

# Mogućnosti primjene IoT tehnologija u poljoprivredi

---

**Biočić, Petar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*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:200:027257>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-06**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA U OSIJEKU**

**Sveučilišni studij**

**MOGUĆNOSTI PRIMJENE IoT TEHNOLOGIJA U  
POLJOPRIVREDI**

**Završni rad**

**Petar Biočić**

**Osijek, 2020.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 01.12.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Petar Biočić
Studij, smjer:	Prediplomski sveučilišni studij Računarstvo
Mat. br. studenta, godina upisa:	R4038, 24.09.2020.
OIB studenta:	87147859385
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Krešimir Grgić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Mogućnosti primjene IoT tehnologija u poljoprivredi
Znanstvena grana rada:	<b>Telekomunikacije i informatika (zn. polje elektrotehnika)</b>
Predložena ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	01.12.2020.
Datum potvrde ocjene Odbora:	09.12.2020.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis: Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 09.12.2020.

Ime i prezime studenta:	Petar Biočić
Studij:	Preddiplomski sveučilišni studij Računarstvo
Mat. br. studenta, godina upisa:	R4038, 24.09.2020.
Turnitin podudaranje [%]:	11%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Mogućnosti primjene IoT tehnologija u poljoprivredi**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Krešimir Grgić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Zadatak završnog rada</b> .....	1
<b>2. IoT TEHNOLOGIJA</b> .....	3
<b>2.1. Povijesni razvoj</b> .....	3
<b>2.2. Internet stvari u poljoprivredi</b> .....	4
<b>2.3. Dosezi u području teme</b> .....	8
<b>3. SENZORI I UMREŽAVANJE</b> .....	9
<b>3.1. Senzori</b> .....	9
<b>3.2. Hop umrežavanje</b> .....	10
<b>3.2. Single hop i Multi hop umrežavanje</b> .....	10
<b>3.4. Analiza energetske učinkovitosti načina umrežavanja</b> .....	11
<b>3.5. Simulacija umrežavanja</b> .....	18
<b>4. LORAWAN MREŽA U POLJOPRIVREDI</b> .....	25
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	31
<b>LITERATURA</b> .....	32
<b>SAŽETAK</b> .....	34
<b>ABSTRACT</b> .....	34
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	35

# 1. UVOD

Porastom uporabe, IoT uređaji postali su dio svakodnevice društva i tehnologije. Veliki potencijal iskoristivosti IoT uređaja pojavljuje se u gospodarskoj djelatnosti, poljoprivredi. Poljoprivreda je kroz svoj razvoj doživjela tehnološke i znanstvene napretke koje joj pomažu kako bi postala isplativija te pristupačnija, od razvoja strojeva, gnojiva, znanja itd. Iskorištavanjem IoT uređaja, poljoprivrednici mogu dobiti više preciznijih informacija o usjevima te kvaliteti istih, kao i uvjetima u kojima usjevi obitavaju. Zaključak je jasan, što je više stanovnika na planeti, to više namirnica treba proizvesti. Prednost IoT u poljoprivredi je mogućnost širenja poljoprivrede u sve sfere, od velikih posjeda sve do kućnih vrtova te je jasno kako se tehnika implementiranja SE definitivno mora iskoristiti kako bi se ubrzao način isporuke, poboljšala kvaliteta proizvoda te postiglo zadovoljstvo korisnika. Pametni sustavi omogućuju daljinsko upravljanje aktuatorima i strojevima te prikupljanje informacija putem senzora. Ulaganje u IoT sustav unutar farme posao je koji zahtjeva kvalitetan plan i razradu istog. Senzori i uređaji kroz godine postaju sve manji i manji te energetski učinkovitiji kako se tehnologija razvija te je pouzdanost ovog sustava glavni faktor koji se mora nadograđivati kako bi imali kvalitetan i ujednačen razvoj tehnologije. Pouzdanost sustava osiguravaju: konfiguracije uređaja koji sudjeluju u sustavu, načini spajanja senzora te odabir usavršavanja novih načina ili korištenje postojećih mrežnih infrastruktura. Pošto se komunikacija događa putem bežične veze, a one po svojim karakteristikama još nisu dosegle pouzdanost žičnih, vrlo je bitna energetska učinkovitost sustava uz koju se veže i cijena uspostavljanja istog. Kompromitiranje toka informacija isto je važna stavka koja ulazi u računicu pouzdanosti sustava. Uspoređivanje učinkovitosti donose teorijske analize i simulacije, koje se mogu bitno razlikovati pa je rezultate mjerenja bitno što više ujednačiti i preslikati na stvarnu implementaciju u kojoj se pojavljuju dodatni faktori koje se u simulaciji i teoriji ne mogu ili ih je zahtjevno uzeti u obzir. Implementacijom i usavršavanjem ovih tehnologija poljoprivredu mogu promijeniti iz temelja te doseći razine kakvi su se prije mogle zamišljati.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Internet stvari (IoT, Internet of Things) kao moderna tehnološka platforma mogućnosti svoje široke primjene nalazi i u poljoprivredi. Potrebno je sustavno analizirati mogućnosti primjene različitih IoT platformi i tehnologija (prvenstveno komunikacijskih tehnologija), postojeće primjere primjene, te napraviti usporednu analizu postojećih rješenja i tehnologija. Definirati

smjernice daljnjeg razvoja, te analizirati moguće scenarije primjene ovih tehnologija u poljoprivrednoj proizvodnji na području Republike Hrvatske.

## 2. IoT TEHNOLOGIJA

Internet of things ili u prijevodu na hrvatski: Internet stvari, dinamična je globalna mrežna infrastruktura u kojoj fizičke (uređaji, senzori) i virtualne stvari (aplikacije) svih vrsta komuniciraju putem internetske veze te su nevidljivo integrirane. Međusobnu komunikaciju omogućuje bežično povezivanje koje donosi dodatne mogućnosti u kontroli i pružanju usluga. Ovo poglavlje sastoji se od povijesnog razvoja te trenutačne uporabe IoT tehnologija u poljoprivredi.

### 2.1. Povijesni razvoj

Prvi značajni razvoj u ovom području dogodio se 1960-ih razvojem interneta. Uslijedilo je gotovo trideset godina do prvih pokusnih povezivanja raznih kućanskih uređaja sa internetom putem TCP/IP protokola. Godine 1999. prvi puta se pojavio pojam koji i danas koristimo „Internet stvari“ od strane Kevina Ashtona. Prva zamisao osnivača ovog pojma razlikovala se od današnje implementacije, ponajviše u protokolu koji će spajati uređaje. Zamisao je bila RFID tehnologija za razliku od IP tehnologije koju danas koristimo. Zanimljivo je kako razvojem interneta i uređaja broj povezanih uređaja eksponencijalno raste u razdoblju od 1999. Danas brojimo 50 milijardi spojenih uređaja na internet, dok je u 2003. ta brojka bila približno 500 milijuna.[1]

Razlog razvoja Internet stvari možemo tražiti u:

- padu cijena senzora
- padu cijena pohrane podataka (lokalno ili virtualno)
- razvoj interneta
- razvoju računala
- razvoju mobilne tehnologije

Iako je razvoj Internet stvari neupitan i dalje postoje određeni parametri koje korisnici smatraju upitnim, a to su: sigurnost, složenost implementacije, pristup podacima, mrežna infrastruktura.[1]



## 2.2. Internet stvari u poljoprivredi

Potencijal primjene interneta stvari u poljoprivredi je velik. Razvoj omogućuje kontinuirano prikupljanje i obradu podataka, koji dovode do reakcije koja dovodi do povećanja kvalitete proizvoda te smanjenja nepotrebnih troškova [2]. Skup automatizacije poljoprivrede te iskorištavanjem resursa putem tehnologije možemo nazvati pametnom poljoprivredom.

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 monitoring koji dovodi do pravovremene reakcije
- povećanje produktivnosti farme
- smanjenje fizičkog rada
- monitoring orezivanja
- monitoring pH vrijednosti zemlje
- globalizacija tržišta[2]

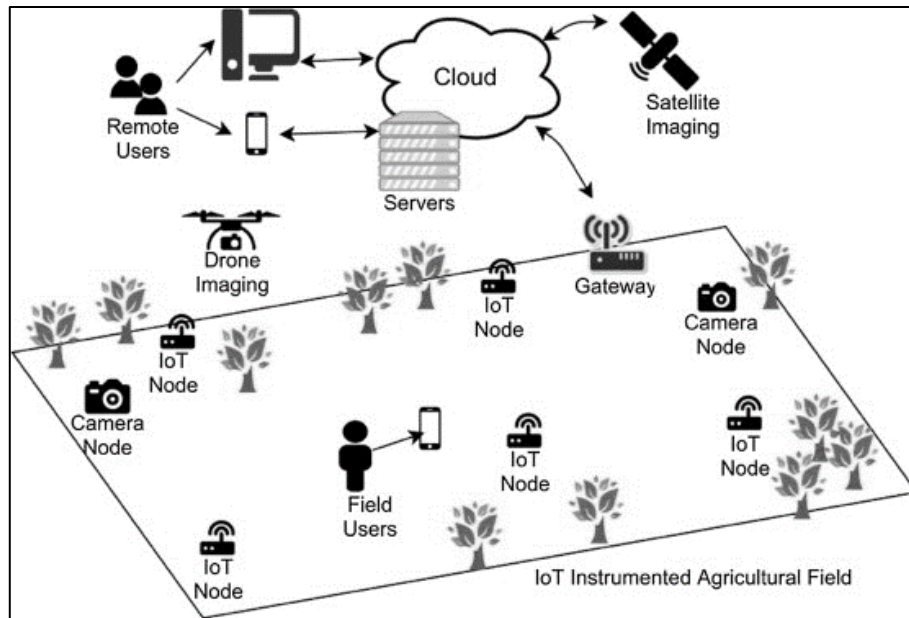
Tehnološka rješenja u poljoprivredi možemo kategorizirati na:

1. Upravljanje informacijskim sustavima
2. Preciznu poljoprivredu
3. Poljoprivrednu automatizaciju i robotiku[3].

**Upravljanje informacijskim sustavima** sastoji se od sustava za manipulaciju podacima te njihovim prosljeđivanjem zbog povećanja produktivnosti i ubrzanja procesa na farmi.[3]

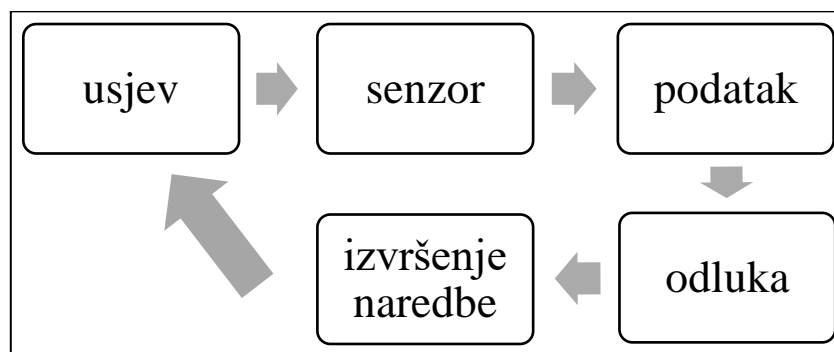
**Precizna poljoprivreda** sastoji se od upravljanja, vremenskim i prostornim varijabilnostima zbog poboljšanja ekonomskog povrata investicije, smanjenja ulaznih resursa te smanjenja zagađenja okoliša.[3]

