

Senzori i kartiranje prinosa u okviru precizne žetve

Jović, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:558624>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-03**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Tomislav Jović

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

SENZORI I KARTIRANJE PRINOSA U OKVIRU PRECIZNE ŽETVE

Diplomski rad

Osijek, 2021

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Tomislav Jović

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

SENZORI I KARTIRANJE PRINOSA U OKVIRU PRECIZNE ŽETVE

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Irena Rapčan, predsjednik
2. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, mentor
3. Dorijan Radočaj, mag. ing. geod. et geoinf., član
4. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, zamjenski član

Osijek, 2021.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Tomislav Jović

Diplomski sveučilišni studij Mehanizacija

SENZORI I KARTIRANJE PRINOSA U OKVIRU PRECIZNE ŽETVE

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Irena Rapčan, predsjednik
2. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, mentor
3. Dorijan Radočaj, mag. ing. geod. et geoinf., član
4. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, zamjenski član

Osijek, 2021.

ZAHVALA

*Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Mladenu Jurišiću i Dorijanu Radočajju, mag. ing.
geod. et geoinf. na stručnim savjetima tijekom izrade diplomskog rada.*

*Hvala mojoj obitelji na velikoj potpori i svemu što su mi pružili. Bez Vas to ne bi bilo
moguće.*

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SENZORI I SUSTAV ZA KARTIRANJE PRINOSA.....	7
2.1 Senzori prinosa.....	9
2.1.1 Udarni senzori	9
2.1.2 Senzori mase.....	11
2.1.3 Optički senzori.....	11
2.1.4 Nuklearni senzori.....	13
2.2 Senzori vlažnosti zrna.....	13
2.3 Senzori položaja hedera	14
2.4 Isobus	15
2.5 Real-time-kinematic (RTK).....	18
2.6 Georeferenciranje očitavanja senzora	23
2.7 Telematika	24
2.8 Karte prinosa.....	26
2.8.1 Kašnjenje protoka zrna	28
2.8.2 Zakašnjenje početka prolaska i kašnjenje završnog prolaska.....	28
2.8.3 Maksimalna brzina	28
2.8.4 Minimalna brzina.....	29
2.8.5 Ujednačena brzina kretanja	29
2.8.6 Minimalni zahvat.....	29
2.8.7 Minimalni i maksimalni prinos	29
2.8.8 Položaj	29
2.8.9 Ručno uklanjanje pogrešaka.....	30
2.9 Dostupnost, razvoj i cijena precizne poljoprivrede.....	30
2.10 Integriranje podataka sa satelitskim snimkama	34
2.10.1 Pristup modeliranju	37
3. PRIMJENA I DOSTUPNOST TEHNOLOGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ	37
3.1 John Deere	38
3.1.1 John Deere AutoTrac.....	39
3.1.2 Koordinirani rad (<i>MachineSync</i>)	39
3.1.3 John Deere operativni centar	40
3.1.4 John Deere precizna žetva	41

3.1.5	Prijemnik Starfire 6000	42
3.1.6	Razmjena podataka između različitih telematičkih sustava – DataConnect	43
3.2	CLAAS	43
3.2.1	CLAAS TELEMATICS	44
3.2.2	CEMOS	45
3.2.3	<i>Fleet view</i>	45
4.	ZAKLJUČAK	46
5.	POPIS LITERATURE	48
6.	SAŽETAK	51
7.	SUMMARY	52
8.	POPIS SLIKA	53

1. UVOD

Žetva je najvažniji i najsloženiji zahvat u poljoprivrednoj proizvodnji, kako na manjim farmama, tako i na većim poljoprivrednim kombinatima. U odnosu na ostale agrotehničke zahvate u poljoprivrednoj proizvodnji, žetva zahtjeva najveći ulog rada i novca. Danas, u moderno doba, prilikom žetve se koriste najmoderniji, najskuplji i najsofisticiraniji moderni uređaji koji osiguravaju brzu, sigurnu i isplativu žetvu s neznatnim gubitcima. Za žetvu se koriste sofisticirani automatizirani univerzalni kombajni koji omogućuju veliku efikasnost i učinkovitost u ubiranju plodova. Žetva predstavlja kraj rasta i razvoja usjeva. Ovisno o usjevu, žetva se obavlja na različite načine, u različitim tehnikama i u određeno vrijeme. Zadaće žetve sastoji se u brzom ubiranju uroda uz što manje gubitke i oštećenje zrna, maksimalnim iskorištenjem kapaciteta stroja za žetvu i berbu uz minimalne troškove rada. U posljednjih 40 godina zabilježen je značajan razvoj tehnologije žetve i berbe zrnatih kultura. Tijekom tog vremenskog razdoblja, samokretni univerzalni žitni kombajn postaje osnovni stroj za ubiranje zrnatih plodova. Uz sav taj napredak i razvoj tehnologije i strojeva, i danas postoje nedostaci koji uzrokuju nedovoljno iskorištenje kapaciteta stroja, veliki utrošak energije, gubitke i oštećenje zrna. (Brkić i sur., 2002.)

U procesu žetve i berbe, u potpunosti se ili djelomično obavljaju sljedeće operacije:

- žetva ili berba, koja se odvija košnjom stabljike ili otkidanjem ploda,
- vršidba, koja se sastoji od izbivanja, čišćenja i transporta zrna u spremnik za zrno ili transportno sredstvo,
- sređivanje biljnih ostataka (slame, kukurozovine itd.).

U zrnate plodine ubrajaju se razne kulturne biljke koje se razlikuju po svojim biološkim svojstvima, Za ubiranje je posebno značajan oblik ploda koji je kod strnih žitarica i trava klas, kukuruza klip, suncokreta glava, djeteline glavica, uljane repica komuška, a kod soje i graha mahuna. (Brkić i sur., 2002.)

Na kvalitetu i agrotehnički rok žetve utječu različita svojstva i značajke, kao što su:

- fizičko – mehanička svojstva stabljike (visina, debljina, vlažnost stabljike),
- oblik ploda,
- gustoća usjeva – sklop,

- značajke zrna (čvrstoća zrna na udarno djelovanje, osjetljivost na oštećenje i osipanje, vlažnost zrna),
- otpornost na polijeganje,
- jednoličnost sazrijevanja,
- urod zrna,
- odnos mase zrna i stabljike,
- zakorovljenost i vlažnost korova.

Sve navedene značajke imaju značajan utjecaj na kvalitetu i kapacitet žetve, stoga treba nastojati očuvati i zaštititi usjeve od korova i bolesti, također je potrebno pravovremeno obaviti sve agrotehničke operacije pravodobno unutar agrotehničkih rokova da bi se mogla obaviti kvalitetna, ekonomična i efikasna žetva ili berba bez neželjenih zastoja i kvarova koji su mogli biti spriječeni. (Brkić i sur., 2002.)

Početak žetve ovisi o vlažnosti zrna, odnosno o zrelosti zrna. Razlikujemo tri stupnja zrelosti kod žitarica:

- mliječna zrelost – vlažnost zrna oko 50%,
- voštana ili žuta zrelost – vlažnost zrna od 25 – 30%, zrno je potpuno naliveno i spremno za početak žetve,
- puna zrelost – vlažnost zrna od 14 – 25%, zrno dobije svoju karakterističnu boju, tvrdo je i lako se izbija iz pljevica.

U punoj zrelosti neke vrste žitarica sklone su samoosipanju i obzirom na položaj zrna na klasu, vidljivo je neujednačeno sazrijevanje. Pšenica uglavnom jednakomjerno dozrijeva, a samoosipanje je karakteristično za pojedine sorte. Žetva pšenice može započeti pri vlažnosti od 33%. Razlikujemo jednofaznu i dvofaznu žetvu (razdjelno kombajnanje). U Hrvatskoj se najčešće odvija jednofazna žetva, dok za dvofaznu žetvu nema potrebe jer klimatski uvjeti dozvoljavaju pravovremeno obavljanje žetve. Dvofazna žetva se često obavlja u SAD-u na pojasa gdje nije moguće obaviti pravovremenu jednofaznu žetvu. Prilikom dvofazne žetve, prvi korak je košenje pšenice i skupljanje pšenice u otkos (stabljika i klas zajedno). Nakon nekoliko dana nakon što se pšenica osuši, pristupa se drugoj fazi, odnosno vršidbi koja se obavlja vršalicom ili kombajnom. Jednofazna žetva može započeti pri vlažnosti od 20 do 25%. U današnje vrijeme razlikujemo nekoliko izvedbi kombajna, koji se razlikuju prema zahtjevima žetve ili berbe pojedine kulture. Osnovni zadatak kombajna je žetva poljoprivrednih kultura. Kombajn predstavlja sklop od nekoliko uređaja za košnju, berbu ili

vađenje uroda, a pritom istovremeno obavlja i druge radnje kao što su vršidba, čišćenje zrna i druge operacije. Kroz povijest, žetva se obavljala na razne načine, nekada se žetva obavljala ručno na način da se jednom rukom uz pomoć srpa kosila pšenica, a u drugoj ruci se skupljao svežanj žitarice, nakon toga svežnjevi su se vezali u snopove. Za takvu žetvu bio je potreban veliki broj ljudi i bilo je potrebno dosta vremena, takva žetva je trajala i do dva mjeseca. Povećanju produktivnosti i efikasnosti rada pridonijela je primjena i razvoj suvremene mehanizacije. (Brkić i sur., 2002.)

Proces žetve uglavnom se obavljao ručno do kraja devetnaestog stoljeća. Prvi stroj koji je konstruiran za žetvu bio je žitni kombajn koji je izrađen 1836. godine u SAD – u. Stroj je istovremeno kosio, vršio i čistio žitarice u jednom prohodu. Isti stroj je vuklo 48 konja, stoga stroj nije imao veliku primjenu u svijetu. Širu primjenu imali su modeli kombajna s početka dvadesetog stoljeća koje su vukli traktori, a kasnije oko 50ih godina pojavljuju se prve samohodne izvedbe kombajna. Prvi samohodni kombajn koji je najbliži današnjem modernom kombajnu, s motorom s unutarnjim izgaranjem, konstruiran je 1938. godine (Čuljat, 1997.).

Danas, u moderno doba, primjenjuju se automatizirani strojevi za žetvu koji omogućuju pravodobnu, efikasnu, ekonomičnu žetvu unutar agrotehničkih rokova uz minimalne gubitke kvalitete i količine zrna. U preciznoj poljoprivredi koncept upravljanja poljoprivrednom proizvodnjom temelji se na primjeni geoinformacijskih tehnologija, kao što su globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) i daljinska istraživanja koji omogućuju maksimalno iskorištenje zahvata kombajna i njegove propusnosti. Uz pomoć različitih sustava i telematike, senzora i GNSS uređaja, moguća je izrada karti prinosa na kojim možemo vidjeti koliki je točan urod neke kulture na određenom mjestu u polju, te na temelju toga možemo donositi važne odluke u narednoj proizvodnoj godini. (Jurišić i sur., 2009.)

Današnji kombajni nude mogućnost skoro samostalne žetve gdje gotovo da nije potreban ljudski napor, odnosno čovjek je potreban samo da nadgleda rad stroja. Uz pomoć navigacije, telematike i ISOBUS – a omogućeno je takozvano „samokretanje stroja“ gdje se stroj samostalno kreće na proizvodnoj površini i čak se samostalno okreće na uvratinama polja. Današnji kombajni putem telematičkih sustava su povezani s centrima proizvođača te na polju prilikom rada nude različita rješenja koja rezultiraju veću učinkovitost i bolju kvalitetu rada, stoga možemo uočiti značajnu prednost precizne žetve u odnosu na konvencionalnu žetvu.

Za planiranje održivog razvoja i racionalnog korištenja prostora danas je potrebno raspolagati s velikim brojem kvalitetnih i pouzdanih informacija temeljem kojih je moguće donošenje pravovremenih i važnih prostornih odluka (Husnjak, 2002.). Danas, u preciznoj poljoprivredi, najvažniji oblik i izvor informacija su razne kartografske podloge. Zahvaljujući geoinformacijskim tehnologijama moguće je izraditi odgovarajuće geoinformacijske sustave s bazama podataka na temelju kojih je moguće relativno brzo izrađivanje tematskih karata, te time doći do potrebnih prostornih informacija za donošenje ispravnih i pravovremenih odluka u sklopu planiranja.

Karte prinosa pokazuju proizvođaču heterogenost prinosa na određenim dijelovima polja kako bi se kasnije lako mogli utvrditi razlozi smanjenog ili povećanog prinosa, te na temelju podataka iz dobivenih karata može se vršiti planiranje uzimanja pedoloških uzoraka. Kartiranje prinosa pokazuje koliki je maksimalni očekivani prinos na nekoj parceli te se prema tim podacima sastavlja kalkulacija gnojidbe. Karte prinosa proizvođaču omogućuju uvid u informacije o prinosu na točno određenom mjestu, odnosno dijelu parcele veličine od nekoliko kvadrata. Kartiranje prinosa provodi se istovremeno s procesom žetve uz pomoć globalnih navigacijskih satelitskih sustava (engl. *Global Navigation Satellite System*, GNSS) uređaja koji određuje položaj kombajna na parceli i senzora koji u realnom vremenu mjere volumni ili maseni protok požnjevene mase. Prilikom izrade karte prinosa, izuzetno je važna preciznost mjerenja senzora protoka mase i preciznost GNSS uređaja koji definira položaj stroja. Današnji kombajni su opremljeni softverom koji preračunavaju prinos u kg/ha ili t/ha i te podatke spremaju u digitalnom obliku. Spremljeni podatci se kasnije lako mogu upotrijebiti za dokumentiranje, planiranje i odlučivanje (Štefanek, 2014.).

Kontrola prinosa nije nova tendencija, prvi pristupi praćenja prinosa datiraju još iz drevnog Egipta, gdje su naznačeni pokušaji ispitivanja utjecaja fluktuacija vodostaja rijeke Nil na prinos usjeva. Navedena mjerenja prinosa korištena su za preciznu poreznu kontrolu seljaka i prevenciju gladi naroda. U današnje vrijeme poljoprivreda zahtjeva uporabu inteligentnih i sofisticiranih alata kako bi se zadovoljile brojne društvene potrebe.

Geoinformacijski sustavi i senzori imaju ključnu ulogu u poljoprivednoj proizvodnji i njihova preciznost je izuzetno važna radi pružanja potrebnih informacija o stanju usjeva. Prinos usjeva pojedine kulture ovisi o nekoliko čimbenika kao što su tip tla, količina vode u tlu, hibridu, sorti, vremenskim uvjetima, bolestima, štetnicima i korovima. Podatci o prinosu su potrebni za praćenje proizvodnje pojedine kulture i procjenu ekonomske isplativosti.

Najstarija i najjednostavnija metoda praćenja prinosa je vaganje ukupne požnjevene mase zrna i mjerenje požnjevene površine polja, ali ta metoda pruža podatke o prosječnom prinosu na polju i ne pruža podatke o prinosu na pojedinom dijelu polja. Karte prinosa koje su izrađene uz pomoć „*on-the-go*“ sustava za praćenje prinosa i opreme za određivanje položaja utvrđuju podatke o prinosu s referencom na položaj u polju dok se usjev ubire. Karte prinosa mogu pokazati varijabilnost u uzorcima prinosa polja, kako za nizak prinos na dijelu polja, tako i za visoki prinos. Prostor s manjim prinosom može se dodatno istražiti i povezati s drugim prostornim podacima o polju kao što su karte gnojidbe tla. Karte prinosa predstavljaju značajan izvor informacija na temelju kojih možemo donositi odluke o načinu i vremenu izvođenja agrotehničkih operacija. Karte prinosa se često koriste za razgraničenje zona upravljanja s promjenjivom stopom primjene mineralnog gnojiva ili sjetvenog sklopa. Karte prinosa mogu biti koristan izvor informacija za istraživanja na farmama radi usporedbe hibrida, kemijskih proizvoda i druga ispitivanja. (Barocco, 2017.)

Za kartiranje prinosa zrna potrebno je imati sofisticiranu i preciznu opremu:

- Senzor protoka požnjevene mase,
- Senzor vlažnosti zrna,
- Senzor položaja hedera kombajna,
- Diferencijalni GNSS prijemnik,
- Senzor brzine kretanja kombajna na proizvodnoj površini,
- Zaslona računala ili terenska konzola.

Početak 90-ih godina dvadesetog stoljeća zabilježen je značajan razvoj i primjena informacijskih tehnologija u poljoprivrednoj proizvodnji te je omogućeno praćenje prinosa i izrada karti prinosa. Praćenje prinosa je imalo ključnu ulogu u razvoju precizne poljoprivrede jer je njime omogućeno da se prvi put utvrdi i karakterizira varijabilnost usjeva unutar polja.

Senzori prinosa se najčešće postavljaju na elevator zrna koji očišćeno zrno transportira u spremnik. Razlikujemo dva tipa senzora: mjerači protoka volumena i mjerači protoka mase.

- Senzori protoka volumena zrna u obliku lopatice koja je postavljena na vrhu elevatora zrna procjenjuje volumen zrna koji je elevator transportirao na određenom mjestu u polju.

- Senzori masenog protoka funkcioniraju na način mjerenja sile ili na apsorpciju gama zraka u masi. U prvom slučaju se težina zrna procjenjuje pomoću pretvarača sile kojim se mjeri sila udara zrna na kraju elevatora zrna. U drugom slučaju detektor zračenja mjeri apsorpciju gama zraka u zrnu koje se kasnije koriste za procjenu težine zrna.

Senzori vlažnosti zrna se uglavnom postavljaju u elevator zrna kako bi se procijenila vlaga ubranog zrna. Vlažnost zrna se dobije mjerenjem propuštanja kapaciteta zrna poznatog volumena između dvije elektrovodljive pločice. Senzor vlažnosti omogućuje uzorkovanje vlažnosti zrna na cijelom polju prilikom žetve.

Na zaslonu računala moguće je dobiti uvid u informacije o brzini kretanja kombajna, razinu napunjenosti spremnika i očitavanja senzora koji su ugrađeni u kombajn. Na temelju dobivenih informacija moguće je izvršiti kalibraciju i sva potrebna podešavanja i prilagođavanja da bi se ostvarila maksimalna efikasnost, ekonomičnost i iskorištenje kombajna. Zahvaljujući telematičkim sustavima moguće je bilježenje podataka o radu, tragovima i podataka o prinosu od povezanih kombajna. Svi podatci se putem mobilne mreže prenose na poslužitelj, gdje se navedeni podatci obrađuju i pohranjuju. Nastalim podacima, odnosno informacijama se može lako pristupiti te ih procijeniti, što omogućuje lako podešavanje stroja u polju za optimalni rad neovisno u kojim uvjetima stroj radi, skraćuje se vrijeme za donošenje odluka i povećava se iskorištenje stroja. Većina proizvođača strojeva koji se koriste u poljoprivrednoj proizvodnji imaju svoje vlastite telematičke sustave koji neprestano bilježe podatke za pojedino polje, kao što su količina apliciranih mineralnih gnojiva, pesticida, te podatke o radu stroja i podešavanju stroja u specifičnim uvjetima. Claas ima svoj telematički sustav koji se naziva „CLAAS TELEMATICS“, a John Deere ima svoj telematički sustav pod nazivom „JD – Link“.

