

# Primjena smart senzora i vizualizacijskih sustava u poljodjelstvu

---

**Ester, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:447994>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-11**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Stručni studij**

**PRIMJENA SMART SENZORA I VIZUALIZACIJSKIH  
SUSTAVA U POLJODJELSTVU**

**Završni rad**

**Josip Ester**

**Osijek 2022.**

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. ZADATAK.....	1
2. IoT (Internet of Things).....	2
2.1. IoT U POLJOPRIVREDI.....	3
3. SENZOR .....	6
3.1. KLASIFIKACIJA SENZORA.....	7
3.2. KOMPOZICIJA PAMETNIH SENZORA.....	10
3.3. NAPAJANJE SENZORA : BATERIJA ILI PRIKUPLJANJE ENERGIJE.....	12
4. BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE.....	14
5. SENZORI U POLJOPRIVREDI.....	17
5.1. SENZOR VLAGE .....	17
5.2. pH SENZORI TLA .....	18
5.3. ELEKTROKEMIJSKI SENZORI ZA MJERENJE SASTAVA TLA.....	20
5.4. TEMPERATURNI SENZORI .....	21
5.5. BESPILOTNE LETJELICE (UAV) .....	22
6. PRIMJENA PAMETNIH SENZORA NA PRIMJERU UZGOJU KRUMPIRA.....	26
7. ZAKLJUČAK .....	32
8. LITERATURA .....	33
9. SAŽETAK.....	34
10. ABSTRACT .....	35

## 1. UVOD

Osnovni ciljevi upravljanja poljoprivrednim resursima na određenoj lokaciji su povećanje profitabilnosti biljne proizvodnje, poboljšanje kvalitete proizvoda i zaštita okoliša. Informacije o varijabilnosti različitih svojstava tla unutar polja bitne su za proces donošenja odluka. Nemogućnost dobivanja karakteristika tla brzo i jeftino ostaje jedno od najvećih ograničenja precizne poljoprivrede. Uz pomoć tehnologije pametnih senzora i razvojem internet stvari (IoT) poljoprivrednici danas imaju veće mogućnosti glede nadzora usjeva i praćenja stanja poljoprivrednih površina i općenito rada na farmi.

Povećanjem ljudske populacije sve više raste potreba za hranom i drugim poljoprivrednim proizvodima, što naročito zahtijeva racionalno korištenje poljoprivrednog zemljišta, njegovu zaštitu od nenamjenskog korištenja, kao i zaštitu od prirodne erozije i općenito devastacije. Pri tome se često nameće potreba procjene i utvrđivanja rasprostranjenosti i moguće proizvodnosti zemljišta, posebno u brdovito-planinskim područjima. Također je ponekad potrebno provesti projektiranje za kultiviranje neobradivih površina (pustoši) i tako proširiti ukupni fond poljoprivrednog zemljišta. Osim toga, nerijetko je potrebno provesti melioraciju površina i na taj način povećati njihovu proizvodnost. Također se često nameće potreba nadgledanja usjeva, njihovog razvoja i procjene prinosa. Za navedena i druga proučavanja zemljišta i poljoprivrednih kultura mogu se uspješno koristiti metode daljinskih istraživanja, kao i senzori koji čine jednu skupnu inteligenciju s pomoću kojih se informacije dobivaju brzo, jeftino i pouzdano.

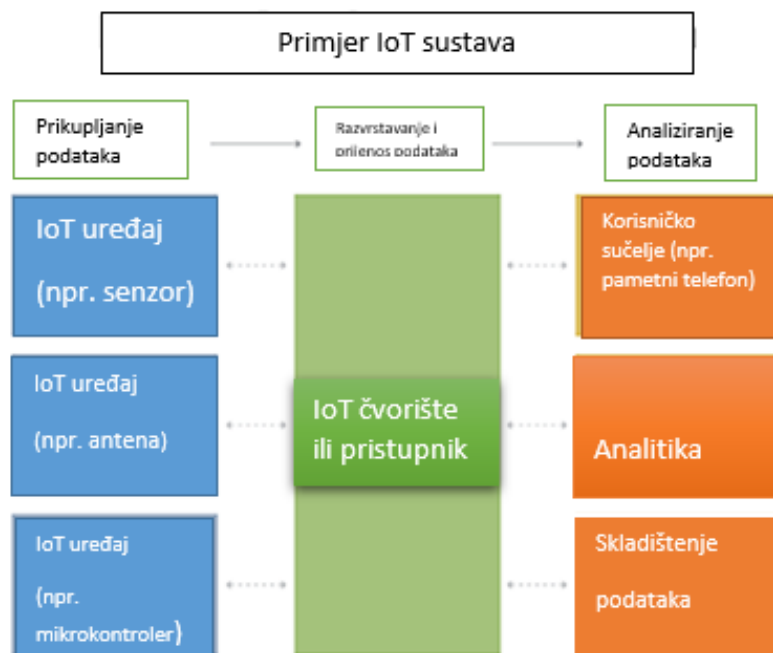
U okviru ovog završnog rada obradit će se principi i dati ilustrativni primjeri primjene Internet stvari (IoT) i pametnih senzora u poljoprivredi u svrhu kontrole okoliša, rasta biljaka i procjene kretanja i evidencije rada na farmi.

### 1.1. ZADATAK

Poljoprivrednici sve više koriste informacijsku komunikacijsku tehnologiju, odnosno jeftine IoT hardverske uređaje za nadzor i analizu podataka. U okviru završnog rada potrebno je obraditi principe i dati ilustrativne primjere primjene pametnih senzora i vizualizacijskih sustava u svrhu poboljšanja nadzora i kontrole okoliša, rasta biljaka i kretanja na farmi.

## 2. IoT (Internet of Things)

Internet stvari (IoT) opisuje fizičke objekte (ili grupe takvih objekata) sa sensorima, sposobnošću obrade, softverom i drugim tehnologijama koje se povezuju i razmjenjuju podatke s drugim uređajima i sustavima putem interneta ili drugih komunikacijskih mreža. Internet stvari smatra se pogrešnim nazivom jer uređaji ne moraju biti povezani s javnim internetom, samo moraju biti povezani s mrežom i imati individualnu adresu.



**Slika 2.1.** Primjer IoT sustava

Područje se razvilo zbog konvergencije višestrukih tehnologija, uključujući sveprisutno računalstvo, senzore, sve moćnije ugrađene sustave i strojno učenje. Tradicionalna polja ugrađenih sustava, bežičnih senzorskih mreža, kontrolnih sustava, automatizacije, neovisno i zajednički omogućuju Internet stvari. Organizacije u raznim industrijama sve više koriste IoT za učinkovitije poslovanje, bolje razumijevanje kupaca za pružanje poboljšane korisničke usluge, poboljšanje donošenja odluka i povećanje vrijednosti poslovanja.

Neke od prednosti IoT-a uključuju sljedeće:

- mogućnost pristupa informacijama s bilo kojeg mjesta u bilo koje vrijeme na bilo kojem uređaju;

- poboljšana komunikacija između povezanih elektroničkih uređaja;
- prijenos paketa podataka preko povezane mreže uz uštedu vremena i novca;
- i automatiziranje zadataka koji pomažu poboljšati kvalitetu poslovnih usluga i smanjujući potrebu za ljudskom intervencijom.

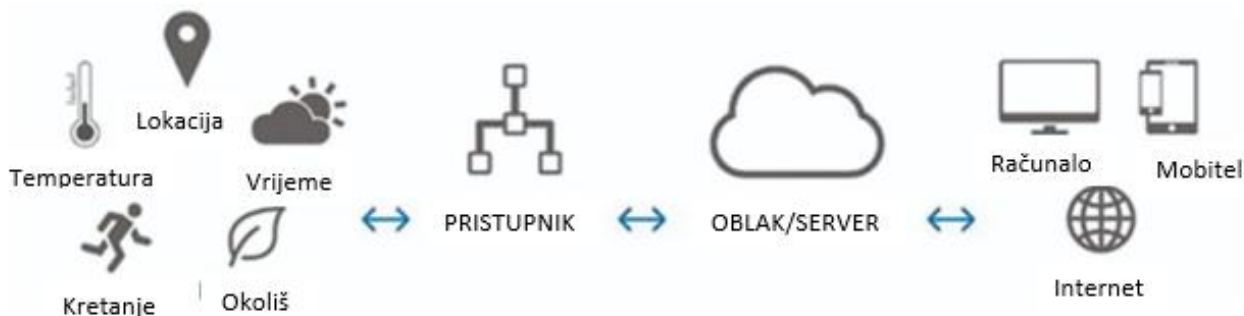
Naravno da postoje i određeni rizici korištenja IoT tehnologije s obzirom na to da se radi o bežičnoj komunikaciji između raznoraznih uređaja pa se tako najveći problem javlja u području privatnosti i sigurnosti. Kako se broj povezanih uređaja sve više povećava, povećava se i broj informacija koje se dijele između tih uređaja što povećava vjerojatnost pogreške prilikom prikupljanja i analiziranja podataka.

## **2.1. IoT U POLJOPRIVREDI**

Potencijal primjene internet stvari u poljoprivredi je zaista velik. Danas postoje brojne IoT aplikacije u poljoprivredi čija je svrha prikupljanje podataka o temperaturi, oborinama, vlažnosti tla, brzini vjetra, napadu štetočina, sadržaju tla itd. Ovi se podaci mogu koristiti za automatizaciju poljoprivrednih tehnika, donošenje informiranih odluka za poboljšanje kvalitete i količine, minimiziranje rizika i otpada te smanjenje napora potrebnog za upravljanje usjevima. Na primjer, farmeri sada mogu izdaleka pratiti temperaturu i vlagu tla, pa čak i primijeniti podatke dobivene IoT-om na precizne programe gnojidbe.

Neki od najučestalijih primjera primjene tehnologije internet stvari u poljoprivredi, a samim time i prednosti korištenja interneta stvari su:

- upravljanje navodnjavanjem bez prekomjerne potrošnje
- stalni nadzor koji dovodi do pravovremene reakcije
- povećanje produktivnosti farme
- smanjenje fizičkog rada
- nadzor orezivanja
- nadzor pH vrijednosti zemlje
- dokumentiranje procesa proizvodnje



**Slika 2.2.** Ilustracija IoT sustava u poljoprivredi

IoT ima potencijal transformirati poljoprivredu u mnogim aspektima.