**Poljoprivredna automatizacija i robotika** sastoji se od procesa primjene robotike, automatizacije na svim razinama proizvodnje.[3]



**Slika 2.1** Ilustracija IoT sustava u poljoprivredi [4]

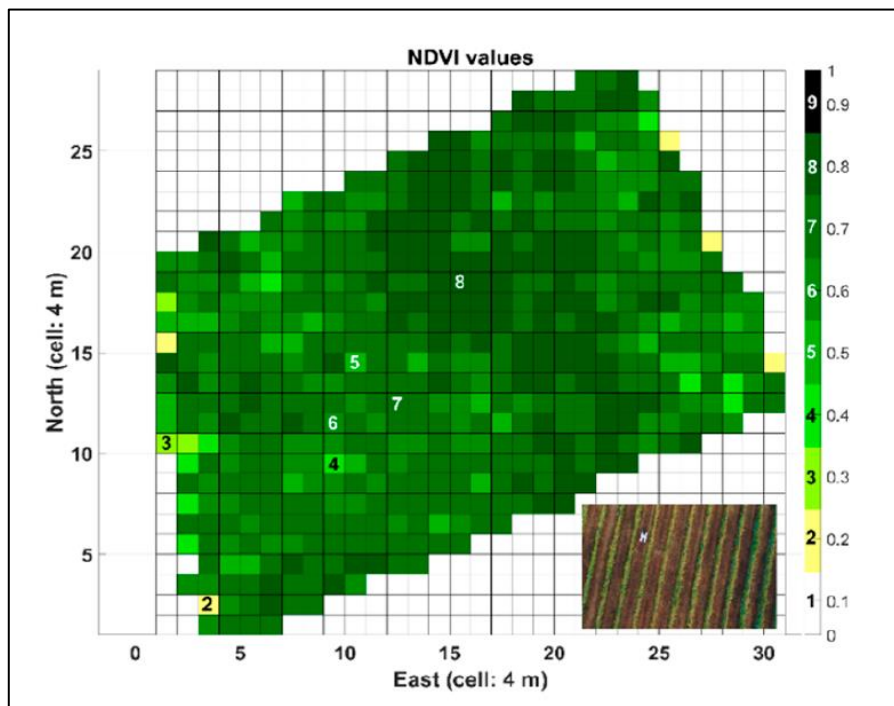
Slika 2.1 prikazuje shematski prikaz implementacije IoT sustava u poljoprivredi. Sustav je vidljivo raspodijeljen na različite senzore koji prikupljaju podatke. Uređaji su povezani na internet putem prilaznog uređaja. Virtualni entitet prikazan kao računalni oblak predstavlja programsku platformu koja održava podatke o uređajima te sprema podatke dobivene iz senzora te ih obrađuje.



**Slika 2.2** Ilustracija toka podatka poljoprivrednog procesa s implementacijom IoT uređaja [5]

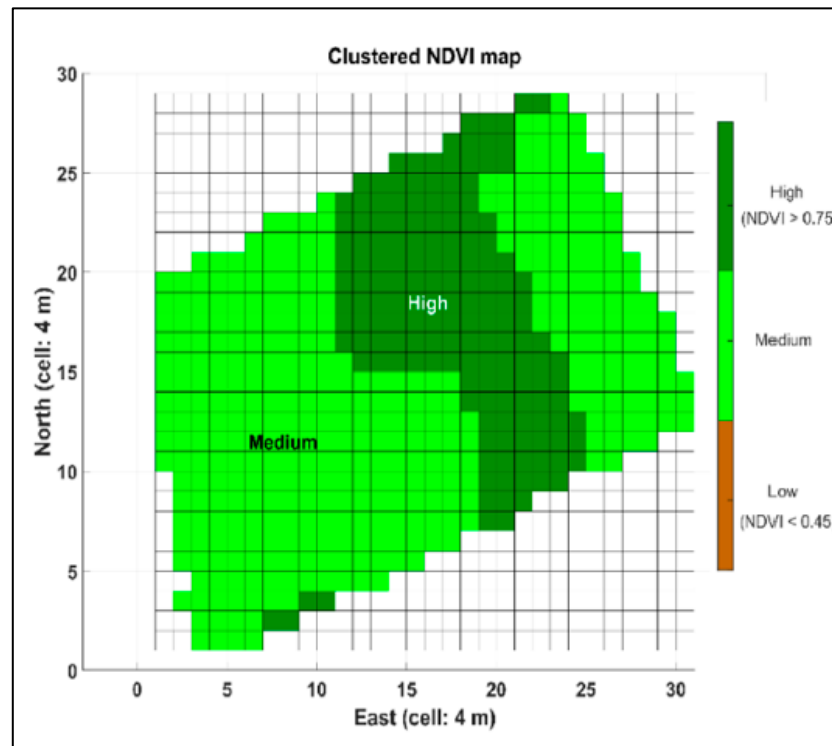
Slika 2. Ilustrira kružni proces u kojem se podatak preusmjerava u sustavu gdje je implementirana IoT tehnologija. Ovaj proces sastoji se od pet stupnjeva. Prvi stupanj

predstavlja usjev, koji je zapravo i početna i zadnja točka kružnog procesa. Kontrola usjeva pojavljuje se zbog varijabilnosti samog usjeva. Način na koji će usjev biti tretiran ovisi o raznim varijablama, kako bi odredili trendove usjeva ovisno o prirodnim uvjetima senzori očitavaju podatke te ih objedinjuju u prihvatljiv format za kasniju uporabu. Senzori su integrirani u platformu, koja može biti robot (npr. prijevozno sredstvo, dron) ili prikovani za zemlju, kao vremenske stanice. Jedna od glavnih razlika između tradicionalne poljoprivrede i “pametne” jest skup prikupljenih podataka direktno iz usjeva. U tradicionalnoj poljoprivredi, radnik procjenjuje odluke subjektivno ili relativno, prema onome što vidi. Moderna ili “pametna” poljoprivreda nudi velik spektar točnih podataka sa objektivnom reakcijom na njih. Sve se više koristi spoj zemnih i zračnih tehnologija koji svojim spojem stvaraju velike pakete podataka, gdje se javlja problem sa viškom i prijenosom podataka. Jedan od najjednostavnijih primjera zajedničke suradnje dva senzora, kolekcije podatka te prikaza korisniku jest izračunavanje vegetacijskog indeksa. Jedan senzor okrenut je prema nebu te prima podatke o svjetlosti, dok je drugi postavljen prema usjevu. U primjeru na slici 2.3 autonomni robot prikupio je podatke u vinogradu koje je integrirani algoritam pretvorio u devet razina vegetacije te je mapirao iste.



**Slika 2.3** Generirana karta sa vrijednostima indeksa vegetacije [5]

Karta prikazana na slici 2.3 služi samo kao podloga za nadogradnju. Informacijskog je tipa te je potrebno dodatno pojednostavljenje podataka kako bi korisnik jasno mogao proračunati svoje poteze u budućnosti. Na slici 2.4 primijenjen je algoritam grupiranja koji je sveo devet razina na tri velike zone vegetacije te mu ponudio važne podatke i uklonio višak nepotrebnih. Na slici 2.4 jasno se može vidjeti kako polje ima dva područja obrade.



**Slika 2.4** Karta indeksa vegetacije nakon grupiranja [5]

Jasno je vidljivo kako je ključ pravog mapiranja prikaz konkretnog podatka. Najučestaliji način prikaza poljoprivrednih podataka do sada su karte koje ne moraju biti lijepe nego korisne za reagiranje na određene pojave. Četvrti stupanj u kružnom procesu predstavlja odluka na temelju prikupljenih podataka. Odluke se mogu isprogramirati pomoću uvjetnih metoda ili pomoću umjetne inteligencije koja može imitirati ljudski način razmišljanja u određenim situacijama. Zadnji stupanj u procesu predstavlja konkretno izvršenje akcije na usjev, u trenutku ili u određenom trenutku. Kako bi korisnici sustava mogli iskoristiti zadnji stupanj moraju imati naprednu opremu koja može primiti podatke od računalne kontrolne jedinice. Trenutačno stanje na tržištu prikazuje kako je uvođenje ovakvog potpunog sustava sa uređajima koji izvršavaju naredbe slabo, najviše zbog cijene, ali i needuciranih korisnika.

### 2.3. Dosezi u području teme

Napretkom tehnologije i prihvaćanjem IoT uređaja u poljoprivredu nastala su i istraživanja na ovu temu, od analiza iskoristivosti sa gledišta potrošnje energije gdje [10] i rad S., Fedor i M., Colliera, *On the problem of energy efficiency of multi-hop vs one-hop routing in Wireless Sensor Networks* prikazuju različite rezultate i mišljenja o efikasnosti. Radovi [12] i D., Davcev, K., Mitreski, S., Trajkovic, V., Nikolovski, N., Koteli, *IoT agriculture system based on LoRaWAN* na različite načine i kroz mnoštvo statističkih podataka prikazuju prednosti i mane implementacije LoRaWAN mreže dok [13] pojašnjava osnove rada LoRa mreže, od posebnih tehnika enkodiranja signala, tehničkih specifikacija kao rješenje za energetski učinkovitu i mrežu sa niskom latencijom u implementaciji IoT tehnologije. Rad autora R., K., Panta, I., Khalil, S., Bagchi pod nazivom: *Single versus Multi-hop Wireless Reprogramming in Sensor Networks* je iscrpan rad koji temu zasniva na unaprjeđenju postojećih infrastruktura, tj. prelasku sa Single hop na Multi hop načine kroz teorijsku analizu i simulaciju. Radovi [5] i [12] daju nam slične uvide u stvarnu implementaciju sistema interneta stvari u poljoprivredu. Prvi daje uvid u pojednostavljenu implementaciju, gdje su objašnjene stvari prikupljanja informacija, obrade te na kraju izlistanja krajnjem korisniku. Drugi daje uvid u složeniju implementaciju putem postojeće infrastrukture LoRaWAN mreže te prikaz funkcionalnosti dijelova mreže te statističke primjere obrađenih informacija sa farme. Osvrt na održivost i iskorištavanje interneta stvari u poljoprivredi na malim posjedima nudi rad A., P., Antony, K., Leith, C., Jolley, J., Lu, D., J., Sweeney pod nazivom: *A Review of Practice and Implementation of the Internet of Things (IoT) for Smallholder Agriculture*. S obzirom na veliku količinu informacija, različitih načina upravljanja, rad [2] objašnjava poboljšanje iskoristivosti, produktivnosti poljoprivrednog sustava, kako bi se smanjio fizički rad na minimum te tako smanjili pogreške u proizvodima te donosi jasan uvid i shvaćanje značenja interneta stvari i utjecaja na razvoj pametnih sustava.

### 3. SENZORI I UMREŽAVANJE

U sljedećem poglavlju upoznajemo se sa sensorima i dva načina umrežavanja: single hop i multi hop, njihovom usporedbom kroz energetska učinkovitost te simulacijom koja donosi uvid u pouzdanost oba umrežavanja.

