

Primjena koncepta IoT za poboljšanje prinosa usjeva u agrikulturi

Mlađan, Tibor

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:995205>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-28**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Tibor Mlađan

PRIMJENA KONCEPTA IoT ZA POBOLJŠANJE PRINOSA USJEVA U AGRİKULTURI

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2024.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

Završni rad

PRIMJENA KONCEPTA IoT ZA POBOLJŠANJE PRINOSA USJEVA U AGRİKULTURI

APPLICATION OF THE IoT CONCEPT FOR IMPROVING CROP YIELDS IN
AGRICULTURE

Mentor: izv. prof. dr. sc. tech. Ivan
Grgurević

Student: Tibor Mlađan
JMBAG: 0248049887

Zagreb, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 9. travnja 2024.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Računalne mreže**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7664

Pristupnik: **Tibor Mlađan (0248049887)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**


Zadatak: **Primjena koncepta IoT za poboljšanje prinosa usjeva u agrikulturi**

Opis zadatka:

Prikazati relevantne komunikacijske tehnologije s primjenom u agrikulturi. Identificirati probleme u primjeni komunikacijskih tehnologija u agrikulturi. Prepoznati značaj IoT-a za agrikulturu. Definirati tipove IoT uređaja i načine obrade podataka. Analizirati uspješnost primjene IoT-a u agrikulturi.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



izv. prof. dr. sc. Ivan Grgurević

SAŽETAK

Agrikultura, ili poljoprivreda, je uz ribarstvo i marikulturu glavni sektor za proizvodnju hrane, te se primarno sastoji od djelatnosti obrade zemlje i održavanja domaćih životinja. Zbog značajnog razvoja tehnologije u posljednjem desetljeću, došlo je do brojnih promjena u raznim ljudskim djelatnostima, pa tako i značajnom napredovanju poljoprivrednih procesa i operacija. Razvojem hardverskih tehnologija i implementacijom „Interneta stvari“ došlo je do velikog tehnološkog iskoraka u nadzornim procesima i svim radnji vezanih uz poljoprivrednu proizvodnju, koje se odvijaju na licu mjesta i u stvarnom vremenu. To je sve omogućeno zahvaljujući različitim IoT uređajima, poput senzora za praćenje relevantnih vrijednosti, kamera, dronova, sustava navodnjavanja, robota i uređaja za praćenje stoke. Iako je značaj implementacije IoT uređaja u području poljoprivrede izniman, ona se i dalje suočava s brojnim izazovima i problemima. S određenom sigurnošću, uz daljnji napredak tehnologije, može se zaključiti da niti jedan od tih izazova nije nepremostiv, te da su koristi navedenih tehnologija i dalje mnogo značajnije od problema i izazova.

Ključne riječi: agrikultura, značaj, izazovi, Internet stvari, IoT uređaj

SUMMARY

Agriculture, or farming, along with fishing and aquaculture, is the main sector for food production, primarily consisting of the activities of cultivating the land and maintenance of domestic animals. Due to significant technological advancements in the last decade, there have been numerous changes in various human activities, including significant progress in agricultural processes and operations. Through the development of hardware technologies and the implementation of the Internet of Things, there has been a significant technological leap in monitoring processes and all actions related to agricultural production, happening on-site and in real-time. All of this has been made possible thanks to various IoT devices, such as sensors for tracking relevant values, cameras, drones, irrigation systems, robots, and livestock devices. Although the significance of implementing IoT devices in the field of agriculture is remarkable, it still faces numerous challenges and issues. With a certain level of certainty, with further technological advancements, we can conclude that none of these challenges are insurmountable, and the benefits of these technologies are far more significant than the problems and challenges.

Key words: agriculture, significance, challenges, Internet of Things, IoT device

Sadržaj

1. UVOD	1
2. PREGLED RELEVANTNIH KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA U AGRIKULTURI.....	3
2.1. Senzori u agrikulturi	4
2.1.1. Senzori vlage u tlu.....	4
2.1.2. Senzori temperature tla	5
2.1.3. Senzori pH vrijednosti	5
2.1.4. Senzori insekata u i na tlu	5
2.2. Navodnjavanje	6
2.2.1. Navodnjavanje prskalicama	6
2.2.2. Navodnjavanje „kap po kap“	7
2.3. Robotika u poljoprivredi	7
2.4. Dronovi u poljoprivredi	10
2.5. Praćenje stoke	10
2.6. Pokretne (mobilne) mreže.....	14
2.7. IEEE 802.11 mreže (Wi - Fi) i Bluetooth	14
3. PROBLEMI I PRIMJENA KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA U AGRIKULTURI	15
4. ZNAČAJ IoT – A ZA AGRIKULTURU	19
5. TIPOVI IoT UREĐAJA I OBRADA PODATAKA	22
6. ANALIZA USPJEŠNOSTI PRIMJENE IoT- a U AGRIKULTURI.....	27
7. ZAKLJUČAK	31
LITERATURA	36
Popis kratica i akronima.....	40
Popis slika i tablica	41

1. UVOD

„Internet stvari“ je kao pojam došao od strane britanskog vizionara Kevina Ashtona 1990. godine, a označavao je tehnološku domenu u kojoj bi brojne stvari i fizički objekti bili poboljšani računalnom snagom i mrežnim sposobnostima. Očekivalo se kako će poljoprivreda biti jedan od sektora koji će se naći pod velikim utjecajem IoT-a.

S obzirom na projekcije koje kažu da će do 2050. godine ukupna populacija na planetu dosegnuti 9.6 milijardi ljudi, nužno je očekivati da će se i proizvodnja hrane do tada morati povećati za 70 %. Takve potrebe povećavaju potražnju i potrebu za modernijom poljoprivrednom praksom kao i visoko učinkovitim raspolaganjem vode i ostalih resursa. Koncept koji nudi najveća obećanja za takve potrebe je precizna poljoprivreda, čiji je primarni cilj optimizirati i poboljšati poljoprivredne procese radi maksimalne produktivnosti. Međutim koncept precizne poljoprivredne nije moguć bez implementacije IoT tehnologija. Internet stvari predstavlja obećavajuću tehnologiju koja može ponuditi brojna rješenja za modernizaciju poljoprivrede. [1]

S obzirom na to da poljoprivreda predstavlja osnovu života kao glavni izvor prehrambenih sirovina njezin rast i razvoj ne smije biti zanemaren. Tijekom posljednjeg desetljeća, poljoprivreda je doživjela velike znanstvene i tehnološke pomake koji su je doveli na razinu na kojoj je postala pristupačnija i isplativija. Korištenje IoT uređaja poljoprivrednicima je pružilo pristup preciznim informacijama o kvaliteti i zdravlju njihovih usjeva i stoke. Internet stvari je omogućio lakše i pouzdanije vođenje poljoprivrede, uključujući sve od malih kućnih vrtova pa do velikih posjeda. Prikupljanjem podataka kroz senzore i njihovim prenošenjem na glavni poslužitelj, poljoprivrednicima je značajno olakšano nadziranje svojih poljoprivrednih posjeda. Osim nadziranja poljoprivrede IoT tehnologije poljoprivrednicima olakšale su i ubrzale svakodnevne operacije poput uzgoja, sadnje, navodnjavanja, špricanja pesticidima i žetve. Sve je to današnju poljoprivredu učinilo sigurnijom, produktivnijom te učinkovitijom u svim njenim aspektima. [2]

Pojam Internet stvari obuhvaća veliki niz uređaja za prijenos i razmjenu podataka prikupljenih putem senzora u strojevima i na životinjama. Svrha završnog rada je prikazati postojeće komunikacijske tehnologije u agrikulturi, kao i njihovu primjenu, značaj i probleme s kojima se poljoprivrednici susreću prilikom korištenja tih tehnologija. Dok je cilj završnog rada prikazati primjenu koncepta IoT za poboljšanje prinosa usjeva u agrikulturi.

Završni rad sastoji se od sedam poglavlja/teza:

1. Uvod
2. Pregled relevantnih komunikacijskih tehnologija u agrikulturi
3. Problemi i primjena komunikacijskih tehnologija u agrikulturi
4. Značaj IoT-a za agrikulturu
5. Tipovi IoT uređaja i obrada podataka
6. Analiza uspješnosti primjene IoT-a u agrikulturi
7. Zaključak

Uvodni dio rada sadrži opis svrhe, cilja i strukture (poglavljja/teza) završnog rada.

U drugom poglavlju nabrojane su i opisane komunikacijske tehnologije koje se danas koriste u agrikulturi za prikupljanje podataka o stanju usjeva, navodnjavanje usjeva, plijevljenje i opskrbu pesticidima, te praćenje stoke.

Treće poglavlje orijentirano je na način primjene svake od navedenih komunikacijskih tehnologija, kao i probleme s kojima se pritom poljoprivrednici susreću.

Četvrto poglavlje donosi opis područja gdje je uporaba IoT-a olakšala djelovanje poljoprivrednicima, kao i pojedine pilot projekte s različitih strana svijeta koji su demonstrirali uspjehe implementacije IoT-a u agrikulturi.

U petom poglavlju nabrojani su pojedini tipovi IoT uređaja koji su trenutno u opticaju, kao i njihov način rada. Također opisana je i arhitektura IoT-a, te način obrade podataka kroz njena tri sloja.

Šesto poglavlje donosi područja u kojima je primjena IoT-a dovela do znatnih napredaka, te brze i transformativne revolucije u poljoprivredi.

Sedmo poglavlje nosi naziv „Zaključak“, te sadrži sve informacije u sažetom obliku koje su obrađene tijekom izrade ovog rada.

Na kraju se nalazi poglavlje pod nazivom „Literatura“ s nabrojanim svim izvorima korištenim za izradu rada, popis kratica i akronima, te popis slika i tablica.

2. PREGLED RELEVANTNIH KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA U AGRİKULTURI

Agrikultura, ili poljoprivreda, kao riječ širokog značenja je uz ribarstvo i marikulturu glavni sektor za proizvodnju hrane, te se primarno sastoji od djelatnosti obrade zemlje i održavanja domaćih životinja. Prema „*The Oxford English Dictionary*“ rječniku, agrikultura se definira kao znanost i umjetnost kultiviranja tla, uključujući srodne potrage za skupljanjem usjeva i uzgojem stoke; obrada tla, uzgoj, ratarstvo (u najširem smislu).“ [3]

Zbog ubrzanog razvoja tehnologije, poljoprivrednici se sve više počinju informirati o dostupnim poljoprivrednim tehnologijama koje bi mogli iskoristiti za povećanje svojih usjeva i doprinosa, ostavljajući primitivnije alate iza sebe. Nove robotske i senzorske tehnologije 21. stoljeća imaju mogućnost rješavanja velikog broja problema s kojima se danas susreću poljoprivrednici, a inženjeri su se posebno fokusirali na istraživanje onih tehnologija koje bi doprinijele smanjenju troškova i povećanju kvalitete poljoprivrednih prihoda.[4]

Povećanje populacije, te brojne posljedice klimatskih promjena, počinju stvarati ozbiljnu prijetnju ponajviše u proizvodnji, a zatim ponudi i dostupnosti hrane za značajan dio svjetske populacije. Stoga je u svrhu povećanja poljoprivredne proizvodnje u okruženju ograničenih resursa i ekstremnijih vremenskih prilika nužan veliki tehnološki napredak.

Analize kretanja rasta svjetske populacije predviđaju kako će do 2050. godine svjetska populacija dosegnuti velikih 9 milijardi, pogotovo u zemljama u razvoju. Isto tako predviđa se i ubrzani trend urbanizacije. Prema podacima 49 % svjetskog stanovništva živi u urbanim područjima, a do 2050. godine taj postotak će porasti na čak 70 %. Sve to dovodi nas do povećane potražnje za hranom što znači da bi se proizvodnja do 2050. godine trebala udvostručiti kako bi se zadovoljile buduće potrebe stanovništva.

