

# Analiza performansi tehnologija kratkog dometa u bežičnim senzorskim mrežama

---

**Matijević, Josip**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*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:200:768496>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-19**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**Analiza performansi tehnologija kratkog dometa u bežičnim  
senzorskim mrežama**

**Diplomski rad**

Josip Matijević

Osijek, 2019.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	3
2. TEORIJSKA PODLOGA .....	5
2.1. Povijest bežičnih mreža .....	5
2.2. Klasifikacija bežičnih mreža .....	5
2.3. OSI model.....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
2.4. Tehnologije kratkog dometa za bežični prijenos podataka .....	8
2.4.1. ZigBee .....	9
2.4.2. WiFi.....	12
2.4.3. LoRa .....	13
2.4.4. Bluetooth .....	15
2.4.5. RFID.....	15
2.4.6. NFC .....	16
3. RAZRADA PROBLEMA.....	18
3.1. <i>CupCarbon</i> simulator .....	18
3.2. Testni scenarij.....	18
3.2.1. Prvi scenarij.....	18
3.2.2. Drugi scenarij .....	20
3.2.3. Treći scenarij .....	21
3.2.4. Četvrti scenarij .....	22
3.2.5. Peti scenarij .....	23
3.2.6. Šesti scenarij.....	24
3.2.7. Sedmi scenarij .....	25
4. ANALIZA REZULTATA.....	26
4.1. Parametri i kod simulacije .....	26

4.1.1.	Analogni senzor.....	26
4.1.2.	Digitalni senzor .....	28
4.1.3.	Parametri simulacije .....	31
4.2.	Rezultati prvog scenarija .....	34
4.3.	Rezultati drugog scenarija .....	35
4.4.	Rezultati trećeg scenarija.....	36
4.5.	Rezultati četvrtog scenarija .....	37
4.6.	Rezultati petog scenarija.....	39
4.7.	Rezultati šestog scenarija.....	40
4.8.	Rezultati sedmog scenarija .....	41
4.9.	Usporedba rezultata .....	41
5.	ZAKLJUČAK .....	43

## 1. UVOD

U ovom diplomskom radu dan je opis te je načinjena analiza performansi tehnologija kratkog dometa koje se primjenjuju u bežičnim senzorskim mrežama, s naglaskom na razlike u energetske učinkovitosti korištenih tehnologija. Internet mreža uz međusobno umrežavanje velikog broja računalnih uređaja omogućuje i povezivanje različitih senzorskih uređaja. Povezivanje različitih senzorskih uređaja na Internet, te slanje i primanje informacija o promjenama izmjerenih parametara koja se mjere na tim uređajima kroz mrežu objedinjeno je unutar koncepta poznatog pod nazivom „Internet stvari“. Internet stvari (eng. *Internet of Things*, IoT) je koncept koji omogućuje povezivanje fizičkih objekata i uređaja svakodnevne namjene, kao što su mobiteli, tableti, medicinski uređaji i senzori, na Internet. Uređaji koji imaju pristup Internetu mogu komunicirati sa ostalim umreženim uređajima, te im je omogućeno pristupiti s udaljene lokacije. Internet stvari postupno poprima sve značajniju ulogu u svakodnevnom životu ljudi s ciljem poboljšanja kvalitete života. Danas preko pametnih telefona možemo pratiti svakodnevne aktivnosti. Koliko smo kilometara prehodali, lokacije na kojima smo se nalazili, vremensku prognozu, mjeriti otkucaje srca, razinu stresa i sl.. To znači da je naš mobitel senzor koji prikuplja podatke o nama i šalje ih preko Interneta na server gdje se te informacije pohranjuju. Pametni telefon je samo jedan od primjera primjene Interneta stvari.

Za prijenos podataka putem Interneta na kraće udaljenosti koriste se razne tehnologije. Svaka tehnologija ima svoje prednosti i mane. Ovisno o potrebama korisnika koriste se odgovarajuće tehnologije. Ako je potrebno pratiti razinu vode u spremniku koji je na udaljenoj lokaciji, ali se razina ne mijenja često možemo koristiti tehnologiju koja ima velik domet, ali i potrošnju energije, npr. Wi-Fi. Kako se informacije ne šalju često to predstavlja učinkovitu metodu prijenosa podataka. U slučaju većeg broja promjena u kratkom vremenu koristi se tehnologije kraće dometa, ali manje potrošnje energije pri slanju podataka, npr. ZigBee.

Ovaj diplomski rad podijeljen je u pet cjelina:

1. Uvod
2. Teorijska podloga
3. Razrada problema
4. Analiza rezultata
5. Zaključak

U teorijskom dijelu rada opisana je povijest bežičnih mreža, klasifikacija bežičnih mreža, mrežni protokoli, OSI model te Internet stvari. Svaka tehnologija kratkog dometa korištena u izradi simulacije detaljno je opisana u ovome poglavlju kao i ostale tehnologije koje se koriste pri bežičnom prijenosu podataka u ovakvim tipovima mreža.

Poglavlje razrada problema predstavlja opis simulatora CupaCarbon u kojemu su izvedene sve simulacije, te je opisan problem prijenosa podataka i potrošnje energije pri prijenosu tih podataka do krajnjeg korisnika.

Analiza rezultata predstavlja rezultate simulacija za pojedine tehnologije prijenosa podataka s posebnim naglaskom na potrošnju energije. Opisane su sve skripte i kodovi u njima za uspješnu izvedbu simulacije.

U zaključku je dan osvrt na dobivene rezultate, te na prednosti, mane i nedostatke analiziranih tehnologija bežičnog prijenosa podataka. Opisani su najznačajniji ostvareni rezultati u praktičnom dijelu rada te je dan pregled preostale postojeće problematike. .

## 2. TEORIJSKA PODLOGA

U ovome poglavlju opisane su sve teorijske podloge koje su potrebne za razumijevanje i rješavanje problema definiranog zadatkom ovog diplomskog rada. Opisana je kratka povijest bežičnih mreža, mrežni protokoli, Internet stvari, kao i tehnologije koje se koriste u bežičnom prijenosu podataka.

### 2.1. Povijest bežičnih mreža

Začetak bežičnog prijenosa podataka seže u početak 20. stoljeća. Začetnik ovakvog načina prijenosa podataka je Guglielmo Marconi, talijanski inženjer i fizičar (1874. – 1937.g.). On je 1901. godine poslao radio signal preko Atlantika i na taj način započeo eru bežičnog prijenosa podataka. [1] Ubrzo nakon njegovoga uspjeha, vojska preuzima njegov izum i dodatno razvija njegov patent. Dodavanjem enkripcije i dodatnim usavršavanjem patenta vojska se uvelike oslanja na ovaj način prijenosa podataka. Radio tehnika je puni zamah doživjela za vrijeme Drugog svjetskog rata. Godine 1971. razvijen je WLAN. Razvijen je na Havajima i činio je bežičnu lokalnu mrežu nazvanu ALOHA. Čisti ALOHA omogućuje izravno slanje podataka, dok u slučaju nastanka kolizije tijekom prijenosa podatak dolazi do gubitka paketa, pa svi čvorovi moraju ponovno poslati podatke. U kasnijim verzijama ovaj način prijenosa podataka je usavršen i korišten je 1G mobilnim mrežama za signalizaciju i kontrolu. U kasnijim verzijama izbačen je natjecateljski sustav primanja podataka, te zamijenjeni s prozivanjem ili korištenjem tokena. Do danas je razvijen niz protokola i tehnologija u bežičnom prijenosu podataka koji olakšavaju pristup informacijama. Korištenje ovakvog načina prijenosa podataka uvelike olakšava svakodnevni život i rad.

### 2.2. Klasifikacija bežičnih mreža

Bežične mreže dijele se na WLANS, WPANS, WMANS, WWANS. Svaka od navedenih mreža ima različite primjene. WLANS (eng. *Wireless Local Area Networks*) omogućava korisnicima koji se nalaze na kampusu ili na fakultetu da pristupe Internetu. Ova mreža je lokalna i sastoji se od malog broja korisnika bez potrebe za pristupnom točkom.

WPANS (eng. *Wireless Personal Area Networks*) ima dvije tehnologije koje se koriste, a to su IR (eng. *Infra Red*) i Bluetooth. One omogućavaju da se dva uređaja povežu i prenose podatke na malim udaljenostima. IR za razliku od Bluetootha mora imati direktnu vidljivost sa uređajem kojemu šalje ili prima podatke.

WMANS (eng. *Wireless Metropolitan Area Networks*) omogućuje povezivanje više mreža u gradskom području. Ova tehnologija može biti pričuva u slučaju ispadanja bakrenih ili optičkih vodova.

WWANS (eng. *Wireless Network Types*) je bežična mreža koja je namijenjena za pokrivanje velikog područja. Za pokrivanje područja koristi se s nekoliko satelita ili antenskim sustavom.

TIP	POKRIVENOST	PERFORMANSE	STANDARD	PRIMJENA
Bežični PAN	Nadomak osobe	Umjeren	IEEE 802.15, IrDa, umjeren Bluetooth	Zamjena kabela za periferne uređaje
Bežični LAN	Nadomak zgrade ili kampusa	Visok	IEEE 802.11, Wi-Fi, HiperLAN	Mobilno proširenje ožičenih mreža
Bežični MAN	Nadomak grada	Visok	IEEE 802.16, WIMAX	Fiksna bežična mreža između kuće i poduzeća te Interneta
Bežični WAN	Širom svijeta	Nizak	CDPD, 2G, 2.5G, 3G	Mobilni pristup Internetu iz vanjskih područja