#### 3.1. Senzori

Senzor ili mjerno osjetilo, element je mjernog sustava koji je u izravnom kontaktu s mjernom veličinom te daje izlazni signal ovisan o njezinu iznosu. Zbog dominantne primjene električnih i elektroničkih sustava, većina mjernih osjetila pretvara mjerenu veličinu u električki mjerljiv signal. Gruba podjela senzora je na aktivne i pasivne. Aktivna mjerna osjetila pod utjecajem mjerne veličine generiraju električni signal dok u pasivnom mjerena veličina kvantitativno mijenja neko njegovo električno svojstvo. Mjerna osjetila možemo razlikovati: prema mjerenoj veličini, načinu pretvorbe, području primjene, materijalu, tehnologiji izrade. [6]

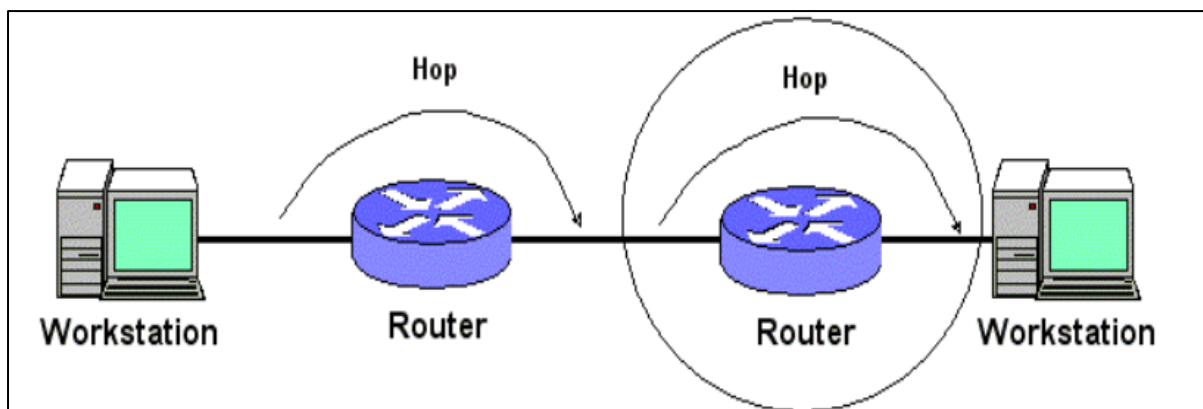


**Slika 3.1** Prikaz senzora za kontrolu usjeva [7]

Senzor na slici 3.1 prikazan je jedan od najnovijih senzora u poljoprivredi. Današnji poljoprivredni senzori mogu mjeriti: vremenske uvjete, količinu osvjetljenja, količinu radijacije, količinu gnojiva, razlike u rastu usjeva itd. Većinom noviji poljoprivredni senzori mjere više stvari odjednom te imaju dugotrajne baterije i mogućnosti stalnih napajanja.

### 3.2. Hop umrežavanje

Hop (hrv. Skok) u komunikacijskim mrežama predstavlja događaj kada je podatak prosljeđen od jednog segmenta mreže do drugog. Slika 3.1 pojednostavljuje shvaćanje istog.



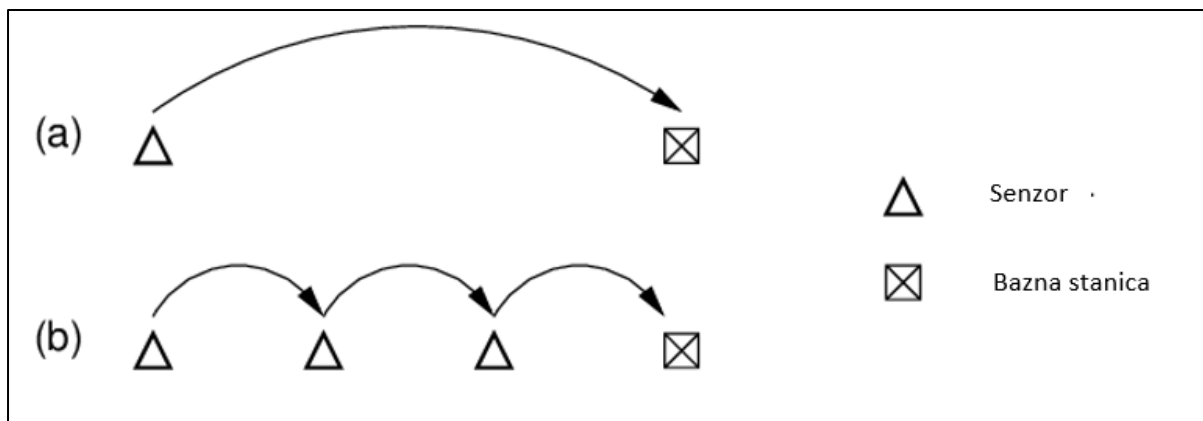
*Slika 3.1 Pojednostavljeni prikaz značenja skoka u mrežama [8]*

Često je shvaćanje skoka krivo. Skok ne znači prelazak informacije preko stanice nego kroz nju. Broj skokova možemo poistovjetiti sa brojem stanica u mreži. Stanice na slici 3.1 prikazane su pod nazivom “Router” dok se podatak šalje od jednog računala do drugog.

U poznatom ISO/OSI modelu, u trećem sloju koji služi za logičko adresiranje i usmjeravanje svaki ruter ili usmjerivač čini podatkovni put te skok, ali skok tu ne čini glavno mjerilo mrežnog puta između dvije točke u mreži, zbog ne uzimanja u obzir latencije i brzine pojedinog usmjerivača dok Routing Information Protocol (RIP) koji je jedan od najstarijih vektorskih protokola za usmjerivanje, koristi skokove kao glavno mjerilo mrežnog puta.[9]

### 3.2. Single hop i Multi hop umrežavanje

Senzore je sa bazom moguće spajati putem Single hop i Multi hop rješenja. Bežične senzorske mreže sastoje se od raspodijeljenih senzorskih čvorova na nekom području koji prate i šalju informacije o promjenama nad željenom materijom. Takvi senzori trenutno imaju problema sa ograničenim vijekom baterije, brzinom obrade podataka te prostora za pohranu izmjerenih podataka. Glavna problematika ovakvog tipa mreže jest dugotrajna autonomija te mala potrošnja resursa. Ponekada je područje cijele mreže veće od dometa pojedinog senzorskog čvora pa se zbog toga mogu ostali čvorovi koristiti kao primopredajnici signala kako bi se dosegla krajnja točka u mreži što bi bila baza. Ovakav način umrežavanja naziva se Multi hop umrežavanje. [10]



**Slika 3.2** a) *Single hop umrežavanje*, b) *Multi hop umrežavanje* [11]

Sveukupna snaga senzora u bežičnoj mreži ovisi o procesoru, potrošnji energije primopredajnika signala. Najviše energije senzora troši radiovalna transmisija. Danas, moderni primopredajnici mogu podesiti snagu odašiljanja pa se neke udaljenosti mogu dosegnuti sa više manjih skokova ili sa malim brojem velikih skokova. Energetska učinkovitost dva načina umrežavanja ovisi o: gubitku puta između odašiljača i prijemnika te potrošnji energije primopredajnika u različitim načinima rada.[10]

### **3.4. Analiza energetske učinkovitosti načina umrežavanja**

U nastavku ovog poglavlja osvrnut ću se na analizu energetske učinkovitosti Single hop-a i Multi hop-a u bežičnim senzorskim mrežama koju su objavili Uroš M.Pešović, Jože J. Mohorko, Karl Benkič i Žarko F.Čučej pod naslovom *Single-hop vs. Multi-hop – Energy efficiency analysis in wireless sensor networks*.

#### **Teorijska osnova**

Radiovalni kanal između odašiljača i prijemnika može biti ostvaren samo kada je jačina primljenog signala veća od praga osjetljivosti prijemnika. Smanjenje gustoće signala, na putu od odašiljača i prijemnika naziva se gubitak puta (engl. Path loss). Proračunavanje gubitka puta može biti kompleksno, zbog toga što radiovalovi mogu biti odbijeni, upijeni ili raspršeni zbog postojanja prepreka u prostoru. Ponekad prijemnici mogu primiti dijelove zaostalih signala od odašiljača te se to naziva višestruko nestajanje signala (engl. Multipath fading). U najjednostavnijem proračunu gubitka puta uzimamo u proračun prazan prostor, u kojem smatramo kako nema nikakvih prepreka u prostoru. Taj najjednostavniji model naziva se gubitak puta u otvorenom prostoru te je u njemu gubitak puta proporcionalan s kvadratom udaljenosti između odašiljača i prijemnika.[10]



Ostali modeli gubitka puta uzimaju u obzir višestruko nestajanje signala koji ima formulu logaritamskog oblika te izgleda ovako:

$$PL = \left(\frac{1}{d}\right)^\alpha \quad (3-1)$$

U ovom modelu,  $d$  predstavlja udaljenost između odašiljača i prijemnika, a već poznati koeficijent  $\alpha$  predstavlja gubitak puta koji se uzima ovisno o okruženju. Ovisnosti okruženja i koeficijenta objašnjena su u Tablici 3.1 ispod.

**Tablica 3.1** *Vrijednosti koeficijenta gubitka puta ovisno o okruženju u kojem signal putuje [10]*

Okruženje	$\alpha$
Prazan prostor	2
Gradsko područje sa izravnom propagacijom signala	2,7 ÷ 3,5
Gradsko područje bez IPS	3 ÷ 5
Zatvoreni prostor bez IPS	1,6 ÷ 1,8
Tvornica bez IPS	2 ÷ 3
Zgrada bez IPS	4 ÷ 6

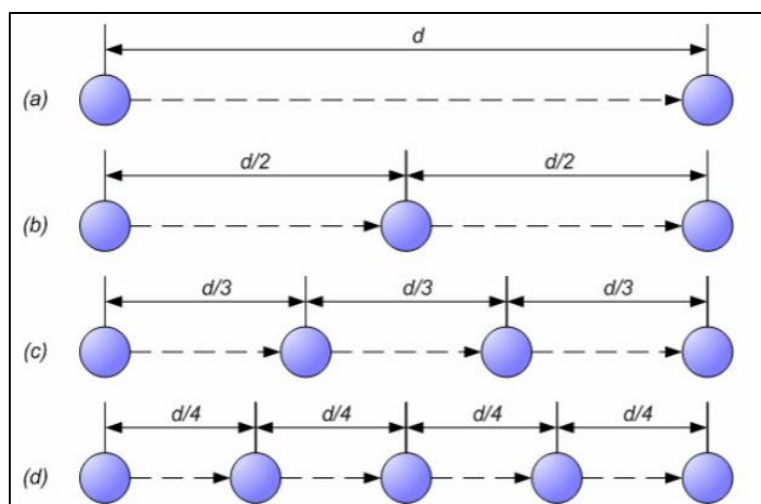
IPS predstavlja skraćenicu za izravnu propagaciju signala (engl. Line-of-sight propagation), što je karakteristika elektromagnetskog ili akustične propagacije vala u kojoj val putuje izravnom vezom od izvora do odredišta dok IPS ugrožavaju prepreke na putu od izvora do odredišta.