**Podaci prikupljeni sensorima pametne poljoprivrede** - u ovom pristupu upravljanja farmom, ključna komponenta su senzori, kontrolni sustavi, robotika, autonomna vozila, automatizirani hardver, tehnologija promjenjive brzine, detektori pokreta, kamera s gumbima i nosivi uređaji. Ovi se podaci mogu koristiti za praćenje stanja poslovanja općenito, kao i učinka osoblja, učinkovitosti opreme. Sposobnost predviđanja učinka proizvodnje omogućuje planiranje bolje distribucije proizvoda.

**Upravljanje usjevima** - Umreženi senzori mogu automatizirati poljske procese i upravljanje usjevima pružanjem dinamičnih, relevantnih informacija u stvarnom vremenu poljoprivrednicima. Vlaga, uvjeti tla, prijetnje štetočinama i još mnogo toga se mogu identificirati i poduzeti preventivni koraci. To smanjuje fizički rad i vrijeme reakcije, dajući poljoprivredniku poboljšano znanje za donošenje strateških odluka.

**Dronovi za poljoprivredu** - Zemaljski i zračni dronovi koriste se u poljoprivredi kako bi se poboljšale različite poljoprivredne prakse: procjena zdravlja usjeva, navodnjavanje, praćenje usjeva, prskanje usjeva, sadnja te analiza tla i polja.

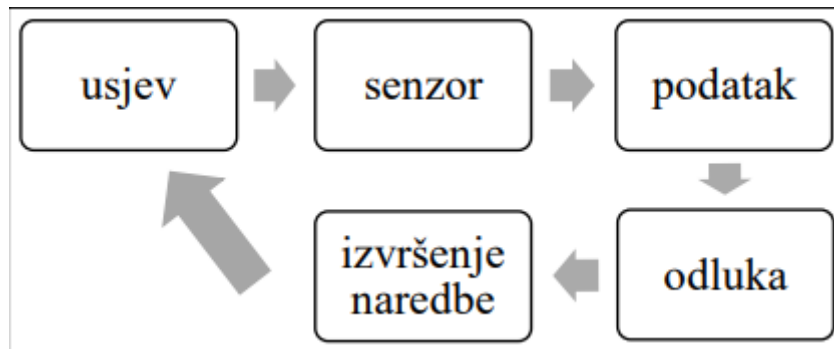
**Praćenje stoke i geoograda** - Vlasnici farmi mogu koristiti bežične IoT aplikacije za prikupljanje podataka o lokaciji, dobrobiti i zdravlju svoje stoke. Ove informacije pomažu u sprječavanju širenja bolesti i smanjuju troškove rada.

**Pametni staklenici** - Pametni staklenik dizajniran uz pomoć IoT-a inteligentno nadzire i kontrolira klimu, eliminirajući potrebu za ručnom intervencijom.

**Optimizacija skladištenja usjeva** - Senzori se mogu kalibrirati za praćenje i čak podešavanje razine temperature i vlažnosti. Ovo može optimizirati uvjete skladištenja usjeva, što čini da požnjeveni usjevi traju dulje.

**Prediktivna analitika za pametnu poljoprivredu** - Predikcija usjeva igra ključnu ulogu, pomaže poljoprivredniku da odluči o budućem planu u vezi s proizvodnjom usjeva, njegovim

skladištenjem, marketinškim tehnikama i upravljanjem rizikom. Za predviđanje stope proizvodnje umjetne mreže usjeva koristi se informacijama prikupljenim sensorima s farme. Ove informacije uključuju parametre kao što su tlo, temperatura, tlak, količina padalina i vlažnost. Poljoprivrednici mogu dobiti točne podatke o tlu putem nadzorne ploče ili prilagođene mobilne aplikacije. [1]



**Slika 2.3.** Ilustracija toka podataka poljoprivrednog procesa s implementacijom IoT uređaja

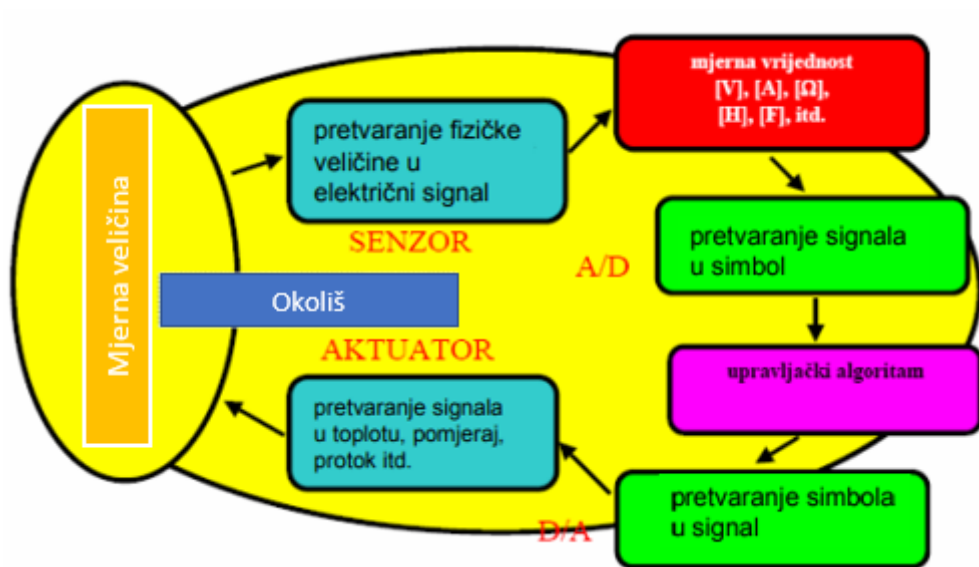
Poljoprivrednici su počeli shvaćati da je IoT pokretačka snaga za povećanje poljoprivredne proizvodnje na troškovno učinkovit način. Budući da se tržište tek razvija, još uvijek postoji dovoljno mogućnosti za tvrtke koje su mu se spremne pridružiti. [1]



### 3. SENZOR

Riječ senzor dolazi od latinske riječi *sensus* što znači osjećanje, osjećaj ili osjetilo. To je dakle mjerni pretvornik ili mjerno osjetilo koji u dodiru s mjerenom veličinom daje izlazni signal koji je ovisan o njezinu iznosu. Zbog električnih i elektroničkih sustava, većina mjernih osjetila se pretvara u električki mjerljiv signal. Fizikalna veličina koju senzor mjeri (npr. temperatura ili vlažnost zraka, tlak, broj okretaja motora, itd.) pretvara se u signal pogodan za daljnu obradu, a to je najčešće električni signal.

Senzori mogu pomoći otkriti promjene u okruženju ili događaje i slati informacije drugim uređajima. U primjenama u širokom rasponu industrija senzori su ključni pokretač za automatizaciju proizvodnih procesa. U analognim ili digitalnim signalima mogu dati važne informacije o fizičkim svojstvima, fizičkoj prisutnosti, blizini ili kretanju objekata. Potrebni su za mjerenje i kontrolu raznih procesa i funkcija stroja i raznorazna testiranja. S pojavom Internet stvari (IoT) povećava se potreba za senzorima koji funkcioniraju kao primarni generatori podataka.



Slika 3.1. Protok informacija u senzoru

Njihovu primjenu nalazimo u svakodnevnom životu i u gotovo svim granama znanosti od industrije do medicine, elektrotehnike, brodogradnje, sporta, mehanike pa do domaćinstva i kućanskih aparata koje koristimo svakodnevno. Nadzor automatiziranih sustava i industrijskih procesa bio bi teško izvediv bez pametnih senzora. Postali su sastavni dio većine elektronskih uređaja koje svakodnevno koristimo i nekako im vjerujemo i oslanjamo se na njih, olakšavaju nam nadzor nad nekim funkcijama. Moderni sustavi, kao npr. elektrana koja je opremljena mnoštvom mjerljivih senzora uvelike olakšava

nadzor nad takvim sustavom. Osoba iz sobe ima mogućnost da nadgleda cijeli rad elektrane bez da mora šetati po postrojenju i ručno zapisivati podatke ili još gore preračunavati ih u neke druge veličine. Konačni izbor senzora ovisit će o njezinoj primjeni i točnosti koja je potreba.

### 3.1. KLASIFIKACIJA SENZORA

U tablicama ispod prikazane su klasifikacije senzora [2]

*Tablica 3.1. Klasifikacija senzora po njihovim specifikacijama*

Osjetljivost	Raspon podražaja
Stabilnost	Rezolucija
Tačnost	Selektivnost
Brzina odgovora	Okolinski uvjeti
Karakteristike preopterećenja	Linearnost
Histereza	Neutralna zona
Radni vijek trajanja	Izlazni format
Cijena, veličina, težina	Ostalo

*Tablica 3.2. Klasifikacija senzora po materijalima od kojih su izrađeni*

Anorganski	Organski
Vodič	Izolator
Poluvodič	Tekući plin
Biološka supstanca	Ostalo

**Tablica 3.3. Klasifikacija senzora prema načinu pretvorbe**

<b>Fizički</b>	Termoelektrični	<b>Kemijski</b>	Kemijska transformacija
	Fotoelektrični		Fizička transformacija
	Fotomagnetski		Elektrokemijski proces
	Magnetoelektrični		Spektroskopija
	Elektromagnetski		Ostalo
	Termoelastični	<b>Biološki</b>	Biokemijska transformacija
	Termomagnetski		Fizička transformacija
	Termooptički		Učinak na test organizma
	Fotoelastični		Spektroskopija
	Ostalo		Ostalo

**Tablica 3.4. Klasifikacija senzora s obzirom na njihovu primjenu**

<b>Agrikultura</b>	<b>Automobilska industrija</b>
<b>Građevinarstvo</b>	Domaćinstvo, uređaji
<b>Distribucija, trgovina, financije</b>	Okoliš, sigurnost, meteorologija
<b>Energija, snaga</b>	Informacije, komunikacije
<b>Zdravlje, medicina</b>	More, luke
<b>Proizvodnja</b>	Rekreacija, igračke
<b>Vojska</b>	Svemir
<b>Znanstvena mjerenja</b>	Ostalo
<b>Transport</b>	

**Tablica 3.5.** Klasifikacija senzora s obzirom na vrstu podražaja

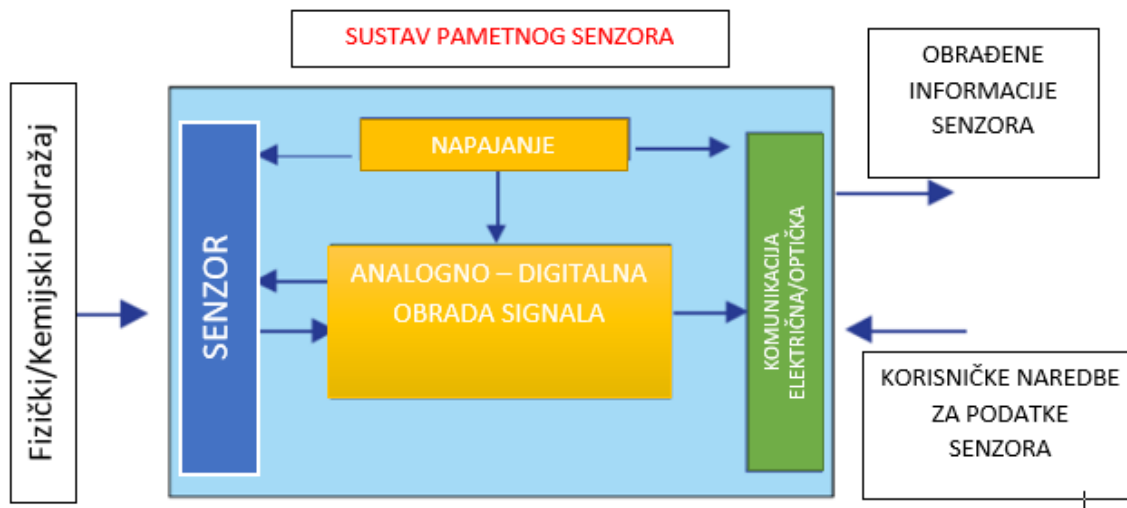
Podražaj (stimulus)	Podražaj (stimulus)	
<i>Akustički</i>	<i>Mehanički</i>	Pozicija (linearna, kutna)
Amplituda, faza		Ubrzanje
Polarizacija spektra		Sila
Brzina valova		Pritisak
Ostalo		Naprezanje
<i>Biološki</i>		Masa, gustoća
Biomasa		Moment, zakretni moment
Ostalo		Brzina protoka, brzina prijenosa mase
<i>Kemijski</i>		Oblik, hrapavost
Komponente (identitet, stanje, koncentracija)		Orijentacija
Ostalo		Krutost, usklađenost
<i>Električni</i>		Viskoznost
Naboj, struja		Kristalnost, struktura
Potencijal, napon		Integritet

**Tablica 3.6.** Klasifikacija senzora s obzirom na vrstu podražaja

Električno polje (amplituda, faza, polaritet, spektar)		Ostalo	
Provodnost	<i>Radijacijski</i>	Tip	
Dielektrična konstanta		Energija	
Ostalo		Intenzitet	
<i>Magnetski</i>		Ostalo	
Magnetsko polje (amplituda, faza, spektar)	<i>Termički /</i>	Temperatura	
Magnetski tok		Protok	
Propusnost		Specifična toplina	
Ostalo		Toplinska vodljivost	
<i>Optički</i>		Ostalo	
Amplituda vala, faza, polaritet, spektar			
Brzina valova			
Indeks loma			
Reflektivnost, apsorpcija			
Ostalo			

### 3.2. KOMPOZICIJA PAMETNIH SENZORA

Transformativni napredak u području senzorske tehnologije bio je razvoj pametnih senzorskih sustava. Definicija pametnog senzora može varirati, ali obično je pametni senzor u najmanju ruku kombinacija osjetnog elementa s mogućnostima obrade koje pruža mikroprocesor. To jest, pametni senzori su osnovni osjetilni elementi s ugrađenom inteligencijom. Signal senzora dovodi se do mikroprocesora koji obrađuje podatke i daje informativni izlaz vanjskom korisniku. Širi pogled na sustav pametnih senzora, koji se koristi, ilustriran je na slici 3.2.: potpuni samostalni sustav senzora koji uključuje mogućnosti za bilježenje, obradu s modelom odziva senzora i druge podatke, - sadržanu snagu i sposobnost prijenosa ili prikaza informativnih podataka vanjskom korisniku. Temeljna ideja pametnog senzora je da integracija silicijskih mikroprocesora sa senzorskom tehnologijom ne samo da može pružiti snagu interpretacije i prilagođene izlaze, već i značajno poboljšati performanse i mogućnosti senzorskog sustava.[3]



**Slika 3.2.** Blok shema pametnog senzora

Pametni senzor ima nekoliko funkcionalnih slojeva: detekciju signala iz diskretnih senzorskih elemenata, obradu signala, provjeru valjanosti i interpretaciju podataka te prijenos i prikaz signala. Višestruki senzori mogu biti uključeni u jedan sustav pametnih senzora čija se radna svojstva, poput prednapona ili temperature, mogu postaviti pomoću mikroprocesora. Sučelje senzorskih elemenata za signalne sustave pametnih senzora i stupnjeve za kondicioniranje koji će osigurati i pobudu i bilježenje i kondicioniranje podataka o signalu. Sloj za prikupljanje podataka će pretvoriti signal iz analognog u digitalni i steći dodatne parametre od interesa za pružanje kompenzacije kada je to potrebno za toplinski drift, dugotrajni drift, itd. Ugrađena inteligencija će kontinuirano nadzirati diskretne senzorske elemente, potvrđivati inženjerske podatke koji se dostavljaju, i povremeno provjeravati kalibraciju i ispravnost senzora. Obradeni podaci postaju informacije i zatim se mogu prenijeti vanjskim korisnicima. Korisnik može odabrati složenost podataka koji se prenose: od jednog očitavanja do potpunog preuzimanja parametara senzorskog sustava. [3]

Jedna od glavnih implikacija sustava pametnih senzora je da se važni podaci mogu pružiti korisniku s povećanom pouzdanošću i integritetom. Inteligentne značajke mogu se uključiti na razini senzora uključujući, ali ne ograničavajući se na: samokalibraciju, procjenu vlastitog zdravlja, samozdravljenje i kompenzirana mjerenja (automatsko nuliranje, kalibracija, temperatura, tlak, korekcija relativne vlažnosti). Sposobnost pametnog senzora za obavljanje interne obrade omogućuje sustavu ne samo pružanje korisniku obrađenih podataka, već i sposobnost senzora da bude samosvjestan i da procijeni vlastito zdravlje ili status te procijeni čak i valjanost obrađenih podataka. Sustav pametnih senzora može optimizirati performanse pojedinačnih senzora i dovesti do boljeg razumijevanja podataka, mjerenja i na kraju okoline u

kojoj se mjerenje vrši. Sveukupno, prisutnost kombinacije mikroprocesora i senzora omogućuje dizajn jezgrenog sustava koji je prilagodljiv promjenjivom okruženju u danoj aplikaciji ili koji se može modificirati kako bi se zadovoljile potrebe širokog raspona različitih aplikacija.

Druga velika implikacija pametnih senzora je razvoj nove generacije pametnih senzora koji se mogu umrežiti putem komunikacijskog sučelja kako bi imali sposobnost pojedinačne mrežne samoidentifikacije i komunikacije omogućujući reprogramiranje sustava pametnih senzora prema potrebi. Nadalje, izlaz iz brojnih senzora unutar danog područja može se povezati ne samo da bi se provjerili podaci iz pojedinačnih senzora, već i da bi se osigurala bolja svijest o situaciji. Takva komunikacija može biti između jednog pametnog senzora i komunikacijskog čvorišta ili između samih pojedinačnih pametnih senzora. Ove vrste mogućnosti omogućit će pouzdaniji i robusniji sustav jer su sposobne međusobno se umrežiti kako bi krajnjem korisniku pružile koordinirane podatke koje se temelje na redundantnim senzorskim ulazima. Nadalje, informacije se mogu dijeliti na brži, pouzdaniji i učinkovitiji način s ugrađenom komunikacijskom sposobnošću. [3]

Pokretački cilj u razvoju pametnih senzorskih sustava je implementacija sustava na neintruzivan način kako bi se informacija pružila korisniku gdje god i kad god je potrebna, kao i u bilo kojem obliku koji je potreban za aplikaciju. Zapravo, cilj istraživanja pametnih senzora je razvoj senzorskih sustava koji će korisniku reći što treba znati kako bi donio ispravne odluke. [3]

### **3.3. NAPAJANJE SENZORA : BATERIJA ILI PRIKUPLJANJE ENERGIJE**

Sustav pametnih senzora zahtijevat će energiju za podršku i rad svih komponenti uključujući i same senzore. Ako senzorski elementi i komunikacijski sustav imaju dizajn male snage i kompatibilni su, ukupna energija za sustav je odgovarajuće niska. To može omogućiti niže troškove instalacije i praktičnije mogućnosti postavljanja. Energetski sustavi malih razmjera za aplikacije pametnih senzora općenito će uzeti u obzir baterije i mogućnosti prikupljanja energije, što god je najprikladnije za specifične primjene. I primarne i punjive (ili sekundarne) baterije bit će važne za naš daljnji napredak sustava pametnih senzora. Konkretno, predlaže se da Li-ion, Li-polimer i metal-zrak punjive baterije mogu biti odgovarajući izvori energije za pametne senzorske sustave. Na primjer, Li-ion i Li-polimer punjive baterije imaju potencijal otvorenog kruga od približno 3,6 V i gustoću energije od 160 odnosno 130-200 Wh/kg (watt-sat/kilogram), što će biti dovoljno za potrebe mnogih pametnih senzorskih sustava. [3]

Prikupljanje energije je proces kojim se energija može dobiti iz vanjskog izvora, uhvatiti i pohraniti. Piezoelektrični kristali ili vlakna, termoelektrični generatori, solarne ćelije, uređaji za hvatanje elektrostatičke i magnetske energije mogu se uzeti u obzir za lokalne energetske potrebe. Piezoelektrični energetski sustav proizvest će mali napon kada se fizički deformira. Ova deformacija može biti uzrokovana mehaničkim vibracijama koje se mogu generirati pravilnom montažom i postavljanjem pametnog senzorskog sustava u odgovarajuće (npr. mehanički vibrirajuće) radno okruženje. Termoelektrični generatori koji se sastoje od spojeva dvaju različitih materijala proizvode mali napon u prisutnosti toplinskog gradijenta. Tipična izvedba od 100-200  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  po spoju je dostižna. Ovisno o lokaciji pametnog senzora i njegovoj potrebi za napajanjem, mali sustavi za sakupljanje energije mogu izvući dovoljno energije iz svog okruženja da osiguraju bilo ukupnu ili rezervnu snagu za aplikaciju pametnog senzora. Ovo su dva primjera da se mali izvori energije mogu koristiti za podršku sustava pametnih senzora. [3]



## 4. BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE

Razni komunikacijski protokoli uvedeni su u posljednjih nekoliko desetljeća zbog brzog porasta IoT uređaja i bežičnih senzorskih mreža (WSN). Svaki protokol ima vlastite specifikacije ovisno o propusnosti, broju slobodnih kanala, brzini prijenosa podataka, vremenskom trajanju baterije, cijeni i drugim čimbenicima. Najčešće korišteni protokoli za bežičnu komunikaciju u aplikacijama temeljenim na IoT-u u poljoprivredi su [4] :

1. Mobilna tehnologija najprikladnija je za aplikacije koje zahtijevaju izvanrednu brzinu prijenosa podataka. Mogu se koristiti GSM, 3G i 4G mogućnosti mobilne komunikacije pružajući pouzdanu vezu velike brzine s internetom, što zahtijeva veću potrošnju energije. Zahtijeva infrastrukturu koja treba biti postavljena i operativne troškove i pomoćno osoblje za to s centraliziranim upravljanim ovlaštenjima. 4G mobilna tehnologija zahtijeva više energije baterije, ali je mobilna tehnologija dobra opcija u podzemnim bežičnim mrežama senzora, kao što su sigurnosni sustavi u projektima pametnih kuća i aplikacijama u poljoprivredi. U [5] predstavljen je pametni sustav navodnjavanja u kojem je nekoliko senzora vlage u tlu postavljeno na terenu u ZigBee mesh mreži. Očitavanja snimljena iz polja prenijeta su preko oblaka pomoću mobilne 4G LTE mreže.
2. ZigBee je bežični komunikacijski protokol koji se široko koristi u preciznoj poljoprivredi za praćenje okolišnih uvjeta povezanih sa zdravljem usjeva. Temelji se na bežičnom 802.15.4 standardu. U osnovi, razvijen je za osobne mreže od strane ZigBee alijanse. Ima fleksibilnu strukturu mreže, dugo trajanje baterije, podržava isprepletenu topologiju, zvjezdastu i stablastu s prijenosom podataka s više skokova, jednostavno se instalira i podržava velike čvorove. Kratkog je dometa s ograničenom brzinom podataka i manje je siguran u usporedbi sa sustavima temeljenim na Wi-Fi-ju. ZigBee je vrlo čest u aplikacijama pametne poljoprivrede kao što su pametni staklenici i pametni sustavi navodnjavanja. U [6] predstavljen je pametni sustav navodnjavanja temeljen na ZigBee komunikacijskom protokolu. Ovaj sustav sastojao se od dva čvora, tj. čvora senzora i čvora aktuatora. Senzorski čvor se sastojao od senzora vlage u tlu, koji su pratili razinu vode u tlu. Modul aktuatora bio je odgovoran za poduzimanje radnji prema razini vode u tlu. Sva komunikacija odvijala se putem ZigBee protokola.

3. BLE je jednako poznat kao Bluetooth pametna tehnologija, koja je prikladan protokol za IoT aplikacije uključujući poljoprivredu. Posebno je dizajniran za nisku propusnost, nisku latenciju i mali domet za IoT aplikacije. Glavne prednosti BLE-a u odnosu na tipični Bluetooth uključuju kraće vrijeme postavljanja, nižu potrošnju energije i neograničenu podršku za čvorove u zvjezdastoj topologiji. Ima vrlo ograničen domet od 10 metara. Međutim, nedostaci su to što može pružiti komunikaciju samo između dva uređaja, predstavlja nisku sigurnost i može izgubiti vezu tijekom komunikacije. U [7] predstavljena je infrastruktura temeljena na BLE-u za prikupljanje podataka senzora. Predloženi sustav koristio je pametni telefon za prikupljanje podataka senzora pomoću BLE-a, gdje su senzori bili raspoređeni u biljkama, tj. senzori vlage tla i senzor temperature tla.
4. RFID sustavi sastoje se od čitača i transpondera, koji imaju vrlo malu radio frekvenciju, koja se naziva RF oznaka. Ova oznaka je elektronički programirana s razlikovnim informacijama koje imaju svojstvo čitanja. RFID ima dvije tehnologije za sustav oznaka, prva je sustav aktivnih čitača oznaka, a druga je pasivna čitač oznaka. Sustavi aktivnih čitača skuplji su jer troše više baterije i koriste visoke frekvencije. Međutim, pasivni sustavi čitača oznaka imaju malu snagu. Neke IoT aplikacije koje koriste RFID uključuju aplikacije za pametnu kupnju, zdravstvo, nacionalnu sigurnost i pametnu poljoprivredu. Pametni sustav navodnjavanja baziran na IoT-u koji se temelji na RFID-u predstavljen je u [8]. Sustav se sastojao od senzora vlažnosti tla i temperature tla zajedno sa sustavom kontrole vode, tako da je prikupljao očitavanja senzora i slao ta očitavanja u oblak koristeći RFID komunikacijske protokole, gdje je korisnik upravljao pumpom za vodu na temelju razine vode od tla.
5. Wi-Fi je najčešći komunikacijski protokol koji uređajima omogućuje komunikaciju putem bežičnog signala. Wi-Fi omogućuje povezivanje bežične lokalne mreže (WLAN) s milijunima lokacija, tj. domovima, uredima i javnim mjestima kao što su kafići, hoteli i zračne luke velikom brzinom. Wi-Fi protokol podržava IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g i 802.11n. Wi-Fi se široko koristi u aplikacijama koje se temelje na IoT-u, uključujući poljoprivredne sustave, tj. pametno navodnjavanje, nadzor zdravlja usjeva i staklenike. U [9] predstavljena je infrastruktura za praćenje parametara okoliša unutar staklenika kao što su temperatura, intenzitet svjetlosti i razina vlage u tlu. Ova se platforma sastojala od senzora koji su prikupljali podatke vezane uz varijacije okoliša i slali ih u

oblak pomoću Wi-Fi-ja. Slično tome, drugi sustav pametne poljoprivrede temeljen na Wi-Fi komunikacijskim protokolima predstavljen je u [10]. Ovaj posljednji sastojao se od Raspberry Pi-ja povezanog s više senzora koji su prikupljali podatke. Prikupljeni podaci su dalje prenošeni u oblak korištenjem Wi-Fi komunikacijskih protokola.

6. LoRaWAN djeluje na LoRa mreži. LoRaWAN definira arhitekturu sustava i komunikacijski protokol mreže, dok fizički sloj LoRa-e omogućuje vezu za komunikaciju velikog dometa. LoRaWAN upravlja frekvencijama u komunikaciji, brzinom prijenosa podataka i potrošnjom energije za sve uređaje. LoRaWAN je uobičajen u poljoprivredi zbog svoje velike pokrivenosti i male potrošnje energije. U [11] predstavljen je pametni sustav navodnjavanja temeljen na LoRaWAN-u. U tablici 5. prikazana je usporedba svih navedenih bežičnih komunikacijskih protokola. Među svim bežičnim komunikacijskim tehnologijama, 6LoWPAN i ZigBee smatraju se prikladnijima za pametnu poljoprivredu jer se obje temelje na mesh umrežavanju, što ih čini prikladnima za pokrivanje velikog područje
7. Uskopojasni IoT (NB-IoT) novi je standard 3GPP radijske tehnologije koji se bavi zahtjevima Interneta stvari (IoT). Tehnologija pruža poboljšanu pokrivenost u zatvorenom prostoru, podršku za ogroman broj uređaja niske propusnosti, nisku osjetljivost na kašnjenje, ultranisku cijenu uređaja, nisku potrošnju energije uređaja i optimiziranu mrežnu arhitekturu

**Tablica 5.1.** Bežični komunikacijski protokoli korišteni u pametnoj poljoprivredi

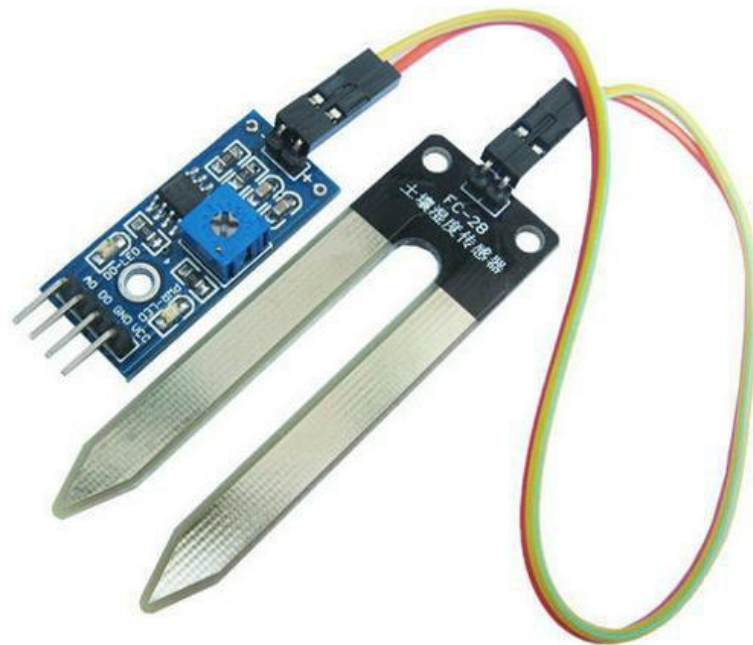
Komunikacijski protokoli	Brzina prijenosa	Topologija	Standard	Fizički raspon	Napajanje
6LoWPAN	0.3–50 Kb/s	Star, Mesh	IEEE 802.15.4	2–5 km urban, 15 km suburban	Nisko
ZigBee	250 Kb/s	Star, Mesh Cluster	IEEE 802.15.4	10–100 m	Nisko
Bluetooth	1–2 Mb/s	Star, Bus	IEEE 802.15.1	30 m	Nisko
RFID	50 tags/s	P2P	RFID	10–20 cm	Jako nisko
LoRa WaAN	27–50 Kb/s	P2P, Star	IEEE 802.11ah	5–10 km	Jako nisko
Wi-Fi	1–54 Mb/s	Star	IEEE 802.11	50 m	Srednje

## 5. SENZORI U POLJOPRIVREDI

### 5.1. SENZOR VLAGE

Navodnjavanje uz pomoć slatkovodnih resursa u poljoprivrednim kulturama ima ključnu važnost. Zbog sve veće potražnje za slatkom vodom, optimalno korištenje vodnih resursa je u većoj mjeri osigurano tehnologijom automatizacije i njezinim uređajima kao što su solarna energija, navodnjavanje kap po kap, senzori i daljinsko upravljanje. Tradicionalna instrumentacija temeljena na diskretnim i žičanim rješenjima, predstavlja mnoge poteškoće za mjerne i upravljačke sustave, posebno na velikim geografskim područjima. [12]

Senzor vlage u tlu jedna je vrsta senzora koji se koristi za mjerenje volumetrijskog sadržaja vode u tlu. Ovi senzori mjere volumetrijski sadržaj vode, ne izravno već uz pomoć nekih drugih elemenata tla kao što su dielektrična konstanta, električni otpor, interakcija s neutronima i zamjena sadržaja vlage. Odnos između izračunatog i vlažnosti tla treba prilagoditi i može se promijeniti na temelju ekoloških čimbenika kao što su temperatura, vrsta tla i električna vodljivost. Na mikrovalnu emisiju koja se reflektira može utjecati vlažnost tla. [12]



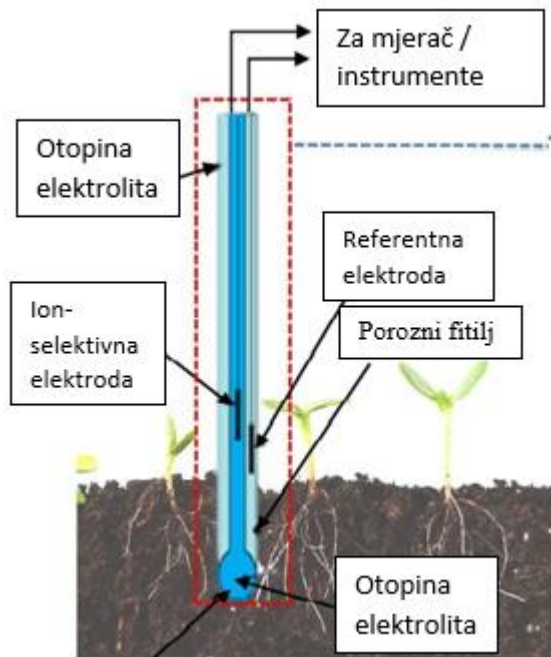
Slika 5.1. Senzora vlage tla

Senzor vlage u tlu koristi kapacitet za mjerenje dielektrične permitivnosti okolnog medija. U tlu je dielektrična permitivnost funkcija sadržaja vode. Senzor stvara napon proporcionalan dielektričnoj permitivnosti, a time i sadržaju vode u tlu. Senzor izračunava prosjek sadržaja vode po cijeloj duljini senzora. Postoji zona utjecaja od 2 cm u odnosu na ravnu površinu senzora, ali ima malu ili nikakvu osjetljivost na krajnjim rubovima. Slika 5.1. prikazuje linije elektromagnetskog polja duž poprečnog presjeka senzora, ilustrirajući zonu utjecaja od 2 cm. Ovaj senzor uglavnom koristi kapacitet za mjerenje sadržaja vode u tlu (dielektrična permitivnost). Implementacija senzora vrši se umetanjem senzora (elektrode) u zemlju i stanje sadržaja vode u tlu može se izraziti u obliku postotaka. [12]

## 5.2. pH SENZORI TLA

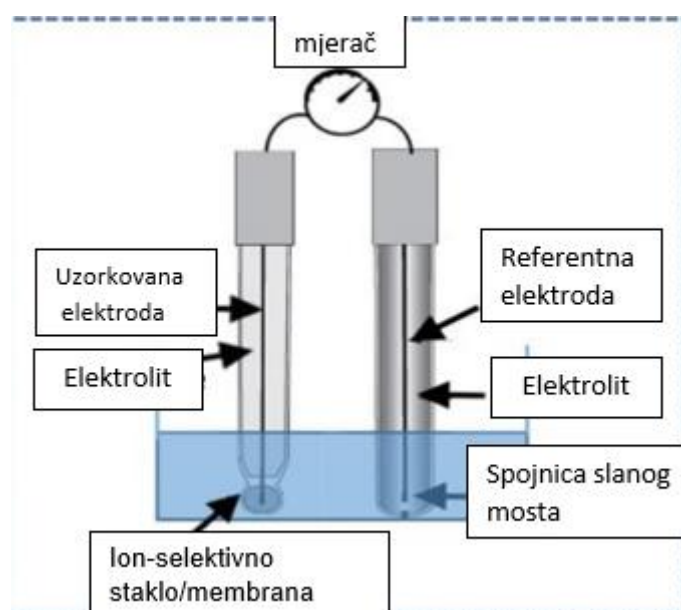
pH tla je mjera kiselosti ili bazičnosti/alkalnosti tla, odražavajući čimbenike koji stvaraju tlo kao što su matični materijal, organizmi i klima. Osim utjecaja na mikrobnosti, pH tla određuje kemijske oblike različitih hranjivih tvari te tako utječe na dostupnost hranjivih tvari za biljke. Optimalni pH raspon tla pogodan za rast većine biljaka je između 5,5 i 7,5. Za pametnu i preciznu poljoprivredu pH vrijednost tla može pružiti vrijedne informacije za kontrolu zdravlja tla u prikladnom rasponu za određene usjeve na farmi. [12]

Za procjenu pH tla koristi se nekoliko senzorskih tehnologija: optičke (npr. kolorimetrijske ili fotometrijske metode), elektrokemijske (npr. konduktometrijske i potenciometrijske metode) i akustičke metode. Kolorimetrijski i fotometrijski indikatori, kao što su boje i pH test trake, oslanjaju se na promjene boje specifičnih organskih pigmenata koji su osjetljivi na pH, a za očitavanje pH razine koriste se potrebne karte pH-boja. Kao što je prikazano na slici 5.2., tipični konduktometrijski pH senzor sastoji se od vodljivih elektroda i tankog sloja senzorskog materijala koji reagira na pH. Skupljanje osjetljivog sloja hidrogela uzrokuje odgovor, što rezultira promjenom električnih svojstava. Konduktometrijski pH senzor proizveden je oblaganjem interdigitirane elektrode (IDE) pH-osjetljivom hidrogel membranom. [12]



**Slika 5.2.** Shematski prikaz pH senzora tla

Slika 5.3. predstavlja potenciometrijski pH senzor tla sastavljen od senzorske polućelije (tj. ionsko selektivne elektrode, potencijal izravno povezan s pH vrijednošću uzorka) i referentne polućelije (koja daje stabilnu vrijednost potencijala referentne elektrode). Ova senzorska struktura treba dvije odvojene elektrode, jedna je presvučena pH-osjetljivim materijalom (npr. pH-osjetljivo staklo), druga je izrađena od inertnog materijala (npr. Ag/AgCl) da služi kao referentna elektroda. pH vrijednost dobiva se usporedbom potencijalne razlike između dvije ćelije. [12]



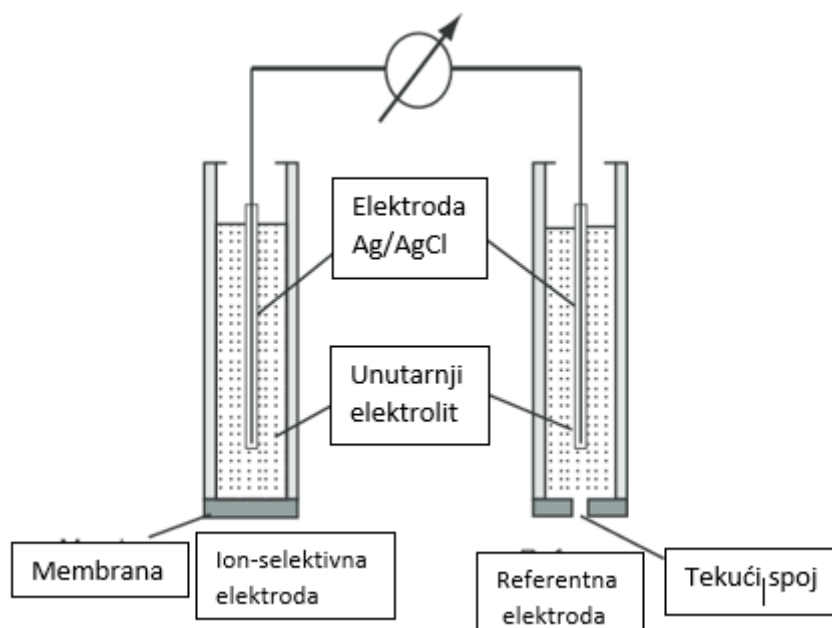
**Slika 5.3.** Potenciometrijski pH senzor

### 5.3. ELEKTROKEMIJSKI SENZORI ZA MJERENJE SASTAVA TLA

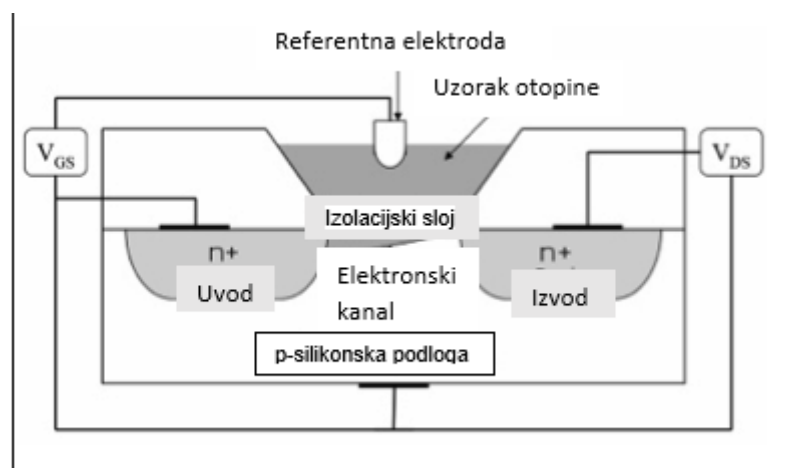
Važna primjena elektrokemijskih senzora u poljoprivredi je izravno mjerenje kemije tla putem testova kao što su pH ili sadržaj hranjivih tvari. Rezultati ispitivanja tla važni su za postizanje optimalnih prinosa usjeva i proizvodnju kvalitetne, ukusne hrane.

Dvije vrste elektrokemijskih senzora obično se koriste za mjerenje aktivnosti odabranih iona ( $H^+$ ,  $K^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $Na^+$ , itd.) u tlu [13] :

1. senzori ionske selektivne elektrode (ISE) i
2. ionski senzori tranzistora s efektom selektivnog polja (ISFET).



**Slika 5.4.** Ionska selektivna elektroda (ISE)



**5.5.** Ionski tranzistor s efektom selektivnog polja (ISFET)

ISE i ISFET senzori također su korišteni za praćenje unosa iona od strane biljaka. Brzina unosa hranjivih tvari određena je zahtjevima biljke, koji ovise o brzini rasta i statusu sadržaja hranjivih tvari u biljci. Većina makronutrijenata (npr. dušik, fosfor i kalij) apsorbira se aktivno. Praćenje koncentracija iona u biljkama ili sustavima uzgoja omogućuje poljoprivrednicima da osmisle strategije gnojidbe koje optimiziraju proizvodnju. [13]

Ionski selektivni senzori razvijeni su za otkrivanje raznih iona. ISE senzori razvijeni su za praćenje iona dušika u tlu i usjevima, kao što su krumpir i povrće za upravljanje gnojidbom. Koncentracije iona, kao što su jodid, fluorid, klorid, natrij, kalij i kadmij, u biljkama ili tlu mjereni su ISE sensorima kako bi se istražio metabolizam biljaka, prehrana i toksikološki učinci koje teški metali mogu imati na biljke. [13]

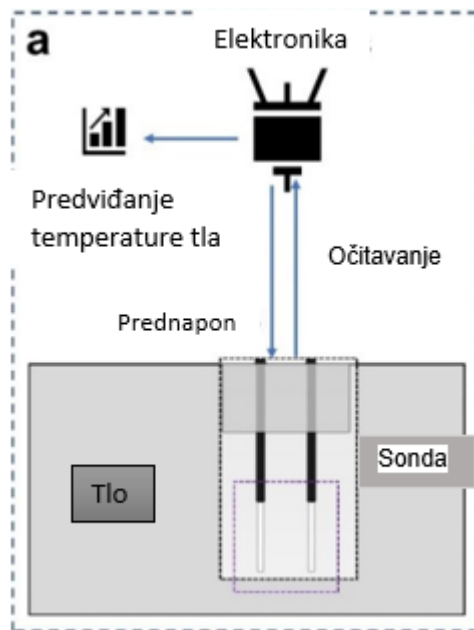
S pojavom ISE i ISFET, sada je moguć razvoj sustava opskrbe hranjivim tvarima specifičnim za ione za usjeve/biljke u stakleničkoj industriji. Nekoliko je istraživača razvilo sustave koji ubrizgavaju tekuća gnojiva na temelju mjerenja specifične koncentracije iona. Ovi sustavi automatski osiguravaju da je potreba biljaka za hranjivim tvarima zadovoljena. [13]

## **5.4. TEMPERATURNI SENZORI**

Temperatura tla, u rasponu od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $50^{\circ}$ , važan je parametar za poljoprivredu jer utječe na klijanje, cvjetanje i razne procese rasta biljaka, a također značajno utječe na fizikalne, kemijske i mikrobiološke procese u tlu koji imaju ključnu ulogu u rastu biljaka. [13]

Na temperaturu tla snažno utječu svojstva tla uključujući specifični toplinski kapacitet, toplinsku vodljivost, nasipnu gustoću, teksturu, sadržaj vode i materijale za pokrivanje površine. Kao što je prikazano na slici 4.4, senzor temperature tla sastoji se od temperaturnih sondi za prijenos varijacije temperature u električni signal i elektronike za pristranost i očitavanje i interpretaciju električnog signala u digitalne podatke. Postoje mnogi elektronički senzori temperature koji se mogu koristiti kao senzori temperature tla, uključujući termoparove, detektore temperature otpora (RTD), termistore i temperaturne senzore na bazi poluvodiča. [13]





**Slika 5.6.** Prikaz senzora temperature

Termoparovi koriste električni potencijal koji stvara par termoelektrički različitih spojeva metal/vodič, obično željezo/konstantan, kako bi dobili očitavanje u milivoltima koje se može prevesti u temperaturu. Termoparovi se mogu koristiti za precizno praćenje temperature tla zbog svoje brze reakcije na nagle promjene temperature i jednostavnosti automatizacije. [13]

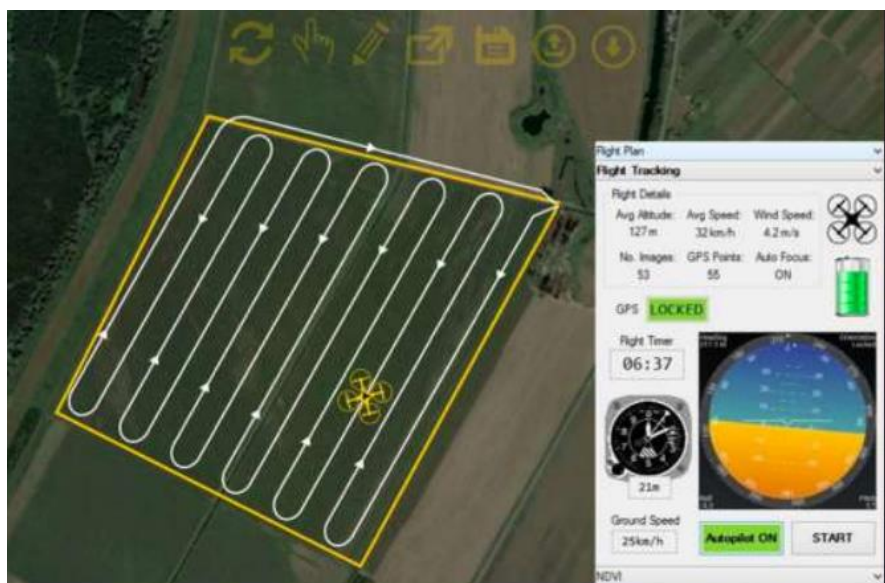
## 5.5. BESPILOTNE LETJELICE (UAV)

Većina razvijenih zemalja usvojila je najnovije tehnologije kao što su fotogrametrija i daljinsko očitavanje (RS) za preciznu poljoprivredu korištenjem bespilotnih letjelica (UAV) za stvaranje dobre poljoprivredne farme s manjim infekcijama. Pomoći će poljoprivrednicima s većom produktivnošću usjeva, kvalitetom i, što je najvažnije, manjim opterećenjem poljoprivrednika. Nadalje, može se koristiti za prskanje gnojiva i pesticida. Obično se UAV-ovi razvijaju s automatiziranim sustavom dronova sa sensorima i kamerama za praćenje stanja i visine usjeva. [14]

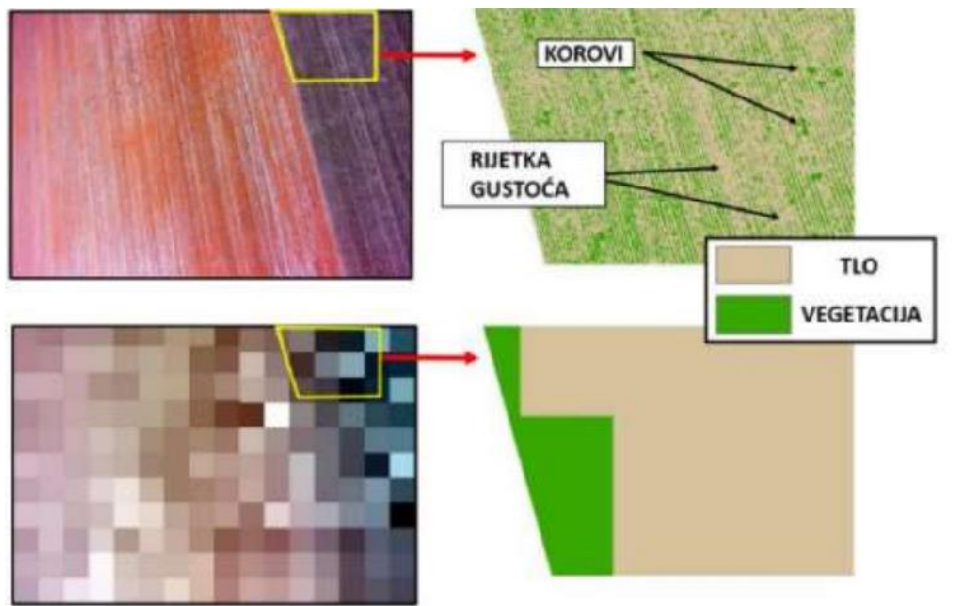


**Slika 5.7.** Беспилотна летјелца (UAV)

O ulozi UAV-a u preciznom upravljanju brinu se snimljene spektralne slike. Multispektralna kamera će pratiti stanje usjeva skeniranjem cijelog polja usjeva. Aktivirani dronovi s kamerama identificirat će žarišta štetočina i insekata. Беспилотне летјелце помажу пољопривредницима да подзму одговарајуће мјере у право vrijeme како би заштитили усјеве од болести. Беспилотна летјелца с далјинским очитаванјем на малим висинама има више предности попут добре мобилности, једноставне конструкције и високе резолуције за добивање слика. Квалитета усјева и предности приноса овисе о биотичким и абиотским чимбеницима. [14]



**Slika 5.8.** Prikaz upravljanja i nadzora leta беспилотне летјелце



**Slika 5.9.** Prikaz vegetacije tla i detekcije korova

Bespilotna letjelica također se može koristiti za raspršivanje gnojiva i pesticida na poljoprivrednim površinama. UAV raspolaže s dobrom brzinom i preciznošću sustava za raspršivanje gnojiva i pesticida. Glavni dijelovi UAV-a koji se koriste za prskanje su [14] :

- Tlačna mlaznica;
- Kontroler prskanja;
- Spremnik za pesticide;
- Hallov senzor protoka;
- Mala membranska pumpa;
- Sustav interpretacije karata terena.

Prskalica je povezana s UAV-om za raspršivanje pesticida ili gnojiva. Može se prskati kroz mlaznicu u kapljicama pod pritiskom. Uz pomoć motora raspršivača stvara se odgovarajući tlak za prskanje tekućine. Kontroler raspršivanja koristi Hallov senzor protoka za procjenu protoka tekućine unutar sustava i pokreće mlaznicu raspršivača. Bespilotne letjelice koje se koriste za raspršivanje mogu varirati s njihovom brzinom, nosivošću i brojem mlaznica koje se koriste za raspršivanje. Metodologija raspršivanja gnojiva i pesticida temeljena na UAV-u učinkovitija je od tradicionalnih sustava. Smanjuje kontakt ljudi s opasnim tvarima. Potrebna je ograničena količina ljudske snage. UAV smanjuje vrijeme i troškove. [14]



**Slika 5.10** Беспилотна летјелца за распршивање пестицида

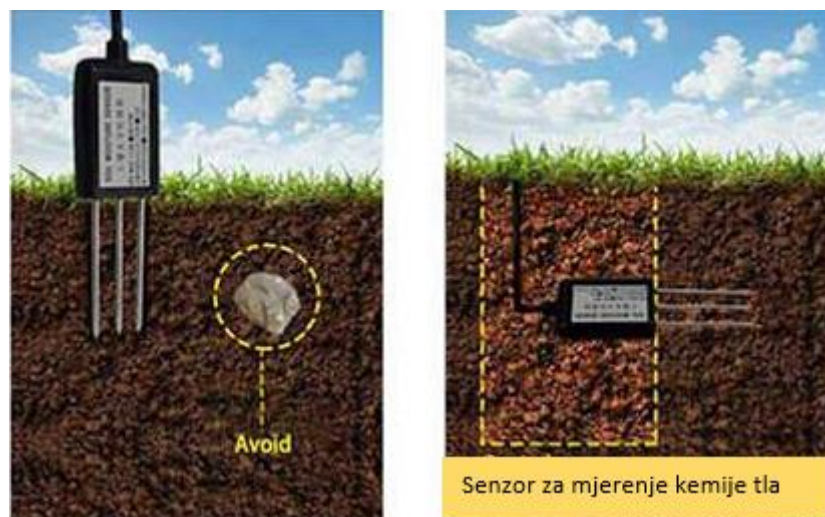
Bespilotna letjelica u preciznoj poljoprivredi ima kritične izazove kao što nosivost, senzori koji se koriste u UAV-u, cijena UAV-a, trajanje leta, analiza podataka, uvjeti okoliša i zahtjevi. Trošak je glavni izazov za korištenje bespilotnih letjelica, a tome su dodani različiti potrebni senzori, dijelovi za montiranje, aplikacije temeljene na tehnologiji i softver potreban za analizu podataka. [14]

## 6. PRIMJENA PAMETNIH SENZORA NA PRIMJERU UZGOJU KRUMPIRA

Krumpir je danas neizostavna namirnica gotovo svakog kućanstva, zbog visoke hranjive vrijednosti i relativno niske cijene. Biljka kao takva zahtijeva određene agroekološke uvjete za uzgoj, s obzirom na temu završnog rada pokušat ćemo kroz ilustrativne primjere pokazati kako bi tehnologija navedena u ovom radu mogla olakšati posao i nadzor polja uzgajivačima krumpira. Optimalni agroekološki uvjeti za uzgoj krumpira [8] :

- Tlo – krumpir relativno dobro podnosi kiselija tla, a optimalni pH iznosi 5,4 – 6,5
- Temperatura – prilikom sadnje optimalna temperatura zemljišta bi trebala iznositi 6-8 °C, dok je optimalna temperatura za rast gomolja 17-20 °C
- Voda – biljka zahtijeva umjereno vlažnu zemlju, a nedostatak vode dovest će do smanjenja kvalitete gomolja i prinosa

Prije same sadnje poljoprivrednih kultura, pa tako i krumpira potrebno je obaviti predstjetvene pripreme i analizirati stanje tla. Nakon obrade tla zaoravanjem poljoprivrednici bi korištenjem elektrokemijskih senzora za mjerenje kemije tla imali uvid u realno stanje tla i na temelju dobivenih rezultata je moguće izračunati optimalnu količinu krutog (N, P, K) ili tekućeg gnojiva koja je potrebna zemlji.



Slika 6.1 Senzor za mjerenje kemije tla

Sadnja krumpira odvija se negdje sredinom Ožujka, a poljoprivrednici bi korištenjem gore navedenih senzora vlage i temperature mogli pravovremeno isplanirati sadnju. Pri sadnji minimalna temperatura zemljišta mora biti 6-8 °C. Podatci prikupljenim stalnim nadzorom temperature i vlažnosti tla se šalju putem protokola i analiziraju i obavještavaju korisnika kada je idealno vrijeme za sadnju krumpira.



**Slika 6.2.** Senzor temperature i vlage

Tijekom vegetacije biljci je potrebno osigurati optimalnu količinu vode kako bi se osigurao optimalan rast i razvoj biljke, a prinos bio što veći. Senzori vlage mogu u realnom vremenu mjeriti razinu vlažnosti tla. Moguće je osmisliti potpuno autonoman sustav navodnjavanja, senzori vlage koji bi bili povezani s pumpom za navodnjavanje slali bi podatke pumpi preko nekog od gore navedenih komunikacijskih protokola (npr. Wi-Fi, LoRaWan) i u slučaju nedostatka vlage u tlu pumpa bi se automatski uključila. Kada se dostigne optimalna razina vlažnosti za uzgoj krumpira prekida se dotok vode i pumpa čeka ponovni signal za uključenje. Time se smanjuje potreba za nadzorom i pogreška od stvaranja prevelike vlage u tlu koja može dovesti do oštećenja, deformacije i pucanja biljke.



**Slika 6.3.** Pametni automatizirani sustav navodnjavanja

ISE senzori razvijeni su za praćenje iona dušika u tlu i usjevima. Koncentracije iona, kao što su jodid, fluorid, klorid, natrij, kalij i kadmij, u biljkama ili tlu mjereni su ISE sensorima kako bi se istražio metabolizam biljaka, prehrana i toksikološki učinci koje teški metali mogu imati na biljke. Na temelju prikupljenih i analiziranih podataka moguće je osmisliti plan gnojidbe. Softver na temelju analiziranih podataka može obavijestiti korisnika o idealnom omjeru krutog mineralnog gnojiva (natrij, fosfor, kalij, dušik). Isti princip je moguće koristiti i za tretiranje biljke herbicidima.



**Slika 6.4.** Senzor hranjivih tvari u tlu

Bespilotnom letjelicom moguće je obaviti skeniranje usjeva. Multispektralna kamera snimit će stanje i visinu usjeva i procijeniti zdravlje biljaka. Također je moguće identificirati

žarišta štetočina/nametnika i korova. Krumpirove zlatice česta su pojava, a na temelju multispektralnih slika moguće je pravovremeno zaštititi biljke u uočiti korove. Ponovnim letom letjelica će na temelju multispektralnih slika i uz pomoć GPS sustava nanijeti točnu količinu potrebnog pesticida/herbicida na točno određena mjesta kako zdrave biljke ne bi morale biti izložene otrovnim tvarima.



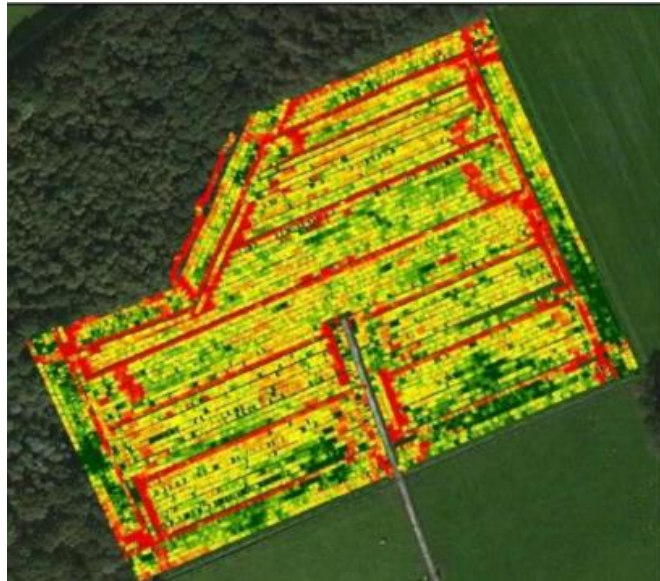
**Slika 6.5.** Nadzor i praćenje stanja usjeva bespilotnom letjelicom



**Slika 6.6.** Tretiranje usjeva herbicidima i pesticidima uz pomic bespilotne letjelice



Na kraju vegetacije potrebno je odrediti pravo vrijeme za vađenje krumpira. Na temelju analiziranih podataka o stanju i visini usjeva softver može predvidjeti kada je pravo vrijeme za vađenje krumpira i procijeniti urod. Krumpir koji je izvađen može se skladištiti u prostorijama koje imaju automatski sustav ventilacije. Senzor temperature i vlage zraka umrežen je s ventilacijskim sustavom skladišta koji na temelju izmjerenih veličina povećava ili smanjuje temperaturu skladišta. Senzori mogu biti zakopani u hrpama krumpira i mjeriti vlagu.

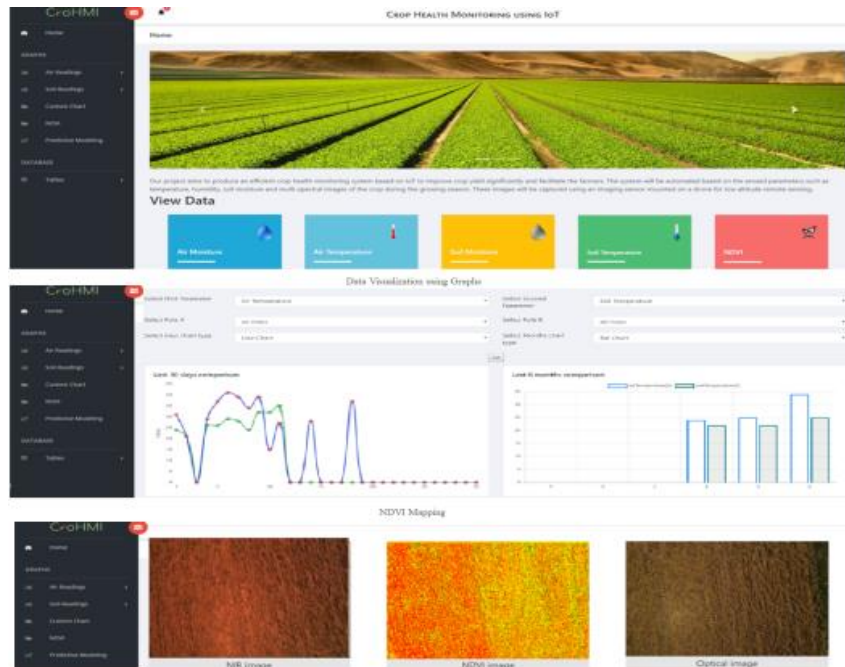


**Slika 6.7.** Digitalna karta prinosa



**Slika 6.8.** Pametno prijenosno skladište za krumpir sa sustavom ventilacije

Svi prikupljeni podaci od predsetjvene pripreme do odlaska krumpira na tržište se skladište na serverima/oblak i analiziraju. Na temelju analiziranih podataka moguće je procijeniti troškove, usporediti podatke s prošlogodišnjim urodima itd.



Slika 6.9. Analiza i pregled podataka

## 7. ZAKLJUČAK

S obzirom na sve veće zahtjeve koji se postavljaju pred današnju poljoprivredu i poljoprivrednike, razvoj tehnologije omogućio im je da si olakšaju posao i povećaju profitabilnost. Uz pomoć tehnologije pametnih senzora i razvojem internet stvari (IoT) poljoprivrednici danas imaju veće mogućnosti glede nadzora usjeva i praćenja stanja poljoprivrednih površina i općenito rada na farmi. IoT omogućuje jednostavno prikupljanje i upravljanje velikom količinom podataka prikupljenih od senzora, a uz integraciju usluga računalstva u oblaku kao što su karte poljoprivrednih polja, pohrana u oblaku itd., podacima se može pristupiti uživo s bilo kojeg mjesta i svugdje, omogućujući praćenje uživo i povezivanje s kraja na kraj između svih zainteresirane strane. Nagli porast cijena poljoprivrednih inputa poput pesticida, gnojiva, sjemena i goriva natjerao je poljoprivrednike na primjenu nekih od pametnih sustava senzora kako bi uštedjeli na resursima i istovremeno optimizirali svoju proizvodnju. Pojedini današnji agregati poput rasipača gnojiva ili šprica za primjenu pesticida opremljeni su raznoraznim sensorima koji im već sada omogućuju donekle optimizirati primjenu inputa. Glavna mana ovakvih sustava je potreba edukacije prema poljoprivrednicima, jer većina poljoprivrednika nema iskustva s primjenom tehnologije pametnih senzorskih sustava i potrajat će još dosta dok poljoprivrednici ne krenu u smjeru opisanom u radu. U ovome radu napravljen je pregled principa rada senzora i uz ilustrativne primjere objašnjeno na koji način ovakva primjena može pomoći poljoprivrednicima da optimiziraju svoje djelatnosti. Na primjeru uzgoja krumpira uz pomoć pametnih senzora objašnjena je i ilustrirana mogućnost primjene opisanih tehnologija navedenih u ovome radu na jednom mjestu.

Napredak tehnologije donijet će još veće mogućnosti primjene senzorskih sustava u nadi da se poljoprivrednicima olakša posao jer im je već sada prijeko potrebna pomoć pri postavljenim zahtjevima proizvodnje. Stoga istraživanja u ovom području uz multidisciplinarni pristup mogu voditi povećanom donošenju modernih tehnologija u poljodjelstvu.

## 8. LITERATURA

- [1] Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications / Uferah Shafi Rafia Mumtaz, José García-Nieto, Syed Ali Hassan, Syed Ali Raza Zaidi and Naveed Iqbal, dostupno na: URL [<https://www.mdpi.com/1424-8220/19/17/3796>]
- [2] Senzori i mjerni pretvornici sile / Jokić Renato, dostupno na: URL [<https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos:2567>]
- [3] Understanding Smart Sensors 2nd ed. Edition / Randy Frank, dostupno na: URL [<https://www.amazon.com/Understanding-Smart-Sensors-Artech-Library/dp/0890063117>]
- [4] Wireless Sensor Technologies and Applications / Feng Xia, dostupno na: URL [[https://www.researchgate.net/publication/221792838\\_Wireless\\_Sensor\\_Technologies\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/221792838_Wireless_Sensor_Technologies_and_Applications)]
- [5] Khelifa, B.; Amel, D.; Amel, B.; Mohamed, C.; Tarek, B. Smart irrigation using internet of things. In Proceedings of the 2015 Fourth International Conference on Future Generation Communication Technology (FGCT), Luton, UK
- [6] Chikankar, P.B.; Mehetre, D.; Das, S. An automatic irrigation system using ZigBee in wireless sensor network. In Proceedings of the 2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC), Pune, India, 8–10 January 2015
- [7] Tanaka, K.; Murase, M.; Naito, K. Prototype implementation of BLE based automated data collection scheme in agricultural measurement system. In Proceedings of the 2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA
- [8] Wasson, T.; Choudhury, T.; Sharma, S.; Kumar, P. Integration of RFID and sensor in agriculture using IOT. In Proceedings of the 2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon), Bangalore, India
- [9] Liang, M.H.; He, Y.F.; Chen, L.J.; Du, S.F. Greenhouse Environment dynamic Monitoring system based on WIFI. IFAC-PapersOnLine 2018
- [10] N-USha, T.M. Conditions in Agriculture through WiFi using Raspberry PI
- [11] Zhou, Y.; Yang, X.; Guo, X.; Zhou, M.; Wang, L. A design of greenhouse monitoring & control system based on ZigBee wireless sensor network. In Proceedings of the 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Shanghai, China,
- [12] Vrste i primjene senzora u pametnim okruženjima / Martić Helena, dostupno na: URL [<https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:2418>]
- [13] Senzori i mjerenja / Božidar Popović, Tomislav Šekar, dostupno na: URL [<https://www.infoelektronika.net/knjiga-senzori-i-mjerenja-304>]
- [14] Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry / Telmo Adão, Jonáš Hruška, Luís Pádua, José Bessa, Emanuel Peres, Raul Morais, and Joaquim João Sousa, dostupno na: URL [[https://www.researchgate.net/publication/320716685\\_Hyperspectral\\_Imaging\\_A\\_Review\\_on\\_UAV-Based\\_Sensors\\_Data\\_Processing\\_and\\_Applications\\_for\\_Agriculture\\_and\\_Forestry](https://www.researchgate.net/publication/320716685_Hyperspectral_Imaging_A_Review_on_UAV-Based_Sensors_Data_Processing_and_Applications_for_Agriculture_and_Forestry)]
- [15] Osnove proizvodnje povrća; Koprivnica, 2011./prof.dr.sc. N. Parađiković i suradnici;

## **9. SAŽETAK**

### **Primjena smart senzora i vizualizacijskih sustava u poljodjelstvu**

Suvremena poljoprivreda suočava se sa sve većim zahtjevima, uz loše vremenske prilike poput suše i čestih nanosa leda poljoprivrednicima je teško osigurati vrhunski proizvod a da pri tome imaju što manje troškove i da je sirovina (proizvod) zadovoljavajuće kvalitete. Razvoj Internet stvari (IoT) i pametnih senzorskih sustava omogućio je poljoprivrednicima da na precizniji i brži način mogu pratiti stanje usjeva na poljoprivrednim površinama. Osim toga, poljoprivrednici sada imaju uvid u karakteristike tla i biljaka što im omogućuje da optimiziraju korištenje gnojiva, pesticida i ostalih resursa što će naravno smanjiti troškove proizvodnje.

## **10. ABSTRACT**

### **Application of smart sensors and visualization systems in agriculture**

Modern agriculture is faced with increasing demands, with bad weather conditions such as drought and frequent ice deposits, it is difficult for farmers to provide a top quality product while keeping costs as low as possible and that the raw material (product) is of satisfactory quality. The development of the Internet of Things (IoT) and smart sensor systems has enabled farmers to monitor the condition of crops on agricultural land in a more precise and faster way. In addition, farmers now have insight into soil and plant characteristics, which allows them to optimize the use of fertilizers, pesticides and other resources, which will naturally reduce production costs.