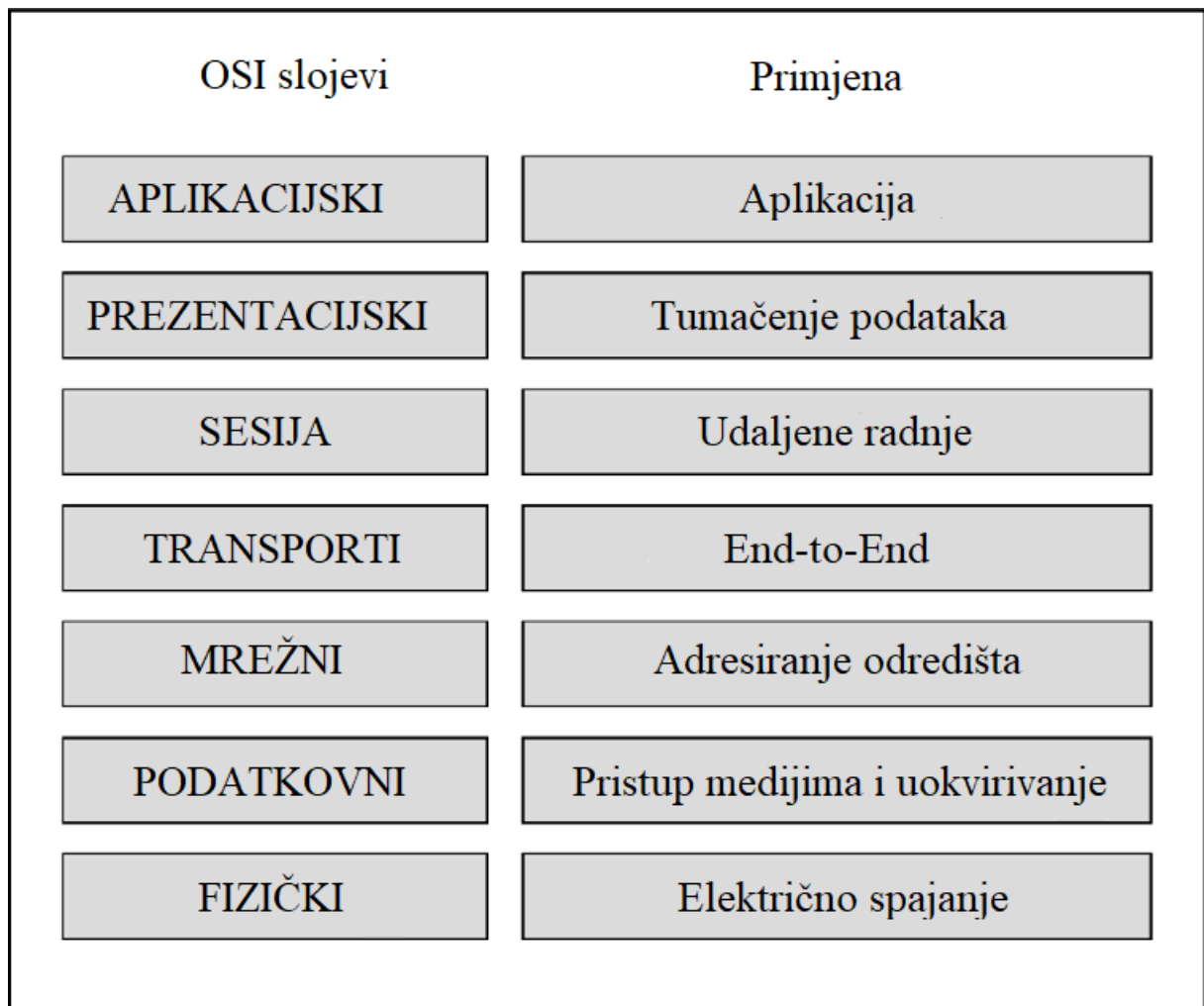
Slika 2.1. Usporedba bežičnih mreža [2]

### 2.3. OSI model

Mrežni protokol predstavlja skup pravila za provedbu komunikacije te provjeru nastanka pogrešaka pri prijenosu podataka. [3] Bez mrežnih protokola prijenos podataka preko mreže bi bio otežan. Oni omogućuju komunikaciju preko mreže. Protokoli najčešće obuhvaćaju poruku koja se prenosi i zaštitu od pogreški pri prijenosu.

OSI model je najdostupniji model koji opisuje arhitekturu mreže, odnosno način na koji su povezani protokoli, sklopovi i programi u mrežnoj komunikaciji. Ovaj model dijeli mrežu u sedam dijelova. To su fizički sloj, podatkovni sloj, mrežni sloj, transportni sloj, sloj sesije, prezentacijski sloj te aplikacijski sloj.





Slika 2.2. OSI model

Fizički sloj omogućuje slanje signala diljem komunikacijskog medija. [4] Ovim slojem definirane su razine napona, brzine prijenosa, prijenosne udaljenosti, komunikacijska sučelja. Na ovom sloju određene su i električne i mehaničke specifikacije za održavanje i aktiviranje linkova u sustavu, ali i deaktiviranje istih.

Podatkovni sloj omogućuje prijenos podataka između mrežnih uređaja. Ovaj sloj koristi MAC (eng. *Media Access Control*) adrese za komunikaciju i može komunicirati samo unutar lokalne mreže. Na ovom sloju smješteni su preklopnici koji imaju memoriju i u njoj pohranjene MAC adrese svih uređaja koji su spojeni na preklopnik.

Mrežni sloj omogućuje komunikaciju kroz cijelu mrežu. Za dodjelu IP adresa u primjeni su IP (eng. *Internet Protocol*) standardi IPv4 i IPv6. Pri pretvorbi MAC adrese u IP adresu usmjerivač provjerava u njemu pohranjenu tablicu usmjeravanja. Usmjerivač čita adresu na koju paket treba

stići i iz tablice usmjeravanja očitava da li se ta adresa nalazi u lokalnoj ili vanjskoj mreži. Ovisno o dobivenom odgovoru paketi se prosljeđuju prema odredištu.

Transportni sloj dijeli podatke koje dobije sa sesijskog sloja te ih dijeli na manje pakete za dostavu na mrežni sloj. Ovaj sloj se brine da paketi stignu neoštećeni na drugi kraj mreže. Na ovom sloju su dominantni TCP i UDP protokoli. TCP protokol će u slučaju izgubljenog paketa tražiti ponovno slanje istoga dok UDP protokol nema kontrolu nad gubitkom paketa te je on bolji za multimedijско slanje podataka.

Sloj sesije uspostavlja vezu između dva korisnika te se brine o održavanju istoga. Zadužen je za uspostavljanje, održavanje i raskidanje veze.

Prezentacijski sloj upravlja sintaksom i semantikom informacija koje se prenose između dva računala.

Aplikacijski sloj je najviši sloj u OSI modelu i najbliži korisniku. Razlika između ovog sloja i ostalih slojeva je ta što on pruža interakciju prema korisniku i aplikacijama prema van, a ne prema ostalim slojevima OSI modela. Neki od primjera aplikacija su tekst i tablice. Ovaj sloj koristi HTTP (eng. *Hyper Text Transfer Protocol*), FTP (eng. *File Transfer Protocol*), SMTP (eng. *Simple Mail Transfer Protocol*) i mnoge druge protokole.

#### **2.4. Tehnologije kratkog dometa za bežični prijenos podataka**

Internet stvari je sustav međusobno povezanih računalnih uređaja, mehaničkih i digitalnih strojeva, te objekata u koje su ugrađeni senzori i koji su opremljeni jedinstvenim identifikatorima i sposobnošću prijenosa podataka preko mreže bez potrebe za ljudskom intervencijom. [5]

Uređaji su na Internet spojeni bežično i pružaju veliki broj novih mogućnosti. Osim međusobnog slanja podataka Internet stvari donosi nove mogućnosti kontrole i praćenje uređaja, ali i pružanje naprednih usluga. Internet stvari ima sposobnost procesiranja velike količine podataka koje generiraju različiti uređaji koji imaju ugrađene senzore i međusobno komuniciraju.

U Internetu stvari mogu biti tri načina komunikacije [6]:

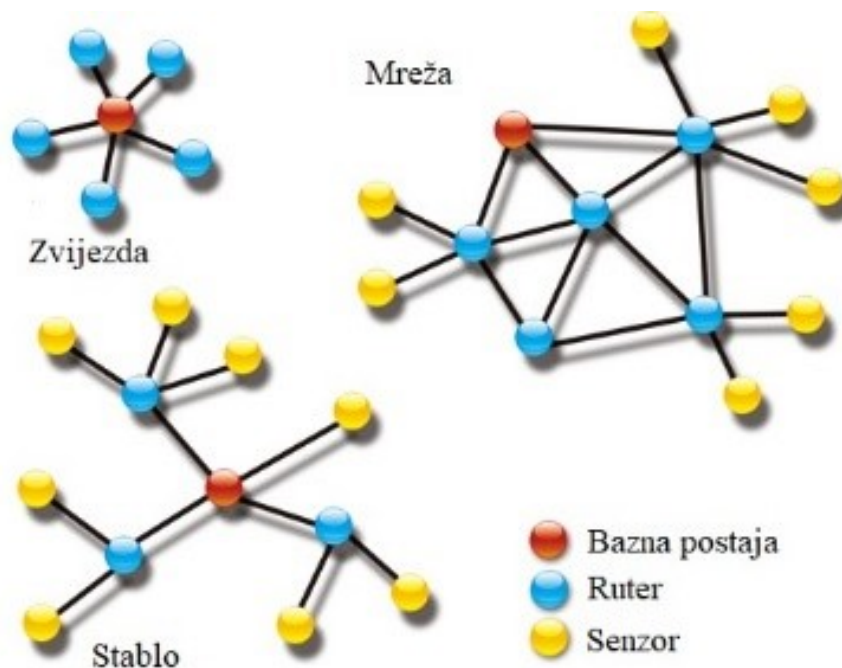
- komunikacija stvari s ljudima
- komunikacija između stvari
- komunikacija između uređaja M2M (eng. *Machine toMachine*).

Prema nekim procjenama, u budućnosti će biti povezano 200 milijardi uređaja, dok se njihova tržišna vrijednost procjenjuje na 80 milijardi dolara [7]

U današnjem korištenju Interneta stvari mali dio uređaja koristi žičnu konekciju dok se veliki dio njih koristi bežičnom tehnologijom prijenosa podataka. Neke od najkorištenijih tehnologija bežičnog prijenosa podataka su Bluetooth, WLAN, ZigBee, WiFi, LoRa, NFC, Cellular.

#### 2.4.1. ZigBee

ZigBee je 802.15.2 standard. Njegove karakteristike su niska potrošnja i niska brzina prijenosa podataka pri bežičnoj komunikaciji. ZigBee koristi nelicencirani ISM spektar za prijenos podataka, uključujući 2.4 GHz frekvencijsko područje. U Svijetu se koriste različita frekvencijska područja. U Sjedinjenim Američkim Državama koristi se 915 MHz, u Kini 784 MHz, a u Europi 868 MHz. [8] ZigBee koristi zvijezdastu, stablovnu i isprepletenu mrežnu topologiju.