Korištenjem modela (3-1) možemo izraziti i vrijednost snage prijemnika na udaljenosti od odašiljača:

$$P_r = P_0 * \left(\frac{d_0}{d}\right)^\alpha \quad (3-2)$$

U formuli (3-2)  $P_r$  predstavlja snagu prijemnika,  $P_0$  poznatu primljenu snagu na udaljenosti  $d_0$  od odašiljača,  $d$  predstavlja udaljenost na kojoj želimo spoznati snagu prijemnika te koeficijent gubitka puta  $\alpha$ .

Čisti teorijski modeli bežične transmisije signala pretpostavljaju da sva iskorištena energija je prosljeđena u zrak od strane odašiljača te da prijemnik ne troši energiju prilikom prijema signala. Na slici 3.3 prikazane su single hop i multi hop vrste komunikacije.



**Slika 3.3** a) jednostruki skok, b) dvostruki skok, c) trostruki skok, d) četverostruki skok[10]

Uzmemo li u obzir da odašiljač, u načinu a) sa slike 3.3 odašilje snagu  $P_1$  dovoljnu da bude primljena od strane prijemnika, onda možemo tu snagu smatrati pragom osjetljivosti prijemnika  $P_M$ , prikazan u formuli (3-3).

$$P_M = P_1 * \left(\frac{d_0}{d}\right)^\alpha \quad (3-3)$$

Analogno formuli (3-3) za ostale načine višestrukog umrežavanja formula će ovisno o indeksu  $n$  uz snagu koju odašilje predajnik izgledati:

$$P_M = P_n * \left(\frac{d_0}{d/n}\right)^\alpha \quad (3-4)$$

Uvrštavanjem brojeva  $n$  i izjednačavanjem formula (3-3) i (3-4) dobivamo općenitu jednadžbu:

$$P_1 = P_2 * 2^\alpha = \dots = P_n * n^\alpha \quad (3-5)$$

Poznavanjem formule (3-5) možemo izračunati potrošnju energije odašiljača za sve slučajeve skokova (1H, 2H, 3H, ..., nH):

$$P_{1H} = P_1 \quad (3-6)$$

$$P_{2H} = P_2 + P_2 = 2 * \frac{P_1}{2^\alpha} \quad (3-7)$$

$$P_{nH} = n * \frac{P_1}{n^\alpha} \quad (3-8)$$

Uzimanjem koeficijenta  $\alpha > 1$  Multi hop transmisija signala pokazuje se energetske učinkovitijom, ali u slučaju idealnog prijemnika koji ne troši energiju pri prijemu signala. Dodavanjem varijable snage prijemnika  $P_R$ , koja se pojavljuje u realnim prijemnicima, formule (3-6 ÷ 3-8) izgledaju ovako:

$$P_{1H} = P_1 + P_R \quad (3-9)$$

$$P_{2H} = P_2 + P_2 = 2 * \left( \frac{P_1}{2^\alpha} + P_R \right) \quad (3-10)$$

$$P_{nH} = n * \left( \frac{P_1}{n^\alpha} + P_R \right) \quad (3-11)$$

Pregledom formula (3-9 ÷ 3-11) dolazi se do zaključka kako je Multi hop način energetske učinkovitiji ukoliko je snaga prijemnika:

$$P_R < \frac{n^{\alpha-1}-1}{(n-1)*n^{\alpha-1}} * P_1 \quad (3-12)$$

Na temelju dosadašnjih formula jasno je kako je glavni uvjet bolje energetske učinkovitosti u slučaju Multi hop-a moguće samo u slučaju kada je potrošnja energije od strane prijemnika puno manja od potrošnje predajnika.[10]

Na slici 3.4. na sljedećoj stranici popis je vrijednosti koje mora zadovoljavati snaga prijemnika za načine umrežavanja te različite vrijednosti koeficijenta gubitka puta.

$\alpha$	<i>Double-hop</i>	<i>Triple-hop</i>	<i>Quad-hop</i>
2	$P_R < \frac{1}{2} P_1$	$P_R < \frac{1}{3} P_1$	$P_R < \frac{1}{4} P_1$
3	$P_R < \frac{3}{4} P_1$	$P_R < \frac{4}{9} P_1$	$P_R < \frac{5}{16} P_1$
4	$P_R < \frac{7}{8} P_1$	$P_R < \frac{13}{27} P_1$	$P_R < \frac{21}{64} P_1$
5	$P_R < \frac{15}{16} P_1$	$P_R < \frac{40}{81} P_1$	$P_R < \frac{85}{256} P_1$

**Slika 3.4** Popis potrebnih vrijednosti snage prijemnika [10]

### Primopredajnici

U bežičnim senzorskim mrežama, za čvorove se koriste primopredajnici koji djeluju u 2.4 GHz opsegu, sukladnom IEEE 802.15.4 standardu. Opseg od 2.4 GHz sastoji se od 16 kanala od kojih svaki ima brzinu prijenosa od 250 kbps. Radio primopredajnici imaju izlaznu snagu od 0 dBm te je prag osjetljivosti prijemnika - 85 dBm. U analizi je korišten primopredajnik pod serijskim brojem cc2420 te je njegova potrošnja energije prikazana u tablici 3.2.

**Tablica 3.2** Potrošnja energije cc2420 primopredajnika [10]

Način rada	P [mW]	$\eta$ (%)
Prijem	65	
Transmisija na 0 dBm	57,4	1,74
Transmisija na -5 dBm	46,2	0,68
Transmisija na -10 dBm	36,3	0,27
Transmisija na -25 dBm	32,7	0,09

Potrošnja energije veća je u načinu rada prijema nego u transmisiji na maksimalnoj snazi. Energetska učinkovitost pri transmisiji je iznimno mala te se kreće do 1,74% pri punoj snazi. Energetska učinkovitost se smanjuje smanjenjem snage transmisije jer u samom primopredajniku postoje dijelovi koji koriste konstantnu energiju bez obzira na snagu transmisije.

Domet ovakvog tipa primopredajnika se kreću oko 100 metara na vanjskom prostoru te oko 30 metara u zatvorenom prostoru. Domet se može poboljšati dodavanjem analognog prednjeg elementa, koji su dijelovi više analogno upravljivih krugova koji koriste osjetljiva analogna pojačala ili specifične integrirane krugove za senzore, radio prijemnike kako bi stvorili mogućnost komunikacije senzora prema anteni te analogno-digitalnu pretvorbu. Povećavanjem dometa analogni prednji krajevi smanjuju prag osjetljivosti. U daljnjoj analizi korišten je cc2591 analogni prednji element. Spoj primopredajnika cc2420 i analognog prednjeg elementa donosi snagu transmisije od 16 dBm sa pragom osjetljivosti od 98 dBm.[10]

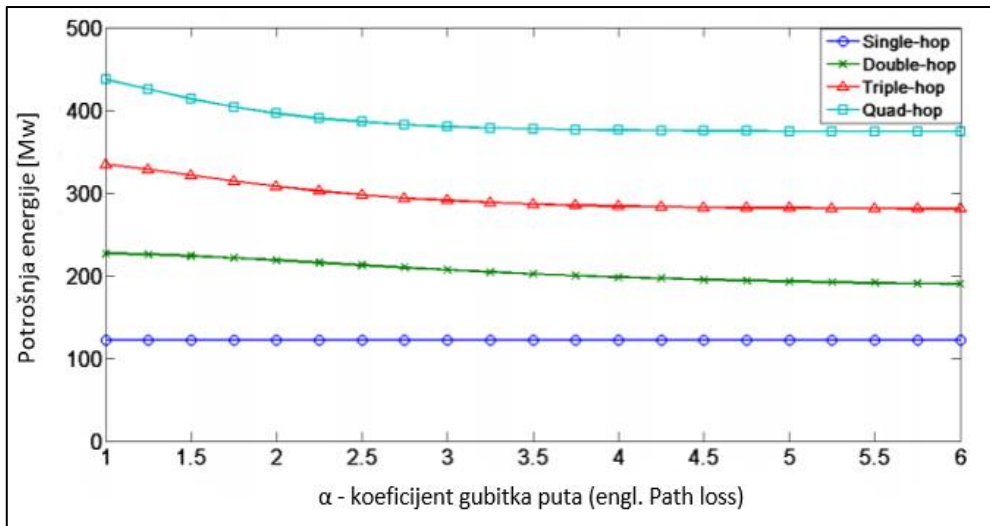
**Tablica 3.3** *Potrošnja energije cc2420 primopredajnika sa analognim prednjim elementom cc2591 [9]*

Način rada	P [mW]	$\eta$ (%)
Prijem	73,5	
Transmisija na 16 dBm	363	10,97
Transmisija na 11 dBm	234	5,38
Transmisija na -1 dBm	171	0,46
Transmisija na -8 dBm	165	0,09

Dodavanjem analognog prednjeg elementa jasno se vidi iz prikazanih podataka iz Tablice 3.3 kako je došlo do promjene potrošnje energije te kako je pri najvećoj snazi transmisije potrošnja veća nego u režimu prijema. Energetska učinkovitost je i dalje niska sa malim pomakom na bolju iskoristivost.[10]

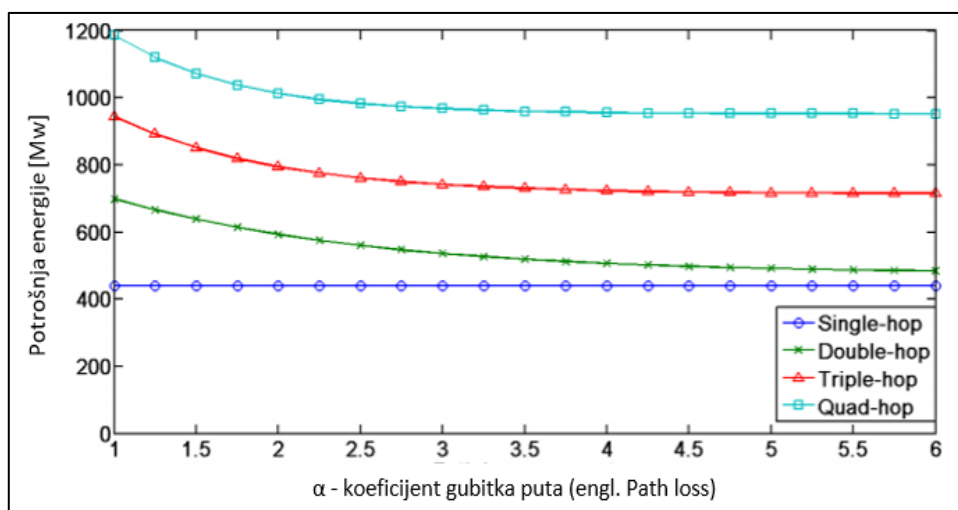
### **Simulacija i interpretacija rezultata**

Simulacija je provedena uporabom „stvarnih“ bežičnih čvorova cc2420 i cc2520 te je prvi korak simulacije bila aproksimacija potrošnje energije primopredajnika postignuta polinomom trećeg stupnja kako bi se uklonila potrošnja za određenu razinu snage transmisije. Simulacija je provedena korištenjem relativnih udaljenosti. Za Single hop, primopredajnik sa maksimalnom snagom transmisije može doseći prijemnik na udaljenosti  $d$ , za dani koeficijent gubitka puta. Potom, udaljenost  $d$  podijeljena je na više manjih čvorova te je odgovarajuća snaga transmisije izračunata izdvajanjem potrošnje energije primopredajnika. U zadnjem koraku simulacije, izračunata je ukupna potrošnja energije prilikom transmisije za jednostruke i višestruke skokove.[10]



**Slika 3.4** Potrošnja energije cc2420 primopredajnika [10]

Slika 3.4 prikazuje graf na kojem je prikazan trend potrošnje energije cc2420 primopredajnika u ovisnosti o koeficijentu gubitka puta. Jasno je vidljivo kako najbolju energetska učinkovitost ima Single hop te je relativno stalan o promjeni koeficijenta. Razlog ovakvom ponašanju jest taj da je za ovaj primopredajnik ima snagu prijema veću nego maksimalnu snagu transmisije. Single hop ima manju potrošnju energije jer radio transponderi su pouzdaniji na većim snagama transmisije nego na manjim. Analogno primopredajniku i rezultatima sa slike 3.4 vidljivo je kako je dodavanjem analognog prednjeg elementa na slici 3.5 potrošnja energije porasla te je Single hop i dalje ostao konstantan i energetska najučinkovitiji.



