,0	2,7	6,3	2,9	12,0	4,0	4,0	1,1
Kalijum (K_2O)	4,8	20,0	4,5	20,0	20,0	17,0	17,0	3,7
Sumpor (S)	1,7	2,3	1,4	1,3	3,0	2,80	2,50	0,2

9.1 PRIMENA SENZORA U POSTUPKU DEFINISANJA NORMI ĐUBRENJA

Rad sa elektrohemijskim senzorima zemljišta

Ova metoda detekcije hraniva u zemljištu bazira se na merenju elektrohemijskog potencijala (napona) koji nastaje na krajevima različitih materijala. Kao rezultat, različit potencijal uzrokuje protok elektrona ili jona kroz metal u slučaju rastvora, odnosno tečnosti. Kod elektroda osetljivih na jone izmerena voltaža služi za detekciju pojedinih jona. Ovi senzori su opremljeni polupropustljivim membranama koje propuštaju samo određene jone koji su u vezi sa koncentracijom mineralnih hraniva u zemljištu. Pitanje je koliko su membrane koje se sastoje od različitih materijala sposobne da razdvajaju različite jone, a da pri tome ne dođe do ometanja zbog uzajamne interakcije jona. Napon na elektrodama je logaritamska funkcija jonske aktivnosti. Korišćenje senzora sa selektivnim jonskim membranama u realnom vremenu za potrebe prostorno promenljivog đubrenja predstavlja veliki izazov. Sve do danas nije napravljen uređaj koji je u stanju da meri kontinualno u vremenu kao što je to slučaj prilikom merenja električne provodljivosti zemljišta. U principu, dostupne aparature rade u hodu, ali uzimaju male uzorke zemljišta sa diskretnih lokacija koji se potom pripremaju za merenje. Odabir nabolje membrane za određene

jone ima ključan značaj. Postoji veliki broj komercijalno dostupnih membrana od kojih su neke preporučili autori *Adamchuk et al. (2005)*, *Kim et al. (2007a,b)* i *Lund et al. (2005)*:

- elektrode sa staklenim ili antimonovim membranama za merenje pH,
- elektrode sa polivinil-hlorid membranama za merenje kalijuma i nitrata i
- elektrode koje se sastoje od kobaltnih šipki za merenje fosfata.

Važna stavka pri korišćenju ovih sistema je priprema uzoraka. S obzirom na to da je vlažnost zemljišta promenljiva kategorija, a aktivnost jona zavisna od vlažnosti, uzorak mora biti doveden u standardizovano stanje kako bi očitavanje senzora bilo uporedivo. Sve ovo uzima oko 10 s vremena za jedan ciklus merenja, zbog čega se, ukoliko se vozilo kreće brzinom od 2 m/s i na pomaku prohoda od 20 m, dobija rezolucija od 1 merenje/400 m^2. U svakom slučaju, dobijena prostorna mreža podataka je značajno gušća nego da se koristi tehnika ručnog uzorkovanja po principu 1 uzorak/ha.

Rad sa optičkim senzorima zemljišta

Prednost korišćenja optičkih senzora u odnosu na elektrohemijske sonde se ogleda u tome što je merenje trenutno bez potrebnih pripremnih procedura. Vrednosti se dobijaju na nivou od dela sekunde, ali je za obradu podataka potrebno izvesno vreme ukoliko se radi đubrenje u realnom vremenu (slika 9.1). Međutim, na današnjem stepenu tehničkog razvoja, sve pomenuto je moguće sprovesti simultano sa merenjem, bez dužeg kašnjenja. Detekcija hraniva u zemljištu korišćenjem spektrofotometrije nije ista kao pri merenju teksture, organske materije ili sadržaja vode**. Osnovni razlog je to što su razmere udela čestica prilikom merenja npr. teksture i makroelemenata drastično različite. Ako se posmatra površina od 1 ha, sadržaj čestica gline na dubini od 30 cm se meri tonama, dok je u slučaju makroelemenata to svega par kilograma.**

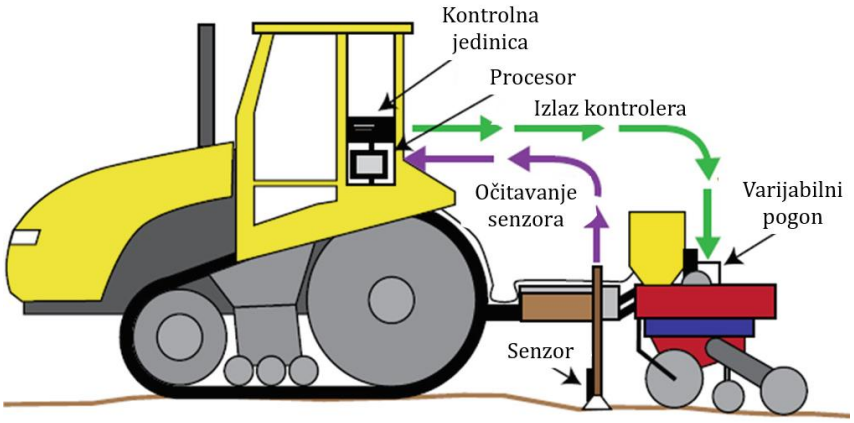
Tabela 9.2. Efikasnost procenjivanja sadražaja hraniva u zemljištu primenom spektrofotometrije (Chang et al., 2001).

Hraniva	**Koeficijent R^2**
K	0,55
P	0,4
Cu	0,25
Mn	0,70
Zn	0,44

Pri detekciji mikroelemenata razlika je još izraženija. Koeficijenti determinacije između reflektanse i različitih osobina zemljišta su dati u tabeli 9.2, a zasnovani su na analizi celokupnog spektra refleksije (*Chang et al., 2001*; *Lee et al., 2009*). Generalno se može konstatovati da su korelacije zemljišnih hraniva i reflektanse u slaboj korelaciji.

U teoriji, hemijski elementi koji predstavljaju hraniva za biljke imaju svoj karakterističan spektralni odraz, ali u praksi se veoma teško razlikuju zbog međusobne interferencije, ali i ostalih uticaja kao što su vibracije, šum sa nepoznatih

izvora itd. Jedan od načina za postizanje boljih performansi jeste kalibracija opreme. Međutim, ona mora biti sprovedena na uzorcima sa iste parcele. U tom smislu, veliko pitanje je da li je u budućnosti moguće razviti standardne procedure za kalibraciju koje će biti univerzalne za sva geografska područja.



Slika 9.1. Šema opreme za promenljivu aplikaciju đubriva zajedno sa setvom u realnom vremenu

U primeni koncepta promenljive aplikacije u realnom vremenu gde se parametri prikupljaju i podaci obrađuju u hodu, bitan element predstavlja vremensko kašnjenje koje postoji od momenta detekcije do izvršenja komande. U tom smislu, sistem mora uzeti u obzir prostorno pomeranje u zavisnosti od kašnjenja i brzine kretanja vozila. Da bi se taj zaostatak kompenzovao, obično se senzori postavljaju ispred uređaja za aplikaciju, gde prema autorima *Maleki et al. (2008)* za svaki 1 km/h povećanja brzine traktora pomerenost senzora treba povećati za 0,5 m unapred. Stoga se kod ovih sistema preporučuju manje radne brzine, što predstavlja dodatni nedostatak.

Rad sa senzorima za detekciju osobina biljaka

Strategija đubrenja biljaka detekcijom u hodu bazirana je na primeni onog sredstva čiji će eventualni nedostatak biti detektabilan sa površine biljnog tkiva, a efekti primene vidljivi u kratkom roku. Tu se pre svega misli na azotno đubrivo. Korišćenje parametara biljaka za kontrolu rada mehanizacije delom je orijentisano i na stanje hraniva istog parametra u zemljištu, jer se nivo hraniva u zemljištu direktno odražava i na samu biljku. Stoga je podatak koji se dobije detekcijom biljaka posledica interakcije zemljišta i biljaka. Ovo znači da se npr. uticaj razvoja korena na usvajanje hraniva automatski uzima u obzir.

Azot koji je najčešće predmet detekcije ima dvostruki uticaj na spektar reflektovane svetlosti od biljaka. Direktno utiče na povećanje koncentracije hlorofila (zelenog pigmenta) koji zadržava crvenu svetlost u postupku fotosinteze. Takođe, direktno podstiče razvoj biomase, odnosno površina lista se povećava.

Kako se informacija o spektru reflektovane svetlosti može upotrebiti za kontrolu norme rasipanja azotnog đubriva?

Korišćenje celokupnog spektra je komplikovano i skupo, stoga se pribegava korišćenju senzora koji su osetljivi na određene talasne opsege, a koji su važni u prepoznavanju koncentracije azota u biljkama. Prvi pristup je korišćenje vegetativnih indeksa (tabela 9.3). Drugi pristup zasnovan je na pretpostavci da se, posebno u pogledu sadržaja azota, ovi standardni indeksi mogu zanemariti ili propustiti informacije koje se mogu dobiti iz veoma diskretnih delova spektra.

Tabela 9.3. Odnos vegetativnih indeksa sa sadržajem azota u biljkama (Heege i Reusch,1996)

Indeks	**Jednačina za računanje (količina reflektovanih talasa određene talasne dužine u nm)**	**Koeficijent determinacije (R^2)**
Zelena reflektansa	$R\ 550$	0,91
Crvena reflektansa	$R\ 670$	0,89
Infracrvena reflektansa	$R\ 800$	0,57
Količnik infracrvene i crvene svetlosti	$\frac{R\ 800}{R\ 670}$	0,91
Količnik infracrvene i zelene svetlosti	$\frac{R\ 800}{R\ 550}$	0,94
Normalizovani indeks vegetacije (*NDVI*)	$\frac{R\ 800 - R\ 670}{R\ 800 + R\ 670}$	0,91
Indeks kompenzovanog uticaja zemljišta (*SAVI*)	$\frac{1{,}5(R\ 800 - R\ 670)}{R\ 800 + R\ 670 + 0{,}5}$	0,91

Mnogo faktora utiče na refleksiju, kao što je boja zemljišta, ugao upadnih zraka i oblačnost. Prilikom daljinske detekcije gde se koriste prirodni izvori svetlosti, ovi faktori imaju veliki uticaj na merenje. Pomenuti uticaji se mogu zamenariti u slučaju aktivnih senzora koji emituju sopstvenu svetlost. *NDVI*, koji je najrasprostranjeniji u naučnim ekspertizama, podložan je uticajima različitih faktora pri daljinskoj detekciji, dok je unapređeni *SAVI* indeks manje podložan negativnom uticaju šuma koji je poreklom sa okolnih struktura. Međutim, efekat veštačkog izvora svetlosti mora biti razdvojen od uticaja prirodnog svetla. **Ovo razdvajanje se može postići oduzimanjem spektra refleksije isključivo prirodne svetlosti iz spektra koji nastaje u momentu kada se aktivira veštačko osvetljenje. Veštačka svetlost obasjava kratkotrajno u vidu blica, što daje „On" spektar. Kada se isključi izvor, dobija se „Off" spektar koji potiče od izvora prirodne svetlosti.** Ovim se dobijaju signali koji razdvajaju uticaj veštačkog i prirodnog izvora svetlosti. Osim svetlosti koja je vitalno važna za detekciju, isto tako je bitno gde je montiran senzor i njegova orijentacija, odnosno koliko je dobijeni zapis bitan za dalje odlučivanje. Npr. ako se umesto vertikalnog koristi kosi ugao senzora, manji udeo refleksije sa zemljišta dolazi do senzora jer biljni delovi u kosoj projekciji imaju veći udeo u sceni, kao i obrnuto. Zbog toga je kosi pogled senzora preporučljiv u ranim fazama i kod širokorednih useva. Sa druge strane, kosi pogled senzora uzrokuje bržu saturaciju dobijenih vrednosti, tj. dostizanje maksimuma bez značajnih razlika.

Prostorno prilagodljivo đubrenje

Standardni vegetativni indeksi su uglavnom razvijani za potrebe daljinske detekcije vegetacije i pejzaža sa satelita i letećih platformi. Za detekciju azota u biljkama razvijena je paleta indeksa koji su pogodniji za procenu sadržaja azota u biljkama ukoliko se koriste proksimalni senzori za blisku detekciju.

Nedostatak detekcije azota u hodu proksimalnom senzorskom detekcijom ogleda se u činjenici da, ukoliko na parceli postoje delovi saređim sklopom ili praznim površinama, izmerene vrednosti vegetativne aktivnosti mogu biti pogrešne, a ostvarene norme razbacanog đubriva neadekvatne. Na brdovitim terenima, gde postoje depresije i uzvišenja, pojava proređenog sklopa je redovna pojava. Čak i na ravnim terenima, sklop biljaka može biti redukovan usled pojave zemljišnih štetočina, grešaka pri setvi itd. U ovom slučaju se koristi odnos između *NIR* i *RED* svetlosti, gde autori *Heege i Thiessen (2002)* predlažu isključenje dozirnog uređaja ukoliko pomenuti odnos premaši vrednost 3. Kod sitnozrnih useva kao što je pšenica u početnim fazama razvoja nema dovoljne pokrivenosti da bi senzorska detekcija uočila nedvosmislene razlike u azotnom statusu, te se ne preporučuje detekcija pre faze BBCH 25 ili 4 lista.

Za useve retkog sklopa veoma je bitno da se isključi uticaj refleksije zemljišta koliko god je to moguće. Postoje dva načina za to. Prvi je da se suzi „pogled“ vertikalno postavljenog senzora na zonu tačno iznad reda biljka ili da se primeni kosi „pogled“ sa orijentacijom normalnom na pravac pružanja redova. Prva metoda može biti uspešna jedino ukoliko je vegetativna masa biljaka u redu spojena. Druga metoda isključuje uticaj zemljišta time što se smanjuje obasjavanje zemljišta, jer se snop svetlosti više usmerava ka gornjim delovima biljke.

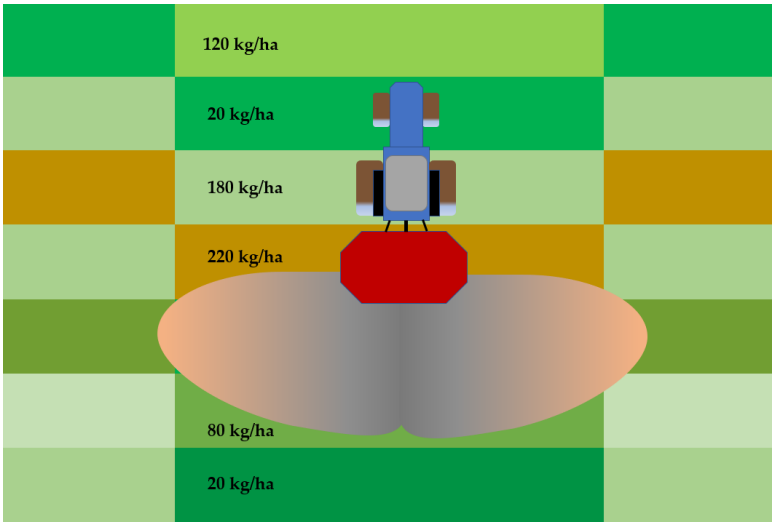
Prostorna rezolucija podataka

Veoma bitan aspekt u prostorno promenljivoj aplikaciji je prostorna rezolucija. Ukoliko je prostorna rezolucija podataka suviše mala, veličina ćelije kao jedinične površine na kojoj se primenjuje specifičan tretman će biti suviše velika čime se obesmišljava koncept prostorno promenljive aplikacije. U okviru ovog pitanja treba razlikovati sledeće kategorije:

- prostornu rezoluciju koju ostvaruje mašina za distribuciju,
- prostornu rezoluciju senzorske detekcije biljaka i
- prostornu rezoluciju pri detekciji osobina zemljišta.

Definisanje adekvatne prostorne rezolucije pri aplikaciji sredstva je završna faza i krajnji cilj. Ukoliko je prostorna rezolucija uređaja za aplikaciju veća od prostorne rezolucije senzorske detekcije, onda ne postoji dodatna vrednost tehnologije. U normalnim situacijama prostorna rezolucija senzora je uvek daleko veća od rezolucije uređaja za površinsku distribuciju. Zbog toga se podaci dobijeni sa senzora moraju usrednjavati. Prema tome, prostorna rezolucija mora biti usklađena sa prostornom heterogenošću na polju.

Detekcija heterogenosti u azotnom bilansu biljaka se može relativno lako snimiti korišćenjem optičkih proksimalnih senzora čija frekvencija merenja ide od 1 Hz do 100 Hz. Velika frekvencija merenja pruža veliku bazu podataka, što, sa jedne strane, ima veći informativni značaj, ali samo ako se nad njima primene odgovarajući geostatistički postupci prostorne analize. Za centrifugalne rasipače optimalna veličina ćelije treba da bude oko 25 m, s obzirom na širinu zahvata, eksploatacionu efikasnost i sofisticiranost rasipača mineralnog đubriva. Najnoviji rasipači imaju mogućnost podešavanja norme unutar radne širine (*sectional rate control*) u nekoliko delova. Ukoliko se radi aplikacija tečnog đubriva prskalicama, rezolucija sistema može biti svega 0,5 m, što odgovara rastojanju rasprskivača na krilu.



Slika 9.2. Šematski prikaz objektivno ostvarive prostorne rezolucije u slučaju centrifugalnih rasipača

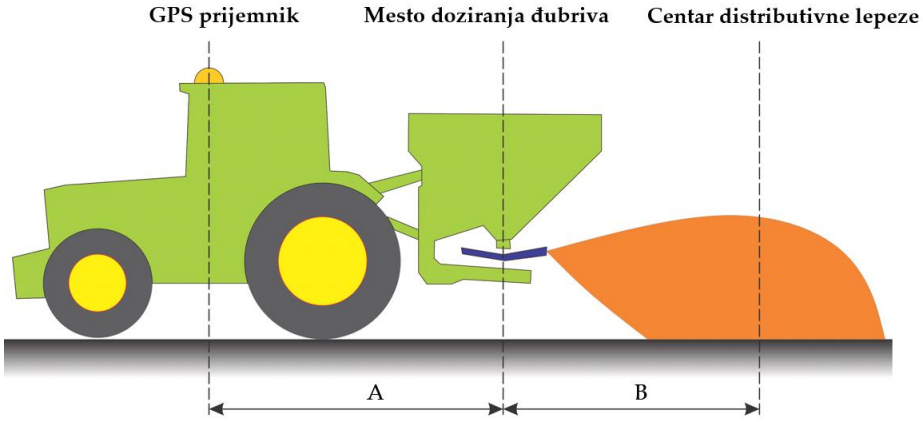
Može se reći da u današnjem vremenu ne postoji nikakvo tehničko ograničenje da se sprovede varijabilna aplikacija azotnog đubriva. Osnovno pitanje koje se postavlja je kojom prostornom rezolucijom treba đubriti da bi se na pravi način odgovorilo na heterogenost zemljišta ili biljaka. Najveći broj današnjih mašina za promenljivu prostornu primenu đubriva je u mogućnosti da uspešno sprovede promene norme na nivou širine radnog zahvata. U principu, to znači da su jedinične ćelije (parcele) na kojima se primenjuje lokalno specifičan tretman u slučaju centrifugalnih rasipača mineralnih đubriva zapravo pravougaonik gde kraća stranica leži na pravcu kretanja, a šira predstavlja širinu radnog zahvata mašine (slika 9.2). Suštinski, bilo bi bolje da je u pitanju kvadratni oblik ćelije, ali zbog velike širine zahvatanja te nemogućnosti finog podešavanja norme po širini, a sa druge strane jednostavnije promene norme u odnosu na pravac kretanja (promena brzine, položaja regulatora protoka) oblik ćelije je pravougaonik.

Upravljački signali za prostorno promenljivu aplikaciju đubriva se generišu na kontrolnoj jedinici koja se nalazi u kabini traktora. Ovi signali su uslovljeni očitavanjima sa senzora ukoliko se primenjuje detekcija u hodu ili očitavanjem mape preporuke iz memorije ukoliko se primenjuje đubrenje na osnovu preporučene mape.

U svakom slučaju, uređaj za distribuciju đubriva je prostorno pomeren u odnosu na položaj traktora na kome se nalazi *GPS* prijemnik (slika 9.3), ali i položaj senzora za detekciju stanja useva ili zemljišta. Precizna depozicija đubriva nije moguća bez kompenzacije ovih razdaljina. To podrazumeva računanje vremenskog kašnjenja upravljačkog signala za kontrolu aktuatora na rasipaču. Za centrifugalne rasipače ovo kašnjenje iznosi približno 2 s. Ukoliko se koristi vučeni rasipač kod kojeg se dopremanje do distribucionog uređaja vrši beskonačnom trakom, to kašnjenje iznosi oko 3,8 s, dok je kod pneumatskih rasipača to vreme 4–5 s (*Griepentrog i Perrson, 2001*). Kod prskalica je to kašnjenje 1–2 s (*Bennur i Taylor, 2010*). Tačnost vremena kašnjenja mora biti podešena prema prostornoj pomerenosti distributora i traktora, jer će u suprotnom efekat prostorno promenljive aplikacije biti umanjen.

Prilikom prihrane azotnim hranivima postoji generalno pravilo da se na mestima gde se detekcijom utvrdi niži sadržaj azota doda veća količina đubriva i obrnuto, po algoritmu koji definiše kriterijume pri generisanju komandi u kontrolno-upravljačkoj jedinici. Međutim, ovi algoritmi ne uzimaju u obzir detaljna agronomska saznanja koja su bitna za donošenje ispravne odluke o đubrenju azotnim đubrivima, a to su:

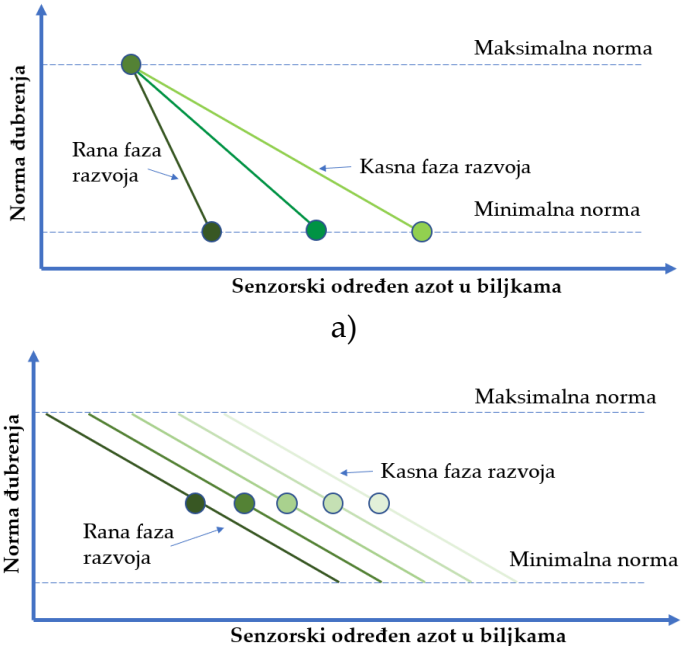
- specifičnost sorte i biljne vrste,
- specifičnost zemljišta,
- faza razvoja biljaka,
- obezbeđenost vodom,
- uticaj mineralizacije organske materije (koja je povezana sa klimatskim prilikama, sadržajem humusa, vrstom obrade zemljišta itd.),
- namena useva (ljudska ili stočna ishrana) i
- cena đubriva i krajnjeg proizvoda.



Slika 9.3. Prikaz prostorne pomerenosti lokacije prijema GPS signala i mesta izbacivanja đubriva

Za definisanje odgovarajućih algoritama koji bi na osnovu čitanja sa senzora dali najoptimalnije norme đubrenja neophodno je odrediti modele zavisnosti prinosa od više faktora, ne samo količine dodatog đubriva. Nepredvidivost klimatskih faktora čini ovaj posao veoma delikatnim. Regulacija norme od minimuma do maksimuma u realnom vremenu i prostoru nije tehnički problem u 21. veku, ali bitno je kako će se

raspon između normi đubrenja odnositi prema očitavanju sa senzora. Trenutno se koriste linearni modeli zavisnosti koji su relativno zadovoljavajući, ali se određenim postupcima mogu dobiti bolji rezultati. Modeli zavisnosti koje koriste kontroleri imaju karakterističan nagib. Slika 9.4a prikazuje kalibracionu krivu gde korisnici definišu dve tačke. Te dve tačke su očitavanje sa dela parcele gde je usev najbolje razvijen i sa onog dela gde je u najlošijem stanju. Ovim je omogućeno da korisnik fino podešava u kom rasponu detektovanja će sistem prilagođavati normu saglasno algoritamskim kriterijumima (nagib krive). Jednostavnija kalibracija sistema je ona pri kojoj korisnik definiše jednu tačku, a nagib je konstantan bez obzira na vegetativnu fazu (slika 9.4b). Korisnik definiše srednju vrednost na osnovu brze detekcije optičkim proksimalnim senzorom krećući se kroz njivu po karakterističnim delovima. Danas ovaj koncept dominira bez obzira na kulturu koja se prihranjuje zbog jednostavnosti.



Slika 9.4. Modeli linearne promene norme đubrenja koji se koriste na kontrolerima rasipača za prostorno promenljivu aplikaciju gde je očitavanje sa senzora ulazna promenljiva, a algoritamski se generiše komanda u realnom vremenu. Nagibe modela uslovljava granica maksimalne i minimalne norme koje definiše korisnik, odnosno raspon očitavanja sa senzora. Grafikon a) predstavlja kalibracione krive kontrolera sa promenljivim nagibom i b) su kalibracione krive sa stalnim nagibom (Thiessen, 2001; Thiessen, 2002)

Drugo pitanje prilikom definisanja parametara sistema za promenljivu aplikaciju je kakva će biti reakcija na dodate količine azota. Najbolji način za to je postavljanje referentne trake sa početnim unosom azota u maksimalnim dozama u toku setve (*N-rich strip*). Poznavanjem količine azota koji je dodat u toku setve na referentnoj parceli, kao i vrednosti senzora sa referentne površine i delova gde nije đubreno, može se doći do povoljne kalibracione krive za promenljivo đubrenje. Primena koncepta referentne trake se odnosi na pojedinačna polja, ne važi za ostale parcele, s obzirom na lokalne specifičnosti, istorijat itd. Praktično, sistem za promenljivu aplikaciju N đubriva se

može samokalibrisati u hodu, odnosno može podešavati nagibe kalibracionih krivih, ali pod uslovom da postoji više referentnih polja na parceli, tj. da za svaki prohod postoji po jedna referentna traka koju bi senzor koji je montiran na traktor - mašinu, mogao očitati. Svi kalibracioni modeli koji su prethodno pomenuti predstavljaju indirektnu posledicu uticaja klimatskih faktora iz prethodnog perioda na zemljišne uslove. Međutim, kontrola norme bazirana je na pretpostavkama iz prethodnog perioda, a tretman se odnosi na budući. U tom smislu, zbog nepredvidivosti klimatskih prilika, moguće je da primenjeni tretman N đubrivom neće dati očekivane rezultate. Drugi način za podešavanje kalibracione krive je uzimanje u obzir tipa zemljišta ili mehaničkog sastava.Ova karakteristika se može relativno lako detektovati EC sondama koje se uveliko primenjuju širom sveta.

Kontrola norme đubrenja na osnovu indeksa dovoljnosti

Ova metoda kontrole norme đubrenja azotnim đubrivima zasniva se na korišćenju podataka sa optičkih spektrometara (ručnih *NDVI* senzora), a koncept su razvili *Holland i Schepers (2010)*. Zasniva se na definisanju normalizovanih indeksa refleksije korišćenjem opšte funkcije rasta biljaka. Pretpostavka je da funkcija rasta biljke zavisi od snabdevanja azotom. Normalizovani indeksi refleksije dati su indeksom dovoljnosti koji predstavlja odnos lokalno izmerenog indeksa refleksije prema istom indeksu koji je izmeren na biljkama sa referentne površine (*N-rich strip*). Indeks dovoljnosti se računa na sledeći način:

$$ID = \frac{R_{LOKALNO}}{R_{REFERENTNA\ POVRŠINA}}$$

Gde je:

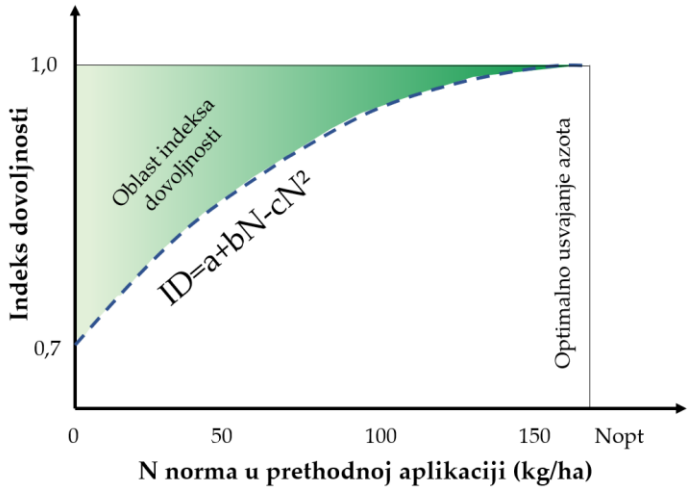
ID – indeks dovoljnosti,

$R_{LOKALNO}$ – indeks refleksije izmeren na neđubrenom delu polja i

$R_{REFERENTNA\ POVRŠINA}$ – indeks refleksije referentnog polja.

Opšta funkcija rasta biljaka je polinom drugog reda gde je zavisnost kvadratna količina primenjenog azotnog hraniva (slika 9.5). Važno je praviti razliku između usvajanja azota iz prošlog perioda i količine azota koja treba da se doda u narednom periodu. Oba parametra moraju biti određena specifično za svaku lokaciju na parceli. Parametar usvajanja azota iz prošlosti je direktan reprezent indeksa dovoljnosti. *Holland i Schepers (2010)* dali su matematički obrazac za količinu azota koju treba dodati. Član 1 – ID predstavljen je vertikalnim rastojanjem na zelenoj površini (slika 9.5) za prethodno primenjeno N đubrivo. ΔID je vertikalno rastojanje između preseka funkcije porasta biljaka sa y osom i maksimalne vrednosti indeksa dovoljnosti. C je član koji predstavlja dobitke azota usled mineralizacije organske materije ili depozita leguminoza ukoliko su bile predusev. U svakom slučaju, parametar C treba da bude empirijska vrednost kojom bi trebalo obuhvatiti prethodno iskustvo poljoprivrednika, ekonomske prilike itd. Za razliku od prethodne metode, kontrola đubrenja azotnim

đubrivima na bazi indeksa dovoljnosti ne koristi prostu linearnu funkciju, nego zavisi od funkcije porasta biljaka.



Slika 9.5. Opšta funkcija indeksa dovoljnosti (ID) definisana na osnovu prethodno primenjene količine N hraniva (Holland i Schepers, 2010).

Može se reći da je metoda kontrole na osnovu funkcije porasta biljaka bolja, jer uzima u obzir odziv biljaka prema đubrenju azotom. Prilikom primene ove metode poljoprivrednik sam mora da definiše minimalnu i maksimalnu normu đubrenja, dok se kontrola između te dve vrednosti obavlja po funkciji indeksa dovoljnosti. Postoji jedan važan nedostatak svih razvijenih strategija promenljive prostorne primene N đubriva, a to je činjenica da se informacije na osnovu kojih algoritam određuje normu đubrenja, odnose na faktore iz prošlosti.

$$N=C\sqrt{\frac{1-ID}{\Delta ID}}$$

Uslovljenost usvajanja N od sadržaja vode u zemljištu

Nedostatak vode u zemljištu je najdominantniji faktor smanjenja prinosa. Ako nema dovoljno vode u zemljištu, nema ni transpiracije vode, odnosno transporta hraniva do nadzemnih delova biljke. Primena azotnog đubriva na suvom zemljištu neće dati skoro nikakav efekat na biljku, izuzev ako posle aplikacije padne kiša ili se navodnjava. Nedostatak vode u zemljištu ima isti efekat na biljku kao i nedostatak azota. Stoga je veoma korisno raditi dualnu detekciju, i to sadržaja vode u zemljištu i spektra refleksije. Daljinska detekcija sadržaja vode u zemljištu je veoma nepouzdana, jer talasi iz oblasti infracrvenog spektra ne prolaze kroz oblake.

Ekonomski efekti prostorno promenljive aplikacije N đubriva

Potencijalne prednosti varijabilne primene N đubriva se mogu opisati na sledeći način:

- veći prinos po ha,
- smanjenje utroška đubriva,
- smanjen negativan uticaj na prirodno okruženje i
- veća zarada.

Koja od spomenutih koristi će biti aktuelna zavisi od biljne vrste na kojoj se ova tehnologija primenjuje, zemljišnih i klimatskih uslova, prisutnih varijabilnosti, primenjenog algoritma i vremena primene.

Veći prinos se može očekivati u slučaju da je primenjena količina u proseku jednaka količini koja bi se primenila po konvencionalnim metodama. Kada je reč o pšenici, mogu se očekivati pozitivni efekti promenljive aplikacije ukoliko se primeni u ranijim fazama razvoja BBCH 30-40 (kraj bokorenja do početka vlatanja). Na osnovu dosadašnjih studija nije utvrđena značajna razlika u prinosu između parcela gde je primenjena konvencionalna tehnologija đubrenja azotom u odnosu na prostorno promenljivu. **Razlog za to je činjenica da postoji veliki broj faktora koji sinergetski deluju na prinos sa jednakim ili čak većim uticajem nego samo đubrenje N đubrivom.** Pored svega, veliki problem đubrenja N đubrivima je relativno nisko iskorišćenje odnosno veliki gubici koji se ne mogu u potpunosti eliminisati, a vrlo često se mogu uopšte kontrolisati.

Ušteda u količini đubriva se može izraziti povećanim iskorišćenjem primenjenog đubriva. Iskorišćenost N đubriva se može utvrditi samo putem eksperimenata kojima bi se merio prinos na delu gde je primenjena ujednačena norma i na delu gde je primenjena promenljiva. Povećana iskorišćenost azota iz đubriva moguća je primenom u više navrata, i to unošenjem u zonu reda, ako je to moguće. Uopšteno se može reći da je tehnologija promenljivih normi efikasnija na parcelama gde postoje značajna kolebanja u reljefu, time i sastavu zemljišta. Korisnost promenljive aplikacije se može sagledati i u povećanju učinka žetvenih mašina, odnosno smanjenju gubitka usled homogenizacije mase koja ulazi u vršalicu. Ovo posebno ima značaja kod sitnozrnih biljnih vrsta.

Ekonomski efekti

Najveći izdaci pri prelasku na prostorno promenljivu aplikaciju su u nabavci opreme koja, u slučaju da se koristi sistem za spektrometrijsku detekciju u realnom vremenu, košta 30–40 k€. Ukupni troškovi pre svega zavise od površine koja se tretira. Ukoliko se uzme u obzir prosečno povećanje prinosa od 4%, to u proseku iznosi povećanje dobiti od oko 50 €/ha. Pozitivni efekti primene prostorno promenljive aplikacije se mogu sagledati i u manjoj potrošnji đubriva. Ukupne uštede u proseku mogu ići do 50 kg N/ha što je po aktuelnim cenama oko 50 €/ha. Sve navedene prednosti treba uzeti sa rezervom što znači da one nisu svake godine prisutne, u nekim istraživanjima se čak pominje i smanjenje prinosa ukoliko se ide na manju potrošnju repromaterijala.

10 PROSTORNO PRILAGODLJIVA OBRADA ZEMLJIŠTA

Smatra se da su začeci prvih civilizacija od pre više od 10.000 godina posledica uvođenja obrade zemljišta kao obavezne mere pri obnavljanju ciklusa proizvodnje na stalnom mestu, odnosno parceli. Za obradu su se u početku koristile primitivne alatke za iskopavanje zemljišta i polaganje semena, a kasnije je razvijen veliki broj oruđa, od lopatičastog ašova ili motike do rala i raonog pluga, koje su vukli čovek ili životinje. Savremeni tehnički sistemi za obradu zemljišta koji su razvijani tokom vremena dizajnirani su da seku i mešaju zemljište na dubini 15–90 cm. Raoni plug koji je izvorno tzv. rimski plug napravljen još u periodu 100 n.e. još uvek je dominantno oruđe za obradu zemljišta širom sveta zbog svoje univerzalnosti primene na gotovo svim tipovima zemljišta. **Nijedno do sada poznato oruđe za obradu nije u mogućnosti da sa tolikom efikasnošću obavi istovremeno oslobađanje površinskog sloja od velike količine biljnih ostataka nakon žetve, unošenje organskog i mineralnog đubriva u dublje slojeve i uništavanje korovskih biljaka.**

Nekoliko revolucionarnih unapređenja uređaja za obradu zemljišta u poslednjem milenijumu dovelo je do razvoja novih sistema za obradu. Tehnološki napredak u obradi zemljišta podstakli su pre svega proizvođači iz najrazvijenijih zemalja koji su težili da prevaziđu probleme nastale zbog dugogodišnje upotrebe raonog pluga, koji su neosporni. Oni su postojeću praksu slojevite horizontalne obrade celokupne zapremine zemljišta zamenili tehnologijom kojom se ide na manje intenzivnu obradu, ekološki prihvatljivu i ekonomski opravdanu, gde se zapremina zemljišta delimično obrađuje. Podela sistema obrade u literaturi je urađena na osnovu interakcije zemljišta i mašine, kao i uticaja sistema na distribuciju biljnih ostataka po dubini zemljišnog profila nakon obrade (*Köller, 2002*). Prema opšteprihvaćenoj klasifikaciji, sistemi obrade su podeljeni na konvencionalni, redukovani i konzervacijski. U konvencionalnu ili intenzivnu obradu se svrstavaju svi oni tipovi obrade koji intenzivno mešaju slojeve zemljišta ostavljajući maksimalno do 15% površine pokriveno biljnim ostacima. Raoni plug je tipičan predstavnik oruđa koje ispunjava prethodno pomenute kriterijume konvencionalne obrade. Redukovani sistem obrade svrstava se u konzervacijski jer manjim intenzitetom meša slojeve ostavljajući između 15% i 30% površine pokrivenom biljnim ostacima. Tipične mašine za redukovanu obradu su razrivači, tanjirače i podrivači. Konzervacijski sistemi obrade minimalno uzurpiraju zemljište, nakon koje >30% površine ostaje pokriveno biljnim ostacima.

Konzervacijski sistem obrade se postiže direktnom setvom, obradom u trake, malč obradom, obradom na humke. Sistemi obrade zemljišta su prilagođeni specifičnostima klimatskog područja, zemljišta, useva koji se gaji, ekonomskim mogućnostima proizvođača, ali i agrarnoj politici neke zajednice (*FAO bulletin no.54*).