Slika 2.3. ZigBee mrežna topologija [9]

Stoga informacije u nekoliko skokova mogu stići do odredišta. To ga čini prikladnim za mreže s niskom brzinom prijenosa podataka koje se rasprostiru na većem području nego što bi to jednostavna mreža od točke do točke mogla doseći u sličnim uvjetima. Nedostatak je kraći vijek trajanja baterije za uređaje koji služe kao repetitori za udaljene uređaje. Osim podataka, između čvorova se šalju i potvrde o zaprimanju paketa. ZigBee Pro može frekvencijskim skokovima izbjeći smetnju, pri čemu se cijela mreža mora premjestiti na drugi frekvencijski kanal u slučaju

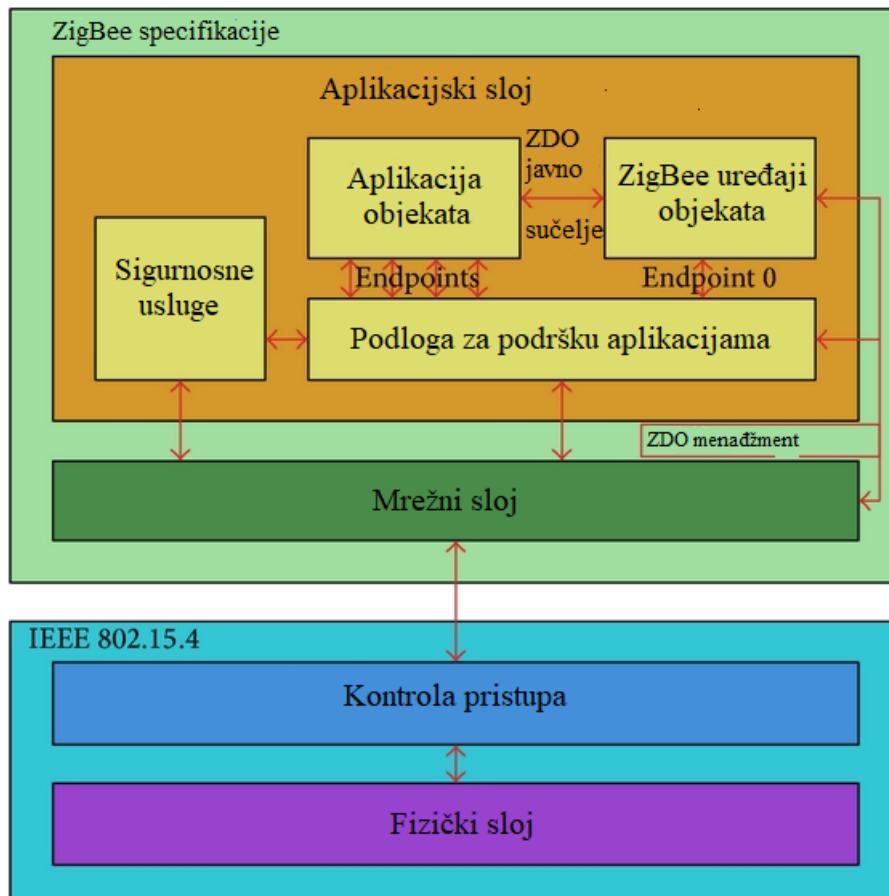
smetnje. Brzina prijenosa podataka, kao i frekvencijska područja rada, razlikuju se od regije do regije, minimalne brzine su 10 kB/sec do maksimalnih 200 kB/sec. Ove brzine prijenosa su dovoljne za mnoge uređaje koji se koriste u Internetu stvari. Manje brzine prijenosa znače i manju potrošnju baterije. Danas je to jedna od najprivlačnijih stvari na tržištu i ovakvi se uređaji koriste na teško dostupnim mjestima koje trebaju dugi vijek trajanja baterije. ZigBee može se npr. koristiti u bravama bez ključa ili u termostatima.



Slika 2.4. Prikaz pametne kuće sa ZigBee tehnologijom [10]

Slika 2.4. prikazuje pametnu kuću koja koristi ZigBee tehnologiju upravljanja i prijenosa podataka. Putem aplikacije može se upravljati cijelom kućom, odnosno sustavom grijanja, klima uređajima ili rasvjetom.

ZigBee uređaji imaju više klasa i tipova. To su FFD (eng. *Fully Functional Device*) i RFD (eng. *Reduced Function Device*). FFD mora biti spojen na izvor napajanja dok kod RFD nije potrebno imati izvor napajanja, nego on ima bateriju. U ZigBee mreži uglavnom postoje tri funkcije uređaja. Koordinator je uvijek FFD i on inicijalizira, uspostavlja veze između čvorova. Usmjerivač također FFD i služi za povećanje dometa mreže. Krajnji uređaj, može biti i FFD i RFD. Uglavnom se koriste senzori i slični uređaji za detekciju određenih promijena.



Slika 2.5. ZigBee protokolni stog [11]

ZigBee protokolni stog sastoji se od četiri sloja: fizičkog sloja, sloja za pristup mediju, mrežnog sloja i aplikacijskog sloja.

Fizički sloj uspostavlja i deaktivira uređaje, te mjeri razinu signala i obavlja provjeru je li kanal slobodan. Ovaj sloj ima tri pojasa frekvencija. Prvi pojas je od 868 MHz koji šalje podatke brzinom od 20 kbps. Drugi pojas je na 915 MHz, sadržava 10 kanala i postiže brzine prijenosa do 40 kbps. Treći pojas je na 2,4 GHz i sadržava 16 kanala, postiže brzine prijenosa 250 kbps te mu je širina kanala 5 MHz. Za treći pojas na zatvorenom domet signala je oko 30 metara, dok je na otvorenom 100 metara. Prvi i drugi pojas koriste PSK (eng. *Phase Shift Keying*), a teći pojas koristi QPSK (eng. *Quadrature Phase Shift Keying*). [12]

Sloj za pristup se koristi za povezivanje s fizičkim slojem i za sinkronizaciju s mrežnim slojem. Ostvaruje sigurnu komunikaciju između dva čvora i na njemu je definirana funkcionalnost uređaja.

Na mrežnom sloju formira se topologija, vrši se aktiviranje i deaktiviranje uređaja, adresiranje, te primanje i prosljeđivanje podataka od sloja iznad i ispod mrežnog sloja.

Aplikacijski sloj komunicira između aplikacija koje koriste ZigBee mrežu. [12]

#### 2.4.2. Wi-Fi

Wi-Fi je jedan od najpopularnijih načina prijenosa podataka. Standardiziran je pod IEEE 802.11. Prvenstveno je namijenjen kako bi zamijenio LAN kablove i spojio korisničke uređaje, kao što su laptopi i printeri. Wi-Fi omogućuje brzi prijenos podataka od 10 do 50 Mb/s i troši znatno više energije za slanje podataka od ZigBee-a. Kako ima široki spektar primjene tako ima i više inačica. Najpopularnija primjena je u Internetu stvari u rasponu od 2.4 GHz do 5 GHz. [13] Wi-Fi ima brojne inačice sklopovlja koji su u primjeni. Pri projektiranju mreže putem Wi-Fi-a potrebno je voditi računa o radijskom spektru, koji utječe na performanse samih uređaja. Za razliku od uređaja manjih dometa koje znatno štede bateriju, Wi-Fi znatno troši bateriju i nije moguće koristiti malu bateriju te omogućiti da ta baterija traje godinama. Zbog toga Wi-Fi mora imati stalni izvor napajanja.



Slika 2.6. WiFi [14]

Slika 2.6. prikazuje na koji način radi jedna Wi-Fi mreža. U mreži se nalaze modem i usmjerivač koji su spojeni na vanjsku mrežu i preko radio signala spajaju stolno računalo, laptop i printer.

Neke od inačica Wi-Fi-a su 802.11b Wi-Fi, 802.11g Wi-Fi, 802.11a, 802.11n i 802.11ac. [13]

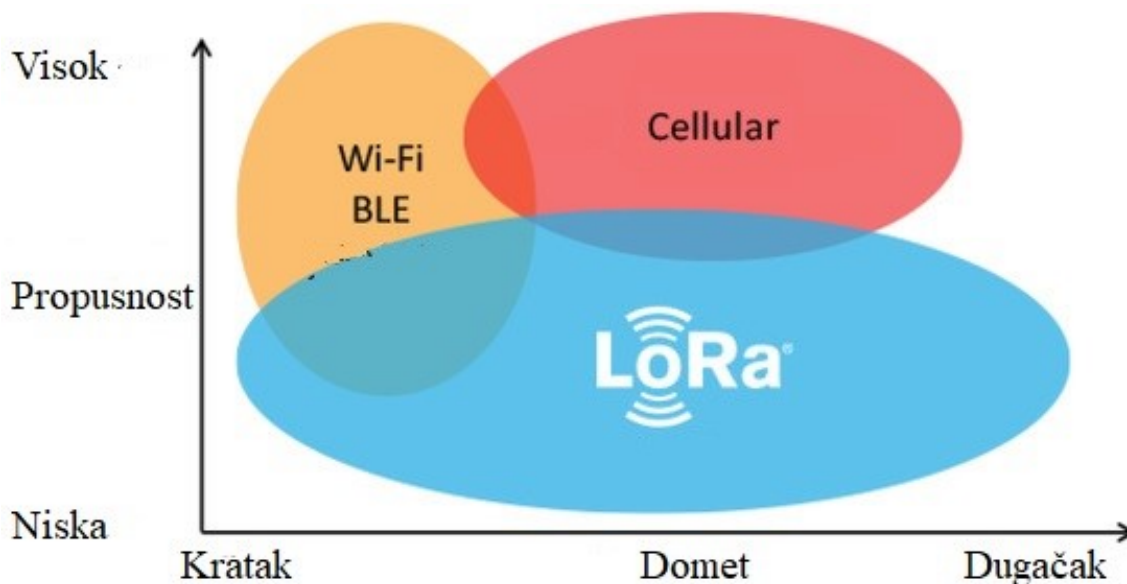
Wi-Fi za rad koristi radio tehnologije. Podatke pretvara u niz nula i jedinica. Standardi 802.11b i 802.11g rade na frekvenciji 2.4 GHz, dok standard 802.11a radi na 5 GHz. Kodiranje se provodi sa OFDM (eng. *Orthogonal frequency division multiplexing*) i CCK (eng. *Complementary Code Keying*). Pomoću ovih načina kodiranja ostvaruju se velike brzine prijenosa.

Standard		Brzina	Frekvencija
802.11b	➡	WiFi 1 11 Mbps	2.4 GHz
802.11a	➡	WiFi 2 54 Mbps	5.8 GHz
802.11g	➡	WiFi 3 54 Mbps	2.4 GHz
802.11n	➡	WiFi 4 150 Mbps	2.4 i 5 GHz
802.11ac	➡	WiFi 5 800 Mbps	5 GHz

Slika 2.7. WiFi standardi

### 2.4.3. LoRa

LoRa je relativno nova tehnologija. Radi u nelicenciranom spektru VHF, UHF i u 800-930 MHz području, ovisno o lokaciji. Signal doseže udaljene lokacije. [15] LoRa koristi set modulacijskih tehnika pomoću RF nosača CSS. Ovaj način moduliranja signal je učinio otpornim na Dopplerov efekt, višestavno rasprostiranje signala i na interferenciju. Uz niže prijenosne brzine mogu se izbjeći usko pojasne smetnje i provesti uspješna demodulacija signala. LoRa može raditi i uz prisutnost nižih razina šuma. Također omogućuje kombiniranje različitih brzina prijenosa podataka i načina modulacije signala. Kombiniranjem se može postići veća osjetljivost, veći domet ili veća brzina prijenosa, a smanjiti osjetljivost na smetnje. Duži vijek trajanja baterije može se postići bez obzira na RF modulaciju zbog toga što se u istom aktivnom kanalu može istovremeno slati više informacija bez nastanka kolizija.



Slika 2.8. Domet i širina pojasa [16]

Slika 2.8. prikazuje širinu frekvencijskog pojasa i domet za pojedine tehnologije prijenosa podataka. Na slici se vidi da je LoRa najvećeg dometa i da radi na nižim frekvencijama od Wi-Fi i ZigBee tehnologija.