**Slika 3.5** Potrošnja energije cc2420 primopredajnika sa analognim prednjim elementom cc2520 [10]

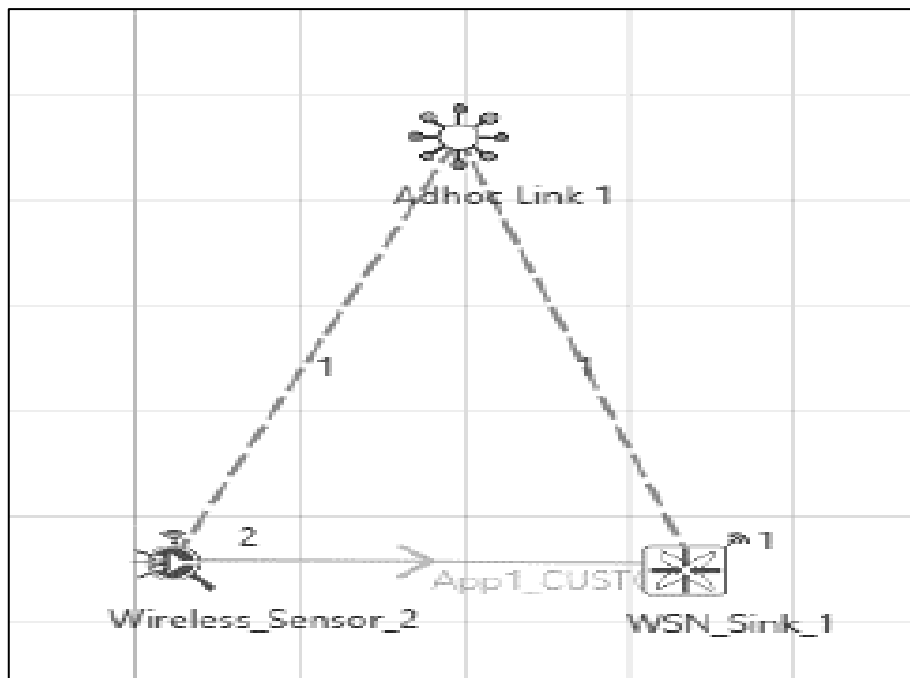
Rezultati simulacije na temu analize dva načina umrežavanja pokazala je kako je umrežavanje putem Single hopa energetski učinkovitije kada se u proračune uzmu stvarne komponente. Teorijski dokazi pokazali su kako je Multi hop način praktičniji ukoliko je potrošnja energije prijemnika manja od predajnika.

### 3.5. Simulacija umrežavanja

Kao temelj za nadolazeću simulaciju korištena je analiza u prijašnjem potpoglavlju te ću pomoću poznatih jednadžbi i izvedenih simulacija u Net Sim programu predstaviti rezultate umrežavanja senzora sa baznom stanicom te postaviti temeljna dva pitanja na koje će simulacija dati odgovor:

1. Kako se mijenja stupanj pogreške paketa povećavanjem udaljenosti senzora i baze?
2. Koliko daleko senzor može biti od baze bez upotrebe dodatnog usmjerivača?
3. Učinkovitost dodatnog usmjerivača?

#### Postavka mreže



**Slika 3.6** Topologija Single hop umrežavanja sa jednim bežičnim sensorom i baznom stanicom

**Tablica 3.4 Postavke simulacije**

Tip	Postavka
Protokol usmjerivanja za senzor	AODV
ACK za senzor i bazu	Omogućen
MFR za senzor i bazu	4
Snaga transmisije	1mW
Referentna udaljenost	1m
Osjetljivost prijemnika	-105dBm
Prag osjetljivosti prijemnika	-115dBm
Veličina paketa	70 bajta
Vrijeme pristizanja paketa	4000 $\mu$ s
Položaj mreže	11.1.0.0
Maska podmreže	255.255.0.0
Gateway	11.1.1.1
Razmak udaljenosti po mjerenju	5m
$\alpha$ (koeficijent gubitka puta)	3,5

MFR - (engl. Maximum Frame Retries) maksimalan broj ponavljanja slanja okvira, ACK - (engl. Acknowledgement Request) potvrda o prijemu paketa.

### Simulacija Single hop umrežavanja

Pokretanjem simulacije na temelju zadanih postavki iz tablice 3.4. dobivamo sljedeće rezultate:

**Tablica 3.5 Prikaz rezultata simulacije**

Udaljenost (m)	$P_M$ (dBm)	BER	PER	PLR
5	-64,51	0	0	0
10	-75,04	0	0	0
15	-81,20	0	0	0
20	-85,58	0	0	0
25	-88,97	0	0	0
30	-91,74	0	0	0
35	-94,08	0,000005	0,0051	0



40	-96,11	0,000229	0,2076	0
45	-97,90	0,002175	0,8905	0,447
50	-99,51	0,008861	0,9999	1
55	-100,95	0,022370	1	1
60	-102,28	0,042390	1	1
65	-103,49	0,067026	1	1
70	-104,62	0,094075	1	1

$P_M$  - snaga primljenog signala, BER - (engl. Bit Error Rate), PER - (engl. Packet Error Rate),  
PLR - (engl. Packet Loss Rate).

U rezultatima iz tablice 3.5 jasno je vidljivo kako se prvi BER pojavljuje na -94,08dBm te postupno raste daljnjim mjerenjem. U standardu IEEE 802.15.4 MAC koristi način retransmisije paketa tako da pakete koji imaju pogrešku šalje na ponovnu transmisiju. Ukoliko je ponovljena transmisija pogrešna, paket je izgubljen.

Stupanj pogreške paketa računamo pomoću formule:

$$PER = 1 - (1 - BER)^{PL} \quad (3-13)$$

U formuli (3-13) varijabla PL označava duljinu paketa u bitovima na fizičkom sloju OSI modela, a on se računa:

$$PL = (70(payload) + 57(overhead)) * 8 \quad (3-14)$$

Učestalost gubitka paketa možemo računati pomoću formula:

$$PLR = \frac{\text{Ukupan broj izgubljenih paketa}}{\text{Ukupan broj poslanih paketa}} \quad (3-15)$$

$$\text{Ukupan broj izgubljenih paketa} =$$

$$\text{Ukupan broj poslanih paketa} - \text{Ukupan broj primljenih paketa} \quad (3-13)$$

$$PLR \cong PER^{N+1} \quad (3-14)$$

Računanje PLR-a može biti komplicirano zbog mnoštva MAC potvrda, time-outa, pokušavanja retransmisije pa se može aproksimirati kao formulu (3-14) gdje N predstavlja maksimalan broj pokušaja retransmisije. Najsporiji način pored automatizacije od strane simulatora jest korak po korak gdje je potrebno potražiti nadzornu ploču sa svim paketima koji su sudjelovali u transmisiji te računati za potreban trenutak broj pristiglih i poslanih paketa u komunikacijskom kanalu.

U nastavku vršit će se simulacija na dva slučaja: Single hop od 40 metara udaljenosti između senzora i baze te Multi hop na udaljenosti od 80 metara od senzora i baze sa dodatnim usmjerivačem između senzora i baze.

### Single hop rješenje

Za Single hop način koristi se topologija sa slike 3.6 sa novim promijenjenim postavkama simulacije u tablici 3.6.

**Tablica 3.6** Promijenjene postavke simulacije

Tip	Postavka
ACK za senzor i bazu	Omogućen
MFR za senzor i bazu	3
Snaga transmisije	1mW
Referentna udaljenost senzora i baze	40m
Vrijeme pristizanja paketa	100000 $\mu$ s

Potrebno je podesiti postavke adhoc veze u topologiji koji nam daje mogućnost mreže neovisno o infrastrukturi, a one se nalaze u tablici 3.7.

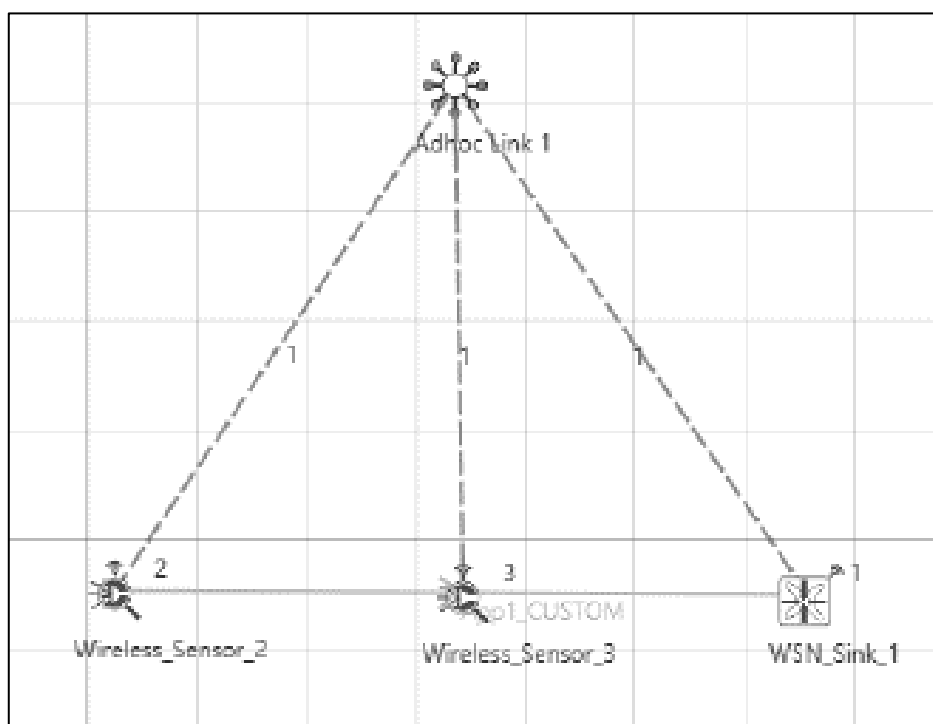
**Tablica 3.7** Postavke adhoc veze

Tip	Postavka
Tip veze	MULTIPOINT_TO_MULTIPPOINT
Medij	WIRELESS
Mod	HALF_DUPLEX

## Multi hop rješenje

U Multi hop rješenju za razliku od Single hop potrebno je u topologiju mreže unutar simulatora dodati još jedan bežični senzor na pola puta između senzora u Single hopu i baze tako da su udaljenosti triju elementa 40 metara što donosi ukupnu udaljenost između prvog senzora i baze od 80 metara. Nakon pokretanja simulacije, rezultati će pokazati učinkovitost komunikacije s povećanjem udaljenosti.