Mehanička obrada zemljišta se može definisati kao operacija namernog narušavanja prethodnog stanja primenom mehaničkih alata prilagođenih za manipulaciju zemljištem u agroekološkim uslovima. Bilo kako, obrada zemljišta i do današnjih dana ostala je ključna mera biljne proizvodnje zbog širokog spektra pozitivnih efekata na zemljište, odnosno prinos gajene biljke. Obradom se zemljište unapređuje u fizičko-hemijsko-biološkom smislu, aktiviraju se procesi koji su esencijalno važni za plodnost zemljišta. Obradom se utiče na formiranje strukture zemljišnih agregata čiji odnos utiče na razvoj korena, usvajanje hraniva, permeabilnost, retenciju vode, aeraciju itd., a kao sporedni efekti ubrajaju se suzbijanje korova i drugih štetnih organizama u zemljištu.

Mnogi parametri utiču na dinamiku primene otpora obrade zemljišta, između ostalih neki od dominantnijih su tip i stanje zemljišta i radni parametri (brzina, dubina obrade i zahvat). Generalno se može reći da otpori obrade zemljišta rastu sa porastom udela finijih frakcija u strukturi zemljišta (glina), kao i sa porastom radne brzine, dubine i radnog zahvata (*Kepner et al., 1978*). Karakter uticaja brzine na otpor obrade uslovljen je tipom zemljišta i tipom mašine za obradu (*Grisso et al., 1994*). Odnos brzine kretanja i promene otpora pri krtoj deformaciji (*Stafford 1981*) rezultat je sila koje su posledica pojave smičućih ravni, trenja i ubrzanja, tj. pokretanja zemljišta iz stanja mirovanja. *Kostić i Dedović (2016)* utvrdili su da promena radne brzine tokom oranja dovodi do promene režima kretanja zemlje po površini plužnog tela, što za posledicu ima drastičnu promenu otpora vuče. *Schlegel i Morlin (1969)* navode da u procesu obrade zemljišta raonim plugom najveći deo disipacije energije jeste funkcija radne brzine. *Girma (1992)* navodi da radna brzina ima važnu ulogu u dinamičnoj stabilnosti pluga. *Shöne (1966)* zasnovao je istraživanja o uticaju faktora brzine na pojavu otpora vuče na kvadratnoj jednačini koju je razvio *Goryachkin (1968)*. Uopšteno govoreći, veliki broj istraživanja dokazuje da otpor predstavlja eksponencijalnu funkciju radne brzine kada se govori o većim rasponima brzine (*Gill i Vanden Berg 1968*; *Kepner et al., 1982*). Autori *Reaves i Schafer (1975)*, *Summers et al. (1986)* u svojim istraživanjima pokazuju da je promena otpora linearnog karaktera, ukoliko se otpori posmatraju u granicama eksploatacionih brzina. *Taniguchi et al. (1999)* je pri utvrđivanju uticaja brzine na otpor vuče plužnog tela u laboratorijskim uslovima došao do smanjenog porasta vrednosti otpora što se tumači smanjenom adhezijom zemlje na plužnom telu zbog kraćeg zadržavanja, odnosno tzv. hidrodinamičkog efekta smanjenog trenja.

Osnovna obrada zemljišta

Osnovna obrada je prva agrotehnička operacija koja se izvodi najčešće do dubine od 30 cm nakon skidanja požnjevenog useva, sa ciljem započinjanja novog proizvodnog ciklusa. Ona je ujedno i najveći potrošač energije, ljudskog i mašinskog rada, samim

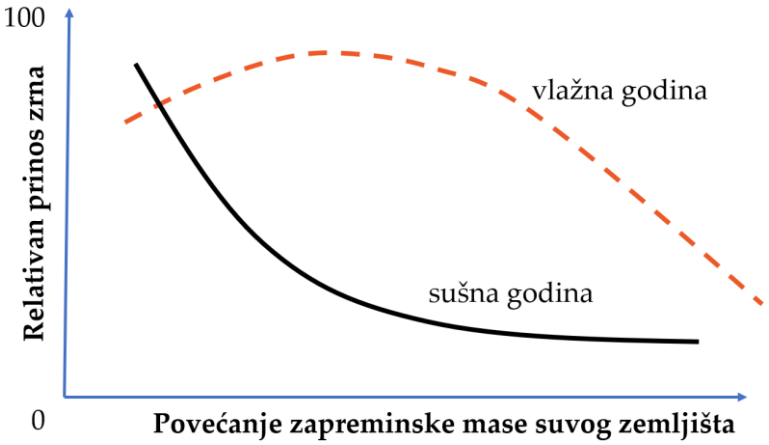
tim i najskuplja operacija. U svakom slučaju, potrebe za optimizacijom procesa duboke obrade su evidentne. U tom smislu se postavljaju dva pitanja i to:

- Kojim intenzitetom obrađivati i
- Do koje dubine?

Poznato je da raoni plug pruža obradu celokupne zapremine zemljišta uz intenzivno mešanje slojeva, ujedno efikasno suzbijanje korova i zaoravanje žetvenih ostataka. Intenzivnim mešanjem zemljišta unosi se kiseonik koji omogućava brže oslobađanje hraniva iz organske materije procesom mineralizacije. Sve ostale alatke su manje efikasne u tom pogledu. Nedostatak obrade prevrtanjem brazde ili oranja je u tome što ostavlja zemljište ogoljeno, podložno eroziji, naročito na nagnutim terenima. Takođe, zrnasta struktura zemljišta je veoma neotporna na sabijanje kojem je zemljište izloženo tokom vegetacije.

Kompaktnost zemljišnih čestica je krucijalna za razvoj biljaka (slika 10.1). Sa povećanjem intenziteta i dubine obrade smanjuje se kompaktnost zemljišta. Detekcija kompaktnosti po principima precizne poljoprivrede nije jednostavna. Te metode su manje ili više invazivne, sa različitim mogućnostima za prikupljanje prostornih podataka. Kontrola dubine obrade se može obaviti na osnovu podataka o:

- vlažnosti zemljišta,
- teksturi,
- sadržaju organske materije,
- nagibu i
- mehaničkom otporu na prodiranje.



Slika 10.1. Orijentacioni prikaz uticaja zapreminske mase zemljišta na prinos zrna

Praksa obrade zemljišta je povezana sa klimatskim regionima. U vlažnim regionima se obrada obavlja dublje nego u regionima sa manje padavina. Osnovni problem prilagođavanja obrade vremenskim prilikama, odnosno količinama padavina je nepouzdanost vremenskih prognoza na duži rok. Međutim jedan od pristupa je da se obrada ne prilagođava budućim prilikama, nego trenutnim količinama vode u zemljištu. Taj podatak se može odnositi na količinu padavina i evapotranspiraciju u

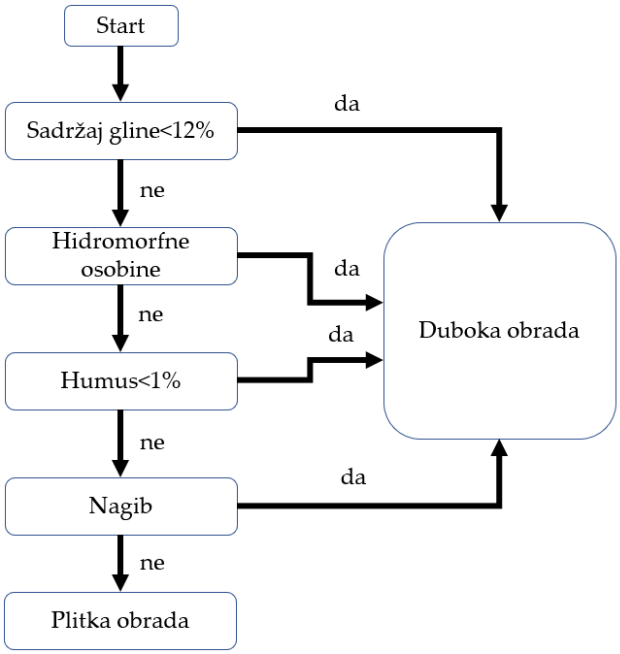
prethodnom periodu. Problem ovog pristupa je što se od obrade očekuje da ima pozitivan uticaj na biljke tokom cele sezone. Kontrola obrade na osnovu sadržaja vode u zemljištu može biti potpuno pogrešna ukoliko se ona sprovodi na suviše vlažnom zemljištu, kada se obradom pogoršavaju fizička svojstva.

Uticaj klimatskih prilika se ne ogleda samo u formiranju vodnog bilansa zemljišta, nego i procesima koji u velikoj meri utiču na fizička svojstva, kao što su naizmenično sušenje i vlaženje, odnosno smrzavanje i otpuštanje. Pomenuti fenomeni imaju veoma izraženo dejstvo na zemljištima sa povećanim sadržajem gline, jer dovode do narušavanja kompaktne strukture. Ukoliko je na parceli tekstura varijabilna, uticaj klime na fizičke osobine je isto tako prostorno neujednačen. Stoga je u takvim sredinama primena prostorno promenljive obrade opravdana.

Sadržaj humusa se može upotrebiti kao ulazni parametar za kontrolu dubine obrade. Generalni princip je da se zemljišta sa više organske materije dublje obrađuju i obrnuto. Međutim, sa produbljivanjem obrade povećava se brzina dekompozicije organske materije. **Manji intenzitet obrade ne znači nužno smanjenje gubitka organske materije, naročito ako se time smanjuje prinos, koji je jedini izvor organske materije.**

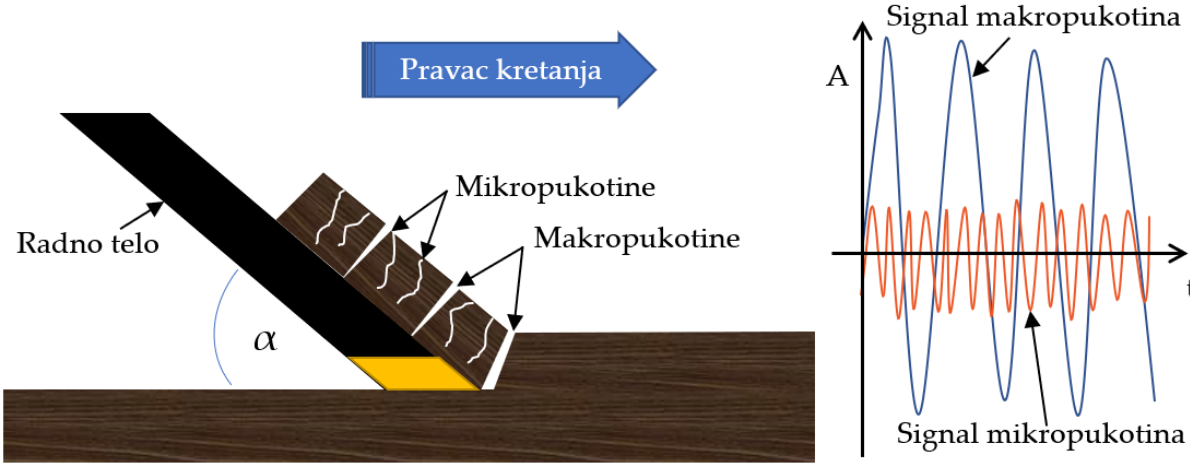
Uticaj nagiba terena je dominantan kad je u pitanju distribucija mehaničkih čestica. Fina, glinovita faza se uvek akumulira na nižim delovima polja gde je i sadržaj organske materije veći.

Mehanički otpor zemljišta je dugo vremena bio predmet ispitivanja u naučnim studijama. Standardna metoda koja se koristi za poljska merenja je vremenski prekidna i prostorno diskretna što ne odgovara savremenim trendovima u njivskoj detekciji (*Kostić et al., 2016*), ali daje detaljan uvid o sabijenosti po zemljišnom profilu. Zbog toga su razvijani razni modeli uređaja za merenje mehaničkog otpora u hodu. Međutim, u tom slučaju problem je nastao kada se želi detektovati intenzitet otpora u funkciji dubine. Autori *Sommer i Vosshenrich (2004)* napravili su koncept sistema za obradu zemljišta na promenljivim dubinama. Sistem reaguje na principu algoritma koji ima definisane pragove zemljišnih parametara koji su dati na slici 10.2. Ukoliko su parametri zemljišta ispod definisanih granica, obrada se izvodi plitko, u suprotnom se uključuje kontrola koja podešava dubinu. Svi pokazatelji zemljišta koji se koriste za kontrolu su relativno stabilni u vremenu, te se može primeniti koncept promenljive obrade na osnovu tematskih mapa. U velikoj većini slučajeva se pokazalo kao praktičnije da se kontrola dubine obrade obavlja na osnovu predefinisanih mapa nego u realnom vremenu na osnovu očitavanja sa senzora. Autori *Vosshenrich i Sommer (2005)* definisali su za uslove Nemačke dubinu obrade od 10 cm kao plitku, odnosno preko 20 cm kao duboku. Osnovni problem svih sistema za obradu na promenljivoj dubini su uzak raspon regulacije dubine i kvalitet kontrole dubine. Ako je raspon regulacije svega 10–15 cm, pri tome kontrola dubine, bez obzira koliko bila precizna daje odstupanje koje, u zavisnosti od dužine mašine, osetljivosti hidrauličnog sistema i uticaja mikroreljefa, može biti nekad i preko 10 cm.



Slika 10.2. Algoritam za kontrolu dubine obrade (Sommer i Vosshenrich, 2004)

U tom slučaju, optimizacija procesa obrade uz promenljivu dubinu gubi smisao, jer će greška u regulaciji dubine biti veća od raspona regulacije. Mehanička svojstva zemljišta su karakteristika određenog tipa zemljišta, koja u interakciji sa spoljnjim uticajima (klima, čovek, biljni i životinjski svet) poprimaju vrlo promenljivu prostornu kategoriju. Upravo je to osnovni razlog što je opterećenje na mašinama za obradu periodičnog karaktera. Periodičnost je posledica varijabilnosti fizičkih osobina zemljišta, kao i karaktera deformacije strukturnih agregata. Priroda deformacije zemljišnih agregata prilikom njihovog kretanja po radnom telu dovodi do pojave smičućih ravni i stvaranja zemljišnih "blokova". Periodičnost formiranja smičućih ravni uzrokuje periodična opterećenja na alatima za obradu (slika 10.3).



Slika 10.3. Formacija smičućih blokova i sitnih pukotina kao posledica deformacije zemljišta i pokretanja iz stanja mirovanja u stanje kretanja. Grafikon prikazuje uticaj tipa deformacije na komponente signala otpora obrade zemljišta (Kostić, 2015).

Razmaci između ravni drobljenja zavise od tipa zemljišta, vlažnosti zemljišta, zapreminske mase zemljišta i brzine radnog tela (*Owen et al., 1990*).Manja frekvencija periodičnosti opterećenja na radnim telima, pod pretpostavkom da je radna dubina relativno konstantna, najčešće je odraz lokalne prostorne varijabilnosti u fizičkim osobinama zemljišta kao što su vlažnost zemljišta, tekstura zemljišta i sabijenost, odnosno zapreminska masa (*Lapen et al., 2001a*). Iako je otpor vuče parametar koji bitno utiče na skoro sve segmente tehnološkog procesa u njivskoj proizvodnji, kao i

na radni vek mašina i traktora, može se reći da se raspolaže sa malo podataka o otporima vuče mašina za obradu za konkretne tipove zemljišta, odnosno radne brzine. Na osnovu prethodno navedenog, nameće se potreba za analiziranjem periodične prirode otpora sa stanovišta lokalnih (*Lapen et al., 2001b*) i globalnih osobina zemljišta i režima obrade.

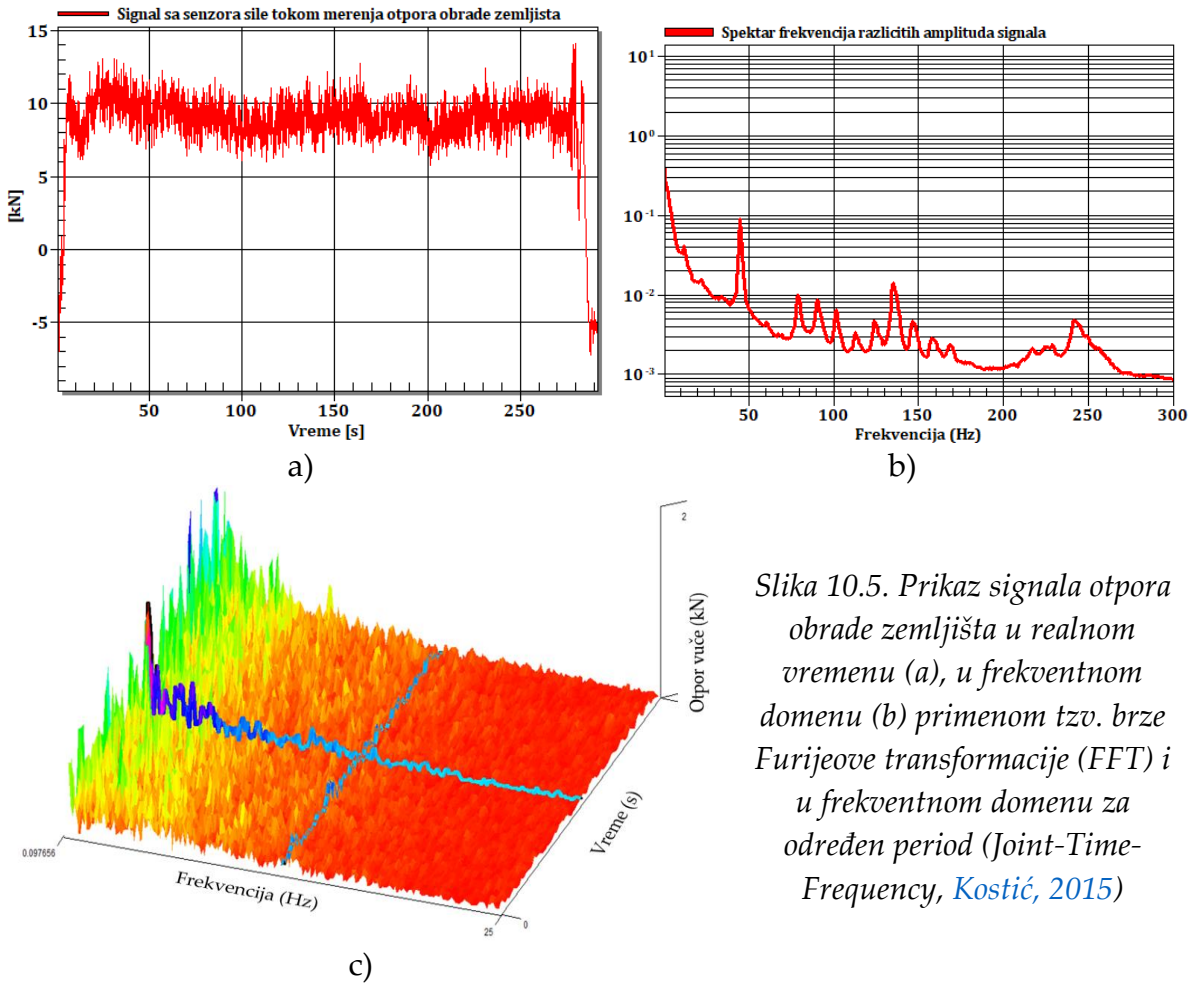
Autor *Kostić (2015)* posvetio je u okviru svojih istraživanja u domenu razvoja merne konstrukcije za georeferencirano merenje otpora zemljišta deo pažnje analizi spektra signala sa senzora sile otpora i senzora vibracija (akcelerometra) koji je bio montiran na ramskoj konstrukciji raonog pluga (slika 10.4). Istraživanje je sproveo u realnim uslovima, tokom operacije jesenje osnovne obrade na pretkulturama soje, kukuruza i pšenice koje su gajene na prostorno udaljenim poljima. S obzirom na to da su biljne vrste bile različite, te primenjena agrotehnika, kao i istorijat parcela, ali i klimatski uslovi, jer se radilo o ozimim i jarim usevima, očekivano je da će se signali razlikovati u odnosu na gajenu vrstu i da će analiza spektra ponuditi dodatan uvid u fizičko stanje zemljišta. Spektralna analiza podrazumeva proučavanje cikličnih oblika u vremenskoj seriji podataka, uz identifikaciju njihove relativne značajnosti. Pri obradi signala, vremenska analiza frekvencija obuhvata tehnike koje sagledavaju signal u vremenskom ili frekventnom domenu, pri tome koristeći različite vremensko-frekventne prikaze. Iako je prikaz signala u frekventnom domenu izuzetno koristan i najčešće korišćen, on ne daje informaciju o strukturi frekventnog spektra osnovnog signala tokom vremena. Umesto prikazivanja jednodimenzionog signala, *JTF* (*joint-time-frequency*) analiza proučava dvodimenzionalni signal čiji je domen dvodimenzionalna površ dobijena od signala koji je vremenski-frekventno transformisan (*L. Cohen, "Time–Frequency Analysis," Prentice-Hall, New York,* 1995).



a) b)

Slika 10.4. Akcelerometar korišćen tokom merenja: a) piezorezistivni akcelerometar MTN 7000; b) pozicija na nosaču plužnog tela

Primenom ove analize se istovremeno posmatraju funkcija i njene transformacije (koje su često čvrsto povezane), kvalitetnije se prouče i bolje razumeju kao dvodimenzionalni objekat, nego ako se posmatraju odvojeno.

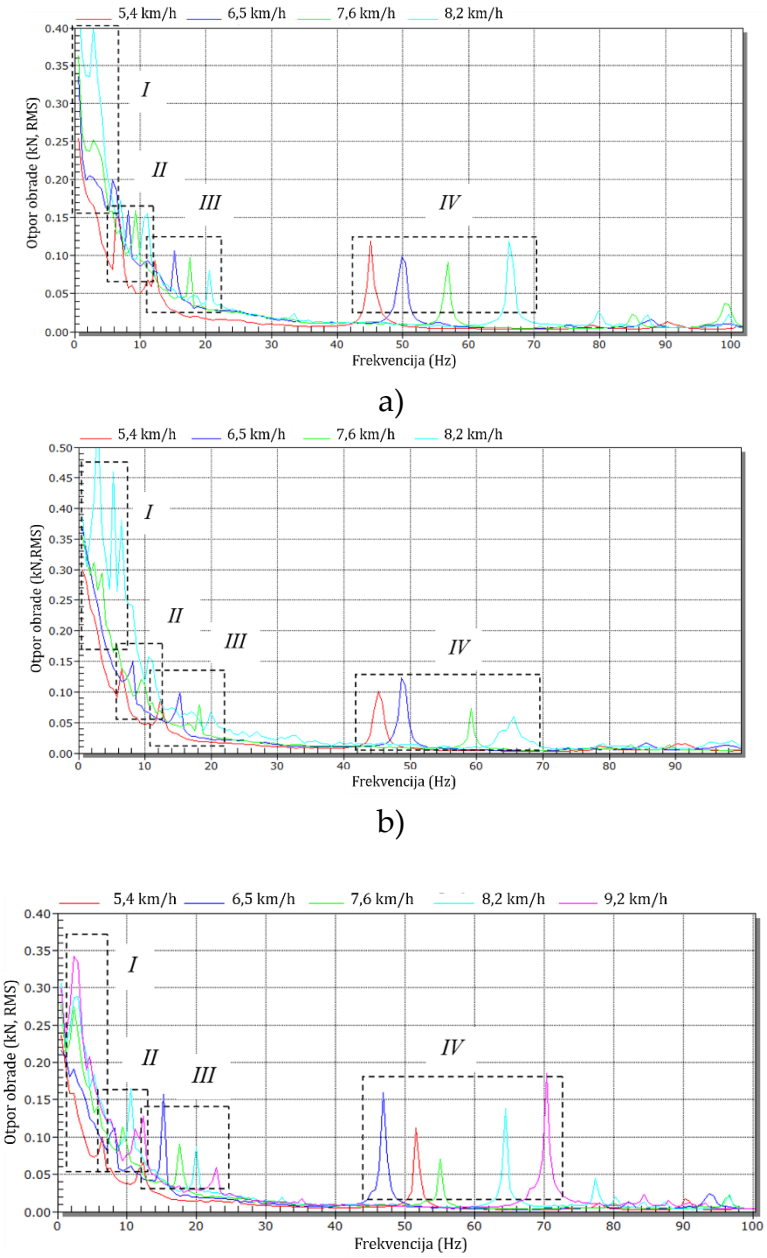


Slika 10.5. Prikaz signala otpora obrade zemljišta u realnom vremenu (a), u frekventnom domenu (b) primenom tzv. brze Furijeove transformacije (FFT) i u frekventnom domenu za određen period (Joint-Time-Frequency, Kostić, 2015)

Praktična svrha primene vremensko-frekventne (*JTF*) analize je to što klasična Furijeova analiza pretpostavlja da su signali beskonačni u vremenu ili periodični, dok su u praksi mnogi signali kratkotrajni i promenljivi tokom njihovog trajanja.

Na slici 10.6 prikazani su dijagrami spektralnih gustina signala ukupnog otpora zemljišta (FFT) za različite radne brzine, odnosno parcele (preduseve). Spektralna analiza urađena je na rezultujućem signalu sile otpora dobijenom sabiranjem signala sa tri senzora sile koji su deo mernog sistema (prethodno prikazan na slici 10.5). Signali sa davača propušteni su kroz niskopropusni filter koji je eliminisao komponente čija frekvencija prelazi 300 Hz, jer su više frekvencije najčešće posledica parazitskih signala sa nepoznatih izvora koji nisu indukovani promenom otpora zemljišta. Prilikom standardnih procedura merenja otpora, frekvencije signala su daleko manje (do 100 Hz), jer su prethodne studije pokazale da se preko 90% frekventnog spektra signala otpora obrade nalazi u granicama 0–20 Hz (*Hayhoe et al., 2002*).

Na slici 10.6a prikazane su spektralne gustine signala otpora vuče pri različitim brzinama obrade zemljišta na parceli gde je predusev bila soja.



Slika 10.6. Frekventni spektar signala otpora zemljišta u odnosu na radnu brzinu i predusev: a) soja ; b) kukuruz B; c) pšenica

Na slici 10.6a se može primetiti više periodičnih varirajućih ciklusa signala (I, II, III i IV) za sve radne brzine. Najuočljivije su spektralne gustine sa frekvencijama od 40 Hz do 70 Hz (IV) sa amplitudama koje su veoma ujednačene za sve brzine. Na manjim frekvencijama primetna su još dva karakteristična ekstrema, i to u granicama od 8 Hz do 12 Hz (II) i 12–20 Hz (III). Spektralne gustine su jednako raspoređene za sve radne brzine, što znači da se one pojavljuju na nižim frekvencijama pri manjim radnim brzinama, odnosno višim kod signala dobijenog pri većim radnim brzinama. Najveće amplitude signala otpora vuče su se pojavljivale pri frekvencijama manjim od 5 Hz, što se slaže sa rezultatima autora *Oven et al. (1990)*. Stabilnost signala velikih amplituda je u obrnutoj relaciji sa radnom brzinom traktorskog agregata.

Najizraženija varijabilnost signala je pri najvećoj brzini (8,2 km/h), dok se stabilnost povećava sa smanjenjem radne brzine, tako da signal brzine 5,4 km/h u opsegu frekvencija od 0 Hz do 5 Hz (I) ima skoro linearni karakter. Na slici 10.6b prikazane su spektralne gustine signala otpora vuče pri različitim brzinama obrade zemljišta na parceli gde je predusev bio kukuruz. U poređenju sa prethodnim slučajem, može se reći da je spektralna karakteristika veoma slična za sve radne brzine, s tom razlikom da je veća nestabilnost signala za brzinu 8,1 km/h u opsegu niskih frekvencija (0–5 Hz). U zoni frekvencija IV najveću amplitudu ima signal brzine 6,4 km/h, a najmanju signal brzine 8,1 km/h. U zoni spektralnih gustina II i III amplitude su približne. Na slici 10.6c prikazane su spektralne gustine signala otpora vuče pri različitim brzinama obrade zemljišta na parceli gde je predusev bila pšenica. U zoni spektralnih gustina IV, najveća amplituda se javlja pri brzini 9,2 km/h i frekvenciji 70 Hz. Najniža amplituda je za slučaj brzine 7,4 km/h. Za razliku od prethodna dva slučaja, spektralna gustina signala brzine 5,1 km/h javlja se na višoj frekvenciji (52 Hz) u poređenju sa signalom brzine 6,4 km/h (48 Hz). U spektralnoj zoni III amplitude signala opadaju (osim za brzinu 5,1 km/h) sa porastom radne brzine, dok vrhovi većih brzina odgovaraju višim frekvencijama.

Spektralne gustine u zoni frekvencija II su isto raspoređene kao i u zoni III. Spektralne gustine signala u oblasti I i II za brzine 5,1 km/h i 6,4 km/h pokazuju veću stabilnost u odnosu na signale većih radnih brzina.

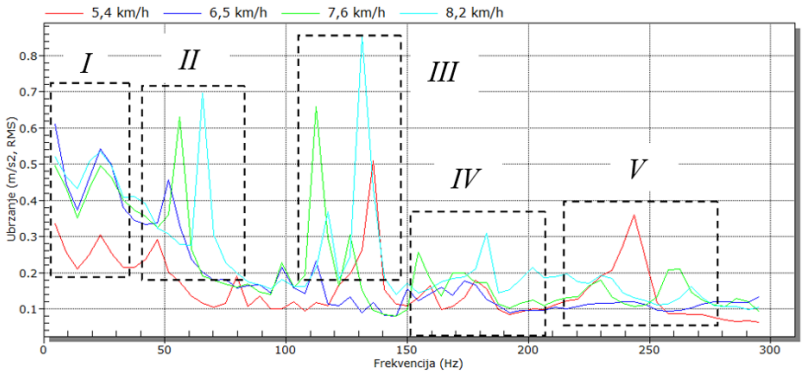
Rezultati spektralne analize signala otpora vuče pokazali su određenu stabilnost u pogledu rasporeda frekventnih gustina gledano na parcele. Zapažena je i pravilnost rasporeda frekventnih gustina u odnosu na brzine. Spektralne gustine signala se pomeraju prema višim frekvencijama srazmerno povećanju radne brzine. To je praktično utvrđeno na svim tretmanima – parcelama. Ova zakonitost ukazuje na to da se karakteristične pojave koje izazivaju periodičnost signala javljaju jednim delom nezavisno od fizičkog stanja na parcelama i da je to verovatno delom posledica interakcije zemljišta i mehaničke konstrukcije. Takođe, potvrđena je činjenica da spektralne gustine signala otpora vuče rapidno opadaju sa porastom frekvencije (*Hayhoe et al., 2002*). U zoni frekvencija od 0 Hz do 5 Hz se nedvosmisleno nalaze gotovo svi signali sa najvećim amplitudama koji suštinski predstavljaju otpor vuče. Karakteristiku da se glavne varijacije sile na oruđu za obradu dešavaju pri frekvenciji manjoj od 3 Hz zapazio je *Owen et al. (1990)*. Signali u oblasti manjih frekvencija pokazali su da postoji određena veza sa fizičkim osobinama. Naime, primećena je veća nestabilnost signala na parceli gde je predusev bio kukuruz i gde je ustanovljena najveća sabijenost i zapreminska masa (*Kostić, 2015*). Amplitude signala na frekvencijama od 5 Hz do 12 Hz su najverovatnije posledica formiranja pukotina, odnosno smičućih ravni unutar odsečene brazde (*Hayhoe et al., 2002*), mada neki autori tu pojavu pripisuju lokalnim varijacijama fizičkih osobina zemljišta kao što su vlažnost zemljišta, tekstura, čvrstoća itd. (*Lapen et al., 2001a*; *Lapen et al., 2001b*). Više frekvencije signala imale su slične amplitude. Njihove varijabilnosti u odnosu na

parcele potencijalna su posledica specifične strukture zemljišta, interakcije radnog tela i zemljišta ili žetvenih ostataka (*Owen et al., 1990*).

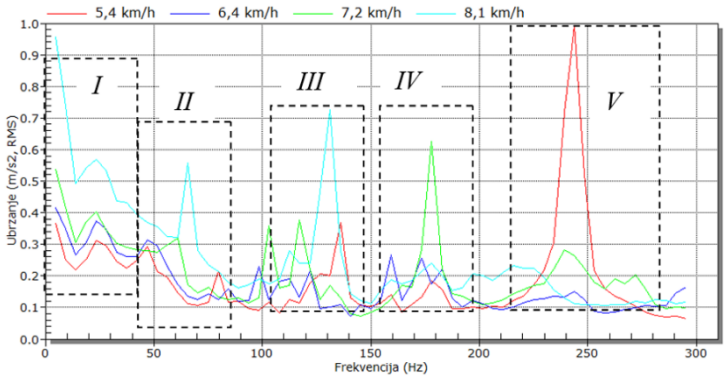
Sagledavanje spektralne karakteristike signala otpora vuče, između ostalog, dalo je dobar uvid u lokalnu varijabilnost osobina zemljišta (*Lapen et al., 2001b*) i omogućilo iznalaženje optimalne metode filtriranja i obrade podataka. Filtracija je veoma bitna u postupku obrade signala, jer može pomoći u minimiziranju lažnih varijacija u signalu izazvanih pojavom šuma i drugih anomalija. Ovo istraživanje je pokazalo da signali čije su frekvencije veće od 10 Hz nemaju značaja sa aspekta merenja otpora vuče.

Na slici 10.7 prikazani su dijagrami frekventnog spektra signala sa akcelerometra za različite radne brzine, odnosno preduseve (soja, kukuruz i pšenica). Opšta komparacija spektralnih karakteristika signala sa akcelerometra sa spektralnim karakteristikama signala otpora vuče ukazuje na to da dinamometar ne registruje frekvencije otpora preko 100 Hz, a da je akcelerometar registrovao značajne amplitude oscilacija radnog tela upravo na frekvencijama iznad 50 Hz. Karakteristične spektralne gustine pojavljuju se u pet frekventnih zona.

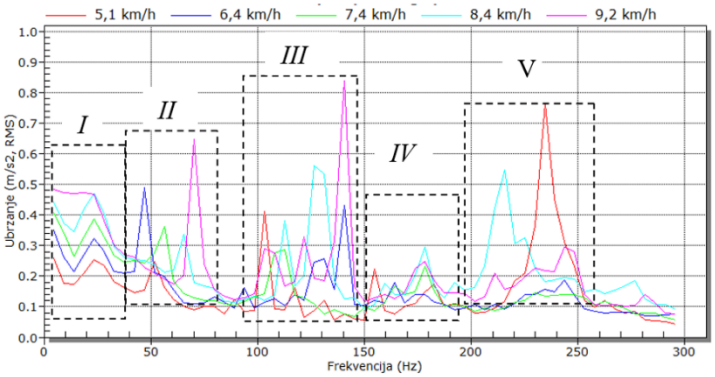
Na slici 10.7a prikazane su frekvencije oscilacija radnog tela na parceli gde je predusev bila soja za različite radne brzine. U zoni frekvencija I, spektralna karakteristika signala za brzine 6,5 km/h, 7,6 km/h i 8,2 km/h skoro su identične, dok signal za brzinu 5,4 km/h ima najmanju amplitudu. U zoni II, gustine su ravnomerno raspoređene i međusobno pomerene. Signali većih brzina imaju vrhove na većim frekvencijama. Amplitude signala rastu sa porastom brzine tako da je najmanja amplituda signala 5,4 km/h, a najveća brzina 8,2 km/h. U zoni III, spektralne gustine su nepravilno raspoređene. U ovoj zoni signali brzina 5,4 km/h, 7,6 km/h i 8,2 km/h imaju maksimalnu amplitudu u čitavom frekventnom opsegu. U zoni IV i V signali su najmanje amplitude, gde dominiraju najmanje i najveće radne brzine. Na slici 10.7b prikazane su frekvencije oscilacija radnog tela za različite radne brzine na parceli gde je predusev bio kukuruz. U zoni frekvencija I, spektar signala za sve brzine ima veoma sličnu karakteristiku, s tim što su amplitude u pozitivnoj relaciji sa radnim brzinama. U zonama II i III, po amplitudi, izdvaja se signal najveće brzine (8,1 km/h), u zoni IV to je signal brzine 7,2 km/h, a u zoni V to je signal najmanje brzine (5,4 km/h). Zanimljiva je pojava ekstrema amplitude signala najmanje brzine koja ima najveću vrednost u zoni najvećih frekvencija (zona V) i najveću vrednost u poređenju sa amplitudama ostalih brzina u odnosu na sve frekventne zone. Na slici 10.7c, po amplitudama se ističu frekventne zone II, III i V. U zoni I, amplitudni maksimumi se javljaju pri istim frekvencijama za sve brzine kao i u prethodnim slučajevima. U ostalim frekventnim zonama, amplitudni maksimumi su nepravilno raspoređeni. U II zoni ističu se amplitude signala za brzine 9,2 km/h i 6,4 km/h, u zoni III to su signali brzina 8,4 km/h i 9,2 km/h, u IV zoni amplitude su slične, dok u petoj zoni dominira amplituda signala najmanje brzine (5,1 km/h), odnosno signala brzine 8,4 km/h.



a)



b)



c)

Slika 10.7. Frekventni spektar signala sa akcelerometra u odnosu na radnu brzinu i predusev: a) soja; b) kukuruz ; c) pšenica

Spektralna karakteristika signala akcelerometra pokazala je da se na oruđu javljaju opterećenja koja izazivaju značajne visokofrekventne oscilacije radnog tela u rasponu od 50 Hz do 250 Hz. Nevidljivost visokih frekvencija u spektralnoj karakteristici otpora vuče posledica je neosetljivosti senzora sile na visoke frekvencije. U frekventnom spektru oscilacija nije toliko uočljivo pomeranje frekventnih gustina prema višim frekvencijama sa povećanjem brzine kao što je to bio slučaj kod spektralne karakteristike otpora vuče. Razog za to je što su frekvencije prikazane u većem frekventnom rasponu (0–300 Hz), pa prema tome, "mala" promena brzine nije mogla izazvati uočljiva pomeranja. Sa stanovišta amplitude signala, tu postoji razlika, kako sa aspekta parcele (preduseva), tako i sa aspekta radnih brzina. Ove varijacije svakako se mogu pripisati fizičkim karakteristikama zemljišta i uticaju promene

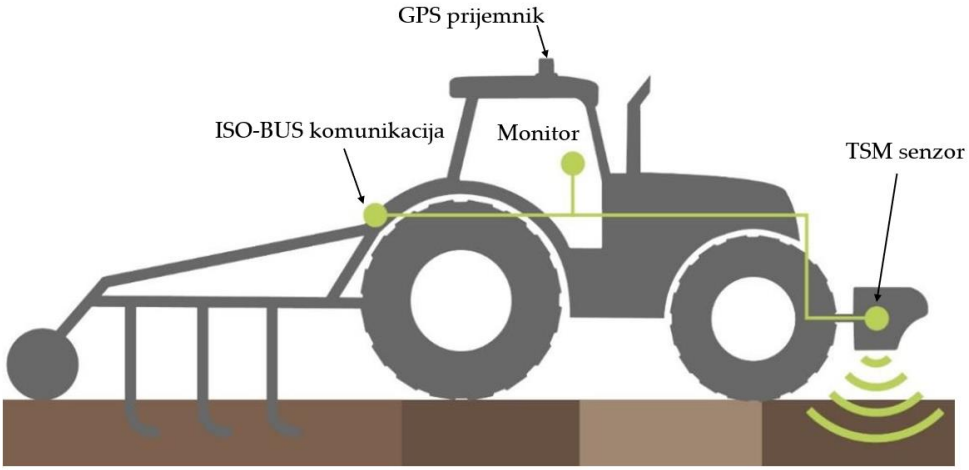
režima kretanja zemljišta koje je u interakciji sa radnim delovima pluga. Maksimumi amplituda se pojavljuju različito u pogledu radnih brzina i u pogledu preduseva. Parcela na kojoj je soja bila predusev u zoni frekvencija do 50 Hz ima skoro identičnu karakteristiku, izuzev signala najmanje brzine koja vidno ima manju amplitudu. U oblasti frekvencija iznad 50 Hz, frekventne gustine signala imaju amplitudne maksimume u različitim frekventnim zonama. U zoni od 50 Hz do 150 Hz dominiraju signali većih brzina, dok iznad 150 Hz frekventne gustine imaju sličnu karakteristiku. Na predusevu kukuruz u zoni frekvencija do 50 Hz primećena je velika sličnost u signalima uz vertikalnu pomerenost amplituda srazmerno radnim brzinama. U zoni od 50 Hz do 250 Hz dominiraju frekvencije većih radnih brzina. Iznenađujuća pojava je karakteristika signala najniže radne brzine koja ima daleko najveću amplitudu u poređenju sa signalima viših radnih brzina u zoni frekvencija od 200 Hz do 300 Hz, što je svakako neočekivano. Ova pojava dokazuje da se spektralne karakteristike signala sa akcelerometra menjaju sa promenom radnog režima. Na parceli gde je predusev pšenica, karakteristika signala različitih brzina do 50 Hz, slično kao i na predusevu kukuruz, ima pravilnu vertikalnu raspodelu, što znači da su signali većih brzina pomereni prema većim vrednostima u odnosu na signale manjih brzina. Od 50 Hz do 150 Hz najveće amplitude su od signala većih radnih brzina, dok u zoni od 200 Hz do 250 Hz najveća je amplituda najmanje brzine kao u slučaju parcele na kojoj je predusev bio kukuruz.