Aplikacijski sloj
MAC sloj
PHY sloj
RF sloj

Slika 2.9. LoRa protokolni stog

LoRa protokolni stog se sastoji od četiri sloja. Najviši sloj je aplikacijski i on radi interakciju između korisnika i ostalih slojeva. MAC sloj na paket dodaje MAC zaglavlje, MAC *payload* i poruku. MAC zaglavlje definira protokol i poruku, određuje podatkovne i upravljačke okvire. PHY sloj radi sinkronizaciju i definira sheme modulacije. RF sloj šalje na određenim frekvencijama poruku prema primatelju.



#### 2.4.4. Bluetooth

Bluetooth je bežična tehnologija za prijenos podataka između dva uređaja na kratkoj udaljenosti. Koristi UHF radio valove u rasponu od 2.4 do 2.485 GHz. Osmišljen je kao zamijena za RS-232 standard. [17] IEEE je standardizirao Bluetooth kao IEEE 802.15.1.

Bluetooth SIG (eng. *Special Interest Group*) upravlja razvojem Bluetootha. Za primjenu vezanu uz Internet stvari razvijena su dva standarda. *Bluetooth Low Energy* je razvijen 2006. godine i *Bluetooth 5* razvijen 2016. godine. [18]

Postoji nekoliko vrsta protokola za pristup mediju koje je definirao Bluetooth SIG i neki od njih nisu kompatibilni s ostalim MAC protokolima. Uređaji koji koriste Bluetooth 5 primjenjuju bezkonekcijski prijenos kako bi se postigla ušteda energije, velike brzine prijenosa i široko područje pokrivanja signalom. Na fizičkom sloju koriste se FHSS (eng. *Frequency Hopped Spread Spectrum*), DSSS (eng. *Direct Sequence Spread Spectrum*) za izbjegavanje smetnji, te GFSK modulacija. [19]

Bluetooth ima mnogo opcija, bilo da se radi o bezkonekcijskim aplikacijama ili za siguran prijenos podataka između dva uređaja. U Internetu stvari bitna je potrošnja baterije te se očekuje da u takvim uređajima baterija traje desetak godina. Bluetooth nastoji ostvariti takav životni vijek baterije preko RF tehnologije i propadnih softvera.

#### 2.4.5. RFID

RFID tehnologija koristi se za prijenos informacija između prijenosnih uređaja i računala. Ovaj sustav se sastoji od tri dijela: taga koji sadrži podatke, antene za komunikaciju te kontrolera za nadziranje komunikacije između antene i računala. [20]

RFID tag sastoji se od čipa, baterije (ako se radi o aktivnom uređaju) te zavojnice. Proizvode se različitih dimenzija i kapaciteta memorije. Tagovi mogu biti aktivni ili pasivni ovisno o namijeni za koju se koriste. Pasivni tagovi imaju beskonačan vijek trajanja i zahtijevaju minimalno održavanje. Aktivni su pak, za razliku od pasivnih, ograničeni kraćim trajanjem baterije. [21]

Antena je uređaj koji se koristi za prijenos informacija. U RFID tehnologiji antena može biti odvojena ili integrirana zajedno sa kontrolerima. Antene koje se koriste mogu biti za upotrebu na malim udaljenostima ili za pokrivanje većeg područja. One služe za čitanje ili pisanje na tagove u prolazu.

Kontroleri služe za upravljanje prijenosom informacija između antene i računala. Ugrađen je *host* sustav za povezivanje kontrolera preko paralelne ili serijske komunikacije. Određeni kontroleri imaju I/O portove koje sami aktiviraju i tako se manje opterećuje *host* sustav.

Band	Regulacija	Domet	Brzina prijenosa
120-150 kHz (LF)	Neuređeno	10 cm	Niska
13.56 MHz (HF)	ISM band široko rasprostiranje	10 cm-1m	Niska do umjerena
433 MHz (UHF)	Uređaji kratkog dometa	1-100 m	Umjerena
865-868 MHz (Europa) 902-928 MHz (Sjeverna Amerika)	ISM band	1-12 m	Umjerena do visoka
2450-5800 MHz (mikrovalovi)	ISM band	1-2 m	Visoka
3.1-10 GHz (mikrovalovi)	Ultra širok pojas	Do 200 m	Visoka

Tablica 2.1. Frekvencijski spektar RFID [22]

Tablica 1. prikazuje koje dijelove frekvencijskog spektra koristi RFID tehnologija, te brzine i udaljenosti na kojima rade.

#### 2.4.6. NFC

NFC (eng. *Near Field Communication*) je bežična mreža kratkog dometa koja omogućuje da dva uređaja razmijenjuju podatke dodirujući se ili približavajući se jedan drugome. Najčešće je to 10 cm ili manje. [23] NFC se bazira na već postojećim RFID standardima FeliCa i ISO/IEC 14443. On koristi ECMA-340 i ISO/IEC 18092 standarde za kodiranje. [24] NFC radi na 13.56 MHz i omogućuje prijenosne brzine od 106 kbit/s do 424 kbit/s. Pri pronalaženju ciljnog uređaja NFC uvijek poziva obje strane jer tako lakše može pronaći pasivni uređaj i omogućiti jednostavno

obavljanje razmjene kodova ili nekih drugih podataka. Između dvaju ravnopravnih uređaja komunikacije je omogućena samo u slučaju ako su oba uređaja napajana stalnim izvorom. [25]

NFC je najčešće samo *read-only*, ali postoje i inačice s upisivanjem podataka. U tom je slučaju NFC specificiran od strane proizvođača ili korisnika i ima mogućnost pohranjivati osobne podatke, pinove, posjeduje kontakte za umrežavanje. Upisivanje podataka podržava četiri vrste oznaka, to su brzina, memorija, sigurnost i izdržljivost pisanja, odnosno broj ponavljanja upisanih i ispisanih podataka. NFC koristi elektromagnetsku indukciju između dvije petlje antene, te tako stvara transformator sa zračnom jezgrom. Radi na globalno dostupnoj i nelicenciranoj frekvenciji od 16.56 MHz. Većina RF energije je locirana na spektar od -7 kHz do +7 kHz. [26]



Slika 2.10. NFC [27]

Slika 2.10. prikazuje sve mogućnosti mobilnog uređaja i korištenja NFC komunikacije u svakodnevnom životu.

### **3. RAZRADA PROBLEMA**

U ovom poglavlju je opisan simulator *CupCarbon* i simulacijski scenariji koji su u njemu izvedeni. S ciljem dobivanja podataka o potrošnji energije pojedine testirane tehnologije.

#### **3.1. *CupCarbon* simulator**

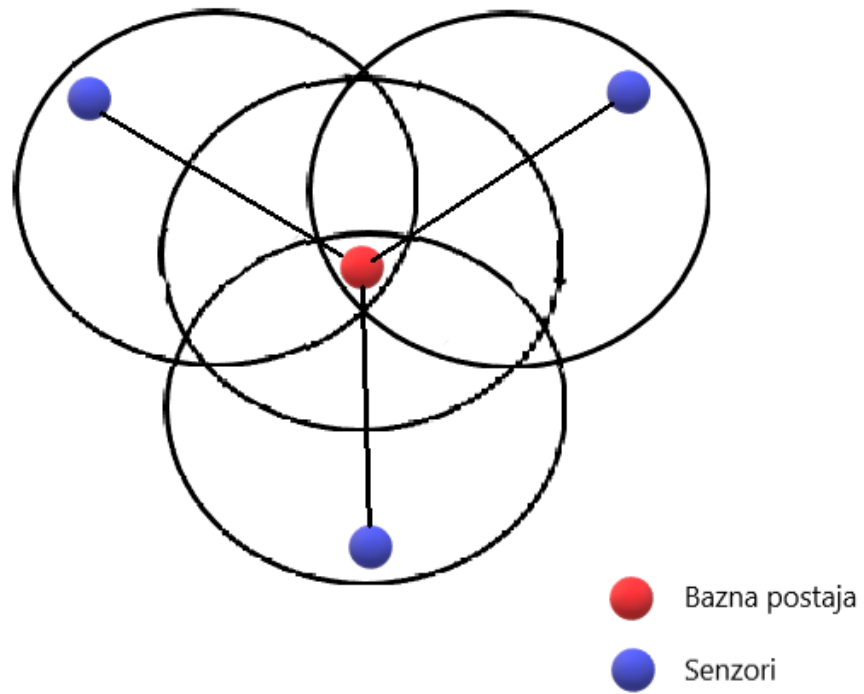
Broj povezanih uređaja u mrežu raste iz dana u dan. Predviđa se da će u bližoj budućnosti taj broj rasti i više. Zbog naglog razvoja i porasta Interneta stvari stvorila se potreba za korištenjem simulatora kako bi se prije instaliranja fizičke opreme moglo u simulatoru testirati mrežu. Ukoliko se u simulatoru uoče pogreške, jednostavnije ih je ukloniti nego nakon nabavke i instalacije opreme. Zbog tih potreba izrađen je simulator *CupCarbon*. Glavna zadaća ovog simulatora je dizajn i simulacija bežične senzorske mreže namijenjene pametnim gradovima i IoT aplikacijama. Omogućava rad u 2D i 3D okruženju, korištenje postojećih ili novo kreiranih digitalnih mapa. Čvorovi mogu biti mobilni ili stacionarni. [28]

#### **3.2. Testni scenarij**

U simulatoru je izvedeno sedam scenarija, te su u svakom scenariju korištene tri različite tehnologije kratkog dometa LoRa, WiFi te ZigBee. U svakom scenariju je stavljen naglasak na razliku u potrošnji energije svake pojedine tehnologije.

##### **3.2.1. Prvi scenarij**

U ovom scenariju koriste se tri senzora koji šalju podatke do bazne postaje. Svi senzori rade na istoj tehnologiji za slanje podataka, te svaki senzor šalje iste podatke kao i ostali senzori. Koristi se analogni senzor koji očitava promijenu temperature u okolini. Ako je temperatura manja od 20 stupnjeva bazna stanica te podatke ne očitava. Simulacija traje 200 sekundi i u tom razdoblju se gleda potrošnja energije svakog senzora pri slanju podataka o temperaturi.

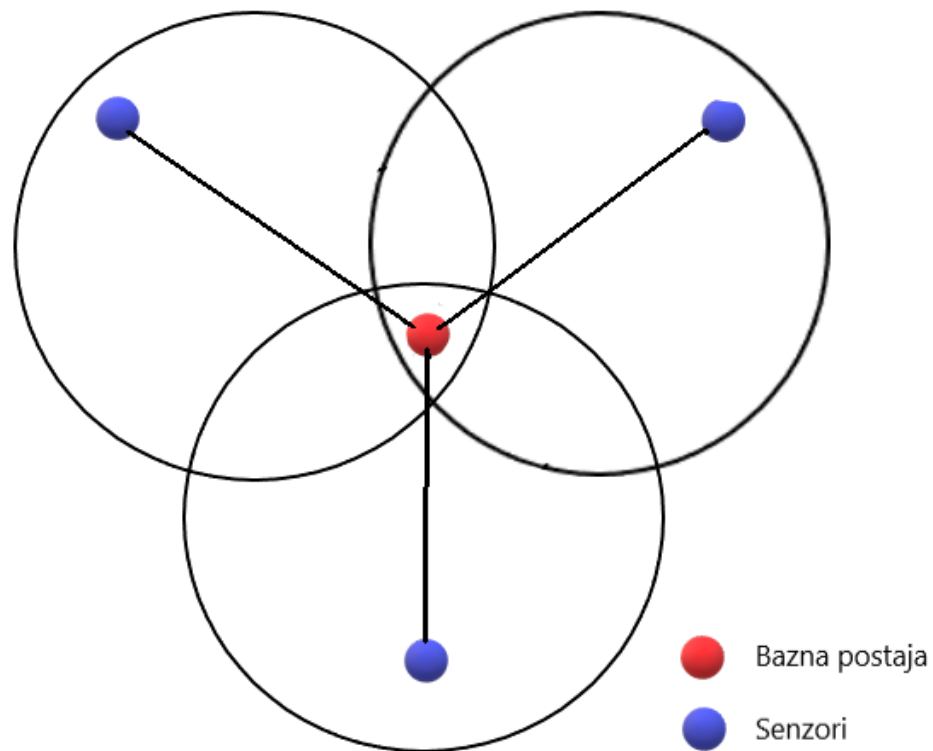


Slika 3.1. Prvi scenarij

Slika 3.1. prikazuje testni scenarij u simulatoru *CupCarbon* gdje su svi senzori na istoj udaljenosti od bazne postaje.

### 3.2.2. Drugi scenarij

Drugi scenarij se razlikuje od prvog prema korištenoj tehnologiji prijenosa podataka od senzora do bazne postaje. U ovom scenariju koristi se Wi-Fi tehnologija prijenosa, a udaljenost do bazne postaje je jednaka za sva tri senzora.

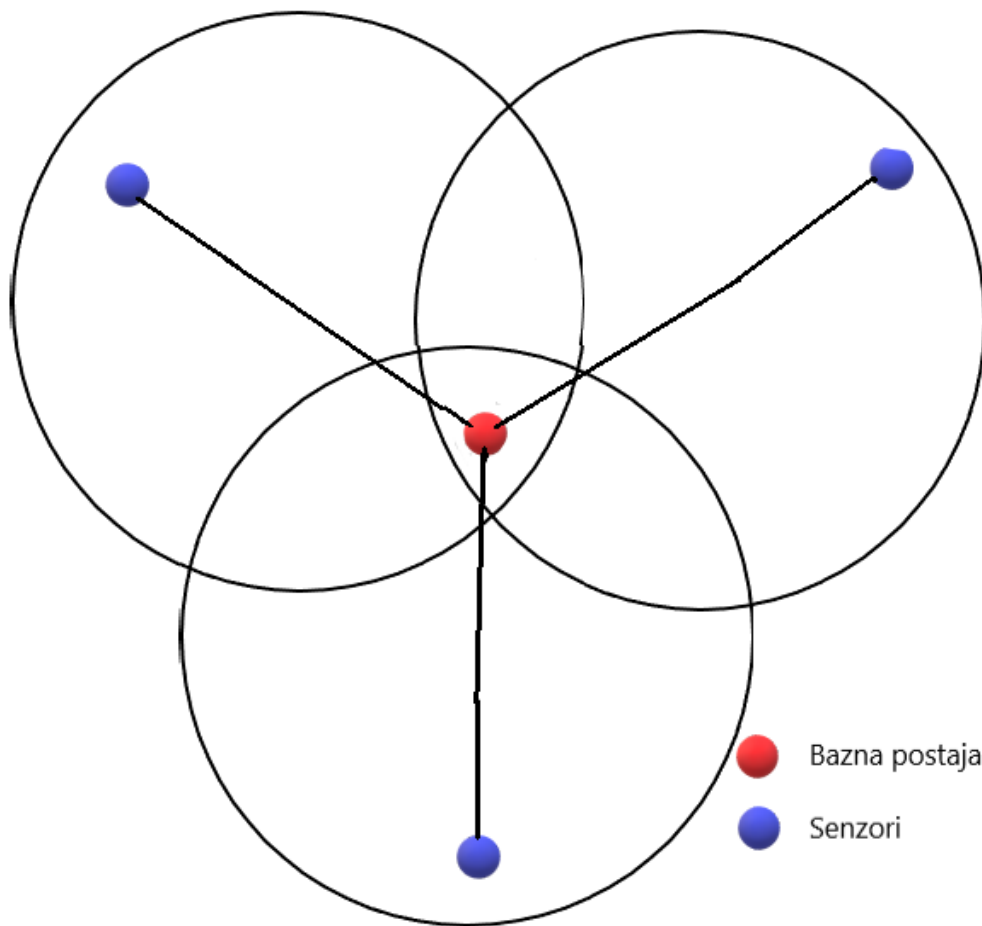


Slika 3.2. Drugi scenarij

Slika 3.2. prikazuje testni scenarij u simulatoru *CupCarbon* gdje su svi senzori na istoj udaljenosti od bazne postaje.

### 3.2.3. Treći scenarij

Treći scenarij se od prvog i drugog razlikuje po tome što je korištena tehnologija prijenosa podataka LoRa, te se senzori nalaze na jednakoj udaljenosti od bazne postaje.

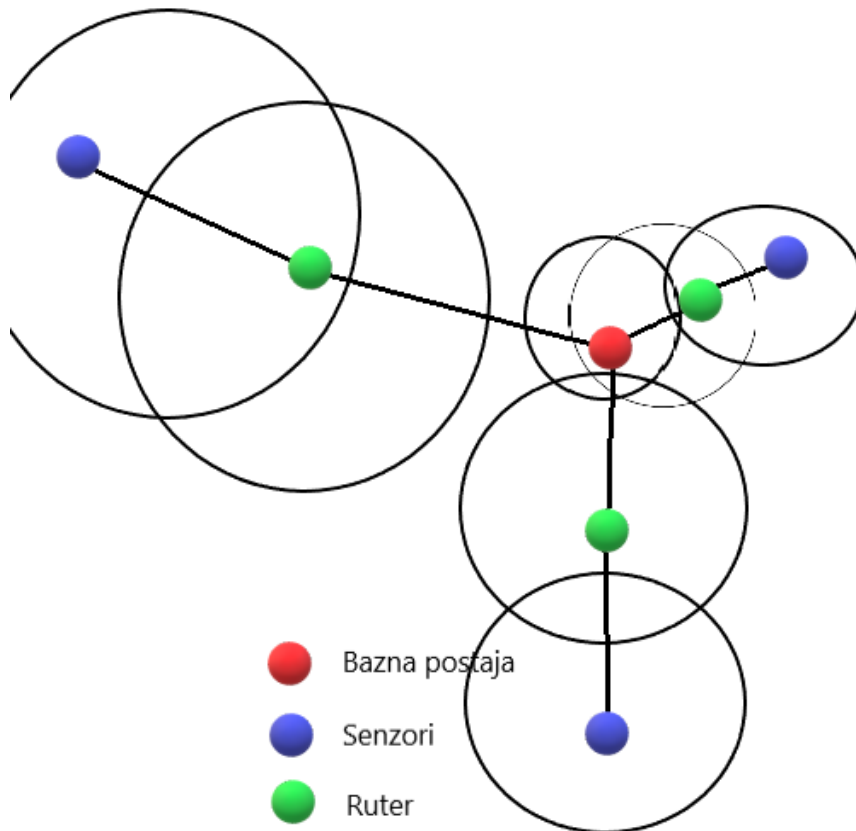


Slika 3.3. Treći scenarij

Slika 3.3. prikazuje testni scenarij u simulatoru *CupCarbon* gdje su svi senzori na istoj udaljenosti od bazne postaje.

### 3.2.4. Četvrti scenarij

U ovom scenariju koriste se tri senzora koji očitavaju digitalne vrijednosti i šalju očitane podatke preko najbližih usmjerivača do glavnog usmjerivača. Glavni usmjerivač svaki primljeni podatak šalje prema baznoj postaji. Svaki sensor radi na jednoj od tehnologija slanja podataka, a to su ZigBee, LoRa i Wi-Fi. Glavni usmjerivač i bazna postaja međusobno komuniciraju putem ZigBee tehnologije.



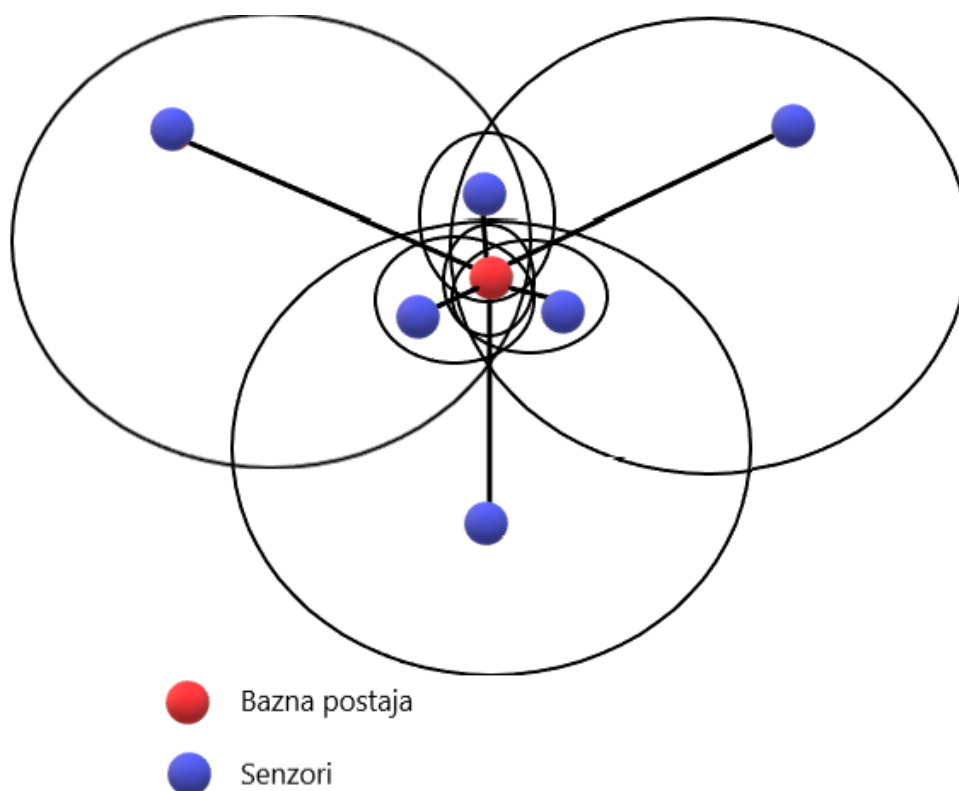
Slika 3.4. Četvrti scenarij

Slika 3.4. prikazuje testni scenarij u simulatoru *CupCarbon* koji koristi tri senzora za slanje podataka, četiri rutera za prosljeđivanje podataka prema baznoj postaji.



### 3.2.5. Peti scenarij

U ovome scenariju testirana je tehnologija ZigBee za prijenos podataka. Korišteno je šest senzora i svi senzori šalju iste podatke o promijeni temperature. Tri senzora se nalaze na 10 metara od bazne postaje, odašilju podatke snagom od  $10 \cdot 10^{-6}$  W, te je brzina odašiljanja 250 kbps. Ostala tri senzora se nalaze na 100 metara od bazne postaje, odašilju podatke snagom od 1mW, te je brzina odašiljanja 250 kbps.

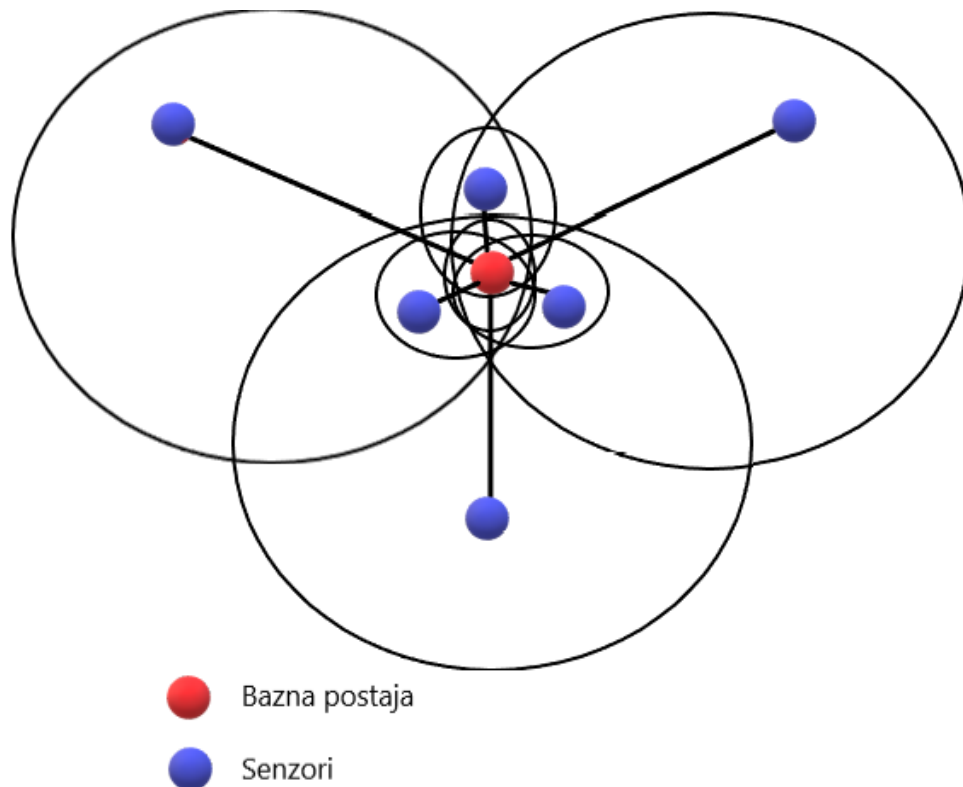


Slika 3.5. Peti scenarij

Slika 3.5. prikazuje testni scenarij u simulatoru *CupCarbon* koji koristi šest senzora za slanje podataka i jednu baznu postaju.

### 3.2.6. Šesti scenarij

U ovom scenariju je testirana tehnologija Wi-Fi za prijenos podataka. Kao i u predhodnom petom scenariju koristi se šest senzora. Tri senzora se nalaze na 10 metara, snage odašiljanja 17.8 mW, te brzina prijenosa podataka od 250 kbps. Ostala tri senzora se nalaze na 300 metara, odašilju snagom od 22.4 mW, te im je brzina prijenosa 250 kbps.

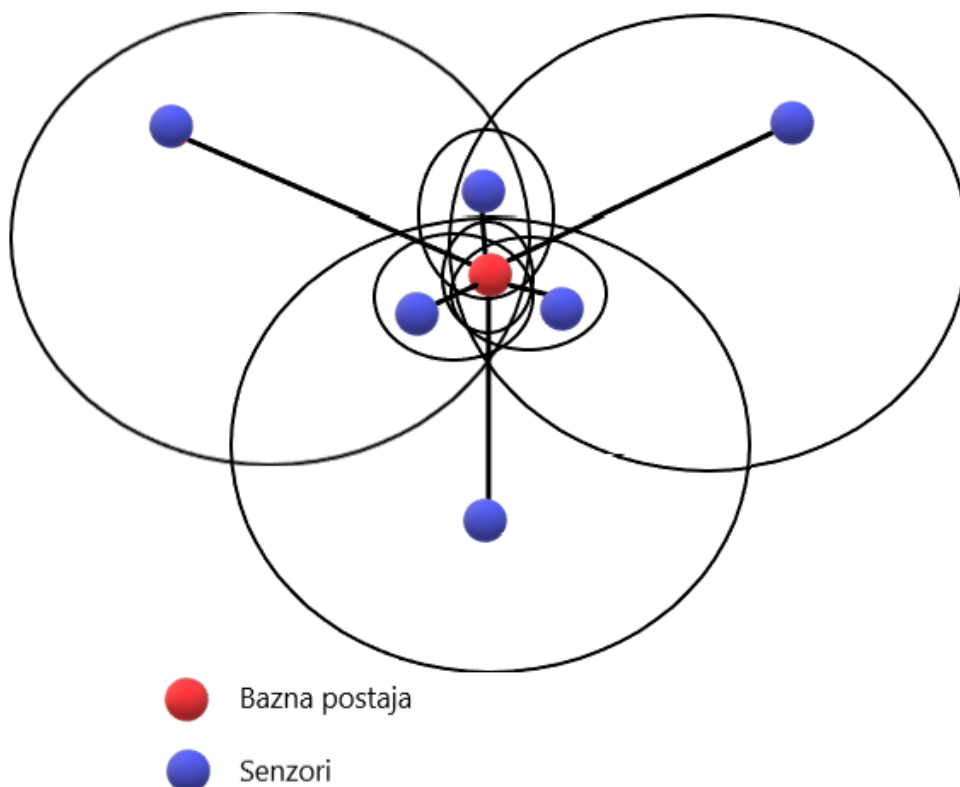


Slika 3.6. Šesti scenarij

Slika 3.6. prikazuje tesni scenarij u simulatoru *CupCarbon*.

### 3.2.7. Sedmi scenarij

U ovome scenariju je testirana tehnologija LoRa za prijenos podataka. Kao i kod petog i šestog scenarija koristi se šest senzora. Tri senzora se nalaze na 2000 metara, snaga odašiljanja im je 25.1 mW, te im je brzina prijenosa 250 bps. Ostala tri se nalaze na 5000 metara, snaga odašiljanja im je 25.1 mW, te im je brzina prijenosa 50 kbps.



Slika 3.7. Sedmi scenarij

Slika 3.7. prikazuje testni scenarij u simulatoru *CupCarbon*.

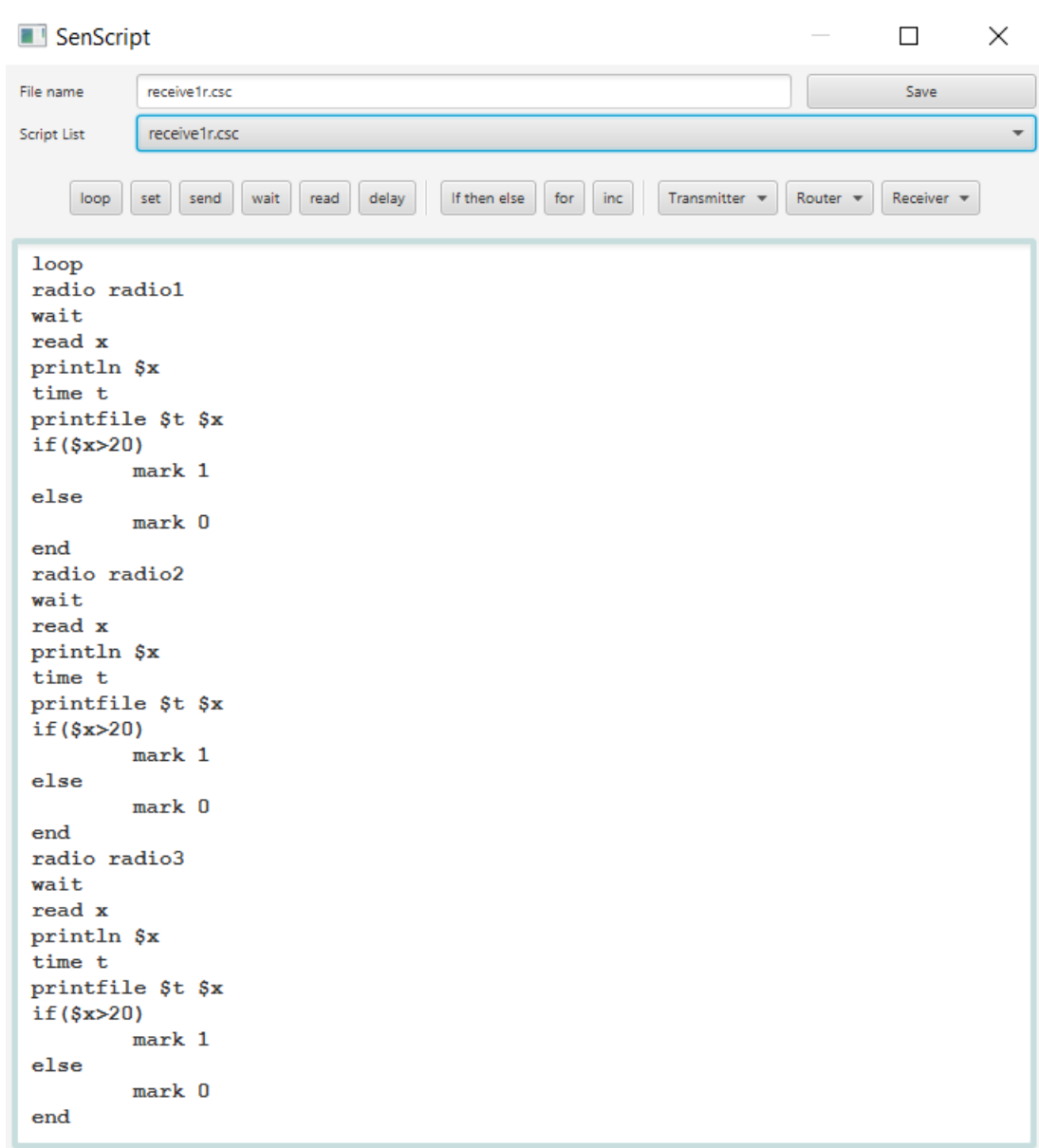
## 4. ANALIZA REZULTATA

U ovom poglavlju prikazani su rezultati svih testnih scenarija. Glavni naglasak je na potrošnju energije pri slanju podataka od senzora do bazne postaje.

### 4.1. Parametri i kod simulacije

U ovom potpoglavlju opisani su kodovi i parametri svih simulacija.