Topologija Multi hop mreže prikazana je na slici 3.7.



**Slika 3.7** Topologija Multi hop umrežavanja sa dva bežična senzora i baznom stanicom

Za simulaciju koriste se postavke zadnje ažurirane tablice prije trenutne simulacije. Potrebno je promijeniti još nekoliko parametara opisanih u tablici 3.8.

**Tablica 3.8** Promijenjene postavke simulacije

Tip	Postavka
Položaj mreže	11.1.1.1
Gateway	11.1.1.3
Udaljenost senzora 2 od senzora 3	40m
Udaljenost senzora 3 od baze	40m

## Simulacija Single hop i Multi hop rješenja

Pokretanjem simulacije na temelju zadanih postavki iz tablice 3.8. koja se nadograđuje na posljednje ažurirane postavke dobivamo sjedeće rezultate prikazane u tablici 3.9

**Tablica 3.9** *Rezultati simulacije*

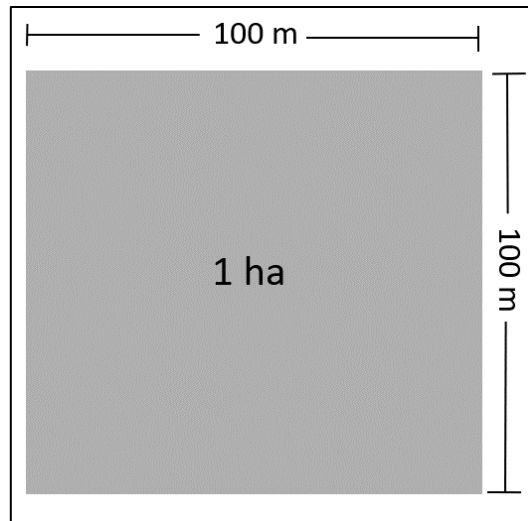
	Udaljenost (m)	Stvoreni paketi	Primljeni paketi	Paketi s pogreškom
<b>Single hop</b>	40	1000	1012	244
<b>Multi hop</b>	80	1000	1016	540

	Broj sudara paketa	PLR	Kašnjenje ( $\mu$ s)
<b>Single hop</b>	0	0	6394,06
<b>Multi hop</b>	0	0	14075,90

Paketi s pogreškom označavaju one pakete koji su bili prepoznati s pogreškom, ali oporavljeni ponovnom transmisijom. Zbog ponovnih transmisija i ACK protokola pojavljuje se veći broj primljenih paketa nego stvorenih.

### Interpretacija rezultata i zaključak simulacije

Jasno je kako se u komunikaciji, pogotovo bežičnoj koja ima velik rast u posljednjih dvadeset godina, potrebna potpun i siguran tok podataka. U prvoj simulaciji gdje se testirao Single hop na udaljenostima od 5 do 70 metara, sa razlikom od 5 metara od svakog mjerenja jasno je vidljivo kako je na maksimalnoj mogućoj udaljenosti točne komunikacije, a to je 40 metara, uspješnost komunikacije približno 80% što je za uporabu u poljoprivredi moguće i dostatno. Na udaljenostima većim od 40 metara pojavljuju se veliki gubici podataka u transmisiji te tako dolazim do zaključka kako je 40 metara optimalni maksimum Single hopa.



**Slika 3.8** *Prikaz dimenzija jednog hektara*

Na slici 3.8. vidljive su dimenzije jednog hektara posjeda, mjerne jedinice za veličinu posjeda u poljoprivredi te se jasno kako Single hop način ne može ispuniti zadaću pouzdane i brze komunikacije na takvom području jer većinom posjedi nisu manji od 1ha.

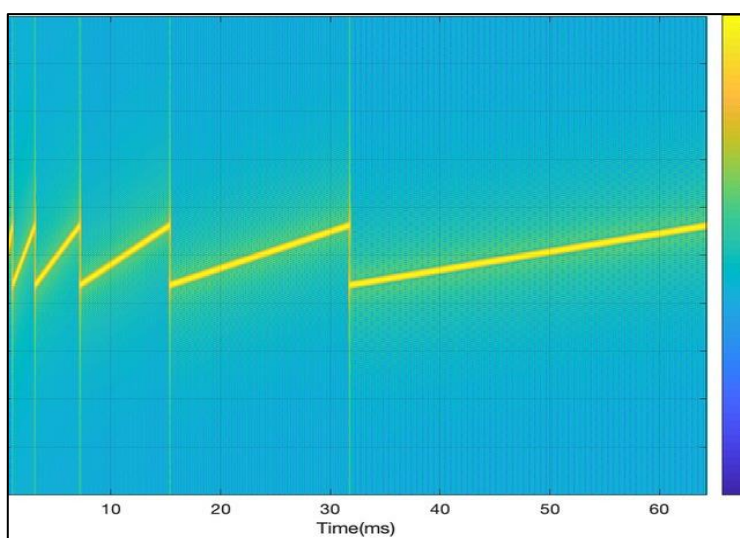
Kako bi uspjeli omogućiti komunikaciju na većim posjedima to se može učiniti kroz dva pristupa: pojačavanjem signala transmisije ili dodavanjem usmjerivača između senzora i baze. Usmjerivači imaju iste primopredajnike kao i senzori, ali usmjerivačima upravljaju mikrokontroleri koji šalju podatak dalje. Treba napomenuti kako senzori mogu služiti kao usmjerivači pravilnim programiranjem istih.

U drugoj simulaciji uspoređeni su način Single hop-a na udaljenosti sensor-baza od 40 metara te Multi hop gdje je udaljenost sensor-baza 80 metara, ali sa dodatnim sensorom koji djeluje kao usmjerivač postavljen između senzora i baze. Uporabom postavki iz tablice 3.6 otkriveno je kako je uspješnost isporučenja 100% u slučaju 80 metarske udaljenosti između prvobitnog senzora i baze, ali sa dodatnim sensorom između koji preuzima signal te ga šalje dalje. U oba slučaja, Single hop i Multi hop dostignute su uspješnosti isporučenja od 100%. U slučaju Multi hop-a signal se predaje senzoru između te tu nastaje kašnjenje koje je veće dva puta od Single hop načina na 40 metara. U tablici 3.9 pojavljuju se paketi s pogreškom, ali oni spadaju u računicu potpune uspješnosti isporučenja signala jer postojanje mehanizma ponovne transmisije u MAC sloju omogućava oporavak paketa. Nedostatak sudara paketa u transmisiji je pozitivna stvar iako je simulacija testirana sa slobodnim podatkovnim redom unutar senzora.

## 4. LORAWAN MREŽA U POLJOPRIVREDI

Osim bežičnih senzorskih mreža, drugi načini ostvarivanja potencijala IoT tehnologija su nisko-energetske mreže širokog područja (engl. LPWAN) nastale kao rješenje za cijenu i kompleksnost spajanja velikog broja uređaja na širokim područjima. Dvije od najnovijih i najpoznatijih komunikacijskih tehnologija u području nisko-energetskih mreža su LoRa i LoRaWAN mreže. LoRa je vlasništvo Semtech korporacije te se rad osniva na CSS modulaciji (Chirp Spread Spectrum) načinu enkodiranja informacije te se odnosi na fizički sloj OSI modela. LoRaWAN mreža predstavlja MAC sloj i fizički sloj OSI modela te je u vlasništvu LoRa Alliance.[12]

### LoRa modulacija

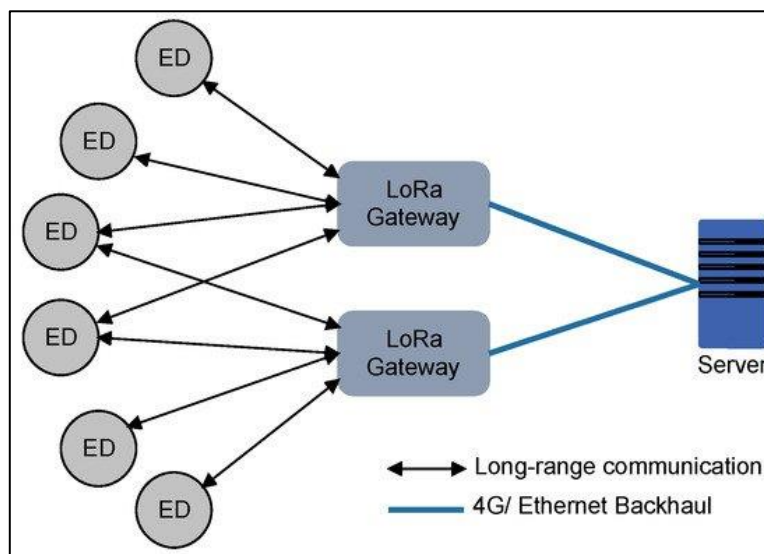


**Slika 4.1** Prikaz vrsta faktora prostiranja [13]

Na slici 4.1 vidljivi su faktori prostiranja (engl. Spreading Factor), čije vrijednosti mogu iznositi između 7 i 12. Lijevo je faktor vrijednosti 7, dok je krajnje desni signal faktor vrijednosti 12. Što je faktor veći, duže je vrijeme simbola te je duža udaljenost. Faktor vrijednost 12 ima najveću osjetljivost, prostorni domet transmisije i najveću potrošnju energije. Signali prikazani na slici 4.1 su signali čija frekvencija raste ili pada sa vremenom (engl. Chirp). Pošto su takvi signali ortogonalni na različitim faktorima prostiranja, LoRaWAN pristupnici (engl. Gateways) mogu primiti više transmisija na istoj frekvenciji sa različitim faktorima prostiranja.

## Arhitektura LoRaWAN

Topologija LoRaWAN mreže ima „Star“ oblik, te se sastoji od više krajnjih točaka, pristupnika te servera. Izgled topologije prikazan je na slici 4.2.



**Slika 4.2** Topologija LoRaWAN mreže [14]

Krajnje točke u topologiji mogu biti klasificirane. Klasifikacija se vrši po ponašanju sa preuzimanjem paketa. Postoje klase: A, B i C.

- Klasa A: mora biti podržana od strane svih LoRaWAN uređaja, uređaj ovog tipa može primiti paket samo nakon slanja paketa. Ovakav tip uređaja ima najmanju potrošnju energije.
- Klasa B: podržavaju jači promet u primanju paketa tako što imaju više prijemnih spremnika koji se otvaraju u određenim vremenskim intervalima kako signal dolazi od pristupnika.
- Klasa C: stalno osluškiju promet u komunikacijskom kanalu, samim time troše najviše energije, ali imaju mogućnost primanja paketa u bilo kojem trenutku što dovodi do smanjenje latencije prijema.