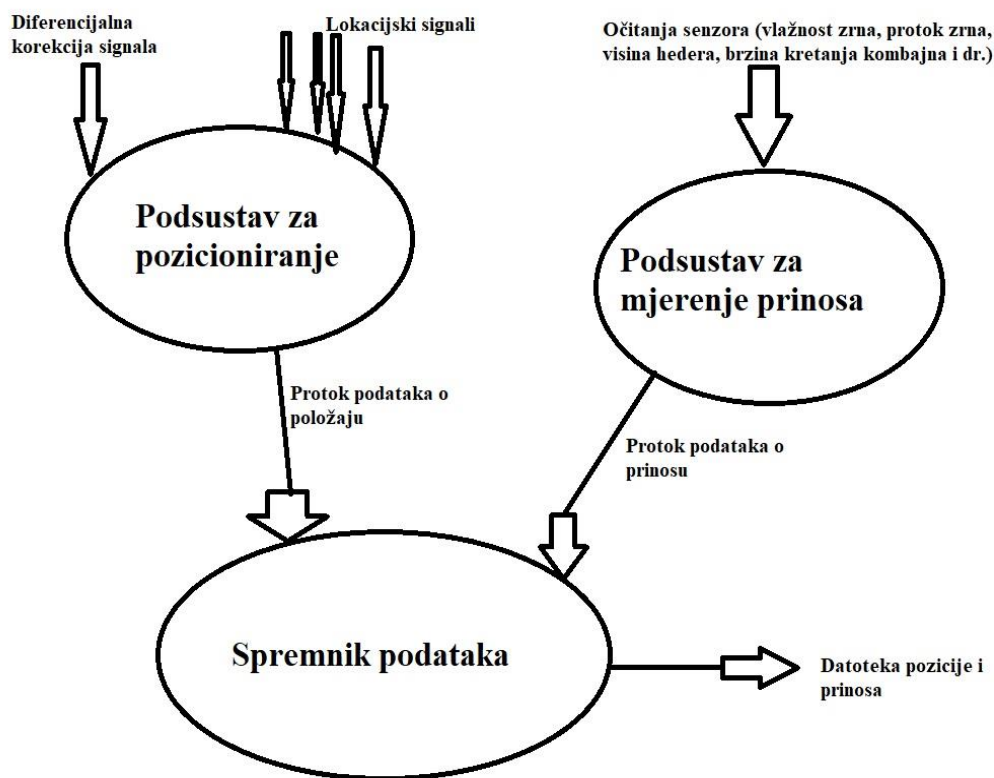
Glavni cilj telematičkih sustava je smanjenje troškova svakodnevnog postavljanja strojeva. Funkcije analize daju alate koji su potrebni za prepoznavanje mogućnosti za bolju optimizaciju rada stroja. Telematički sustavi otkrivaju kako se može povećati učinak stroja ili otkriti zašto se kapacitet stroja ne može potpuno iskoristiti.

2. SENZORI I SUSTAV ZA KARTIRANJE PRINOSA

Povećanje broja ljudi na zemlji imalo je za posljedicu veće potrebe za hranom i povećanje proizvodnih površina. Razvoj i pojava masovne poljoprivredne proizvodnje uzrokovali su značajan porast prinosa i veliku količinu poljoprivrednih proizvoda. Napredak geoinformacijskih sustava i informacijskih tehnologija u poljoprivredi značajno su doprinijeli povećanju proizvodnje na jedinici površine. U preciznoj poljoprivredi zabilježeno je značajno povećanje prinosa, smanjenje ljudskog napora u proizvodnom procesu i smanjenje onečišćenja okoliša, odnosno nepotrebna uporaba kemijskih sredstava i negativne posljedice od istih su svedene na minimum. Samim time, značajno su umanjeni i troškovi poljoprivredne proizvodnje. Automatizacija i informacijske tehnologije omogućili su naprednu odnosno „pametnu poljoprivredu“, uz pomoć geoinformacijskih sustava omogućen je monitoring cjelokupne poljoprivredne proizvodnje, izradu različitih tematskih karata s prostornim podacima o sastavu tla, hranjivima u tlu, prinosu i dr. Tematske karte koje su dobivene uz pomoć senzora, geoinformacijskih sustava, telematika i drugih čimbenika, predstavljaju značajan izvor informacija na temelju kojih je moguće donijeti pravovremenu i racionalnu odluku da bi se postigao i ostvario maksimalni potencijal usjeva na proizvodnoj površini, a isto tako i uštedjeti na ulaganju u mineralnog gnojiva i drugih inputa.

Sustav za praćenje prinosa daje najpreciznije rezultate kada se koristi na kombajnu koji je opremljen prijemnikom za diferencijalno globalno pozicioniranje. Sustav za praćenje prinosa istovremeno bilježi podatke o prinosu, vlažnosti zrna i položaju stroja. Navedeni podatci su prijeko potrebni da bi se pristupilo izradi precizne i točne karte prinosa. Kompletan sustav za praćenje prinosa sastoji se od slijedećih podsustava:

1. podsustav za pozicioniranje (daje podatke o prostornom položaju kombajna),
2. podsustav za mjerenje prinosa (podatci o protoku zrna, brzina kretanja na polju, vlažnost zrna, visina hedera, brzina elevatora i druga očitavanja ostalih senzora)
3. spremnik podataka potekao od gore navedenih sustava (Slika 1).



Slika 1. Shema sustava za praćenje prinosa (Izvor: vlastiti)

Sustavi za praćenje prinosa uglavnom daju periodičke zapise o prinosu, a vremenski intervali za svaki zapis mogu trajati jednu, dvije ili tri sekunde. Vozač kombajna ili voditelj žetve može odrediti količinu prikupljanja podataka, odnosno vremenski interval jednog zapisa, primjerice na jednom hektaru sustav može izbaciti približno 500 zapisa, stoga možemo zaključiti da sustav za praćenje žetve može pružiti više podataka nego bilo koji drugi alat u preciznoj poljoprivredi. (Casady, 1998.)

Sustav za mjerenje prinosa mjeri brzinu ulaska čistog zrna u spremnik, stoga dolazi do grešaka, odnosno do kašnjenja zapisa, zato što je potrebna određena količina vremena da se požnjevena količina zrna obradi u sustavu vršidbe i transportira u bunker kroz elevator u kojem se nalazi senzor, stoga se zapis o prinosu povezuje sa zapisom o položaju koji je nastao nekoliko sekundi prije da bi se dobila točna informacija o prinosu na određenoj lokaciji. Kombajn izgladuje nagle promjene u prinosu, stoga sustav za praćenje prinosa mjeri odgođene prosjeke prinosa. Pojava kašnjenja i zaglađivanja najočitija je kada kombajn uđe ili napusti usjev na kraju polja. Kombajn najčešće ima kašnjenje od 15 sekundi i u tom vremenu pređe oko 35 metara te ubere površinu oko 300 metara kvadratnih prije nego što na monitoru prinosa prikaže stabilan prinos. Većina softvera za praćenja prinosa može izvršiti korekciju neispravnosti podataka o prinosu zbog kašnjenja koje je uzrokovao kombajn.

Dobivena karta prinosa neće biti savršena, ali će biti pogodna za promatranje količine i varijabilnosti mjesta prinosa. (Casady, 1998.)

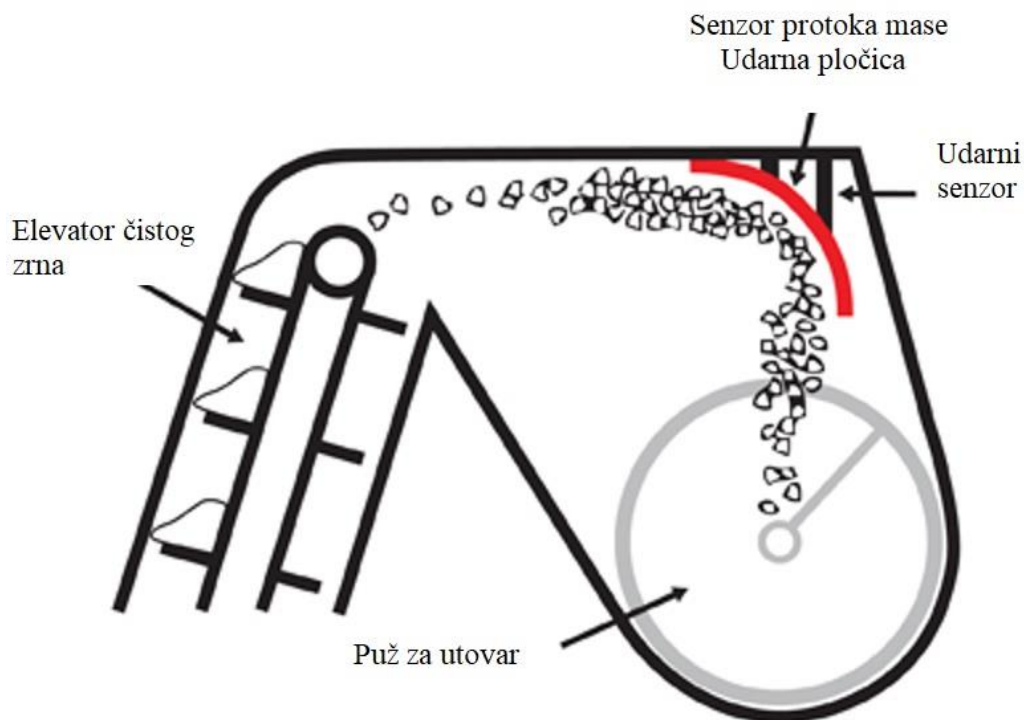
2.1 Senzori prinosa

U kartiranju i praćenju prinosa senzori imaju najznačajniju ulogu uz navigacijske uređaje. Senzor predstavlja uređaj, stroj, modul ili dio sustava koji ima svrhu detektiranja događanja ili promjena u nekom okruženju. Zadaća senzora je da prikupljene informacije prenosi drugim elektroničkim uređajima, najčešće u kompjuterski procesor. Današnji odnosno moderni automatizirani kombajni su opremljeni velikim brojem senzora koji daju informacije o trenutnom stanju i radu kombajna, te je zahvaljujući tim informacijama moguće donošenje odluka s kojim se postiže maksimalna učinkovitost i kvaliteta rada. Za kartiranje prinosa najvažniji su senzori uroda, a za dobivanje preciznih informacija važna je ispravnost senzora i njegova preciznost. Razlikujemo nekoliko tipova senzora prinosa, a najčešće se koriste sljedeći tipovi:

1. udarni senzori – senzori protoka mase,
2. senzori mase,
3. optički senzori,
4. nuklearni senzori.

2.1.1 Udarni senzori

Udarni senzori imaju širok spektar primjene u preciznoj poljoprivredi. Glavna uloga udarnih senzora je prikupljanje podataka o protoku mase zrna prilikom žetve. Udarni senzori su smješteni u elevatoru čistog zrna. Senzori udara mjere silu koja je izvršena na pločici senzora, odnosno senzori mjere silu koju je određena masa zrna dok je padala s vrha elevatora izvršila na površini pločice senzora (Slika 2). Neki modeli udarnih senzora koriste potenciometar koji pruža promjenjivi otpor, kao John Deere senzori (Slika 3). Potenciometar je postavljen na dvodijelni nosač, jedan dio nosača pričvršćen je na kombajn, a na drugi dio povezan je s udarnom pločicom. Navedene dvije polovice nosača povezane su zajedno s fleksibilnim trakama koje omogućuju kretanje dok zrno udara od ploču otklona. Što zrno jače udara od ploču, to je veći otpor potenciometra. Gibanje ploče, odnosno promjene otpora na potenciometru stvaraju elektronički signal koji se prenosi do procesora. Prilikom mjerenja prinosa procesor očitava dobiveni signal i koristi ga za izračunavanje prinosa.



Slika 2. Prikaz udarnog senzora (Izvor: <https://www.farm-equipment.com>)

Neki tipovi udarnih senzora funkcioniraju na principu ćelije opterećenja umjesto potencijometra. Mjerna ćelija je također otpornik, ali je izrađena od tanke žice koja je povezana s fleksibilnom membranom. Membrana je povezana za metalni članak koja prima mehanički stres od udarne pločice. Kako se članak pomalo savija, tanka žica se isteže dovoljno da bi se otpor promijenio. Ova promjena u otporu se pretvara u elektronički signal koju procesor očitava i koristi za mjerenje prinosa.



Slika 3. John Deere udarni senzor (Izvor: <https://www.maywes.com/products/mass-seed-flow-sensor-impact-plate-8-1-4-x-12-1-2-x-1-8-thick-kit>)

Neki senzori prinosa, kao što su senzori marke Ag Leader, umjesto pločice koriste veslo, a neki drugi senzori koriste vilicu, kao senzori marke MicroTrak. Vilica ili veslo se protežu u protok zrna koje dolazi s vrha elevatora. Vilica ili veslo količinu zrna koja protječe kroz elevator prepoznaju uz pomoć mjerne ćelije i očitavaju vrijednost prinosa. Što je veća udarna sila koja djeluje na mjernu ćeliju, to je veći prinos. Prilikom žetve, ponekad je potrebno provjeriti rad senzora, odnosno vizualno pregledati senzor i očistiti površinu metalne pločice. Uslijed rada moguće je da se na senzoru zbog velike količine prašine i veće vlažnosti zrna stvori sloj prljavštine koji može uzrokovati pogrešno očitavanje količine zrna u elevatoru.

2.1.2 Senzori mase

Ova vrsta senzora koristi teretnu ćeliju koja je povezana s metalnom rukom koja podupire težinu samog lijevka ili količinu čistog zrna koja se transportira pomoću pužnog transportera. Što je veća količina zrna u pužu, veća je i sila koja se ostvaruje na teretnoj ćeliji. Prilikom izračunavanja prinosa kod ovakvog sustava, mora se uzeti u obzir brzina puža, temperatura, ovjes i inercija (slika 4).

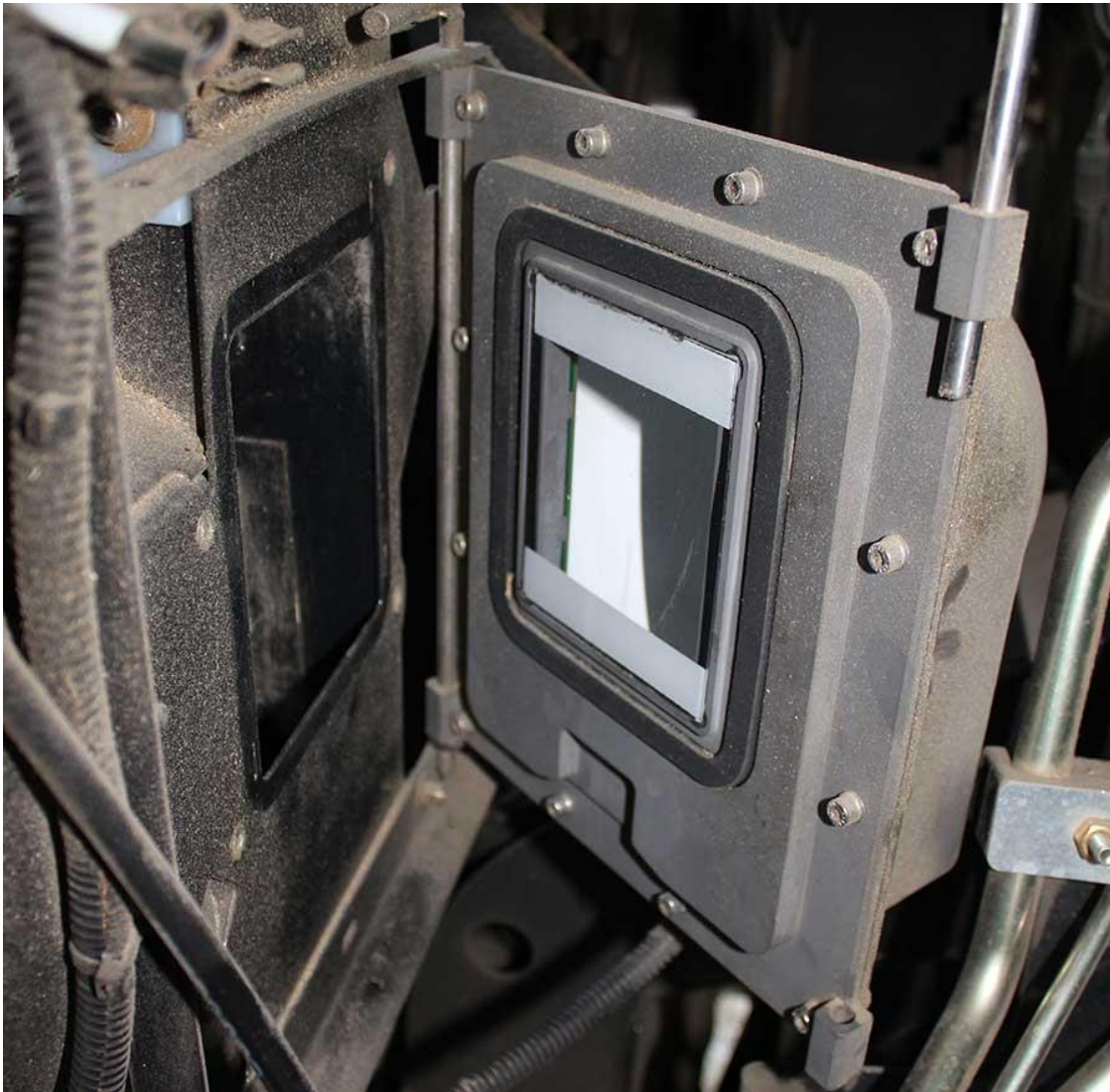


Slika 4. John Deere senzori mase (Izvor: <https://www.martindeerline.com/blog/john-deere-activeyield--active-calibration--8357>)

2.1.3 Optički senzori

Optičke senzore odlikuje bolje preciznost i brža kalibracija u odnosu na ostale mehaničke senzore. Optički senzori su senzori novije generacije i dosta su složeniji u odnosu na starije tipove senzora prinosa. Primjena ovih senzora je u početku bila manja zbog velike cijene proizvodnje samog senzora, a danas su ovi senzori pristupačniji zbog napretka tehnologije i

manje nabavne cijene. Optički senzori se ugrađuju u elevator čistog zrna koji požnjeveno zrno transportira u spremnik kombajna (Slika 5). Optički senzori za rad koriste infracrveno svjetlo i detektor koji je postavljen na drugoj strani elevatora. Detektor očitava količinu infracrvenih zraka koja se uspije probiti kroz masu čistog zrna. Prazne lopatice elevatora privremeno blokiraju pucanje snopa infracrvenog svjetla koji se prostire kroz kućište elevatora. Kada se na lopaticama elevatora nalazi zrno, detektor očitava manji postotak infracrvenog svjetla u usporedbi s praznom lopaticom elevatora. Kao i kod udarnih senzora, potrebno je izvršiti kalibraciju koja se postiže kombajniranjem određene količine zrna dok je kombajn u načinu kalibracije. Stvarna težina bilježi se na senzoru i senzor korelira svjetlosni signal s prinosom.