#### 4.1.1. Analogni senzor



The screenshot shows the SenScript software interface. At the top, there is a window title 'SenScript' and standard window controls. Below the title bar, there is a 'File name' field containing 'receive1r.csc' and a 'Save' button. A 'Script List' dropdown menu also shows 'receive1r.csc'. Below these are several control buttons: 'loop', 'set', 'send', 'wait', 'read', 'delay', 'If then else', 'for', 'inc', 'Transmitter', 'Router', and 'Receiver'. The main area of the window contains a script with the following code:

```
loop
radio radio1
wait
read x
println $x
time t
printfile $t $x
if($x>20)
    mark 1
else
    mark 0
end
radio radio2
wait
read x
println $x
time t
printfile $t $x
if($x>20)
    mark 1
else
    mark 0
end
radio radio3
wait
read x
println $x
time t
printfile $t $x
if($x>20)
    mark 1
else
    mark 0
end
```

Slika 4.1. Bazna postaja

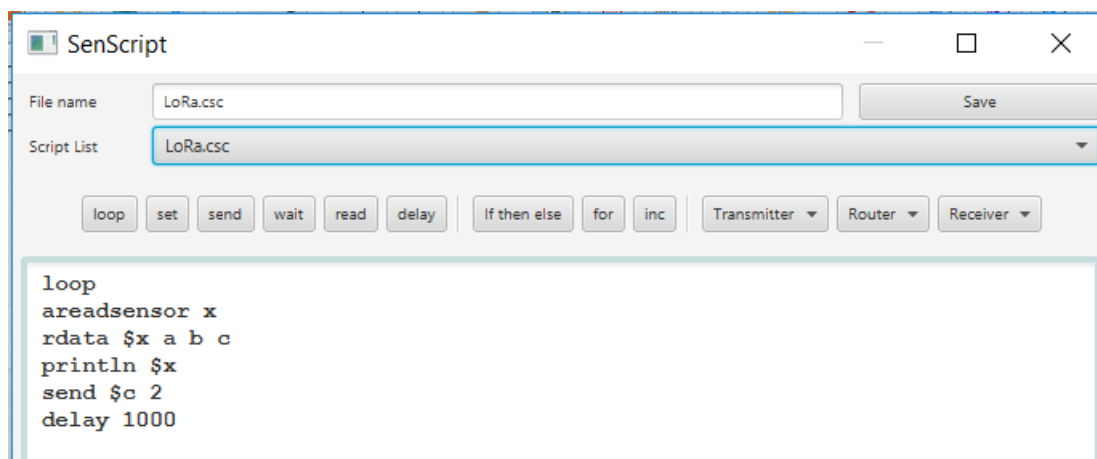
Slika 4.1. prikazuje kod bazne postaje. Bazna postaja vrti beskonačnu petlju naredbom *loop* koja očitava koja radio tehnologija šalje podatke kako bi se bazna postaja mogla prebaciti na tu tehnologiju i dohvatiti poslane podatke. Radio tehnologija se mijenja naredbom *radio radio1*.

*Radio* je naredba kojom se poziva promjena radio tehnologije, a *radio1* je varijabla kojoj dodjeljujemo jednu od radio tehnologija za prijenos ZigBee, Wi-Fi i LoRa. Naredba *Wait* omogućuje čekanje skroz dok podatak nije dohvaćen na baznoj postaji. *Read x* je naredba kojom se varijabli *x* dodjeljuje očitana vrijednost iz međuspremnika. Naredba *println \$x* se očitane vrijednosti ispisuju na zaslonu bazne postaje, u simulaciji je to vidljivo gdje se podatak ispisuje pokraj simbola za baznu postaju. *Time t* dodjeljuje varijabli *x* njeno trenutno vrijeme u simulaciji. Naredba *printf \$t \$x* sprema u datoteku vrijeme i vrijednost primljene varijable, kako bi kasnije u grafu potrošnje energije mogla nacrtati krivulja potrošnje energije.

IF petlja:

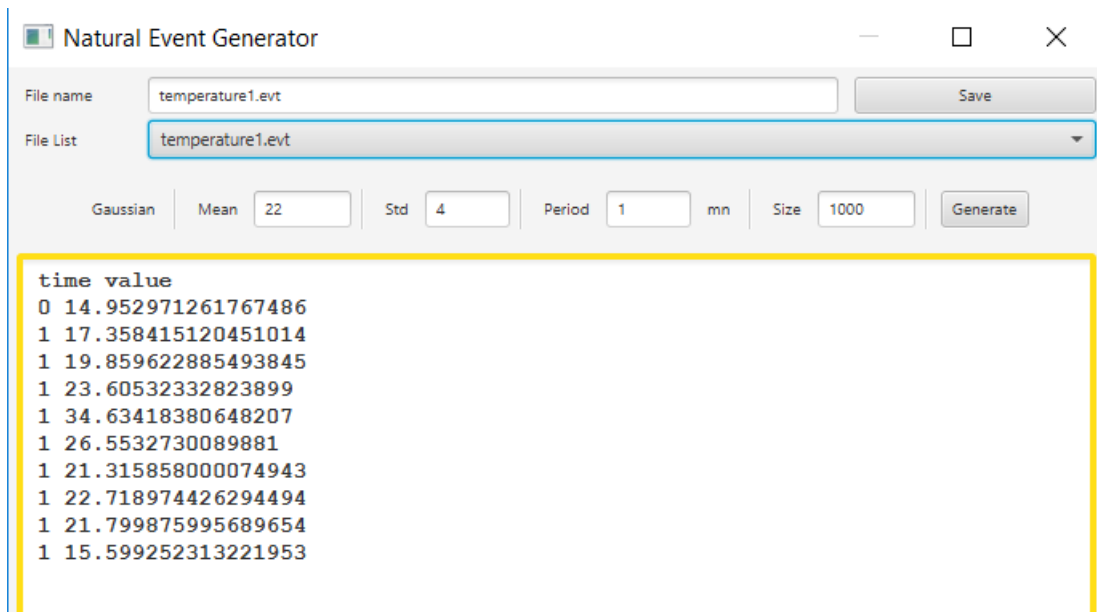
```
if ( $x > 20)
    mark 1
else
    mark 0
end
```

Sve vrijednosti temperature veće od 20 stupnjeva označavaju se i boja bazne postaje se mijenja u žuto, a ako je temperatura manja od 20 stupnjeva bazna postaja ne mijenja boju. Isti postupak je za ostale radio tehnologije koje se koriste za prijenos podataka, a one se pozivaju naredbom *radio*, pri čemu se mijenja se samo varijabla *radio2* i *radio3*.



Slika 4.2. Analogni senzor

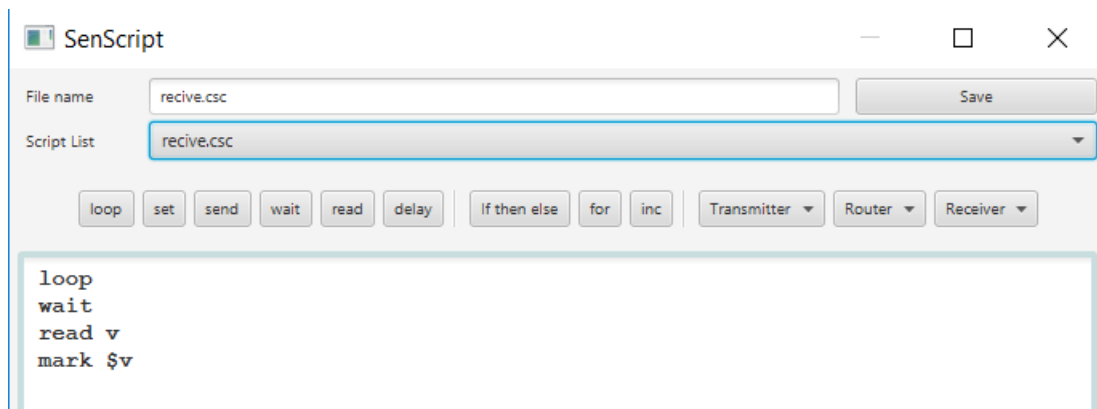
Naredba *areadsensor x* je naredba koja se koristi za čitanje analognih vrijednosti. Kako se za čitanje podataka koristi analogni senzor i prethodna naredba za čitanje tih vrijednosti iz međuspremnika nije dovoljna naredba *read* nego je potrebna naredba *rdata \$x a b c*. Ova naredba formira podatak *x* koji očitava vrijednosti *a*, *b* i *c*. Vrijednosti *a*, *b* i *c* mogu biti ili string ili broj. U ovom slučaju *c* je broj, odnosno očitana vrijednost, dok su *a* i *b* nula. Naredba *send \$c 2* šalje vrijednost *c* prema sljedećem čvoru. *Delay* je naredba za odgodu.



Slika 4.3. Generirana temperatura

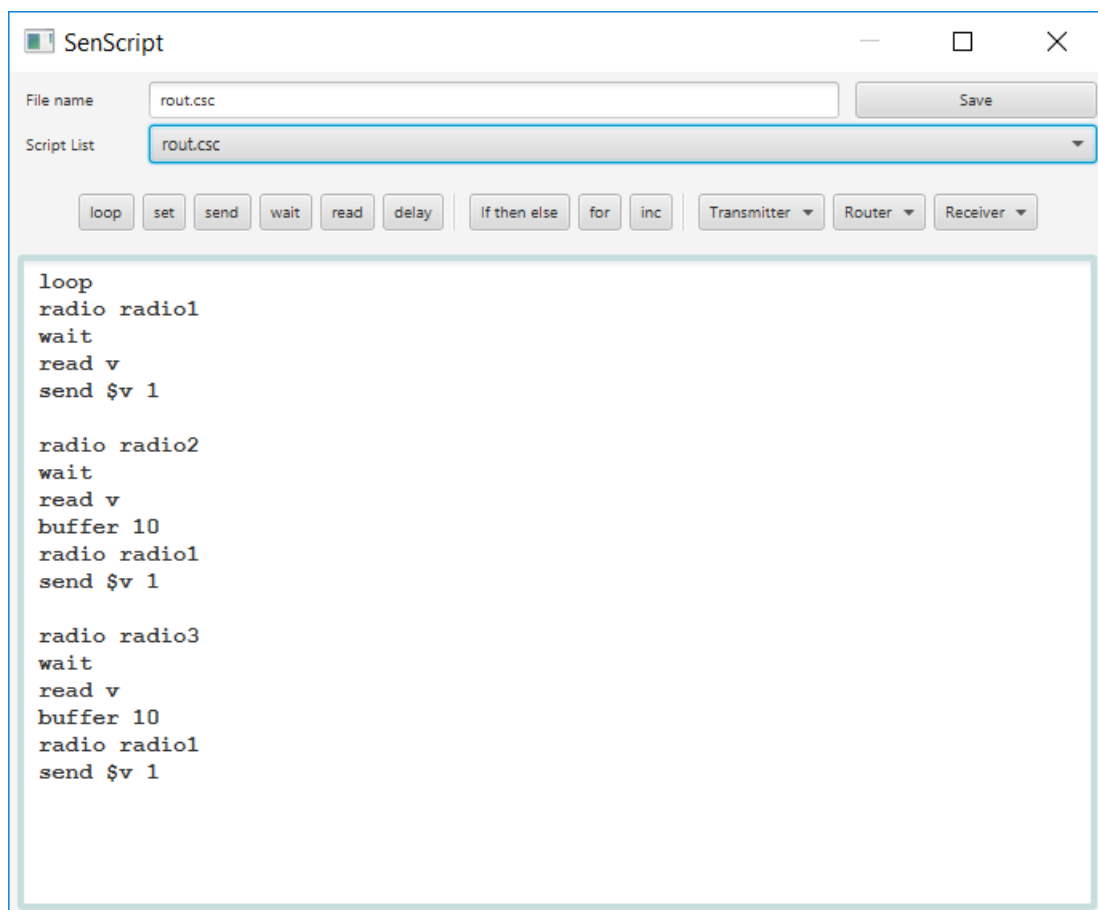
Slika 4.3. generirane temperature prikazuje vrijednosti temperature koje se u simulatoru *CupCarbon* mogu automatski generirati. Svaki senzor ima istu tablicu vrijednosti temperature i šalje te vrijednosti preko senzora različitim tehnologijama za prijenos podataka.