Pristupnici primaju pakete od svih krajnjih čvorova u njihovom prijemnom rasponu te iste šalju prema serveru koji je glavni odgovoran za upravljanje LoRaWAN mrežom. Server može istovremeno obrađivati više pristupnika te primiti pakete od više njih.[12]

Pristup radio kanalima u LoRaWAN mrežama zasnovan je na ALOHA protokolu koji ima sljedeći raspored:

1. Krajnji čvor šalje paket na određenom radio kanalu
2. Jedan ili više pristupnika koji su u transmisijском dometu čvora primaju paket
3. Pristupnici primljen paket prosljeđuju serveru
4. Server obrađuje podatke

LoRaWAN u Europi djeluje u frekvencijskom području od 868 MHz koji je ne licencirani pojas. Zbog toga što koristi ne licencirani pojas, postavljena su ograničenja na samu transmisiju podataka te dolazi do pojave radnog ciklusa paketa. Radni ciklus predstavlja djelić vremena u kojem je kanal zauzet zbog transmisije podatka. Ukoliko uređaj šalje podatak kanalom 2 vremenske jedinice svakih 10 vremenskih jedinica tada uređaj ima radni ciklus od 20%. Maksimalni radni ciklusi propisani su od strane državnih nadležnih tijela te ovisno o frekvenciji kreću se od 0.1% do 10%. [12]

**Tablica 4.1** Maksimalni radni ciklusi (engl. Duty cycle) ovisno o frekvencijskom području kanala [12]

Naziv	Pojas (MHz)	Ograničenja
<b>G</b>	863 - 868	Radni ciklus < 1%
<b>G1</b>	868 - 868,6	< 1%
<b>G2</b>	868,7 - 869,2	< 0,1 %
<b>G3</b>	869,4 - 869,65	< 10%
<b>G4</b>	869,7 - 870	< 1%

Kako bi element bio unesen u LoRaWAN mrežu, taj isti element mora biti registriran i aktiviran putem servera. Postoje dvije metode aktivacije: putem zraka te putem unaprijed personaliziranih uređaja. Aktivacija putem zraka je najsigurnija u kojoj se događa međusobna komunikacija servera i krajnjeg čvora gdje krajnji čvor šalje zahtjev u obliku paketa te čeka odgovor koji može bit prihvat ili odbijanje zahtjeva isto tako u paketu. Unaprijed personalizirani uređaji ne trebaju koristiti mehanizam slanja zahtjeva, nego već imaju sve potrebne postavke namještene za povezivanje sa LoRaWAN-om.

Kao i kod bežičnih senzorskih mreža, transmisija i dalje ovisi o preprekama u prostoru. LoRaWAN i LoRa imaju daleko najveću mogućnost povezivanja, veću od ostalih standardnih



komunikacijskih tehnologija. Domet u naseljenom području iznosi 2-5 km, a u ne naseljenim područjima do 15 km. Modulacija objašnjena na stranici 23 omogućuje zbog male energetske potrošnje rad aplikacija na bateriju do čak jedne godine. Slaba propusnost LoRaWAN mreže može se smatrati nedostatkom jer ne omogućuje manipuliranje podacima u stvarnom vremenu. LoRaWAN opremljena je AES enkripcijom kako podaci prilikom transmisije ne bi bili kompromitirani. [12]

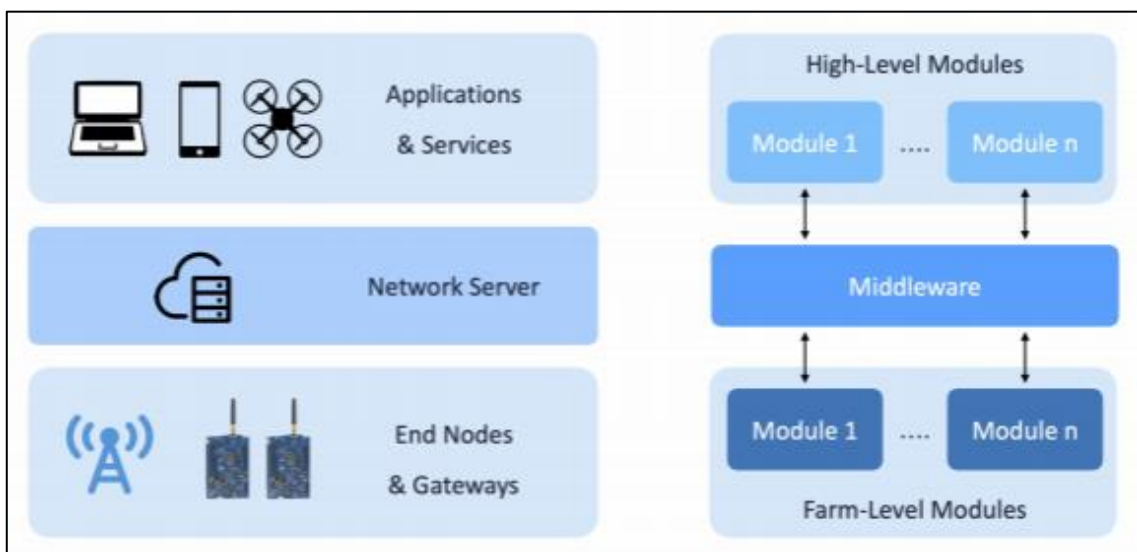
### Implementacija LoRaWAN

Gotovo sve članice Europske Unije imaju operatora koji nudi uslugu LoRaWAN mreže. Rapidni rast broja država koje su uvele mrežu dogodio se na prijelazu iz 2017. u 2018. Trenutno u svijetu postoji 148 LoRaWAN operatora u 162 zemlje.

Primjer sustava sa IoT uređajima koji komunicira sa bazom putem LoRaWAN mreže implementiran je u Italiji na farmi u blizini grada Forli naziva „Podere Campaz“ na kojoj obitavaju različiti usjevi, od voća, povrća i cvijeća. Farma je veličine 3ha te se sastoji od: vinograda, staklenika, redova voća i košnica.

Sustav koji spaja farmu i LoRaWAN mrežu naziva se LoRaFarM sustav te se sastoji od:

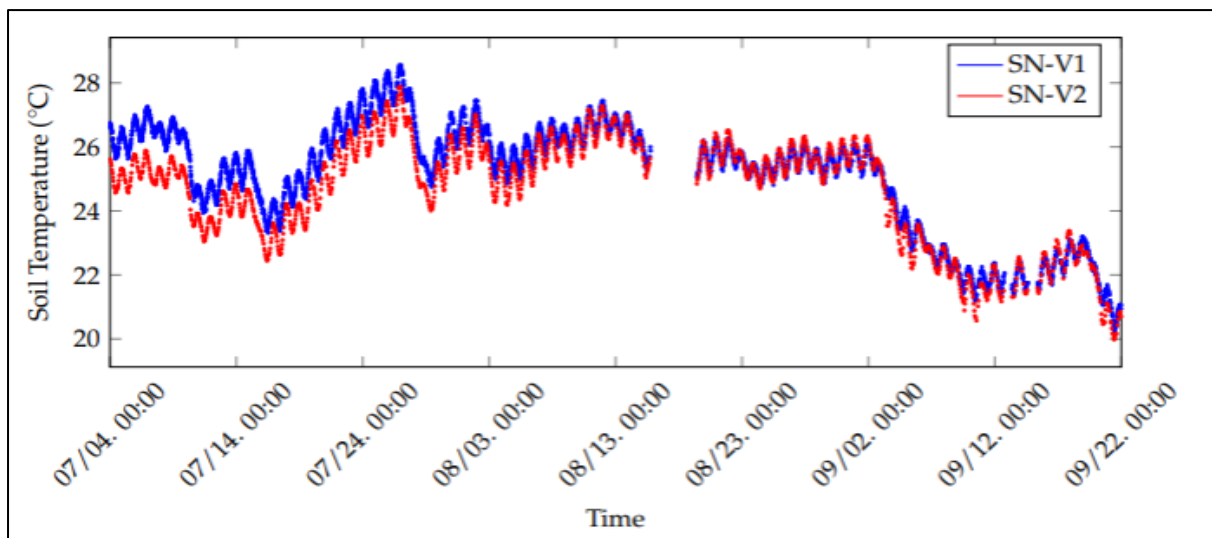
- Senzora, koji prikupljaju podatke te ih šalju serveru i aplikacijama koristeći LoRa modulaciju
- Aktuatora, koji automatiziraju procese na farmi koje su do sada trebale fizički rad



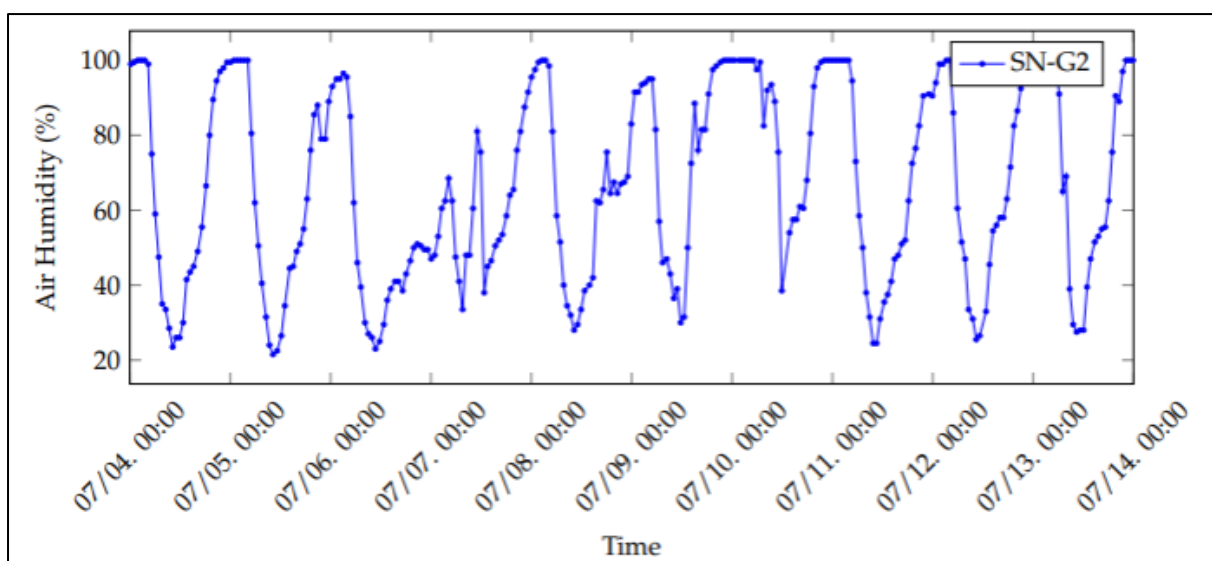
**Slika 4.3** LoRaFarM platforma desno, u usporedbi sa arhitekturom LoRaWAN-a lijevo [12]

Krajnji čvorovi u LoRaFarM kao što je vidljivo na slici 4.3 organizirani su u razinske module. farmski modul odgovara krajnjim čvorovima i predajnicima u mrežnoj topologiji. Središnji modul odgovara serveru dok krajnji modul odgovara aplikacijama i uređajima. Trenutno platforma sadrži dva farmska modula: vinogradski modul te staklenički modul. Vinogradski modul prati sastav i temperaturu tla na dijelu gdje se nalazi vinograd. Staklenički modulu prati i bilježi vremenske uvjete unutar staklenika. [12]