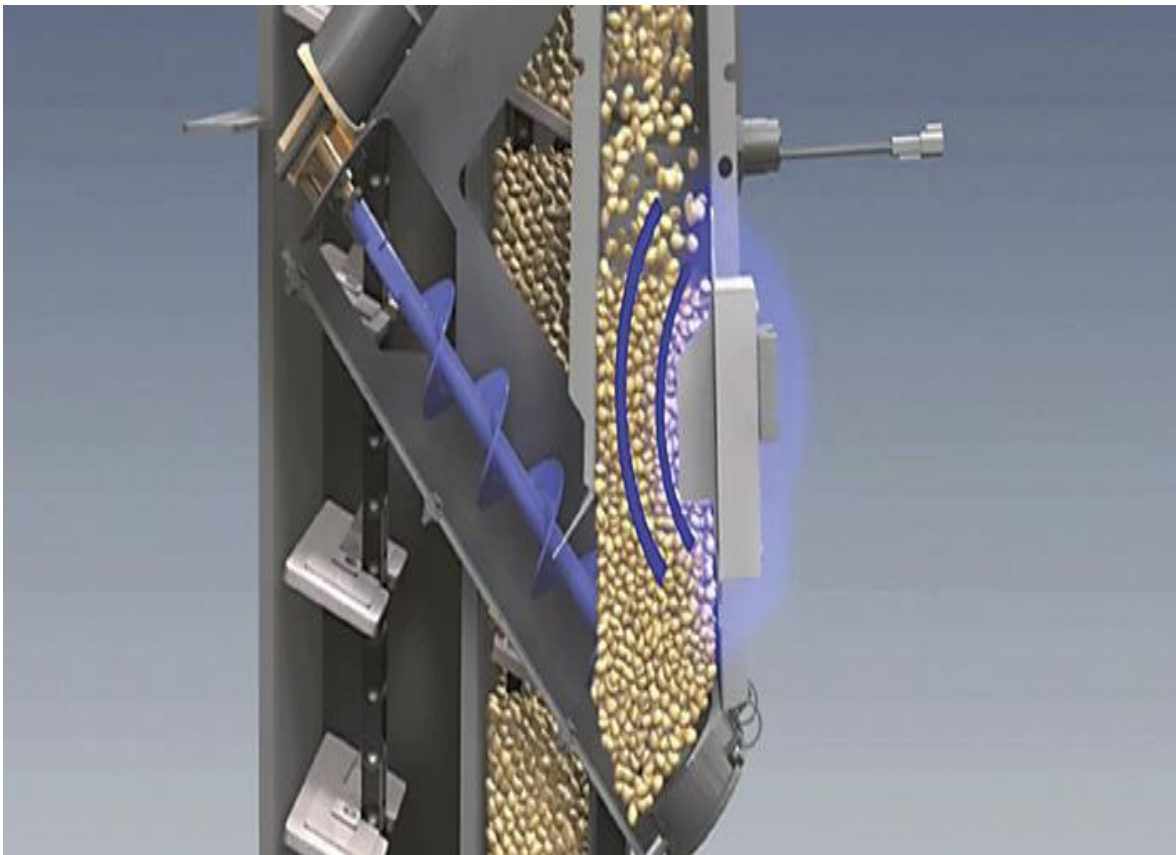
Slika 5. Optički senzor čistog zrna (Izvor: <https://www.fwi.co.uk/machinery/harvest-equipment>)

2.1.4 Nuklearni senzori

Nuklearni senzori imaju malu primjenu u praćenju prinosa. Nuklearni senzori koriste mali radioaktivni izvor koji emitira snop čestica kroz čisti elevator zrna i mjeri količinu čestica koja prolazi na drugu stranu elevatora. Što je količina zrna u elevatoru veća, to je manja radijacija koja protiče. Trenutno AGCO koristi ovu vrstu senzora u kombajnima koji se prodaju na području Europe. (Hopkins, 2009.)

2.2 Senzori vlažnosti zrna

Senzori vlažnosti zrna prilikom mjerenja prinosa se koriste za mjerenje vlažnosti čistog zrna koje se transportira u spremnik zrna. Senzor za mjerenje vlažnosti zrna najčešće je smješten u kućištu elevatora zrna (Slika 6). Očitavanje senzora vlažnosti zrna je u korelaciji s količinom prinosa zrna koju očitava senzor prinosa zrna. Što je vlažnost zrna veća, to je i veća masa zrna, stoga vlažnost zrna ima veliku važnost prilikom izračuna prinosa i izrade karte prinosa. Optimalna vlažnost prilikom žetve je oko 14%. Kod kukuruza vlažnost zrna prilikom žetve može biti i do 25%, što nije mali raspon vlažnosti te na temelju toga možemo zaključiti da senzor vlažnosti ima veliku priliku izračuna prinosa.



Slika 6. Senzor vlažnosti (Izvor: <https://agriculture.newholland.com>)

2.3 Senzori položaja hedera

Za kvalitetnu i efikasnu žetvu, potrebno je svesti gubitke na minimum. Procjenjuje se da se prilikom žetve soje izgubi i do 12% zrna, a za ostale ta brojka može biti i veća. (Shay, 1993.) Najvažniji uređaj u žetvi je naravno kombajn, postoji više uzroka gubitaka zrna, ali procjenjuje se da se 75% gubitaka događa na hederu. (Glancey, 1997) Jedan od faktora koji najviše doprinosi gubitku zrna je promašaj ubiranja uroda, posebno zbog pologa kulture kao kod ječma ili niskog položaja zrna odnosno mahuna na stabljici soje. Premala vlažnost zrna može uzrokovati veće gubitke zrna, stoga je žetvu potrebno obaviti kada je vlažnost zrna optimalna za pojedinu kulturu. Optimalna vlažnost zrna prilikom žetve za većinu žitarica i ostalih zrnatih kultura je između 13 i 14%. Senzori položaja hedera očitavaju visinu hedera, odnosno udaljenost stola hedera do tla. Današnji moderni kombajni velike snage imaju hedere velikog zahvata čak i do 15 metara, što je operateru kombajna jako teško pratiti. Senzori položaja hedera i sustavi koji su ugrađeni u kombajn olakšavaju praćenje rada stroja i povećavaju učinkovitost rada stroja i samu kvalitetu žetve. Senzori omogućuju praćenje kontura i neravnina tla i sigurno ubiranje zrna. Većina modernih kombajna s hederima s velikima zahvatom imaju mogućnost podešavanja položaja hedera u vertikalnom i horizontalnom pravcu (Slika 7). Očitavanja senzora položaja hedera se koriste da bi se odredilo je li proces kombajniranja aktivan ili ne. (Barocco i sur., 2017.)



Slika 7. Podešavanje hedera u vertikalnom i horizontalnom pravcu (Izvor:

<https://www.hillcotechnologies.com/ch9010.html>)

2.4 Isobus

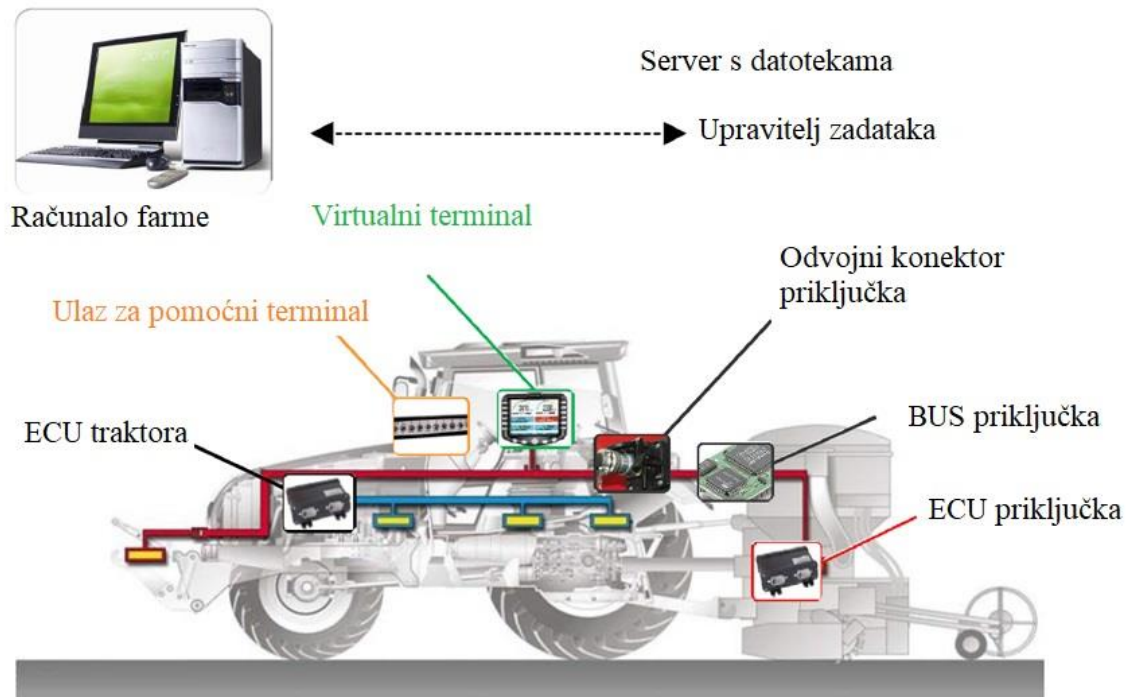
Početak devedesetih godina organizacija ISO je definirala industrijski standard za komunikacijski protokol između elektroničkih uređaja različitih proizvođača poljoprivrednih strojeva. Nakon toga, svi proizvođači na tržištu su prepoznali da će ova tehnologija imati veliki značaj za poljoprivrednu elektroniku (Kraatz i sur. 2019.). Prvi ISOBUS uređaji pojavili su se na tržištu sredinom 2000 – ih. ISOBUS je veoma složen i velik standard elektroničkog protokola zasnovan na CAN i SAE-J939 standardima, prošireni za poljoprivrednu industriju. Standard je sastavljen od 14 različitih dijelova. U nastavku rada biti će prikazan ISOBUS priključak (Slika 8).



Slika 8. ISOBUS priključak (Izvor: <http://www.berthoud.com/homepage/technologies-/row-crops/isobus-8000.aspx>)

Kao i ostale industrijske djelatnosti, poljoprivredna industrija je zabilježila značajan rast primjene elektronike krajem osamdesetih godina. Proizvođači su bili pogođeni nedostatkom standardiziranog protokola. U brzo rastućem okruženju konsolidacija organizacija za razvoj proizvoda nije uvijek bila prioritet i stoga prisutnost robusnog industrijskog standarda bila je značajno podržana od svih proizvođača poljoprivrednih strojeva.

Za povećanu transparentnost prema kupcima i developerima, AEF je definirao takozvane ISOBUS funkcionalnosti koje su i danas baza za certifikaciju ISOBUS proizvoda. Funkcionalnosti obuhvaćaju različite kontrolne funkcije na ISOBUS mreži, kao što su terminal, ECU traktora ili kombajna, pomoćni uređaj ili upravljač zadataka (Slika 9).



Slika 9. Prikaz sastavnih dijelova ISOBUS – a (Izvor: <http://www.ideagri.net/isobus-standard/what-is-isobus/>)

AEF je objavio sljedeće funkcionalnosti koje se danas mogu potvrditi ispitivanjem sukladnosti:

- UT – univerzalni terminal. Sposobnost rukovanja strojem s bilo kojim terminalom. Mogućnost upravljanja s više različitih strojeva s jednim terminalom (Slika 10).
- AUX – pomoćno upravljanje. Dodatni elementi za kontrolu, poput džojstika, koji olakšavaju rad složene opreme.
- TC BAS – upravitelj zadataka – osnovni. Opisuje dokumentaciju ukupnih vrijednosti koje su relevantne za obavljeni posao. Za razmjenu podataka koristi se format ISOXML.
- TC GEO – upravitelj zadataka – zasnovan na GEO – u. Dodatna sposobnost pribavljanja podataka o lokaciji.

- TS – SC – upravitelj zadataka – upravljanje odjeljkom. Automatsko prebacivanje sekcija, kao kod prskalica ili sijačica, na temelju GPS položaja i željenog stupnja preklapanja.
- TECU – ECU traktora. ECU traktora je sučelje traktora za ISOBUS. ECU pruža informacije kao što su brzina, broj okretaja u minuti i dr. Ova funkcija ne služi kao tipka za gašenje sustava u slučaju nužde.
- ISB – ISOBUS tipka prečaca. Prisutan gumb na terminalu ili kabini traktora koji se koristi za slanje globalne poruke svim povezanim kontrolnim funkcijama na ISOBUS – u za prelazak u stanje mirovanja (Mago i sur. 2019.).



Slika 10. John Deere terminal (Izvor: <https://www.deere.com/en/harvesting/x-series-combines/technology-packages/>)

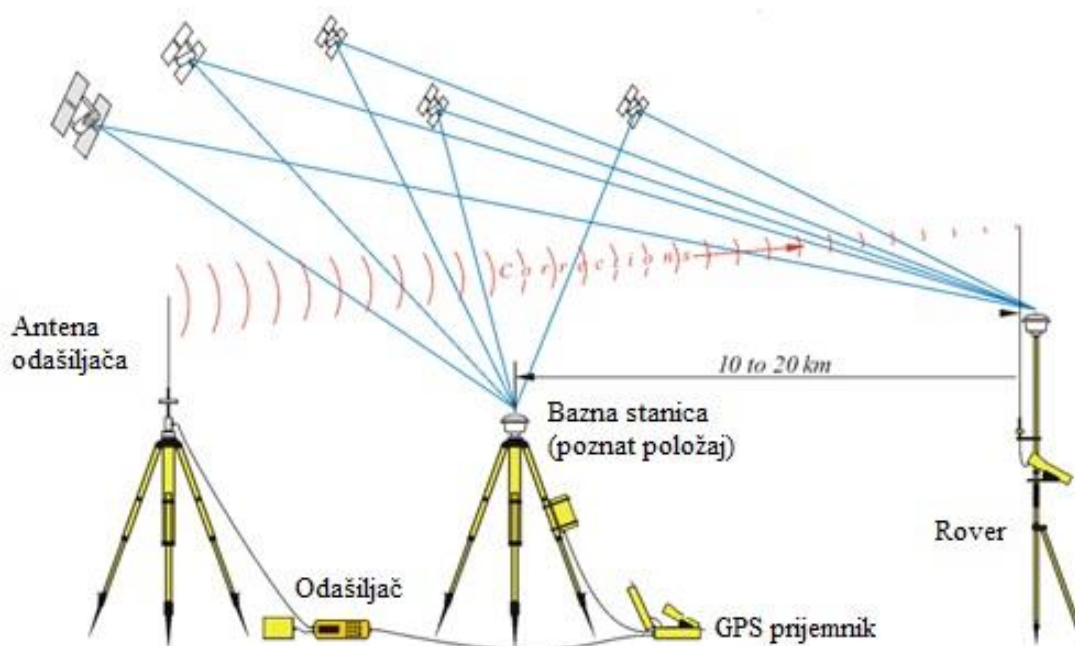
ISOBUS omogućuje povezivanje i komunikaciju sustava i podsustava kombajna. ISOBUS osigurava povezanost i prijenos podataka od senzora do upravljačke jedinice kombajna, stoga je moguće imati stalan uvid u rad stroja i izvršiti potrebna podešavanja i kalibraciju sustava za praćenje prinosa i senzora. Gotovo svi uređaji i strojevi koji se koriste u preciznoj poljoprivredi moraju biti opremljeni s ISOBUS priključkom kako bi se ostvarila komunikacija između glavnog stroja (traktor ili kombajn) i priključka (rasipač mineralnog gnojiva ili heder) te prijenos podataka s agregata u telematički sustav.

2.5 Real-time-kinematic (RTK)

RTK je visoko precizna tehnologija koja se koristi za određivanje položaja prijemnika koristeći signal koji je primljen od satelitskih sustava za određivanje položaja kao što su GPS, Galileo, BeiDou i Glonass. RTK se temelji na tehnici mjerenja koja koristi fazu nosača signala za određivanje položaja prijemnika. Rezultat je precizniji u odnosu na tradicionalna vremenska GNSS rješenja koja se koriste u svakodnevnom životu, kao što su navigacijski uređaji u automobilima ili mobilnim telefonima. Tradicionalni GNSS prijemnici primaju signale direktno od GNSS satelita i procjenjuju njihov položaj koristeći razliku u vremenima koja se prenosi s nekoliko satelita. Preciznost ovih sustava je oko 1 do 4 metra, dok GNSS prijemnici koji koriste RTK pružaju preciznost od nekoliko centimetara. Tehnika faznog mjerenja ne prima negativne vremenske utjecaje, stoga je pouzdanija od vremenskog mjerenja. Zbog svoje iznimne preciznosti, RTK tehnologija se koristi u preciznoj poljoprivredi za navođenje prilikom pripreme tla, sjetve, gnojidbe, prskanja, žetve i drugih agrotehničkih operacija. RTK je trenutno najpopularnija dostupna tehnika za određivanje položaja.

Za normalan rad i funkciju, RTK zahtjeva signal od 5 satelita za inicijalizaciju. Praćenje 5 satelita pruža osiguranje sustavu u slučaju gubitka signala od jednog satelita, pa mu i dalje ostaju 4 satelita od kojih prima signal pomoću kojeg je moguće precizno određivanje položaja. RTK koristi dva prijemnika, jedan prijemnik je stacionarni referentni prijemnik koji se naziva „baza“, a drugi je premještajući prijemnik pod nazivom „rover“. Bazne stanice su stacionarne i njihov položaj je poznat, a rover je GNSS prijemnik čiji položaj je potrebno odrediti. Roveri se mogu kretati od točke do točke, a mogu se i zaustavljati na trenutak na svakoj novoj točki. Bazna stanica je stacionarni prijemnik čije je mjesto poznato. Bazna stanica izračunava svoje mjesto korištenjem signala primljenog od GNSS satelita na temelju tehnike mjerenja faze rovera, zatim uspoređuje svoj položaj s položajem rovera kako bi utvrdio sve pogreške i generirao korekcijski signal. Korekcijski signal se u pravom vremenu odašilja roveru. Rover koristi korekcijske podatke da bi poboljšao vlastiti izračunati položaj na temelju GNSS satelita i postigao centimetarsku preciznost. Također, rover koristi tehniku mjerenja faze nosača kako bi odredio svoj položaj. Bazna stanica, odnosno radio odašiljač podataka, sastavljen je od antene, radio modulatora i pojačala. Modulator korekcijske podatke pretvara u radio signal. Pojačalo povećava snagu signala i određuje koliko daleko informacija može putovati (Slika11). Važno je napomenuti da bazna stanica zahtjeva određenu količinu vremena za izračunavanje korekcijskih podataka, postavljanje

korekcijskih podataka u pakete s točnim formatom i odašiljanje korekcijskih podataka. Podatci putuju od bazne stanice do rovera, zatim rover dekodira dobivene podatke. Vrijeme potrebno za provedbu navedenih operacija naziva se komunikacijska latencija između bazne stanice i rovera. Može iznositi četvrtinu sekunde pa čak i nekoliko sekundi, stoga možemo zaključiti da su korekcije bazne stanice precizne samo u trenutku kada su napravljene. Da bi korekcijski signal bio upotrebljiv, bazna stanica zajedno s korekcijskim signalima mora poslati korekciju brzine doseg. Koristeći korekciju doseg, rover može obraditi korekciju da bi odgovarala trenutku kada je odradio to isto promatranje.