Spektralna analiza signala akcelerometra pokazala se kao kvalitetna dopuna spektralne karakteristike signala otpora vuče za potrebe procene fizičkog stanja zemljišta. Činjenica da postoje značajne spektralne gustine u opsegu od 50 Hz do 250 Hz na neki način prevazilazi tvrdnje da se najveći deo signala otpora vuče javlja pri niskim frekvencijama. To ukazuje na potrebu da se prilikom tumačenja fizičkog stanja zemljišta spektralnim karakteristikama signala sa dinamometra obavezno uključi merač vibracija (akcelerometar), koje su u direktnoj vezi sa promenom opterećenja na radnom telu.

Komercijalni sistemi za kontrolu dubine obrade

Kompanija *Geoprospectors* iz Austrije proizvela je jedino komercijalno dostupno rešenje sistema za kontrolu oruđa za obradu u realnom vremenu na osnovu očitavanja sa senzora elektromagnetne provodljivosti zemljišta (slika 10.8). Sistem se može koristiti dvojako, i to da mapira EC zemljišta tokom obavljanja bilo koje agrotehničke operacije, ili za kontrolu dubine u realnom vremenu tokom osnovne obrade zemljišta. Senzor predstavlja elektromagnetnu sondu koja se priključuje na traktorski hidraulični podizač ili na bilo koju mobilnu platformu (slika 10.9). Komunikacija sa kontrolerom se uspostavlja po *ISO-BUS* protokolu. Detekcija zemljišta je potpuno neinvazivna, što znači da se ne remeti prethodno stanje. Sistem detektuje elektromagnetnu provodljivost zemljišta sa rezolucijom od 5 cm po dubini. Još uvek ne postoje zvanične studije o ispitivanju uređaja na osnovu kojih bi se moglo

objektivno zaključiti o efikasnosti sistema u detekciji određenih zemljišnih parametara.



Slika 10.8. Sistem kontrole dubine obrade u realnom vremenu senzorom Top Soil Mapper - TSM (GeoProspectors)

Predsetvena varijabilna obrada

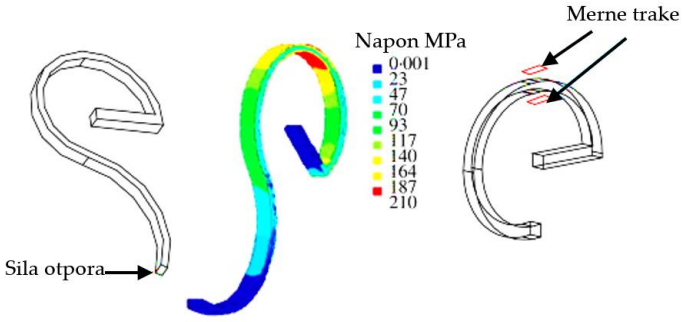


Slika 10.9. Top Soil Mapper senzor na prednjem podiznom uređaju traktora

Varijabilna obrada zemljišta može biti sprovedena i u operaciji predsetvene (plitke) pripreme. Na mnogim parcelama zemljišta nisu homogena po površini i po dubini, kao što nije ni uticaj gaženja poljoprivredne mehanizacije niti distribucija zemljišnih agregata, grudvi koje su nastale osnovnom obradom. Zbog toga postoji objektivna mogućnost da se primeni prostorno promenljiva predsetvena priprema ili da se primeni promenljiva setva na osnovu različitog kvaliteta pripreme zemljišta. Jedna od metoda za detekciju usitnjenosti zemljišta je merenje sile koja deluje na kultivatorsku motičicu. Sila koja se javlja na kultivatorskoj motičici je posledica interakcije grudvi i motičice. U tom smislu se, osim sile, mogu meriti i vibracije. Merenje sile na motičice je moguće postavljanjem mernih traka koje menjanju naponski i strujni signal na izlazu u zavisnosti od deformacije konstrukcije nosača motičice. Za ovo je potrebna posebna kalibracija u laboratorijskim uslovima. Autori *Bogrekci i Godwin (2007)* primenili su ovaj princip i dokazali da se time može doći do upotrebljivih zapisa koji su tesno povezani sa stanjem zemljišta u setvenom sloju (slika 10.10). Sila otpora je u direktnoj korelaciji sa finoćom površinskih agregata. Sa porastom grublje frakcije, povećavaju se i otpori na motičici. Pri ovom načinu detektovanja finoće površinskog sloja bitan je i parametar

napadnog ugla motičice i međusobnog rastojanja na ramu mašine. Napadni ugao motičice utiče na otpor tako što se sa povećanjem ugla povećava i otpor kretanja motičice i obrnuto.

Takođe, uticaj napadnog ugla se ogleda i u intenzitetu usitnjavanja grudvi, gde povećan ugao povećava intenzitet usitnjavanja zbog većeg impulsa sile pri dodiru grudve i motičice. Manjkavost ovakvog pristupa u detekciji usitnjenosti površinskog sloja je to što se u signalu najčešće pojavljuju i negativne komponente sile, što je posledica vibracija i velike elastičnosti nosača motičice. Takođe, u spektru signala se mogu pojaviti i razni šumovi sa različitih izvora koji nisu potekli od interakcije motičice i zemljišta.



Slika 10.10. Merni sistem autora Bogrekci i Godwin (2007) za detekciju stanja zemljišta u površinskom sloju

Tako na primer, oscilacija opružnog nosača ima svoju prirodnu frekvenciju oscilovanja koja mora biti izmerena u toku kalibracije i filtracijom potisnuta iz osnovnog signala. Da bi sistem kontrole funkcionisao pravilno, neophodno je da postoji povratna sprega, tj. da se prati proces usitnjavanja nakon prolaska kultivatora. Međutim, to nije jednostavno. U tom smislu, senzorna motičica se može postaviti u prvi red tako da nailazi na sirovo stanje zemljišta, te se na osnovu generisanih signala otpora daje komanda za korekciju dubine. Druga mogućnost je da se instrumentalizovana motičica postavi u krajnji red, gde bi se njome detektovao učinak kultivatora. Međutim, reakcija sistema u tom slučaju mora biti trenutna kako bi se sprečila zakasnela reakcija u promeni dubine. Kompromisno rešenje bi bilo da se detekcija obavlja na središtu kultivatorskog krila kako bi se omogućili pravovremena reakcija i praćenje efekata rada. Međutim, uticaj kvaliteta predsetvene pripreme na nicanje zavisi od količine vlage u zemljištu, odnosno eventualnih padavina neposredno posle setve. Čak i pri lošoj pripremi, ukoliko ima dovoljno vlage u zemljištu, kvalitet nicanja će biti možda čak i bolji nego u slučaju kvalitetne pripreme, a eventualnog nedostatka vlage. Prema autorima *Isensee i Reckleben (2009)*, na osnovu studija koje su sprovedene u Nemačkoj, finansijske koristi od prostorno promenljive obrade su oko 6 €/ha na osnovu smanjene potrošnje goriva i 2 €/ha na osnovu smanjenja ljudskog i mašinskog rada. Takođe, nisu dobijene statistički značajne razlike u prinosu ispitivanih kultura.

11 PROSTORNO PRILAGODLJIVA SETVA

U savremenim sistemima proizvodnje ratarskih proizvoda, obrada zemljišta se menja u pravcu smanjenja intenziteta (*Kostić et al., 2018*; *Biddoccu et al., 2016*). Zbog toga terenski uslovi postaju teži (zemljište je manje homogeno, kompaktnije, sa većim prisustvom biljnih ostataka) i na terenu je daleko složenije postići veliku tačnost pri doziranju semena i visok procenat klijavosti posejanog semena (*Farook i Siddikue, 2015*; *Kassam et al., 2014*). Veliki broj poljoprivrednih stručnjaka slaže se da kvalitet setve ima važnu ulogu u proizvodnji useva (*Cay et al., 2018*; *Karayel i Ozmerzi, 2002*). Ako biljke imaju jednak pristup svim resursima u polju, a to se dešava samo onda kada je seme pravilno raspoređeno i nicanje ujednačeno, stvaraju se povoljni preduslovi da se genetski potencijal genotipa iskoristi do maksimuma. Jednaka prostorna distribucija biljaka omogućava optimalne uslove za svaku biljku i na taj način se smanjuje konkurencija između njih (*Heege, 1993*; *Griepentrog, 1998*; *Karayel i Ozmerzi, 2002*).

Značaj rasporeda biljaka u polju, s obzirom na kvalitet i veličinu prinosa, zavisi od vrste biljaka. Generalno gledano, veći međuredni razmak, kao i veće rastojanje između semena, povećava značaj jednake distribucije biljaka i obrnuto. *Jaggard (1990)* naglašava važnost preciznosti setve u proizvodnji šećerne repe gde, zbog neravnomernog rastojanja između semena, dolazi do neravnomernog rasta i formiranja korena, čime se smanjuje efikasnost ubiranja. Kvalitet setve utiče na efikasnost suzbijanja korova tokom vegetacionog perioda, jer postoji mogućnost širenja korova ako se ostavi više praznog prostora između semena, što se računa kao greška tokom sejanja. *Lan et al. (1999)* navode da sejanje direktno utiče na krajnji prinos i indirektno na finansijske efekte proizvodnje. Mehanička kontrola korova u šećernoj repi, bez upotrebe herbicida, pri uzdužnom i bočnom kretanju traktora, zahteva uređenje rasporeda biljaka u formi pravougaonika (*Schölderle et al., 2008*). *Robinson et al. (1982)* utvrdili su da se prinos suncokreta u Minesoti smanjio i do 30% usled neravnomerne distribucije semena.

Što se tiče postupka doziranja semena i drugih relevantnih faktora, *Kostić et al. (2011)* uočili su „spoljne“ i „unutrašnje“ faktore koji utiču na kvalitet setve. Spoljni faktori su veličine koje nisu povezane sa samim setvenim mehanizmom, ali imaju uticaj na greške pri sejanju. To su, na primer, brzina sejalice, fizička svojstva semena, kvalitet pripreme zemljišta, nagib terena itd. Većina ovih veličina je dosta promenljiva i stepen njihovog uticaja je nemoguće predvideti. Unutrašnji faktori odnose se na tehničke karakteristike setvenog aparata poput kinematike uređaja za sejanje, efikasnosti

izbacivača semena i uklanjanja viška semena, prenosa kod pogonskog sistema, vrste uređaja za doturanje semena, načina transporta semena do brazde, visine postavljanja setvenog mehanizma itd. *Fornstrom i Miller (1989)* navode da su radna brzina i način izbacivanja semena u otvorenu brazdu bitni elementi preciznosti setve.

Lokalno specifična setva ima za cilj kontrolisano, vremenski besprekidno menjanje norme setve ili razmaka između biljaka u skladu sa agronomskim preporukama uobličenim u *GIS* mapama preporuka ili prema algoritmu kontrolera i očitavanja sa senzora. Osim gustine setve, dubina setve može biti usklađena prema lokalnim osobinama zemljišta. Za različite useve, klimatske i zemljišne uslove postoji širok raspon mogućih normi setve (tabela 11.1). Tehnika setve je opredeljena prema količini zrna koje treba isejati po jediničnoj površini. Principijelno, pojedinačna setva se može tehnički sprovesti i na usevima gustog sklopa, ali ne postoje ekonomski opravdani razlozi.

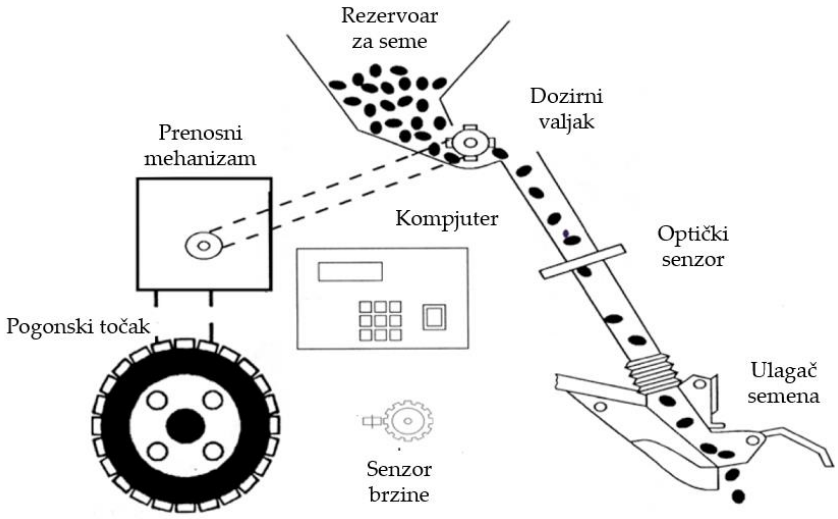
Tradicionalna setva useva gustog sklopa se obavlja po definisanim normama izraženim u kg semena po ha. Ovaj pristup podešavanju setve može usloviti devijacije u broju isejanih zrna po hektaru usled promenljivog klizanja pogonskog točka kao posledice reakcije na nejednaku tvrdoću podloge ili vlažnosti zemljišta. Takođe, različitost u fizičkim osobinama kao što je zapreminska masa zrna, koja je uvek različita kod različitih vrsta i sorti, doprinosi manjem ili većem broju isejanog zrna. Velike razlike mogu postojati u masi 1.000 zrna, odnosno masi pojedinačnog zrna, što je takođe uticajan faktor na preciznost setve. Svi pomenuti nedostaci mogu biti jedino prevaziđeni pojedinačnom, preciznom setvom. Sa zapreminskim doziranjem semena, razmak zrna na kraju sprovodne cevi je veoma neujednačen zbog grupisanja semena tokom padanja i stohastičnog toka semena kroz sprovodnu cev.

Tabela 11.1. Gustine setve biljnih vrsta

Usev	**Gustina biljaka po m²**	**Metoda setve**
Merkantilni kukuruz	6-12	Pojedinačna, precizna setva
Silažni kukuruz	9-15	
Šećerna repa	10-15	
Soja	30-60	
Uljana repica	50-90	Količinska setva
Grašak	60-100	
Lucerka	500-1.000	
Strinine	700-2.000	

Primera radi, koeficijent varijacije rastojanja kod preciznih sejalica se u normalnim uslovima setve kreće 10–20%, dok je kod zapreminske setve preko 100%. Za varijabilnu setvu bilo kog tipa semena, od ključnog je značaja praćenje toka semena nakon doziranja. Kod tzv. preciznih sejalica to se obavlja optoelektronskim senzorima (*Kostić et al., 2018*). Za detekciju prolaska sitnog semena koje se dozira zapreminski,

neophodno je prilagoditi tehniku optičke detekcije kojom bi se uspešno mogla registrovati pojedinačna zrna u grupnom padu kroz sprovodnu cev (slika 11.1).



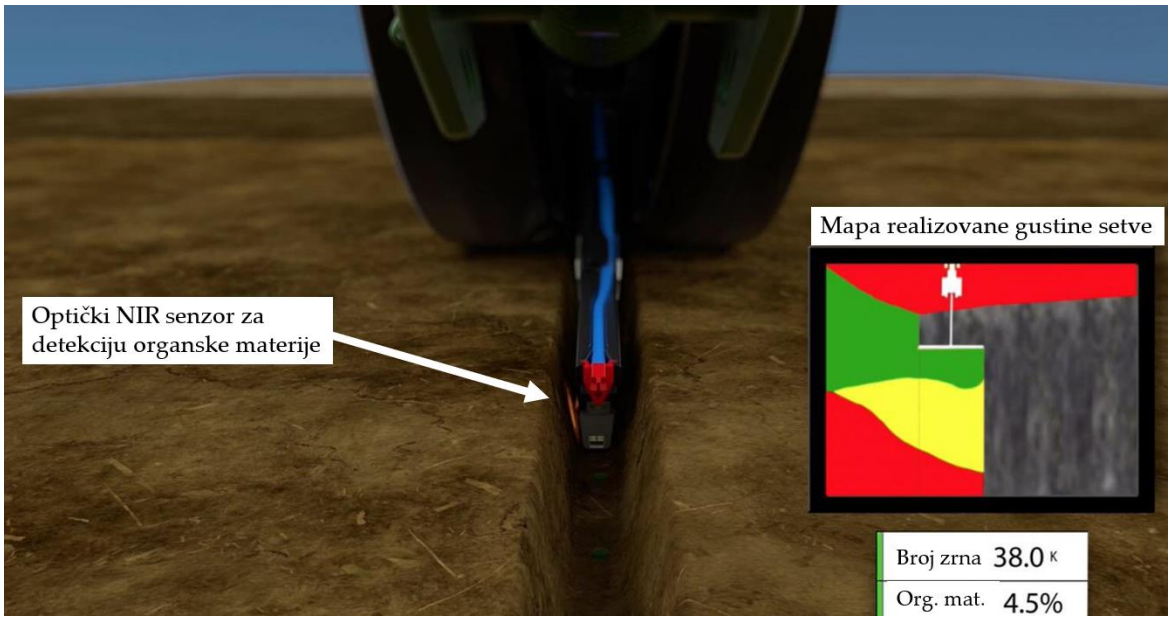
Slika 11.1. Prikaz optičke kontrole setve na sejalicama sa zapreminskim doziranjem semena (Heege i Feldhaus, 2002)

Kontrola setve u prostornom domenu

S obzirom na pomenute faktore gustine setve i na relativno velike raspone setve jedne biljne vrste, postoji veliki potencijal za optimizaciju ove agrotehničke operacije. Prilagođavanje setve može biti sprovedeno prema specifičnostima polja ili pak delova polja. Ukoliko se primenjuje varijabilna setva, u odnosu na zasebna polja, onda to ne podrazumeva kontrolu norme isejavanja zrna unutar samog polja, što je zapravo deo tradicionalne poljoprivredne prakse i u tom smislu ne predstavlja ništa novo.

Tip zemljišta ima veliki uticaj na optimalnu normu setve. Zemljišta sa težim mehaničkim sastavom imaju potencijal za veće gustine setve, jer imaju bolji režim akumulacije i dopremanja hraniva i vode do korena biljke. Veoma pogodna metoda za senzorsku kontrolu gustine setve jeste korišćenje podataka sa senzora električne provodljivosti zemljišta. Takođe, moguće je koristiti tehniku infracrvene optičke detekcije (slika 11.2). U modu kontrole po predefinisanim mapama moguće je ostvariti kontrolu norme setve u realnom vremenu i prostoru. S obzirom na to da se pedološke osobine zemljišta ne menjaju drastično u vremenu, detekcija nekog od parametara iz prošlosti može poslužiti kao polazna osnova za izradu mapa za varijabilnu setvu. Često korišćen argument koji ne ide u prilog varijabilne setve jeste sposobnost biljaka da se prilagođava gustini setve. Tako je, na primer, poznato da se u uslovimaređeg sklopa soja intenzivnije grana kako bi nadomestila prazan prostor. Isto važi i za strna žita koja se intenzivnije bokore ukoliko postoji više slobodnog prostora oko matične biljke. Međutim, ovo ukazuje na to da se značajne uštede u potrošnji semena mogu ostvariti sa usklađivanjem norme prema uslovima na parceli. U tom kontekstu,

prostorno promenljiva setva prebacuje težište sa prinosa na količinu utrošenog semena. Usevi koji su veoma osetljivi na pravilni sklop su šećerna repa i krompir.



Slika 11.2. Pozicija NIR senzora za detekciju organske materije u zemljištu

Prema istraživanjima koje su sproveli *Schneider i Wagner (2005)* na strnim žitima i kukuruzu, efekti varijabilne setve usklađene prema teksturi zemljišta ogledali su se u smanjenju utroška semena, u većini slučajeva, ali i u povećanju prinosa na pojedinim lokacijama. Finansijski, u datom momentu, prema njihovoj kalkulaciji, varijabilnom setvom su postignute dobiti u iznosu od 13 do 92 evra po hektaru. Ukoliko bi se usvojio prosek od 50 evra po hektaru finansijskih beneficija, to bi u nekom razumnom roku eksploatacije i amortizacije opravdalo investiciju u opremu.



Slika 11.3. Ulagač semena u obliku pačije noge za setvu semena u trake

Prema istraživanjima u prethodnim studijama, pokazalo se da se najbolji efekat setve dobija ukoliko svaka biljka ima jednak prostor za razvoj. To znači, da bi se izvesno poboljšanje sigurno postiglo ukoliko bi se recimo u setvi širokorednih useva smanjio međuredni razmak, a povećalo rastojanje u redu. Najidealniji oblik setve bi bio trougaoni, koji bi obezbedio najoptimalnije uslove za razvoj biljaka (*Heege, 1976*). Kod useva gustog sklopa kao što su strna žita, ovaj princip se ne može primeniti zbog velike gustine setve. U suštini, idealno bi bilo kada bi redni razmak bio nula, što bi zapravo značilo da je seme širom raspoređeno po površini. Međutim, ne postoji niti jedna tehnika koja bi obezbedila ovakav raspored uz kvalitetnu kontrolu dubine setve, koja je jednako važna, ako ne i važnija od same distribucije semena po površini. Delimično je moguće

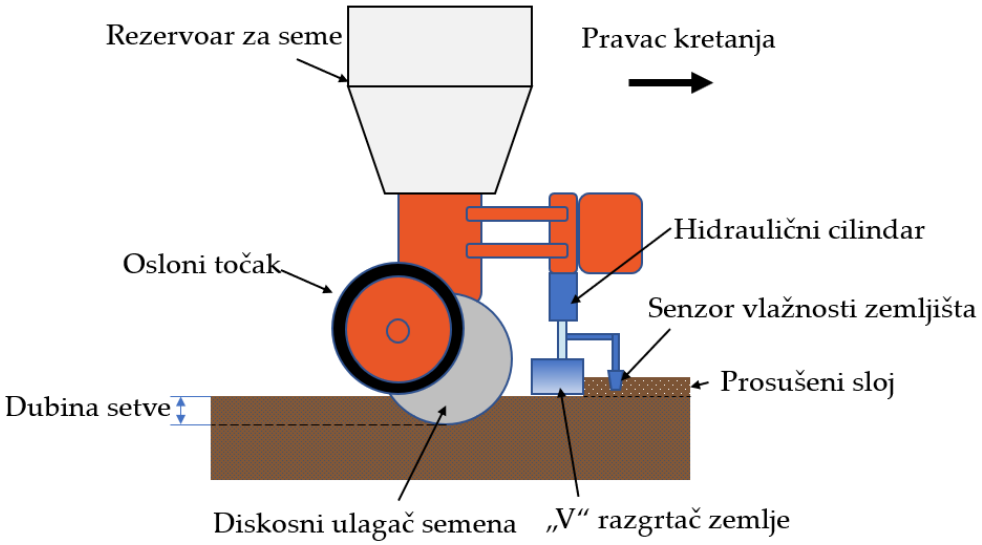
realizovati i kontrolu dubine i raspoređivanje semena širom primenom krilastih ulagača semena (slika 11.3).

Kontrola dubine setve

Održavanje konstantne dubine setve je od izuzetnog značaja za ujednačeno nicanje biljaka, a kasnije i razvoj. Za nicanje su najvažniji temperatura i vlažnost zemljišta. Sa povećanjem dubine setve, seme dolazi u kontakt sa zemljištem koje po pravilu ima veći sadržaj vlage, što povoljno utiče pre svega na proces klijanja zrna. Međutim, veća dubina setve više iscrpljuje hraniva iz endosperma semena, odnosno dodatno troši energiju na nicanje što kod semena sa slabijom energijom može uzrokovati izostanak nicanja, odnosno redukciju sklopa. **Stoga smanjen sklop može biti posledica preduboke setve i smanjene energije, ali i nedostatka vlage u sloju gde je seme posejano.**

Dubina setve se na svim sejalicama kontroliše pomoću nagaznog točka postavljenog neposredno pored ulagača semena ili pak regulacijom sile pritiska ulagača na podlogu, što je slučaj kod sejalica sa zapreminskim izuzimanjem semena. U tom slučaju dubina setve zavisi od sabijenosti zemljišta, koja je van mogućnosti kontrole u momentu setve. Tamo gde je veća sabijenost ostvaruje se manja dubina setve i obrnuto. Dodatno površinsko sabijanje u vidu valjanja nakon setve može u određenoj meri ublažiti neujednačenost dubine setve na procenat poljskog nicanja. Ukoliko je zemljište nejednako sabijeno, a pri tome ima dovoljno vlage, dublja nekontrolisana setva bi doprinela boljem nicanju, jer u mekanom zemljištu u površinskom sloju seme ne bi imalo dobar kontakt sa zemljištem, te bi na konstantnoj dubini različito nicalo. U suprotnom, ako bi sabijenost bila ujednačena po dubini, a vlaga u zemljištu različito raspoređena, otpor prodiranja raonika bi bio veći na suvljem zemljištu, te bi seme ostalo u suvom sloju sa smanjenom šansom za dobro nicanje. Ovo ukazuje na to da ujednačena dubina setve ima i prednosti i nedostatke, u zavisnosti od kvaliteta pripreme i nivoa vlage u zemljištu. Zahtevi za kontrolom dubine setve su mnogo stroži ukoliko se seje u delimično ili neobrađeno zemljište. Na takvoj podlozi, osim izraženo neujednačene sabijenosti, prisustvo biljnog pokrivača umnogome otežava uslove za rad ulagača semena.

Primena tehnologije varijabilne dubine setve može biti na osnovu podataka sa senzora koji mere parametre zemljišta kao što su vlažnost, temperatura, tekstura ili sadržaj organske materije, ili pak korišćenjem predefinisanih mapa koje je pripremio kompetentan agronom. Ako se primenjuje tehnologija detekcije u hodu sa kontrolom dubine setve u realnom vremenu, tada je verovatno najvažniji parametar zemljišta sadržaj vlage. Sadržaj vlage može da varira zbog različitih razloga. Uobičajeno, to je reljef koji određuje kako kretanje vlage u zemljištu, tako i njeno zadržavanje, s obzirom na to da reljef utiče i na teksturu, odnosno sadržaj organske materije. Međutim, to može biti i ekspozicija terena, ali i kvalitet agrotehničke operacije predsetvene pripreme. U svakom slučaju, potreba za varijabilnom dubinom setve je očigledna.



Slika 11.4. Koncept kontrole položaja razgrtača zemlje u cilju dobijanja optimalne vlažnosti zemljišta u zoni setve semena (Bowers et al., 2006)

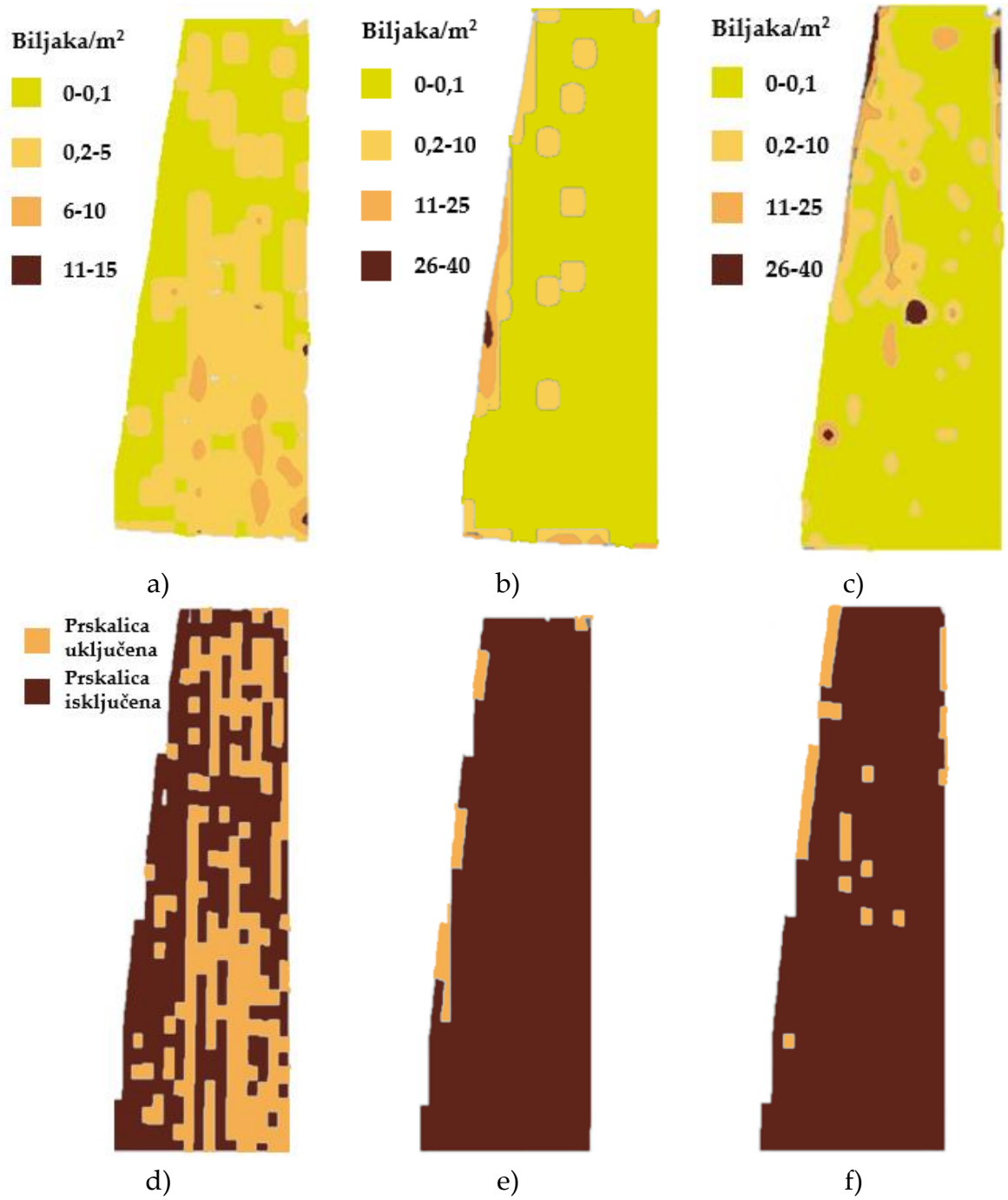
Metoda detekcije koja je prihvaćena i komercijalno implementirana je *NIR* spektroskopija. To je tehnika koja je već viđena za potrebe mapiranja zemljišta. U dnu ulagača semena postavlja se tzv. pritiskivač, koji, osim funkcije utiskivanja semena u zemljište nakon isejavanja, ima u sebi i optički *NIR* senzor koji meri parametre vlažnosti zemljišta. U svojim istraživanjima *Mouazen et al. (2005)* istražuje mogućnosti ove tehnike detekcije. Drugi koncept kontrole dubine je baziran na merenju vlažnosti površinskog sloja zemljišta (slika 11.4). Zapravo, kod ovog koncepta setva semena u dovoljno vlažno zemljište se ne ostvaruje promenom dubine ulaganja, već razgrtanjem suvog površinskog sloja do određene dubine. Ukoliko imamo slučaj dugog sušnog perioda pre same setve, to podrazumeva prosušenje površinskog sloja u većem obimu, odnosno dubine. Ukoliko bi dubina setve proporcionalno varirala sa dubinom vlažnog sloja, time bi se na nekim mestima dobila preduboka setva, kojom bi se ostvarilo klijanje semena, ali ne i nicanje. Kako je prethodno napomenuto, veće dubine setve predstavljaju rizik zbog iznurivanja klice. U slučaju detekcije vlažnosti površinskog sloja koriste se sonde koje mere električnu provodljivost zemljišta. Vlažnost zemljišta je jedan od najuticajnijih faktora koji utiču na provodljivost el. struje (o čemu je bilo reči u poglavlju 4). Na osnovu aproksimacija vlažnosti, kontroler zadaje komande za promenu vertikalne pozicije „V“ razgrtača zemlje pomoću hidrauličnog cilindra.

U slučaju setve na zemljištu gde se primenjuje redukovana obrada, ostvarivanje precizne setve u smislu pravilnog razmaka zrna u redu i po dubini dodatno se usložnjava. Razlog je jednostavan. Površinski sloj zemljišta ostaje pokriven određenom količinom biljnih ostataka koji otežavaju uslove za rad sejalica.

12 PROSTORNO PRILAGODLJIVA PRIMENA HERBICIDA

Prisustvo korova na parceli se menja u prostoru i vremenu. Korov se najčešće pojavljuje u pojedinim zonama i rasprostire u pravcu redova gajene biljke. U konvencionalnoj proizvodnji se primenjuje tzv. totalna zaštita u definisanim vremenskim terminima koji su povezani sa fenofazom biljke. Strategija zaštite na bazi prethodnog poznavanja površinske distribucije korova se još uvek ne primenjuje, jer ne postoje adekvatne tehnike za njihovu pouzdanu determinaciju u momentu primene hemijskog tretmana. Postoje određene studije u kojima su korišćene mape za selektivnu aplikaciju kontaktnog herbicida u usevima kukuruza i pšenice (*Gerhards i Christensen, 2003*). U tim ogledima smanjenje upotrebe herbicida se kretalo u granicama 40–50%. U mnogim studijama korovi su razvrstani u grupu uskolisnih, širokolisnih i višegodišnjih.

Procena prostorne distribucije korova na parceli se može uraditi mapiranjem lokaliteta na kojima postoji prisustvo, ili detekcijom u realnom vremenu pomoću senzora (*Rew i Cousens, 2001*). Najčešće korišćena metoda mapiranja je pravljenje pravilne pravougaone mreže dimenzije od par metara do 50 m, u zavisnosti od širine krila prskalice. Prostorna gustina korova procenjena je pre primene herbicida, opserviranjem parcele u tačkama preseka mreže. Ocena efikasnosti selektivne primene herbicida je obavljena nakon određenog perioda ponovnim pregledom parcele. Izgled predefinisanih mapa razlikovao se u zavisnosti od primenjene metode interpolacije i gustine mreže. Geostatističkim modelovanjem prostorne distribucije obavljeno je predviđanje prisustva na mestima gde nije urađeno uzorkovanje. Nakon izrade mapa, urađena je klasterizacija u odnosu na nivo prisustva korova. Najbolji rezultati postignuti su kada mreža nije bila veća od 6×6 m (*Gerhards i Oebel, 2006*). Mapa tretiranja je izvedena na osnovu mape distribucije korova korišćenjem kriterijuma koji su usklađeni sa mogućnostima sekcijske kontrole prskalice (slika 12.1). Jedna od metoda za mapiranje prisustva korova je da se geopozicioniraju pojasevi oaza pomoću uređaja sa *GPS* prijemnikom ili da se mapiranje obavi u toku ubiranja useva. Ključni momenat u lokalno selektivnoj primeni herbicida jeste razvoj sistema za automatsko prepoznavanje i mapiranje uz *GPS* adresiranje. Primena opservacije iz vazduha ima veliki potencijal u tom smislu.



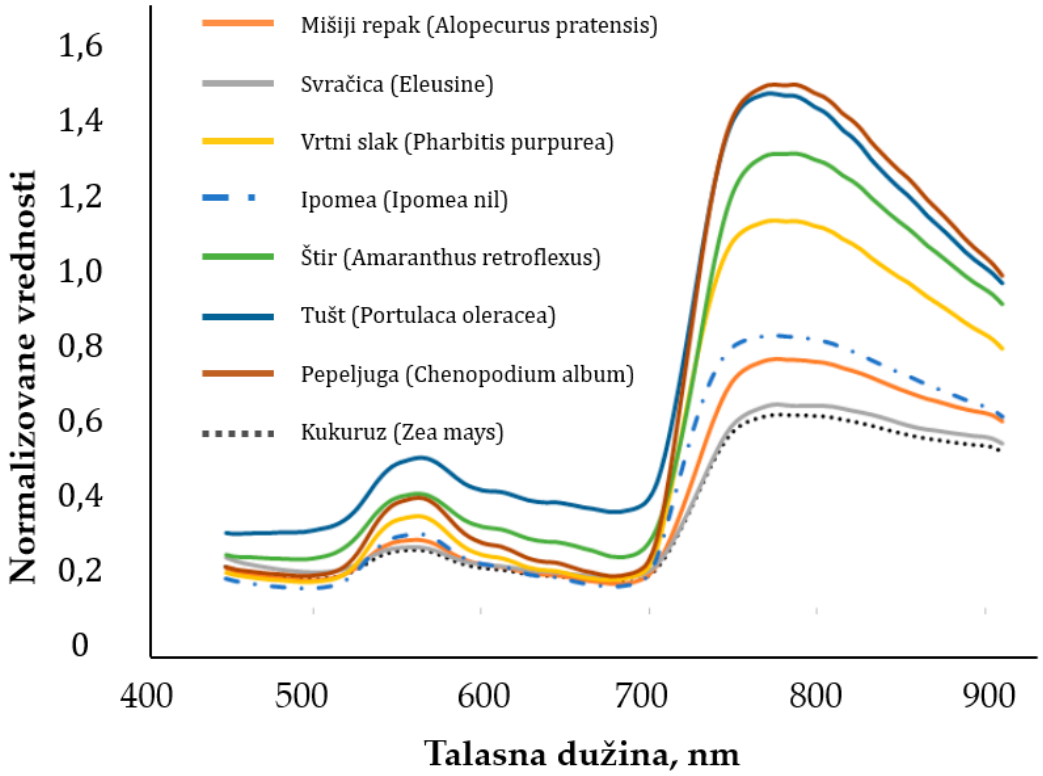
Slika 12.1. Prostorna raspodela korova (a-c) u usevu ječma i mape aplikacije (d-f) izvedene na osnovu utvrđenih kriterijuma (Gerhards et al., 1997)

Prilikom manjeg prisustva korova na polju, detekcija je moguća jedino sa male razdaljine zbog ograničenog prostornog obuhvata senzora tokom merenja, ali i male dimenzije korovskog ponika. U tu svrhu se koriste tri različite grupe senzora:

- spekrofotometri,
- senzori fluorescencije i
- spektralne kamere.

Spektrofotometri

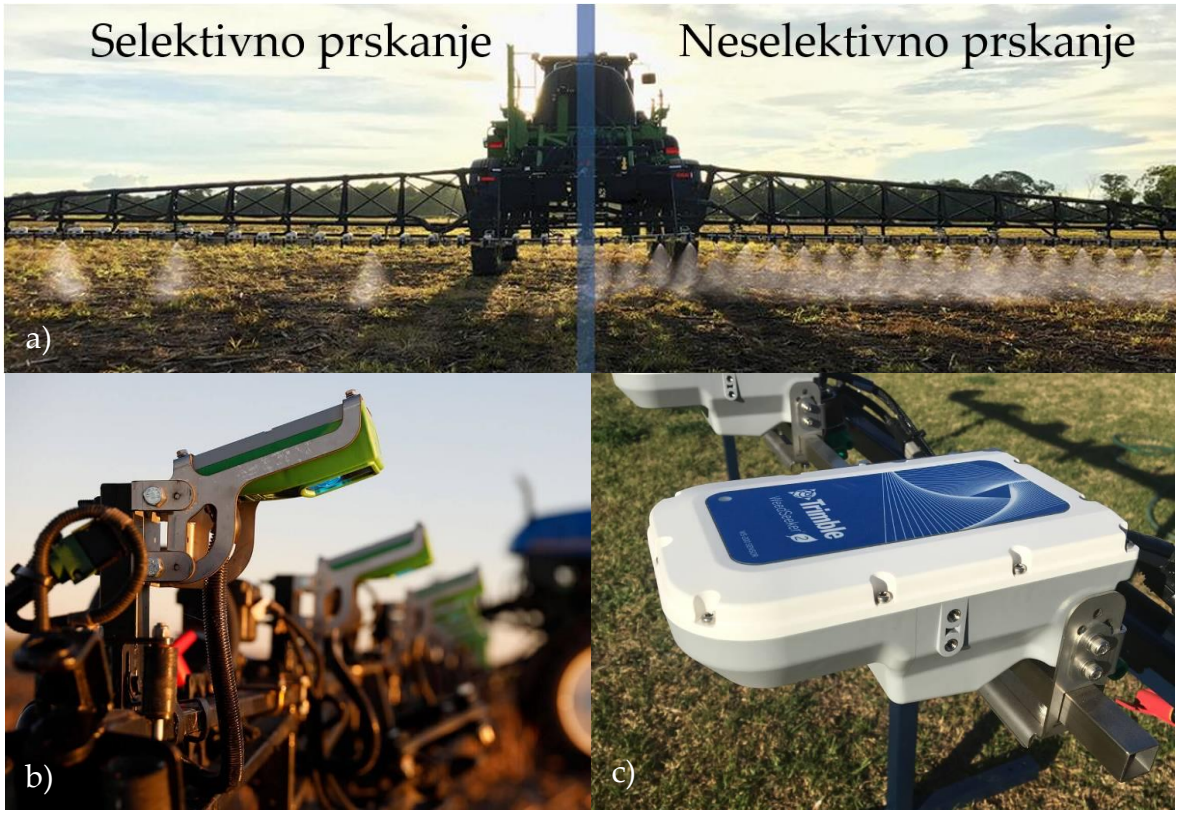
Biljke u procesu fotosinteze apsorbuju najveći deo crvene, ali i ljubičaste i plave svetlosti, dok se jedan deo zelene i najveći deo blisko infracrvene svetlosti reflektuje. Najmanji deo reflektovane svetlosti se nalazi u opsegu vidljivog spektra (650 nm), a veći deo u delu nevidljive, odnosno infracrvene svetlosti (iznad 700 nm, slika 12.2). Najstrmiji deo spektralne karakteristike se naziva *red edge*. Taj deo spektra se koristi za određivanje najvažnijih osobina biljaka kao što su indeks lisne mase (LAI), vodni status, stanje itd. Različite biljne vrste imaju slične spektralne krive koje se drastično razlikuju od spektra svetlosti reflektovane od zemljište. Detekcija korova na polju može biti sprovedena uz prisustvo gajenih biljaka ili u fazi pre i posle proizvodne sezone.



Slika 12.2. Spektralne karakteristike korovskih biljaka (Lin et al., 2017)

Weed IT sistem (slika 12.3b) kompletno je rešenje za kontrolu rada prskalice. Sastoji se od optičkih senzora raspoređenih po širini krila na 0,5 m razdaljine, što odgovara razmaku rasprskivača. Zona tretiranja pojedinačnog rasprskivača odgovara širini skeniranja senzora, što praktično znači da je očitavanje svakog senzora nezavisno, kao i upravljanje rasprskivačima. Sistem ima tri modela upravljanja, i to **tačkasto tretiranje, dualno tretiranje i punu aplikaciju**. Tačkasti mod kontrole prskalice omogućava maksimalnu uštedu hemijskog sredstva, gde se rasprskivači aktiviraju samo u slučaju da senzori detektuju zelenu boju. Koristi se pri tretiranju nakon skidanja useva ili na površinama bez useva. Dualni mod kontrole je opcija kod koje su rasprskivači permanentno uključeni i rade sa 30% kapaciteta pulsnom modulacijom strujnog signala (više o pulsnoj modulaciji i kontroli rasprskivača u tekstu koji sledi) i

sa 100% kapaciteta u slučaju detekcije korova. Puna aplikacija podrazumeva primenu 100% norme na celoj površini, uz kontrolu rasprskivača u zavisnosti od brzine kretanja agregata. *WeedSeeker* sistem koristi, takođe, tehnologiju vremenske kontrole otvorenosti ventila da bi se redukovala potrošnja pesticida uz foto-detekciju pomoću senzora. Senzori su postavljeni na većem razmaku u odnosu na *Weed IT* sistem, te je potreban broj po širini zahvata manji. Prema podacima proizvođača, uštede u količini sredstava idu do 90%.



Slika 12.3. Koncepti primene pesticida (a); Weed IT (b) i WeedSeeker (c) senzori korova

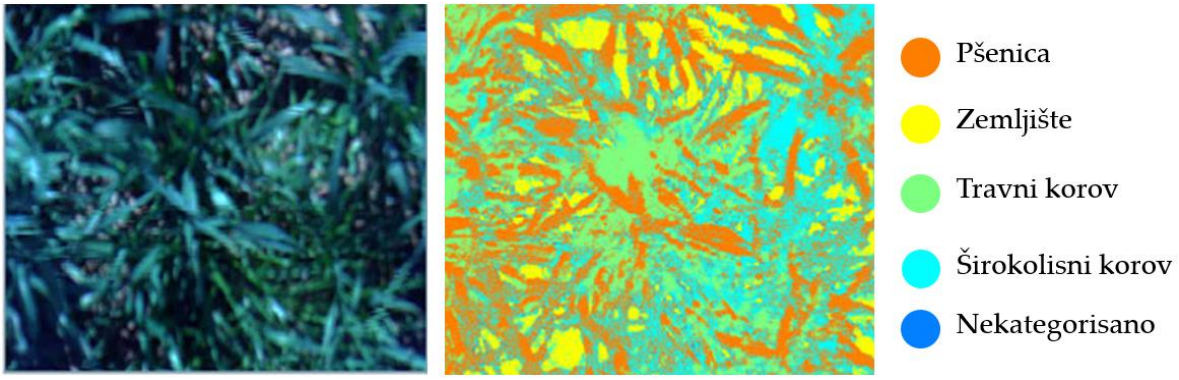
Senzori fluorescencije

Fluorescencija je pojava pri kojoj materija izložena elektromagnetnom zračenju emituje elektromagnetno zračenje veće talasne dužine od onog kojem je izložena (*Holler et al., 2006*). Poput ostalih vrsta luminiscencije, fluorescenciju pokazuju samo određeni materijali. Intenzitet ovog zračenja nazvan fluorescencija uveliko zavisi od svojstava lista i fiziološkog stanja biljaka (*Cerović et al., 1999*). U testiranju senzora fluorescencije proizvođača *Fritzmeier* (Nemačka) u usevu pšenice, uspešno je detektovano 75% prisutnih korova na parceli.

Optička detekcija

Ova metoda ima veliku perspektivu u detekciji i segmentaciji korova uz podršku alata veštačke inteligencije. Primenom naprednih algoritama moguće je ostvariti klasifikaciju biljnih vrsta iz zapisa, i to sve u realnom vremenu. Tehnike mašinske vizije su u mogućnosti da prikupe reflektovanu svetlost različitih talasnih opsega

primenom specijalizovanih digitalnih kamera. Analiza zapisa podrazumeva dobijanje pozicije biljke, boju, oblik, teksturu i ostale osobine koje su neophodne u procesu klasifikacije. Ova metoda može biti primenjena na detekciji cele biljke ili samo jednog dela i pomoću nje se mogu razdvojiti korovske od nekorovskih u realnom vremenu, tačno i automatski (*Cope et al., 2012*; *Granitto et al., 2002*; *Taghadomi-Saberi et al., 2015*). Međutim, faktori kao što su osunčanost, oblik lista i brzina vetra otežavaju proces, stoga su rapidna obrada zapisa i identifikacija dva najveća izazova (*Borregaard et al., 2000*; *Guerrero et al., 2012*; *Lamb i Brown, 2001*; *Meyer, 1999*). U poređenju sa mašinskom vizijom, daljinska detekcija ima mogućnost razdvajanja biljne vrste korišćenjem reflektanse. Hiperspektralni senzori sa nano spektralnim rezolucijama mogu detektovati različite biljke korišćenjem određenih talasnih opsega u domenu *VIS* i *NIR* (slika 12.4). Trenutno postoji obilje naučnih studija na temu diverzifikacije korova od gajenih biljaka, ali generalno veoma mala tačnost se postiže u slučaju kada su spektralni odrazi gajenih biljaka i korova slični. U tom slučaju za postizanje boljih rezultata neophodno je kombinovati više parametara istovremeno kao što su oblik i tekstura, oblik i refleksija, refleksija i tekstura itd. Hiperspektralnom detekcijom sa visokom spektralnom i prostornom rezolucijom se mogu izvesti strukturne, spektralne i prostorne karakteristike istovremeno.



Slika 12.4. Primer zapisa sa hiperspektralne kamere i klasifikacije objekata

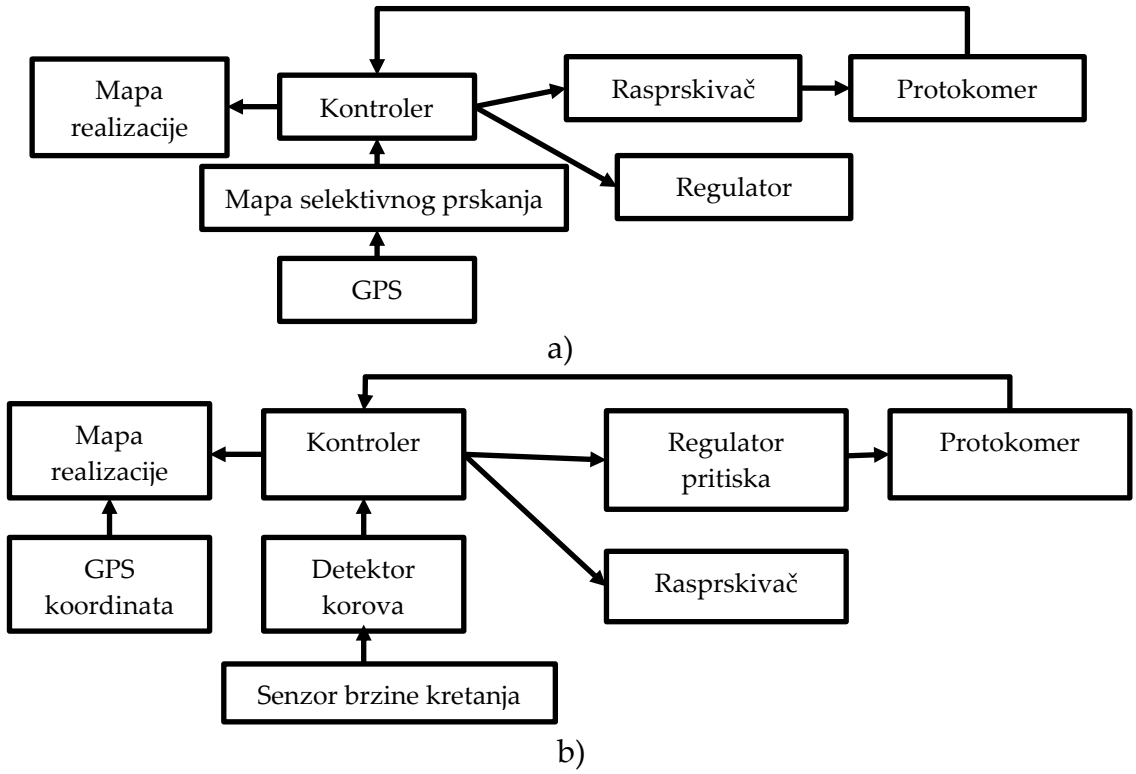
Za ekstrakciju elemenata iz slike radi identifikacije useva i korova, prema autorima *Lin et al. (2017),* primenjeni su procedura predobrade podataka, objektivizacija uzoraka, ekstrakcija karakteristika, identifikaciono modelovanje i validacija modela.

Ceo sistem za selektivnu primenu herbicida sastoji se od tri razdvojena dela koji međusobno komuniciraju, i to:

- višespektralna kamera,
- jedinica za obradu fotografija i
- kontrolna jedinca za upravljanje sekcijama prskalice.

Prostorna i vremenska dinamika distribucije korova su važne za koncept selektivne primene herbicida prema mapama. Primena herbicida posle setve a pre nicanja bazira se na mapama, što podrazumeva tretman delova polja na kojima se korovi redovno pojavljuju. Koncept selektivnog tretmana herbicidima „pre-em“ ne bi bio moguć

ukoliko ne postoji konzistentnost pojave korova između dva useva na istoj parceli. Dinamika pojave korova na parceli je uslovljena biološkim karakteristikama korovske vrste, primenjenom agrotehnikom (pre svega načinom obrade zemljišta), plodosmenom, vremenom setve. Glavne korovske vrste razvile su posebne mehanizme za preživljavanje na polju u specifičnim uslovima ratarenja (*Radosevich et al., 1997*). Karakteristično za korovske biljke je da su mnogo otpornije na stresne uslove od gajenih biljaka, brže i bolje iskorišćavaju resurse na parceli, imaju značajno veći potencijal za reprodukciju itd. Poznato je da je plodored važan faktor u borbi protiv širenja korova i da u tom smislu monokulturu treba izbegavati. Za svaki gajeni usev je specifična korovska flora, te se ona menja u zavisnosti od plodoreda i efikasnosti primenjenih mera za suzbijanje korova (*Ball, 1992*). Korovi produkuju veliku količinu semena koje ima mali procenat klijavosti, ali poseduje osobinu dormantnosti, tj. može da klija sukcesivno nekoliko godina, i to u različito vreme u jednoj sezoni, što dodatno otežava njihovo suzbijanje (*Martin i Felton, 1993*). Ako se više godina na nekoj površini gaji isti usev, favorizuju se iste korovske vrste i povećava verovatnoća da se razvije rezistentna populacija usled primene herbicida istog mehanizma delovanja (*Maxwell et al., 1990*). *Ritter i Gerhards (2008)* ustanovili su u svojim istraživanjima da u periodu od osam godina, populacija i rasprostranjenost uskolisnog korova (*Alopecurus myosuroides*) nisu značajno varirale na jednom polju gde su se smenjivali usevi strnih žita, kukuruza i šećerne repe.

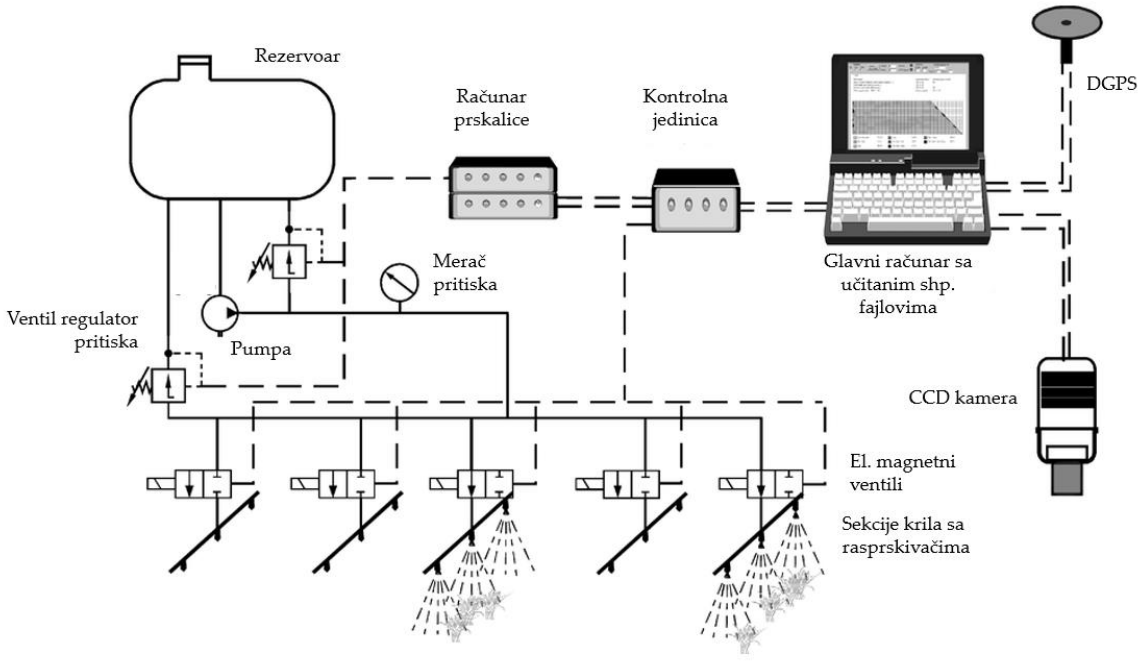


Slika 12.5. Relacije između različitih modula na prskalicama sa automatskom regulacijom rada u režimu selektivne aplikacije na osnovu preporučene mape (a) i senzorske detekcije (b)

Razumevanje osnovnih bioloških osobina korova je neophodno pri donošenju odluke o primeni selektivne aplikacije herbicidima. Populacija korova u prostoru varira u zavisnosti od korovske vrste. Stoga precizna aplikacija herbicida ima dva cilja, i to:

- prilagođavanje norme prskanja prostornoj raspodeli korova i
- prilagođavanje formulacije aktivne materije prema korovskim vrstama.

Postoji više koncepata koji su razvijani na pomenutu temu. Na slici 12.5 prikazana je šema kontrole prskalice na bazi predefinisanih mapa. Savremene prskalice imaju mogućnost elektronski kontrolisanog isključivanja pojedinih sekcija ili pak pojedinih rasprskivača. Generisanje komande uključenja i isključena sekcije povezano je sa kontrolnom petljom u kojoj su spregnuti kontroler kao centralna jedinica, davači i primači signala (senzori i aktuatori) kao periferije (slika 12.6). Regulacija procesa prskanja je relativno jednostavniji zadatak u odnosu na regulaciju norme đubrenja čvrstim đubrivima, jer je radna materija homogena, nestišljiva tečnost. Kontroler najčešće ima mogućnost rada u režimu kontrole protoka ili pritiska. Poljoprivrednici rado koriste režim kontrole norme, odnosno protoka, koji im omogućava održanje zadate norme bez obzira na stanje ostalih radnih parametara, pre svega radne brzine.



Slika 12.6. Šematski prikaz prskalice za prostorno promenljivu aplikaciju u skladu sa preporukama upisanim u vidu geoprostornih mapa

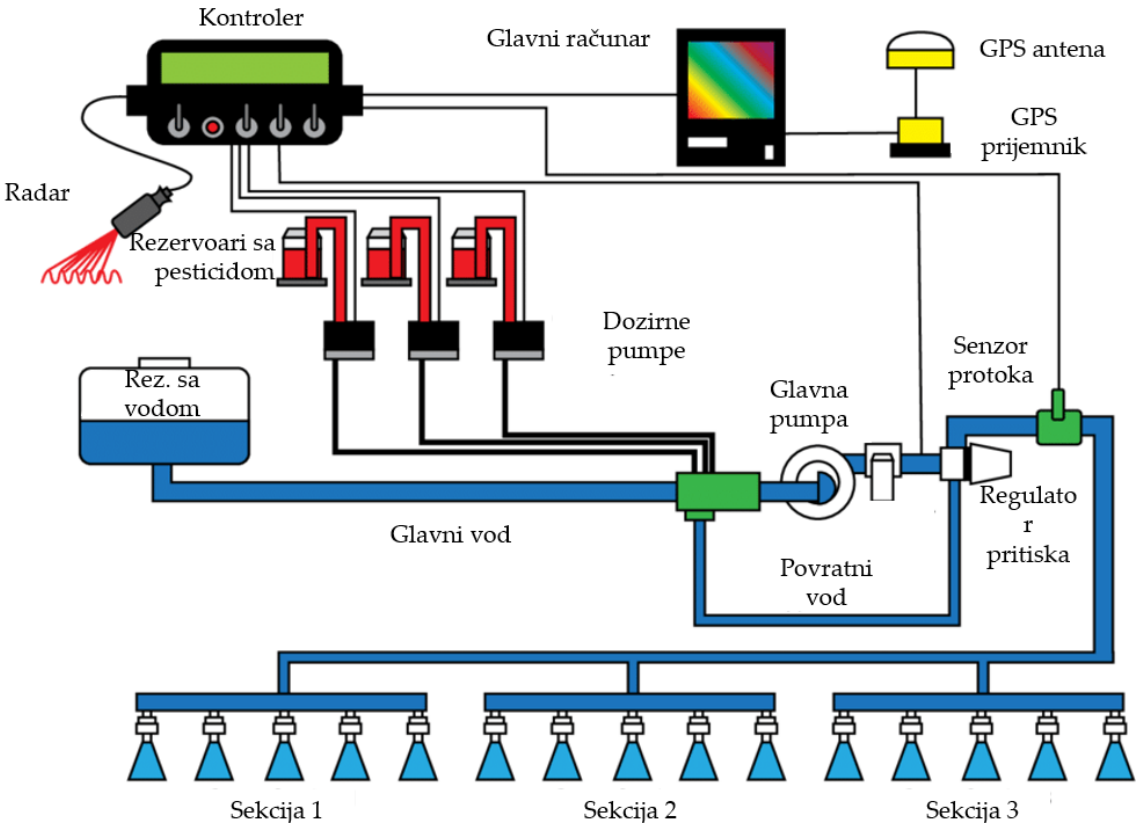
Postoji nekoliko tipova sistema kontrole na prskalicama kojima se može realizovati selektivna aplikacija pesticida, i to:

- kontrola protoka tečne smeše (voda+pesticid),
- kontrola ubrizgavanja pesticida u vod pod pritiskom (podeljeni rezervoari) i
- modulisano upravljanje rasprskivačima.

Svi gorepomenuti sistemi su autokalibrišući, čime eliminišu mogućnost pojave greške usled iznenadne promene brzine kretanja.

Kontrola protoka tečne smeše

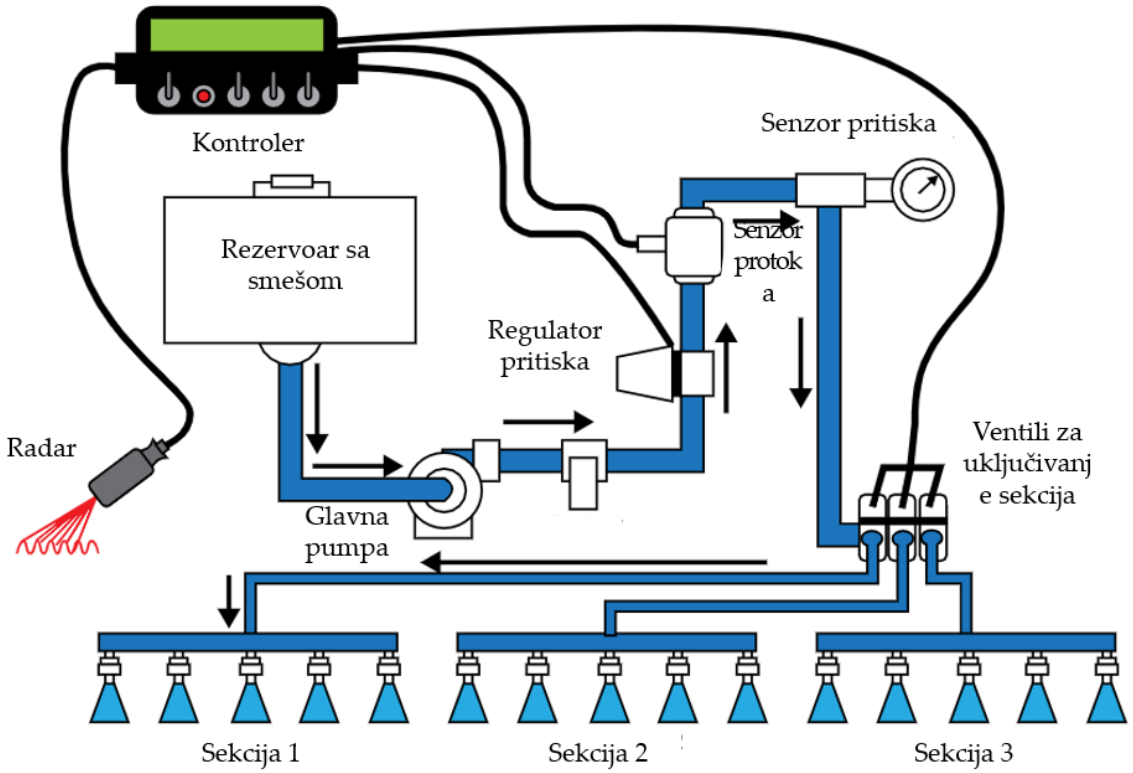
Ovi sistemi su najjednostavniji u odnosu na ostala dva. Sistem koristi signale sa protokometra, senzora brzine, el. magnetnog ventila regulatora pritiska i kontrolne jedinice (slika 12.7). PLC kontroler koristi korisničke informacije kao što su širina zahvata prskalice i norma prskanja da bi u realnom vremenu izračunao potreban protok na rasprskivačima za trenutnu brzinu kretanja. Komanda se usmerava ka servo motoru koji pomera ventil za regulaciju pritiska dok se ne postigne očekivana vrednost protoka. Ukoliko se ovaj sistem uveže sa mapama, moguća je selektivna primena pesticida. Sistem ima prednost jer je jednostavan i dovoljno brz u reagovanju na promenu norme. Nedostatak se ogleda u tome što se kontrola norme obavlja promenom pritiska, što u nekim slučajevima može promeniti veličinu kapi, a time i kvalitet nanošenja sredstva i povećati gubitke usled zanošenja vetrom. Neki sistemi upozoravaju korisnika ukoliko pritisak izađe iz okvira optimalnih vrednosti. Ovi sistemi su najrasprostranjeniji pre svega zbog jednostavnosti i nabavne cene.



Slika 12.7. Šematski prikaz prskalice za selektivnu aplikaciju pesticida sa kontrolom protoka tečnosti na rasprskivačima automatskom regulacijom pritiska u sistemu

Kontrola ubrzigavanja pesticida u vod pod pritiskom

Alternativni sistem kontrole na prskalicama koristi metodu odmeravanja količine koncentrovanog pesticida koji se ubrizgava u vod pod pritiskom dok je pritisak osnovne tečnosti konstantan (slika 12.8).

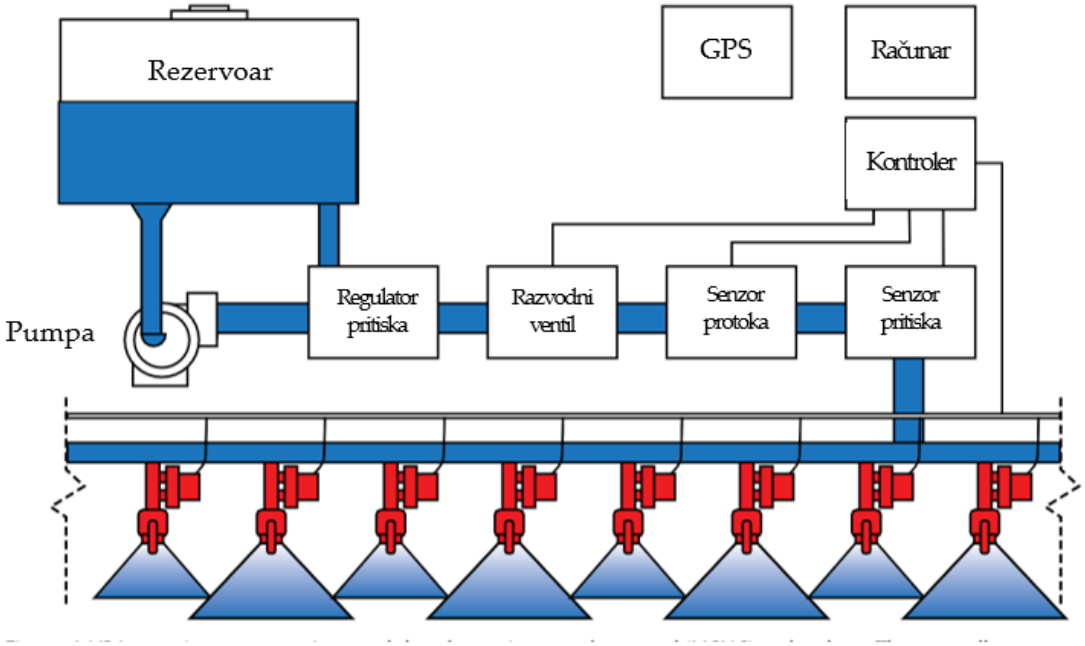


Slika 12.8. Šematski prikaz prskalice za selektivnu aplikaciju pesticida sa kontrolom doziranja pesticida u vod pod pritiskom

To znači da se primarna kontrola obavlja na sistemu koji dozira pesticid, a sekundarna na sistemu za distribuciju tečnosti. U principu, protok noseće tečnosti je konstantan u vremenu, dok unos pesticida varira u zavisnosti od brzine kretanja i ciljane norme. Kontroler je i u ovom slučaju prilagođen da može da prima informacije sa *GPS* prijemnika, te izvršava komande shodno preporukama iz mape. Ovaj sistem separatnog odmeravanja tečnosti i pesticida smanjuje rizik izlaganja rukovaoca štetnom uticaju pesticida. Kod ovih prskalica nema promene veličine kapi tokom prskanja jer je pritisak konstantan. Nedostatak sistema se ogleda u tome što u slučaju selektivne aplikacije postoji relativno visok vremenski zaostatak između momenta ubrizgavanja pesticida u vod, do momenta izlaska smeše kroz rasprskivač. Ukoliko se radi o velikim širinama krila prskalice, recimo preko 20 m, tada je put koji treba da pređe tečnost dok ne dođe do rasprskivača preko 30 m, što stvara veliki vremenski zaostatak. Ovo se može predupredити ranijim ubrizgavanjem pesticida da bi se u vremenu izlaska smeše dobila odgovarajuća koncentracija za odgovarajući lokalitet na parceli.

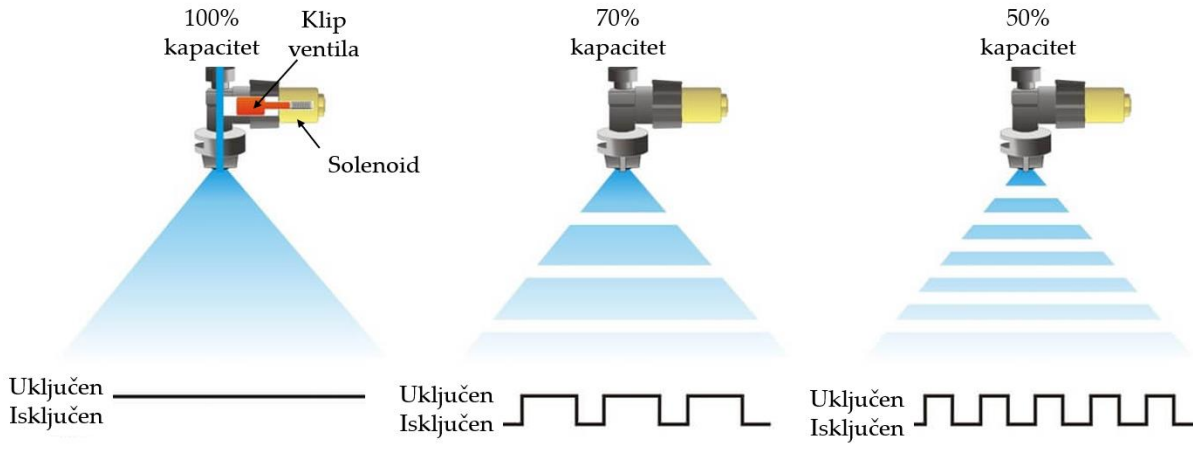
Modulisano upravljanje rasprskivačima

Modulisano upravljanje prskalicom omogućava selektivnu aplikaciju u širokom rasponu radnih uslova. Sistem pruža mogućnost promene protoka i veličine kapi u hodu. Upravljanje rasprskivačima ide u pravcu pojedinačne kontrole rada (slika 12.9).



Slika 12.9. Šematski prikaz prskalice za selektivnu aplikaciju pesticida sa PWM kontrolom rasprskivača

Osim ove mogućnosti, režim rada rasprskivača se kontroliše modulacijom upravljačkog signala čime se ostvaruje viši nivo kontrole u odnosu na *ON-OFF* režim. Naime, tzv. *PWM* (*pulse-width-modulation*) omogućava brzo reagovanje uz regulaciju protoka kroz rasprskivač promenom vremena otvorenosti ventila ili pak stepenom otvorenosti. Tako moderne prskalice mogu da rade u režimu 50% norme na većini rasprskivača, a da sa 100% norme rade samo oni koji rade tretman detektovanog korova (*spot spraying*) ili određene zone na osnovu mape (slika 12.10).



Slika 12.10. Prikaz rada rasprskivača sa PWM upravljanjem

Sledeći režim je da većina rasprskivača bude isključena, a da aktivni rade sa 100% kapaciteta. Solenoidni ventili rade na frekvenciji od 10 Hz. Ovi sistemi se karakterišu širokim opsegom regulacije potrošnje bez promene veličine kapi.

Tabela 12.1. Uštede u potrošnji hemijskih sredstava pri selektivnoj aplikaciji herbicida u odnosu na totalnu aplikaciju (Gutjahr et al., 2012)

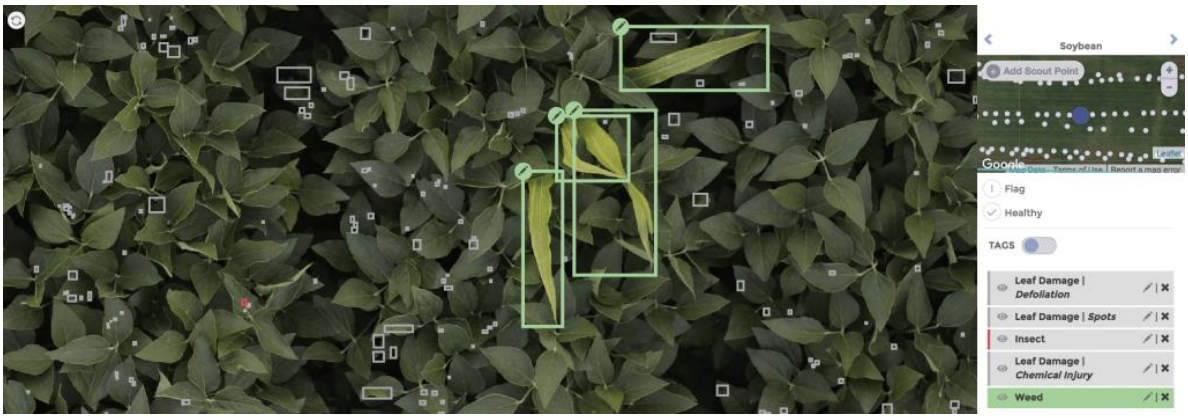
		Smanjenje potrošnje herbicida (%)		
Usev	Polje	Širokolisni korov	Uskolisni korov	Višegodišnji korov
Pšenica	1	82	81	96
	2	99	11	15
	3	68	52	100
	4	67	96	96
	5	94	96	100
	6	88	89	93
	7	85	14	40
	8	88	44	89
	9	10	71	95
	10	66	2	73
	11	25	98	84
Kukuruz	12	0	30	100
	13	0	2	98
	14	3	14	100
	15	37	90	74

Ovakav pristup deluje nepouzdano, s obzirom na to da, gledano u vremenu, postoji oscilovanje u mlazu. Međutim, to je prevaziđeno pomeranjem faze signala između dva susedna raspskivača za 1/20 sec. Potencijalne uštede koje se mogu ostvariti selektivnom aplikacijom herbicida su neverovatne. Prema nekim navodima, čak 90% herbicida i tečnosti može se uštedeti na ovaj način (tabela 12.1). U budućnosti treba očekivati širu primenu malih mobilnih platformi – robota koji će se autonomno kretati po parceli i obavljati mapiranje korova i aplikaciju pesticida. Ovi roboti će biti u stanju da uklone korov ciljanim prskanjem ili mehaničkim uništavanjem. Problem koji postoji u konceptu primene robota je njihovo samonavođenje po parceli zbog specifičnog okruženja. Takođe, mali roboti neće se moći primeniti u usevima gustog sklopa, nego samo u širokorednim, gde postoji dovoljno prostora za njihovo nesmetano kretanje.

Veštačka inteligencija u prepoznavanju korova

Primena veštačke inteligencije u obradi zapisa sa senzora ima veliki doprinos u podizanju efikasnosti sistema za selektivnu aplikaciju herbicida. Nekoliko kompanija kao što su *Green Eye Techology* (*http://www.green-eye.ca/index.html*), *Taranis* (*http://www.taranis.ag/*) i *Xarvio* (*https://www.xarvio.com*) predstavljaju pionire u ovoj oblasti. Ove kompanije razvile su algoritme za prepoznavanje biljaka koji mogu

identifikovati više od 100 biljnih vrsta (slika 12.11). Svaka biljna vrsta ima nekoliko razvojnih faza koje su uzete u obzir prilikom rada algoritma. Agronomska vrednost ovih informacija je očigledno velika. Modeli gubitaka prinosa za vreme uklanjanja određenog korova u određenim fazama rasta mogu se primeniti na celom polju, a ekonomske analize omogućavaju da sledeći tretmani budu prilagođeni specifičnim delovima polja.



Slika 12.11. Mašinsko prepoznavanje korova u usevu soje (Taranis)

13 PROSTORNO PRILAGODLJIVA PRIMENA FUNGICIDA

Pojava gljivičnih oboljenja na usevima se najčešće manifestuje malim flekama na delovima biljaka, te je detektovanje gljivičnih oboljenja u ranoj fazi veoma teško. Vizuelni izgled zaraze može biti različit u zavisnosti od tipa gljivičnog oboljenja, faze uzrasta biljke i faze oboljenja. Tradicionalno, bolesti nadzorom biljaka uočavaju stručna lica. Pravovremena detekcija pojave bolesti je ključna za primenu odgovarajuće mere sprečavanja širenja i daljeg oštećivanja biljaka. Razvijena su dva koncepta selektivne preventivne zaštite od gljivičnih oboljenja. Prvi je koncept potpune zaštite celokupne površine. Pravovremenost preventivne aplikacije je bazirana na prognozama mogućih oboljenja koje daju savetodavne službe. Lokalno promenljiva aplikacija u ovom slučaju može biti kontrolisana na osnovu nekih generalnih osobina biljaka kao što su stanje biomase i indeks lisne površine. Drugi pristup je tretman diskretnih površina. Na ovaj način se mogu uštedeti značajne količine fungicida, mada je ovaj koncept još uvek u fazi razvoja.

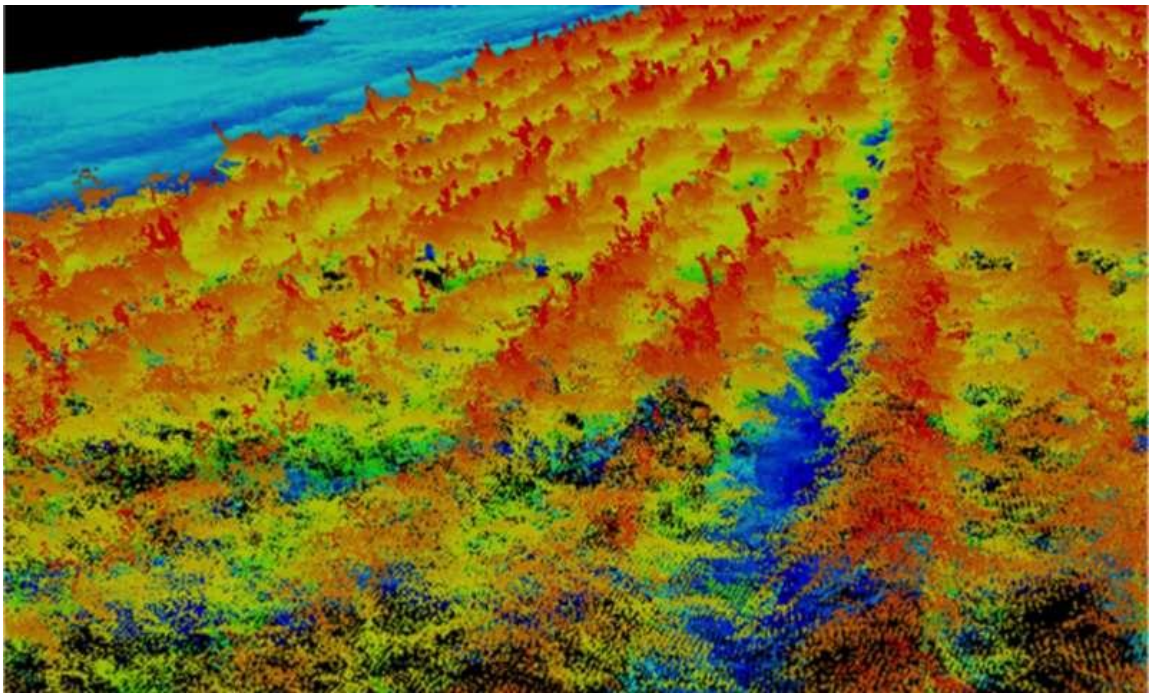
Preventivni tretman baziran na stanju biomase

Generalno govoreći, usevi gustog sklopa su mnogo skloniji gljivičnim oboljenjima od širokorednih useva. Na usko lokalnom nivou, gustina biomase, odnosno površina lisne mase useva varira u skladu sa specifičnostima zemljišta. S obzirom na to da su gljivični patogeni obično usredsređeni na lisnu površinu, postoji opravdan razlog da se kontrola primene orijentiše u pravcu primene jednakih koncentracija po jediničnoj lisnoj površini. Drugim rečima govoreći, ima smisla primeniti lokalno specifičan tretman u skladu sa gustinom useva, odnosno indeksom lisne površine. U tom pogledu postoji nekoliko metoda za detekciju biomase i površine lista, a to su:

- proksimalna detekcija (spektrofotometri, ultrazvučni senzori, laserski senzori, radar senzori) i
- daljinska detekcija.

U poljoprivredi se Lidar koristi za trodimenzionalno mapiranje krošnje useva (slika 13.1). Tehnologija se bazira na principu merenja vremena potrebnog da se laserski zrak vrati primopredajniku na osnovu čega se računa udaljenost. Sa komercijalnom primenom *UAV* (bespilotnih letelica) mogućnost primene *Lidar* tehnologije u poljoprivredi su proširene pre svega u domenu nadzora useva (*Sankey et al., 2017*). Sa

visine od 70 m, *Lidar* daje rezoluciju od 50 tačaka/m^2. Smanjenjem visine leta mogu se dobiti i veće gustine tačaka, ali zbog uticaja potiska vazduha koje stvaraju propeleri letelice na kvalitet snimanja, nije moguće snimati sa niskih visina. Osnovni problemi *UAV* tehnologije su uticaj vetra i ograničena autonomija leta. Daleko pouzdanija metoda je montiranje senzora na mobilnu platformu.

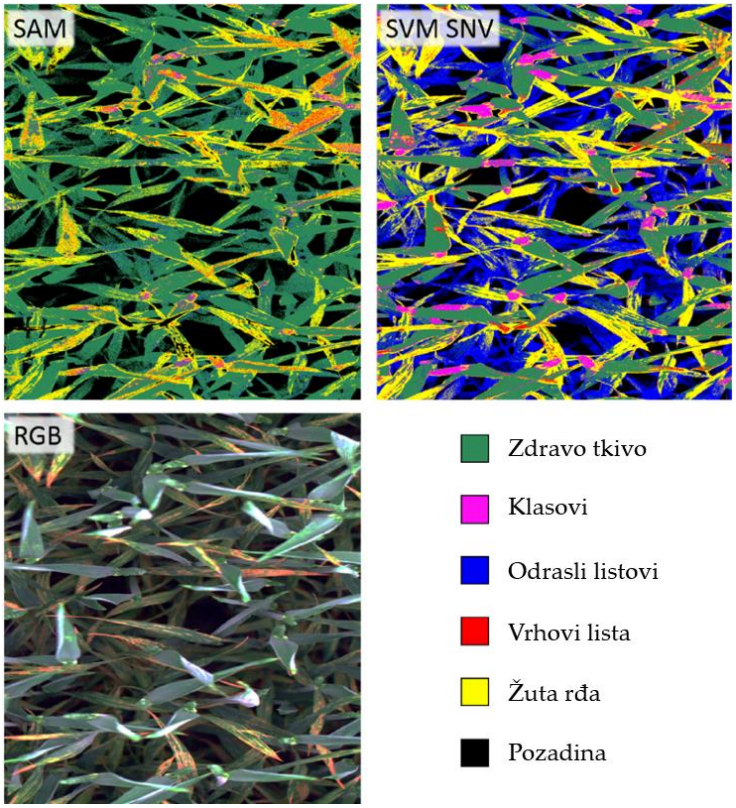


Slika 13.1. 3-D slika napravljena od oblaka tačaka dobijenih sa Lidar skenera

Faze uzrasta biljaka u kojima se javljaju gljivična oboljenja mogu varirati. Za sitnozrne useve su to skoro sve faze razvoja, ali mogućnost primene senzorske detekcije zavisi od efikasnosti u pojedinim fazama. Jedino ultrazvučna metoda pruža mogućnost utvrđivanja biomase u skoro svim fazama. Detekcija reflektovane svetlosti od biljaka može biti u velikoj meri pod uticajem refleksije sa zemljišta u ranim fazama razvoja biljaka. Zbog toga se ne preporučuje pre potpunog prekrivanja zemljišta (BBCH 30) .Primena spektrofotometrije u detekciji gljivičnih oboljenja je veliki izazov. Čak i u istom usevu različita gljivična oboljenja imaju različit uticaj na refleksiju sa biljke. Istraživanja koja su sprovedena uglavnom su urađena u laboratorijskim uslovima (*Mahlein et al., 2010*). Da bi se razlikovale zdrave biljke od zaraženih, meri se spektar refleksije sa zdravih biljaka koji predstavlja etalon na osnovu kojeg se određuju devijacije spektra refleksije dobijene sa ostalih delova biljke. U slučaju pojave pepelnice dolazi do povećane reflektanse u delu vidljivog i blisko infracrvenog spektra. Pri pojavi cerkospore i rđe, devijacija spektra je drugačija i ona se ogleda u strmijem porastu reflektanse crvene svetlosti. **Treba napomenuti da niti jedan indeks refleksije nije još uvek razvijen kao pouzdan pokazatelj prisustva gljivičnog patogena na biljkama**. Fluorescencija je jedna od mogućih metoda za prepoznavanje nastalog gljivičnog oboljenja. Fluorescencija je indirektna metoda, što znači da nijedna gljiva ne pokazuje osobine fluorescencije ili pak ima veoma malu fluorescenciju, u poređenju sa fluorescencijom pigmenta biljke.

Postoji oko 1,5 miliona vrsta gljiva i oko 250.000 biljnih vrsta i svaka od njih je razvila posebne mehanizme za opstajanje. Gljive indukuju odbrambene mehanizme u biljkama koje se manifestuju promenama na biljkama i u njima. Indeksi fluorescencije predstavljaju odnos radijacije različitih talasnih opsega. Merenje indeksa je najčešće neometano u smislu uticaja okruženja, geometrije merenja itd. Promene u biljkama kao što su količina hlorofila i fenola se mogu detektovati metodom fluorescencije. Indeksi fluorescencije su uzrokovani različitim faktorima kao što su abiotički stres, prirodni uslovi ili čak starost biljnog tkiva. Zbog toga je ovom metodom veoma teško proceniti i izdvojiti koji od faktora uzrokuje emisiju određene svetlosti detektabilnu za senzor. S obzirom na to da se radi o indirektnoj metodi, najvažniji postupak je proces kalibracije u odnosu na zdrave biljke. Problem varijabilnog tretmana fungicidima je kako pravilno locirati inficirane zone na parceli. U početnim fazama to mogu biti veoma male površine te je detekcija skoro nemoguća ukoliko se koristi svega nekoliko senzora na širini zahvata prskalice. Veoma obećavajuće rešenje mogu biti samohodne platforme ili roboti koji će nezavisno od čoveka obavljati nadzor u više iteracija kako bi se lociralo nastajanje i širenje patogena.

Autori *Bohnenkamp et al (2019)* su koristili hiperspektralnu kameru u detekciji žitne rđe (slika 13.2). Njihova konstatacija je da je tehnika još uvek nesavršena i da ima dosta prostora za poboljšanje. Oni su naglasili da su optimalna visina snimanja i odabir odgovarajućeg algoritma za obradu slika glavni problem u rešavanju zadatka raspoznavanja obolelog dela biljke.



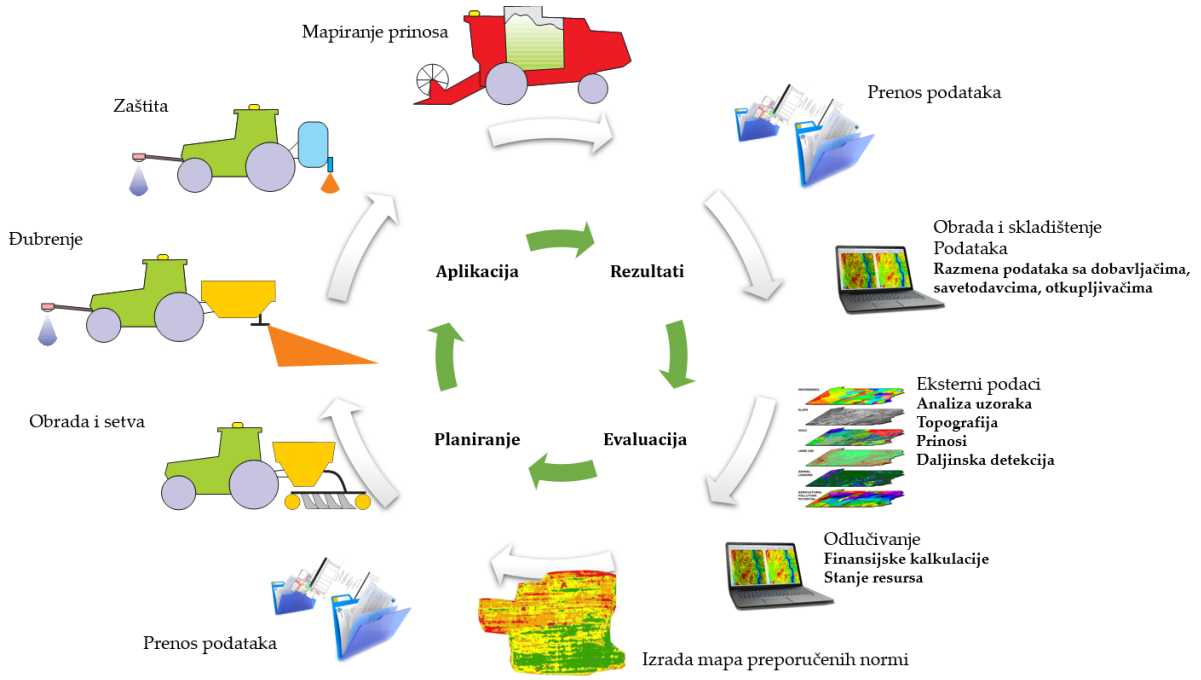
Slika 13.2. Vizuelan prikaz različitih pristupa u analizi slike sa hiperspektralne kamere (Bohnenkamp et al., 2019)

Prostorno prilagodljiva primena fungicida

Detekcija putem senzora u svrhu lokalno specifične primene hemijskog sredstva je problematična zbog višeznačnosti signala koje generišu. Na primer, nedostatak azota u biljkama se manifestuje povećanom refleksijom vidljive svetlosti, što se zapravo dešava i u slučaju napada gljivičnih patogena. Slični biotički stres se javlja pri nedostatku vode. Ovaj problem se može delimično rešiti tako što bi se istovremeno koristili spektralni senzori i senzori fluorescencije. Može se reći da je lokalno specifična primena fungicida najizazovniji momenat u konceptu precizne poljoprivrede.

14 UPRAVLJANJE INFORMACIJAMA U PRECIZNOJ POLJOPRIVREDI

Osnovni postulat lokalno prilagođene prakse (precizne poljoprivrede) jeste postizanje maksimalno mogućih prinosa na temeljima dugoročne održivosti koncepta. Realizacija pomenutog je moguća ukoliko su biljkama obezbeđeni optimalni uslovi za razvoj tokom celog perioda vegetacije. Kontrola nad procesima je ključna, ali za postizanje kontrole neophodan je permanentni nadzor biljaka i zemljišta. U tu svrhu se koriste razni senzori, tehnike opažanja, informacije iz prošlosti, iskustvo itd., što daje lanac na kojem se bazira koncept precizne poljoprivrede (slika 14.1). Kruženje informacija može biti povezano samo sa jednom proizvodnom sezonom ili sublimirati i podatke iz prethodnih. **Međutim, ceo sistem precizne poljoprivrede generiše velike količine podataka čija vrednost ne mora biti u korelaciji sa njihovim obimom. U procesu prikupljanja treba pažljivo analizirati podatke i sagledati njihov doprinos u postizanju željenog cilja. Ukoliko ne postoji dodatna vrednost, treba ih urgentno eliminisati iz ciklusa manipulacije.**



Slika 14.1. Ciklus protoka informacija u preciznoj poljoprivredi

Treba napomenuti da u nekim situacijama nije potrebno striktno slediti ciklus prikazan na slici 14.1. Najjednostavnija situacija je kada je za lokalno prilagodljivu

aplikaciju potreban samo jedan parametar, npr. vlažnost zemljišta. Ukoliko ovaj parametar može biti snimljen i obrađen u hodu, onda je petlja odlučivanja značajno jednostavnija. Upotreba dodatnih informacija iz prošlosti ima smisla jedino ukoliko su ti parametri stabilni u vremenu, kao što je topografija ili sadržaj fosfora u zemljištu. Kompleksnost detekcije može biti donekle pojednostavljena fuzijom senzora. To znači da se tokom prolaska kroz parcelu radi detekcija više parametara istovremeno.

Najprostiji primer fuzije senzora je bilo koja situacija u kojoj se sa detekcijom vrši i geopozicioniranje. Zapravo fuzija senzora je osnova precizne poljoprivrede. Neke od mogućih fuzija date su u tabeli 14.1.

Tabela 14.1. Primer mogućeg uvezivanja senzora radi unapređenja procesa odlučivanja

Parametar agrotehničke operacije	**Osnovna detekcija**	**Pomoćna detekcija 1. reda**
Dubina duboke obrade	Tekstura zemljišta – Električna provodljivost zemljišta	Sadržaj org. materije – spektrofotometrija
Norma setve		Kapacitivnost – Sadržaj vode u zemljištu
Navodnjavanje	Temperatura useva – *IR* termalno snimanje	Sadržaj vode u biljkama – *NIR* spektroskopija
P i K đubrenje	Prinos prethodnog useva	Tekstura – Električna provodljivost zemljišta
N đubrenje na osnovu detekcije zemljišta	Elektrode selektivne osetljivosti na jone	IC refleksija
N đubrenje na osnovu detekcije biljke	Sadržaj N – spektrofotometrija	Tekstura zemljišta – Električna provodljivost zemljišta
Zaštita od korova	Oblik i boja lista – spektrofotometrija	Sadržaj organske materije u zemljištu – spektrofotometrija
Zaštita od bolesti	Merenje biomase – *LiDAR*	Spektrofotometrija

Koncept fuzije senzora može ali ne mora podrazumevati i fuziju dobijenih podataka. Primarni podaci sa senzora imaju najveći značaj u odlučivanju, dok sekundarni podaci mogu pomoći prilikom boljeg sagledavanja i povezivanja parametara iz okruženja sa primarno detektovanom veličinom. Možda najviše korišćena metoda detekcije jeste merenje električne provodljivosti zemljišta. Ukoliko se podatak o električnoj provodljivosti zemljišta koristi istovremeno sa podacima o parametrima koji su vremenski stabilni, u tom slučaju je moguće izdvojiti iz signala vremenski promenljive parametre kao što je sadržaj vode u zemljištu. Na lakšim zemljištima električna provodljivost je veoma dobro korelirana sa sadržajem vode u zemljištu. **Fuzija senzora ne znači mnogo ukoliko ne postoji fuzija podataka.** Međutim, još uvek nisu razvijeni dovoljno pouzdani matematički modeli koji bi jasno mogli kombinovati različita očitavanja sa senzora.

Koncept prostorno promenljive aplikacije uz mapiranje realizovanih normi omogućava poljoprivredniku da izvrši inspekciju detektovanih vrednosti, da ih uporedi sa ostalim prethodno utvrđenim parametrima i da na osnovu toga donese odluke o daljim aktivnostima. Korišćenje više mapa radi kombinacije nekoliko parametara je delikatan posao. Ovaj proces se žargonski naziva preklapanje slojeva. U tom smislu se moraju preduzeti koraci kako bi se došlo do pouzdanih rezultata.

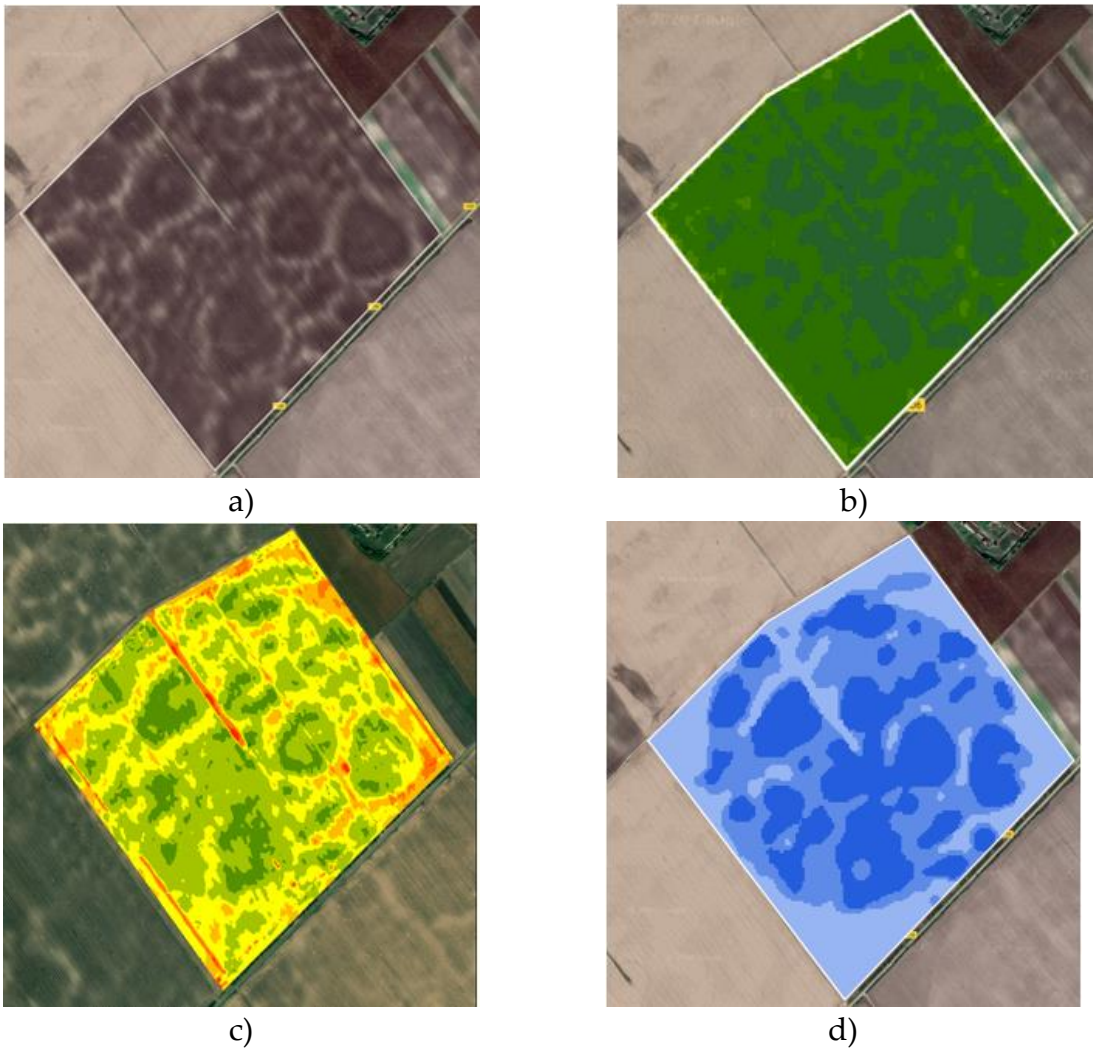
- Uklanjanje atipičnih vrednosti iz zapisa sa senzora (čišćenje podataka); u najčešćem broju slučajeva su to ekstremne vrednosti (ekstremno niske ili visoke).
- Svi podaci moraju biti tačno georeferencirani (bitna stavka u slučaju da postoji kašnjenje između detekcije i rada *GPS* prijemnika.
- Sirove mape dobijene od podataka su prostorno prekidne i najčešće tačkasto predstavljaju vrednosti u prostoru; za dobijanje površinski neprekidnih mapa neophodno je primeniti odgovarajuće metode geostatistike kojima se matematički modeluju prostorne zavisnosti i na osnovu njih kreira konačna geoprostorna mapa.
- Klasterizacija podataka može biti u vidu blok-šeme (šahovski raspored) ili u nepravilnim poligonima; ove postupke je moguće uraditi isključivo u *GIS* programima.

Kreiranje proizvodnih zona

Tehnika analize mapa preklapanjem može biti iskorišćena za formiranje virtuelnih proizvodnih zona na parceli. Proizvodne zone su delovi parcele sa približno istim karakteristikama, odnosno proizvodnim potencijalima, utvrđenim na osnovu opservacija i prostorno definisanih granica. Prema tome, na tim delovima se primenjuje ujednačen tretman. Da bi se došlo do razdvajanja parcele po zajedničkim svojstvima, neophodno je primeniti tzv. klaster analizu. Ovom analizom se upoređuju podaci sa različitih izvora, koji se odnose na istu parcelu, i određuje se međusobna asocijativnost. **Cilj klasterizacije je postizanje visoke unutrašnje homogenosti unutar grupa uz veliku spoljnju heterogenost između grupa.** Analiza klastera otkriva strukture u podacima bez objašnjenja uzroka nastanka. Grupe autora koji su detaljno opisali proceduru razdvajanja proizvodnih zona su *Taylor et al. (2007)* i *Whelan i Taylor (2010)*. **Broj proizvodnih zona zavisi od preferencijala korisnika, ali u praksi se najčešće sreće slučaj 3–5 sa težištem na manjem broju, što zavisi od veličine i oblika parcele i heterogenosti.** Razlog je tehničke prirode. Sa porastom broja zona komplikuje se dizajn parcele u smislu da se dobijaju prostorne strukture koje nisu baš pogodne za realizacije definisanih normi. Neki sistemi nisu u mogućnosti da ispoštuju visoke rezolucije i česte promene norme. Takođe, zone moraju na neki način svojim oblikom biti prilagođene i načinu kretanja traktorskog agregata po parceli. Proizvodne zone se mogu formirati na sledeći način:

- na osnovu iskustvenih informacija proizvođača;
- korišćenjem mapa prinosa ili slika daljinske detekcije i

- klaster analizom koja bi uključila mape prinosa, senzorska očitavanja i zapise daljinske detekcije (slika 14.2).



Slika 14.2. Prikaz parcele od 80 ha u severnoj Bačkoj (Vojvodina) gde je: a) RGB satelitski snimak parcele; b) klasterizovane vrednosti NDVI (sezona 2019/2020) ozime pšenice; c) prinos pšenice (sezona 2017/2018) i d) produktivne zone (tri kategorije)

S razvojem tehnologije sekcijske kontrole priključnih mašina i *ISO-BUS* komunikacije, rezolucija varijabilne primene se povećala bez obzira na širinu zahvata mašine. Treba napomenuti da promenljiva aplikacija može biti sprovedena na bazi prediktivnog ili reaktivnog pristupa. Prediktivni pristup je vremenski relativno stabilan i povezan je sa osobinama koje se ne menjanju rapidno u vremenu, kao što su tekstura, sadržaj organske materije, elevacija, sadržaj P i K itd. Suprotno, reaktivni pristup se odnosi na fenomene koji dinamično menjanju stanje, a to su *NDVI*, vlažnost zemljišta, sadržaj mineralnog N. Reaktivni pristup se bazira na reakciji na klimatske i karakteristike useva. Izazov za budućnost biće pronalaženje inteligentnih kombinacija prediktivnih i reaktivnih pristupa, npr. istovremena upotreba mapa i senzora u pokretu u realnom vremenu. Time se u značajnoj meri mogu smanjiti uticaji grešaka u kontroli koji nastaju zbog nekontrolisanog dejstva nepoznatih činilaca.

15 RAD SA PODACIMA U PRECIZNOJ POLJOPRIVREDI

Razvoj i dostupnost senzorske tehnologije, te zapisi sa satelita stvorili su uslove u kojima postoji obilje podataka sa kojima se mora adekvatno postupati kako bi bio iskorišćen njihov potencijal u pravilnom donošenju odluka. Postoji nekoliko načina za manipulaciju agronomskim podacima, i to:

- upis i manipulacija od strane proizvođača (ukoliko je kvalifikovan za rad sa podacima);
- upis od strane poljoprivrednika, analiza od strane konsultantske firme i
- upis od strane radnika, analiza od strane agronoma.

Prethodno navedeno zavisi od veličine poljoprivrednog imanja i vlasničke strukture. Ukoliko se radi o privatnom, manjem posedu koji je u dužem periodu u posedu istog vlasnika, tada je verovatno da će prva opcija biti primenjena. Ukoliko je vlasnik lice koje nema dovoljno iskustva u poljoprivredi ili nema iskustva sa parcelama koje odskoro obrađuje, tada će nadzor i podršku u donošenju odluka davati specijalizovane poljoprivredne službe. Međutim, kada se radi o imanju koje po kapacitetu prevazilazi malo ili srednje gazdinstvo uz veliku diverzifikaciju proizvodnje, tada će u okviru gazdinstva poslove vođenja evidencije i analize obavljati zaduženi agronom.

Ako govorimo isključivo o domenu precizne poljoprivrede, tu postoji nekoliko tipova datoteka (fajlova). Najčešće se datoteke identifikuju na osnovu nastavaka (ekstenzija) koji stoje iza tačke u nazivu. Različiti tipovi su prilagođeni programima koji rade sa tim tipovima datoteka, stoga ukoliko program nije odgovarajući, neće moći otvoriti datoteku.

Datoteke se generalno mogu podeliti na opšte, specifične i prostorne.

Opšte datoteke su one kojima mogu manipulisati mnogi programi. Format datoteke je usklađen sa poznatim i opšteprihvaćenim internacionalnim standardom koji je čitljiv mnogim programima. Ekstenzije ovih datoteka su: „.txt“, „.csv“, „.doc“, „.jpg“, „.bmp“, „.tif“ itd.

Specifične datoteke su obično povezane sa određenim uređajima ili senzorima, tj. proizvođačima tehnike. Oni se generalno koriste za zapisivanje podataka sa

specifičnih senzora u kompaktnom formatu, koji se naknadno može otpakovati u adekvatnom programu. Ovi formati datoteke nisu opšti i zbog toga obično nisu kompatibilni sa konvencionalnim programima za obradu podataka. Recimo, mnogi monitori prinosa generišu specifične datoteke (npr. „.gsy“, „.ilf“, „.vyg“).

Prostorni podaci sadrže informaciju o koordinatama i vrednostima merenih parametara iz kojih se mogu u *GIS* programu generisati tematske mape. Ove datoteke mogu biti u obliku vektorskih (tačka, linija ili poligon), odnosno raster datoteka (snimci daljinske detekcije). Podaci su najčešće sastavljeni od više zasebnih datoteka različitog formata. Jedna od datoteka sadrži podatke, dok su ostale pomoćne i sadrže informacije o poreklu, projekciji i načinu prikazivanja.

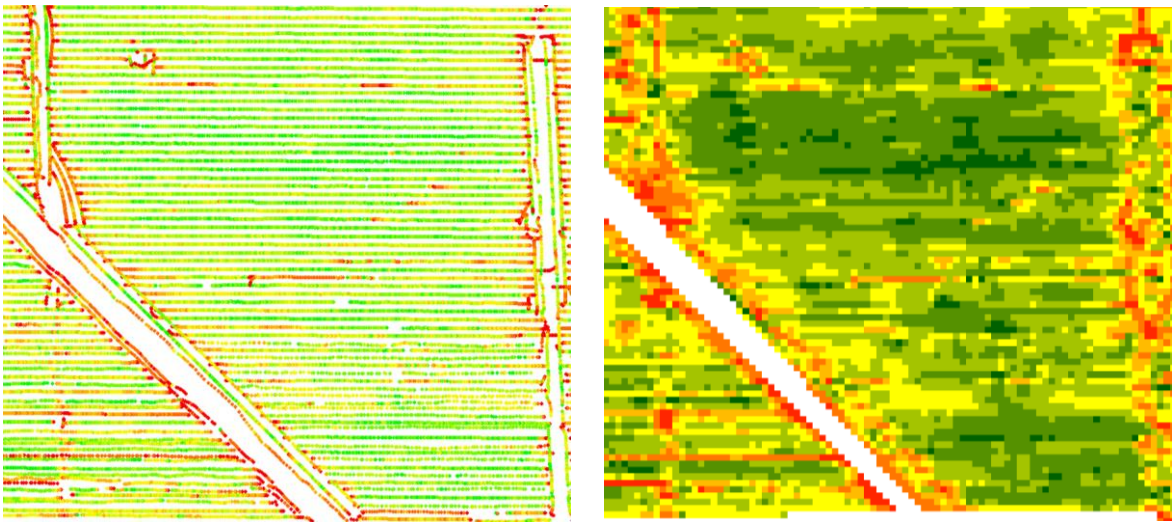
Tabela 15.1. Prikaz obaveznih shapefile ekstenzija i pripadajućih podataka

Ekstenzija	Opis	Neophodnost
.shp	Osnovni fajl koji sadrži karakteristiku geometrije. Atributi nisu uključeni u okviru fajla.	Da
.shx	*Shape* indeks format; indeks koji označava geometriju i omogućava brzo pretraživanje u oba smera, od početka ili od kraja.	Da
.dbf	Atributivni format; atributi poređani u kolone za svaku karakteristiku.	Da
.sbn i sbx	Sadrži prostorni indeks karakteristike.	Ne
.atx	Atributivni indeks za .dbf datoteku.	Ne
.ixs	Indeks geokodiranja za *shapefile* koji se može čitati i pisati.	Ne
.mxs	Indeks geokodiranja za *shapefile* koji se može čitati i pisati u *ODB* formatu.	Ne
.prj	Projekcijski format, koordinatni sistem i projekcijski parametri.	Da
.xml	Matepodaci u *XML* formatu.	Ne
.cpg	Definiše korišćenu kodnu stranicu za znakove korišćene u .dbf datoteci.	Ne
.ain i .aih	Atributivni indeksi aktivnih polja u tablici.	Ne
.fbn i .fbx	Prostorni indeks objekata za *shapefile* koji je samo čitljiv (*read-only*).	Ne

ESRI shapefile je popularni vektorski format prostornih podataka koji je namenjen za manipulaciju u *GIS* softveru (slika 15.1a). *ESRI* ga je razvio kao otvorenu specifikaciju za interoperabilnost podataka između *ESRI* i softverskih proizvoda. *Shapefile* prvenstveno opisuje geometriju koja se sastoji od osnovnih geometrijskih objekata kao što su tačka, linija i poligon. Svaki od navedenih objekata sadrži neke od atributa koji ga opisuju bilo da se radi o rednom broju, dužini, površini ili nekom drugom svojstvu koje se odnosi na objekat. U ovom formatu se čuvaju podaci koji imaju diskretne (konačne) lokalitete, npr. granica parcele, mesto uzorkovanja, atarski putevi, kanali,

hidranti itd. Zapravo, jedinični podatak je tačka koja nosi informaciju o geografskoj lokaciji nastanka i vrednosti entiteta koji je opserviran. Opštepoznati format je tzv. šejp sa ekstenzijom .shp. Šejp datoteka je komandna, dok su koordinate i dimenzije objekata sadržane u bazi podataka (.dbf). Iako je *shapefile* uobičajen i jedinstven termin, on se zapravo sastoji od seta datoteka sa različitim ekstenzijama od kojih su tri datoteke obavezne, a postoji još celi niz opcionih datoteka koje pomažu u snalaženju podacima, njihovom korišćenju i manipulaciji istih (tabela 15.1).

Rasterski formati datoteka su karakteristični za snimke daljinske detekcije. U *GIS* programu raster se prikazuje kao mreža kvadrata koja prekriva celokupno polje od interesa. Svaki piksel je georeferenciran, a *RGB* boja predstavlja nivo određene promenljive (slika 15.1b). Kod rasterskog sistema, podaci su smešteni u mreži koja predstavlja "sloj", što se razlikuje u odnosu na vektorski sistem prikazivanja. Svaka mreža sadrži jedinstveni set informacija. To znači da se u slučaju rasterskog sistema svaka osobina zemljišta prikazuje u zasebnim slojevima. Zbog toga su veći zahtevi za skladištima podataka kod rasterskog u odnosu na vektorski *GIS*. Preciznost rasterskog *GIS*-a u smislu prostorne rezolucije zavisi od veličine ćelije unutar mreže sloja. Rasterski sistemi su praktično veoma korisni kada treba obaviti numeričke manipulacije pre svega zbog svoje ujednačene strukture. U poljoprivredi ovaj model se najčešće primenjuje kod sistema za mapiranje prinosa na univerzalnim kombajnima. Postoje mnogi formati rasterske datoteke među kojima su najzastupljenije *GeoTIFF* i *GeoJPG*, dok je *KML* datoteka takođe rasprostranjena i koristi se za prikaz podatka u *Google* platformama.



a) b)

Slika 15.1. Prikaz zapisa sa monitora prinosa u vektorskom (a) i rasterskom (b) formatu (zapis sa kombajna firme Agropromet d.o.o., Bečej)

Strukturna organizacija datoteka

Većina programa koje proizvođači koriste u preciznoj poljoprivredi ima tipiziranu strukturu u organizaciji podataka. Korisnik ima pravo da menja nazive za gazdinstvo, polje, mašinu itd., dok za datoteke nižih rangova obično program sam generiše.

Organizacija datoteka samostalno od strane korisnika uključuje formiranje sopstvene hijerarhije na kompjuterskom disku. Poželjno je sve prikupljene podatke sačuvati u nekom generičkom obliku („.txt“ ili „.csv“). Najvažniji korak u skladištenju podataka je njihovo imenovanje, jer u suprotnom može doći do gubitka ili do komplikovanog pretraživanja. Datoteke koje se sistematično i smisleno nazovu biće jednostavne za pronalaženje. Po pravilu, naziv datoteke treba da uključuje sledeće komponente:

- naziv polja,
- entitet koji je opserviran,
- datum i
- ekstenziju.

Korišćenje fascikli (foldera) u organizaciji podataka ima važnu ulogu. Folderi služe da se datoteke i ostali podaci razdvoje po nekom od kriterijuma (godina, polje, farma itd.). Bitan segment u radu sa podacima je njihovo pouzdano skladištenje i u tom smislu, podatke treba povremeno kopirati na rezervnu lokaciju (*back-up*) kako bi se izbegao gubitak usled neočekivanih situacija (slučajno brisanje ili kvar računara). U tom smislu postoje dva pravila za pravljenje rezerve kopije podataka:

- obavljati redovno kao deo rutine (periodično),
- držati rezervnu kopiju podataka na fizički razdvojenoj mašini.

Najčešće se u tu svrhu koriste spoljašnji računarski diskovi, a danas sve popularnije oblak (*cloud*) platforme. Ukoliko se koristi oblak platforma, tada nema potrebe za ručnim kopiranjem, ali treba napomenuti da su u tom slučaju kapaciteti za pravljenje rezervne kopije ograničeni, ili pak uz nadoknadu proširivi. Na mašinama koje na sebi imaju ugrađene snimače podataka kao što su monitori prinosa, korisnici vrlo često zaboravljaju da preuzmu podatke i oslobode prostor za nove. Pre svega zato što korisnici ovakvih mašina nemaju rutinu u radu sa podacima, te se zbog toga dešava da se jedan deo vrednih informacija trajno izgubi. Međutim, u poljoprivredi, kao i u ostalim delatnostima, već uveliko počinje implementacija nove tehnologije koja se naziva „Internet stvari“ (*Internet of Things* – IoT), koja će omogućiti da se podaci u realnom vremenu šalju u centralni server sa radnih mašina ili stacionarnih senzora, odakle će biti u svakom momentu dostupni poljoprivredniku. Na ovaj način će poljoprivrednici biti značajno rasterećeniji u pogledu vođenja računa o prenosu podataka, skladištenju, nazivanju datoteka itd.

Izrada tematskih mapa u preciznoj poljoprivredi

Postupak izrade geografskih mapa naziva se kartografija. U okvirima precizne poljoprivrede postoje dva tipa mapa:

- referentne mape – na njima se predstavljaju opšte informacije o granicama parcela, infrastrukturnim objektima, prirodnim strukturama itd.;

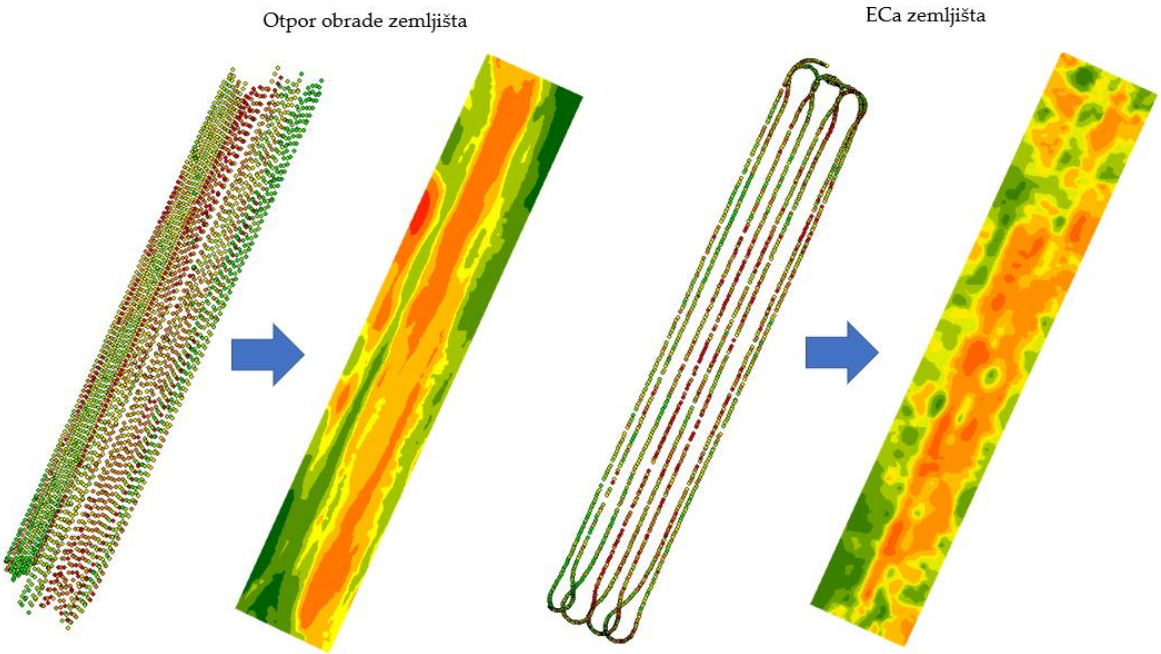
- tematske mape – prikazuju informacije o jednom parametru na određenom lokalitetu.

U preciznoj poljoprivredi tematske mape prikazuju prostorne podatke na dva načina, i to u vidu mape tačaka i rasterske mape.

Mape tačaka se izrađuju po relativno jednostavnim procedurama, gde svaka prikazana tačka predstavlja pojedinačnu lokaciju gde je obavljeno merenje na polju. Međutim, pre svakog postupka izrade mapa neophodno je proveriti verodostojnost podataka, jer tokom merenja postoji niz faktora koji mogu dovesti do pogrešnih vrednosti koje u skupu sa ostalim mogu iskriviti sliku stvarnog stanja. Tako generisana mapa ne bi imala upotrebnu vrednost i dovela bi do pogrešnih zaključaka. Ovo naročito važi prilikom mapiranja prinosa, koji je možda i najkorisniji parametar u sistemu donošenja odluka u preciznoj poljoprivredi. Svakako, isto važi i za podatke sa drugih izvora.

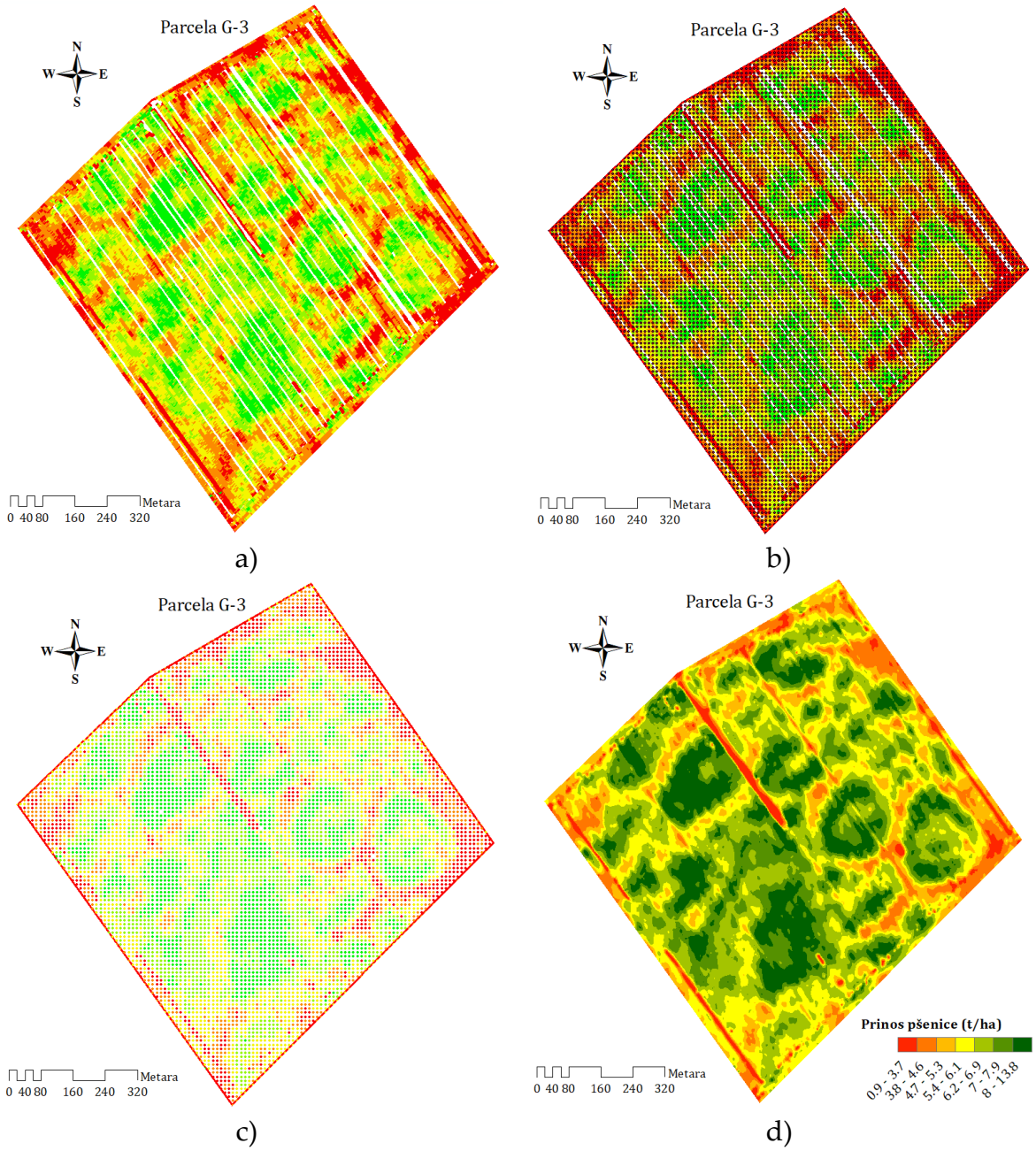
Viši nivo prikaza geoprostornih podataka

Nivo detalja na mapi zavisi od frekvencije merenja u prostoru. Što je veća učestalost, veća je i prostorna rezolucija, time i kvalitet reprezentacije određene karakteristike. Međutim, to ne mora biti pravilo, jer senzor koji meri velikom brzinom ne mora istovremeno biti tačan, tj. greška koja postoji pri indirektnoj detekciji može biti sistematska ili promenljiva u prostoru. Sistematska znači da se nivo greške ne menja u odnosu na mesto i vreme merenja, dok se udeo greške u zapisu kod promenljive menja. Svakako, nesistemske greške su nepoželjnije, jer se teže otkrivaju i uklanjaju.



Slika 15.2. Mape tačaka različitih prostornih gustina i interpolirane besprekidne mape (Kostić et al., 2016)

Koliko god da je merenje učestalo, prikaz merenja na mapi imaće manje ili veće praznine, u zavisnosti od poprečnog i uzdužnog razmaka između dva susedna merenja. U okviru *GIS* programa postoji mogućnost da se na osnovu prostorno diskretnih merenja, kakva su data na slici 15.2, generišu mape bez prostornog prekida na površini koja je posmatrana.



Slika 15.3. Postupak dobijanja prostornih neprekidnih mapa: a) sirovi podaci; b) sirovi podaci preklopljeni sa lokacijama za koje se radi predviđanje; c) predviđene vrednosti prinosa u jednakom prostornom rasporedu; d) interpolirana mapa prinosa

Cilj izrade ovakvih prostornih mapa je omogućavanje poređenja parametara koji su različite prirode i koji su mereni različitim tehnikama, odnosno kod kojih se lokacije merenja (gledano jedno isto polje) ne preklapaju. To može da važi i za isti parametar ako se meri u više iteracija koje su vremenski pomerene. Na primer, ukoliko se žele

porediti podaci o prinosu dve kulture koje su bile zasejane na istoj parceli, ali u različitim godinama, onda bi lokacije na kojima je izmeren prinos bile različite i time za *GIS* program neuporedive. Tehnika koja omogućava prevođenje mape tačaka u kontinualnu prostornu mapu naziva se **prostorna interpolacija** (slika 15.3**)**. U pozadini prostorne interpolacije su algoritmi proistekli iz geostatistike, oblasti koja je nastala sredinom prošlog veka za potrebe geoloških istraživanja. Suština ove tehnike je primena teorije verovatnoće i matematičke deterministike (u zavisnosti od tehnike interpolacije) u proceni vrednosti na lokacijama koje nisu posmatrane (na kojima nije obavljeno merenje) na osnovu izmerenih vrednosti koje su bliske toj lokaciji. U zavisnosti od izabrane tehnike interpolacije, nivo uticaja okolnih merenja na predviđanje vrednosti na neopserviranoj lokaciji je različit. Pomenuti nivo uticaja se naziva još i „težina" ili „ponder" (*weight*). Težine se određuju matematički, u zavisnosti od izabranog modela prostorne zavisnosti koji se usvaja prema određenim kriterijumima. U prostornim predviđanjima za potrebe precizne poljoprivrede najčešće se koriste tri metode predviđanja:

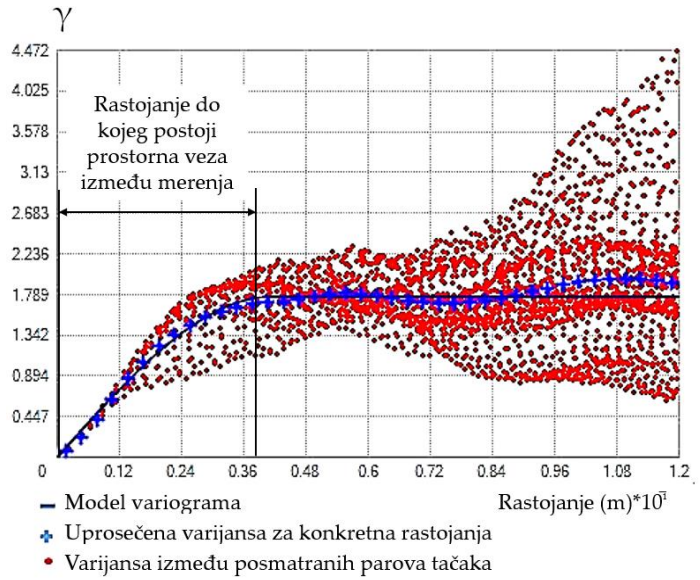
- usrednjavanje (*Moving average*),
- ponderisanje recipročno rastojanju (*Inverse Distance Weighting – IDW*) i
- kriging.

Usrednjavanje je operacija pri kojoj se predviđanje vrednosti na neuzorkovanoj lokaciji obavlja prostim usrednjavanjem na osnovu vrednosti koje su u bliskom okruženju (slika 15.5a). Pri ovoj metodi se daje jednak značaj svim vrednostima iz okruženja, tj. imaju istu težinu pri računanju - predviđanju nove vrednosti.

Ponderisanje recipročno rastojanju (*IDW*) operacija je pri kojoj se predviđanje vrednosti na neuzorkovanoj lokaciji obavlja na osnovu vrednosti iz okruženja, ali uz dodavanje težine (značaja) recipročno rastojanju od lokacije za koju se predviđa nova vrednost (slika 15.5b). To praktično znači da što je manje rastojanje između lokacije na kojoj je obavljeno merenje i lokacije za koju se predviđa vrednost, to je uticaj na računanje nove vrednosti veći. Težine se računaju pod pretpostavkom da je svako merenje u bliskoj okolini (prinos, EC zemljišta ili refleksija biljaka) međusobno prostorno povezano. Obično se koristi kvadrat rastojanja kao proporcija u računanju težina, mada mogu se koristiti i rastojanja sa drugim eksponentima. Karakteristika ove interpolacije je da generisane mape imaju prepoznatljive koncentrične zone oko mesta uzorkovanja. Ova metoda je pogodna kada se radi sa velikim brojem podataka, npr. podaci o prinosu.

Kriging je poznat kao metoda optimalne procene u geografskom prostoru. Kriging je optimalan, jer je nepristrasan i ima minimalnu varijansu. Takođe, on predstavlja geostatističku metodu interpolacije prostornih podataka za slučajni prostorni proces. Mnoge karakteristike u prostoru mogu se meriti neograničen broj puta, ali je to u praksi svega nekoliko. Kriging je, između ostalog, tehnika koja je vredna i sa aspekta smanjenja varijacija između susednih tačaka pri velikoj gustini podataka, kao što su satelitski snimci, snimci prinosa itd. (*Oliver i Carroll, 2004,* slika 15.5c). Za razliku od

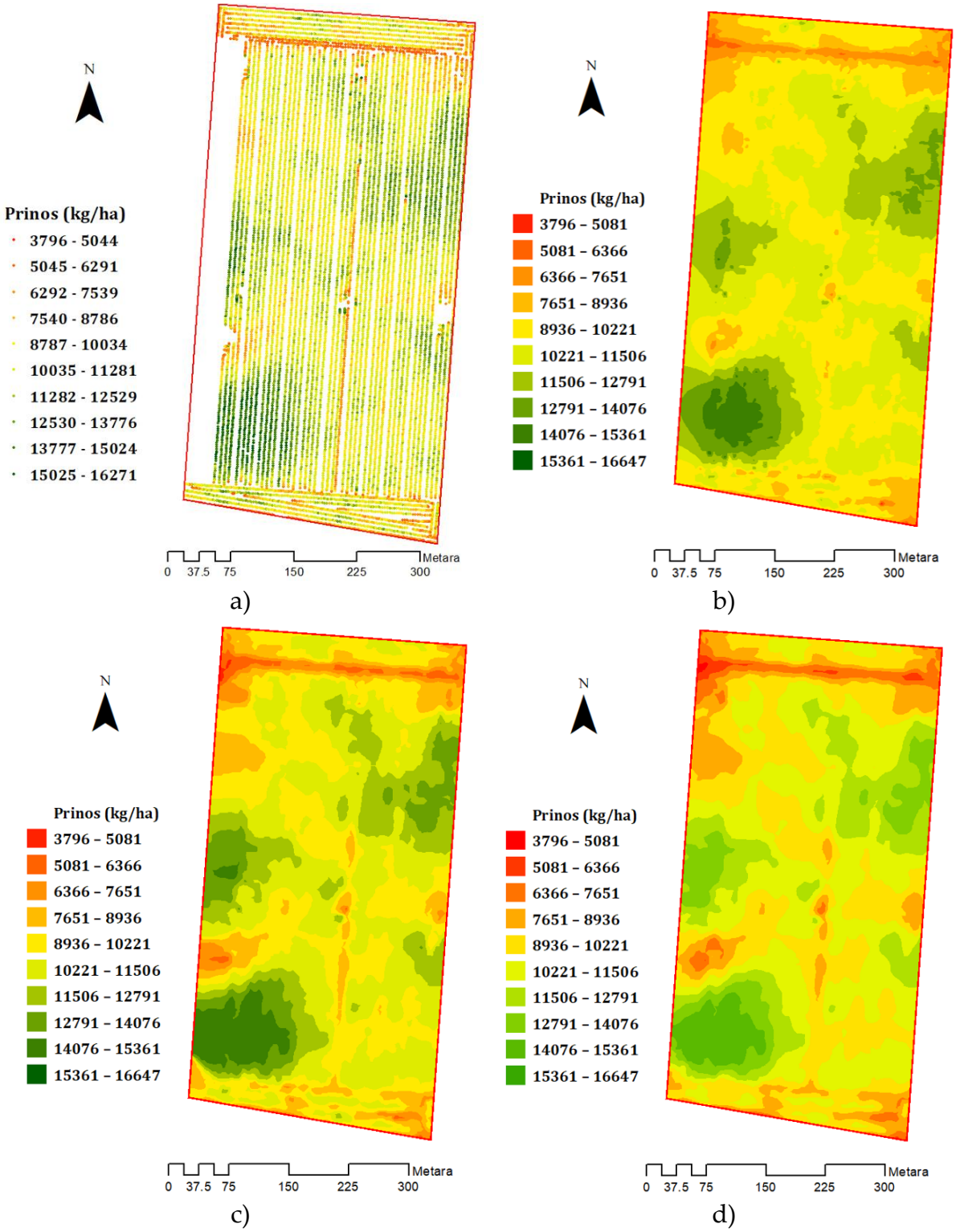
IDW, kriging sagledava vezu između tačaka koje nisu samo susedne već se modeliranje varijanse obavlja između tačaka koje su na većem rastojanju. Variogram (slika 15.4) može se računati za celokupnu površinu polja gde su u poređenju uključene sve tačke, bez obzira na međusobno rastojanje (globalni variogram) ili se može izračunati u svakom kvartu za upotrebu samo u lokalnoj tački predviđanja (lokalni variogram).



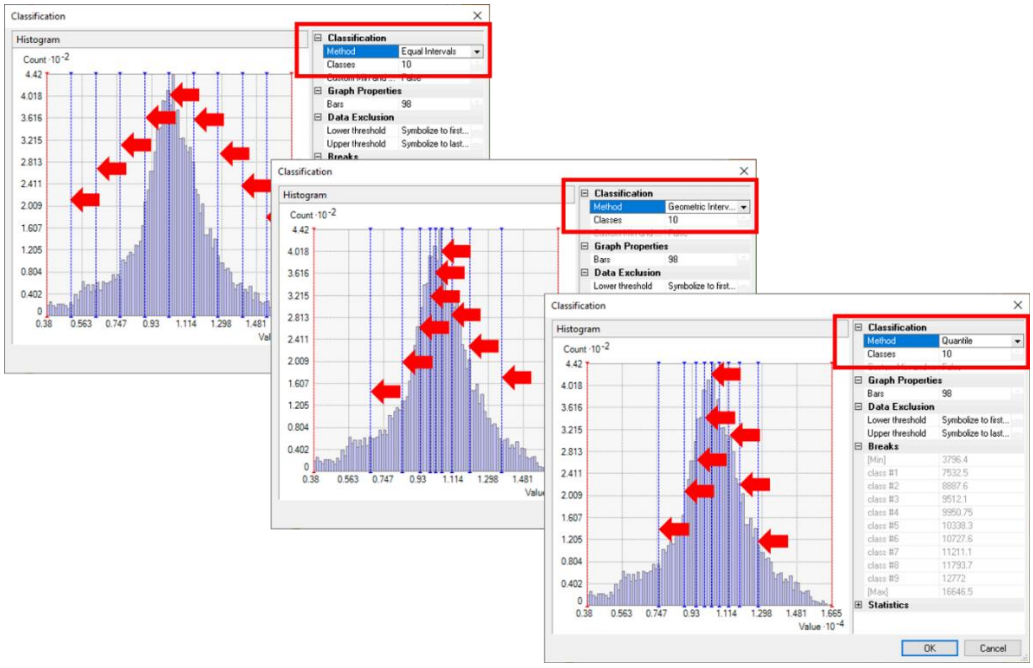
Slika 15.4. Variogramski model (Gausov) dobijen iz podataka (Kostić, 2015)

Kriging rešava mnoge nedostatke matematičkih metoda interpolacije, uzimajući u obzir karakter varijacije u prostoru putem izračunavanja variograma. Pri ovoj tehnici izrade mapa postoje dve faze, i to matematičko modeliranje prostorne zavisnosti između merenja i na osnovu modela se pravi mapa. Grafički prikaz podataka u vidu mapa (slika 15.5) veoma je atraktivan za opisivanje neke prostorne promenljive na polju. **Međutim, čak iako su podaci pouzdani, a metoda interpolacije odgovarajuća, postoji objektivna mogućnost da je grupisanje podataka takvo da daje pogrešnu sliku ili da maskira određene vrednosti.** U tom smislu, svaki *GIS* program pruža mogućnosti odabira kriterijuma grupisanja vrednosti koje su mapirane u opciji definisanja simbologije. Intervali se prikazuju u vidu legende koja objašnjava o kom parametru se radi i daje intervale vrednosti koje su asocirane odgovarajućim bojama (slika 15.6). Odabir broja intervala doprinosi pregledu varijabilnosti polja (slika 15.7). **Ukoliko se odabere suviše mali broj intervala, dobija se mapa koja prikazuje manji stepen varijabilnosti, dok prevelik broj intervala stvara utisak postojanja velikih razlika na relativno malim rastojanjima.** Generalno pravilo prilikom izrade mapa u preciznoj poljoprivredi jeste odabir od pet do 10 kategorija. Osnovni smisao odabira odgovarajuće simbologije je da razmera intervala na najbolji način prikaže važne promene parametra koji se posmatra. U većini *GIS* programa postoje standardni kriterijumi za formiranje intervala, od kojih su najznačajniji:

- jednaki intervali (slika 15.8a),
- količinski intervali (slika 15.8b),
- prirodni intervali (slika 15.8c),
- standardna devijacija (slika 15.8e) i
- intervali koje definišu korisnici.



Slika 15.5. Mape prinosa kukuruza izrađene različitim metodama prostorne interpolacije: a) Podaci sa monitora prinosa; b) Usrednjavanje; c) Ponderisanje recipročno rastojanju; d) Kriging (zapis sa kombajna firme Agropromet d.o.o., Bečej)



Slika 15.6. Prikaz mogućih kriterijuma za formiranje intervala podataka koji se na mapi prikazuju različitim bojama (Jednaki intervali, Geometrijski intervali, Količinski intervali)

Jednaki intervali

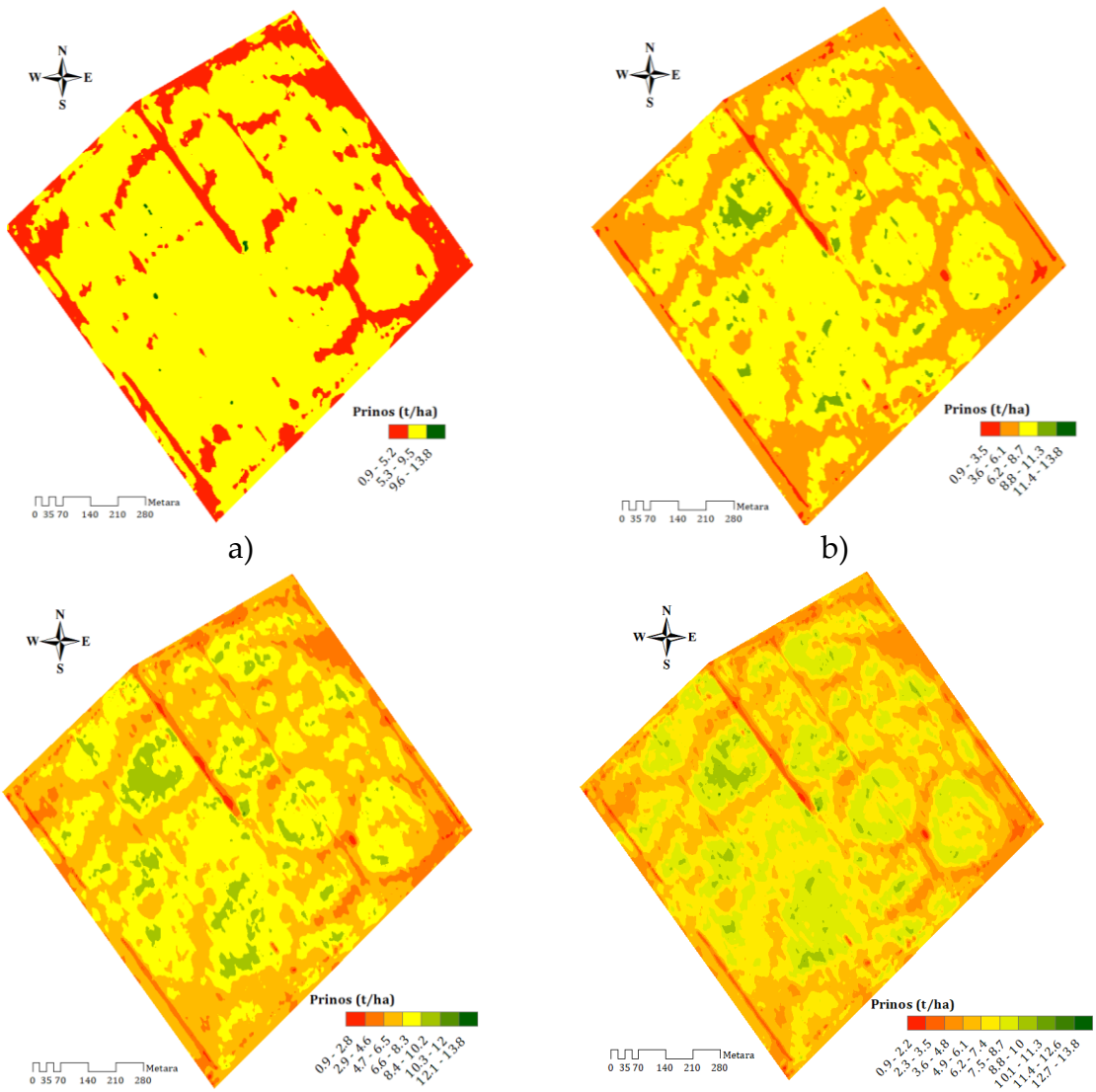
Podaci su grupisani u jednake intervale čiji broj definiše korisnik. To znači da je korak intervala jednak, npr. 1 t/ha, što znači da je broj podataka nejednak u svakom od intervala. Ova metoda prikaza može sakriti bitne varijacije ukoliko distribucija podataka nije jednako raspoređena na celom rasponu od minimalne do maksimalne vrednosti, a to je najčešći slučaj.

Količinski intervali

Podaci su grupisani u određen broj intervala koje definiše korisnik. Svaki od intervala sadrži jednak broj podataka bez obzira na njihovu vrednost. Ukoliko bismo odabrali 10 intervala, to bi značilo da svaki interval prikazuje po 10% svih podataka, grupisanih po veličini. Pri ovoj metodi se može desiti da se varijacije oko srednje vrednosti izdele na veliki broj intervala, a da male i velike vrednosti koje se ređe pojavljuju imaju mnogo šire intervale.

Prirodni intervali

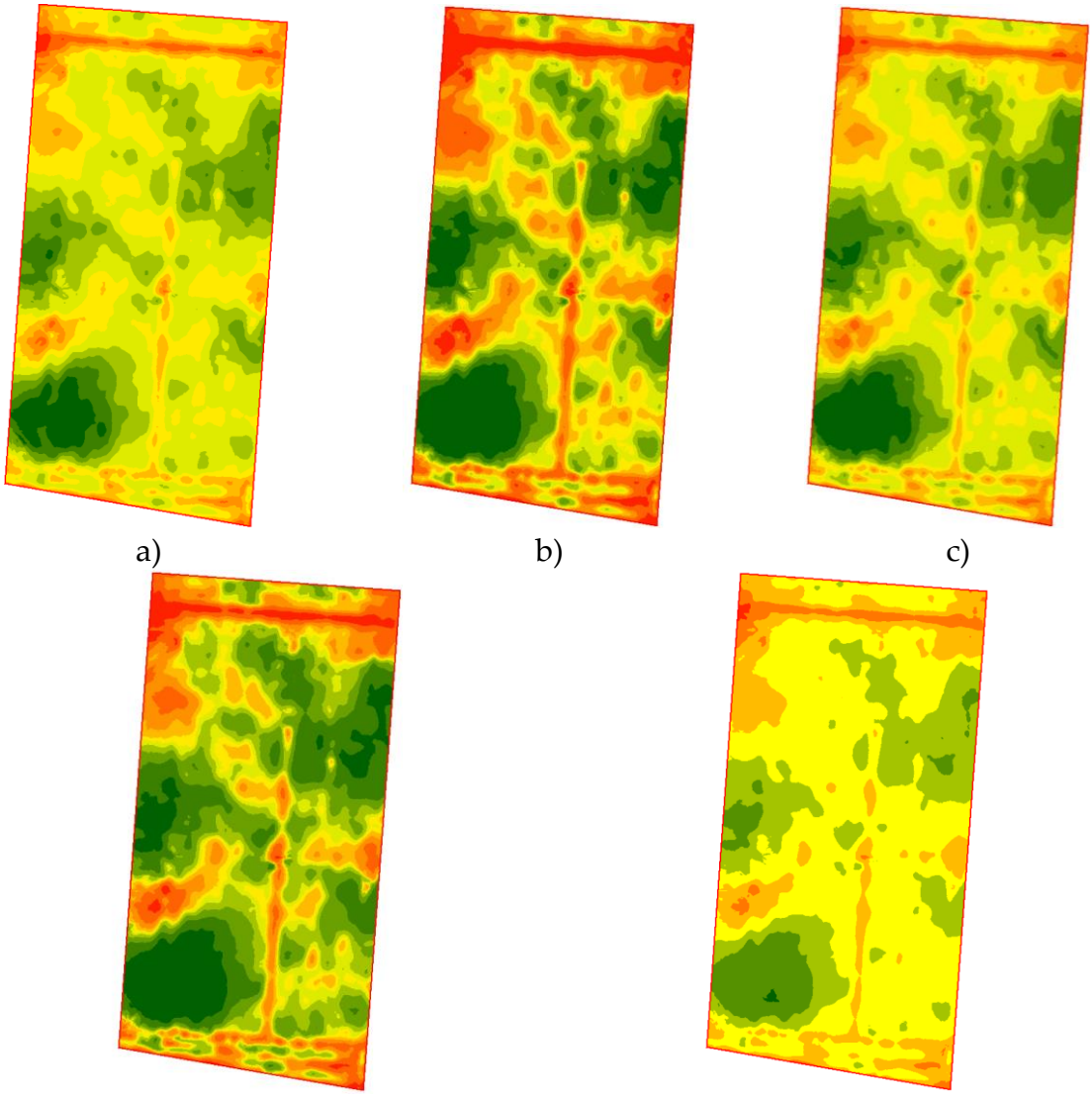
Ovaj kriterijum dozvoljava da korisnici definišu broj intervala, gde se granica pravi na osnovu minimalne varijacije unutar kategorije. Svaka kategorija sadrži nejednak broj podataka, što znači da širina intervala varira. Kod ovog kriterijuma se prave klase koje su sastavljene od podataka koji su veoma slični. Karakteristika ovog kriterijuma jeste da nije konzistentan za različite setove podataka, te mape nisu međusobno uporedive.



Slika 15.7. Uticaj broja intervala u simbologiji na vizuelni prikaz mape prinosa: a) tri intervala; b) pet intervala; c) sedam intervala; d) 10 intervala (zapisi sa kombajna firme Krivaja d.o.o., Bačka Topola)

Standardna devijacija

Ovaj kriterijum generiše intervale koji se baziraju na veličini varijacija podataka. Intervali se formiraju ispod i iznad srednje vrednosti podataka, sa rasponom koji definiše korisnik kao deo standardne devijacije računate na celokupnom skupu podataka. Jedna standardna devijacija iznad srednje vrednosti sadrži 32% podataka, a dodatna standardna devijacija sadrži dodatnih 16% podataka. Isti slučaj je kada se gledaju podaci ispod srednje vrednosti. Ovo praktično znači da su intervali u okviru 96% podataka jednaki i iznose vrednost standardne devijacije. Pri ovoj metodi se teži ublažavanju varijacije, jer se veće težine daju vrednostima koje su bliže aritmetičkoj sredini podataka. Rezultat toga je da veće kategorije svrstavaju u uže intervale, što ih čini manje vidljivim na mapi.



Slika 15.8. Mape prinosa kukuruza dobijene sa istim podacima, ali sa drugačije definisanim intervalima vrednosti: a) Jednaki intervali; b)Količinski intervali; c) Prirodni intervali; d) Geometrijski intervali; e) Standardna devijacija (zapis sa kombajna firme Agropromet d.o.o., Bečej)

Intervali koje definišu korisnici

Slobodna forma u kreiranju intervala. Broj podataka može da varira unutar svakog od intervala. Na ovaj način se pravi jedinstvena mapa po želji korisnika.

Da bi se omogućilo poređenje mapa u vremenu i prostoru, neophodno je ustanoviti jedinstven kriterijum za grupisanje podataka. Različiti kriterijumi daju veći značaj pojedinim podacima. Za nedvosmisleno objašnjavanje i poređenje vrednosti sa mapa najbolje je koristiti podelu na jednake intervale. Takođe, sve generisane mape, osim simbologije, moraju da sadrže razmere dimenzija kako bi posmatrač imao osećaj o veličini objekta ili da bude prikazan pravougaoni koordinatni sistem sa podelom u

metrima. Radi orijentacije mape, najčešće se koristi simbol koji pokazuje strane sveta ili pak samo severnu stranu.

Tumačenje prostornih mapa u preciznoj poljoprivredi

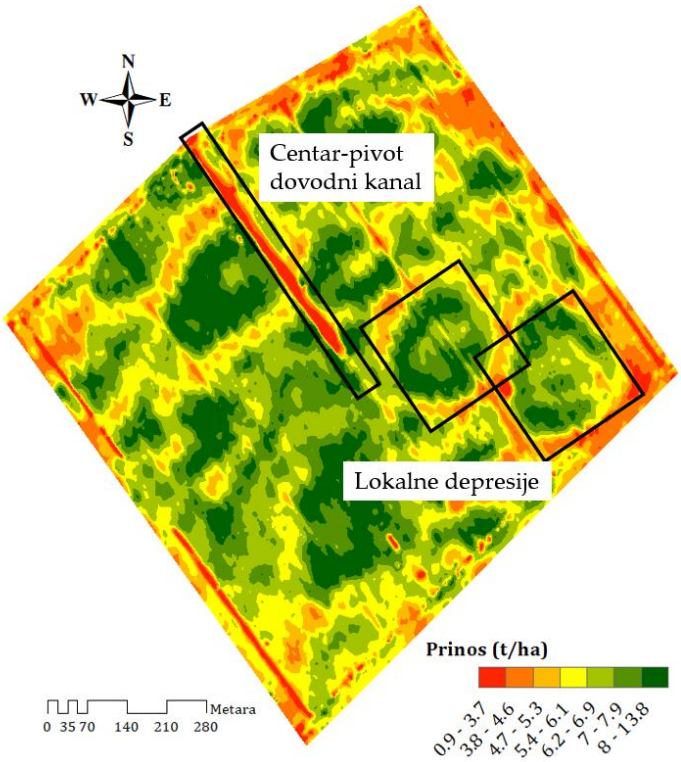
Postoje tri osnovna načina tumačenja mapa u preciznoj poljoprivredi, i to:

- Polazi se od pretpostavke da se varijabilnosti u polju dešavaju stohastično, po nepravilnom rasporedu gde se ekstremne vrednosti mogu klasifikovati po nivoima.
- Varijabilnosti su posledica prethodne prakse ili starih infrastrukturnih objekata (putevi, kanali, dalekovodi itd.) i imaju linearni oblik promene.
- Nepravilne varijabilnosti koje se pojavljuju naglo kao posledica poljoprivredne prakse (navodnjavanje, zanošenje pesticida) ili nagle promene u tipu zemljišta.

Mape prinosa su najčešće korišćene za prepoznavanje varijabilnosti u polju. Na osnovu njih se može proceniti efikasnost primenjene poljoprivredne prakse. Takođe, mogu se raspoznati prirodne varijabilnosti od indukovanih, kako bi se identifikovali uzroci koji dovode do smanjenja prinosa i na osnovu njih dale preporuke za buduće aktivnosti u cilju popravljanja stanja. U tabeli 15.2 su date preporuke za prepoznavanje i tumačenje nepravilnosti u mapama prinosa. Na slici 15.9 prikazana je mapa sa karakterističnim strukturama. Prethodne granice parcela u okviru postojeće mape se prepoznaju u vidu pravolinijskih karakteristika. Generalno, bilo koja ljudska aktivnost koja utiče na prinos, koliko god da doprinosi krajnjem rezultatu, ne eliminiše uticaj prirodne heterogenosti zemljišta i njen uticaj na prinos.

Tabela 15.2. Vodič za prepoznavanje i tumačenje nepravilnosti na mapama prinosa (Whelan i Taylor, 2013)

Pravolinijski oblici		**Nepravilni oblici**	
U pravcu kretanja	Poprečno na pravac kretanja	Zakrivljene forme	Ostrvske forme
Greške u aplikaciji	Prethodne strukture u vidu puteva ili stalnih tragova	Loše primenjeno đubrivo. Nepravilan oblik raspodele i uklapanja prohoda.	Promene u tipu zemljišta na depresijama ili uzvišenjima.
Setva različitih sorti ili hibrida	Stari nasipi	Terasiranje terena	Prisustvo korova
Različiti termini setve	Podzemne strukture (drenažne cevi)	Prirodne nejednakosti zemljišta	Vodoleži, mikroklima
Primena različitih preparata		Zanošenje pesticida tokom tretmana	Uticaj prethodne prakse
Primena različite norme đubriva		Rubni napad korova i štetočina	Prisustvo bolesti i insekata
Sabijanje zemljišta		Senčenje useva od drvoreda	



Slika 15.9. Prikaz linearnih i ostrvskih struktura na mapi prinosa (zapis sa kombajna firme Krivaja d.o.o., Bačka Topola)

Tumačenje mape električne provodljivosti zemljišta

Parametar električne provodljivosti je odraz uticaja više zemljišnih parametara. Zbog te činjenice nemoguće je na osnovu mape dati opšti zaključak o stanju nekog parametra u polju. Međutim, uzorkovanje na mestima koja su primećena kao karakteristična, mogu pomoći u kalibraciji merenja prema nekom od parametara. Bez obzira na potrebnu kalibraciju merenja, relativan odnos EC_a varijabilnosti se obično ne menja u vremenu, čime je omogućeno pravljenje proizvodnih zona.

16 REČNIK PRECIZNE POLJOPRIVREDE

Termin na srpskom jeziku	Termin na stranom jeziku	Objašnjenje
AB linija	*AB line*	Zamišljena prava linija između dve definisane tačke na polju u odnosu koje se navodi traktorski agregat po paralelnim putanjama
Prilagodljivo uzorkovanje	*Adaptive sampling*	Promenljivi plan uzorkovanja na parceli u zavisnosti od trenutnih uslova
***ASCII* datoteka**	*American Standard Code for Information Interchange*	Format podatka koji se najčešće koristi za prikaz brojčanih ili slovnih zapisa.
Atribut	Atribut	Brojčani ili tekstualni opis nekog entiteta.
Automatsko vođenje	*Autopilot*	Sistem *GPS* automatskog vođenja sa centimetarskom tačnošću (*RTK* korekcioni signal).
Baza podataka	*Database*	Skup različitih geoinformacija kojima se manipuliše u programima *GIS*.
Bazna stanica	*Base station*	*GPS-RTK* nepokretna zemaljska stanica koja predaje korekcioni signal pokretnom prijemniku. Ova stanica može biti prenosna ili fiksna sa dometom odašiljanja korekcionog signala od 10 km do 15 km u zavisnosti

		od topografije, visine postavljanja, snage transmisije signala. Takođe, u literaturi se naziva i referentna stanica.
Bespilotne letelice	*Unmanned Aerial Vehicle* (*UAV*)	Letelica bez ljudske posade.
Bežična komunikacija	*Wireless communication*	Prenos podataka putem radio-talasa ili infracrvenom svetlošću.
Blisko infracrvena svetlost	*Near infra-red* (*NIR*)	Elektromagnetni talasi 750-2.500 nm talasne dužine.
Brzina prenosa podataka	*Baud rate*	Mera brzine prenosa digitalnih elemenata kroz komunikacionu liniju između dva uređaja, npr. *GPS* prijemnik i kontroler.
***CAN-Bus* mreža**	*Controller Area Network*	Mreža prenosa podataka velikom brzinom putem kabela koji spaja elektronske uređaje. Elektronske komponente koje čine *CAN-Bus* magistrale su uglavnom iste, ali protokoli po kojima se odvija komunikacija varira u zavisnosti od proizvođača. Ovaj vid komunikacije se odvija između senzora i kontrolera. U odnosu na standardnu instalaciju, značajno se smanjuje količina kablova u sistemu.
***CF* kartica**	*Compact Flash card*	Memorijska kartica koja se koristi za memorisanje podataka kao što je prinos na parceli ili neki drugi

		parametar koji se generiše na uređaju u traktoru ili nekoj drugoj poljoprivrednoj mašini.
Ciljano terensko nadgledanje	*Guided crop scouting*	Praćenje stanja useva na određenim lokacijama koje su georeferencirane u prostoru, a navođenje do njih se obavlja korišćenjem *GPS* za *GIS*.
Daljinska detekcija	*Remote sensing*	Snimanje objekata sa određenog rastojanja.
DGPS	*Differential Global Positioning System*	Metoda korišćenja *GPS* sistema kojom se postiže viši nivo tačnosti pozicioniranja.
Dielektrik	*Dielectric*	Materijal koji ne provodi električnu energiju. Za svaki materijal se može odrediti dielektrična konstanta na osnovu koje se menja kapacitivnost između dve naelektrisane ploče kondenzatora.
Diferencijalna korekcija	*Differential Correction*	Korekcija *GPS* signala koja se koristi radi poboljšanja tačnosti prijemnika korišćenjem stacionarnog *GPS* prijemnika za koji se zna lokacija.
Digitalizacija	*Digitize*	Digitalni zapis tačke, linije ili poligona na mapi.
Digitalni model visina	*Digital Elevation Model* (*DEM*)	Digitalni prikaz reljefa nekog rejona.
Direktno uzorkovanje	*Direct Sampling*	Ciljano uzorkovanje koje se bazira na postojećim opservacijama gde se na osnovu njih tačno definišu broj i lokacija mesta uzorkovanja.

DOP	*Dilution of Precision*	Ovaj parametar daje informaciju o geometriji pozicije prijemnika u odnosu na satelite. Niža vrednost pokazuje višu verovatnoću preciznijeg određivanja pozicije prijemnika.
Dopunski podaci	*Ancillary data*	Podaci koji služe za verifikaciju ili bolje objašnjavanje relacija između primarnih podataka i nekog prirodnog fenomena na parceli.
***EC* zemljišta**	*Soil electrical conductivity*	Električna provodljivost zemljišta koja je u korelaciji sa teksturom, vlažnošću, sadržajem organske materije, kapacitetom za razmenu katjona itd.
Ekstrapolacija	*Extrapolation*	Ekstrapolacija je primena zakonitosti koje su utvrđene za jedno područje, na drugu, širu, ali ne analiziranu oblast, odnosno polje.
Firmver	*Firmware*	Program koji kontroliše rad elektronskog uređaja.
Fotografija iz vazduha	*Aerial imaging*	Fotografije snimljene sa visine pomoću letelice.
Foto-senzor	*Photosensor*	Senzor koji se koristi za detekciju svetlosti.
Frekventna modulacija	*Frequent Modulation*	Metoda prenosa informacija radio-talasima gde se dešifrovanje obavlja na osnovu promene frekvencije u jedinici vremena.

Frekventna pokrivenost	*Frequency of Coverage*	Mera koliko često senzorski sistem, kao što je satelit, može biti dostupan za prikupljanje podataka sa određenog mesta na terenu.
GDOP	*Geometric Dilution of Precision*	Termin koji kvantifikuje uticaj rasporeda satelita na preciznost merenja pozicije *GPS* prijemnika.
Geodetski datum	Datum	Definiše referentni sistem koji opisuje oblik i veličinu Zemlje. Najčešće korišćen je *WGS* 84. Pogrešan izbor datuma uzrokuje velike greške u pozicijama.
Geografska dužina	*Longitude*	Rastojanje objekta na Zemlji u odnosu na nulti meridijan definisano lučnim koordinatama.
Geografska širina	*Latitude*	Rastojanje objekta na Zemlji u odnosu na nulti meridijan definisano lučnim koordinatama.
Geografski informacioni sistem *GIS*	*Geographic Information System*	Kompjuterski sistem koji se koristi za unos, čuvanje, analizu i prikaz geografskih podataka. *GIS* je alat za izradu tematskih mapa.
Geografski koordinatni sistem	*Geographic Coordinate System*	Referentni sistem koji koristi širinu i dužinu da bi se definisala lokacija tačke na *WGS* 84 elipsoidu.
Geometrijska korekcija	*Geometric Correction*	Korekcija kojom se popravlja pozicija tačaka na slici snimljena daljinskom detekcijom, na osnovu merenja na terenu.

Geoprostorni podatak	*Geographic data*	Podatak koji sadrži informaciju o lokaciji i atributu koji se prati. Često se još i naziva prostorni podatak.
Georeferenciran podatak	*Georeferenced data*	Prostorni podatak koji se odnosi na određenu lokaciju na Zemljinoj površini.
Georeferenciranje	*Georeferencing*	Proces združivanja geolokacije sa nekim numeričkim ili atributivnim podatkom.
Geostacionarni satelit	*Geo-Stationary Satellite*	Satelit koji se nalazi na fiksnoj poziciji u odnosu na Zemlju. Orbita satelita je sinhronizovana sa orbitom Zemlje.
***GIS* fajl sa preporučenim normama**	*Prescription file*	Kompjuterski generisan *GIS* fajl koji sadrži podatke o lokalno specifičnim normama, čitljiv za *VRT* kontroler.
***GIS* sloj**	*Data layer*	Tematski sloj koji sadrži informacije o određenom entitetu koje se mogu prostorno prikazati u *GIS* programu.
GLONASS	Глобальная навигационная спутниковая система	Ruski sistem satelitskog lociranja.
GNSS	*Global Navigation Satellite System*	Satelitski navigacioni sistem
GPS	*Global Positioning System*	Sistem koji koristi satelitske signale kako bi locirao lokaciju prijemnika na Zemlji.
Gruba akvizicija	*Coarse Acquisition* (*CA*)	Standardni navigacioni kod koji je dostupan svim komercijalnim prijemnicima.

HDOP	*Horizontal Dilution of Precision*	Daje informaciju o verovatnoći kvalitetnog pozicioniranja u horizontalnoj ravni.
Hiperspektralni senzor	*Hyperspectral sensor*	Senzor koji meri više stotina pojedinačnih talasnih dužina istovremeno.
Horizontalna tačnost pozicioniranja	*Horizontal Positioning Accuracy*	Odstupanje između izmerene i stvarne lokacije čija je verovatnoća dešavanja 95% u toku 24 h.
Inerciono računanje pozicije	*Dead reckoning*	Metoda računanja pozicije u polju na osnovu podataka o brzini, vremenu, ubrzanju, širini zahvata itd.
Interpolacija	*Interpolation*	Matematička metoda procene nepoznate vrednosti na osnovu vrednosti u okruženju.
Interpolacija na osnovu najbližih merenja	*Nearest neighbor*	Interpolaciona tehnika pri kojoj se nepoznate vrednosti dobijaju na osnovu najbližih vrednosti.
Ponderisanje recipročno rastojanju	*Inverse Distance Weighting*	Metoda interpolacije gde najveći uticaj na procenjenu vrednost imaju tačke koje su prostorno najbliže, dok one udaljenije srazmerno rastojanju imaju manju.
ISOBUS	*ISOBUS*	Standard 11783 koji definiše protokole za komunikaciju između uređaja na poljoprivrednim mašinama. Ovim standardom je omogućena kompatibilnost traktora i

		priključnih mašina različitih proizvođača. Mašine i traktori čija instalacija odgovara *ISOBUS* standardu dolaze sa devetokontaktnim konektorima.
Iteracija	*Iteration*	Ponavljanje matematičke procedure na rezultatima prethodno sprovedene.
Izvršilac	*Actuator*	Uređaj koji se koristi za promenu režima tokom rada, a kojim upravlja kontroler.
Kalibracija monitora prinosa	*Yield calibration*	Procedura koja se koristi za kalibraciju snimača prinosa na kombajnima kako bi izmerena i stvarna vrednost prinosa bile što bliže.
Kašnjenje u merenju prinosa	*End of Pass delay*	Vremenski razmak od momenta košenja useva do dolaska zrna do senzora protoka.
Kinematička korekcija u realnom vremenu	*Real-Time Kinematics Correction*	Korekcija *GPS* signala istovremenim prenosom fazne korekcije signala u realnom vremenu. *RTK* omogućava najviši nivo tačnosti (+/- 2,5 cm) na nivou godišnje ponovljivosti. Za prenos *RTK* neophodna su dva prijemnika. Predaja *RTK* korekcije može biti realizovana preko sopstvene bazne stanice ili preko provajderskih.
Klasifikacija slike	*Image classification*	Tehnika obrade slika koja primenjuje kvantitativne metode za grupisanje

		piksela sa sličnim digitalnim brojem.
Klasifikacija zemljišta	*Land classification*	Jedinica klasifikacije zemljišta u svrhu grupisanja zemljišta sličnih karakteristika.
Konstelacija satelita	*Satellite constellation*	Raspored satelita u orbiti kojim je omogućeno da svaki *GPS* prijemnik na Zemlji uvek ima komunikaciju sa najmanje četiri kako bi mogao odrediti svoju poziciju.
Kontrola sekcija	*Section control*	Sistem koji omogućava nezavisno isključivanje i uključivanje pojedinih delova (kanala) uređaja za aplikaciju, i to ručno ili automatski.
Kontrola uključivanja sekcija	*Auto swath*	Kontrola uključivanja pojedinih sekcija mašine za aplikaciju na osnovu *GPS* pozicije i prethodno urađene površine.
Kontroler	*Controller*	Elektronski uređaj koji komunicira sa perifernim jedinicama i upravlja radom aktuatora na osnovu programa.
Kontroler norme	*Rate controller*	Elektronski uređaj koji menja protok sredstva saglasno predefinisanim preporukama ili algoritmu.
Kontrolne tačke	*Ground Control Points*	Stacionarni objekti na Zemlji koji služe za georeferenciranje slika daljinske detekcije.
Kontrolni segment	*Control Segment*	Zemaljska infrastruktura sačinjena od mreže nadzornih stanica čiji je

		zadatak da ažuriraju satelitske signale.
Konturna linija	*Contour line*	Linija koja predstavlja isti nivo atributa (elevacija, prinos itd.).
Koordinatni sistem	*Coordinate System*	Metoda identifikacije lokacije tačke na zemlji. *GPS* uređaji generišu geografske koordinate, dok se u *GIS* programima koriste pravougaone, projektovane koordinate.
Korak	*Lag*	Rastojanje između grupa uzoraka za koje se računa semivarijansa variograma.
Korekcija u realnom vremenu	*Real-Time Correction*	Korekcija *GPS* signala istovremenim prenosom diferencijalne korekcije.
Koren sredine kvadrata	*Root Mean Square* (*RMS*)	Statistička mera rasipanja normalno raspoređenih podataka u odnosu na njihovu srednju vrednost.
Korigovana slika	*Rectified*	Slika snimljena daljinskom detekcijom koja je prethodno geometrijski korigovana da bi se smanjili efekti orijentacije senzora, vremena merenja itd.
Korisnički segment	*User segment*	*GPS* prijemnici koji se koriste u vojne i civilne svrhe.
Kriging	*Kriging*	Interpolaciona tehnika za dobijanje statistički nepristrasnih procena stanja na neuzorkovanim delovima parcele. Najčešće korišćena metoda za izradu prostornih mapa.

LANDSAT	*LANDSAT*	Serija satelita koji služe za opservaciju Zemlje primenom tehnike daljinske detekcije.
Lidar	*Light detection and ranging*	Tehnika daljinske detekcije koja koristi lasersku svetlost za 3-D merenje površine zemlje.
Lokalni koordinatni sistem	*Local coordinate system*	Koordinatni sistem u kojem su koordinate definisane u odnosu na poznatu lokaciju iz okruženja.
Mapa kontura	*Contour map*	Mapa prinosa (ili nekog drugog parametra) koja prikazuje zone istog nivoa.
Mapa preporuke	*Prescription map*	Prostorna karta koja sadrži informacije o količinama materijala (đubrivo, pesticid ili seme) koji treba primeniti na određenom delu njive korišćenjem tehnologije promenljivih normi (*VRT*).
Merenje u hodu	*On-the-go*	Tehnika merenja gde se senzor pomera kontinualno u vremenu i generiše manje ili više podataka u vremenu.
Merna ćelija	*Load cell*	Uređaj koji prevodi dejstvo sile u izlaznu vrednost električnog signala.
Meta podaci	*Metadata*	Termin koji se koristi da opiše informacije o podacima tipa kvalitet, sadržaj, veličina itd.
Mrežno mapiranje	*Grid mapping*	Lokacije uzimanja uzoraka sa parcele čije su

		lokacije prethodno definisane.
Mrežno uzorkovanje iz centra	*Grid Center Method*	Uzimanje zemljišta iz centra polja pravougaone mreže.
Mrežno uzorkovanje zemljišta	*Grid Soil Sampling*	Uzorkovanje zemljišta na čvorištima pravougaone mreže koja je formirana u *GIS* programu.
Multispektralni senzor	*Multispectral scanner*	Elektromagnetni senzor koji detektuje više talasnih opsega istovremeno.
NAVSTAR	*NAVigation by Satellite Timing and Ranging*	Satelitski navigacioni sistem SAD.
NDVI	*Normalized Difference Vegetation Index*	Indeks vegetacije koji numerički opisuje vigor biljnog pokrivača.
NMEA	*National Marine Electronics Association*	Protokol za prenos informacija sa *GPS* prijemnika na neki drugi uređaj.
OmniSTAR	*OmniSTAR*	Diferencijalni korekcioni signal koji se prima od satelita. Preduslov korišćenja je plaćanje pretplate i posedovanje adekvatne *GPS* opreme.
Optički senzori	*Optical sensors*	Detektori osetljivi na svetlost.
Osnovna mapa	*Base map*	Osnovna mapa polja koja pokazuje granice i neke strukture (put, kanal, drvo itd.).
Otrofotografija	*Orthophoto*	Fotografija iz vazduha koja kompenzuje izobličenja usled postojanja neravnina, odnosno reljefnih struktura.
Paralelno uklapanje prohoda	*Parellel swating*	Vođenje vozila po pravim paralelnim putanjama bez ostavljanja preskoka ili

		preklopa između uzastopnih prohoda.
Pasivni senzor	*Passive sensor*	Senzor koji meri prirodno izračene ili reflektovane el. magnetne talase.
***PCMCIA* kartica**	*Persona\Computer Memory Card International Association*	Memorijska kartica za smeštaj podataka o prinosu na snimačima prinosa.
Piksel	*Pixel*	Skraćenica za pojam elementarnog dela slike (*Picture element*). Piksel ima pravilan kvadratni oblik koji na slici zauzima pravilan geometrijski raspored. Svaki piksel predstavlja podatak o izmerenoj vrednosti neke karakteristike.
Panhromatik	*Panchromatic*	Slike formirane od talasa dužine 0,45–0,90 μm i obično su crno-bele boje.
Pokretni prijemnik	*Rover*	Odnosi se na *GPS*/*GNSS* uređaj montiran na pokretnu platformu.
Poligon	*Polygon*	Površina ograničena zatvorenom konturom linija, koja opisuje neku karakteristiku, npr. sličan prinos, tip zemljišta itd.
Precizan (P) kod	*P Code*	Svaki satelit ima jedinstveni kod za prenos navigacionih poruka. Ovaj kod je najkomplikovaniji i mogu ga dešifrovati samo vojni prijemnici.
Precizna poljoprivreda	*Precision farming*	Strategija primene materijala u poljoprivrednoj proizvodnji uz uvažavanje lokalnih

		nejednakosti parcele sa ciljem postizanja većih zarada, smanjenja zagađenja prirodne sredine i efikasnijeg iskorišćenja ljudskog i mašinskog potencijala.
Prijemnik (*GPS*)	*Receiver*	Kompjuterski radio-prijemnik koji prima informacije sa satelita u obliku radio-talasa, te na osnovu njih preračunava geografsku poziciju.
Projekcija	*Map projection*	Tehnika preslikavanja geografskih oblika sa površine Zemlje na ravnu površ.
Promenljivi otpornik	*Potentiometer*	Elektronska komponenta koja menja svoju unutrašnju otpornost na proticanje električne struje sa promenom pozicije ili geometrije.
Prostorna rezolucija	*Spatial Resolution*	Veličina najmanjeg objekta koji se može razlikovati od drugih u prostornom prikazu.
Prostorna varijabilnost	*Spatial Variability*	Prostorna heterogenost biljaka, zemljišta ili pojava na polju.
Prostorni podaci	*Spatial data*	Podaci koji, osim informacije o entitetu kojeg predstavljaju, sadrže i informaciju o geografskoj lokaciji.
Prostorno prilagodljiv pristup upravljanju poljem	*Site Specific Crop Management* (*SSCM*)	Upotreba različitih prostorno orijentisanih informacija u cilju donošenja lokalno specifičnih odluka.
Prostorno prilagodljiva norma primene	*Variable Rate Application* (*VRA*)	Protokol po kojem se norma primene

		repromaterijala prilagođava uslovima na parceli.
Pseudorang	*Pseudorange*	Procena stvarnog rastojanja između *GPS* prijemnika i satelita. Procenjena vrednost sadrži određen nivo greške usled atmosferskog uticaja i kašnjenja časovnika.
Pseudoslučajan šum	*Pseudo Random Noise* (*PRN*)	Binarna sekvenca u kodu koja sadrži šum kao sastavni deo. Ovakvo kodiranje signala omogućava satelitima da prenose signale sa niskim nivoima snage.
Radar	(*RAdio Detection And Ranging*)	Metoda za određivanje pozicije ili brzine objekta na osnovu merenja karakteristika reflektovanog signala.
Radiometarska korekcija	*Radiometric Correction*	Metoda smanjenja izobličenja satelitskih slika zbog promene nivoa radijacije u vremenu.
Radiometarski sistem	*Radiometric System*	Tehnika merenja protoka zrna na kombajnskim meračima prinosa. Zasniva se na merenju intenziteta radioaktivnosti koja se menja sa promenom protoka zrna.
Rasterski format	*Raster Format*	Način skladištenja *GIS* podatka u vidu pravilne pikselizovane mreže.
Reflektansa	*Reflectance*	Odnos između količine zraka koji dospeju do površine u odnosu na količinu reflektovanih zraka.

Rezolucija	*Resolution*	Nivo detalja u zapisu. Postoji više tipova rezolucija.
Satelit	*Satellite*	Mobilni uređaj koji se kreće po orbitama oko Zemlje sa ciljem prenosa različitih informacija.
SBAS	*Satellite-Based Augmentation System*	Satelitski sistem koji omogućava korekciju osnovnog satelitskog signala prenošenjem diferencijalne korekcije.
Selektivna dostupnost	*Selective Availability* (*SA*)	Procedura uvođenja greške u *GPS* signalima od strane Američkog Ministarstva za odbranu kako bi se ograničila preciznost civilnim korisnicima.
Selektivna primena na bazi mapa	*Map-Based application*	Sistem koji prilagođava normu primene određenog sredstva prema preporukama datim u *GIS* mapama i trenutnoj *GPS* lokaciji.
Selektivna primena na bazi senzorskog očitavanja	*Sensor-Based application*	Sistem koji prilagođava normu primene određenog sredstva prema očitavanjima senzora i logičke šeme algoritma.
Semi varijansa	*Semi Variance*	Mera razlikovanja tačaka na određenom rastojanju.
Senzor pritiska	*Pressure sensor*	Uređaj koji menja električni signal proporcionalno promeni pritiska
Senzor protoka zrna	*Mass flow sensor*	Senzor koji prati protok zrna u okviru sistema merenja prinosa.

Senzor vlage u zrnu	*Moisture sensor*	Senzor koji meri vlagu u zrnu u sistemu merenja prinosa na kombajnu.
Senzori biljaka	*Crop sensor*	Optički senzori za merenje stanja biljke na osnovu reflektovane svetlosti.
Serijski port (RS232)	*Serial port*	Standardni priključak koji omogućava direktnu komunikaciju sa *PC* prema definisanim protokolima.
Snimač prinosa	*Yield monitor*	Uređaj za permanentno merenje i snimanje prinosa.
Sonda za uzorkovanje zemljišta	*Soil probe*	Alat za uzimanje uzoraka zemljišta.
Spektralni odziv	*Spectral Response*	Spektralna karakteristika reflektovanih zraka u zavisnosti od izvora zračenja.
Spektroskopija	*Spectroscopy*	Posmatranje karakteristika izračenih elektromagnetnih talasa sa nekog objekta korišćenjem optičkog uređaja.
Standardna devijacija	*Standard Deviation*	Prosečno odstupanje izmerenih vrednosti od aritmetičke sredine skupa.
Stratifikovano uzorkovanje	*Cluster sampling*	U poljoprivredi se grupisanje radi kada se poznaje karakter osnovnog skupa i kada se mogu locirati specifične zone. Tada se prave potpopulacije u okviru kojih pojedinačni uzorci mogu biti slučajno ili već na neki drugi način odabrani.
Stvarni podaci sa terena	*Ground Reference data*	Podaci dobijeni opservacijom u polju radi

		interpretacije informacija dobijenih senzorskom detekcijom.
Svemirski segment	*Space segment*	*GPS* sateliti u orbitama na visini od 20.000 km.
Svojstvo	*Feature*	Geografska osobina zemljišta koja se opisuje prostorno i atributivno, kao što su polje, put, drvo.
Tačnost (*GPS*)	*Accuracy*	Odstupanje između stvarne geopozicije prijemnika i one koju generiše *GPS* uređaj. Ovaj pokazatelj se koristi za ocenjivanje performansi *GPS* uređaja.
Talasni opseg	*Band width*	Definisani interval talasnih dužina elektromagnetnog spektra.
Tematska karta	*Thematic map*	Klasifikovana slika snimljena daljinskom detekcijom.
Tenziometar	*Tensiometer*	Uređaj koji meri potencijal za vodu zemljišta.
Terenska kompenzacija	*Terrain compensation*	Dodatna opcija na autovođenim *GPS* sistemima koji koriguju poziciju prijemnika na nagnutim terenima.
Terensko potvrđivanje	*Ground Truthing*	Potvrđivanje tačnosti podataka daljinske detekcije upoređivanjem sa stvarnim vrednostima uzetim na terenu po kriterijumu zajedničke lokacije.
Termalni opseg	*Thermal band*	Infracrveni talasi.
USB	*Universal Serial Bus*	Mrežni standard zasnovan na serijskoj arhitekturi. Koristi se za

		povezivanje spoljašnjih uređaja sa *PC*-jem.
UTM	*Universal Transverse Mercator*	Matematički model za prevođenje geografskih koordinata u pravougaon. *UTM* je globalni model koji je podeljen u više zona koje prikazuju određene delove Zemlje. Koordinate su izražene u metrima.
Varijabilna primena na osnovu mape	*Map-based variable rate application*	Sistem koji podešava normu tretiranja na osnovu informacije koja je sadržana u elektronskoj mapi.
Variogram	*Variogram*	Matematički model koji opisuje prostorno odstupanje između vrednosti na rastojanjima definisanim veličinom koraka.
VDOP	*Vertical Dilution of Precision*	Daje informaciju o verovatnoći kvalitetnog pozicioniranja po visini.
Vektorski format	*Vector format*	Oblik podatka za skladištenje i prikazivanje prostornih podataka u *GIS*-u, i to u vidu tačaka, linija i poligona. U odnosu na raster, vektorski podaci su geografski mnogo precizniji.
Vođenje	*Guidance*	Prikazivanje idealne putanje za uklapanje prohoda radnih mašina.
Vremenska rezolucija	*Temporal resolution*	Period između dva merenja.
Vremenska varijabilnost	*Temporal Variability*	Vremenska promenljivost određenih parametara na parceli.

WAAS	*Wide Area Augmentation System*	Izvor diferencijalne korekcije *GPS* signala koji prenosi infrastruktura *Federal Aviation Administration*.
***WGS* 84 koordinatni sistem**	*World Geodetic System* 1984	Matematički model aproksimacije Zemljine površine gde se pozicija definiše ugaonim koordinatama (širina i dužina).

17 *LITERATURNE ODREDNICE*

1. *Adamchuk V, Hummel J. W, Morgan M. T, Upadhyaya S. K. 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture, Comput. Electron. Agr., 44, pp. 71-91.*
2. *Adamchuk V. I, Lund E. D, Sethuramasamyraja B, Morgan M. T, Dobermann A, Marx D. B. .2005. Direct measurement of soil chemical properties on-the-go using ion-selective electrodes. Comput Electron Agric 48:272–294.*
3. *Adamchuk V. I, Skotnikov A. V, Speichinger J. D, Kocher M. F. 2004. Development of an instrumented deep-tillage implement for sensing of soil mechanical resistance. T. ASAE 47(6):1913–1919.*
4. *Adamchuk V.I, Hoy R.M, Meyer G.E, Kocher M.F. 2007. GPS-based auto-guidance test program development. In. J.V. Stafford, editor. Precision agriculture '07. 6th European Conference on Precision Agriculture Skiathos, Greece 3-6 June 2007.*
5. *Al-Gaadi K. A, Ayers P. D. 1998. Assembling real-time DGPS—Testing and investigating factors that affect its accuracy, Applied Engineering in Agriculture, 14(6), 659-665.*
6. *Al-Janobi A. A, Al-Suhaibani S. A. 1998. Draft of primary tillage implements in sandy loam soil. T. ASAE, 14(4):343-348.*
7. *Alimardani R, Fazel Z, Akram A, Mahmoudi A, Varnamkhasti M. G. 2008. Design and development of a three-point hitch dynamometer. Journal of Agricultural Technology, 4: 37–52.*
8. *Allred B. J, Freeland R. S, Farahani H. J, Collins M. E. 2010. Agricultural geophysics: Past, present, and future. In Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, SAGEEP 2010, pp. 190-202.*
9. *Allred B.J, Groom D, Ehsani M. R, Daniels J. J. 2008. Resistivity methods. In B.J. Allred, J.J. Daniels i M.R. Ehsani (eds.) Handbook of Agricultural Geophysics, pp. 85–108. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, Florida.*
10. *Andrade-S´anchez P, Upadhyaya S. K, Sakai K. 2003. Variability in draft data observed during tillage. ASAE Paper No. 031121.ASAE, St. Joseph, MI.*
11. *Tagarakis A, Kostić M, Ljubičić N, Kitić G, Pandžić M. 2019. In-field testing of new low-cost multispectral sensor for assessing maize yield potential. EFITA 2019 „Digitizing Agriculture"Rhodes, pp. 36-41, Greece, June 27-29.*
12. *ASABE (2007 and 2012) American Society of Agricultural and Biological Engineers. Standards, S 578 and S 579. http://elibrary.asabe.org/standards.asp*
13. *ASAE Standards, 2004. S313.3. Soil Cone Penetrometer. 50th ed.,ASAE, St. Joseph, MI.*
14. *Askari M, Komarizade M. H, Nikbakht A. M, Nobakht N, Teimourlou R. F. 2011. A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements, Res. Agr. Eng. 57(4):128–136.*
15. *Auernhammer H, Demmel M, Pirro P. J. M. 1995. Yield measurement on self propelled forage harvesters. Paper No. 951757, ASAE, St. Joseph, MI.*
16. *Auernhammer H, Demmel M, Pirro P. J. M. 1997. Throughput and yield sensing in self-propelled forage harvesters VDI Bericht 1356:135–138.*
17. *Bae Y. H, Borgelt S. C, Searcy S. W, Schueller J. K, Stout B. A. 1989. Mapping of spatially variable yield during grain combining. Trans ASAE 32(3):826–829.*
18. *Ball D. A. 1992. Weed seedbank response to tillage, herbicides, and crop rotation sequence. Weed Sci. 40:654–659.*
19. *Baral B. R, Adhikari P. 2015. Use of optical sensor for in season nitrogen management and grain yield prediction in maize. Journal of Maize Research and Development, 1(1), 64-70.*
20. *Bean G. M, Kitchen N. R, Camberato J. J, Ferguson R. B, Fernandez F. G, Franzen D. W, Laboski C. A, Nafziger E. D, Sawyer J. E, Scharf P. C, Schepers J, Shanahan J. S. 2018. Active-optical reflectance sensing corn algorithms evaluated over the United States Midwest corn belt. Agronomy Journal, 110, 2552–2565.*
21. *Bennur P. J, Taylor R. K. 2010. Evaluating the response time of a rate controller used with a sensor-based variable rate application system. Appl Eng Agric 26(6):1069–1075.*

22. *Bentaher H, Hamza H, Kantchev G, Maalej A, Arnold W. 2008. Three-point hitch-mechanism instrumentation for tillage power optimization. Biosys. Eng. 100 pp. 24 – 30.*
23. *Bevan B. 1998. Geophysical exploration for archaeology: an introduction to geophysical exploration. Midwest Archaeological Center. National Park Service, US Department of the Interior. Special Report No. 1:13.*
24. *Bhatti A. U, Mulla D. J, Frazier, B. E. 1991. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. Remote Sensing of the Environment, 37:181–191.*
25. *Biddoccu M, Ferraris S, Opsi F, Cavallo E. 2016. Long-term monitoring of soil management effects on runoff and soil erosion in sloping vineyards in Alto Monferrato (North–West Italy). Soil. Till. Res. 155, 176–189.*
26. Bogdanović D, Ubavić M, Malešević M, Čuvardić M. 1997. *Značaj đubrenja za očuvanje plodnosti černozema.* XXXI Seminar agronoma, Novi Sad, 19-26.
27. *Bogrekci I, Godwin R. J. 2007. Development of a mechanical transducer for real-time soil tilthsensing. Biosyst Eng 98:127–137.*
28. *Bombien M. 2005. Comparison of pass by pass driving systems. Rationalisierungs- Kuratorium für Landwirtschaft (RKL), Rendsburg, No. 4.1.0, pp 1203–1224.*
29. *Borgelt S. C, Harrison J. D, Sudduth K. A, Birrell S. J. 1996. Evaluation of GPS for applications in precision agriculture; Appl. Eng. Agric. 12(6) 633–638.*
30. *Borregaard T, Nielsen H, Nørgaard L, Have H. 2000. Crop-weed discrimination by line imaging spectroscopy. J. Agric. Eng. Res., 75, pp. 389–400.*
31. *Bohnenkamp D, Behmann J, Anne-Katrin Mahlein. 2019. In-Field Detection of Yellow Rust in Wheat on the Ground Canopy and UAV Scale. Remote Sesnsing, 11, 2495.*
32. *Bowers C. G, Collins C. A, Harris E. P. 2006. Low soil moisture planting of cotton for optimum emergence. Appl Eng Agric 22(6):801–808.*
33. *Bruinsma, J. 2009. By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? Conference Proceedings.*
34. *Buchter B, Aina P. O, Azari A. S, Nielsen D. R. 1991. Soil spatial variability along transects. Soil Technol. 4:297-314.*
35. *Burgess T. M, Webster R. 1980a. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, 1, the semivariogram and punctual kriging. J. Soil Sci. 31:315-331.*
36. *Burgess T. M, Webster R. 1980b. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. II. Block kriging. Journal of Soil Science, 31:333–341.*
37. *Campbell D. J, O'Sullivan M. F. 1991. The cone penetrometer in relation to traffcability, compaction and tillage. In: Soil Analysis: Physical Methods. (Smith K A; Mullins C E, eds). New York:Marcel Dekker Inc.*
38. *Cay A, Kocabiyik H, May S. 2018. Development of an electro-mechanic control system for seed-metering unit of single seed corn planters Part I: Design and laboratory simulation. Comput. Electron. Agric. 144, 71–79.*
39. *Cerovic Z. G, Samson G, Morales F, Tremblay N, Moya I .1999. Ultraviolet-induced fl uorescence for plant monitoring: present state and prospects. Agronomie 1:543–578.*
40. *Chang C. W, Laird D. A, Mausbach M. J, Hurburgh C. R. 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analyses of soil properties. Soil Sci Soc Am J, 65:480–490.*
41. *Christy C. D. 2008. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. Computers and Electronics in Agriculture 61(1):10-19.*
42. *Chukwu E, Bowers Jr. C. G. 2005. Instantaneous multiple-depth soil mechanical impedance sensing from a moving vehicle. T. ASAE 48(3):885–894.*
43. *Chung S. O, Suddth K. A. 2006a. Soil failure models for vertically operating and horizontally operating strength sensors. T. ASABE, 49(4): 851–863.*
44. *Chung S. O, Sudduth K A, Hummel J. W. 2003. On-the-go soil strength profile sensor using a load cell array. ASAE Paper No.031071. ASAE, St. Joseph, MI.*
45. *Chung S. O, Sudduth K. A, Hummel J. W. 2006b. Design and validation of an on-the-go soil strength profile sensor. Transactions of ASBE, 49(1):5-14.*
46. *Chung S. O, Sudduth K. A, Motavalli P. P, Kitchen N. R. 2004a. Relating on-the-go-soil strength data to cone index. ASAE Paper No. MC04205. ASAE, St. Joseph, MI.*
47. *Chung S. O, Sudduth K. A, Plouffe C, Kitchen N. R. 2004b. Evaluation of an on-the-go soil strength profile sensor using soil bin and field data. ASAE Paper No. 041039. ASABE, St. Joseph, MI.*
48. *Chung S. O, Sudduth K. A, Tan J. 2005. Variability structure of on-the-go soil strength sensor data. ASAE Paper No. 051039. ASABE, St. Joseph, MI.*
49. *Clark J, Fernandez F. 2019. Effectiveness of Split Nitrogen Applications in the Midwestern U.S.. Agronomy Sciences, Research summary, Pioneer, pp. 109-111.*

50. *Clark R. L. 1999. Soil strength variability within fields. In: Precision Agriculture '99: Papers Presented at the 2nd European Conference on Precision Agriculture, edited by J. V. Stafford (Sheffield Academic Press, Sheffield, UK), pp. 201–210.*
51. *Cochrane W. W. 1993. The development of American agriculture. A historical analysis. Minneapolis MN, USA: University of Minnesota Press.*
52. *Cope J. S, Corney D, Clark J. Y, Remagnino P, Wilkin P. 2012. Plant species identification using digital morphometrics: A review. Expert Syst. Appl. 39, pp. 7562–7573.*
53. *Corwin D. L. 2008. Past, present, and future trends in soil electrical conductivity measurements using geophysical methods. In Allred B. J, Daniels J. J, Ehsani M.R. (eds.) Handbook of Agricultural Geophysics, pp. 17-44. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, Florida.*
54. *DeBoer J, Ericson B. 2019. Setting the Record Straight on Precision Agriculture Adoption. Agronomy Journal, 111(4):1-18.*
55. *Daniels D. J. 2004. Ground penetrating radar. 2nd edition. The Institute of Electrical Engineers, London, United Kingdom.*
56. *Delogu G, Cattivell L, Pecchioni N, De Falcis D, Maggiore T, Stanca A. M. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. Eur. J. Agron. 9, 11–20.*
57. *Demmel M. 2001. Yield recording in combines – yield determination for site-specifi c yield sensing (in German). DLG Merkblatt 303. Hrsg: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Fachbereich Landtechnik, Ausschuss für Arbeitswirtschaft und Prozesstechnik, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, 20 p.*
58. *Demmel M, Schwenke T, Böck J, Heuwinkel H, Locher F, Rottmeier J. 2002. Development and field test of a yield measurement system in a mower conditioner. EurAgEng Paper Number 02-PA-032, AgEng Budapest.*
59. *Domsch H, Kaiser T, Witzke K, Giebel A. 2003. Precision farming – the indirect way (in German). Neue Landwirtsch 5:48–50.*
60. *Doolittle J. A, Brevik. E. C. 2014. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. Geoderma 223-225:33-45.*
61. Džamić R, Stevanović D. 2000. *Agrohemija.* Poljoprivredni fakultet, Zemun.
62. *FAO bulliten 54. Tillage system for soil and water conservation.*
63. *Farooq M, Siddique K. H. M. 2015. Conservation agriculture: Concepts, brief history, and impacts on agricultural systems. In: Farooq, M., Siddique, K.H.M. (Eds.), Conservation Agriculture. Springer International Publishing Switzerland, pp. 3–17.*
64. *Formato A, Faugno S, Paolillo G. 2005. Numerical simulation of soil-plough mouldboard interaction. Biosyst. Eng. 92(3):309–316.*
65. *Fornstrom, K. J, Miller S. D. 1989. Comparison of sugar beet planters and planting depth with two sugar beet varieties. J. Am. Soc. Sugar beet Technol. 26 (3–4), 10–16.*
66. *Ganivet E. 2019. Growth in human population and consumption both need to be addressed to reach an ecologically sustainable future. Environ Dev Sustain.*
67. *Gaultney L. D. 1989. Prescription farming based on soil property sensors. ASAE Paper No. 89-1036. ASAE, St. Joseph, MI.*
68. *Gebbers R, Lück E, Dabas M, Domsch H. 2009. Comparison of instruments for geoelectrical soil mapping at the field scale. Near Surface Geophysics, 7(3):179-190.*
69. *Gerhards R, Christensen S. 2003. Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. Weed Res 43:1–8.*
70. *Gerhards R, Oebel H. 2006. Practical experiences with a system for site-specifi c weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. Weed Res 46:185–193*
71. *Gerhards R, Sökefeld M, Schulze-Lohne K, Mortensen D. A, Kühbauch W. 1997. Site specific weed control in winter wheat. J Agron Crop Sci 178:219–225.*
72. *Gi T, Taniguchi J. T, Makanga K, Ohtomo T, Kishimoto W. R, Vanden Berg G. E. 1968. Soil dynamics in tillage and traction. Agriculture Handbook No. 316, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Washington, DC.*
73. *Girma G. 1992. Dynamic effect of speed, depth and soil strength upon forces on plough components. J. agric. Engng. Res. 51: 47-66.*
74. *Godwin R. J, Spoor G, Soomro M. S. 1984. The effect of tine arrangement on soil forces and disturbance. J. Agric. Engng. Res. 30:47–56.*
75. *Godwin R. J, Spoor G. 1977. Soil failure with narrow tines. J. Agric. Eng. Res. 22(3):213–228.*
76. *Gogarty B, Robinson I. 2012. Unmanned Vehicles: A History, Background and Current State of the Art. Journal of Law, Information and Science 21: 1–14.*
77. *Gomez-Gil J, Alonso-Garcia S, Gómez-Gil F.J, Stombaugh T. 2011. A Simple Method to Improve Autonomous GPS Positioning for Tractors. Sensors, 11(6):5630-5644.*

78. *Gomez-Gil J, Ruiz-Gonzalez R, Alonso-Garcia S, Gomez-Gil F.J. 2013. A kalman filter implementation for precision improvement in low-cost GPS positioning of tractors, Sensors 13 (11):15307-15323.*
79. *Goryachkin V. P. 1968. Collected works: Vol 1. (Ed. Luchinskii, N.D.) Moskova. (Israeli Programme for Scientific Translations). US Department of Agriculture and National Science Foundation, Washington, DC, USA.*
80. *Granitto P. M, Navone H. D, Verdes P. F, Ceccatto H. A. 2002, Weed seeds identification by machine vision. Comput. Electron. Agric. 33, pp. 91–103.*
81. *Greenhouse J. P, Slaine D. D. 1983. The use of reconnaissance electromagnetic methods to map contaminant migration. Ground Water Monitoring Review 3(2):47-59.*
82. *Griepentrog H. W, Persson K. 2001. A model to determine the positional lag for fertilizer spreaders. In: Grenier G, Blackmore S (eds) Proceedings of the 3rd European conference on precision agriculture, Montpellier. Agro Montpellier, Ecole Nationale Superieure Agronomique, pp 671–676.*
83. *Griepentrog H.W. 1998. Seed distribution over the area. EurAgEng. 98-A-059, Oslo.*
84. *Grisso R. D, Yasin M, Kocher M. F. 1994. Tillage Implement Forces Operating in Silty Clay Loam. ASAE paper br.94-1532, St.Joseph, Mich., USA.*
85. *Guerrero J. M, Pajares G, Montalvo M, Romeo J, Guijarro M. 2012. Support vector machines for crop/weeds identification in maize fields. Expert Syst. Appl., 39, pp. 11149–11155.*
86. *Gutjahr C, Sökefeld M, Gerhards R 2012. Evaluation of two patch spraying systems in winter wheat and maize. Weed Res 52:510–519.*
87. *Han S, Zhang Q, Ni B, Reid J.F. 2004. A guidance directrix approach to vision-based vehicle guidance systems. Computers and Electronics in Agriculture 43: 179-195.*
88. *Hayhoe H. N, Lapen D. R, McLaughlin N. B. 2002. Measurements of Mouldboard Plow Draft: I.Spectrum Analysis and Filtering. Precis. Agric. 3:225–236.*
89. *Heege H. J, Reusch S. 1996. Sensor for on-the-go control of site-specific nitrogen top dressing. In: International meeting in Phoenix. American Society of Agric Engineering, St. Joseph, Paper No. 961018.*
90. *Heege H. J. 1967. Equidistant spacing-, drillling- and broadcast sowing of small cereals with spezial reference to the seed distribution over the area. KTL-Berichte über Landtechnik 112, Helmut-Neureuter Verlag, München-Wolfratshausen.*
91. *Heege H. J, Feldhaus B. 2002a. Site specific control of seed-numbers per unit area for grain drills. Agric Eng Int CIGR J. IV, PM 01 012. http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal*
92. *Heege H. J, Thiessen E. 2002b. On-the-go sensing for site-specific nitrogen top dressing. In: ASAE international meeting/CIGR XVth world congress, Chicago. ASAE, St. Joseph, Paper No. 021113.*
93. *Heege H. J. 1993. Seeding methods performance for cereals, rape and beans. Trans. ASAE 36 (3), 653–661.*
94. *Heggenstaller A, Munaro E, Gunzenhauser B. 2019. Analytics of Nitrogen Management with Encirca® Services. Agronomy Sciences, Research summary, Pioneer, 104-108.*
95. *Hemmat A, Adamchuk V. I, Jasa P. 2008. Use of an instrumented disc coulter for mapping soil mechanical resistance. Soil Till. Res. 98 (2):150–163.*
96. *Hennes D, Baert J, De Baerdemaeker J, Ramon H. 2002. Yield mapping of sugar beets with a momentum type fl ow rate sensor. In: Proceedings of the conference agricultural engineering, Halle 2002. VDI, Düsseldorf, pp 247–252.*
97. *Heraud J. A, Lange A. F. 2009. Agricultural automatic vehicle guidance from horses to GPS: how we got there, and where we are going. In: Distinguished lecture series, agricultural equipment technology conference, Louisville, 9–12 Feb 2009. ASABE, St. Joseph*
98. *Hergert G. W. 2015. How to Properly Apply Nitrogen Fertilizer. https://www.youtube.com/watch?v=FjDxSAKfMrw&feature=youtu.be.*
99. *Holland K. H, Schepers J. S. 2010. Derivation of a variable rate nitrogen application model for in-season fertilization of corn. Agron J 102(5):1415–1419.*
100. *Holler F. J, Skoog D. A, Crouch S. R. 2006. Principles Of Instrumental Analysis. Thomson Brooks*
101. *Homayouni S, Germain C, Lavialle O, Grenier G, Goutouly J. P, Van Leeuwen C, Da Costa J. P. 2008. Abundance weighting for improved vegetation mapping in row crops: application to vineyard vigour monitoring. Can J Remote Sens, 34(2):S228–S239*
102. *https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Age_classes_of_farm_managers,_by_gender,_EU-28,_2016_(%25_of_all_farm_managers).png*
103. *https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Distribution_of_EU_farms_and_utilised_agricultural_area_according_to_farm_size,_2016_(%25).png*
104. *https://www.tehnologijahrane.com/iz-novina/presek-poljoprivredne-proizvodnje-u-srbiji-za-2016*
105. *Hu G. C. Y. 1965. Bearing capacity of foundations with overburden shear. Sols Soils 13: 11-18.*

106.Hu W, Schoenau J, Bing C. S. 2015. Representative sampling size for strip sampling and number of required samples for random sampling for soil nutrients in direct seeded fields. Prec. Agric. 2014, 9384.
107.Huisman J. A, Hubbard S. S, Redman J. D, Annan A. P. 2003. Monitoring soil water content with ground-penetrating radar: A review. Vadose Zone Journal 2:476-491.
108.Institute of Navigation 1997. ION STD 101: Recommended Test Procedures for GPS Receivers. Alexandria, ION, Alexandria, VA, USA.
109.Isensee E, Reckleben Y. 2009. Effects of site-specifi c soil cultivation by a tined implement (in German). Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft, 4.1.1.3, Rendsburg (http://www.rkl-info.de)
110.Islam K, Singh B, McBratney A. 2003. Simultaneous estimation of several soil properties by ultraviolet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. Australian Journal of Soil Research 41(6):1101-1114.
111.ISO, 2009. ISO/WD 12188-1, tractors and machinery for agriculture and forestry. Testing procedures for positioning and guidance systems in agriculture. Part II: Satellite- based auto-guidance systems tested during straight and level travel. International Organization for Standardization.
112.Ivošević B, Han Y.G., Cho Y, Kwon O. 2015. The use of conservation drones in ecology and wildlife research. J. Ecol. Environ. 38(1): 113-118, 2015.
113.Jaggard K. 1990. Are there too many beets in our fields? British Sugar Beet Rev. 58 (1), 6–9.
114.Journel A. G, Huijbregts C. J. 1978. Mining geostatistics. Academic Press. New York.
115. Jovanović D. 2015. *Model objektivno orijentisane klasifikacije u identifikaciji geoprostornih objekata.* Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih nauka.
116.Kalnicky D. J, Singhvi R. 2001. Field portable XRF analysis of environmental samples. Journal of Hazardous Materials (83):93-122.
117. Karamarković, J. 2005. *Fizika.* Niš: Univerzitet u Nišu, Građevinsko - arhitektonski fakultet, Građevinski odsek.
118.Karayel D, Ozmerzi A. 2002. Effect of tillage methods on sowing uniformity of maize. Can. Biosyst. Eng. 44 (2), 23–26.
119.Kassam A, Derpsch R, Friedrich T. 2014. Global achievements in soil and water conservation: The case of Conservation Agriculture. ISWCR 2 (1), 5–13.
120.Kepner R. A, Bainer R, Barger E. L. 1982. Principles of Farm Machinery, 3rd Edn. AVI Publishing Co., Inc. Goryachkin V. P. 1968. Collected works: Vol 1. (Ed. Luchinskii, N.D.) Moskova. (Israeli Programme for Scientific Translations). US Department of Agriculture and National Science Foundation, Washington, DC, USA.
121.Kheiralla A. F, Yahya A, Zohadie M, Ishak W. 2003. Design and development of a three-point auto hitch dynamometer for an agricultural tractor. AJSTD, 20(3-4):271-288.
122.Kim H. J, Hummel J. W, Sudduth K. A, Birell S. J. 2007a. Evaluation of phosphate ion-selective membranes and cobalt-based electrodes for soil nutrient sensing. Trans ASABE, 50(2):415–425
123.Kim H. J, Hummel J. W, Sudduth K. A, Motavalli P. P. 2007b. Simultaneous analysis of soil macronutrients using ion-selective electrodes. Soil Sci Soc Am J 71(6):1867–1877.
124.Köller K. 2002. Techniques of Soil Tillage. In Soil and tillage in agroecosistems, CRC Press 2002, pp. 1-25.
*125.*Kostić M, Dedović N, Savin L, Snežana Matić Kekić. 2015a. *Uticaj konfiguracije traktora na kvalitet vođenja priključne mašine u šablonu paralelnih prohoda-teorijska analiza. Savremena poljoprivredna tehnika,* 41(3): 155-164.
*126.*Kostić M, Dedović N. 2016. *Uticaj radne brzine i osobina zemljišta na otpor vuče raonog pluga. Traktori i pogonske mašine,* 21(2/3):93-100.
127.Kostić M, Malinović N, Meši M. 2011. Opto-electronic sowing control on seed drills. Cont. Agric. Eng. 37 (1), 11–22.
128. Kostić M, Malinović N. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu. 2014a. *Univerzalni ram za merenje mehaničkog otpora obrade zemljišta na priključnim poljoprivrednim mašinama.* Republika Srbija. Patent broj 1384.
*129.*Kostić M, Meši M, Benka P, Crnobarac J, Malinović N. 2013. *Prostorno lociranje sabijenih zona u zemlišnom profilu primenom gps i gis tehnologije. Savremena poljoprivredna tehnika,* 39(3):187-196.
130.Kostić M, Rakić D, Ličen H, Malinović N. 2014b. Design and construction of three point hitch device for measuring draft of tillage implement. Data acquisition and post processing analysis. J. Food Agric. Environ., 12(2): 1300-1307.
131.Kostić M, Rakić D, Radomirović D, Savin L, Dedović N, Crnojević V, Ljubičić N. 2018. Corn seeding process fault cause analysis based on a theoretical and experimental approach. Computers and Electronics in Agriculture, 151 (2018) 207–218.
132.Kostić M, Rakić D, Savin L, Dedović N, Simikić M. 2016. Application of an original soil tillage resistance sensor in spatial prediction of selected soil properties. Comput.Electron. Agr., 127:615-624.

133. Kostić M. 2015b. *Razvoj mernog sistema za poziciono merenje mehaničkog otpora zemljišta.* Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet.
134. *Kumar L, Schmidt K. S, Dury S, Skidmore A. K. 2001. Review of hyperspectral remote sensing and vegetation Science. In: Imaging spectrometry and vegetation science. Netherlands: Kluwer Academic Press.*
135. *Kumhala F, Kroulik M, Prosek V. 2007. Development and evaluation of forage yield measure sensors in a moving-conditioning machine. Comput Electron Agric 58(2):154–163.*
136. *Kumhala F. Kroulik M, Masek J, Prošek V. 2003. Development and testing of two methods for the measurement of the mowing machine feed rate. Plant, Soil and Environment. 49. 519-524. 10.17221/4187-PSE.*
137. *Ladha K. J, Pathak H, Krupnik T. J, Six J, van Kessel C. 2005. Efficiency of Fertilizer nitrogen in cereal production: Retrospects and prospects, Adv. Agron., 87, pp. 85–156.*
138. *Lamb D. W, Brown R. B. 2001. Remote-sensing and mapping of weeds in crops. J. Agric. Eng. Res. 78, 117–125.*
139. *Lan Y, Kocher M. F, Smith J. A. 1999. Opto-electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds. J. Agric. Eng. Res. 72 (2),119–127.*
140. *Lapen D. R, Hayhoe H. N, Topp G. C, McLaughlin N. B, Gregorich E. G, Curnoe W. E. 2002. Measurement of mouldboard draft. II. Draft-soil-crop and yield-draft associations. Precis. Agric. 3:237–257.*
141. *Lapen D. R, Topp G. C, Gregorich E. G, Hayhoe, H. N, Curnoe W. E. 2001a. Divisive fieldscale associations between corn yields, management, and soil information. Soil and Tillage Research 58:193–206.*
142. *Lapen D. R, Topp G. C, Hayhoe H. N, Gregorich E. G, Curnoe W. E. 2001b. Stochastic simulation of soil trength/compaction and assessment of corn yield risk using threshold probability patterns. Geoderma 104:325–343.*
143. *Lee K. S, Lee D. H, Sudduth K. A, Chung S. O, Kitchen N. R, Drummond S. T. 2009. Wavelength identification and diffuse reflectance estimation for surface and profile soil properties. Trans ASABE, 52(3):683–695*
144. *Lin F, Zhang D, Huang Y, Wang X, Chen X. 2017. Detection of Corn and Weed Species by the Combination of Spectral, Shape and Textural Features, Sustainability, 9(8) 1335.*
145. *Linsley C. M, Bauer F. C. 1929. Illinois agriculture experiment station. Circular 346.*
146. *Liu J, Miller JR, Haboudane D, Pattey E, Hochheim K. 2008. Crop fraction estimating from casi hyperspectral data using linear spectral unmixing and vegetation indices. Can J Remote Sens 34(1):124–138.*
147. *Lleida University. 2018. Principal precision agriculture definitions retrieved from the scientific literature and from the web. http:// www.grap.udl.cat/en/presentation/pa_definitions.html*
148. *López-Bellido R, López-Bellido L. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: Effect of tillage, crop rotation and N fertilization, Field Crop. Res., 71, pp. 31–46.*
149. *Lowenberg-DeBoer J, Erickson B. 2019. Setting the Record Straight on Precision Agriculture Adoption. Agron. J. 111:1552–1569.*
150. *Lu D, Weng Q. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. Int. J. Remote Sens., 28, 823–870.*
151. *Lück E, Gebbers R, Ruehlmann J, Sprangenberg U. 2009. Electrical conductivity mapping for precision farming. Near Surface Geophysics 7(1):15-25.*
152. *Lueck E, Eisenreich M, Domsch H. 2002. Innovative methods for precision agriculture. In: Blumenstein O, Schachtzabel H (eds) Dynamics of matters in geosystems. University of Potsdam, Potsdam*
153. *Luellan W. R. 1985. Fine-tuned fertility. Tomorrow's technology here today. Crops and Soils Magazine, 38: 18–22.*
154. *Lukina E. V. Freeman K. W. Wynn K. J. Thomason W. E. Mullen R. W. Stone M. L. Solie J. B. Klatt A. R. Johnson G. V. Elliott R. L, Raun W. R. 2001. Nitrogen fertilization optimization algorithm based on in-season estimates of yield and plant nitrogen uptake, Journal of Plant Nutrition, 24:6, 885-898.*
155. *Lund E.D, Adamchuk V.I, Collings K.L, Drummond P.E, Christy C.D. 2005. Development of soil pH and lime requirement maps using on-the-go soil sensors. In: Stafford J (ed) Precision agriculture '05. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, pp 457–464.*
156. *Magney S. T, Eitel J. U. H, Huggins D. R, Vierling L. A. 2016. Proximal NDVI derived phenology improves in-season predictions of wheat quantity and quality, Agricultural and Forest Meteorology, 217, pp. 46–60.*
157. *Mahlein A. K, Steiner U, Dehne H. W, Oerke E. C. 2010. Spectral signatures of sugar beet leaves for the detection and differentiation of diseases. Precis Agric 11:413–431.*
158. *Maleki M.R, Ramon H, De Baerdemaker J, Mouazen A. M. 2008. A study of the time response of a soil-based variable rate granular fertiliser applicator. Biosyst Eng 100:160–166*
159. *Martin R. J. Felton W. L. 1993. Effect of crop rotation, tillage practice, and herbicides on the population dynamics of wild oats in wheat. Aust. J. Exp. Agric. 33:159–165.*

160. *Mather P. 1999. Computer Processing of Remotely-Sensed Images. Nottingham: University of Nottingham.*
161. *Maxwell B. D. Roush M. L. Radosevich, S. R. 1990. Predicting the evolution and dynamics of herbicide resistance in weed populations. Weed technology, 4(1), 2-13.*
162. *McBratney A, Whelan B, Ancev T, Bouma J. 2005. Future directions of precision agriculture, Precision agriculture, 6(1): 7-23.*
163. *McBratney A. Webster R. 1981. Spatial dependence and classification of soil along a transect in northeast Scotland. Geoderma, 26:63-82.*
164. *McKyes E. 1985. Soil Cutting and Tillage. Development in Agricultural Engineering 7, Elsevier, Oxford, UK.*
165. *McNeill J. D. 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical Note TN-6. Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canada.*
166. *Meyer G.E. 1999. Machine vision detection parameters for plant species identification. Proc. SPIE, 3543.*
167. *Meyerhof G. C. 1951. The ultimate bearing capacity of foundations. Geotechnique 2(4):310–32.*
168. *Miller M. P, Singer M. J, Nielsen D. R. 1988. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. Soil Science Society of America Journal, 52: 1133–1141.*
169. *Moges S. M, Girma K, Teal R. K, Freeman K. W, Zhang H. Arnall D. B. 2007. In-season estimation of grain sorghum yield potential using a hand-held optical sensor, Arch. of Agron. and Soil Sci., 53(6), pp. 617–628.*
170. *Mouazen A. M, De Baerdemaker J, Ramon H. 2005. Towards development of on-line soil moisture sensor using a fibre-type NIR spectrophotometer. Soil Till Res 80:171–183.*
171. *Mouazen A. M, Kuang B, De Baerdemaeker J, Ramon H. 2010. Comparison among principal component, partial least squares and back propagation neural network analyses for accuracy of measurement of selected soil properties with visible and near infrared spectroscopy. Geoderma 158(1-2):23-31.*
172. *Mulla D. J, Hammond M. W. 1988. Mapping soil test results from large irrigation circles. In J. S. Jacobsen (Ed.), Proceedings of the 39th Annual Far West Regional Fertilizer Conference (pp. 169–171). Pasco, WA: Agricultural Experimental Station Technical Paper No. 8597.*
173. *Mulla D. J. 1989. Using geostatistics to manage spatial variability in soil fertility. In C. M. Renard, R. J. Van den Beldt, & J. F. Parr (Eds.), Soil, crop and water management in the Sudano-Sahelian zone (pp. 241–254). Pantcheru, India: ICRISAT.*
174. *Mulla D. J. 1993. Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield. In P. C. Robert, W. E. Larson and R. H. Rust (Eds.), Proceedings of Site Specific Crop Management: A Workshop on Research and Development Issues (pp. 15–26). Madison, WI: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America.*
175. *Mulla, D. J. 1991. Using geostatistics and GIS to manage spatial patterns in soil fertility. In G. Kranzler (Ed.), Proceedings of symposium on automated agriculture for the 21st century (pp. 336–345). St Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers.*
176. *Murugesan R, Sudarsanam S.K, Malathi G, Vijayakumar V, Neelanarayanan V, Venugopal R, Rekha D, Summit S, Rahul B, Atishi, M, et al. Artificial Intelligence and Agriculture 5. 0. Int. J. Recent Technol. Eng. (IJRTE) 2019, 8, 8.*
177. *National Research Council. 1997. Precision agriculture in the 21st century. Washington DC, USA: National Academy Press.*
178. *Neudecker E, Schmidhalter U, Sperl C, Selige T. 2001. Site-specific mapping by electromagnetic induction. In: Grenier G, Blackmore S (eds) 3rd European conference precision agriculture, Montpellier, pp 271–276.*
179. *Oliver M, Carroll Z. L. 2004. Description of spatial variation in soil to optimize cereal management. Project Report No. 330. HGCA, London.*
180. *Oliver M, Webster R. 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modeling variograms and kriging. Catena, 113(3): 56–69.*
181. *Oliver M. 2010. An Overview of Geostatistics and Precision Agriculture. In: Geostatistical Applications for precision agriculture, pp:1-32.*
182. *Owen G. T, McRae K. B, McRae S. M, Misener G. C. 1990. Spectral analysis of subsoiling forces with a rigid tillage tool. Can. Agric. Eng. 32:57–62.*
183. *Owen G. T. 1988. Soil disturbance associated with deep subsoiling in compacted soils. Can. Agric. Eng. 30:33–37.*
184. *Pacheco A, Bannari A, Staenz K, McNairn H. 2008. Deriving percent crop cover over agriculture canopies using hyperspectral remote sensing. Can J Remote Sens 34(1):110–123.*
185. *Phiri D, Morgenroth J. 2017. Review Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review. Remote Sensing, 9, pp. 976.*
186. *Radosevich S, Holt J, Ghersa C. 1997. Weed ecology – implication for weed management, 2nd edn. Wiley, New York, 589 p.*
187. *Rahimi-Ajdadi F, Abbaspour-Gilandeh Y. 2011. Artificial Neural Network and stepwise multiple range regression methods for prediction of tractor fuel consumption. Measurement, 44(2011):2104–2111.*

188. *Raun W, Figueiredo B, Dhillon J, Fornah A, Bushong J, Zhang H, Taylor R. 2017. Can Yield Goals Be Predicted?. Agronomy Journal, 109: 2389-2395.*
189. *Raun W. R, Solie J. B, Johnson G. V, Stone M. L, Mullen R. W, Freeman K. W, Thomason W. E, Lukina E. V. 2002. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application, Agron. J. 94:815–820.*
190. *Raun W. R, Solie J.B, Johnson G. V, Stone M. L, Lukina E. V, Thomason W. E, Schepers J. S. 2001. In-Season Prediction of Potential Grain Yield in Winter Wheat Using Canopy Reflectance, Agron. J. 93:131–138.*
191. *Raun W. R, Solie J. B, Martin K. L, Freeman K. W, Stone M. L, Johnson G. V, Mullen R. W. 2005. 'Growth stage, development, and spatial variability in corn evaluated using optical sensor readings', J. Plant Nutr., 28, pp. 173-182.*
192. *Reaves C. A, Schafer R. L. 1975. Force versus width of cut for moldboard bottoms. Transactions of the ASAE, 852-859.*
193. *Reckleben Y. 2008. Electronics in agricultural engineering – example of parallel driving systems. In: ISOBUS "Plugfest" Landberatung Uelzen, 6 Nov 2008.*
194. *Reckleben Y. 2011. Assistance with automatic guidance (in German). A step to more precise sowing. In: Bauernblatt für Schleswig-Holstein und Hamburg, 27 Aug 2011, pp 40–41.*
195. Republički zavod za statistiku. 2019. *Anketa o strukturi poljoprivrednih gazdinstava,* 2018, Republički zavod za statistiku, Beograd.
196. *Reusch S. 1997. Development of an optical reflectance sensor for recording the nitrogen supply of agricultural field crops (in German). Doctoral dissertation, Department of Agricultural Systems Engineering, University of Kiel, Kiel. Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG 303.*
197. *Rew L. J, Cousens R. D. 2001. Spatial distribution of weeds in arable crops: are current sampling and analytical methods appropriate. Weed Res 41:1–18.*
198. *Rhezali A, Lahlali R. 2017. Nitrogen (N) Mineral Nutrition and Imaging Sensors for Determining N Status and Requirements of Maize. J. Imaging, 3, 51.*
199. *Rial F. I, Mendez-Rial R, Lukasz L, Maria A. Gonzalez-Huici. 2014. DVB-T interference suppression in FL-GPR systems. Sensing and Imaging, 15(1).*
200. *Ring J. 1963. The Laser in Astronomy. pp. 672–73, New Scientist June 20*
201. *Ritter C. Gerhards R. 2008. Population dynamics of Galium aparine L. and A. myosuroides (Huds.) under the infl uence of site-specifi c weed management. J Plant Dis Prot, Special Issue XXI:209–214.*
202. *Robert P. C. 1999. Precision agriculture: Research needs and status in the USA. In J.V. Stafford (Ed.), Precision Agriculture'99 (pp. 19–33). Sheffield, UK: Sheffield Academic Press.*
203. *Robinson R. G, Ford J. H, Lueschen W. E, Rabas D. L, Warnes D. D, Wiersma J. V. 1982. Response of sunflower to uniformity of plant spacing. Agron. J. 74 (2), 363–365.*
204. *Rouse J. W, Haas R. H, Schell J. A, Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS', NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp., 1, pp. 309–317.*
205. *Samouëlian A, Cousin I, Tabbagh A, Bruand A, Richard G. 2005. Electrical resistivity survey in soil science: A review. Soil & Tillage Research 83:173–193.*
206. *Sankey T. T, McVay J, Swetnam T. L, McClaran M. P, Heilman P, Nichols M. 2017. UAV Hyperspectral and Lidar Data and Their Fusion for Arid and Semi-Arid Land Vegetation Monitoring. Remote Sensing in Ecology and Conservation 4(1): 20–33.*
207. *Schafer R. L, Young S. C, Hendrick J. G, Johnson C. E. 1984. Control concepts for tillage systems. Soil & Tillage Research, 4: 313–320.*
208. *Schlegel J. E, Morlin R. W. 1969. Optimu travel speed for maximum ploughing acreage. Transactions of ASAE, 690-694.*
209. *Schneider M, Wagner P. 2005. Economic viability of precision farming with a whole farm Approach. In: Verbundprojekt preagro II. Zwischenbericht*
210. *Schölderle F, Siemes M, Kuhlmann H. 2008. Multi Sensor System Requirements for a Position Steered Seed Deposition in Sugar Beet Cultivation for the Generation of a Rectangular Formation. In: 1st International Conference on Machine Control & Guidance, Zurich, Switzerland, pp. 1–10.*
211. *Scholtz D. C. 1966. A three-point linkage dynamometer for restrained linkages. J. Agr. Eng. Res. 11:33–37.*
212. *Schowengerdt R.A. 2012. Techniques for Image Processing and Classifications in Remote Sensing; Academic Press: Cambridge, MA, USA.*
213. *Schueller J. K. 1997. Technology for precision agriculture. In J. V. Stafford (Ed.), Precision Agriculture'97 (pp. 19–33). Oxford, UK: BIOS Scientific Publishers.*
214. *Schwarz K, Pickett S. T. A, Lathrop R. G, Weathers K. C, Pouyat R. V. Cadenasso M. L. 2012. The effects of the urban built environment on the spatial distribution of lead in residential soils. Environmental Pollution 163:32-39.*

215. *Schwertmann U, Taylor R. M. 1989. Iron oxides. In J.B. Dixon and S.B. Weed (eds.) Minerals in Soil Environments, pp.145-180. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.*
216. *Searcy S, Schueller J, Bae Y. H, Borgelt S. C, Stout B. A. 1989. Mapping of Spatially Variable Yield During Grain Combining, Trans ASAE, 32, 826-829.*
217. *Setiyono T. D, Yang H, Walters D. T, Dobermann A, Ferguson R. B, Roberts D F, Lyon D. J, Clay D. E. Cassaman K. G. 2011. Maize-N: A decision tool for nitrogen management in maize, Agron. J.,103, pp. 1276–1283.*
218. *Shöne W. H. 1966. Characterization of tillage-tools. Journal of Agricultural Rationalization Through Land Improvement, 1:31-48.*
219. *Smith D. G, Jol H. M. 1995. Ground-penetrating radar: Antenna frequencies and maximum probable depths of penetration in Quaternary sediments. Journal of Applied Geophysics 33:93-100.*
220. *Solari F, Shanahan J, Ferguson R. B, Schepers J. S, Gitelson A. A. 2008. Active sensor reflectance measurements to corn nitrogen status and yield potential. Agronomy Journal, 100, 571–579.*
221. *Sommer C, Vosshenrich H. H. 2004. Soil cultivation and sowing. Management system for site– specific crop production. Verbundprojekt Preagro. Endbericht, Kapitel 4. Herausgegeben vom KTB (CD-ROM): 101–120. http://www.preagro.de/Veroeff/Liste.php3*
222. *Stafford J. V. 1981. An application of critical state soil mechanics: the performance of rigid tine. J. Agric. Eng. Res. 26 (5):387–401.*
223. *Steiner D. 1970. Automation in photo interpretation. Geoforum, 1, pp. 75–88.*
224. *Stoll A, Kutzbach H. D. 1999. Concept of a guidance system for agricultural vehicles. In: Precision Agriculture 99, Proceedings of 2nd European Conference on Precision Agriculture, edited by J. V. Stafford Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, 1999 , part 2, pp. 825 - 835.*
225. *Stombaugh T. S, Shearer S. A, Fulton. J. 2002a. Elements of a dynamic GPS test standard. In ASAE Annual International Meeting. ASAE Paper No. 021150. St. Joseph, Mich.: ASAE.*
226. *Stombaugh T.S, Shearer S.A, Fulton J.P. 2002b. Standards for comparison of GPS receiver performance. In: P.C. Robert et al. (ed.) Proc. 6th International Conference on Precision Agriculture. ASA Misc. Publ., ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. (in press)*
227. *Strubbe G. J, Missotten B, De Baerdemaker J. 1996. Mass fl ow measurement with a curved plate at the exit of an elevator. In: Robert PC, Rust RH, Larson WE (eds) Proceedings of the third international conference on precision agriculture, Madison, WI, pp 703–712.*
228. *Strubbe G.J. 1997 Mechanics of friction compensation in mass flow measurement of bulk solids. Dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen.*
229. *Sudduth K. A, Kitchen N. R, Wiebold W. J, Batchelor W. D, Bollero G. A, Bullock D. G, Clay D. E, Palm H. L, Pierce F. J, Schuler R. T, Thelen K. D. 2005. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. Computers and Electronics in Agriculture 46:263–283.*
230. *Summers J. D, Khalilian A, Batchelder D. G. 1986. Draft relationships for primary tillage in Oklahoma soils. Transactions of the ASAE, 29(1): 37-39.*
231. Sušić Z, Ninkov T, Bulatović V. 2014. *Primena InSAR tehnologije u postupku detekcije pomeranja terena,* In 4. međunarodno naučno-stručno savetovanje Saveza građevinskih inženjera, 2014.
232. *Sylvester G. 2018. E-Agriculture in Action: Drones for Agriculture. Bangkok: Published by Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union.*
233. *Tagarakis, A. C, Ketterings Q. M. 2017. In-season estimation of corn yield potential using proximal sensing, Agronomy Journal, 109(4), pp. 1323-1330.*
234. *Taghadomi-Saberi S, Hemmat A. 2015. Improving field management by machine vision—A review. Agric. Eng. Int. CIGR J., 17, 92–111.*
235. *Taniguchi T, Makanga J.T, Ohtomo K, Kishimoto T. 1999. Draft and soil manipulation bya moldboard plow under different forward speed andbody attachments. Trans ASAE 42(6): 1517-1521.*
236. *Taylor J. A, McBratney A. B, Whelan B. M. 2007. Establishing management classes for broad acre agricultural production. Agron J, 99:1366–1376.*
237. *Teal R.K, Tubana B, Girma K, Freeman K.W, Arnall D.B, Walsh O, Raun W.R. 2006. In-Season Prediction of Corn Grain Yield Potential Using Normalized Difference Vegetation Index. Agron. J., 98: 1488-1494.*
238. *Terzaghi K. 1943. Theoretical Soil Mechanics. Wiley, New York, NY.*
239. *Thiessen E. 2001. Experiences with sensor-controlled nitrogen-application. Landtechnik 56:278– 279.*
240. *Thiessen E. 2002. Optical sensing-techniques for site-specific application of agricultural chemicals. Doctoral thesis, Department of Agricultural Systems Engineering, University of Kiel, Kiel. VDI-MEG Forschungsbericht Agrartechnik 399.*
241. *Thompson M. M, Mikhail E. M. 1976. Automation in photogrammetry: Recent developments and applications (1972–1976). Photogrammetria, 32, pp. 111–145.*

242. *Topp G. C, Davis J. L, Annan A. P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content:Measurements in coaxial transmission lines. Water Resources Research 16:574-582.*
243. *Van Diggelen F, Want R, Wang W. 2018. How to achieve 1-meter accuracy in Android. https://www.gpsworld.com/how-to-achieve-1-meter-accuracy-in-android/*
244. *van Bergeijk J, Goense D, Speelman L. 2001. Soil tillage resistance as a tool to map soil type differences. J. Agric. Eng. Res. 79(4):371–387.*
245. *Viscarra-Rossel R. A, McBratney A. B. 1998. Soil chemical analytical accuracy and costs:Implications from precision agriculture. Australian Journal of Experimental Agriculture, 38:765–775.*
246. *Viscarra Rossel R. A, Gilbertson M, Thylén L, Hansen O, McVey S, McBratney A. B. 2005. Field measurements of soil pH and lime requirement using an on-the-go soil pH and lime requirement measurement system. Precision Agriculture, ECPA 2005:511-520.*
247. *Viscarra Rossel R. A, Cattle S. R, Ortega A, Fouad Y. 2009. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by Vis-NIR spectroscopy. Geoderma 150(3-4):253-266.*
248. *Viscarra Rossel R. A, Walvoort D. J. J, McBratney A, Janik L. J, Skjemstad J. O. 2006. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. Geoderma 131(1-2):59-75.*
249. *Vosshenrich H. H, Sommer C. 2005. Is online controlled site-specifi c soil cultivation possible? Neue Landwirtsch, Berlin, Heft 12: 41.*
250. *Walker J. P, Houser P. R. 2002. Evaluation of the Ohm Mapper instrument for soil moisture measurement. Soil Science Society of America Journal 66:728-734.*
251. *Wang R, Cherkauer K. A, Bowling L. C. 2016. Corn Response to Climate Stress Detected with Satellite-Based NDVI Time Series. Remote Sensing, 8, 269.*
252. *Warrick A. W, Myers D. E, Nielsen D. R. 1986. Geostatistical methods applied to soil science. In A. Klute (Ed.), Methods of soil analysis: Part 1, physical and mineralogical methods, agronomy monograph no. 9 (2nd ed.). (pp. 53–82). Madison, WI: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.*
253. *Webster R, Oliver M. 1989. Disjunctive kriging in agriculture. In M. Armstrong (Ed.), Geostatistics (Vol. 1, pp. 421–432). Dordrecht: Kluwer.*
254. *Weindorf D. C, Zhu Y, Haggard B, Lofton J, Chakraborty S, Bakr N, Zhang W, Weindorf W. C. Legoria M. 2012. Enhance pedon horizonation using portable X-ray fluorescence spectrometry. Soil Science Society of America Journal 76(2):522-531.*
255. *Whelan B, Taylor J. 2013. Making and interpreting maps for Precision Agriculture. In: Precision agriculture for grain production systems. CSIRO PUBLISHING, Australia.*
256. *Whelan B. M, Taylor J. 2010. Precision agriculture education and training modules for the grains industry. Australian Centre for Precision Agriculture, University of Sydney for the Grains Research and Development Corporation. Sydney, Australia.*
257. *Whetton R, Waine T, Mouazen A. 2017. Optimising configuration of a hyperspectral imager for on-line field measurement of wheat canopy. Biosystems Engineering, 155, 84-95.*
258. *Zecha C. W, Peteinatos G. G, Link J, Claupein W. 2018. Utilisation of ground and airborne optical sensors for nitrogen level identification and yield prediction in wheat', Agriculture, 8(6) pp. 79.*