Prirodni čimbenici koji imaju negativan utjecaj na poljoprivredne procese, kao što su klimatske promjene, promjene u kvaliteti vode i tla, ujedno i ograničavaju dio Zemljine površine koji je pogodan za obradu i poljoprivredu, dok se na te već umanjene poljoprivredne resurse dodatno postavlja i teret proizvodnje biogoriva i bioenergije. Uz prirodne i proizvodne čimbenike, već spomenuti porast populacije, kao i ekonomski i politički čimbenici dodatno djeluju na smanjenje postojećih poljoprivrednih resursa. Uzmemo li sve u obzir, primijetit ćemo kako se dostupna zemljišta pogodna za obradu i uzgoj sve više smanjuju, što predstavlja prijetnju poljoprivrednoj proizvodnji.

Svjesni smo kako količina i kvaliteta usjeva ovisi o mnogim čimbenicima, poput klime, topografije i karakteristika tla, pa tako u svrhu zadovoljavanja potreba tržišta, farmeri i uzgajivači se sve više okreću novijim i naprednijim tehnologijama. Te tehnologije pružaju pomoć u proizvodnji velikih količina hrane na ograničenim zemljištima i s ograničenim resursima. Stoga se može zaključiti da uzgajivači i farmeri traže načine za praćenje svojih usjeva u stvarnom vremenu, odnosno izražavaju potrebu za pametnom poljoprivredom. U ovom trenutku oni troše čak 70 % svog vremena prateći i pokušavajući razumjeti potrebe i stanje svojih usjeva, a uvođenjem modernih tehnologija to vrijeme bi se uvelike smanjilo i omogućilo poljoprivrednicima obavljanje uistinu potrebnih poslova na farmi.

Internet stvari (IoT) omogućuje poljoprivrednicima „nadzor na licu mjesta“ i samim time olakšava proces uzgoja. Danas je dostupno nekoliko alata koji se koriste u poljoprivredi, a neki od njih bit će opisani u daljnjem tekstu. [5]

2.1. Senzori u agrikulturi

Od brojnih tehnologija pametne poljoprivrede, senzorski sustavi koji omogućuju nadzor nad kvalitetom tla za uzgoj usjeva od velike su važnosti. Oni poljoprivrednicima olakšavaju prikupljanje i obradu podataka ključnih za upravljanje i pravovremeno donošenje odluka vezanih za njihovu poljoprivredu. S obzirom da rast usjeva ovisi o brojnim čimbenicima poput svojstva tla, vlage, pH, temperature, korova i nametnika, razvijeni su razni oblici senzora koji će u daljnjem tekstu biti opisani. [6]

2.1.1. Senzori vlage u tlu

Voda se smatra jednom od ključnih odrednica poljoprivrede. Održavanje optimalne razine vlage uvjet je za brojne biofizičke procese poput klijanja sjemena, rast usjeva, održavanje prirodne bioraznolikosti tla, te kruženja hranjivih tvari. Praćenjem vlažnosti tla, poljoprivrednicima su dostupne informacije o količini dostupne vode za usjeve, zdravlju tla, i zadržavanju vlage koja omogućuje stvaranje i održavanje uvjeta prikladnih za provedbu kvalitetne poljoprivredne proizvodnje. Ukratko, može se reći kako senzori vlage procjenjuju količinu vode u tlu, te poljoprivrednicima pružaju informacije o količini i vremenu navodnjavanja za uspješan rast usjeva. Obično se sastoje od elektrodne sonde ugrađene u tlo, prijenosnih medija poput koaksijalnih kablova, te uređaja za obradu signala. Prema mehanizmu rada mogu se svrstati u četiri skupine: kapacitivni senzori vlage; senzori vlage temeljeni na elektromagnetnoj indukciji; ultrazvučni senzori i optički senzori. [6], [7]

2.1.2. Senzori temperature tla

Temperatura tla u rasponu od -10 do 50° C pogoduje procesu rasta usjeva. Kako bi poljoprivrednicima bile dostupne informacije o temperaturi tla, inženjeri su razvili senzore koji poljoprivrednicima pružaju te informacije. Senzori temperature tla koji su danas dostupni sastoje se od temperaturnih sonde koje pretvaraju varijacije temperature u električni signal, i uređaja, odnosno elektronike, koja očitava i pretvara električni signal u digitalne podatke. Danas se u uporabi koriste razni senzori temperature tla, poput termoparova¹, detektora temperature otpora (RTD)² i temperaturnih senzora na bazi poluvodiča.

Termoparovi mogu precizno pratiti temperaturu tla radi brze reakcije na nagle promjene temperature. RTD senzori su stabilniji, te imaju veću točnost i bolju repetitivnost u mjerenju temperature, međutim krhkiji su te obično zahtijevaju zaštitu u sondama. [6]

2.1.3. Senzori pH vrijednosti

Kiselost ili alkalnost tla mjeri se s pomoću pH vrijednosti, koja utječe na mikrobnu aktivnost te dostupnost hranjivih tvari potrebnih za uspješnu poljoprivredu. Optimalan pH tla varira između 5.5 i 7.5. Praćenje pH tla poljoprivrednicima pruža korisne informacije s pomoću kojih mogu kontrolirati alkalnost tla, te osigurati velike i kvalitetne količine usjeva na farmi. Postoji nekoliko vrsta pH senzorskih tehnologija: optičke (poput kolorimetrijskih) i fotometrijskih; elektrokemijske i akustične. Kolorimetrijske i fotometrijske metode mjerenja pH tla fokusirane su na promjene u boji specifičnih organskih pigmenata koji su osjetljivi na pH. Međutim uspoređujući gore navedene metode s fluorometrijskim i holografskim pH sensorima te sensorima punog raspona pH CCD kamere ustanovljeno je kako veću ispravnost i rezoluciju nude fluorometrijski i holografski pH senzori, kao i senzori punog raspona pH CCD kamere, no njihovi složeni optički sustavi ograničavaju mogućnost mjerenja na licu mjesta.[6]

2.1.4. Senzori insekata u i na tlu

Razne štetočine i insekti koji se mogu pronaći u i na tlu, poput moljaca, leptira, muha i drugih predstavljaju direktnu prijetnju kvaliteti i kvantiteti poljoprivrednih usjeva. Trenutno je dostupno nekoliko obećavajućih metoda detekcije insekata: optoelektronički senzori, akustični senzori, senzori impedancije, te nanostrukturirani biosenzori. Jedan od predloženih senzora bio je bimodalni senzor, ili elektronička e-zamka, građen od Fresnelovih leća i uređaja za snimanje

¹ Termoparovi se u poljoprivredi koriste u svrhu prijenosa temperaturnih signala s mjernog mjesta na veću udaljenosti. Proizvode se od različitih kombinacija metala, a maksimalna temperatura koju mjere ovisi o promjeru žice. U poljoprivredi se najčešće biraju radi niskih cijena i širokog temperaturnog područja.

² RTD je senzor za mjerenje temperature tla koji se koristi za veću udaljenosti te čiji se otpor mijenja promjenom temperature, odnosno raste linearno porastom temperature.

zvuka. Navedeni senzor je dovoljno osjetljiv da može zabilježiti zvuk krila kukaca, čime se prilično precizno može procijeniti količina štetočina u tlu. Vibracijski senzori poput akcelerometra i piezo električnih diskova pouzdani su za detekciju na ili ispod tla, dok se ultrazvučni senzori najviše koriste u svrhu otkrivanja štetnika koji napadaju drveće.[6]

2.2. Navodnjavanje

Umjetna metoda dovođenja vode na tlo, sa svrhom poboljšanja količine i kvalitete usjeva, naziva se navodnjavanje. Ona se koristi kako bi se nadopunile oborinske vode, te nadomjestila prirodna vlaga u tlu.

Od ukupne količine vode na Zemlji, samo 3 % čini slatka voda. Od navedenih 3 % pola slatke vode prisutno je na površini, a ostatak čine podzemne vode. Uzevši tu činjenicu u obzir, zaključujemo da za korištenje u poljoprivredi poljoprivrednicima preostaje samo 1.5 % od sveukupne količine vode na zemlji. Istraživanja pokazuju kako bi do 2030. godine moglo doći do velikog nedostatka vode za navodnjavanje što znači da trenutno postoji nedostatak pravih alata kojima bi se pratila potreba usjeva za vodom. Povećana potreba za vodom za navodnjavanje dovest će do toga da će slatka voda biti dostupna samo zemljama koje upravljaju vodnim resursima. Uvođenjem novih tehnika navodnjavanja i podizanjem svijesti o navedenim činjenicama smanjila bi se mogućnost nestašice vode.

Trenutni tradicionalni pristupi kao što su navodnjavanje brazdama, zbog niže efikasnosti dovode do rasipanja vode, kao i do smanjenja hranjivih tvari u tlu, što ostavlja posljedice na poljoprivredu. Uvođenje novih pametnih tehnika navodnjavanja pomoći će u detekciji potreba usjeva za vodom, i uzeti u obzir klimatske uvjete, vrstu tla i prethodnu vlažnost tla. [5]

2.2.1. Navodnjavanje prskalicama

Navodnjavanje prskalicama veliki je napredak naspram tradicionalnog površinskog navodnjavanja. Ono simulira prirodnu kišu ravnomjernim raspršivanjem vode na površinu zemlje u trenucima i količini u kojoj je potrebno. Ovaj način navodnjavanja pogodan je za valovita zemljišta, područja s nedostatkom vode, te plitka i pjeskovita tla.

Jedan od poznatijih sustava navodnjavanja prskalicama je sustav za navodnjavanje sa središnjim zakretanjem (*center- pivot sprinkler irrigation system*). Sustav za navodnjavanje sa središnjim zakretanjem se sastoji od pomične strukture, s cijevi koja se okreće oko središnje okretne točke spojene na dovod vode. Ovaj način navodnjavanja počeo se koristiti 1950-ih, a

sada čini jedan od najpopularnijih sustava navodnjavanja prskalicama zbog svojih brojnih prednosti. Neke od tih prednosti su visoka učinkovitost i ujednačenost, niski troškovi održavanja i upravljanja te mogućnost navodnjavanja neravnih terena. Sustav se kroz polje kreće s pomoću kotača traktora na električnom pogonu. Inicijalno su sustavi za navodnjavanje sa središnjim zakretanjem imali široko razmaknute visoko tlačne udarne prskalice, međutim radi smanjenja isparavanja i energije pritiska sada se više koriste raspršivači s padajućim cijevima. [8]

2.2.2. Navodnjavanje „kap po kap“

Najčešći tip mikronavodnjavanja je navodnjavanje „kap po kap“. Ovaj način navodnjavanja smatra se vrlo učinkovitim zbog manjeg isparavanja nasuprot drugih metoda. Navodnjavanje kap po kap napredna je tehnika kojoj se danas daje prednost u odnosu navodnjavanje prskalicama u održavanju određenih vrsta usjeva. Kod ove vrste navodnjavanja voda se do usjeva dovodi kroz cijevi s rupama koje su ukopane u tlo ili leže malo iznad njega. Voda iz tih cijevi polagano kaplje na korijen i stabljiku usjeva. Korištenjem ove metode navodnjavanja smanjuje se gubitak vode isparavanjem te se voda može usmjeriti samo na biljke kojima je potrebno.[9]

2.3. Robotika u poljoprivredi

Poljoprivredni roboti sve se više razvijaju za potrebe izvođenja operacija precizne poljoprivrede, ili kako bi potpuno zamijenili ili pomogli ljudima u određenim zadacima. Oni se mogu razvrstati u dvije glavne grupe: samohodni mobilni roboti i pametni robotski alati koji se prenose vozilom. Uobičajeni samohodni strojevi koji se koriste u poljoprivredi poput traktora, kombajna i prskalice tijekom posljednjeg desetljeća sve su više robotizirani zahvaljujući *Global Positioning System – u* (GPS), i *Global Navigation Satellite System-u* (GNSS). Tako robotizirani samohodni strojevi danas su komercijalno dostupni te čine većinu poljoprivrednih robota. Robotizacija im je omogućila sposobnost autonomne vožnje u paralelnim redovima unutar polja uz nadzor ljudskog operatera kojem je omogućeno da obavlja zadatke vezane uz uzgoj. Također navedeni roboti mogu se autonomno okretati na rubovima polja te ulaziti u sljedeći red. Tvrtke Kinze Manufacturing, Agointelli, Fendt-AGCO GmbH i Harvest Automation posljednjih nekoliko godina su prezentirale autonomne traktorske robote bez kabine koji prvenstveno obavljaju operacije vezane uz ratarstvo i poljodjelstvo u kojima je potrebna veća snaga (oranje, žetva, sjetva, gnojidba i transport). Uz to postoje i mali samohodni mobilni roboti koji se koriste za operacije manje snage poput izviđanja i uklanjanja korova.

Većina robota poljoprivredne namjene još uvijek su istraživački prototipovi, ali na tržištu je dostupna nekolicina mobilnih robotskih sustava koji se koriste za sjetvu.

Pametni robotski alati, nošeni vozilom, razvijaju se za razne primjene u poljoprivredi, a komercijalno dostupni roboti koriste se za operacije poput presađivanja, prorjeđivanja, te mehaničkog plijevljenja. Mnogi robotski sustavi trenutno su u pred-komercijalnoj fazi, a razvijaju se za potrebe berbe voća u voćnjacima, obrezivanje vinove loze u vinogradima, te ostale slične operacije. Tablica 1. prikazuje različita područja primjene poljoprivrednih robota. [10]

Tablica 1. Prikaz područja primjene različitih poljoprivrednih robota

Robot	Primjena
Demeter	Primarno namjenjen za žetvu
Robot Oz	Namjenjen za male vrtove, suzbijanje korova
Robot Dino	Suzbijanje korova, koristi se na velikim povrtnim kulturama
Ted	Suzbijanje korova u vinogradima i voćnjacima
Robot ARA	Identifikacija i ciljano uništavanje korova preziznom količinom herbicida
Tertill	Uklanjanje korova
RoboMax	Mužnja krava

Izvor: [11]

Jedan od robota koji se koristi u poljoprivredi poznat je kao Demeter. Njegova primarna namjena je za žetvu, a sastoji se od dvije kamere koje uz pomoć inteligentnih sustava mogu prepoznati zreli usjev.

Prvi autonomni robot za suzbijanje korova proizveden je u Francuskoj. Robot Oz namijenjen je za male vrtove, Dino za velike povrtno kulture te Ted za vinograde i voćnjake (Slika 1.). Samostalni robot Oz s četiri elektromotora i četiri pogonska kotača znatno lakše i jednostavnije suzbija korov zbog svog visokog stupnja preciznosti (Slika 2). Robot Dino ima vrijeme autonomije između šest i osam sati, a koristi se na raznim usjevima poput salate, paprike, rajčice, kupusa, češnjaka i celera (Slika 3). Vrijeme autonomije ovisi o uvjetima tla na kojem robot radi, te o broju alata koji istovremeno koristi. Švicarski robot ARA s pomoću solarnog pogona i umjetne inteligencije samostalno se kreće poljem, identificira korov, te ga ciljano uništava upotrebom precizne količine herbicida. Tako se količina upotrijebljenog herbicida smanjuje za čak 20 puta. Samostalno kretanje poljem s čak 12 sati autonomije

omogućuju mu kamere, GPS senzor i solarni pogon. Među novijim robotima za uklanjanje korova našao se i Tertill, robot koji se sastoji od senzora, rezača korova, solarne ploče, zvučnika, indikatora statusa robota, gumba za napajanje, ručke i kotača. Tertill-ova funkcija je da se samostalno kreće zasijanom površinom, te s pomoću senzora analizira usjeve u svojoj okolini, a sve što je ispod 5 centimetara visine i identificirano kao korov uklanja svojim rezačem.[11]



Slika 1. Robot Ted, [11]



Slika 2. Robot Oz, [11]



Slika 3. Robot Dino [11]

Uz robote, kao pomoć u poljoprivredi, svoje mjesto našlo je i robotsko odijelo. Robotsko odijelo jedna je od novijih tehnologija koja povezuje čovjeka i robotski sustav. Prvenstveno je dizajnirano za teške zadatke vezane uz poljoprivredu, a sastoji se od osam motora koji su postavljeni na ramena, laktove, leđa i koljena. Trenutni modeli robotskih odijela teže približno 26 kilograma.[11]

2.4. Dronovi u poljoprivredi

Dronovi poznatiji kao bespilotne letjelice koriste se u brojnim područjima, a jedno od njih je i pametna poljoprivreda. Oni se mogu integrirati s novim tehnologijama, računalima i različitim sensorima te se tako koristiti u nekim poljoprivrednim aktivnostima poput procjene prinosa i nedostatka vode, praćenje usjeva i rasta te otkrivanje korova i štetočina. Poljoprivredni dronovi obično su dizajnirani s ugrađenim sensorima koji poljoprivrednicima pružaju informacije o statusu njihovih usjeva ili kretanju stoke. S pomoću dobivenih informacija poljoprivrednici imaju priliku pravodobno donijeti kvalitetnije odluke, i upravljati svojim posjedima učinkovito i precizno. Njima je moguće upravljati daljinski putem bežične mreže ili se unaprijed programira željena ruta uz pomoć navigacijskih algoritama. Naknadno se mogu opremiti dodatnom opremom za digitalno snimanje poput višespektralnih sustava s kamerama visoke rezolucije. Podacima prikupljenim s pomoću kamera na dronu i njihovom analizom poljoprivrednici mogu precizno izračunati veličinu svog posjeda, razviti karte istoga, klasificirati sorte usjeva te ih pravilno zaštititi od štetočina.

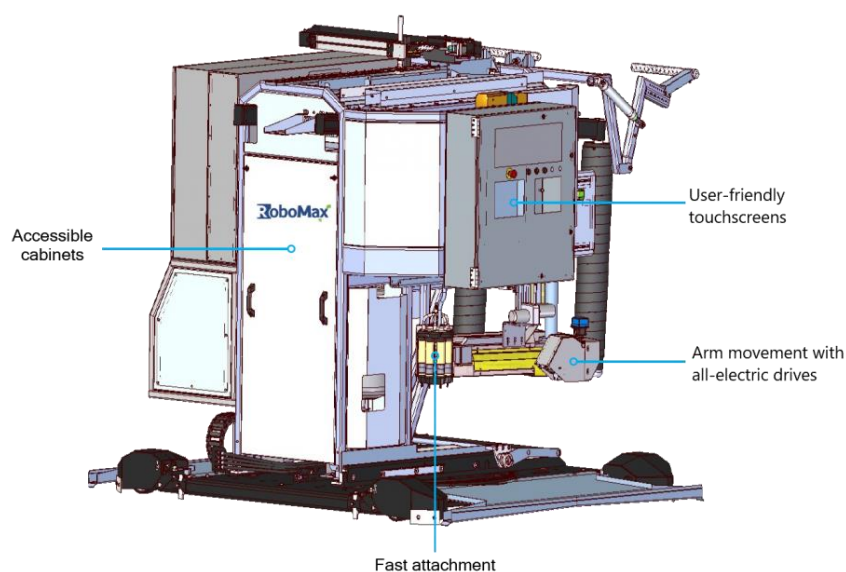
Jedna od vrsta dronova koja se koristi u poljoprivredi je multi-rotor. Multi-rotor prvenstveno je lansiran u Kini, a primarna svrha mu je zaštita usjeva na poljima. Sadrži spremnik za herbicide od 5 do 10 litara koji omogućuje tretiranje čak do jednog hektra riže u 10 do 15 minuta. Leti i slijeće autonomno, prati teren i održava konstantnu visinu nad usjevom uz pomoć senzora visine, a noviji modeli programirani su za izbjegavanje prepreka tijekom leta. Još jedna zanimljivost u vezi multi-rotor dronova je da mogu letjeti pojedinačno ili u grupama nebitno radi li se o danu ili noći.

DJI Agras MG-1 dronovi lansirani su 2017. godine a dizajnirani su za primjenu tekućih pesticida, herbicida i gnojiva. Pogonski sustav ovih dronova omogućuje im da nose do 10 kila tekućeg tereta kako bi pokrili površinu od 4000 do 6000 metara kvadratnih u 10 minuta. Sustav raspršivanja automatski se prilagođava brzini leta kako bi se osigurao ravnomjeran nanos.[12]

2.5. Praćenje stoke

Korištenje tehnologije koja pomaže pri nadzoru i upravljanju životinjama naziva se precizno stočarstvo (engl. *Precision Livestock Farming*). Ključna riječ u ovom nazivu je „pomoć“ zato što precizno stočarstvo primarno nije namijenjeno kako bi zamijenilo ljude, već kao pomoćni alat za nadzor stoke, te omogućilo stočarima da dobiveno vrijeme utroše na korisnije radnje. Osim što se tehnologije preciznog stočarstva koriste radi poboljšanja i dobrobiti zdravlja životinja, korist su pronašle i u poboljšanju proizvodnje. Različite

tehnologije koje se koriste za praćenje ponašanja stoke možemo podijeliti u tri kategorije, ovisno o tome na kojoj udaljenosti od stoke se nalaze. U prvoj kategoriji nalaze se one pričvršćene na stoku kao što su akcelerometri; drugu kategoriju čine uređaji u interakciji sa stokom (korita za hranu postavljena na vagu te senzori za detekciju prisutnosti), i treća kategorija su uređaji udaljeni od stoke (video i zvučno snimanje). Najučinkovitije je korištenje kombinacije sve tri kategorije. Komercijalne verzije akcelerometara IceTags i Hobo logger prikupljaju podatke uz pomoć unaprijed postavljenih algoritama. [13]



Slika 4. RoboMax, [11]

Od tehnologija koje se koriste u preciznom stočarstvu često su u uporabi i robotske muzare. Robotska mužnja izuzetno dobro je prihvaćena u zapadnoj Europi kao metoda koja je dovela do smanjenja rada i povećanja proizvodnje na farmama mlijeka. U 2009. godini ova tehnologija bila je korištena na 8000 farmi mlijeka diljem svijeta, a smatra se da se tijekom prethodnih šest godina broj farmi koje koriste robotske muzare utrostručio. Slika 4. prikazuje jedan od robota dizajniranih za mužnju krava, a nazvan je RoboMax. Ovaj robot se kreće od krave do krave, laserskim sustavom odredi njihov položaj vimena, robotskom rukom pojedinačno čisti vime, i nakon toga svaku šalicu pričvrsti za vime, a tijekom mužnje analizira mlijeko. Analiza mlijeka radi se u svrhu dobivanja informacija o količini i kvaliteti dobivenog mlijeka.[11]

Još neke od tehnologija koje se koriste u preciznom stočarstvu su: automatske hranilice, ogrlice aktivnosti, elektronička identifikacija/elektroničke ušne oznake, automatizirane kamere za detekciju težine, mikrofoni za otkrivanje respiratornih problema.[13]

Tablica 2. Usporedba prednosti i nedostataka informacijsko-komunikacijskih tehnologija u agrikulturi

Informacijsko-komunikacijska tehnologija	Uloga	Prednosti	Nedostaci
Senzori vlage u tlu	Procjena količine vode u tlu, informacije o količini i vremenu navodnjavanja za uspješan rast usjeva	Niska cijena, točnost, visoke performanse	Mogućnost utjecaja okolišnih promjena na performanse senzore
Senzori temperature tla	Pružanje informacija o temperaturi tla	Termoparovi – brze reakcije na temperaturne promjene, jednostavna automatizacija Detektori temperature otpora – veća točnost, bolja stabilnost i ponovljivost u temperaturnim mjerenjima	Termoparovi – zahtijevaju dugačke kablove za mjerenje na velikim udaljenostima i specifičnu kalibraciju sustava za točno mjerenje Detektori temperature otpora – krhki, zahtijevaju zaštitu u sondama
Senzori pH vrijednosti	Pružanje informacija o kiselosti ili alkalnosti tla, pružanje informacija za kontrolu zdravlja tla za uzgajanje određenih usjeva	Precizna i točna mjerenja pH vrijednosti, mjerenje širokih raspona pH vrijednosti, mogućnost kalibriranja radi osiguranja točnih očitovanja	Visoka cijena, zahtijevanje redovite kalibracije radi točnosti očitavanja, osjetljivi na lomljenje kod nepravilnog

			skladištenja i rukovanja
Navodnjavanje prskalicama	Ravnomjerno raspršivanje vode na površinu zemlje u trenutcima i količini koja je potrebna	Pogodan za navodnjavanje različitih zemljišta (valovita, plitka, pjeskovita), jednostavnost postavljanja, jednaka raspodjela vode, prilagodljiv na velika i mala područja	Visoke cijene opreme, potrebno stalno napajanje, mogućnost začepljenja mlaznica prskalice, moguće ometanje vjetra
Navodnjavanje „kap po kap“	Navodnjavanje usjeva provođenjem cijevi s rupama iz kojih voda kaplje na korijen i stabljiku biljke	Manje isparavanje u usporedbi s drugim metodama, smanjenje gubitka vode, usmjeravanje vode isključivo na biljke kojima je potrebna, precizno doziranje vode, mali troškovi održavanja	Mogućnost začepljenja otvora, nepogodan na velike površine, dijelovi sustava ometaju kretanje uređaja i vozila
Roboti	Izvođenje operacija precizne poljoprivrede (suzbijanje korova, plijevljenje, presađivanje)	Fleksibilnost, preciznost, brzina izvođenja zadataka, ušteda vremena, rad s malo pogrešaka	Visoke nabavne cijene, visoke cijene održavanja
Dronovi	Izvođenje operacija precizne poljoprivrede (procjena prinosa, praćenje usjeva, otkrivanje korova i štetočina)	Mogućnost integracije s novim tehnologijama i računalima, jednostavnost korištenja, točnost,	Visoke cijene, utjecaj vremenski uvjeta na rad, zahtjeva određeno znanje i vještine upravljanje, ometanje letjelica s posadom ako im se nađe na putanju

Izvor: [6], [7], [8], [9], [11], [12]

U Tablici 2. nalaze se neke od prednosti i nedostataka različitih informacijsko-komunikacijskih tehnologija koje se trenutno koriste u agrikulturi.

2.6. Pokretne (mobilne) mreže

Pokretne ili mobilne mreže široko su rasprostranjene i omogućuju, ako je dostupno, povezivanje senzorskih mreža koje su na udaljenoj lokaciji. Kada se govori o poljoprivrednoj senzorskoj mreži obično ne govorimo o prijenosu velike količine podataka što znači da su za poljoprivredu prikladne sve generacije mobilnih mreža (2G, 3G, 4G, 5G). Ako je potreban prijenos većih količina podataka poput slika ili videa bolje je koristiti novije generacije mobilnih mreža koje pružaju veću podatkovnu propusnost, 4G i 5G.

2.7. IEEE 802.11 mreže (Wi - Fi) i Bluetooth

Iako se primarno ne koriste u pametnoj poljoprivredi, Wi-Fi i Bluetooth mreže mogu biti korisne za ad-hoc komunikaciju između čvorova te njihovo povezivanje na udaljeni mrežni prespojnik. Bluetooth je primarno namijenjen za povezivanje manjih uređaja na kratkim udaljenostima, a prikladan je za primjenu u poljoprivredi, posebice varijanta Bluetooth 4.0 (BLE). [14]

3. PROBLEMI I PRIMJENA KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA U AGRIKULTURI

Neka od glavnih područja primjene komunikacijskih tehnologija u poljoprivredi su navodnjavanje, upravljanje tlom, te precizna i pametna poljoprivreda koja poljoprivrednicima omogućuju smanjenje mjesečnih troškova, štednju prirodnih resursa i povećanje produktivnosti usjeva. [15]

Brojna istraživanja i studije analizirale su koristi korištenja informacijskih i komunikacijskih tehnologija u poljoprivredi. Većina tih studija navodi da informacijsko-komunikacijske tehnologije poljoprivrednicima omogućuju pristup novim i inovativnim poljoprivrednim tehnologijama, razmjenu informacija i znanja, uštedu troškova, pristup raznim tržištima, te općenito učinkovitije upravljanje poljoprivredom. Informacijsko-komunikacijske tehnologije navedene u prethodnom poglavlju poljoprivrednicima omogućuju i olakšavaju prikupljanje, izmjenu i upravljanje informacijama na temelju kojih kasnije mogu stvoriti profitabilniju te ekološki i društveno prihvatljiviju poljoprivredu.

Na temelju navedenih informacija može se zaključiti da postoje brojne dobrobiti koje proizlaze iz primjene informacijsko-komunikacijskih tehnologija u poljoprivredi. Neke od tih dobrobiti su: povećanje operativne radne snage, porast profita, razmjena informacija i poboljšanje ekonomskog rasta.[16]

Razvoj senzora i senzorskih tehnologija uvelike je doprinio implementaciji precizne poljoprivrede. Preciznu poljoprivredu može se definirati kao koncept koji omogućuje upravljanje poljoprivredom temeljen na promatranju, mjerenju i reagiranju na varijabilnost parametara vezanih uz kvalitetu usjeva. Primjena senzora u poljoprivredi omogućuje sakupljanje i bilježenje informacija vezanih uz usjeve u stvarnom vremenu. Senzori poljoprivrednicima olakšavaju prikupljanje informacija o stanju tla, biljaka, štetočinama i korovima, te tako osiguravaju optimalno korištenje resursa i značajnu uštedu vremena, što njihovu poljoprivredu čini profitabilnijom. Smatra se da poljoprivrednici koji koriste senzorske i ostale tehnologije na učinkovit način postižu veće prinose u usporedbi s poljoprivrednicima koji primjenjuju primitivnije prakse. [17] Podaci koji se prikupljaju uz pomoć senzora pružaju bitne informacije poljoprivrednicima, i time olakšavaju donošenje odluka vezanih uz usjeve. Tako se smanjuje rizik od donošenja krivih odluka koje bi ostavile posljedice u proizvodnji hrane pa tako i financijske posljedice. Senzori i senzorske tehnologije optimiziraju proizvodnju

hrane čime se smanjuju proizvodni defekti i hrana neprikladna za konzumaciju, povećava profit za poljoprivrednike i poboljšava održivost poljoprivrede.[18]

Osim u uzgoju peradi, stoke i akvakulturi, Poljoprivredni roboti se koriste i za fenotipizaciju, mapiranje, praćenje, upravljanje usjevima i okolišem, te brojne druge poljoprivredne operacije. Osim na otvorenom polju, mogu se primjenjivati u poluotvorenoj proizvodnji u staklenicima, te potpuno zatvorenoj tvorničkoj proizvodnji. Neki od zadataka koje obavljaju su oranje, gnojidba, sadnja, žetva, oprашivanje, prskanje, te sortiranje. Roboti male veličine lako se kreću između redova u poljima te tako obavljaju zadatke poput okopavanja, plijevljenja korova, prskanja pesticidima i gnojivima, sijanje sjemena, rezanje usjeva, te branje voća. Primjenom robota i umjetne inteligencije u poljoprivredi primijećen je napredak u proizvodnji, kvaliteti usjeva, smanjenje potrebne radne snage, te povećanje prihoda poljoprivrednika. U zatvorenoj proizvodnji umjetna inteligencija i roboti omogućuju kontrolu vlažnosti, temperature i svjetla. Inteligentni robotski sustavi poljoprivrednicima također uvelike pomažu u planiranju poljoprivrednih zadataka i rješavanju problema vezanih za usjeve. Sve gore navedeno poboljšava tehničku i ekonomsku učinkovitost poljoprivrede. [19], [20]

Bespilotne letjelice (dronovi) se smatraju učinkovitim alatom precizne poljoprivrede. Zbog mogućnosti nadogradnje dodatnom opremom poput GPS uređaja ili multispektralnih i RGB kamera, primjena im je višestruka. Najčešća polja primjene dronova su mapiranje terena, detekcija štetočina, utvrđivanje potreba za navodnjavanjem, prihrana, te raspršivanje bioloških i kemijskih sredstava za zaštitu usjeva. Prednost bespilotnih letjelica je dug period letenja, mogućnost snimanja velikih površina, te prijenos tereta, stoga primjena bespilotnih letjelica dovodi do smanjene potrebe za fizičkim radom, modernizacije poljoprivrede i njene proizvodnje, povećanja produktivnosti i smanjenja troškova.[21]

Iako su komunikacijske tehnologije dovele do značajnih napredaka u poljoprivredi pružajući korisne informacije za poboljšanje uzgoja i kvalitete usjeva, još uvijek postoji niz problema, ograničenja i izazova s kojima se poljoprivrednici susreću. Prvi od tih izazova su troškovi. Implementacija različitih komunikacijskih tehnologija usko je povezana s velikim troškovima jer mogućnost korištenja istih od poljoprivrednika zahtjeva značajnu investiciju. Osim troškova raznih uređaja, infrastrukture, hardvera, softvera i sličnog, postoje troškovi vezani za razvoj, održavanje i implementaciju tih tehnologija na njihovim zemljištima. Značajan je i izazov vezan za sustave i njihovu prilagodbu, kako različitim terenima tako i tehnologijama u blizini. Komunikacijske tehnologije se najviše primjenjuju u ruralnim

područjima, stoga bi inženjeri koji razvijaju sustave trebali pripaziti da oni budu što jednostavniji, s obzirom na to da su krajnji korisnici poljoprivrednici koji nisu nužno informatički informirani.

Pouzdan prijenos podataka je još jedan čimbenik koji utječe na dostupnost informacija, i indirektno omogućuje donošenje odgovarajućih odluka u pravo vrijeme, stoga je neispravno očitavanje podataka značajan izazov korištenja tehnologije u poljoprivredi, jer neispravno očitani podaci smanjuju pouzdanost sustava. Isto tako cjelovitost podataka smatra se izazovom radi raznih kvarova sustava, problema s baterijom i sličnih intervencija. Istovremeno komunikacijske tehnologije korištene u poljoprivredi prikupljaju veliku količinu podataka gdje nailazimo na problem pohrane istih. Osim pohrane, tako velika količina podataka zahtjeva i dovoljno resursa za njihovu analizu.

Kao jedan od najvećih izazova pametne poljoprivrede smatra se nedostatak interoperabilnosti. S obzirom na to da se pri projektiranju sustava koriste heterogeni uređaji iznimno je bitno integrirati njihove različite komunikacijske standarde za interakciju. Interoperabilnost je važna radi održavanja učinkovite komunikacije i dijeljenja podataka između uređaja, a njen nedostatak ne samo da sprečava usvajanje novih tehnologija već utječe na produktivnost i kvalitetu usjeva.[22]

Osim troškova, problema oko pouzdanosti podataka, složenosti tehnologija i njihove interoperabilnosti postoji još veliki niz izazova s kojima se treba pozabaviti kako bi pametna poljoprivreda imala još bolje i kvalitetnije rezultate. U daljnjem tekstu dotaknut ćemo se još nekolicine tih izazova i problema.

- Potrošnja energije - Bežični uređaji koji se koriste u pametnoj poljoprivredi su nezamjenjivi, stoga se potrebno posvetiti pronalasku rješenja za smanjenje potrošnje energije i produljenje trajanja baterije.
- Hardver – Hardver i ostala oprema IoT uređaja izravno je izložena različitim vremenskim uvjetima poput visokih temperatura, vlažnosti zraka, kiše, vjetrova i brojnih drugih vremenskih nepogoda koje mogu dovesti do njihova oštećenja ili uništenja.
- Umrežavanje - S obzirom na to da komunikacija putem fizičkih kablova dovodi do velikih troškova, sve se više koristi bežične komunikacije u pametnoj poljoprivredi. Problem nastaje onda kada signali nisu dovoljno jaki pri dolasku

na primopredajnik, a degradacija signala često je uzrokovana raznim preprekama na koje signal nailazi u okolišu.

- Komunikacijski signal – S obzirom na to da se poljoprivreda provodi u ruralnim dijelovima snažna i pouzdana internetska veza nije zagarantirana, što otežava implementaciju pametne poljoprivrede na takvim područjima, ako je internetska veza potrebna za prikupljanje podataka.
- Obrazovanje – Poljoprivrednici su najčešće slabije obrazovani u području visoke tehnologije. Zbog čega se educiranost poljoprivrednika smatra jednim od glavnih izazova pametne poljoprivrede. Pобољшanje njihove educiranosti o IoT tehnologijama pomoglo bi im da učinkovitije vode svoje posjede te povećaju kvalitetu i količinu proizvodnje te samim time i vlastite prihode.[23]

4. ZNAČAJ IoT -A ZA AGRİKULTURU

Kada se govori o „Internetu stvari“ ili IoT-u zapravo se govori o tehnologiji koja omogućuje razmjenu podataka u stvarnom vremenu, prikupljenih s pomoću senzora instaliranih na različitim uređajima ili objektima. Može se koristiti u mnogim područjima i industrijama za prikupljanje i obradu podataka, računalstvo u oblaku i slične operacije. Dosadašnje tehnologije omogućavale su manipuliranje informacijama, odnosno njihovo prikupljanje, primanje i slanje, ali primarno s pomoću ljudske intervencije. Zato se IoT smatra napretkom zbog svoje mogućnosti razmjene informacija, uz pomoć bežične komunikacije senzora spojenih na mrežu, te ostalih sličnih tehnologija koje ne zahtijevaju ljudsku intervenciju. Koristi se u mnogim područjima, a neka od njih su gradovi, transport, pametno zdravstvo, upravljanje otpadom i poljoprivreda.

Već prethodno spomenuti rast populacije, koji do 2050. godine predviđa povećanje za 2 milijarde novih stanovnika, očekuje da ga poljoprivredna proizvodnja prati kako bi se osigurale dovoljne količine hrane za cijelu populaciju. Uz pomoć IoT tehnologija moguće je uvelike automatizirati poljoprivredne procese, čime bi se efektno mogla povećati njena ukupna proizvodnja. Primjena IoT -a doprinijela je razvoju nove, modernije i pametnije poljoprivrede, a primjenjuje se u brojnim procesima poput praćenja i upravljanja farmom, kontroli navodnjavanja i okoliša, praćenja stoke te autonomnih poljoprivrednih strojeva i bespilotnih letjelica. Njegova primjena pridonosi poljoprivredi i poljoprivrednicima tako što između ostalog omogućuje praćenje usjeva, prikupljanje bitnih informacija i generiranje karata u stvarnom vremenu, čime se ostvaruje jednostavnija kontrola nad poljoprivrednim posjedom. Posljednjih godina, uslijed napretka u senzorskim i mrežnim tehnologijama, razvile su se različite vrste senzora koje su postale dostupne poljoprivrednicima. Uzimajući u obzir nedostatke svake od tih tehnologija, kao i uvjete i okruženja svojih farmi, poljoprivrednici generalno odabiru one koje su najpogodnije za njihove potrebe, te ih implementiraju na svojim posjedima. [24]

Može se zaključiti kako su IoT tehnologije uvelike olakšale poljoprivredne procese i učinile ih puno efikasnijima. Prije uvođenja novih tehnologija poljoprivrednici su velik dio vremena odvajali za poljoprivredne procese poput gnojidbe, navodnjavanja, sadnje, plijevljenja, te prskanja pesticidima, jer su ih morali obavljati ručno. IoT tehnologija olakšala je poljoprivrednicima posao štedeći im vrijeme i resurse, a istovremeno postižući veću kvalitetu usjeva. Neka od područja koja su olakšana zbog upotrebe IoT -a bit će opisana u daljnjem tekstu.

- Prikupljanje podataka – senzori postavljeni na polju ili na farmi prikupljaju podatke vezane za sastav i kvalitetu tla, klimatske uvjete, zdravlje usjeva, prisutnost štetočina koji se onda automatski pohranjuju i obrađuju. IoT tehnologija također omogućuju stvaranje grafikona i tablica s prikupljenim informacijama koji poljoprivrednicima pomažu poboljšati strategiju za razvoj poljoprivrede.
- Smanjenje otpada – IoT tehnologije uz pomoć senzora koji otkrivaju zaraze, oštećenja ili infekcije prouzrokovane od strane insekata omogućuju očuvanje usjeva. Također senzori mogu prikupiti informacije o stanju tla na temelju kojih poljoprivrednici učinkovitije koriste gnojivo i tako smanjuju količine otpada na farmi.
- Manja potrošnja energije – koristeći IoT prikupljaju se informacije u stvarnom vremenu koje se onda analiziraju i omogućuju donošenje ispravnih odluka o racionalnoj raspodjeli resursa (vode, energije) i tako optimiziraju korištenje istih. Na primjer senzori koji detektiraju vlagu u tlu dati će do znanja poljoprivrednicima kada postoji potreba za navodnjavanjem te se tako neće trošiti voda kada za to nema potrebe.
- Daljinski nadzor farme – mogućnost praćenja farme i usjeva 24 sata dnevno s bilo kojeg mjesta uvelike je olakšao posao poljoprivrednicima; daljinski nadzor omogućio je da su im u svakom trenutku dostupne informacije na temelju kojih mogu donijeti ispravne odluke za uspješnu proizvodnju.
- Smanjenje troškova – sve gore navedene koristi primjene IoT-a u poljoprivredi, osim što dovode do bogatije i kvalitetnije proizvodnje, također utječu na smanjenje troškova.[25]
- Praćenje stoke – IoT uređaji osim što se mogu koristiti za praćenje usjeva na poljima također mogu pratiti zdravlje i ponašanje stoke, što uključuje vitalne znakove, njihovu aktivnost tijekom dana, te obrasce hranjenja. S pomoću ovih informacija rano se mogu prepoznati znakovi bolesti, pratiti zdravlje cijelog stada, te tako utjecati na opću dobrobit životinja.
- Optimizacija lanca opskrbe – IoT tehnologije koriste se i u svrhu praćenja proizvoda od trenutka kada napuste farmu, pa sve do tržnice, čime je moguće osigurati optimalne uvjete tijekom transporta, ali i u skladištima, te tako produžiti rok trajanja proizvodima. [26]

Tablica 3. Sumirani prikaz pilot istraživanja i njihovih uspjeha u agrikulturi

Pilot istraživanje	Rezultat istraživanja
Tajvan, platforma AgriTalk za praćenje stanja tla; 2018.	Povećanje klorofila u biljkama, ušteda vode
Brazil, AgriPrediction za mjerenje temperature i vlažnosti tla; 2018.	Porast veličine i težine lista rikole
Tajland, uz pomoć bežične mreže senzora dizajniran sustav za praćenje potrošnje vode na cijelom polju; 2019.	Dobivene informacije o vlažnosti tla potrebnoj za rast limuna, te temperaturi tla potrebnoj za rast povrća i limuna
Indija, FarmFox automatizirani sustav za praćenje zdravlja tla; 2020.	Pružanje informacija o uvjetima okoline u stvarnom vremenu, pomoć u donošenju odluka u skladu sa situacijom.

Izvor: [27] [28]

U tablici 3. prikazano je nekoliko pilot projekata koji demonstriraju postignute uspjehe u implementaciji IoT-a u poljoprivredi. Pa tako je primjerice na Tajlandu, uz pomoć bežične mreže senzora, dizajniran sustav kojim se prati potrošnja vode na cijelom polju. Sustav je bio implementiran i testiran na tri različita polja, a s pomoću njega su prikupljane informacije o vlažnosti tla potrebnoj za rast limuna, te o temperaturi tla koja bi povećala produktivnost rasta povrća i limuna. Nadalje, na Tajvanu je razvijena platforma AgriTalk 3 koja prati stanje tla. Ova platforma je testirana na poljima na kojima se uzgaja kurkuma, a dovela je do povećanja klorofila u biljkama s 40 % na 60 %, uštede vode od 70 %, te povećanja koncentracije kurkumina nakon šest mjeseci. U Brazilu je predstavljen AgriPrediction³, kao sustav za mjerenje temperature i vlažnosti tla. Njegovom implementacijom veličina lista rikole porasla je za približno 18 %, a težina za približno 15 %. Na polja u Indiji implementiran je IoT uređaj FarmFox koji je uz pomoć senzora pratio zdravlje tla. Eksperiment je proveden u razdoblju od siječnja 2020. godine do ožujka 2020. godine, a dokazao je kako je FarmFox uređaj koji uspješno prati zdravlje tla, te tako poljoprivrednicima omogućuje donošenje mudrijih odluka. [27] (28)

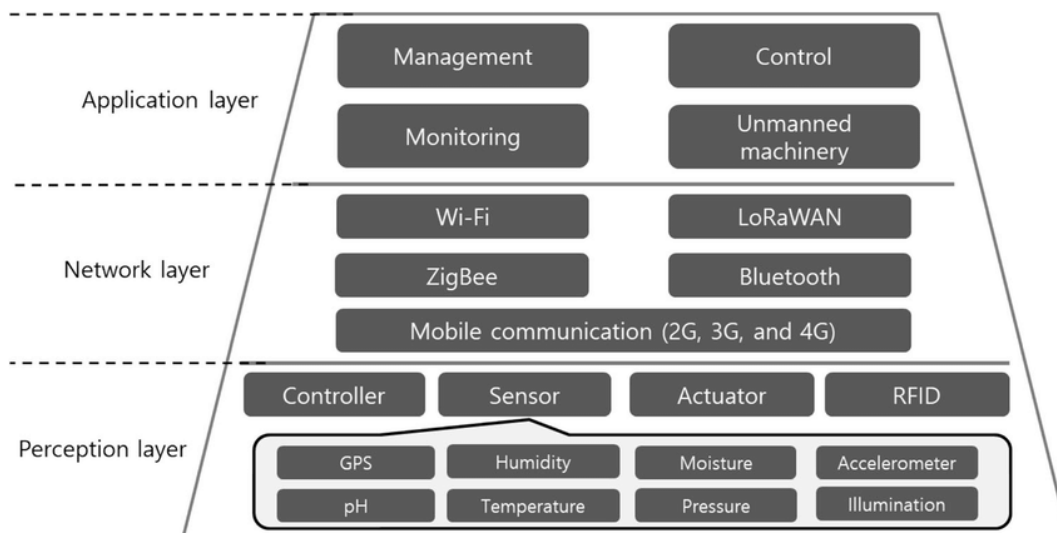
³ AgriPrediction predstavlja okvir pomoću kojeg se prikupljaju podaci o određenom usjevu sa svrhom predviđanja budućih komplikacija. Koristi brojne senzore raspoređene na ciljanom području.

5. TIPOVI IoT UREĐAJA I OBRADA PODATAKA

Sve većim prihvaćanjem Interneta stvari (IoT- a) povezani uređaji prodiru u gotovo sva područja našeg života stoga je logično da svoju primjenu pronalaze i u poljoprivredi. Kako virtualna stvarnost i samovozeći automobili više nisu dio mašte ili znanstvene-fantastike tako se ne može ostaviti poljoprivrednike da se i dalje oslanjaju na korištenje tradicionalnih farmerskih metoda prethodnih stoljeća. Nije nepoznanica kako je posljednjih desetljeća poljoprivreda doživjela procvat i velike tehnološke napretke, te tako postala industrijalizirana i vođena tehnologijom. Sve to dovelo je do bolje kontrole uzgoja stoke i usjeva, te generalno značajnog napretka učinkovitosti poljoprivrednih procesa. Navedeni uspjesi pozitivno djeluju na entuzijazam i potražnju poljoprivrednika za raznim poljoprivrednim tehnologijama, što dovodi do povećanog širenja tehnologija pametne poljoprivrede diljem svijeta. [28]

Implementacija Interneta stvari u poljoprivredi dovela je do prikupljanja velikog broja dinamičnih, kompleksnih, prostornih podataka. Prikupljanje tako velikog broja podataka zahtjeva daljnju obradu i pohranu, što može biti zahtjevan proces s obzirom na to da podaci mogu biti prikupljeni u obliku teksta, slika, zvuka ili videa. Osim raznih formata podataka, njihov kontekst se može odnositi na povijesne podatke, poslovne ili tržišne, podatke sa senzora, ili podatke u stvarnom vremenu.

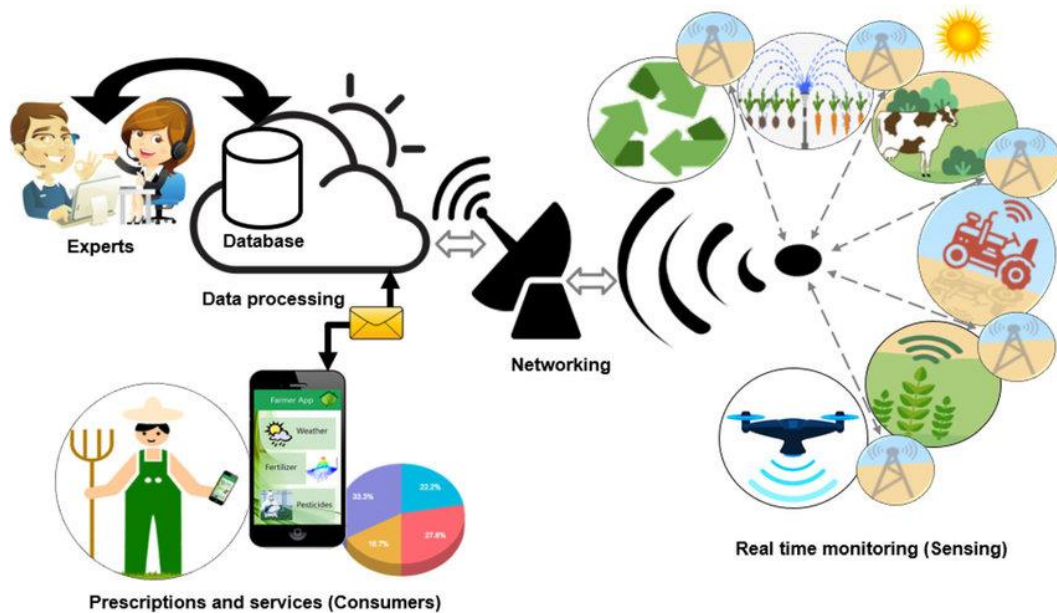
IoT arhitektura može se podijeliti na tri sloja: sloj percepcije koji prepoznaje podatke; mrežni sloj koji prima i prenosi podatke; te aplikacijski sloj za poljoprivredne aplikacije (Slika 5.). Ukratko, u percepcijskom sloju se nalaze senzorski čvorovi postavljeni na različitim lokacijama poljoprivrednog posjeda; npr. u blizini usjeva, stoke, u staklenicima ili na poljoprivrednim strojevima - kako bi aktivno bilježili različite parametre u stvarnom vremenu. Zabilježeni podaci dalje se prenose prema lokalnom pristupniku, koji je dio mrežnog sloja, i koji te podatke prima i učitava „oblak“ uz pomoć dostupnih bežičnih mreža.



Slika 5. Arhitektura Interneta stvari, [30]

Primarni zadatak percepcijskog sloja je prepoznati različita svojstva, što znači da se sastoji od velikog broja raznolikih senzora, poljoprivrednih strojeva, kontrolera, aktuatora, te drugih relevantnih uređaja. U poljoprivredi je ključno koristiti veliki broj raznolikih senzora da bi se omogućilo praćenje mnogobrojnih varijabli od interesa koje je potrebno uzeti u obzir (vlaga, temperatura, tlo, atmosfera, voda), međutim najčešće su korišteni samo senzori temperature, vlage, tlaka i pH. Sve informacije prikupljene od strane senzora prvo se pohranjuju na lokalnom poslužitelju, nakon čega slijedi analiza pohranjenih informacija sa svrhom uklanjanja grešaka, dok se na kraju precizni i točni podaci kodiraju i prenose na poslužitelj u oblak. Nakon percepcijskog sloja, podaci prikupljeni u stvarnom vremenu dolaze u mrežni sloj, gdje se obrađuju i prenose dalje sve do aplikacijskog sloja uz pomoć interneta, telekomunikacijskih mreža i lokalnih mreža. Mrežni sloj sadrži mikroprocesor ili mikrokontroler, koji se koristi komunikacijskim modulom kako bi podatke dobivene od percepcijskog sloja poslao u aplikacijski sloj putem nekog od dostupnih medija. Mediji kojima se podaci mogu prenijeti do aplikacijskog sloja su 3G/4G/5G, Wi-Fi, Bluetooth, IEEE-802.11 i ZigBee. Osim što služi za slanje podataka od percepcijskog sloja sve do aplikacijskog sloja, mrežni sloj prenosi i kontrolne naredbe aplikacijskog sloja natrag do percepcijskog sloja kako bi se povezani uređaji mogli aktivirati. Zadnji sloj u IoT arhitekturi je aplikacijski sloj. On čini najvišu razinu IoT arhitekture, te je odgovoran za obradu i analizu podataka, ocjenu sustava, predviđanje budućih trendova, donošenje odluka na temelju prijašnjih iskustva te slanje poruka krajnjim korisnicima. Uključuje razne inteligentne sustave za upravljanje cijelom

poljoprivredom. Dakle može se reći kako aplikacijski sloj koristi softver za dešifriranje i pohranjivanje podataka za daljnju upotrebu. Slika 6. prikazuje način prijenosa podataka putem IoT tehnologija u agrikulturi.[29], [30]



Slika 6. Prijenos podataka u agrikulturi, [30]

Vjerojatno najpopularnijim tipom IoT uređaja u pametnoj poljoprivredi smatraju se meteorološke stanice, koje se u kombinaciji s raznim sensorima postavljaju na poljima, a podatke prikupljene iz okoline šalju u oblak. Radi se o integriranom sustavu meteoroloških instrumenata koji prikuplja informacije o parametrima okoliša, a obično uključuje senzore za temperaturu, brzinu i smjer vjetra, vlažnost, količinu padalina, sunčevo zračenje i slično. [31]

Princip rada jedne takve stanice uključuje prikupljanje, obradu, tumačenje i prezentaciju podataka. Podaci se prikupljaju s pomoću senzora spojenih na meteorološku stanicu. Prikupljanje se odvija kontinuirano i u stvarnom vremenu, svih meteoroloških parametara bitnih za poljoprivredu. Senzori u polju postavljaju se strateški sa svrhom osiguranja reprezentativnih mjera. Prikupljeni podaci se obrađuju interno na samom uređaju ili se prenose u središnji sustav, te se s pomoću algoritama analiziraju i transformiraju u značajnije informacije. Tako obrađeni podaci tumače se sa svrhom razumijevanja neposrednih i dugoročnih učinaka vezanih za poljoprivredne operacije. Rezultat predstavlja se u

poljoprivrednicima lako razumljivom obliku poput grafikona, dijagrama ili izvješća. Primjeri meteoroloških stanica korištenih u poljoprivredi su allMETEO, Smart Elements i Pynco. [28], [32]

Pynco senzori ugrađuju se u zemlju na svakih 15 cm te prikupljaju podatke o količini sunčeve svjetlosti, vlažnosti zraka, temperaturi tla i zraka, te vlažnosti tla. Jedan set čini četiri senzora, gdje je samo jedan od njih povezan preko SIM kartice na Internet, a ostala tri senzora svoje podatke šalju na glavni senzor. Glavni senzor koji sadrži SIM karticu prikupljene podatke akumulira i šalje ih putem mobilne mreže na udaljeni poslužitelj. Softver prima akumulirane podatke i uspoređuje ih s podacima dostupnim od strane meteoroloških stanica i satelita, te poljoprivrednicima pruža povratne podatke izvedene iz prikupljenih podataka, potrebne za kvalitetno vođenje poljoprivrede. Pynco senzori napajaju se solarno, a dolaze u tri veličine kako bi se osiguralo prikupljanje podataka na različitim dubinama u tlu.[33]

Kao jedna od IoT tehnologija korištenih u poljoprivredi, točnije u praćenju stoke, koristi se i RFID. Radiofrekvencijska identifikacija (RFID) bežična je tehnologija koja s pomoću radiovalova identificira i prati objekte na velikim udaljenostima. RFID oznaka, često korištena za praćenje stoke, mali je elektronički uređaj koji sadrži čip i antenu. Čip pohranjuje podatke vezane uz kretanje objekta koji se prati, a antena mu omogućava komunikaciju s lokalnim RFID čitačem kako bi razmijenili podatke. RFID oznaka pričvršćuje se na objekte, a prilikom kretanja odašilju informacije koje potom mogu prikupiti obližnji RFID čitači. RFID oznake odašilju tri glavna podatka: jedinstveni kod svake oznake (tag id), lokaciju RFID oznake, te vrijeme detekcije RFID oznake. RFID tehnologija primarno zamjenjuje barkodove, a RFID oznake mogu tipično pohraniti između 64 bita i 8 kilobajta informacija koje se dodatno mogu koristiti u identifikaciji objekta koji se prati. Obrada podataka prikupljenih s RFID oznaka može biti obavljena na dva načina. Prvi je izvanmrežno upravljanje, prilikom čega se svi neobrađeni podaci trenutačno predaju dostupnoj aplikaciji na obradu; dok je drugi način prikupljanje i pohrana podataka u bazama, te njihova odgođena analiza prilikom koje se podaci obrađuju podijeljeni u velikim setovima. RFID oznake koje se trenutno koriste u poljoprivredi za jedinstvenu identifikaciju svake životinje trebali bi: identificirati podrijetlo životinje, pratiti njeno kretanje od mjesta do mjesta, pratiti izloženost bolesti, kontrolirati zdravstvene prijetnje životinja, te pružiti jamstvo podrijetla i kvalitete proizvoda budućim kupcima.[34], [35]

Važno je da napomenemo poljoprivredne robote čiji se princip rada temelji na mobilnosti i prikupljanju podataka uz pomoć senzora. Njihova mobilnost kontrolirana je putem daljinskog

upravljača koji je zapravo odašiljač radio frekvencijskog signala. Sastoji se od tipkovnice koja se spaja na 8-bitni mikrokontroler, a čije podatke prema robotu prenosi emiter. U robot je ugrađen mikrokontroler radio frekvencijskog prijemnika koji je zadužen za dekodiranje podataka daljinskog upravljača. Rad robota omogućuje baterija koja proizvodi +5 V napona za rad mikrokontrolera, te +12 V napona za pokretanje cijelog robota. Osim baterije i istosmjernih motora koji su zaslužni za pokretljivost robota, za njegovo kretanje potrebni su i senzori. Senzori prikupljaju podatke koji se u obliku elektroničkog signala šalju u centralnom procesoru robota na obradu, što u konačnici omogućava njegovo kretanje.[11]

6. ANALIZA USPJEŠNOSTI PRIMJENE IoT-A U AGRİKULTURI

U području poljoprivrede primjena „Interneta stvari“ dovela je do brze i transformativne revolucije, te je pogurala cijelu industriju u razdoblje karakterizirano preciznim praćenjem, i poljoprivredom vođenom podacima. Takav skok u tehnološkom napretku osigurao je poljoprivrednicima optimizaciju poljoprivrednih operacija, povećanje produktivnosti, i donošenje kvalitetnih odluka u pravo vrijeme temeljenih na podacima prikupljenim u stvarnom vremenu. Osnovu ove revolucije činilo je precizno praćenje varijabli iz okoliša, omogućeno IoT uređajima poput senzora i dronova. Svi tipovi IoT uređaja kontinuirano prikupljaju ogromne količine podataka koji se prenose na središnju platformu i tako poljoprivrednike informiraju izvanrednom količinom visoko vrijednih podataka u praćenju svojih usjeva i stoke. Koristeći IoT tehnologiju poljoprivrednici su uspješno ovladali svojim poljoprivrednim procesima sprečavajući gubitke, dok su istovremeno ostvarili povećanje prinosa i optimizaciju dostupnih resursa. Isto tako implementacijom IoT-a u poljoprivredi, farmeri ulaze u novo doba, doba automatizacije i sustava pametne poljoprivrede. Osim znatnih napredaka u poljoprivrednoj produktivnosti, uvođenje IoT uređaja osiguralo je i bolju sigurnost farmi. Postavljanjem uređaja kao što su kamere, ili sustavi kontrole pristupa, poljoprivrednicima se osigurava kontinuirano praćenje farmi i dostupnih prostorija 24 sata dnevno. Ovi uređaji trenutačno šalju upozorenje do korisničkih uređaja, osiguravajući brze reakcije za sprečavanje krađa ili potencijalnih vandalizama. Područja poljoprivrede koja su doživjela izvanrednu transformaciju zahvaljujući implementaciji IoT-a su: precizna praćenja, optimizacija resursa, automatizacija, praćenje stoke, sustavi daljinskog nadzora, praćenje okoliša, optimizacija lanca opskrbe, sustav za podršku odlučivanja i sigurnost.

Primjena IoT uređaja građenih od senzora koji se lako i neprimjetno uklapaju na poljoprivrednim posjedima, te precizno prikupljaju podatke o ključnim parametrima, imalo je posljedicu značajnu transformaciju preciznog praćenja. Neprestani rad tih uređaja dovodi do prikupljanja velike količine podataka pružajući poljoprivrednicima znatnu razinu preciznosti pri praćenju svojih usjeva i stoke. IoT uređaji brzo i efikasno registriraju i otkrivaju i najsitnije promjene vezane za usjeve i stoku, te tako poljoprivrednicima omogućuju brzo identificiranje mogućih problema. S pomoću svih dostupnih informacija farmeri usvajaju proaktivne mjere, i tako smanjuju rizike, sprečavaju nepotrebne gubitke i optimiziraju prinose. Ovakva dostupnost informacija poljoprivrednicima nudi mogućnost strateškog upravljanja farmom i u konačnici poboljšanje profitabilnosti i produktivnosti. Napredak u preciznom praćenju poljoprivrednicima stvara okruženje u kojem mogu identificirati i ispraviti probleme u

najranijim fazama. Tako precizno praćenje omogućeno IoT uređajima predstavlja pouzdanog saveznika koji poljoprivrednicima pomaže u usmjeravanju poljoprivrednih nastojanja prema uspjehu.

Implementacija IoT uređaja dovela je i do napretka u optimizaciji resursa, što je ključan aspekt poljoprivrede, jer omogućuje najučinkovitije raspolaganje vodom, gnojivima i pesticidima. Podaci koji se prikupljaju u stvarnom vremenu poljoprivrednicima pružaju uvid u cjelokupno zdravlje usjeva i stoke, a takvim znanjem oni mogu primijeniti dostupne resurse točno gdje i kada su najpotrebniji. Time nije omogućeno samo kvalitetno raspolaganje resursima već i očuvanje okoliša smanjenom upotrebom štetnih kemikalija i prekomjernom potrošnjom vode. Dostupnost velikog broja podataka u stvarnom vremenu koju pružaju IoT uređaji pomaže poljoprivrednicima u donošenju važnih odluka vezanih za navodnjavanje, gnojidbu i kontrolu štetočina, stoga može se reći kako je napredak u ovom području vidljiv u obliku maksimiziranja učinkovitosti korištenja vode, optimizaciji korištenja gnojiva i pesticida čime se izbjegavaju nepotrebni troškovi, ali i brojni rizici za okoliš.

Uvođenjem uređaja s aktuatorima⁴ i kontrolerima⁵ poljoprivreda je podignuta na višu razinu, jer joj je omogućena automatizacija. Korištenjem takvih tehnologija poljoprivrednici mogu automatizirati brojne zadatke, od onih najjednostavnijih, pa sve do kritičnih operacija kao što su navodnjavanje, gnojidba i kontrola štetočina. Tu se radi o inteligentnim sustavima koji su, na temelju unaprijed definiranih uvjeta ili unosa podataka u stvarnom vremenu, sposobni donositi autonomne odluke, te obaviti neophodne radnje. Prednosti takve poljoprivrede pronalazimo u smanjenoj ovisnosti o ručnom radu, pojednostavljenju i racionalizaciji svakodnevnih operacija, te poboljšanju ukupne učinkovitosti što dovodi do poboljšane produktivnosti. Automatizacija poljoprivrede poljoprivrednicima je omogućila bolju kontrolu i praćenje, kao i daljinski pristup podacima u stvarnom vremenu, te upravljanje farmom s bilo kojeg mjesta i u bilo koje vrijeme.

Stočarstvo je još jedno od ključnih područja poljoprivrede, a integracija uređaja „Interneta stvari“ značajno je pridonijela njegovom napretku. Jedna od glavnih primjena IoT-a u ovom području upravo je praćenje stoke. Brojni nosivi senzori pričvršćuju se na životinje, te tako neprimjetno prate i prikupljaju važne informacije o zdravlju životinja, njihovom

⁴ Aktuator označava napravu koja uz pomoć upravljačkog signala omogućuje gibanje pokretnih dijelova nekog sustava.

⁵ Kontroler označava procesor pomoću kojeg se upravlja radom jedne ili više jedinica, te koji provodi komunikaciju između sustava računala i tih jedinica.

ponašanju i njihovoj lokaciji. Te informacije poljoprivrednicima pružaju uvid u cjelokupnu dobrobit njihove stoke, i omogućuje im da pravovremeno donose odluke za njihov optimalan rast i razvoj. Takav način praćenja farmerima pruža mogućnost brzog identificiranja anomalija u vitalnim znakovima životinja služeći im kao sustav upozorenja razvijanja potencijalnih bolesti. S pomoću ovih senzora poljoprivrednici prate i analiziraju kretanje životinja, razinu aktivnosti, te društvene interakcije unutar krda čime im je olakšano brzo odgovaranje na sve potencijalne probleme kao i donošenje odluka za upravljanje životinjama. Ugrađivanje GPS tehnologija u nosive senzore pruža informacije o točnoj lokaciji svake životinje, što u hitnim slučajevima ili posebnim situacijama poljoprivrednicima omogućuje identificirati položaj određene životinje i pojednostaviti zadatke poput hranjenja, liječenja ili premještanja. Može se reći kako je implementacija IoT tehnologije olakšala cjelokupnu organizaciju i upravljanje stadom, smanjila šanse da životinje zalutaju ili se izgube, te u konačnici maksimalizirala sigurnost i učinkovitost uzgoja stoke.

IoT tehnologija integrirana je i u sustave za nadzor okoliša omogućujući prikupljanje i analizu bitnih podataka o aktualnim uvjetima u okolišu. Ovi uređaji sveobuhvatno prate i procjenjuju vremenske obrasce, te kvalitetu zraka i vode, i tako poljoprivrednicima omogućuju donošenje informiranih odluka prilikom planiranja poljoprivrednih aktivnosti. Pristup vremenskim podacima u stvarnom vremenu pomaže predvidjeti vremenske obrasce, i prilagoditi raspored sadnje i žetve kako bi se optimizirali prinosi, i minimalizirali potencijalni gubici uzrokovani nepovoljnim vremenskim uvjetima. Osim vremenskih uvjeta moguće je pratiti i kvalitetu zraka, odnosno razine onečišćenja, a sustavi ranog upozorenja farmerima olakšavaju pravovremeno poduzimanje mjera za zaštitu svojih farmi. Isto tako moguće je pratiti i kvalitetu vode, odnosno parametre poput pH vrijednosti, razine otopljenog kisika u vodi, te razne nečistoće čime se mogu rano otkriti incidenti onečišćenja vode i spriječiti kontaminacije usjeva na farmama. Praćenje okoliša omogućeno IoT tehnologijama pomaže u identifikaciji potencijalnih područja za poboljšanje potrošnje energije, gospodarenja otpadom i emisijama te u konačnici dovodi do zelenije i održivije budućnosti.

Visoka razina sigurnosti i zaštite poljoprivrednih posjeda važan je čimbenik života svih poljoprivrednika. Uvođenje IoT uređaja poput kamera visoke razlučivosti, senzora kretanja i sustava kontrole pristupa donosi niz mogućnosti za 24 satno praćenje posjeda i jačanje cjelokupne sigurnosti farme. Iskorištavanje prednosti tih uređaja farmerima otvara put ka primanju upozorenja u stvarnom vremenu, tj. u bilo kojem trenutku u kojem se pojavi neki oblik sumnjive aktivnosti u blizini njihove farme. Takav način obavještanja pomaže

poljoprivrednicima da poduzmu brze i adekvatne korake kako bi spriječili potencijalne vandalizme, neovlaštene upade ili krađe. Ugradnja navedenih uređaja i prihvaćanje njihovog korištenja stvara sigurnosni okvir u kojem poljoprivrednici ne samo da štite svoju imovinu već i stvaraju povjerenje među dionicama. Tako poljoprivrednici stvaraju krug povjerenja u kojem smanjuju rizik ulaganja u svoje posjede kako bi razvili održivi poljoprivredni sektor.

Uzimajući u obzir sve navedeno jasno je vidljivo kako je implementacija IoT-a u poljoprivredi dovela do značajne prekretnice, i pogurala je u razdoblje preciznog praćenja i poljoprivrednih praksi vođenih podacima. Takav tehnološki napredak donio je bezbroj prednosti i prilika s pomoću kojih poljoprivrednici mogu optimizirati svoje operacije, donositi odluke na temelju podataka u stvarnom vremenu, i tako poboljšati cjelokupnu produktivnost vlastite industrije.[36]

7. ZAKLJUČAK

Trenutni i predviđeni rast populacije kojem svjedočimo, postavlja veliki pritisak na područje poljoprivrede. Poljoprivreda, kao jedno od ključnih područja ljudske djelatnosti, bez nužne modernizacije i primjene visokih tehnologija, ne bi bila u stanju podnijeti taj nadolazeći pritisak, zbog čega se u zadnjih dva i pol desetljeća intenzivno tragalo za rješenjem koje bi smanjilo stres nametnut na cjelokupnu granu poljoprivrede, a istovremeno osiguralo dovoljne i kvalitetne količine usjeva za cjelokupnu populaciju. Zbog toga se već 1999. godine počelo spominjati „Internet stvari“ u kontekstu tehnologije koja bi unaprijedila učinkovitost dotadašnje poljoprivrede, a istovremeno olakšala provođenje njenih procesa.

U 21. stoljeću, uporaba IoT uređaja poput senzora, kamera, sustava navodnjavanja, dronova, sustava za praćenje stoke, te brojnih malih i velikih robota, nije nikakva nepoznanica. Senzori za mjerenje vlage, temperature i pH vrijednosti tla, sustavi navodnjavanja prskalicama i „kap po kap“, dronovi s ugrađenim kamerama i GPS uređajima te roboti za uklanjanje korova, prskanje pesticidima ili berbu plodova, današnjim poljoprivrednicima olakšali su pristup ključnim informacijama vezanim uz njihovu poljoprivredu, smanjili vrijeme reakcije, i omogućili da se fokusiraju na radnje koje imaju veći pozitivan utjecaj na njihovu djelatnost. Svi gore navedeni uređaji bazirani na IoT tehnologiji prikupljene podatke šalju od percepcijskog, preko mrežnog, pa sve do aplikacijskog sloja, gdje se ti podaci obrađuju i analiziraju, te u pojednostavljenom obliku prezentiraju krajnjem korisniku, odnosno poljoprivrednicima. Tako implementiran sustav IoT tehnologija dovodi do smanjene potrebe za radnom snagom, optimizacijom resursa i lanaca opskrbe, smanjenja otpada, potrošnje energije i troškova, te povećanja mogućnosti daljinskog nadzora farme, i samim time njene sigurnosti. Međutim uz brojna poboljšanja, poljoprivrednici se i dalje susreću s određenim problemima vezanim za implementaciju IoT tehnologija. Ograničenja i izazovi najviše su primjetni u obliku troškova kupovine i održavanja skupe opreme, interoperabilnost uređaja, lažno ili nepotpuno očitavanje velikog broja podataka sa senzora, pohrana i obrada podataka, te naravno edukacija samih poljoprivrednika. Usprkos svim izazovima s kojima se susrećemo prilikom implementacije IoT tehnologija u poljoprivredi, dobrobiti koje nam one donose u vidu učinkovitije, pouzdanije, jednostavnije, kvalitetnije i profitabilnije poljoprivrede mnogo su značajnije od samih problema.

Na temelju navedenog kroz ovaj završni rad, može se zaključiti da primjena raznih oblika IoT tehnologija u poljoprivredi donosi značajne prednosti poput povećanja kvalitete usjeva uz smanjenje potrošnje resursa poput vremena i energije poljoprivrednika. Unatoč tome, važno je

imati na umu da primjena ovih tehnologija zahtjeva oprez. Konstantan nadzor poljoprivrede putem IoT tehnologija može rezultirati manjim vremenom provedenim u prirodi i većim vremenom pred ekranima računala i mobilnih uređaja. Također, mogućnost lažnih očitavanja senzora može obeshrabriti poljoprivrednike i dovesti do smanjenja primjene tradicionalnih znanja prenošenih tradicionalno s koljena na koljeno.

Stoga je važno kontinuirano nadzirati razvoj tehnologija u području poljoprivrede i provoditi istraživanja kako bi se budućim generacijama omogućilo sigurnije odlučivanje o primjeni određenih tehnologija na njihovim farmama. Potrebno je pažljivo procijeniti prednosti i nedostatke IoT tehnologija te pronaći ravnotežu između tradicionalnih pristupa i suvremenih inovacija kako bi se osiguralo održivo i učinkovito poljoprivredno gospodarstvo za buduće generacije.

LITERATURA

- [1] Tzounis A, Katsoulas N, Bartzanas T, Kittas C. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. Vol. 164, Biosystems Engineering. Academic Press; 2017. p. 31–48.
- [2] Gondchawar N, Kawitkar RS. IJARCCE IoT based Smart Agriculture. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. 2016;5.
- [3] Harris DR, Fuller DQ. Agriculture: Definition and Overview. In: Encyclopedia of Global Archaeology. New York, NY: Springer New York; 2014. p. 104–13.
- [4] King A. Technology: The Future of Agriculture. Nature. 2017 Apr 27;544(7651):S21–3.
- [5] Khan N, Ray RL, Sargani GR, Ihtisham M, Khayyam M, Ismail S. Current Progress and Future Prospects of Agriculture Technology: Gateway to Sustainable Agriculture. Sustainability. 2021 Apr 27;13(9):4883.
- [6] Kashyap B, Kumar R. Sensing Methodologies in Agriculture for Soil Moisture and Nutrient Monitoring. IEEE Access. 2021;9:14095–121.
- [7] Yin H, Cao Y, Marelli B, Zeng X, Mason AJ, Cao C. Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and Precision Agriculture. Vol. 33, Advanced Materials. John Wiley and Sons Inc; 2021.
- [8] Waller P, Yitayew M. Center Pivot Irrigation Systems. In: Irrigation and Drainage Engineering. Cham: Springer International Publishing; 2016. p. 209–28.
- [9] Water Science School. Irrigation: Drip or Microirrigation . 2018.
- [10] Vougioukas SG. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems Agricultural Robotics. Annu Rev Control Robot Auton Syst [Internet]. 2019;2:15–6. Available from: <https://doi.org/10.1146/annurev-control-053018->
- [11] Zimmer D, Plaščak I, Barač Ž, Jurišić M, Radočaj D. Application of Robots and Robotic Systems in Agriculture. Vol. 15, Tehnicki Glasnik. University North; 2021. p. 435–42.

- [12] Pathak H, Kumar G, Mohapatra SD, Gaikwad BB, Rane J. Use of Drones in Agriculture: Potentials, Problems and Policy Needs.
- [13] Nielsen BL. The role of Precision Livestock Farming technologies in animal welfare monitoring: a review. *Vet Arh.* 2022;92(3):251–7.
- [14] Grgić K, Job J. Tehnologija na selu . Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek; 2021.
- [15] Tao W, Zhao L, Wang G, Liang R. Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges. *Comput Electron Agric.* 2021 Oct;189:106352.
- [16] Saidu A, Clarkson AM, Adamu SH, Mohammed M, Jibo I. Application of ICT in Agriculture: Opportunities and Challenges in Developing Countries [Internet]. Vol. 3, *International Journal of Computer Science and Mathematical Theory.* 2017. Available from: www.iiardpub.org
- [17] Jurišić M, Plaščak I, Barač Ž, Radočaj D, Zimmer D. Sensors and Their Application in Precision Agriculture. Vol. 15, *Tehnicki Glasnik.* University North; 2021. p. 529–33.
- [18] Read Here: The Future of Sustainable Agriculture What are the Benefits of Using Sensors in Agriculture? [Internet]. Available from: <https://www.azolifesciences.com/article/How-Important-are-Sensors-to-Agriculture.aspx>
- [19] Wakchaure M, Patle BK, Mahindrakar AK. Application of AI techniques and robotics in agriculture: A review. *Artificial Intelligence in the Life Sciences.* 2023 Dec;3:100057.
- [20] Kushwaha DK, Sahoo PK, Pradhan NC. ROBOTICS APPLICATION IN AGRICULTURE [Internet]. 2022. Available from: <https://www.mordorintelligence.com/>
- [21] Lemić D, Radanović R, Orešković M, Genda M, Kapor K, Virić Gašparić H. DRONOVI KAO MODERAN ALAT ZA SUVREMENU POLJOPRIVREDU. *Glasilo biljne zaštite.* 2021;21(4):476–91.

- [22] Tao W, Zhao L, Wang G, Liang R. Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges. Vol. 189, *Computers and Electronics in Agriculture*. Elsevier B.V.; 2021.
- [23] Kassim MRM. IoT Applications in Smart Agriculture: Issues and Challenges. In: 2020 IEEE Conference on Open Systems, ICOS 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2020. p. 19–24.
- [24] Kim WS, Lee WS, Kim YJ. A Review of the Applications of the Internet of Things (IoT) for Agricultural Automation. Vol. 45, *Journal of Biosystems Engineering*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2020. p. 385–400.
- [25] Sydoruk A. 10 Key Benefits og IoT in Agricultre and Farming. 2023.
- [26] Monarch innovation [Internet]. 2023. How Internet of Things (IoT) Benefits the Agriculture Industry?
- [27] Farooq MS, Riaz S, Abid A, Abid K, Naeem MA. A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming. Vol. 7, *IEEE Access*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2019. p. 156237–71.
- [28] Sengupta A, Debnath B, Das A, De D. FarmFox: A Quad-Sensor-Based IoT Box for Precision Agriculture. *IEEE Consumer Electronics Magazine*. 2021 Jul 1;10(4):63–8.
- [29] Shalimov A. Eastern Peak. 2023. IoT IN AGRICULTURE: 9 TECHNOLOY USE CASES FOR SMART FARMING (AND CHALLENGES TO CONSIDER).
- [30] Verma S, Gala R, Madhavan S, Burkule S, Chauhan S, Prakash C. An Internet of Things (IoT) Architecture for Smart Agriculture. In: 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA). IEEE; 2018. p. 1–4.
- [31] Kim WS, Lee WS, Kim YJ. A Review of the Applications of the Internet of Things (IoT) for Agricultural Automation. Vol. 45, *Journal of Biosystems Engineering*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2020. p. 385–400.
- [32] Elijah O, Rahman TA, Orikumhi I, Leow CY, Hindia MN. An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges. *IEEE Internet Things J*. 2018 Oct 1;5(5):3758–73.

- [33] NiuBol [Internet]. 2024. Weather Station for Agriculture: Working Principle, and Application Value.
- [34] Schjodt Larsen R. GLOBAL OPPORTUNITY EXPLORER. 2019. Smart Sensors For Intelligent Agriculture.
- [35] Anu M. An overview of RFID data processing techniques [Internet]. Article in International Journal of Applied Engineering Research. 2014. Available from: <http://www.ripublication.com>
- [36] Agricola S, Stankovski S, Ostojic G, Senk I, Rakic-Skokovic M, Trivunovic S, et al. Stankovski et al. Dairy cow monitoring by RFID. Vol. 69, Sci. Agric. v.
- [37] Liang C, Shah T. IoT in Agriculture: The Future of Precision Monitoring and Data-Driven Farming [Internet]. Vol. 7, Eigenpub Review of Science and Technology. 2023. Available from: <https://studies.eigenpub.com/index.php/erstEigenpubReviewofScienceandTechnology>
<https://studies.eigenpub.com/index.php/ersthttps://studies.eigenpub.com/index.php/erst>

Popis kratica i akronima

Kratica	Značenje
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
GNSS	<i>(Global Navigation Satellite System) Globalni satelitski navigacijski sustav</i>
GPS	<i>(Global Positioning System) Globalni sustav pozicioniranja</i>
IoT	<i>(Internet of Things) Internet stvari</i>
RFID	<i>(Radio Frequency Identification) Radiofrekvencijska identifikacija</i>
RGB kamera	<i>red-green-blue kamera</i>
RTD	<i>(Resistance Temperature Detector) Detektor temperature otpora</i>
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
ZigBee	<i>Zonal Intercommunication Global-standard</i>

Popis slika i tablica

Popis slika

Slika 1. Robot Dino, [11]	9
Slika 2. Robot Oz, [11].....	9
Slika 3. Robot Ted [11]	9
Slika 4. RoboMax, [11]	11
Slika 5. Arhitektura Interneta stvari, [30].....	23
Slika 6. Prijenos podataka u agrikulturi, [30].....	24

Popis tablica

Tablica 1. Prikaz područja primjene različitih poljoprivrednih robota.....	8
Tablica 2. Usporedba prednosti i nedostataka informacijsko-komunikacijskih tehnologija u agrikulturi.....	12
Tablica 3. Sumirani prikaz pilot istraživanja i njihovih uspjeha u agrikulturi.....	21

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ završni rad

(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Primjena koncepta IOT za poboljšanje prinosa usjeva u agrikulturi, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 28. kolovoza 2024.

TIBOR MLADAN 

(ime i prezime, potpis)