Slika 11. Shema RTK sustava za navođenje (Izvor: <https://www.everythingrf.com>)

Bazna stanica je najčešće fiksirana na određenoj lokaciji i može odašiljati korekcijske podatke većem broju rovera unutar određene udaljenosti. Svi uključeni prijemnici prate signale istih satelita. Bazne stanice su stacionarne na kontrolnim točkama, roveri se kreću od točke do točke. Rover i bazna stanica moraju biti postavljeni na istu frekvenciju za uspješnu komunikaciju.

Udaljenost rovera od baze ne smije biti veća od 20 kilometara zbog prijenosa korekcijskih podataka, zato što se signal može ometati zbog različitih uvjeta okoline koji su prisutni na lokaciji rovera ili bazne stanice. RTK prijemnici mogu biti jednostruki ili višefrekvencijski prijemnici s GNSS antenama, ali češće se koriste višefrekvencijski prijemnici jer se RTK oslanja na promatranje faze nosača ispravljene u pravom vremenu, odnosno, to ovisi o popravljaju dvosmislenosti cjelobrojnog ciklusa, a to se najučinkovitije postiže

višefrekvencijskim GNSS prijemnikom koji može vršiti mjerenja faze nosača i preciznog pseudo raspona (udaljenost između satelita i satelitskog navigacijskog uređaja).

Za svoj normalan rad i funkcioniranje, RTK zahtjeva bežičnu povezanost između bazne stanice i rovera. Antene za primanje radijskog signala kod rovera mogu biti ugrađene u GNSS prijemnik ili mogu biti zasebno predstavljene (antena i prijemnik). Obično se na odašiljač podataka i rover postavljaju svesmjerne antene, dok kod bazne stanice postavlja se antena na zasebnom jarbolu i ima veću snagu od onih na roveru. Najčešća snaga antene bazne stanice je oko 6 dB. Značajan utjecaj na snagu cjelokupnog sustava ima položaj antene, stoga se antena postavlja na što veću visinu da bi se postigla maksimalna pokrivenost signalom. Što je veća dužina antene, to su bolje karakteristike prijenosa signala. Također, povoljnije je ukoliko je bazna stanica postavljena na području gdje nema nadzemnih prepreka (npr. krov kuće, zgrade ili farme), tada neće doći do pojave „*multipath*“ – a. Također, za optimalan rad RTK sustava, najbolji rezultati se ostvaruju ukoliko je bazna stanica u vidokrugu rovera, odnosno što manji broj prepreka, to je bolji prijenos i primanje signala. Svaki navigacijski sustav ima svoje prednosti i mane. RTK navigacijski sustav je izuzetno povoljan za uporabu u preciznoj poljoprivredi zbog svoje velike preciznosti. Neke od prednosti RTK navigacijskog sustava su:

- RTK pruža preciznost pozicioniranja u nekoliko centimetara,
- RTK se zasniva na tehnici faznog mjerenja koja nije pod utjecajem vremenskih uvjeta,
- pruža precizan GPS položaj u pravom vremenu,
- bolje navođenje u zahtjevnom okruženju,
- za rad u stvarnom vremenu nije potreban softverski paket naknadne obrade.

Mane RTK navigacijskog sustava su:

- ograničena dostupnost u pojedinim zonama,
- zahtjeva postavljanje bazne stanice na već poznatim koordinatama,
- zahtjeva precizne postavke i čist vidokrug rovera,
- zahtjeva stabilan i dug raspon radijske povezanosti,
- gubitak i latencija korekcijskih podataka,
- ograničen na doseg radijskog signala,
- visoka cijena nabave,

- rover uređaji nisu kompaktni stoga se ne mogu koristiti u mobilnim telefonima i drugim manjim uređajima.

Mane ovog sustava uzrokovale su pojavu novih metoda funkcioniranja RTK. Jedno od novijih rješenja je RTK s visokim dosegom koji koristi GSM modem za razliku od standardnog RTK koji koristi radio prijemnik i antene. Zahvaljujući GSM modemima, udaljenost između baze i rovera povećana je i do 100 km. Zbog široke primjene RTK navigacijskog sustava u poljoprivredi, veliki broj proizvođača poljoprivrednih strojeva, kao što je JOHN DEERE, proizvode vlastite navigacijske uređaje pod imenom *starfire* (Slika 12).



Slika 12. Starfire 6000 RTK prijemnik (Izvor: <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/starfire-6000-receiver>)

Također, na tržištu su se pojavili i novi proizvođači navigacijskih i upravljačkih uređaja koji su kompatibilni sa svim markama strojeva, a jedan od najpoznatijih i trenutno dostupnih proizvođača je tvrtka Trimble. Novi navigacijski uređaji nude navođenje stroja na proizvodnoj površini i iznimnu preciznost u aplikaciji mineralnih gnojiva, pesticida i kalcifikaciji tla. Također, kod novijih traktora i drugih samohodnih strojeva koji su opremljeni ISOBUS priključkom i RTK prijemnikom, omogućeno je potpuno automatsko navođenje, odnosno kretanje stroja po proizvodnoj površini, gdje se postavljanjem posebnog uređaja na postolje volana omogućuje samostalno kretanje stroja na površini uz nadzor operatera stroja (Slika 13). Kod novijih strojeva zahvaljujući telematičkim sustavim i *autotrac*-u, omogućeno je i samostalno okretanje agregata na uvratinama polja gdje operater uopće ne mora okretati upravljač traktora ili kombajna. Sustav sam prilagođava brzinu

kretanja agregata i sam uz pomoć uređaja koji je postavljen na postolje upravljača okreće upravljač i vrši se samostalno okretanje stroja na uvratinama.



Slika 13. Trimble profesionalni sustav za navođenje (Izvor: <https://agriculture.trimble.com/product/ez-pilot-pro-guidance-system/>)

Navigacijski sustavi u novijim strojevima zahtijevaju postavljanje terminala u kabini traktora ili kombajna. Na terminalu je moguće pratiti kretanje stroja po proizvodnoj površini i vršiti korekcije putanje, odnosno skretanje (Slika 14).



Slika 14. Trimble navigacijski terminal (Izvor: <https://agriculture.trimble.com/solutions/guidance-steering>)

2.6 Georeferenciranje očitavanja senzora

Kartiranje prinosa označava proces prikupljanja georeferenciranih podataka o prinosu zrna i njegovim karakteristikama. Navedeni podatci o prinosu i položaju stroja se automatski upisuju u sustav prilikom žetve. Napretkom tehnologije razvijen je veliki broj novih metoda koristeći široki spektar senzora koji su posebno razvijeni za kartiranje prinosa. Sustav za kartiranje prinosa sastavljen je od:

- senzora protoka mase – mjeri požnjevenu količinu zrna,
- senzora vlažnosti zrna,
- senzora čistog zrna – nalazi se u elevatoru čistog zrna,
- navigacijskog uređaja – georeferencira i zapisuje podatke,
- senzora položaja hedera,

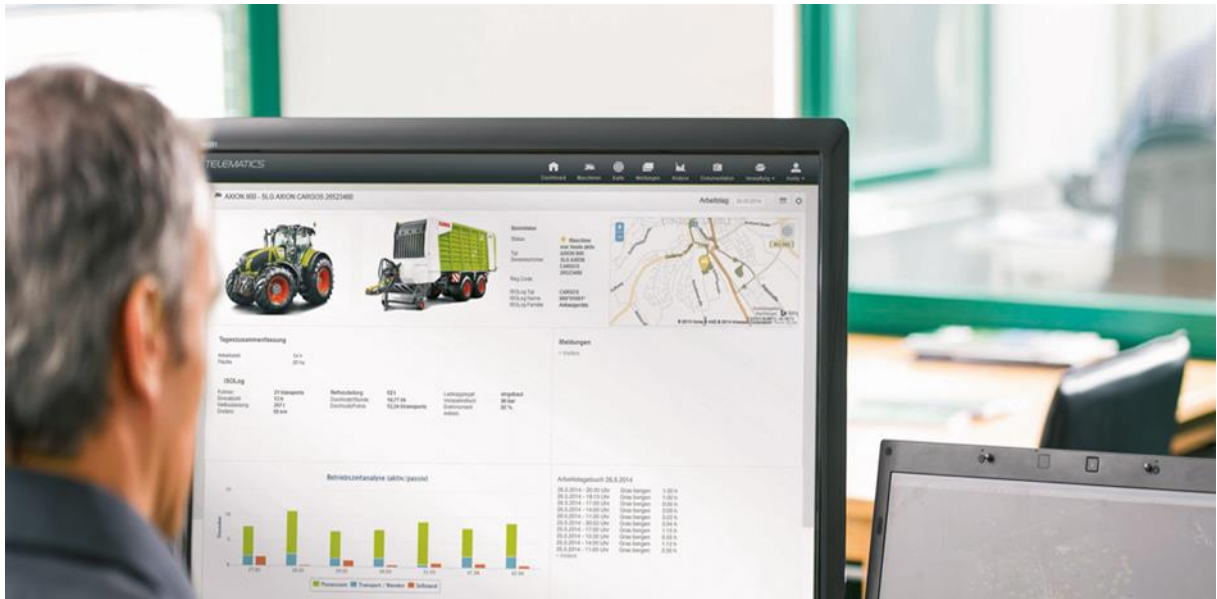
Da bi se obavilo precizno i valjano kartiranje prinosa, svaki senzor mora biti propisno kalibriran prema operatorskom priručniku. Kalibracija pretvara signal senzora u fizičke parametre. Tijekom žetve stvara se zasebna datoteka podataka koja bilježi očitavanja svih senzora u određenom vremenu. Ova datoteka se može pretvoriti u tekstualni format, a može se i prikazati kao karta uz pomoć GIS alata. Datoteka dnevnika sadrži sve točke koje su zabilježene prilikom kretanja kombajna na proizvodnoj površini. U datoteku se upisuju i podatci kada je kombajn obavljao aktivan rad, odnosno žetvu i kada je kombajn obavljao pomoćni rad, odnosno okretanje na uvratinama, stoga mjerenja senzora ne odgovaraju točnim mjestima žetve zato što protok zrna kroz kombajn kasni od 10 do 15 sekundi. Da bi se uklonile ove pogreške, nužno je obaviti korekciju podataka u stvarnom vremenu. Neobrađeni podatci se premještaju kako bi se nadoknadilo kašnjenje kombajniranja, a podatci koji su zabilježeni kada je heder kombajna bio u gornjem položaju se uklanjaju. Također, nekoliko zapisa s početka i kraja prolaza trebalo bi ukloniti. Ovi zapisi su povezani s početnim i krajnjim kašnjenjem očitavanja. Početno kašnjenje se može uočiti kada kombajn započinje kombajniranje, ali protok zrna još nije stabiliziran zato što se elevator čistog zrna postupno puni. Krajnje kašnjenje se može uočiti kada kombajn izlazi iz zahvata i protok zrna postupno opada do potpunog pražnjenja elevatorskog čistog zrna. Senzor položaja hedera ima značajnu ulogu u korekciji kašnjenja protoka zrna i brisanju zapisa podataka koji su zabilježeni kada se heder nalazio u gornjem položaju. Očitavanja senzora hedera su primarni filteri za obradu podataka u sustavu za kartiranje i georeferenciranje prinosa. (Viacheslav i sur., 2004.) Podatci koji su zabilježeni u sustavu za praćenje prinosa se automatski spremaju u sustavu i mogu se prebaciti uz pomoć usb stick – a na glavno računalo. Noviji kombajni

opremljeni su modernim sustavima za praćenje prinosa i nude mogućnost bežičnog prijenosa podataka putem interneta ili neke drug veze na glavni poslužitelj. Dobiveni podatci o prinosu i položaju stroja se dalje obrađuju i povezuju, interpoliraju i ispravljaju da bi se dobila precizna karta prinosa. Veliki proizvođači poljoprivrednih strojeva i specijaliziranih uređaja za žetvu, kao što su JOHN DEERE i CLAAS, razvili su vlastite telematičke sustave koji imaju mogućnost prijenosa podataka, obrade podataka i izrade karte prinosa.

2.7 Telematika

Telematika je moderna znanstvena disciplina koja podrazumijeva cijelu skupinu primjena kojima je zajednička značajka korištenje nekog vida telekomunikacije, budući da su elementi telematičkih sustava u pravilu fizički međusobno udaljeni. U telematičkim sustavima koriste se načini komunikacije koji su opće prisutni u informacijskim znanostima, te je mrežna infrastruktura osnovni medij komunikacije koji koriste telematički sustavi. Većina poznatih proizvođača poljoprivrednih strojeva imaju svoje vlastite telematičke sustave koji se neprestano nadograđuju i ažuriraju da bi imali veliku preciznost, samim time i konkurentnost na tržištu i podršku. Jedan od najpoznatijih telematičkih sustava je sustav njemačkog proizvođača poljoprivrednih strojeva marke Claas.

CLAAS je razvio svoj telematički sustav pod imenom CLAAS TELEMATICS. TELEMATICS je sustav koji neprestano dohvaća i bilježi podatke o radu, tragove i podatke o prinosu zrna od povezanih kombajna, silokombajna i traktora. Svi podatci koji cirkuliraju u telematicsu se prenose sa strojeva na poslužitelj putem mobilne mreže. Nastali podatci na poslužitelju se dalje obrađuju i pohranjuju. Podacima se može pristupiti putem interneta preko internet stranice *telematics* (Slika 15). Podatci unutar telematičkog sustava se mogu podvrgnuti daljnjoj obradi uz pomoć alata koje telematički sustav nudi. Podatci se mogu izvesti i u druge softvere za upravljanje farmama. Putem telematics-a omogućeno je praćenje stanja stroja i ponašanje stroja u radu, ne samo jednog stroja nego svih CLAAS strojeva koji su povezani sa sustavom TELEMATICS. TELEMATICS pruža precizne podatke o lokaciji vašeg stroja, kada i kako stroj radi. Ovaj sustav nudi razne mogućnosti poboljšanja kvalitete rada i značajne uštede vremena i novca. Važnost TELEMATICS-a i njegova efikasnost se najbolje može uočiti prilikom žetve i transporta. Glavni cilj TELEMATICS sustava je smanjiti troškove svakodnevnog postavljanja strojeva. Funkcije analize daju alate koji su potrebni za prepoznavanje mogućnosti za bolju optimizaciju rada stroja. TELEMATICS otkriva kako se može povećati učinak stroja ili otkriti zašto se performanse stroja ne mogu iskoristiti u potpunosti.



Slika 15. TELEMATICS sustav na računalu (Izvor: <https://www.claas-e-systems.com/en/oem-products/telematics>)

Putem TELEMATICS-a moguća je pouzdana dokumentacija polja koje se obrađuje. Kada se koristi zajedno sa softverskim programom za upravljanje farmama, svi podatci potrebni za vlastito prikupljanje podataka na terenu se mogu dobiti automatski te brzo i jednostavno pristupiti svim informacijama (Slika 16).

TELEMATICS pruža informacije o:

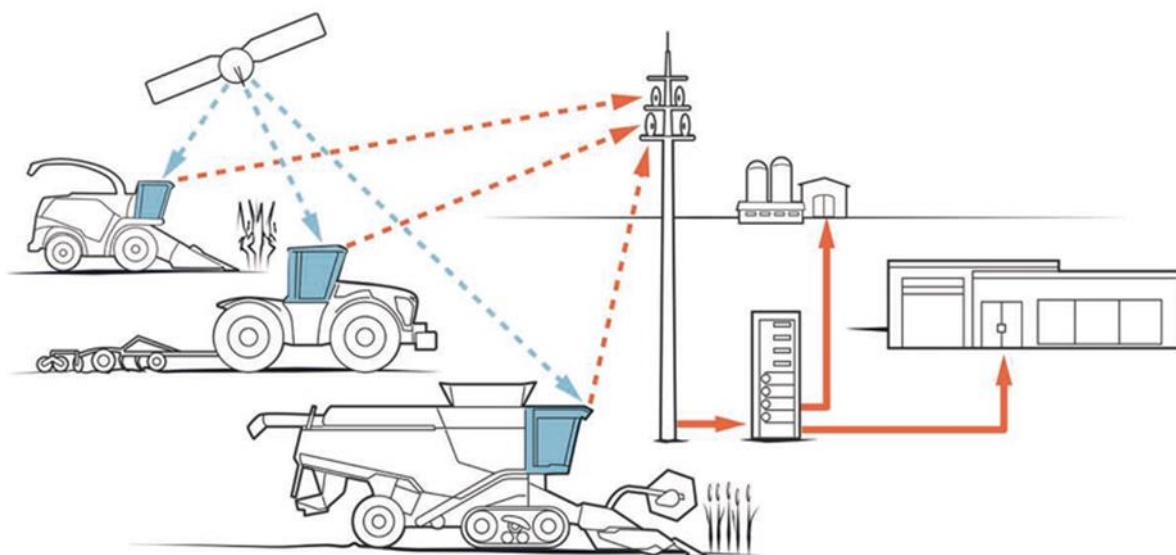
- radnom vremenu stroja,
- radnom procesu,
- potrošnji goriva,
- položaju stroja,
- podatke o prinosu zrna, apliciranoj količini mineralnog gnojiva, pesticida i dr.

Automatska dokumentacija je najpouzdaniji način za dokumentiranje podataka. Ovaj modul TELEMATICS – a smanjuje vaše opterećenje prilikom poboljšanja pouzdanosti upravljanja s podacima. Jednom kada se postave ograničenja polja u sustavu TELEMATICS, sustav automatski identificira polje gdje stroj radi i izrađuje specifične podatke za to polje i za svaki posao koji se obavlja unutar tog polja i snimljenim trajektorijama.

Korištenjem TELEMATICS-a vozač ne treba poduzimati nikakve radnje ili trošiti vrijeme na unaprijed planirane poslove, zbog toga se njegovo radno opterećenje značajno smanjuje. Dokumentacija se može ispisati ili izvesti u terenski katalog kao ISOXML datoteka.

Zahvaljujući ovim značajkama, TELEMATICS manjim farmama nudi bolje pogodnosti, a zahvaljujući standardizaciji TELEMATICS-a, funkcija TONI (engl. *Telematics on implements*) sada se sve više koristi u praktičnim aplikacijama za traktore CLAAS.

S TELEMATICS-om poljoprivrednici, izvođači, rukovatelji i proizvođači uvijek imaju potpuni pregled nad svim svojim strojevima i mogu u potpunosti iskoristiti brzinu rada i učinkovitost stroja. Korištenjem mrežnog nadzora i upravljanja voznim parkom, korisnik može u stvarnom vremenu prepoznati nedostatke u radu te odmah reagirati i ispraviti pogreške. TELEMATICS na temelju dobivenih podataka nudi mogućnost izrade karte prinosa i karte gnojidbe.

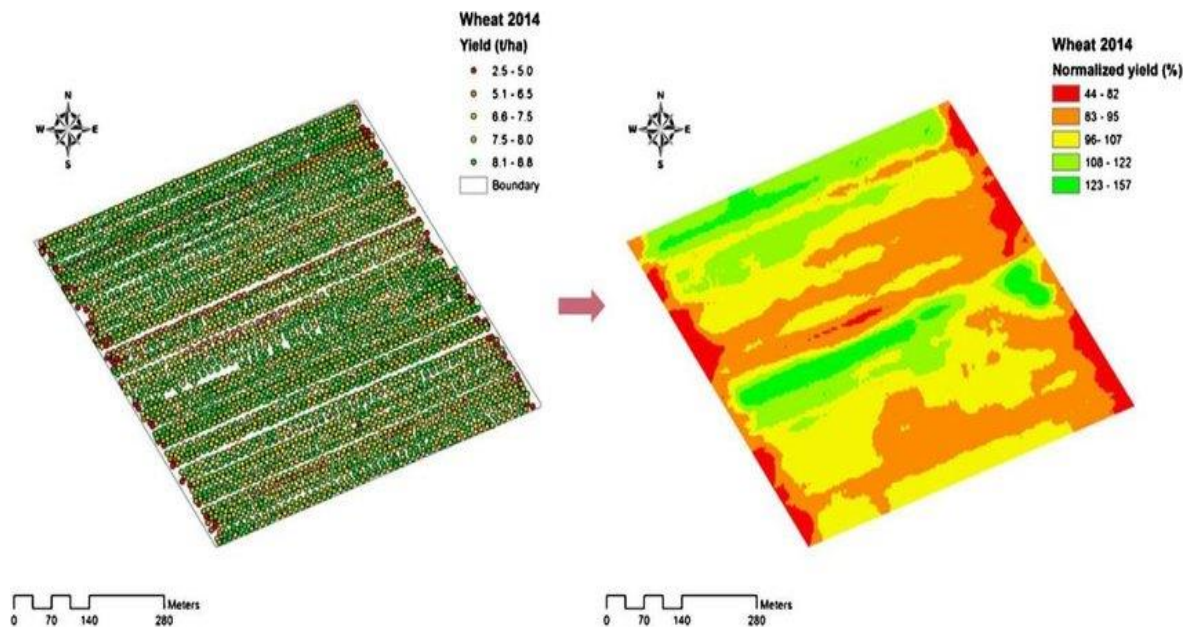


Slika 16. Shema prijenosa podataka u TELEMATICS – u (Izvor: <https://www.claas-e-systems.com/en/oem-products/telematics>)

2.8 Karte prinosa

Karte prinosa imaju izuzetnu važnost u preciznoj poljoprivredi. Karte prinosa predstavljaju veliki izvor informacija u razvoju i procjeni u preciznoj poljoprivredi, stoga možemo reći da je karta prinosa jedna od ključnih komponenti u poljoprivrednoj proizvodnji. Ove karte sadrže informacije koje mogu značajno utjecati na donošenje odluka. Senzori prinosa u kombajnama omogućuju lako očitavanje podataka o prinosu. Karte prinosa pružaju krajnje informacije, odnosno rezultate o reakciji usjeva na neku vrstu tla i druge agrotehničke operacije te sredstva i količinu sredstava koja su aplicirana prilikom proizvodnje kulture na obrađenoj površini. Prinos usjeva se koristi kao rezultat različitih čimbenika koji imaju

utjecaj na prinos, kao što su vrsta tla, hranjiva, vlažnost i štetnici. Karte prinosa se izrađuju na temelju informacija nastalih praćenjem prinosa, odnosno od informacija koje su očitali senzori prinosa i uređaji za navođenje. Karte prinosa se izrađuju u specijaliziranim geoinformacijskim sustavima koji obrađuju podatke koje su očitali senzori prinosa i te podatke povezuju s točnom lokacijom na kojoj očitana količina zrna ubrana (Slika 17).



Slika 17. Karta prinosa prije i poslije interpoliranja podataka

(Izvor:

https://www.researchgate.net/publication/347801380_Yield_Mapping_Hardware_Components_for_Grains_and_Cotton_Using_On-the-Go_Monitoring_Systems)

Podatci nastali mjerenjem prinosa sadrže sustavne i slučajne izvore izmjerenih varijacija prinosa, uključujući i stabilnu varijabilnost prinosa koja se odnosi na klimatske i ostale značajke kao što su vrsta tla, nadmorska visina te varijabilnosti koje su nastale upravljanjem i samim procesom kartiranja prinosa. Varijacije koje su nastale zbog upravljanja uključuju slučajne pogreške koje se obično javljaju u manjim količinama, kao što su preskok sijačice, loš sklop, neujednačena gnojidba, oštećenja nastala od zaštitnih sredstava i dr. Najznačajnije pogreške u mjerenju prinosa su povezane s podacima koji su nastali u procesu praćenja prinosa, a tu se ubrajaju pogreške u radu senzora protoka zrna, pogrešna očitavanja senzora vlažnosti zrna, neispravni zapisi GPS prijemnika o kretanju kombajna, nagli skokovi prinosa, pogreške rukovatelja, nepoznata širina zahvata kombajna, te ostale pogreške prilikom mjerenja prinosa i pogreške u obradi podataka. (Ping J. L. i sur., 2005.) Metode za uklanjanje ovih pogrešaka iz podataka nastalih mjerenjem senzora još uvijek nisu

standardizirane, unatoč tome razvijeno je nekoliko različitih tehnika pročišćavanja podataka da bi se adresirale specifične pogreške. Sudduth i Drummond opisali su nekoliko različitih tehnika za pročišćavanje podataka koje su ugrađene u program „*Yield Editor*“ za izradu karte prinosa da bi se uklonila mjerenja koja nisu u skladu s pravim usjevom, a to su:

- kašnjenje protoka zrna,
- zakašnjenje početka prolaska (Start) i kašnjenje završnog prolaska (End),
- maksimalna brzina,
- minimalna brzina,
- ugladena brzina,
- minimalni zahvat,
- maksimalni i minimalni prinos,
- standardno odstupanje prinosa,
- položaj,
- ručno pročišćavanje podataka.

2.8.1 Kašnjenje protoka zrna

Ovaj parametar ispravlja vrijeme prijevoza zrna između mjesta na kojem je zrno ubrano i mjesto na kojem senzor očitava protok. Na vrijeme kašnjenja utječe dizajn opreme za žetvu, brzina kretanja na polju, nagib tla, opterećenje kombajna i drugi čimbenici, stoga ovaj parametar se ne može standardizirati u programima za izradu karti prinosa. Ovaj parametar je najbolje odrediti posebno za svako polje. (Whelan, 2002.)

2.8.2 Zakašnjenje početka prolaska i kašnjenje završnog prolaska

Filter „*start*“ uklanja zapise koji nastali prilikom ulaska u trajektoriju odnosno zahvat, a filter „*End*“ uklanja podatke rada na izlazu iz trajektorije. Navedeni broj zapisa uklanja se iz svih trajektorija u skupu podataka. Ovi filteri uklanjaju podatke s niskim i nepouzdanim procjenama prinosa koje su nastale na početku trajektorije kada se kombajn počinje puniti i na kraju kada se kombajn počinje prazniti. Ukoliko su parametri „*Start*“ i „*End*“ premali, točke s izuzetno niskim prinosom će ostati u podacima i značajno će umanjiti prinos od standardnog odstupanja prinosa, ako su parametri preveliki, velika količina korisnih podataka može biti izgubljena. (Simbahan i sur., 2004.)

2.8.3 Maksimalna brzina

Ovaj filter uklanja podatke koji su prikupljeni pri brzini koja je veća od postavljenog ograničenja. Posebno je koristan za uklanjanje podataka gdje je kombajn vršio s nepotpunim

zahvatom i područjima gdje operater iz nekog razloga nije isključio vršalicu i podigao heder, a kretao se po polju i nije obavljao žetvu. (Beck i sur., 2001.)

2.8.4 Minimalna brzina

Ovaj filter uklanja podatke koji su prikupljeni pri brzini koja je manja od najmanje dopuštene brzine kretanja. Pomaže u uklanjanju nerealno visokih trenutnih skokova u izračunu prinosa koji se mogu dogoditi kada je brzina kretanja kombajna približna nuli. (Kleinjan i sur., 2002.)

2.8.5 Ujednačena brzina kretanja

Ovaj filter uklanja podatke koji su nastali prilikom nagle promjene brzine između točaka. Parametar ujednačene brzine predstavlja dopušteni omjer promjene brzine od jedne do druge točke mjerenja duž presjeka. Primjerice, omjer 0,2 označava variranje brzine od 20% između dvije susjedne točke. (Kleinjan i sur., 2002.)

2.8.6 Minimalni zahvat

Ovaj filter uklanja podatke s očitanjima o zahvatu koji su ispod minimuma. Ukoliko operater kombajna precizno ulazi u svaku trajektoriju odnosno zahvat prilikom žetve, ovaj filter se može koristiti za eliminiranje uskih zahvata koji uzrokuju manji protok zrna. (Drummond i sur., 1999.)

2.8.7 Minimalni i maksimalni prinos

Ovi filteri postavljaju minimalni i maksimalni prag prinosa. Podatci izvan ovog raspona biti će izbrisani. Ovaj filter se često koristi u procesu izrade karte prinosa, a ponekad je i jedini filter koji se koristi. Parametar „*Min*“ se postavlja na temelju minimalnog prinosa koji se očekuje na pojedinim dijelovima polja koji je uzrokovan stresovima, npr. zabarivanje dijela parcele. Parametar „*Max*“ predstavlja potencijalni urod kako bi se izbjeglo neželjeno uklanjanje potencijalno valjanih podataka. (Simbahan i sur., 2004.)

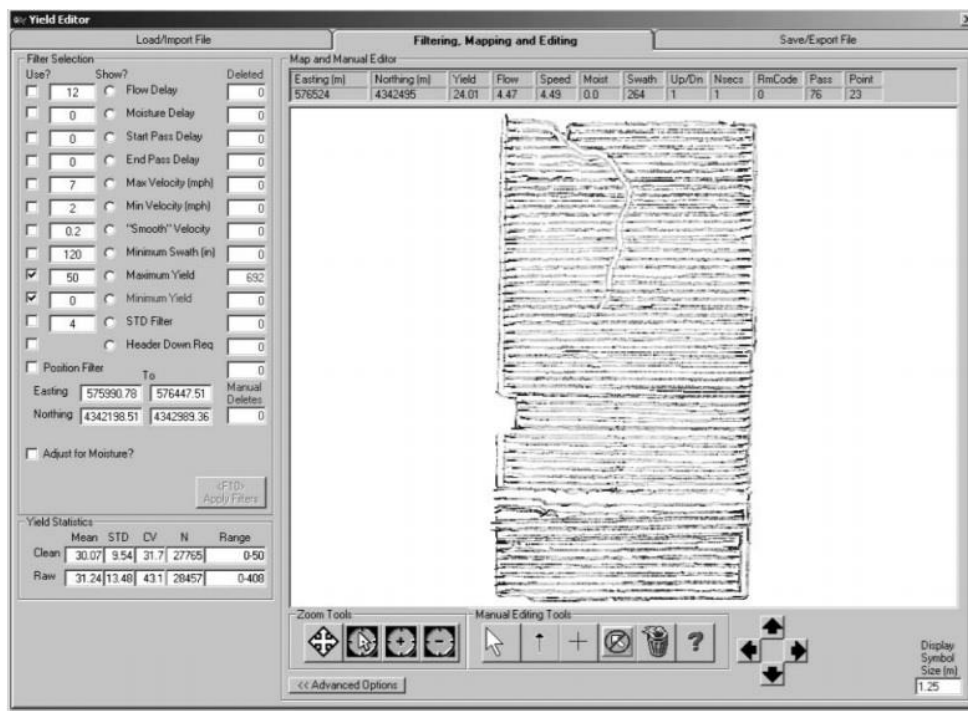
2.8.8 Položaj

Ovaj filter uklanja zapisane podatke o položaju koji se nalaze izvan granica polja koje se obrađuje. Iako su točnost i pouzdanost sustava pozicioniranja značajno povećani, moguća je pojava pogrešaka o položaju, primjerice gubitak radijskog diferencijalnog signala. Ako su podatkovne točke unutar polja, ali pokazuju pogrešku, moguće je i njihovo ručno brisanje. (Sudduth, 2006.)

2.8.9 Ručno uklanjanje pogrešaka

Gotovo neizbježno je da podatci o prinosu sadrže podatke koji su očito pogrešni, ali nisu automatski detektirani i uklonjeni s gore navedenim filterima. Primjerice, mali, ali značajan broj pogrešaka može se pojaviti kada operater vrši uski odnosno završni zahvat u polju, ali ne zapisuje točan zapis o zahvatu u sustav za praćenje prinosa. U drugom slučaju, operater kombajna je možda zaboravio podići ili spustiti heder kada je ulazio ili izlazio iz usjeva, sprečavajući „Start“ i „End“ filtere u uklanjanju pogrešaka. Ručni filter dopušta korisniku da odabere individualne točke, dijelove trajektorije ili dijelove polja gdje automatizirani filteri nisu očitali pogreške koje su očite. (Sudduth, 2006.)

U nastavku rada biti će prikazana slika postavljanja filtera u programu za kartiranje prinosa „Yield Editor“ (Slika 18).



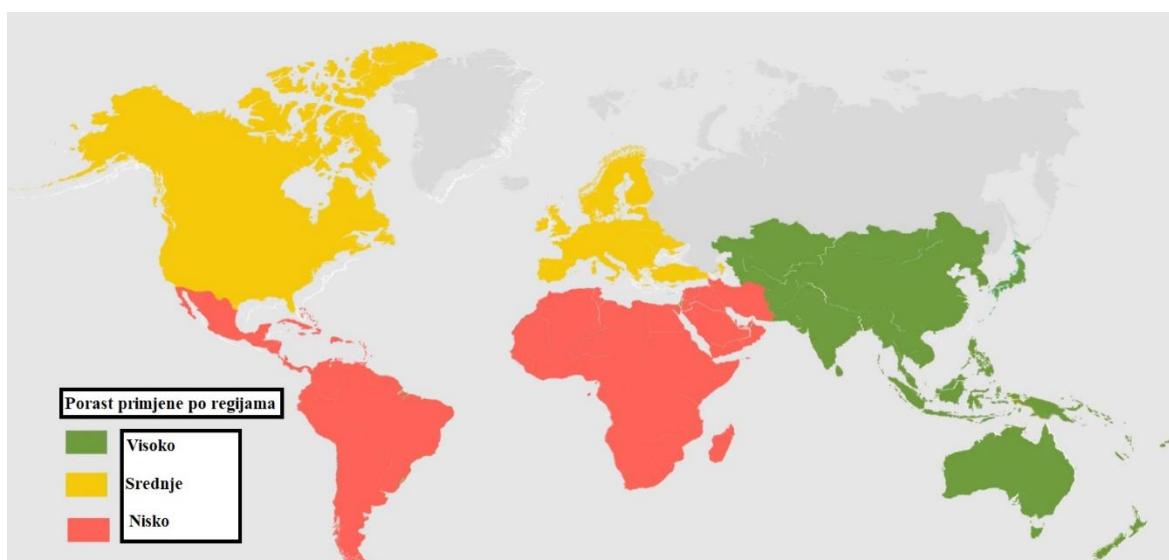
Slika 18. Prikaz postavljanja filtera za pročišćavanje pogrešnih podataka u programu „Yield Editor“ (Izvor: Sudduth i Drummond)

2.9 Dostupnost, razvoj i cijena precizne poljoprivrede

Vrijednost precizne poljoprivrede u cijelom svijetu u 2020. godini iznosila je oko 5 milijardi dolara. Na temelju dostupnih podataka i istraživanja, pretpostavlja se da će se do 2026. godine vrijednost precizne poljoprivrede udvostručiti. Klimatske promjene, porast potreba za hranom i povećanje prihvaćanja novih tehnologija u cjelokupnoj poljoprivrednoj proizvodnji, vladini poticaji, samo su neki od faktora koji pozitivno utječu na usvajanje

primjene precizne poljoprivrede. Trend usvajanja varira ovisno o području i razvijenosti države, u tehnološkom i financijskom smislu. (Mordor Intelligence, 2020.)

Do kraja 2030. godine, precizna poljoprivreda će postati najutjecajniji trend u poljoprivrednoj proizvodnji. Daljinska istraživanja i bežična komunikacija sa strojevima omogućuju uvid u informacije u pravom vremenu o radu strojeva i agrotehničkim operacijama preko mobilne aplikacije. Većina proizvođača koji su dostupni na tržištu, kako u Hrvatskoj, tako i u cijelom svijetu, nudi sustave za navođenje, sustave za klimatska predviđanja i uređaje za apliciranje mineralnih hranjiva i kemijskih sredstava. Mali proizvođači opreme za preciznu poljoprivredu se baziraju na inovacije i proizvodnju uređaja za navodnjavanje i praćenje polja te nove tehnike i načine izvođenja agrotehničkih operacija. Lider u usvajanju novih tehnologija precizne poljoprivrede je Sjeverna Amerika, zahvaljujući inovativnosti znanstvenika i velikim ulaganjima države i proizvođača poljoprivredne tehnike. U nastavku rada biti će prikazana slika razvoja i prihvaćanja precizne poljoprivredne proizvodnje u svijetu u razdoblju od 2020. do 2025. (Slika 19).



Slika 19. Prikaz prihvaćanja tehnologije precizne poljoprivrede po regijama (Izvor: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-precision-farming-market-industry>)

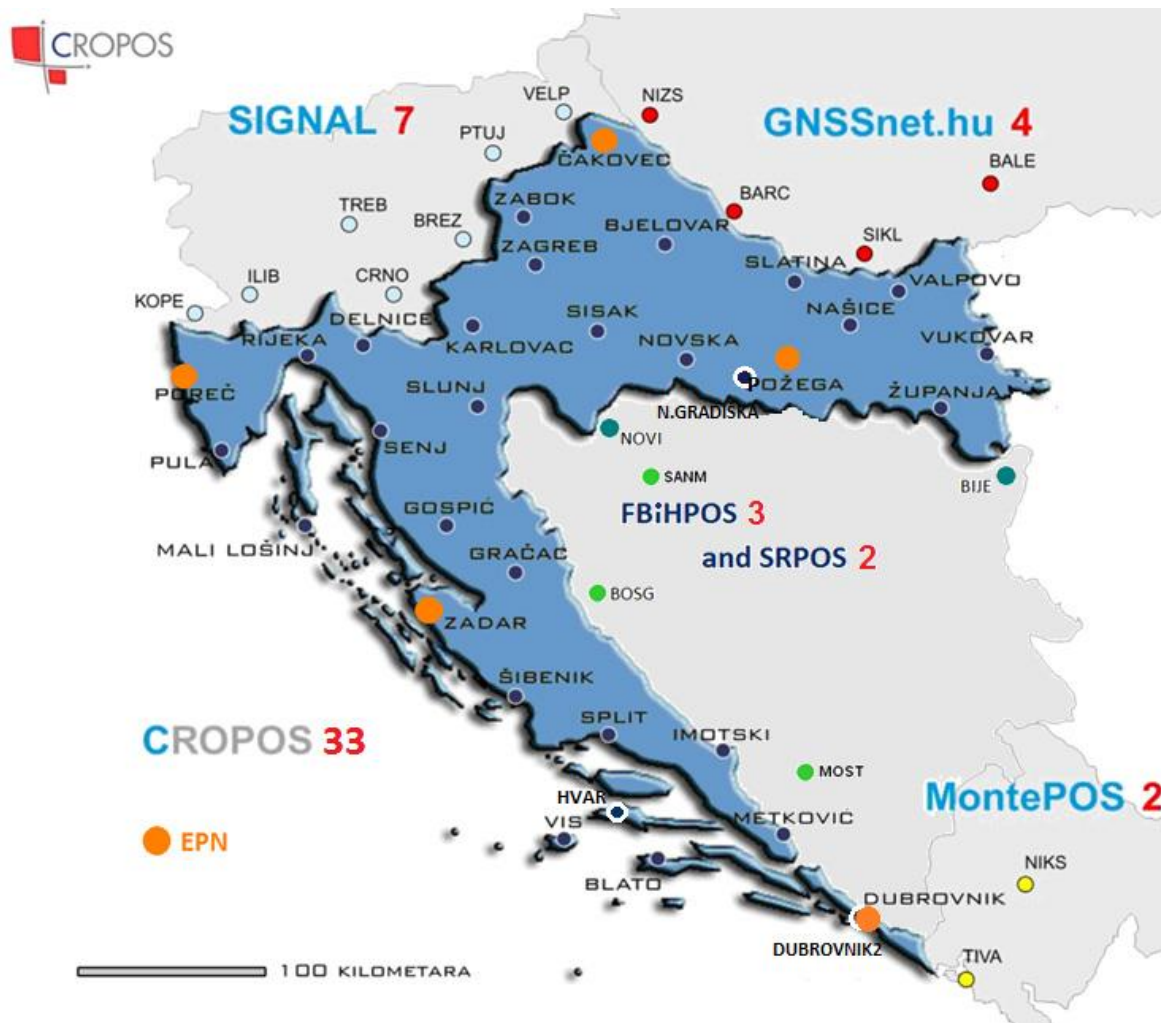
Na fotografiji koja je prikazana na prethodnoj stranici rada, možemo uočiti da je prihvaćanje i razvoj tehnologije precizne poljoprivrede značajno manji u odnosu na zemlje koje su financijski jače. Također, možemo uočiti i niži porast primjene navedene tehnologije u zemljama Europe i Sjeverne Amerike, koje su lideri i začetnici precizne poljoprivrede. U ovim zemljama se rješenja precizne poljoprivrede uvelike koriste i razvijaju od 1990-ih godina.

Tržište opreme u preciznoj poljoprivredi sastoji se od velikog broja proizvođača. U smislu udjela na tržištu, može se raspoznati nekoliko vodećih igrača koji trenutno dominiraju na tržištu. Navedeni proizvođači se fokusiraju na povećanje broja njihovih korisnika diljem stranih država. Ove kompanije strateški iniciraju zajedničku suradnju da bi povećali svoj udio na tržištu, a tako i profit. Najveći proizvođači tehnologije precizne poljoprivrede na svjetskom tržištu su:

1. AGCO korporacija,
2. Ag Junction Inc,
3. John Deere,
4. DICKEY-john korporacija,
5. TeeJet Technologies. (Mordor Intelligence, 2020.)

Cjelokupan sustav precizne poljoprivrede, sa svim sofisticiranim strojevima koji su opremljeni GNSS uređajima i potrebnim sensorima koji omogućavaju obavljanje precizne poljoprivrede, preciznu raspodjelu hranjiva i kemikalija, preciznu žetvu i izradu karte gnojidbe, karte prinosa i drugih tematskih karata, isplativ je na gospodarstvima koja obrađuju preko 50ha zemlje. Cijeli sustav uređaja, prijemnika i senzora na tolikom gospodarstvu se može isplatiti nakon 5 godina. (Jurišić i sur., 2009.)

Osim značajnog pozitivnog utjecaja na očuvanje voda i okoliša, precizna poljoprivreda donosi značajne uštede u poljoprivrednoj proizvodnji, čak i do 30% ulaznih troškova kao što su troškovi kemijskih sredstava, mineralnog gnojiva i goriva. Da bi se precizna poljoprivreda uopće mogla izvesti, osim značajnih novčanih sredstava za nabavku sofisticirane opreme, potrebna je i dostupnost same tehnike i podrška, dobra pokrivenost satelitima i dovoljan broj baznih stanica te njihov povoljan raspored. Hrvatska ima svoju državnu mrežu referentnih stanica koje pokrivaju prostor cijele države. Sustav CROPOS sastavljen je od 33 referentne GNSS stanice na međusobnoj udaljenosti od 70 km (Slika 20). Njihova svrha je prikupljanje podataka satelitskih mjerenja i računanje korekcijskih parametara. Korekcijski parametri dostupni su korisnicima na terenu putem mobilnog interneta (GPRS/GSM). Za pravilnu primjenu, izvođenje i rukovanje opremom u preciznoj poljoprivredi, potrebno je osnovno predznanje o GNSS sustavima i programima koji su implementirani u kabinama strojeva. Također, vođitelj proizvodnje mora biti obučen za korištenje geoinformacijskih i telematičkih sustava.



Slika 20. Raspored CROPOS baznih stanica (Izvor: <https://www.cropos.hr/o-sustavu/cropos-drzavna-mreza-referentnih-stanica-republike-hrvatske>)

Potrebna oprema za kartiranje prinosa podrazumijeva sustav za praćenje prinosa, diferencijalni GNSS prijemnik i pretplata za diferencijalni signal. Većina kombajna novije generacije su opremljeni sustavom za praćenje prinosa i potrebnim sensorima. Ukoliko kombajn kojim raspolaže poljoprivredno gospodarstvo nije opremljen sustavom za praćenje prinosa, trebalo bi dobro razmisliti o njegovom opremanju navedenim sustavom ili nabaviti novi kombajn. Cijena sustava za praćenje prinosa može varirati od 40000 do 60000 kuna. Cijena diferencijalnog signala može varirati, ovisno o njegovoj preciznosti. Prethodno su u radu navedene razine preciznosti koja može iznositi +/- 15cm od prohoda do prohoda, do preciznosti od +/- 2cm od prohoda do prohoda. Što je veća razina preciznosti, to je veća i cijena paketa signala. Cijena najpreciznijeg, odnosno najnaprednijeg signala može iznositi i do 15000 kuna, kako u Hrvatskoj, tako i ostalim državama. Za ozbiljnu analizu i obradu

podatak te izradu karte prinosa, potreban je složeniji softver Geografskog informacijskog sustava. Pristup GIS alatima je moguć putem savjetnika ili zastupnika navedene tehnologije.

Značajan trošak u kartiranju prinosa otpada na RTK korekcijski signal koji se može primjenjivati u gotovo svim agrotehničkim operacijama koje zahtijevaju aktivno navođenje stroja, stoga je taj trošak uvelike isplativ i koristan u preciznoj poljoprivrednoj proizvodnji. Pretpostavlja se da će u budućnosti ti troškovi biti manji zbog sve veće konkurencije, ponude i potražnje te dostupnosti na Svjetskom tržištu.

2.10 Integriranje podataka sa satelitskim snimkama

Računarstvo u oblaku i besplatno dostupni satelitski podaci visoke rezolucije omogućili su značajan napredak u kartiranju prinosa usjeva u velikim razmjerima, odnosno na velikim površinama. Međutim, opsežni valjani podaci na jednakoj razlučivosti ostaju neuobičajeni ili nemogući za izvesti zbog dostupnosti podataka. To je ograničilo sposobnost procjene različitih modela predviđanja prinosa i poboljšalo razumijevanje ključnih značajki koje su korisne za procjenu prinosa, za prostore za koje je dostupna velika količina podataka te prostore za koje je ograničena količina dostupnih podataka. U radu „*High-Resolution Soybean Yield Mapping Across the US Midwest Using Subfield Harvester Data*“ obrađena je procjena sposobnosti modela za predviđanje prinosa soje koristeći jedinstvene postojeće karte prinosa visoke rezolucije koje su generirane iz sustava za praćenje prinosa za više od milijun promatranih polja na srednjem zapadu Sjedinjenih država u razdoblju od 2008. do 2018. godine. Prilikom istraživanja, prvo je uspoređeno nasumično implementiranje, testirajući niz pristupa inženjerskim značajkama koristeći spektralne podatke satelita Sentinel-2 i Landsat 8 za predviđanje prinosa u rezoluciji od 20 i 30 metara.

U modernoj preciznoj poljoprivredi mogu se koristiti karte prinosa visoke rezolucije za donošenje pravilnih odluka, s potencijalom za smanjivanje razlika u prinosu, povećanjem iskorištenja inputa s minimalnim onečišćenjem okoliša. Iako se neke studije koriste satelitskim podacima kako bi pružile točne procjene prinosa, finog razmjera, za ograničene prostorne opsege, mnoga kartiranja bazirana na satelitskim snimkama rezultiraju kartama na razinama županije ili države, ograničavajući korisnost za farmere. Nadalje, studije koje izrađuju karte prinosa visoke rezolucije, rijetko prilikom procjene koriste ekstenzivne, precizne terenske podatke koji su nastali kartiranjem prinosa na temelju očitavanja senzora prilikom žetve. Generalno, količina podataka u ovako velikom razmjeru je privatna, skupa ili nemoguća za prikupiti. Kao rezultat, točnost procjene razmjera polja ili dijela polja, nisu

zasebno ispitane, ispitane su u malim susjednim regijama ili su ispitane u ograničenoj veličini uzorka. (Kayad i sur., 2019.)

Proizvođači sve više opremaju kombajne sustavom za praćenje prinosa koji podatke o prinosu zapisuju u visokoj rezoluciji (od 1 do 5m), posebno u velikim komercijalnim sustavima. Integriranje ovih podataka u studije satelitske procjene prinosa nudi mogućnost za procjenu visoke rezolucije, uspoređivanje između različitih modela i poboljšano razumijevanje ključnih značajki satelita. (Dado i sur. 2020.)

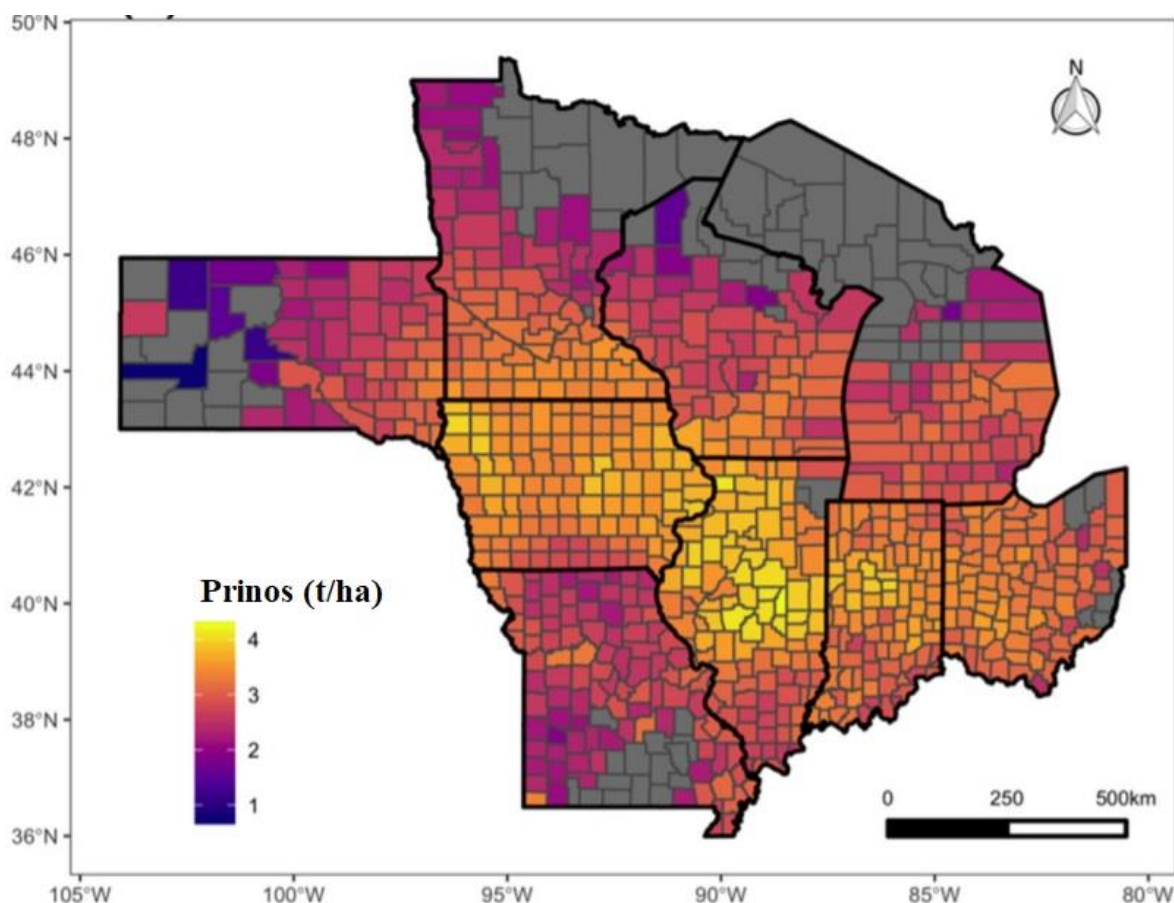
Soja je kultura za koju kartiranje prinosa visoke rezolucije putem satelitskih snimaka nije potpuno istraženo. Nekoliko nedavnih pokušaja predviđanja uroda soje na razini države, primijenili su multispektralne slike za kartiranje prinosa soje. Od nekoliko mogućih procjena prinosa putem daljinskih istraživanja, u navedenom radu fokus je stavljen na dva najčešće korištena i javno dostupna izvora snimki (Landsat 8 i Sentinel-2) i dva relativno česta načina:

1. „*Random forests*“ (RF) model,
2. Simulacijski model.

Landsat je snimio ogromnu količinu multispektralnih fotografija u rezoluciji od 30m u posljednjih 30 godina i ima široku primjenu u različitim istraživanjima, posebno u istraživanjima koja ciljaju na povijesne promjene. Sentinel-2 je noviji set senzora koji nude veću prostornu, vremensku i spektralnu rezoluciju nego Landsat od 2015. godine. (Drusch i sur., 2012.) Sentinel-2 multispektralni instrument (MSI) dokazao se kao izuzetno dobar alat za precizniju procjenu indeksa vegetacije u usjevima, ključni prediktor prinosa usjeva. Uključivanje opsega „crvenog ruba“, na 705, 740 i 783 nm Sentinelovog multispektralnog senzora, omogućuje formulaciju indeksa vegetacije (VI) koji se linearno odnose na LAI, čak i na velikoj gustoći krošnje za koju su uobičajeni vegetacijski indeksi, poput NDVI, previše zasićeni. Na temelju iskustva iz prethodnih radova, važnost crvenih rubova je izuzetno važna za daljinsko istraživanje usjeva soje koji imaju guste krošnje koje proizvode visoke vrijednosti LAI. (Kira i sur., 2016.)

U radu je istraživanje je provedeno na području srednjeg zapada Sjedinjenih država, gdje se proizvodi 80% od ukupne količine usjeva soje, što ovo područje čini pogodnim za provedeno istraživanje (Slika 21). Prema USDA podacima o poljoprivrednoj proizvodnji, više od tri četvrtine proizvodnje soje u Sjedinjenim Američkim državama se proizvodi na farmama koje siju preko 250 hektara. Tijekom vremenskog razdoblja od 2008 do 2018, prosječni prinosi soje iznosili su 3,1 t/ha. Također, prikupljeni su podatci o vremenskim uvjetima u razdoblju

od lipnja do rujna za svaku godinu. U navedenom vremenskom razdoblju, prosječna količina padavina za svaku godinu je iznosila 419,25 mm. Prosječna najniža temperatura zraka u lipnju je iznosila 16 °C, u srpnju 17,4 °C, u kolovozu 15,7 °C i 11,9 °C za rujnu. Maksimalna dnevna temperatura u lipnju je iznosila 28,8 °C, u srpnju 29,7 °C, u kolovozu 25,4 °C i 25,4 °C u rujnu.



Slika 21. Istraživano područje (Izvor: Dado i sur., 2020)

U radu su korištena dva tipa podataka: podatci iz sustava za praćenje prinosa i podatci o prinosu na razini županije. Sustavi za praćenje prinosa u kombajnim zapisuju podatke o prinosu u rezoluciji od 5 metara. Navedeni podatci su dodatno uređeni, s prosječnim sadržajem vlažnosti zrna i rezolucija je smanjena na 15 metara, da bi obrada podataka bila brža, a da bi se opet dobili valjani rezultati i procjena. Karte prinosa su bile neravnomjerno raspoređene u prostoru i vremenu. Da bi se napravio uravnoteženi skup podataka, regije diskretizirane u mrežne ćelije površine 50 km² i nasumično su uzeti uzorci iz približno 150 zasebnih polja u svakoj od 318 ćelija. Ukoliko je ćelija sadržavala manje od 150 terenskih karata, korištena su sva terenska polja, što je rezultiralo 402840 promatranja tijekom vremenskog razdoblja od 11 godina. Iz svakog polja, za svaku godinu uzeta je jedna točka i

izvučena je vrijednost prinosa na rezoluciji od 20m i 30m za Sentinel-2 i Landsat analize. Mjerenja ispod 0,1t/ha i iznad 7t/ha su uklonjene te je na kraju za daljnje istraživanje ostalo 380 000 zasebnih polja. Satelitski podatci sa satelita Landsat su prikupljeni kao mjesečna serija podataka, a za Sentinel-2 prikupljena je tjedna serija podataka. Koristeći Google Earth Engine izvučeni su podatci satelita Landsat s nominalnom rezolucijom od 30 metara, 3 senzora proizvela su nadgledanja koja su bila pogodno za ovo istraživanje. Sentinel-2 MSI podatci prikupljeni su u rezoluciji od 20 metara. Sentinel-2 podatci analizirani su u vremenskom razdoblju od 2017 do 2018 zato što su u tom vremenskom razdoblju oba senzora funkcionirala. Opsezi koji imaju standardnu rezoluciju od 10 m su preinačeni u rezoluciju od 20m da bi se poklapali s rezolucijom 3 crvena ruba.

2.10.1 Pristup modeliranju

Pristup modeliranju obuhvaćao je tri kategorije:

1. empirijski modeli koji koriste piksele – zemaljski podatci,
2. empirijski modeli koji koriste podatke na razini županije,
3. modeli zasnovani na simulacijama usjeva.

Izravna usporedba s drugim studijama procjene prinosa na terenu je teška zbog različitih vrsta usjeva i njihovog svojstva, prostornom i vremenskom opsegu te heterogenosti tla i drugim čimbenicima. Pristup koji uključuje asimilaciju podataka i podatke iz daljinskih istraživanja u simulacije usjeva, postigao je veću srednju apsolutnu pogrešku. Korištenjem opsežnog skupa podataka o prinosu visoke rezolucije, otkriveno je da RF modeli mogu objasniti varijabilnost prinosa i do 45% na razini piksela koristeći satelitske slike i vremenske podatke. Za Landsat bazirane modele, primjenjujući harmonijske regresije, značajno je povećana točnost. Zbog potencijalnih nedostataka modela simulacije, modeli temeljeni na simulaciji daju procijenjene vrijednosti male varijacije. Za točno predviđanje prinosa, potreban je dodatni rad na tim nedostacima kako bi se izradio vrlo precizan skalarni model.

3. PRIMJENA I DOSTUPNOST TEHNOLOGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

U Republici Hrvatskoj zabilježeno je značajno povećanje primjene preciznih alata u poljoprivrednoj proizvodnji, posebno u velikim poljoprivrednim kombinatima kao što su Belje, koji obrađuje preko 19000 ha. Također veliki broj manjih proizvođača koji obrađuju površine iznad 50 ha koriste GNSS uređaje za navođenje prilikom apliciranja mineralnih

gnojiva, prskanja i drugih agrotehničkih operacija. Značajan utjecaj na povećanje usvajanja precizne poljoprivrede imaju klimatske promjene, povećana potražnja za hranom i vladine inicijative za poboljšanje učinkovitosti poljoprivrednika. U Hrvatskoj je dostupno nekoliko proizvođača tehnologije koja je potrebna za izvođenje precizne poljoprivrede, sa svom potrebnom opremom, baznim stanicama i podrškom. Najpoznatiji su tvrtka Jerković, koja je zastupnik tvrtke Claas za područje Hrvatske i Tvrtka Novocommerce koja je zastupnik tvrtke John Deere. Na temelju dostupnih podataka, Pavle Marić predstavnik tvrtke Jerković, smatra kako hrvatski poljoprivrednici drže korak s europskim trendom u primjeni precizne poljoprivrede i navodi da se navedena tehnologija koristi u velikoj mjeri. U nastavku rada biti će obrađena tehnologija precizne poljoprivrede koju nude John Deere i Claas na području Hrvatske.

3.1 John Deere

Tvrtka Novocommerce je generalni zastupnik John Deere poljoprivrednih strojeva u republici Hrvatskoj sa svojim poslovnica u Bjelovaru i Osijeku. Tvrtka Novocommerce je dio Monnoyeur grupacije i ovlašten je uvoznik i distributer poljoprivrednih strojeva marke John Deere, te uz usku suradnju s jednim od najvećih svjetskih proizvođača poljoprivredne mehanizacije nudi integrirana rješenja, transfer nove tehnologije i najnapredniju poljoprivrednu opremu.

Tvrtka Novocommerce, kao zastupnik John Deere – a se zalaže da korisnici njihovih strojeva obavljaju svoje radne operacije što efikasnije i bez zastoja. Njihovi serviseri obučeni su u John Deere centrima i poznaju strojeve, kako „iznutra“ tako i „izvana“. Obučeni su za kvalitetnu dijagnozu problema i njihovo brzo rješavanje ili jednostavnim savjetovanjem upućuju korisnika da izvuče maksimum od svojeg stroja u obavljanju radnih operacija.

John Deere bio je jedan od začetnika sustava navođenja strojeva te od samih početaka do danas nastoji stvarati inovacije te nove jednostavnije i efikasnije tehnologije. Prednosti novih tehnologija su lako uočljive, smanjena je potrošnja goriva, smanjena količina gnojiva, sjemena i kemikalija, veća produktivnost i profit poljoprivredne proizvodnje. John Deere nudi cjelokupan asortiman integriranih sustava navođenja, od jednostavnog ručnog upravljanja do potpuno automatiziranog. John Deere također nudi rješenja i za druge brendove strojeva, ukoliko se na farmi osim John Deere – a nalaze i druge marke poljoprivrednih strojeva.

3.1.1 John Deere AutoTrac

John Deere AutoTrac smanjuje praznine i preklapanja, što dovodi do smanjenja ulaznih troškova i potrošnje goriva, a brzina rada je povećana. Ovisno o primjeni, u istraživanju koje je objavljeno u časopisu „Landtechnik“ 2006. godine, može se očekivati smanjenje ulaznih troškova i do 8%. (Landtechnik 6, 2006.) Također, primjenom tehnologije može se ostvariti povećanje produktivnosti do 14%. (Lohnunternehmen 1, 2010.) Zahvaljujući visokoj preciznosti, omogućeno je obavljanje agrotehničkih operacija uz veće brzine i u uvjetima smanjene vidljivosti uz istu razinu točnosti, odnosno preciznosti. Zahvaljujući ovoj tehnologiji, rukovatelj je rasterećen od stresa i umora koji nastaju upravljanjem stroja, stoga se može lakše koncentrirati na upravljanje priključcima i izvedbi rada, što rezultira veću produktivnost i efikasnost poslovanja.

AutoTrac automatizacija okretanja na traktorima automatski kontrolira kompletno okretanje na rubovima parcela te s lakoćom i visokom preciznošću upravlja svim funkcijama traktora i priključaka. U to se ubrajaju promjene brzina pri kretanju traktora prema naprijed, promjene brzine na priključnom vratilu i podizanje ili spuštanje zglobnih spojeva u točno određenom vremenu i položaju na polju. AutoTrac automatizacija okretanja omogućuje zadovoljavajuće okretanje na uvratinama polj, što rezultira veću produktivnost, uštede i bolje iskorištenje stroja. Prednosti ove funkcije ogledaju se u:

- smanjeno preskakanje i preklapanje ruba parcele,
- smanjeni ulazni troškovi gnojiva i kemikalija,
- savršeno postojani rast i zdravlje usjeva na rubu parcele,
- minimalizirano zbijanje tla na uvratinama,
- veća udobnost i manji stres za rukovatelja.

AutoTrac ima nekoliko različitih rješenja koja se mogu primjeniti u gotovo svim agrotehničkim operacijama, od osnovne pripreme tla do žetve.

3.1.2 Koordinirani rad (*MachineSync*)

Ova funkcija na temelju GNSS-a omogućava sinkroniziranje brzine i upravljanja između kombajna i traktora s prikolicom ili kolima za pšenicu prilikom istovara na polju. To omogućuje ravnomjerno punjenje prikolice bez gubitaka i smanjuje rizik od sudara vozila u uvjetima smanjene vidljivosti zbog prašine prilikom žetve. Ova funkcija pruža važne logističke informacije kao što su razina napunjenosti spremnika za pšenicu, položaj kombajna i druge informacije. Na temelju ovih informacija, rukovatelj donosi odluke o

trajektoriji kretanja agregata do slijedeće destinacije. Rukovatelj traktora na svom zaslonu vidi točne lokacije i razine spremnika žitarica svih jedinica kombajna i agregata traktor – prikolica. Uz Machine Sync omogućen je sinkronizirani rad između više strojeva na polju, uz smanjenje gubitaka i povećanje produktivnosti. Prednosti ove funkcije su:

- smanjuje količinu otpada prilikom istovara,
- jednostavan istovar u hodu za povećanje produktivnosti,
- prioritetni istovar,
- manje stresa za rukovatelja,
- omogućava usklađenost 2 ili više strojeva na jednom polju.

3.1.3 John Deere operativni centar

Operativni centar je dostupan na web stranici MyJohnDeere.com. Operativni centar korisnika spaja s povezanim strojevima, aktivnostima i poljima na jednoj centralnoj lokaciji. Operativni centar omogućava besprijeckornu razmjenu informacija s John Deere trgovcem, izvođačem radova ili drugim partnerima. Spajanjem operativnog centra s AutoTrac opcijom omogućava lako i jednostavno planiranje poslova izvan sezone da bi se osigurala maksimalna produktivnost na vrhuncu sezone rada. Ova opcija nudi mogućnost stvaranja, mijenjanja ili brisanja postavljenih podataka zaslona kao što su klijenti, poljoprivredna gospodarstva i polja, granice linija navođenja strojeva i odstupanja priključaka u osobnom računu operativnog centra. Nove granice polja mogu se jednostavno uvesti s geoportala ili programa za upravljanje poljoprivrednim gospodarstvom putem *shapefile-a*. Također ih se može nacrtati na mreži ili modificirati postojeće granice. Nakon završetka postavljanja granica, podatci se mogu bežično poslati pritiskom na gumb, čime se eliminira vremenski zahtjevno ručno postavljanje na zaslonu svakog stroja na polju koje je podložno greškama, što dovodi do većeg gubitka vremena.

Jednostavno razumljivi integrirani alati podržavaju donošenje poljoprivrednih odluka i pomažu voditelju proizvodnje ostvarenje maksimalnog prinosa i kvalitete uz značajno smanjenje ulaznih troškova. Uz pomoć strukturiranog pregleda omogućeno je planiranje zadataka i rotacije usjeva za nadolazeću sezonu koji će stvaranje dokumenata za namještanje postavki zaslona i radnih naloga učiniti jednostavnim. Dok se zasebni zadaci završavaju, dokumentacijski podatci se automatski učitavaju na osobni račun operativnog centra, gdje su svi operativni detalji lako vidljivi i vremenski poredani. Podacima je lako pristupiti, s bilo kojeg uređaja koji ima pristup internetu, omogućujući korisniku da pregleda svoje

kartiranje ili usporedi različite slojeve karti, kao što su karta prinosa, karta suhe tvari, sastavnica usjeva i naknada za primjenu. Na taj način se vrijedne informacije o poljoprivrednoj proizvodnji pretvaraju u pametne odluke te se jednostavnije definiraju korektivne radnje. Drugi integrirani alati operativnog centra omogućuju jednostavno pretvaranje ovih podataka u preporuke varijabilnih stopa specifične za lokaciju te omogućuju suradnju s poljoprivrednim savjetnicima odobravajući im pristupna prava za pojedino polje. Olakšano je dokumentiranje rada za klijente uz stvorena, ispisana i podijeljena izvješća. U nastavku rada biti će prikazana slika zaslona John Deere operativnog centra (Slika 22).



Slika 22. John Deere operativni centar (Izvor: <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/data-management/operations-center/>)

3.1.4 John Deere precizna žetva

AutoTrac satelitsko navođenje i upravljanje omogućuje maksimalno iskorištenje zahvata hedera kombajna, što rezultira boljim iskorištenjem vremena i goriva te poboljšava performanse kombajna, čak i u uvjetima smanjene vidljivosti i na brežuljkastim terenima. AutoTrac RowSense pridonosi kvaliteti i produktivnosti stroja u žetvi kukuruza, RowSense objedinjuje automatsko upravljanje na temelju GNSS-a i navođenja u redovima, pomoću senzora na hederu radi povećanja brzine žetve. Ukoliko informacija senzora redova s hedera nije relevantna zbog polegnutosti kukuruza ili iz nekog drugog razloga, GNSS signal je tada relevantan.

S interaktivnim podešavanjem kombajna (ICA) omogućeno je povećanje performansi kombajna, smanjenje gubitaka, smanjeno je oštećenje zrna i poboljšana je kvaliteta slame, odnosno povećana je kvaliteta same žetve. Interaktivno podešavanje omogućuje optimiziranje cijelog sklopa kombajna ili pojedinog parametra.

Automatsko podešavanje kombajna (ACA) uvelike olakšava promjenu postavki između različitih kultura, primjerice prelazak iz žetve ječma u žetvu pšenice. Uporabom standardnih vrijednosti tvrtke John Deere i slanjem podataka o stvarnim uvjetima vršidbe i separacije, stroj se automatski prilagođava radi povećanja njegove učinkovitosti. Predložene vrijednosti se mogu kasnije koristiti ili modificirati i spremati za kasniju upotrebu.

Sustav HarvestSmart automatski prilagođava brzinu kretanja kombajna radi povećanja kapaciteta protoka ili smanjenja gubitaka s maksimalnim rezultatom. Senzori koji se nalaze na bubnju za izvršavanje, motoru i namjenski senzori reguliraju sustav s ciljem smanjenja gubitaka i povećanja protoka kombajna.

3.1.5 Prijemnik Starfire 6000

S prijemnikom Starfire 6000, Tvrtka John Deere započinje pristup novim rješenjima u preciznoj poljoprivredi. Nove mogućnosti ovog prijemnika uključuju bolju stabilnost signala za bolje iskorištenje vremena i novu SF3 točnost koja pruža ponovljivost u sezoni, što omogućava da prijemnik uvijek održava stroj na pravom putu bez obzira na uvjete rada. Prijemnik StarFire 6000 pruža ponovljive rezultate, bez crta navođenja ili graničnog odstupanja tijekom sezone, što dodatno doprinosi preciznosti i produktivnosti. StarFire 6000 radi bez poteškoća sa svim sustavima navođenja od tvrtke John Deere, na svim razinama točnosti, bilo da se radi o SF1, SF3 i mobilnom ili radijskom RTK signalu. StarFire 6000 prijemnik prati i do 3 paralelna satelitska signala. Ovaj prijemnik uvijek aktivno bira najbolji signal i ukoliko dođe do promijene uvjeta rada, može se prebaciti na odgovarajući satelit i do 80% brže nego prethodne generacije prijemnika. StarFire 6000 nudi 3 razine točnosti:

- unaprijeđeni SF1 signal s 15 cm točnosti od prohoda do prohoda, ovaj paket je besplatan,
- SF3 koji omogućava 3cm točnost od prohoda do prohoda, s funkcijom ponovljivosti tijekom sezone,
- RTK signal s 2,5 cm točnosti od prohoda do prohoda, s funkcijom dugoročne ponovljivosti uključujući 14 dana RTK Extend.

3.1.6 Razmjena podataka između različitih telematičkih sustava – DataConnect

DataConnect predstavlja partnerstvo s drugim proizvođačima poljoprivrednih strojeva i telematičkih sustava koji omogućava dijeljenje agronomskih podataka iz John Deere operacijskog centra. Od 2020. godine omogućen je pregled podataka u pravom vremenu s više funkcionalnosti iz Claas-ovih strojeva i Claas TELEMATICS-a. DataConnect koristi direktnu „cloud-to-cloud“ povezivost između John Deere Operations Center-a i drugih platformi kao što su Claas TELEMATICS i 365FarmNet. Dizajniran je da bi se pojednostavilo upravljanje agrotehničkih operacijama koje izvode strojevi različitih proizvođača, bez potrebe ručnog prijenosa podataka putem USB stick-a, DataConnect omogućava svojim korisnicima upravljanje svim strojevima u pravom vremenu na jednoj platformi, odnosno John Deere Operations Center-u.

Trenutno, *DataConnect* pruža podatke o sadašnjoj lokaciji i povijesti prethodnih lokacija, brzini kretanja, statusu stroja i razini goriva koristeći podatke iz Claas TELEMATICS-a i 365FarmNet-a. Radi se na tome da se proširi paleta dostupnih podataka o strojevima i agrotehničkim operacijama, kao i planiranje poslova i zadataka od drugih proizvođača strojeva i telematičkih platformi. Stručnjaci koji su dizajnirali *DataConnect* se nadaju da će ovakva značajka postati zajednički standard za sve proizvođače, kao što je ISOBUS postao standard za povezivanje traktora i priključaka.

3.2 CLAAS

CLAAS je svjetski poznati proizvođač poljoprivrednih strojeva, osnovan je u Njemačkoj 1913. godine. Claas je jedan od vodećih proizvođača strojeva na svjetskom tržištu, a posebno strojeva koji se koriste prilikom žetve kulture, bilo da se radi o univerzalnim žitnim kombajnima ili silokombajnima. Tvrtka CLAAS se bavi proizvodnjom kombajna od 1936. godine i značajno je pridonijela povijesti i razvoju kombajna. Kao i John Deere, CLAAS se također bavi proizvodnjom i unaprjeđivanjem inovativnih sustava koji omogućuju lako upravljanje strojevima i praćenje strojeva u radu. Generalni zastupnik tvrtke Claas u Hrvatskoj je tvrtka Jerković sa sjedištem u Koški, nedaleko od Našica. Tvrtka Jerković na tržištu se pojavila 1970. godine, a od 1978. surađuje s tvrtkom CLAAS. 2000. godine tvrtka Jerković postaje partner tvrtke CLAAS i glavni ovlašteni partner za istočnu Hrvatsku. Tvrtka Jerković je također ekskluzivni zastupnik poljoprivrednih navigacija Trimble za područje republike Hrvatske.

CLAAS je razvio značajan broj inovativnih sustava koji uvelike olakšavaju i unaprjeđuju obavljanje svih agrotehničkih operacija, od oranja do žetve. U nastavku rada biti će opisani CLAAS-ov telematički sustav i ostali sustavi koji značajno pridonose povećanju kvalitete žetve i učinkovitosti strojeva.

3.2.1 CLAAS TELEMATICS

2014. godine CLAAS je predstavio svoj novi telematički sustav pod nazivom TELEMATICS, koji svojim korisnicima omogućava stalni nadzor rada i prilagođavanje strojeva u radu kako bi omogućili maksimalno iskorištenje stroja. Uporabom mrežnog praćenja i upravljanja voznim parkom, omogućeno je prepoznavanje potencijalnih mogućnosti za optimiziranje radnog procesa u pravom vremenu te pravovremeno reagiranje u slučaju kvara ili zastoja. Zabilježeni podatci o radu, tragovi kretanja i podatci o prinosu od povezanih kombajna se putem mobilne mreže unose u poslužitelj gdje se podatci obrađuju i pohranjuju. Važnost TELEMATICS-a i njegova efikasnost se mogu uočiti prilikom žetve i transporta. Glavni cilj ovog sustava je smanjiti troškove svakodnevnog postavljanja strojeva.

CLAAS je razvio tri nove verzije TELEMATICS-a koje se razlikuju u funkcionalnosti i cijeni:

1. *Basic* TELEMATICS (osnovni),
2. *Advanced* TELEMATICS (napredni),
3. *Professional* TELEMATICS.

Najjednostavnija verzija omogućava pružanje informacija o položaju i statusu stroja te iste te podatke prikazuje u TELEMATICS aplikaciji. TELEMATICS-u se pristupa putem internet poslužitelja ili putem aplikacije na pametnom telefonu. Kao dodatak ovom paketu, uključene su i sve uslužne funkcije poput daljinske dijagnostike stroja.

Napredna verzija pristupa svim dostupnim podacima o stroju i prikazuje niz dodatnih izračunatih ključnih brojkica procesa. Ovaj paket je za razliku od jednostavnog, dizajniran za aktivnu upotrebu te za praćenje i optimizaciju trenutnih procesa te zbog toga uključuje sve funkcije aplikacije. Pored gore spomenutih funkcija, puna profesionalna verzija nudi neograničenu povijest podataka koja omogućava sveobuhvatnu analizu podataka kako bi se optimizirala upotreba stroja tijekom duljih razdoblja. Uz to, postoji niz analiza za određena pitanja i optimizacije.

3.2.2 CEMOS

CEMOS je opcija dostupna u novijim modelima CLAAS-ovih kombajna serije LEXION. CEMOS omogućuje bolje iskorištenje stroja u smislu povećanja propusnosti i bolje kvalitete zrna, odnosno manje rasipanje zrna i manji lom zrna. CEMOS konstantno nadgleda i analizira sve postavke kombajna i potpunosti te prikazuje prijedloge kako bi rukovatelj mogao povećati kvalitetu i propusnost kombajna. Sustav CEMOS sastavljen je od niza senzora, računala i zaslona osjetljivog na dodir preko kojeg se nadgleda sustav i obavljaju podešavanja stroja. Kod drugih serija kombajna koji nisu opremljeni CEMOS sustavom, kao što su TUCANO i AVERO, kreirana je aplikacija „CEMOS MOBILE“ preko koje se može pristupiti velikom broju savjeta i informacija na temelju kojih je moguće izvršiti pravilno podešavanje stroja.

3.2.3 *Fleet view*

FLEET VIEW je segment telematics-a koji pruža vitalnu podršku u terenskoj logistici, posebno na velikim poljima gdje je vidljivost otežana i kada se koristi nekoliko strojeva. Aplikacija FLEET VIEW pruža optimalnu sliku svih položaja kombajna, tako da vozači, na primjer, iz podataka o razinama napunjenosti spremnika za zrno mogu utvrditi do kojeg kombajna trebaju ići ili kada silo kombajna nema u blizini transportno vozilo. Aplikacija kontinuirano informira sve vozače u logističkom lancu o položajima berača u floti i trenutnim razinama punjenja spremnika za zrno. Aplikacija FLEET VIEW uvelike olakšava rad svakom pojedinačnom rukovatelju te optimizira transportni proces i proces žetve. Aplikacija sprečava nastanak zastoja i omogućava maksimalno iskorištenje kapaciteta svakog stroja koji sudjeluje u radnom procesu žetve i transporta.

4. ZAKLJUČAK

Žetva je najsloženiji, najzahtjevniji i najvažniji agrotehnički proces u cijeloj poljoprivrednoj proizvodnji. U odnosu na ostale agrotehničke operacije u poljoprivrednoj proizvodnji, žetva zahtjeva najveći ulog rada i novca. U prošlosti žetva se izvodila ručno što je bilo izuzetno sporo i mukotrpno, što je za poljoprivrednike bilo nepogodno zbog visokog rizika gubitka prinosa zbog loših vremenskih prilika i nedostatka vremena. Zahvaljujući značajnom razvoju poljoprivredne mehanizacije i tehnologije rada, zabilježen je značajan napredak u kvaliteti i brzini žetve, uveliko su smanjeni rizici gubitka prinosa, smanjen je potreban ljudski napor i sami troškovi žetve. U posljednjih 40 godina, samokretni univerzalni žitni kombajn postaje osnovni stroj za ubiranje zrnatih plodova. Uz sav razvoj i napredak strojeva i tehnike, i dalje postoje nedostaci koji uzrokuju nedovoljno iskorištenje kapaciteta stroja, veliki utrošak energije, gubitke i oštećenja zrna. Modernim automatiziranim i sofisticiranim sustavima i strojevima, nastoji se minimalizirati ili ukloniti navedene nedostatke i povećati produktivnost i efikasnost strojeva. U modernoj, preciznoj poljoprivredi, produktivnost stroja i kvaliteta žetve te cijeli proces poljoprivredne proizvodnje, nastoji se povećati primjenom geoinformacijskih tehnologija, prvenstveno primjenom GNSS uređaja i daljinskih istraživanja koji omogućuju maksimalno iskorištenje zahvata kombajna i njegove propusnosti. Moderni sofisticirani kombajni nude mogućnost skoro samostalne žetve gdje gotovo da nije potreban ljudski napor, odnosno čovjek nadgleda proces žetve i može se koncentrirati na poboljšanje same kvalitete žetve. Takav način rada omogućili su moderni telematički sustavi, navigacijsko navođenje i ISOBUS povezivanje. Moderni kombajni su putem telematičkih sustava povezani s centrima proizvođača te na polju prilikom rada nude razna rješenja koja rezultiraju veći učinak i bolju kvalitetu rada stroja, stoga možemo uočiti značajnu prednost precizne žetve u odnosu na konvencionalnu žetvu. Kombajni koji se koriste u preciznoj poljoprivredi, opremljeni su sustavom za praćenje prinosa koji se sastoji od navigacijskog uređaja koji omogućuje navođenje stroja i definira položaj stroja i niza senzora koji u realnom vremenu mjere maseni ili volumni protok zrna. Za kartiranje prinosa koriste se različiti geoinformacijski sustavi, koji požnjevenu količinu zrna povezuju s položajem na kojem su ubrani u polju. Karte prinosa predstavljaju rezultat poljoprivredne proizvodnje i veliki izvor informacije koje omogućuju donošenje pravilnih i pravovremenih odluka. Kontrola prinosa nije nova tendencija u poljoprivrednoj proizvodnji, prvi pristupi praćenju prinosa datiraju još iz drevnog Egipta. Najstarija i najjednostavnija metoda praćenja prinosa je vaganje ukupne požnjevene mase zrna i mjerenje požnjevene površine polja, ali

ta metoda pruža podatke o prosječnom prinosu na cjelokupnom polju i ne pruža podatke o prinosu na zasebnom dijelu polja. Karte prinosa koje su izrađene uz pomoć „*on-the-go*“ sustava i opreme za određivanje položaja utvrđuju podatke o prinosu s referencom na položaj u polju dok se usjev ubire. Sustav praćenja prinosa i sama precizna poljoprivreda je novi sustav poljoprivrede koji značajno smanjuje onečišćenje okoliša i povećava iskorištenje potencijala polja, povećava efikasnost i učinkovitost stroja te maksimalno iskorištava uložena sredstva u poljoprivrednu proizvodnju u vidu kemijskih sredstava, mineralnih gnojiva i goriva. Iako je precizna poljoprivreda prilično novi sustav poljoprivredne proizvodnje, ohrabrujuće je to što ga poljoprivrednici sve više prihvaćaju i sve se više implementira u poljoprivrednu proizvodnju. Mane precizne poljoprivrede su njezina visoka cijena, visoke cijene strojeva, sustava i senzora te loša pokrivenost baznim stanicama u pojedinim dijelovima Svijeta, čiji je korekcijski signal nužno potreban za RTK navođenje strojeva. Precizna poljoprivreda je novi sustav poljoprivrede koji značajno pridonosi u zadovoljavanju potreba za hranom u cijelom svijetu. Tehnologija precizne poljoprivrede se svakodnevno razvija i proučava te je sve veća potražnja za nju. Daljnji razvoj tehnologije nastoji smanjiti cijenu koštanja, što bi uzrokovalo povećanje njezine primjene zbog povećanja dostupnosti proizvođačima i državama slabije financijske sposobnosti.

5. POPIS LITERATURE

1. Barocco, R., Lee, W., S., Hortmann, G. (2017.): Yield mapping hardware component for grains and cotton using on-the-go monitoring systems, EDIS, Florida.
2. Beck, A.D., Searcy S.W., Rodes J.P. (2001.): Yield data filtering techniques for improved map accuracy. *Appl. Eng. Agric.* 17: 423–431.
3. Brkić, D., Vujčić, M., Šumanovac, L. (2002): Strojevi za žetvu i berbu zrnatih plodina, Poljoprivredni fakultet Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek.
4. Casady, W., Davis, G., Massey, R., E., (1998.): Precision agriculture: Yield Monitors, University of Missouri, Missouri.
5. Čuljat, M., Baričić, J. (1997.): Poljoprivredni kombajni, Poljoprivredni institut, Osijek.
6. Dado, W., Deines, J., M., Patel, R., Liang, S., Lobell, D., B., (2020.): High-resolution soybean yield mapping across the US midwest using subfield harvester data, Stanford university, CA
7. Drummond, S.T., Fraisse C.W., Sudduth K.A. (1999.): Combine harvest area determination by vector processing of GPS position data. *Trans. ASAE* 42:1221–1227
8. Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P. i sur. (2012.): Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sens. Environ.*, 120, 25–36
9. Glancey, J. (1997.): Analysis of header loss from pod stripper combines in green peas. *Journal of agricultural engineering research*, 68(1), pp. 1–10.
10. Hopkins, M., (2009.): How yield monitors work, Precision Ag
11. Husnjak, S., Bogunović, M. (2002.): Mogućnost izrade tematskih karata na temelju izrade geografskog informacijskog sustava (GIS-a), Agronomski fakultet sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
12. Jurišić M., Plaščak I. (2009): Geoinformacijski sustavi GIS u poljoprivredi i zaštiti okoliša, Poljoprivredni fakultet Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek.
13. Kayad, A., Sozzi, M., Gatto, S., Marinello, F., Pirotti, F. (2019.): Monitoring Within-Field Variability of Corn Yield using Sentinel-2 and Machine Learning Techniques. *Remote Sens.*, 11, 2873

14. Kira, O., Nguy-Robertson, A., L., Arkebauer, T., J., Linker, R., Gitelson, A., A., (2016.): Informative spectral bands for remote green LAI estimation in C3 and C4 crops, *Agric. For. Meteorol.*, 243-249
15. Kleinjan, J., Chang, J., Wilson, J., Humburg, D., Carlson, G., Clay, D., Long, D. (2002.): Cleaning yield data
16. Kraatz, F., Tapken, H., Nordemann, F., Iggena, T., Fruhner, M., Tonjes, R., (2019): An Integrated Data Platform for Agricultural Data Analyses based on Agricultural ISOBUS and ISOXML
17. Mago, L., Kovacs, I., (2019): Technical and technological parameters of ISOBUS system supported machinery management.
18. Ping J., L., Dobermann A. (2005.): Processing of Yield map data, *Precision Agriculture* 6, 193-212
19. Shay, C. W., Ellis, L. V., Hires, W. G. (1993.): Measuring and reducing soybean harvesting losses. Extension publications (MU).
20. Simbahan, G.C. Dobermann, A. Ping, J., L. (2004.): Screening yieldmonitor data improves grain yield maps. *Agron. J.* 96:1091–1102.
21. Štefanek, E., (2014.): Precizna poljoprivreda, *Gospodarski list*, Zagreb
22. Whelan, B.M. McBratney, A., B. (2002.): A parametric transfer function for grain-flow within a conventional combine harvester. *Precis. Agric.* 3:123–134

Internet stranice:

1. <http://www.berthoud.com/homepage/technologies-/row-crops/isobus-8000.aspx> 14.12.2020.
2. <http://www.ideagri.net/isobus-standard/what-is-isobus/> 14.12.2020.
3. <https://agriculture.newholland.com> 13.03.2021.
4. <https://agriculture.trimble.com/solutions/guidance-steering/> 16.03.2021.
5. <https://euractiv.jutarnji.hr/euractiv/hrana-i-poljoprivreda/precizna-poljoprivreda-za-pet-godina-vrijedit-ce-vise-od-10-mlrd-dolara-gdje-je-tu-hrvatska-15057098> 13.07.2021.
6. <https://extension.missouri.edu/publications/wq451> 19.07.2021.
7. <https://grdc.com.au/resources-and-publications/grdc-update-papers/tab-content/grdc-update-papers/2017/02/the-economics-of-precision-agriculture> 17.07.2021.
8. <https://novocommerce.hr/john-deere/> 06.07.2021.

9. <https://www.agroklub.com/ratarstvo/precizna-poljoprivreda-ili-kada-vas-sustav-navodi-da-lopatice-stroja-dodu-do-biljke-a-ne-dotaknu-je/68911/> 13.04.2021.
10. <https://www.aspexit.com/en/yield-maps-in-precision-agriculture/> 23.04.2021.
11. https://www.bioconferences.org/articles/bioconf/full_html/2018/01/bioconf_wipie2018_01018/bioconf_wipie2018_01018.html 23.04.2021.
12. <https://www.claas-group.com> 24.05.2021.
13. <https://www.claas-group.com/press-corporate-communications/press-releases/claas-telematics-with-standard-configuration-and-in-three-versions/328632> 13.12.2020.
14. <https://www.cropos.hr/o-sustavu/cropos-drzavna-mreza-referentnih-stanica-republike-hrvatske> 13.07.2021.
15. <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/> 18.06.2021.
16. <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2016/may/cost-savings-from-precision-agriculture-technologies-on-us-corn-farms> 16.06.2021.
17. <https://www.everythingrf.com/community/what-is-real-time-kinematics> 23.06.2021.
18. <https://www.farm-equipment.com> 13.04.2021.
19. <https://www.fwi.co.uk/machinery/harvest-equipment> 16.05.2021.
20. <https://www.hillcotechnologies.com/ch9010.html> 16.05.2021.
21. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-precision-farming-market-industry> 11.07.2021.
22. <https://www.nass.usda.gov/> 15.07.2021.
23. <https://www.precisionag.com/market-watch/how-yield-monitors-work/> 11.07.2021.

6. SAŽETAK

Karte prinosa predstavljaju skup informacija, podataka i rezultat poljoprivredne proizvodnje u pojedinom polju, na točno određenoj lokaciji odnosno dijelu polja. Karta prinosa sadrži informacije koje značajno mogu doprinjeti u donošenju racionalnih odluka prilikom proizvodnog procesa pojedine kulture. Prinos usjeva se koristi kao rezultat djelovanja različitih čimbenika koji imaju direktan utjecaj na prinos, kao što su vrsta tla, hranjiva, vlažnost i štetnici. Sustav za mjerenje prinosa sastavljen je od podsustava za pozicioniranje i podsustava za praćenje prinosa. Sustav za praćenje prinosa sastavljen je od niza senzora koji su postavljeni unutar kombajna i hedera. Karte prinosa se izrađuju na temelju informacija koje su nastale praćenjem prinosa, odnosno informacija koje su očitali senzori za praćenje prinosa. Podatci o prinosu se povezuju s točnom lokacijom u polju koja je izračunata pomoću GNSS uređaja. Karte prinosa se izrađuju u specijaliziranim geoinformacijskim sustavima koji sadrže niz alata koji omogućuju izradu precizne i točne karte prinosa koja pruža relevantne informacije o urodu usjeva na pojedinom položaju te varijabilnost uroda.

7. SUMMARY

Yield maps represent a set of information, data and the result of agricultural production in a particular field, at a specific location or part of the field. The yield map contains information that can significantly contribute to making rational decisions during the production process of a particular crop. Crop yield is used as a result of the action of various factors that have a direct impact on yield, such as soil type, nutrients, moisture and pests. The yield measurement system consists of a positioning subsystem and a yield monitoring subsystem. The yield monitoring system consists of a series of sensors placed inside the combine and the header. Yield maps are made on the basis of information generated by yield monitoring, ie information read by yield monitoring sensors. Yield data is referenced with the exact location in the field calculated using the GNSS device. Yield maps are made in specialized geoinformation systems that contain a number of tools that allow the creation of a precise and accurate yield map that provides relevant information on crop yields at a particular location and yield variability.

8. POPIS SLIKA

Slika 1. Shema sustava za praćenje prinosa	8
Slika 2. Prikaz udarnog senzora	10
Slika 3. John Deere udarni senzor	10
Slika 4. John Deere senzori mase	11
Slika 5. Optički senzor čistog zrna	12
Slika 6. Senzor vlažnosti	13
Slika 7. Podešavanje hedera u vertikalnom i horizontalnom položaju.....	14
Slika 8.ISOBUS priključak.....	15
Slika 9. Prikaz sastavnih dijelova ISOBUS – a.....	16
Slika 10. John Deere terminal	17
Slika 11. Shema RTK sustava za navođenje	19
Slika 12. Starfire 6000 RTK prijemnik	21
Slika 13. Trimble profesionalni sustav za navođenje.....	22
Slika 14. Trimble navigacijski terminal	22
Slika 15. TELEMATICS sustav na računalu	25
Slika 16. Shema prijenosa podataka u TELEMATICS – u	26
Slika 17. Karta prinosa prije i poslije interpoliranja podataka	27
Slika 18. Prikaz postavljanja filtera za pročišćavanje pogrešnih podataka u programu „ <i>Yield Editor</i> “	30
Slika 19. Prikaz prihvaćanja tehnologije precizne poljoprivrede po regijama	31
Slika 20. Raspored CROPOS baznih stanica	33
Slika 21. Istraživano područje	36
Slika 22. John Deere operativni centar	41

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

SENZORI I KARTIRANJE PRINOSA U OKVIRU PRECIZNE ŽETVE

Tomislav Jović

Sažetak: Karte prinosa predstavljaju skup informacija, podataka i rezultat poljoprivredne proizvodnje u pojedinom polju, na točno određenoj lokaciji odnosno dijelu polja. Karta prinosa sadrži informacije koje značajno mogu doprinjeti u donošenju racionalnih odluka prilikom proizvodnog procesa pojedine kulture. Prinos usjeva se koristi kao rezultat djelovanja različitih čimbenika koji imaju direktan utjecaj na prinos, kao što su vrsta tla, hranjiva, vlažnost i štetnici. Sustav za mjerenje prinosa sastavljen je od podsustava za pozicioniranje i podsustava za praćenje prinosa. Sustav za praćenje prinosa sastavljen je od niza senzora koji su postavljeni unutar kombajna i hedera. Karte prinosa se izrađuju na temelju informacija koje su nastale praćenjem prinosa, odnosno informacija koje su očitale senzori za praćenje prinosa. Podatci o prinosu se referenciraju s točnom lokacijom u polju koja je izračunata pomoću GNSS uređaja. Karte prinosa se izrađuju u specijaliziranim geoinformacijskim sustavima koji sadrže niz alata koji omogućuju izradu precizne i točne karte prinosa koja pruža relevantne informacije o urodu usjeva na pojedinom položaju te varijabilnost uroda.

Rad je izrađen pri: Fakultetu agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

Mentor: prof.dr.sc. Mladen Jurišić

Broj stranica: 53

Broj grafikona i slika: 22

Broj tablica: 0

Broj literaturnih navoda: 45

Broj priloga: 0

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: praćenje prinosa, karte prinosa, kartiranje prinosa, precizna poljoprivreda, varijabilnost prinosa, senzori

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof.dr.sc. Irena Rapčan, predsjednik
2. prof.dr.sc. Mladen Jurišić, mentor
3. Dorijan Radočaj, mag. ing. geod. et geoinf., član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, Sveučilištu u Osijeku, Kralja Petra Svačića

1d

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Graduate thesis

Faculty of Agriculture biotechnical science

University Graduate Studies, Agriculture machinery, course

SENSORS AND YIELD MAPPING WITHIN PRECISE HARVEST

Tomislav Jović

Abstract: Yield maps represent a set of information, data and the result of agricultural production in a particular field, at a specific location or part of the field. The yield map contains information that can significantly contribute to making rational decisions during the production process of a particular crop. Crop yield is used as a result of the action of various factors that have a direct impact on yield, such as soil type, nutrients, moisture and pests. The yield measurement system consists of a positioning subsystem and a yield monitoring subsystem. The yield monitoring system consists of a series of sensors placed inside the combine and the header. Yield maps are made on the basis of information generated by yield monitoring, ie information read by yield monitoring sensors. Yield data is referenced with the exact location in the field calculated using the GNSS device. Yield maps are made in specialized geoinformation systems that contain a number of tools that allow the creation of a precise and accurate yield map that provides relevant information on crop yields at a particular location and yield variability.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: prof.dr.sc. Mladen Jurišić

Number of pages: 53

Number of figures: 22

Number of tables: 0

Number of references: 45

Number of appendices: 0

Original in: Croatian

Key words: yield monitoring, yield maps, yield mapping, precise agriculture, yield variability, sensors

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. prof.dr.sc. Irena Rapčan, president
2. prof.dr.sc. Mladen Jurišić, mentor
3. Dorijan Radočaj, mag.ing.geod. et geoinf., member

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agriculture in Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Kralja Petra Svačića 1d