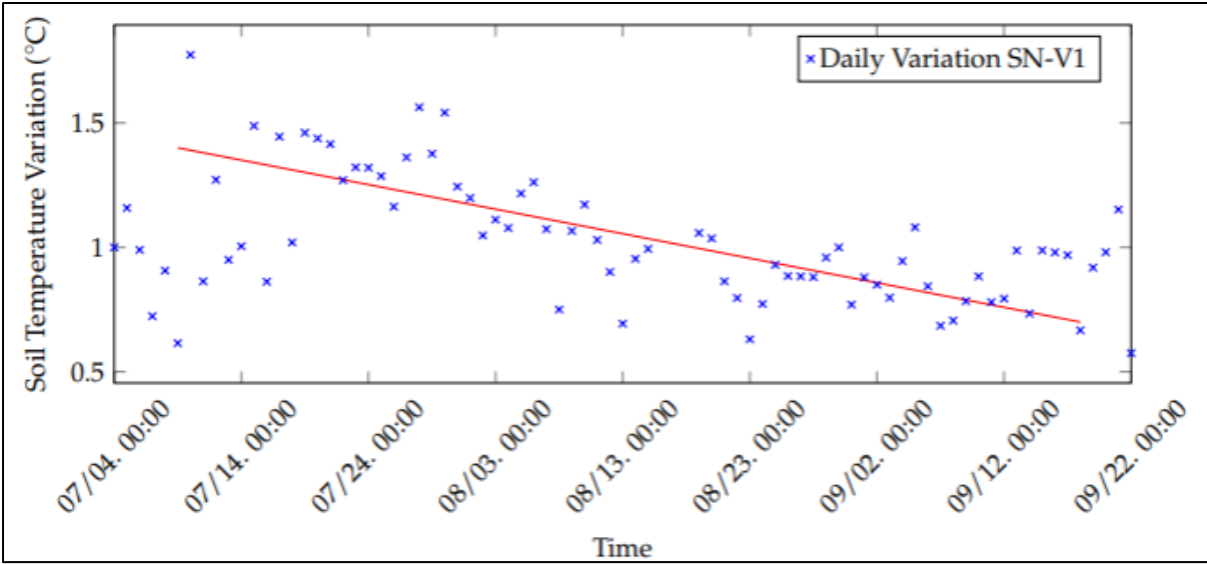
Na slikama 4.4 - 4.6. prikazani su neki od rezultata korištenja „pametne farme“ tijekom 2019.:



**Slika 4.4** Podaci temperature tla vinograda u razdoblju tri mjeseca prikupljene od SN-V1 i SN-V2 senzora [12]



**Slika 4.5** Podaci vlage zraka u stakleniku u razdoblju mjesec dana prikupljeni od SN-G2 senzora [12]



**Slika 4.6** Napredni rezultati varijacije temperature tla u vinogradu korištenjem rezultata sa slike 4.4 [12]

## 5. ZAKLJUČAK

Svrha ovog završnog rada je pojednostaviti razumijevanje IoT uređaja te predstaviti rješenja u budućoj primjeni IoT tehnologije u poljoprivredi. U radu su predstavljene teorijske osnove, proračuni, simulacije i implementacije koje otkrivaju prednosti i nedostatke novih tehnologija u poljoprivredi.

Glavni dio rada donosi teorijska zapažanja te rezultate dobivene virtualnom simulacijom vezano za dva načina umrežavanja u bežičnim senzorskim mrežama: Single hop i Multi hop. Teorijska zapažanja dovela su do spoznanja kako je Single hop energetski učinkovitiji način razmjene informacija između senzora koji prikuplja podatke te ih šalje bazi na obradu, ali simulacijom se utvrdilo kako su teorijska zapažanja donekle točna jer uzmemo li u obzir materijalne prepreke u prostoru gdje se ovakav način komunikacije želi implementirati, stvarni budžet vlasnika te veličine posjeda, točnost i kompletnost dobivenih podataka, tada se Multi hop način smatra isplativijim usprkos nedostacima koje po fizičkim zakonitostima ima, a to su kašnjenje informacije i veća potrošnja energije. Single hop je savršen za vrlo male posjede pa gledajući s realne strane kako većina vlasnika posjeda ima posjede u mjerilu hektara, tada je Multi hop provjereno rješenje za bežične senzorske mreže. Osim bežičnih senzorskih mreža predstavljena je mogućnost implementacije LoRaWAN mreže u kombinaciji sa sensorima te se pokazala najboljim rješenjem za velike posjede jer nudi nisku energetske potrošnju elemenata unutar mreže sa dometom do 15 km. Mana LoRaWAN rješenja jest slaba propusnost zbog uskog frekvencijskog pojasa koji je ne licenciran, ali svakim danom LoRaWAN je dostupnija te se očekuju poboljšanja na istoj.

Naposljetku, zaključak je da iskoristivost IoT uređaja u poljoprivredi omogućuje bolju kontrolu proizvoda, pravovremene reakcije nad usjevima te smanjenje fizičkog rada.

## LITERATURA

- [1] S., Khvoynitskaya, The history and future of the internet things, iTransition, 2019., dostupno na: <https://www.itransition.com/blog/iot-history> [5.7.2020.]
- [2] V.N., Malavade, P.K., Akulwar, Role of IoT in Agriculture, IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE), 2016., dostupno na: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jce/papers/Conf.16051/Volume-1/13.%2056-57.pdf?id=7557> [5.7.2020.]
- [3] I., Podnar Žarko, G., Ježić, Interoperabilna IoT rješenja u poljoprivredi, IoT-Lab@FER, 2018., dostupno na: [http://www.icent.hr/wp-content/uploads/2018/10/2.-Podnar-Žarko\\_AGRO-ARCA.pdf](http://www.icent.hr/wp-content/uploads/2018/10/2.-Podnar-Žarko_AGRO-ARCA.pdf) [5.7.2020.]
- [4] What are the best way to IoT can help the agriculture sector?, 2018., dostupno na: <https://zibowang77517210.wordpress.com> [5.7.2020.]
- [5] V., Saiz-Rubio, F., Rovira-Mas, From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A review on Crop Data Management, Agricultural Robotics Laboratory, 2020., dostupno na: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/2/207/htm> [6.7.2020.]
- [6] Mjerno osjetilo, Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020., dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=45689> [23.11.2020.]
- [7] Libelium's new Smart Agriculture Xtreme Sensor Node Provides Maximum Accuracy for Crop Monitoring, Libelium, 2018., dostupno na: <https://www.libelium.com/libeliumworld/libeliums-new-smart-agriculture-xtreme-sensor-node-provides-maximum-accuracy-for-crop-monitoring/> [23.11.2020.]
- [8] Hop Count, Infocellar, 2014., dostupno na: <https://web.archive.org/web/20141004153508/http://www.infocellar.com/networks/ip-hop-count.htm> [23.11.2020.]
- [9] C., Hedrick, Routing Information Protocol, Rutgers University, 1988., dostupno na: <https://tools.ietf.org/html/rfc1058> [24.11.2020.]
- [10] U.M., Pešović, J.J., Mohorko, K., Benkič, Ž.F., Čučej, Single-hop vs. Multi-hop - Energy efficiency analysis in wireless sensor networks, 18.Telekomunikacioni forum TELFOR 2010, Beograd, Srbija, 2010., dostupno na: [http://2010.telfor.rs/files/radovi/TELFOR2010\\_03\\_42.pdf](http://2010.telfor.rs/files/radovi/TELFOR2010_03_42.pdf) [24.11.2020.]
- [11] M., Neugebauer, J., Ploennigs, Evaluation of Energy Costs for Single Hop vs. Multi Hop with Respect to Topology Parameters, WFCS - IEEE, Torino, Italija, 2006., dostupno na:

- [https://www.researchgate.net/publication/251822481\\_Evaluation\\_of\\_Energy\\_Costs\\_for\\_Single\\_Hop\\_vs\\_Multi\\_Hop\\_with\\_Respect\\_to\\_Topology\\_Parameters](https://www.researchgate.net/publication/251822481_Evaluation_of_Energy_Costs_for_Single_Hop_vs_Multi_Hop_with_Respect_to_Topology_Parameters) [25.11.2020.]
- [12] G., Codeluppi, A., Cilfone, L., Davoli, G., Ferrari, LoRaFarM: a LoRaWAN-Based Smart Farming Modular IoT Architecture, University of Parma, Italija, 2020., dostupno na: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/7/2028> [26.11.2020.]
- [13] D-H., Kim, E-K., Lee, J., Kim, Experiencing LoRa Network Establishment on a Smart Energy Campus Testbed, 2019., dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/332151302\\_Experiencing\\_LoRa\\_Network\\_Establishment\\_on\\_a\\_Smart\\_Energy\\_Campus\\_Testbed](https://www.researchgate.net/publication/332151302_Experiencing_LoRa_Network_Establishment_on_a_Smart_Energy_Campus_Testbed) [26.11.2020.]
- [14] R., Piyare, A., Murphy, M., Mango, L., Benini, On-Demand LoRa: Asynchronous TDMA for Energy Efficient and Low Latency Communication in IoT, 2018., dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/328684003\\_On-Demand\\_LoRa\\_Asynchronous\\_TDMA\\_for\\_Energy\\_Efficient\\_and\\_Low\\_Latency\\_Communication\\_in\\_IoT](https://www.researchgate.net/publication/328684003_On-Demand_LoRa_Asynchronous_TDMA_for_Energy_Efficient_and_Low_Latency_Communication_in_IoT) [26.11.2020.]

## SAŽETAK

Napredak IoT tehnologije polako, ali sigurno odražava se i na poljoprivredu. Uvođenjem senzora te pravilnim povezivanjem senzora sa jedinicom obrade podataka na posjedu možemo ostvariti bolju kontrolu usjeva te krajnjeg proizvoda. Pravilno povezivanje omogućuju razni načini, među njima su povezivanje Single hop (senzor-baza) na manjim područjima te povezivanja Multi hop (senzor-usmjerivač-baza) na većim područjima obrade. Osim bežičnih senzorskih mreža moguće je iskoristiti i postojeće mrežne infrastrukture, kao i najpopularniju opciju u većini Europskih država: LoRaWAN mrežu. Cilj rada je otkriti mogućnosti pojedinih načina u bežičnim senzorskim mrežama te potencijal LoRaWAN za buduće uporabe IoT tehnologija u poljoprivredi.

**Ključne riječi:** IoT, poljoprivreda, bežična senzorska mreža, Single hop, Multi hop, LoRaWAN.

## ABSTRACT

### POSSIBLE IOT APPLICATIONS IN AGRICULTURE

Advances in IoT technology are slowly but surely affecting agriculture. With proper connection of sensors with processing unit we can achieve better control of crops and final product. Proper connection of sensors is achievable with a variety of ways, including Single hop and Multi hop way of connection. In addition to WSN, it is possible to use existing network infrastructures, as well as the most popular option in most European countries: LoRaWAN network. The aim of this paper is to discover possibilities of certain ways in WSN and potential of LoRaWAN network for future use of IoT technology in agriculture.

**Keywords:** IoT, agriculture, WSN, Single hop, Multi hop, LoRaWAN.

## **ŽIVOTOPIS**

Petar Biočić rođen je 27. Siječnja 1999. godine, u Osijeku. Osnovno obrazovanje započinje 2005. godine u osnovnoj školi Višnjevac. Za vrijeme osnovnoškolskog obrazovanja također se školovao u glazbenoj školi Franjo Kuhač. Po završetku osnovne škole, 2013. godine nastavlja obrazovanje u Elektrotehničkoj i prometnoj školi Osijek gdje upisuje smjer za elektrotehničara te 2017. nakon završetka srednoškolskog obrazovanja upisuje preddiplomski studij računarstva na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek.