



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET
Sveučilišni diplomski studij
geodezije i geoinformatike



Kolegij: Integrirani sustavi u geomatici

Projektni zadatak

INTEGRIRANI SENZORSKI SUSTAVI U
POLJOPRIVREDI

Marko Braica, bacc.univ.geod.et.geoinf.

Josip Crljen, bacc.univ.geod.et.geoinf.

Zagreb, siječanj 2026.

Sadržaj

1. UVOD	3
2. INTEGRIRANI SENZORSKI SUSTAVI.....	4
2.1. Što su senzori i senzorski sustavi?	4
2.2. Vrste senzora u poljoprivredi	5
2.2.1. Senzori za tlo	5
2.2.2. Atmosferski senzori	5
2.2.3. Senzori za biljke	5
2.3. Integracija senzora.....	5
2.3.1. IOT	5
2.3.2. GIS sustavi.....	7
2.3.3. Satelitski sustavi	8
2.3.4. Dron sustavi.....	8
3. PRIMJENA INTEGRIRANIH SENZORSKIH SUSTAVA U POLJOPRIVREDI	9
3.1. AGRIVI.....	10
3.2. Trimble.....	11
3.3. John Deere.....	12
4. PREDNOSTI I NEDOSTATCI INTEGRIRANIH SUSTAVA	13
4.1. Prednosti integriranih senzorskih sustava	13
4.2. Nedostaci integriranih senzorskih sustava	14
5. BUDUĆI RAZVOJ I TRENDOVI.....	16
6. DIGITALNI BLIZANCI (DIGITAL TWIN) U POLJOPRIVREDI	17
6.1. Povezanost digitalnih blizanaca sa senzorskim sustavima i IoT-om	17
6.2. Uloga umjetne inteligencije i analitike.....	18
6.3. Primjeri primjene digitalnih blizanaca u poljoprivredi	18
6.4. Prednosti primjene digitalnih blizanaca	18
6.5. Budućnost digitalnih blizanaca u poljoprivredi.....	18
7. ZAKLJUČAK.....	19
8. LITERATURA	20
9. POPIS SLIKA.....	21

1. UVOD

Razvoj suvremene poljoprivrede suočava se s brojnim izazovima kao što su klimatske promjene, rast svjetske populacije, ograničeni prirodni resursi te potreba za održivom i ekonomski isplativom proizvodnjom hrane. Tradicionalni načini poljoprivredne proizvodnje sve teže odgovaraju na navedene izazove, zbog čega se sve veći naglasak stavlja na primjenu naprednih tehnologija i digitalnih rješenja.

Jedno od ključnih rješenja u tom kontekstu predstavljaju integrirani senzorski sustavi. Riječ je o sustavima koji se sastoje od više različitih senzora za mjerenje parametara tla, biljaka i okoliša, a koji su međusobno povezani te integrirani s informacijskim i komunikacijskim tehnologijama. Takvi sustavi omogućuju prikupljanje podataka u stvarnom vremenu, njihovu analizu i donošenje odluka temeljenih na točnim i pravovremenim informacijama.

Primjena integriranih senzorskih sustava temelj je koncepta precizne poljoprivrede, čiji je cilj optimizacija korištenja resursa poput vode, gnojiva i pesticida uz istovremeno povećanje prinosa i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš. Korištenjem senzorskih podataka poljoprivrednicima se omogućuje bolje razumijevanje prostorne i vremenske varijabilnosti unutar proizvodnih površina, čime se postiže učinkovitije upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom.

Cilj ovog seminarskog rada je prikazati osnovne značajke integriranih senzorskih sustava u poljoprivredi, objasniti njihovu primjenu te istaknuti benefite koje donose za različite poljoprivredne proizvode. Poseban naglasak stavlja se na doprinos ovih sustava održivom razvoju i budućnosti poljoprivredne proizvodnje.

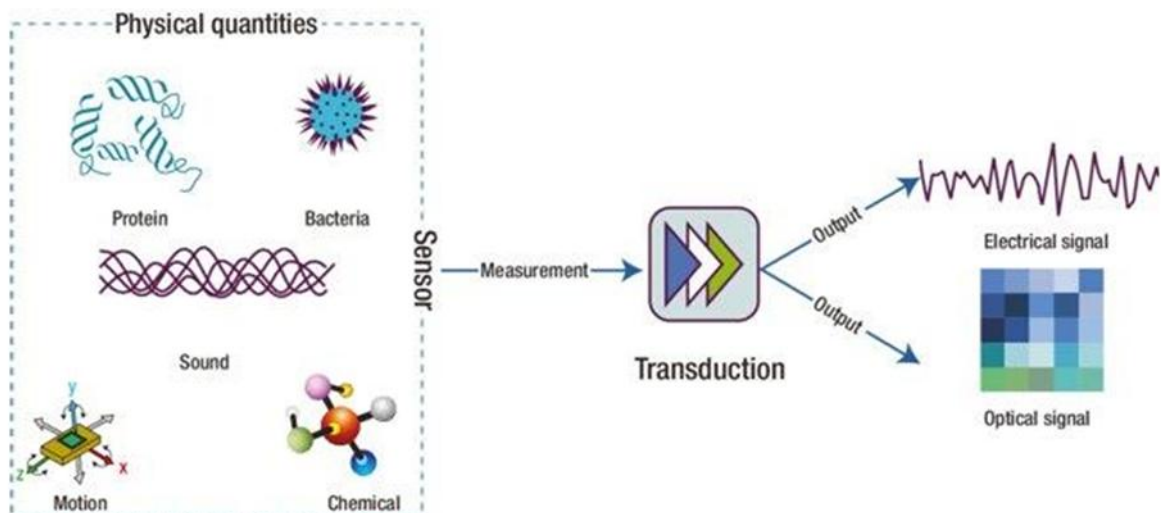
2. INTEGRIRANI SENZORSKI SUSTAVI

2.1. Što su senzori i senzorski sustavi?

Senzor ili pretvornik je uređaj koji mjeri neku fizikalnu veličinu (npr. temperaturu, vlažnost zraka, tlak, broj otkucaja srca) i pretvara ju u signal pogodan za daljnju obradu (optički ili najčešće električni signal).

Senzori su uređaji u najširem smislu koji prikupljaju informacije o prostoru, događajima u prostoru, ljudima i ljudskim aktivnostima, odnosno proizvodnim ili servisnim sustavima. (Bačić, 2025.)

Senzorski sustav je kompleksnija cjelina koja uključuje jedan ili više senzora, procesor (mikrokontroler) i izvršne elemente (aktuatore). Senzorski sustavi u poljoprivredi koriste umrežene senzore za prikupljanje podataka o tlu, okolišu i usjevima, omogućujući precizno navodnjavanje, gnojidbu i zaštitu, čime se optimiziraju resursi, povećava prinos i smanjuju troškovi, a temelje se na naprednim tehnologijama poput bežičnih senzorskih mreža i malih potrošnji energije. (Bačić, 2025.)



Slika 1. Senzor i senzorski sustav (URL 14)

2.2. Vrste senzora u poljoprivredi

Integrirani senzorski sustavi u poljoprivredi koriste različite vrste senzora za prikupljanje podataka o stanju tla, biljaka, životinja i okoliša. Ovisno o namjeni i području primjene, senzori se mogu podijeliti u nekoliko osnovnih skupina.

2.2.1. Senzori za tlo

- vlažnost tla: senzori koji mjere količinu vode u tlu, omogućuje optimizaciju navodnjavanja
- sadržaj hranjivih tvari: senzori koji prate razinu dušika, fosfora i kalija, pomažući u prilagođavanju gnojidbe

2.2.2. Atmosferski senzori

- senzori koji mjere temperaturu, vlažnost, brzinu vjetra i oborine.
- ti podaci pomažu u predviđanju vremenskih uvjeta i prilagođavanju poljoprivrednih aktivnosti

2.2.3. Senzori za biljke

- senzori koji prate rast biljaka, identificiraju bolesti ili štetnike i mjere fotosintetsku aktivnost, omogućujući ciljane intervencije. (URL 1)

2.3. Integracija senzora

Integracija senzora u poljoprivredi podrazumijeva povezivanje različitih senzorskih uređaja u jedinstveni sustav koji omogućuje prikupljanje, prijenos, obradu i analizu podataka s ciljem učinkovitijeg upravljanja poljoprivrednom proizvodnjom. Takvi integrirani sustavi predstavljaju temelj digitalne i precizne poljoprivrede.

2.3.1. IOT

Internet stvari (IoT) sljedeći je korak u ICT revoluciji, koja omogućuje integriranje sve komunikacijske infrastrukture. Ova integracija uključuje praćenje i kontrolu nad tom komunikacijskom infrastrukturom s jedne platforme i sučelja. Dakle, IoT u poljoprivredi u osnovi omogućuje uzgajivaču novog doba da upravlja svojim proizvodima na daljinu kroz niz umreženih uređaja.

Dostupnost radne snage u poljoprivredi posljednjih se godina smanjuje, što predstavlja velik izazov za ovaj sektor. Pametna poljoprivreda temeljena na IoT tehnologijama omogućuje automatizaciju brojnih zadataka putem senzora, dronova i autonomnih vozila. Time se osigurava održavanje produktivnosti poljoprivrednih gospodarstava unatoč smanjenju ljudskog rada.

Utjecaj IoT-a u poljoprivredi najviše se očituje kroz integraciju senzorskih, analitičkih i operativnih funkcija u jedinstveni sustav upravljanja. Takva integracija omogućuje automatizaciju poljoprivrednih procesa, pri čemu senzori prikupljaju podatke, a analitički sustavi predlažu optimalne mjere djelovanja. U budućnosti se očekuje širenje primjene naprednih senzora, uz sve veću ulogu robotike, autonomnih vozila i bespilotnih letjelica u obavljanju poljoprivrednih zadataka. Ključan čimbenik daljnjeg razvoja bit će primjena analitičkih i prediktivnih modela, osobito u kontekstu klimatskih promjena koje utječu na poljoprivrednu proizvodnju. Iako se automatizacija već primjenjuje u manjim sustavima poput staklenika, očekuje se njezina sve veća primjena i na velikim poljoprivrednim površinama.

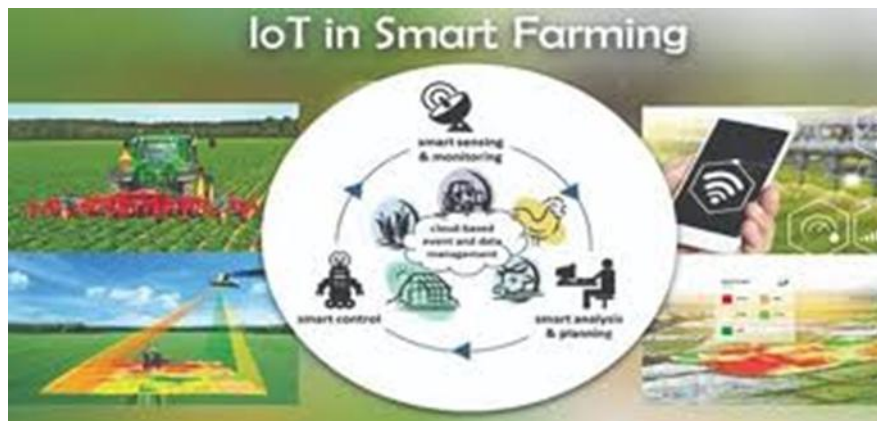
Očuvanje vode postaje sve važnije zbog ograničene dostupnosti pitke vode, a poljoprivreda kao jedan od najvećih potrošača ima ključnu ulogu u tom procesu. Iako je uporaba vode u poljoprivredi neizbježna, IoT tehnologije omogućuju njezino znatno učinkovitije upravljanje. Senzori za praćenje vlage tla, usjeva i atmosfere omogućuju precizno određivanje potrebne količine vode za navodnjavanje. Time se smanjuje rasipanje vode, poboljšava kvaliteta usjeva i povećava njihova tržišna vrijednost.

Praćenje usjeva pomoću IoT tehnologija, osim upravljanja navodnjavanjem, donosi brojne druge prednosti koje povećavaju kvalitetu proizvoda i profitabilnost poljoprivrednih gospodarstava. Senzori omogućuju praćenje vremenskih uvjeta, parametara tla poput pH vrijednosti te općeg zdravstvenog stanja usjeva. Prikupljeni podaci analiziraju se kako bi se precizno odredile potrebe usjeva za vodom, svjetlošću, gnojivima i pesticidima. Time poljoprivrednici mogu donositi informirane odluke i ostvariti maksimalnu proizvodnju u pogledu kvalitete i količine.

U međuvremenu, štetnici sve više postaju prijetnja zbog promjene klimatskih patera koji utječu na sve veće kretanje štetnika u rasponu od muha koje nose kongoansku groznicu do rojeva

skakavaca. S tim u vezi, očekuje se da će poljoprivredno tržište IoT-a moći otkriti te promjenjive obrasce i predvidjeti događaje, što će zauzvrat pomoći u kontroli štete i ublažavanju gubitaka.

Očekuje se da će IoT značajno utjecati na različita područja poljoprivrede, od praćenja usjeva do učinkovitog upravljanja vodom, radnom snagom, stočarstvom i zaštitom od štetnika. Razvoj IoT rješenja temelji se na dvostrukom cilju: povećanju produktivnosti i smanjenju gubitaka. Time se poljoprivrednicima omogućuje veća profitabilnost i očuvanje poljoprivrede kao održive djelatnosti. To je posebno važno u kontekstu rastuće potražnje za hranom i istodobnog smanjenja prinosa. (URL 2)



Slika 2. IoT u poljoprivredi (URL 12)

2.3.2. GIS sustavi

GIS sustavi u kombinaciji s IoT tehnologijama i integriranim senzorskim sustavima dodatno unapređuju donošenje odluka u poljoprivredi. Senzori postavljeni na poljima kontinuirano prikupljaju podatke o vlažnosti tla, temperaturi, pH vrijednosti, količini oborina i zdravstvenom stanju usjeva. Ti se podaci u stvarnom vremenu prenose putem IoT mreža u centralne sustave za obradu, gdje se analiziraju i prostorno prikazuju unutar GIS okruženja. Na taj način nastaju precizne tematske karte koje poljoprivrednicima omogućuju prepoznavanje područja s različitim potrebama za hranjivima, vodom ili zaštitom od bolesti. (URL 3)

Integracija GIS-a i senzorskih sustava omogućuje preciznije planiranje plodoreda, sjetve pokrovnih usjeva i agrošumarskih praksi. Na temelju stvarnih terenskih mjerenja i prostornih analiza, poljoprivrednici mogu ciljano intervenirati na određenim dijelovima parcela, čime se smanjuje potrošnja resursa i povećava učinkovitost proizvodnje. Osim toga, povezivanje s

dronovima i satelitskim snimkama dodatno obogaćuje GIS bazu podataka te omogućuje pravovremeno otkrivanje stresa kod biljaka, pojave štetnika i erozije tla. Time integrirani sustav GIS-a, IoT-a i senzora postaje ključan alat za razvoj precizne i održive poljoprivrede.

2.3.3. Satelitski sustavi

Dosadašnji načini i sustavi zaštite bilja temeljili su se na tretiranju cijele površine, dok se primjenom GNSS sustava usjev ili nasad može selektivno tretirati. Tretirajući cijelu površinu stvaraju se veliki gubici zaštitnog sredstva, povećava negativni utjecaj istih na okoliš što uzrokuje značajne ekonomske gubitke. Konačni cilj kojemu treba težiti je maksimalno učinkovita primjena strojeva za zaštitu bilja kako bi se aplikacija obavila pravovremeno i kvalitetno. GNSS prijammnik (antena) prikuplja kontinuirano odašiljane signale sa satelita temeljem kojih se određuje položaja na Zemlji. Korištenjem CROPOS (Hrvatski pozicijski sustav) usluge VPPS-a (umreženo rješenje faznih mjerenja u realnom vremenu) ostvaruje se točnost pozicioniranja od 2 do 4 cm što u poljoprivredi odgovara preciznom definiranju položaja stroja. U RH se GNSS sustav koristi uglavnom na većim proizvodnim površinama prilikom sjetve ili sadnje, gnojidbe i zaštite usjeva ili nasada. (Sito, Kovačević, 2015.)

2.3.4. Dron sustavi

Dronovi opremljeni kamerama visoke rezolucije mogu preletjeti velike površine i pružiti detaljne slike usjeva te tako vršiti monitoring i nadzor usjeva. Ova tehnologija omogućava poljoprivrednicima da brzo otkriju probleme poput bolesti, štetočina ili nedostatka vode. Na primjer, termalne kamere mogu otkriti dijelove polja koji su pod stresom zbog nedostatka vode, omogućavajući ciljano navodnjavanje. (URL 5)

Dronovi se također koriste za precizno prskanje pesticida, herbicida i đubriva, smanjujući količinu kemikalija potrebnih za tretiranje usjeva i minimizirajući štetne utjecaje na okoliš. Ova metoda je posebno korisna u teže dostupnim područjima i omogućava ravnomjerno raspršivanje uz minimalno trošenje resursa. (URL 5)

Mogu kreirati detaljne mape poljoprivrednog zemljišta, uključujući topografiju, stanje tla i vegetacijski pokrov. Ove mape pomažu poljoprivrednicima da bolje planiraju sadnju, navodnjavanje i druge aktivnosti na farmi.

Pomoću njih se može pregledati stotine hektara za nekoliko sati, što bi ljudima ili tradicionalnim metodama trebalo danima. Ova brzina omogućava brzu reakciju na probleme i pravovremene intervencije.

Manja upotreba kemikalija i resursa, kao i smanjenje potreba za radnom snagom, može znatno smanjiti troškove proizvodnje. Dronovi također smanjuju potrebu za teškom mehanizacijom, što dodatno smanjuje troškove održavanja i goriva.

Dronovi pružaju visoku preciznost u svim aspektima poljoprivredne proizvodnje, od sadnje do berbe, a to rezultira manjim gubicima i većim prinosima.



Slika 3. Satelitski i dron sustavi u poljoprivredi (URL 13)

3. PRIMJENA INTEGRIRANIH SENZORSKIH SUSTAVA U POLJOPRIVREDI

Primjena integriranih senzorskih sustava u poljoprivredi sve se više oslanja na napredne softverske platforme i digitalne alate koji omogućuju učinkovito upravljanje proizvodnjom. Suvremena poljoprivreda više se ne temelji isključivo na iskustvu i vizualnoj procjeni, već na analizi stvarnih podataka prikupljenih putem senzora, satelita i pametnih uređaja. U tom kontekstu, sustavi poput AGRIVI, Trimble i John Deere predstavljaju ključne alate za implementaciju precizne i pametne poljoprivrede.

Ove platforme omogućuju prikupljanje, obradu i vizualizaciju podataka o stanju tla, usjeva, vremenskim uvjetima i radu mehanizacije. Integracijom senzorskih sustava s naprednim softverskim rješenjima poljoprivrednici dobivaju cjelovit pregled svojih parcela te alate za planiranje sjetve, gnojidbe, navodnjavanja i zaštite bilja. Time se povećava učinkovitost proizvodnje, smanjuju troškovi i omogućuje donošenje odluka temeljenih na podacima.

3.1. AGRIVI

AGRIVI je globalni pružatelj digitalnih i AI rješenja za poljoprivredu koja pomaže poljoprivrednicima, poljoprivrednim poduzećima, prehrambenim tvrtkama i zadrugama poboljšati produktivnost, osigurati usklađenost i postići ciljeve održivosti. AGRIVI 360 Farm Management Software je osnovni softver za planiranje i praćenje svih agronomskih i poslovnih procesa. (Folnović, 2016.)

Među proizvodima koje tvrtka nudi su:

- Farm Insights – softver za upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom osmišljen kako bi poljoprivrednicima pomogao u donošenju preciznih odluka na temelju uvida s polja u stvarnom vremenu i pojednostavljivanju upravljanja poljoprivrednim gospodarstvom
- Farm Advisory – vrhunski softver za poljoprivredne savjetnike koji pružaju agronomske preporuke poljoprivrednim proizvođačima temeljene na podacima s polja u stvarnom vremenu, stanju biljaka i primijenjenim agronomskim praksama
- Agriculture Supply Chain - softversko rješenje za upravljanje poljoprivrednim lancem nabave s ciljem postizanja vrhunske kvalitete proizvoda, sigurnosti hrane i sljedivosti, namijenjeno industriji hrane i pića koja radi direktan otkup poljoprivrednih proizvoda od proizvođača
- Farm Enterprise- vodeći softver za upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom koji velikim poljoprivrednim proizvođačima omogućuje kontrolu složenih procesa, donošenje informiranih odluka i optimizaciju troškova na temelju uvida u stvarnom vremenu i naprednih analiza podataka (URL 6)



Slika 4. AGRIVI sučelje (URL 6)

3.2. Trimble

Trimble Agriculture je jedna od vodećih digitalnih platformi za preciznu i povezanu poljoprivredu, usmjerena na prikupljanje, integraciju i analizu podataka iz polja kako bi poljoprivrednici mogli donositi bolje odluke i povećati efikasnost svojih operacija. Njihov softver povezuje podatke s terena, senzora, strojeva i mobilnih uređaja u jedinstvenu digitalnu platformu koja olakšava planiranje usjeva, upravljanje radnim nalogima, praćenje opreme i analizu rezultata. Trimble softver omogućuje upravljanje farmom preko web-sučelja, desktopa ili mobilnih aplikacija, uključujući automatsku sinkronizaciju podataka između uređaja i kompatibilnost s opremom različitih proizvođača.

Platforma također podržava upravljanje granicama polja, linijama navođenja, zadacima i agronomskim preporukama, čime se smanjuje ručno unošenje podataka i povećava preciznost rada.

Proizvodi koje tvrtka nudi su:

- Farmer core - softver kompanije Trimble koji dopunjuje vaš postojeći Trimble sistem kako biste upravljali podacima koji se tiču precizne poljoprivrede i pojednostavili podešavanje displaya čime ćete izvući najviše iz svakog hektara
 - koristi tehnologiju AutoSync™, novu i inovativnu funkciju koja se izvršava u pozadini i automatski sinkronizira sve linije navođenja, imena parcela, granice, materijale, priključne mašine, vozila i informacije o korisniku na svim povezanim uređajima
- FarmENGAGE - predstavlja sljedeću generaciju softvera za upravljanje poljoprivrednim operacijama, osmišljen za povećanje jednostavnosti, povezanosti i kontrole nad cjelokupnim voznim parkom, pri čemu omogućuje centralizirano upravljanje svim aspektima rada s polja ili iz ureda, neovisno o marki ili godini proizvodnje postojeće opreme. (URL 7)



Slika 5. Trimble softver (URL 11)

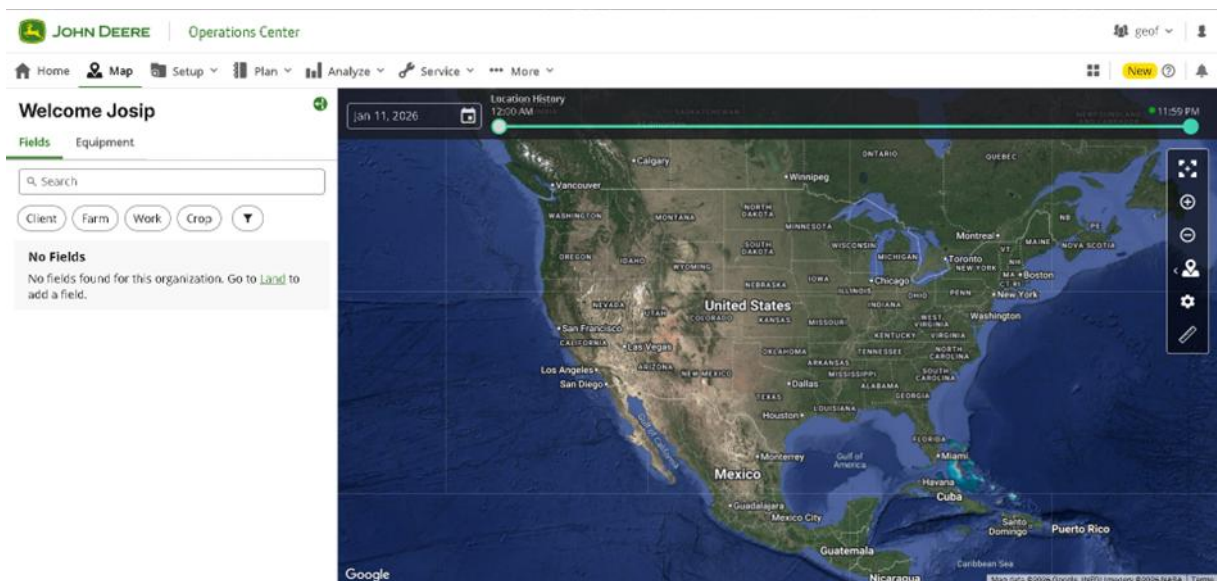
3.3. John Deere

John Deere je vodeći proizvođač sustava za preciznu poljoprivredu, koji poljoprivrednicima omogućuju praćenje i upravljanje farmama koristeći pametnu tehnologiju. Njihova platforma John Deere Operations Center omogućuje pristup podacima o poljima, strojevima i usjevima bilo kada i bilo gdje, što olakšava planiranje, nadzor i analizu poljoprivrednih aktivnosti putem weba ili mobilnih uređaja. Povezivanjem strojeva putem JDLink™ telemetrije podaci se automatski prenose u Operations Center, omogućujući praćenje u realnom vremenu, bolju organizaciju rada i učinkovito donošenje odluka u proizvodnji. Ove tehnologije omogućuju poljoprivrednicima smanjenje troškova, povećanje prinosa te učinkovitije korištenje resursa kroz integraciju preciznih podataka iz cijelog proizvodnog ciklusa. (URL 5)

- John Deere Operations Center - centralna online platforma za upravljanje podacima, planiranje i analizu, dok je JDLink™ ključna komponenta za povezivost koja putem bežične telematike prenosi podatke s terena u Operations Center, omogućujući potpunu integraciju i učinkovito

upravljanje flotom strojeva Operations Centera, čime se osigurava besprijekorna integracija i upravljanje strojevima

- podaci s terena, poput prinosa i gustoće sjetve, putem JDLink™ bežične veze automatski se prenose u John Deere Operations Center™, gdje se analiziraju i uspoređuju s vremenskim i pedološkim podacima, a na temelju tih analiza izrađuju se novi planovi i karte koji se potom šalju natrag na stroj radi preciznog izvođenja sljedećih radnih operacija. (URL 8)



Slika 6. John Deere Operations Center (URL 8)

4. PREDNOSTI I NEDOSTATCI INTEGRIRANIH SUSTAVA

4.1. Prednosti integriranih senzorskih sustava

Primjena integriranih senzorskih sustava omogućuje poljoprivrednicima donošenje preciznijih odluka temeljenih na stvarnim podacima s terena. Najvažnije prednosti očituju se u povećanju produktivnosti, uštedi resursa i automatizaciji proizvodnih procesa.

Povećanje produktivnosti i prinosa - Integrirani senzorski sustavi omogućuju kontinuirano praćenje stanja usjeva i tla, čime se poljoprivrednicima pružaju pravovremene informacije o potrebama biljaka. Na temelju preciznih podataka moguće je pravovremeno reagirati na stres biljaka, pojavu bolesti ili nedostatak hranjiva. Takav pristup rezultira većim i stabilnijim prinosima te smanjenjem gubitaka tijekom proizvodnje.

Ušteda resursa - Korištenjem senzora vlage tla i klimatskih uvjeta moguće je točno odrediti kada i koliko navodnjavati usjeve. Time se sprječava prekomjerna potrošnja vode i smanjuju troškovi proizvodnje. Slično tome, varijabilna primjena gnojiva i pesticida omogućuje tretiranje samo onih dijelova parcele gdje je to zaista potrebno, čime se smanjuje negativan utjecaj na okoliš.

Automatizacija i smanjenje potrebe za radnom snagom - Integrirani sustavi omogućuju automatizaciju brojnih poljoprivrednih procesa, poput navodnjavanja, ventilacije u plastenicima i doziranja gnojiva. Time se smanjuje potreba za fizičkim radom i ljudskom intervencijom. Posebno je to važno u uvjetima smanjene dostupnosti radne snage u poljoprivredi.

Bolje planiranje i donošenje odluka - Prikupljeni senzorski podaci pohranjuju se i analiziraju putem specijaliziranih softverskih platformi, poput AGRIVI-ja i John Deere Operations Centera. Analiza povijesnih i aktualnih podataka omogućuje preciznije planiranje sjetve, gnojidbe i žetve. Time se donošenje odluka temelji na stvarnim pokazateljima, a ne isključivo na iskustvu.

Održivost i zaštita okoliša - Racionalno korištenje resursa doprinosi očuvanju tla, vode i bioraznolikosti. Smanjenjem prekomjerne primjene kemijskih sredstava smanjuje se onečišćenje okoliša. Integrirani senzorski sustavi tako imaju važnu ulogu u razvoju održive poljoprivrede.(URL 9)

4.2. Nedostaci integriranih senzorskih sustava

Unatoč brojnim prednostima, integrirani senzorski sustavi imaju i određena ograničenja koja mogu otežati njihovu širu primjenu. Ti se nedostaci prvenstveno odnose na financijske, tehničke i infrastrukturne izazove s kojima se poljoprivrednici susreću.

Visoki početni troškovi - Uvođenje senzorskih sustava zahtijeva značajna početna financijska ulaganja u opremu, softver i instalaciju. Za mnoge male poljoprivrednike takvi troškovi predstavljaju veliku prepreku. Osim početne investicije, potrebno je osigurati i sredstva za održavanje sustava.

Tehnička složenost - Korištenje naprednih tehnologija zahtijeva određenu razinu tehničkog znanja. Poljoprivrednici često trebaju dodatnu edukaciju kako bi u potpunosti iskoristili mogućnosti sustava. Nedostatak digitalnih vještina može ograničiti učinkovitost primjene tehnologije.

Ovisnost o internetu i infrastrukturi - Integrirani senzorski sustavi ovise o stabilnoj internetskoj vezi za prijenos podataka. U ruralnim područjima, gdje je infrastruktura često slabija, mogu se pojaviti problemi s povezivanjem. To može otežati rad sustava u stvarnom vremenu.

Sigurnost i privatnost podataka - Podaci prikupljeni sensorima često se pohranjuju u računalni oblak. To otvara pitanja vezana uz vlasništvo nad podacima i njihovu zaštitu od neovlaštenog pristupa. Poljoprivrednici moraju imati povjerenje u sigurnost korištenih platformi.

Ograničena primjena za male proizvođače - Iako tehnologija donosi brojne prednosti, njezina primjena često je isplativija za veće poljoprivredne sustave. Manji proizvođači nerijetko nemaju financijske ni tehničke kapacitete za uvođenje ovakvih sustava. Time se stvara digitalni jaz između velikih i malih gospodarstava. (URL 9)

5. BUDUĆI RAZVOJ I TRENDОВI

Brzi razvoj digitalnih tehnologija značajno mijenja način na koji se poljoprivreda provodi i upravlja njome. Integrirani senzorski sustavi, u kombinaciji s umjetnom inteligencijom, robotikom i naprednim softverskim platformama, postaju temelj moderne pametne poljoprivrede. Očekuje se da će budući trendovi i inovacije dodatno unaprijediti preciznost, automatizaciju i održivost poljoprivredne proizvodnje. Najvažniji smjerovi razvoja i tehnologije koje će oblikovati poljoprivredu budućnosti su:

Umjetna inteligencija i strojno učenje

Umjetna inteligencija sve se više koristi za analizu velikih količina podataka prikupljenih sensorima i satelitima. Algoritmi strojnog učenja omogućuju prepoznavanje obrazaca u rastu usjeva, predviđanje prinosa te rano otkrivanje bolesti i štetnika. Time se poljoprivrednicima pružaju precizne preporuke za optimalne agrotehničke mjere. U budućnosti se očekuje sve veća autonomija sustava u donošenju odluka.

Autonomni strojevi i robotika

Razvoj autonomnih traktora, robota za plijevljenje korova i dronova za nadzor usjeva značajno mijenja način obavljanja poljoprivrednih poslova. Ovi sustavi smanjuju potrebu za ljudskim radom i omogućuju veću preciznost u izvođenju operacija. Robotika je posebno korisna u radno intenzivnim sektorima poput povrtlarstva i vinogradarstva. Očekuje se daljnje unapređenje njihove pouzdanosti i dostupnosti.

Napredni senzori nove generacije

Budući razvoj senzorske tehnologije usmjeren je prema izradi manjih, preciznijih i dugotrajnijih senzora. Novi biosenzori omogućit će detekciju bolesti i nutritivnog statusa biljaka u realnom vremenu. Također se očekuje razvoj senzora koji će precizno mjeriti sadržaj hranjiva u tlu. To će omogućiti još učinkovitije upravljanje resursima.

Digitalni blizanci (Digital Twin) u poljoprivredi

Digitalni dvojnici predstavljaju virtualne modele farmi koji simuliraju stvarne uvjete proizvodnje. Na temelju stvarnih podataka moguće je testirati različite scenarije, poput promjena u navodnjavanju ili gnojidbi. Ovakav pristup smanjuje rizik pogrešnih odluka prije njihove stvarne primjene. Time se povećava sigurnost i učinkovitost upravljanja farmom.

Razvoj pametnih farmi (Smart Farming)

Pametne farme temelje se na potpunoj integraciji senzora, softverskih platformi i automatiziranih sustava. Centralizirano upravljanje omogućuju sustavi poput AGRIVI-ja, John Deerea i Trimblea. Time se svi podaci o proizvodnji nalaze na jednom mjestu, što olakšava donošenje odluka. Ovakav koncept predstavlja budućnost moderne poljoprivrede.

Utjecaj klimatskih promjena

Klimatske promjene zahtijevaju prilagodbu poljoprivrednih praksi novim uvjetima proizvodnje. Integrirani senzorski sustavi omogućuju praćenje ekstremnih vremenskih pojava i pravovremeno reagiranje. Prediktivni modeli pomažu u planiranju proizvodnje u uvjetima suše ili povećanih oborina. Time tehnologija postaje ključan alat u borbi protiv klimatskih izazova.

6. DIGITALNI BLIZANCI (DIGITAL TWIN) U POLJOPRIVREDI

Digitalni blizanci (Digital Twin) predstavljaju virtualne modele stvarnih fizičkih sustava, procesa ili objekata, poput poljoprivrednih parcela, usjeva ili strojeva. Oni se temelje na kontinuiranom prikupljanju stvarnih podataka pomoću senzora, IoT uređaja i satelitskih sustava. Ti se podaci u stvarnom vremenu prenose u digitalni model, čime se omogućuje precizna simulacija stvarnih uvjeta na farmi. Na taj način poljoprivrednici dobivaju „digitalnu kopiju“ svoje proizvodnje.

6.1. Povezanost digitalnih blizanaca sa senzorskim sustavima i IoT-om

Integrirani senzorski sustavi imaju ključnu ulogu u funkcioniranju digitalnih blizanaca. Senzori za vlagu tla, temperaturu, pH vrijednost i hranjiva kontinuirano prikupljaju podatke s terena. Ti se podaci putem IoT mreža automatski šalju u digitalni model, gdje se obrađuju i vizualiziraju. Time se osigurava da digitalni blizanac uvijek odražava stvarno stanje na poljoprivrednom gospodarstvu.

6.2. Uloga umjetne inteligencije i analitike

Umjetna inteligencija i algoritmi strojnog učenja omogućuju naprednu analizu podataka unutar digitalnih blizanaca. Sustav može prepoznati obrasce rasta biljaka, predvidjeti prinose i otkriti potencijalne probleme poput nedostatka hranjiva ili pojave bolesti. Na temelju tih analiza generiraju se preporuke za optimalne agrotehničke mjere. Time digitalni blizanac postaje alat za pametno donošenje odluka.

6.3. Primjeri primjene digitalnih blizanaca u poljoprivredi

Digitalni blizanci mogu se koristiti za simulaciju različitih scenarija, primjerice promjene režima navodnjavanja ili količine gnojiva. Poljoprivrednici mogu unaprijed vidjeti kako bi određene odluke utjecale na prinos i kvalitetu usjeva. Također se primjenjuju za praćenje rada strojeva i optimizaciju potrošnje goriva. U staklenicima se koriste za simulaciju mikroklimatskih uvjeta i automatizirano upravljanje temperaturom i vlagom.

6.4. Prednosti primjene digitalnih blizanaca

Primjena digitalnih blizanaca smanjuje rizik pogrešnih odluka jer omogućuje testiranje različitih scenarija prije stvarne primjene. Time se optimizira korištenje resursa poput vode, gnojiva i energije. Osim toga, povećava se produktivnost i smanjuju troškovi proizvodnje. Digitalni blizanci doprinose održivoj poljoprivredi i boljoj prilagodbi klimatskim promjenama.

6.5. Budućnost digitalnih blizanaca u poljoprivredi

U budućnosti se očekuje šira primjena digitalnih blizanaca u kombinaciji s autonomnim strojevima i naprednim AI sustavima. Razvoj tehnologije omogućit će još preciznije modele koji će uključivati i ekonomske aspekte proizvodnje. Integracija s platformama poput AGRIVI-ja, John Deere Operations Centera i Trimble softvera dodatno će unaprijediti njihovu primjenu. Digitalni blizanci predstavljaju važan korak prema potpuno pametnim farmama. (URL 10)

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je važnost i sve veća uloga integriranih senzorskih sustava u suvremenoj poljoprivredi, s posebnim naglaskom na njihovu primjenu u kontekstu precizne i pametne poljoprivrede. Analizirani su različiti tipovi senzora te načini njihove integracije kroz IoT, GIS, satelitske i dron sustave, čime se pokazalo kako suvremene tehnologije omogućuju prikupljanje i obradu velikih količina podataka u stvarnom vremenu.

Posebna pažnja posvećena je softverskim rješenjima poput AGRIVI-ja, Trimblea i John Deere sustava, koji omogućuju učinkovito upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom, optimizaciju resursa te donošenje odluka temeljenih na preciznim podacima s terena. Time se potvrđuje da digitalne platforme postaju nezaobilazan alat modernih poljoprivrednika.

Analizom prednosti i nedostataka integriranih senzorskih sustava utvrđeno je da oni značajno doprinose povećanju produktivnosti, smanjenju troškova i očuvanju okoliša, ali istovremeno zahtijevaju visoka početna ulaganja, tehničku stručnost i stabilnu infrastrukturu. Unatoč tim izazovima, dugoročne koristi jasno nadmašuju potencijalne prepreke primjene

U poglavlju o budućem razvoju i trendovima naglašena je uloga umjetne inteligencije, robotike, naprednih senzora i digitalnih blizanaca, koji će dodatno unaprijediti automatizaciju i održivost poljoprivredne proizvodnje. Digitalni blizanci posebno se ističu kao inovativno rješenje koje omogućuje simulaciju stvarnih uvjeta i donošenje sigurnijih odluka prije njihove stvarne primjene

Zaključno, integrirani senzorski sustavi predstavljaju ključni element transformacije tradicionalne poljoprivrede u digitalnu, preciznu i održivu djelatnost. Njihova daljnja primjena i razvoj bit će presudni za suočavanje s izazovima klimatskih promjena, rastuće potražnje za hranom i smanjenja dostupnosti radne snage, čime će se osigurati stabilna i konkurentna poljoprivredna proizvodnja u budućnosti.

8. LITERATURA

Bačić, Ž. (2025). IsuG P1 – Integracija senzora

Folnović, T. (2016). Provođenje praksi integrirane proizvodnje uz AGRIVI sustav za upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom

Sito, S., Kovačić, F. i ostali. (2015) . Primjena bespilotnih sustava u zaštiti trajnih nasada

POPIS URL-OVA

URL 1 - <https://mojeselo.tech/senzori-i-iot-uredaji-u-poljoprivredi/>

URL 2 - <https://hr.cropprotection.net/news/smart-farming-iot-is-transforming-the-future-42765121.html>

URL 3 - <https://zealjournals.com/wjast/sites/default/files/WJAST-2024-0047.pdf>

URL 4 - <https://www.agroklub.ba/poljoprivredne-vijesti/tehnoloske-inovacije-u-poljoprivredi-dronovi-senzori-i-pametne-farme/97456/>

URL 5 - <https://www.agroklub.com/ratarstvo/john-deere-ima-najveci-raspon-rjesenja-za-upravljanje-u-poljoprivredi/40353>

URL 6 - <https://www.agrivi.com/hr/proizvodi/>

URL 7 - <https://www.ptxag.com/en/farmengage/>

URL 8 -

<https://workplanner.deere.com/7040523?season=2026&workStatus=planned&workType=dtiTillage&view=worklist>

URL 9 - https://farmonaut.com/precision-farming/advantages-and-disadvantages-of-precision-agriculture-2025?utm_source=chatgpt.com za prednosti i nedostatke

URL 10 - https://anvil.so/post/digital-twins-in-agriculture-disease-monitoring-use-cases?utm_source

URL 11 - <https://poljoprivreda.trimble.com/>

URL 12 - <https://community.nasscom.in/index.php/communities/digital-transformation/agritech/iot-steps-up-smart-farming-and-precision-agriculture.html>

URL 13 - <https://kstatelibraries.pressbooks.pub/spacesystems/chapter/drones-and-precision-agricultural-mapping-mumm/>

URL 14 - https://www.researchgate.net/figure/The-sensing-process_fig2_301166370

9. POPIS SLIKA

Slika 1. Senzor i senzorski sustav	4
Slika 2. IoT u poljoprivredi	7
Slika 3. Satelitski i dron sustavi u poljoprivredi	9
Slika 4. AGRIVI sučelje.....	10
Slika 5. Trimble softver.....	12
Slika 6. John Deere Operations Center	13