#### 4.1.2. Digitalni senzor



Slika 4.4. Bazna postaja

Slika 4.4. prikazuje kod za baznu postaju digitalnog senzora. Ovu postaju je puno jednostavnije programirati nego analognu baznu postaju. Naredba *loop* vrti beskonačnu petlju. *Wait* je naredba za čekanje dok god se podatak ne zaprimi. Naredba *read v* je naredba koja dodjeljuje očitano vrijednost varijabli *x*. Naredba *mark \$v* svaku primljenu vrijednost markira i bazna postaja požuti pri svakom zaprimanju podatka.



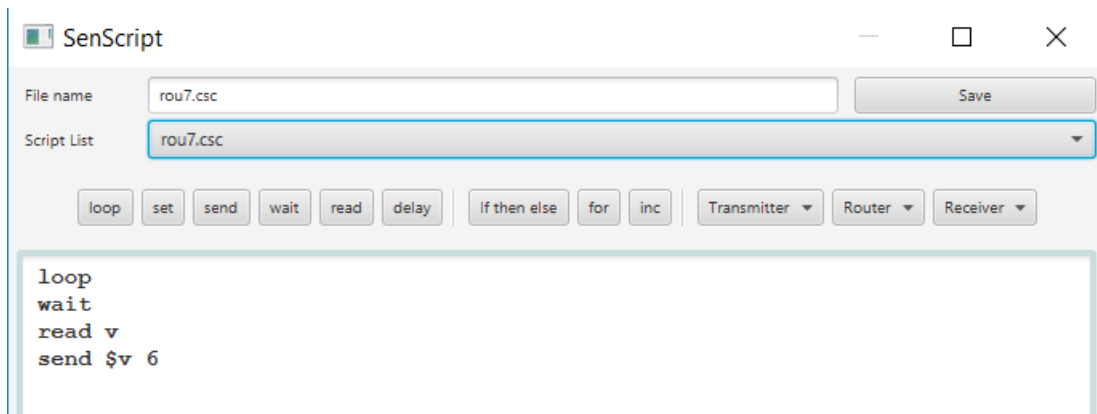
```
loop
radio radio1
wait
read v
send $v 1

radio radio2
wait
read v
buffer 10
radio radio1
send $v 1

radio radio3
wait
read v
buffer 10
radio radio1
send $v 1
```

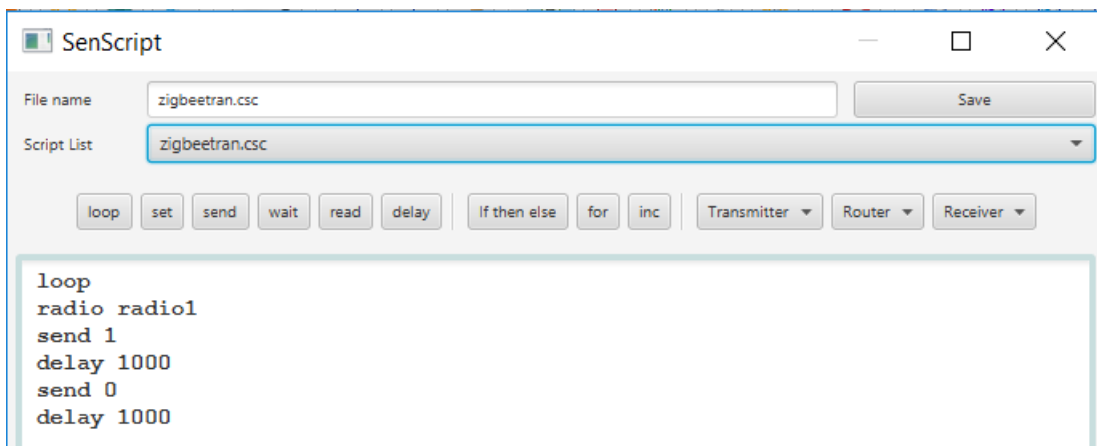
Slika 4.5. Glavni usmjerivač

Glavni usmjerivač, osim što prosljeđuje podatke od senzora prema baznoj postaji, mijenja i radio tehnologiju prijenosa. Naredba *radio radio1* se kao i kod analognog senzora koristi za prebacivanje na neku od tri tehnologije prijenosa. Naredba *buffer 10* je naredba koja se koristi za kreiranje međuspremnik veličine 10 bajta u koji se sprema podatak. Ova naredba je potrebna zato što glavni usmjerivač prema baznoj postaji šalje informacije preko ZigBee tehnologije za prijenos podataka, a bazna postaja radi na toj tehnologiji. Naredba *send \$v 1* podatak *v* se šalje prema baznoj postaji koja je označena brojem 1.



Slika 4.6. Usmjerivač

Slika 4.6. prikazuje kod za usmjerivač. Kod je jednostavan i sastoji se od četiri naredbe. Naredba *loop* vrti beskonačnu petlju. Naredba *wait* čeka dok podatak nije zaprimljen. Naredba *read v* iz međuspremnika očitava podatak te ga se naredbom *send \$v 6* šalje do glavnog rutera.

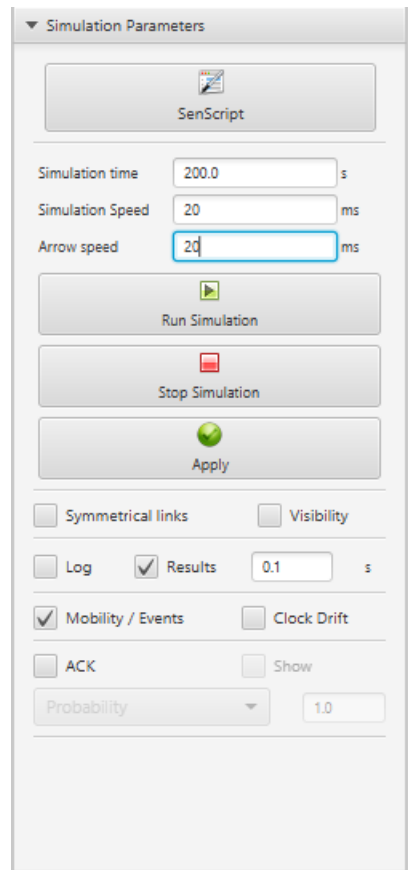


Slika 4.7. Digitalni senzor

Slika 4.7. prikazuje kod digitalnog senzora. Ovaj senzor šalje vrijednosti 1 i 0 prema baznoj postaji. Za razliku od analognog koji očitava vrijednost temperature. Naredba *radio radio1* je naredba koja određuje tehnologiju prijenosa podataka. Naredba *send 1* govori da se šalje vrijednost 1. Naredba *delay 1000* je naredba koja odgađa slanje slijedećeg podatka.

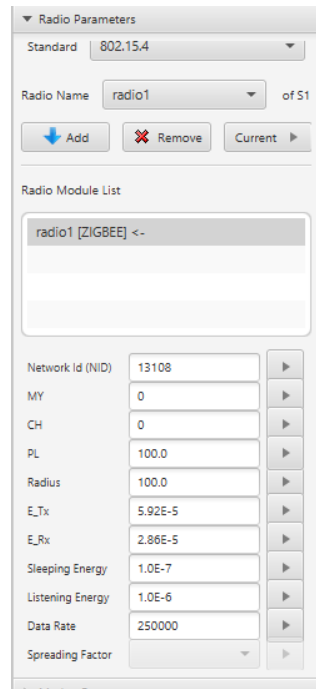


### 4.1.3. Parametri simulacije

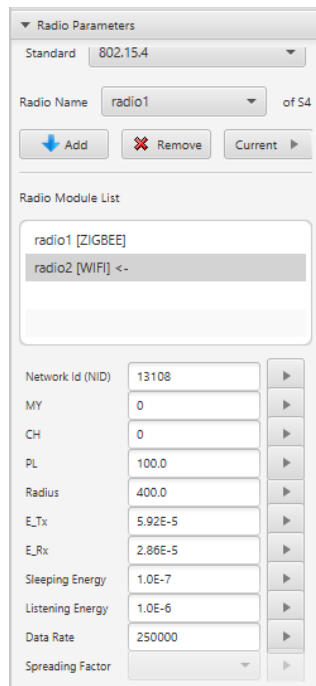


Slika 4.8. Parametri simulacije

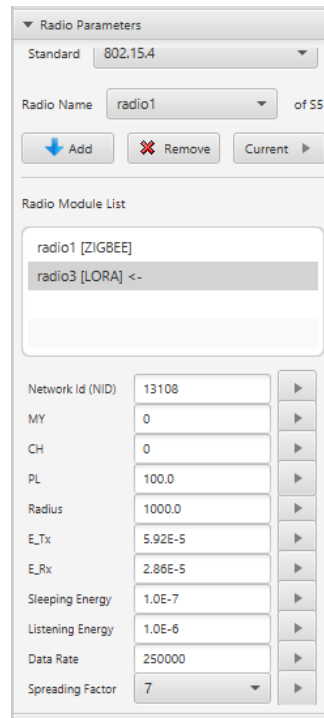
Slika 4.8. sa parametrima simulacije prikazuje koji su sve parametri uzimani u obzir pri postavljanju uvijeta u simulaciji. Vrijeme simulacije je 200 sekundi iz razloga što pri većim vrijednostima trajanaj simulacije dobiveni grafovi nisu čitljivi. Brzina simulacije i brzina strjelica je 20 sekundi. Ovo vrijeme se namiješta ovisno o potrebi pri izradi simulacije. Ako se vrijeme poveća, simulacija će se izvoditi sporije i moći će se vidjeti kako podaci putuju od senzora prema baznoj postaji. U slučaju smanjenja vremena simulacija, strjelice će se kretati brže te će ih biti teže pratiti. Još su postavljene kvačice u kućice za bilježenje rezultata, koji se bilježe svakih 0.1 sekundu.



Slika 4.9. Radio parametri tehnologije ZigBee



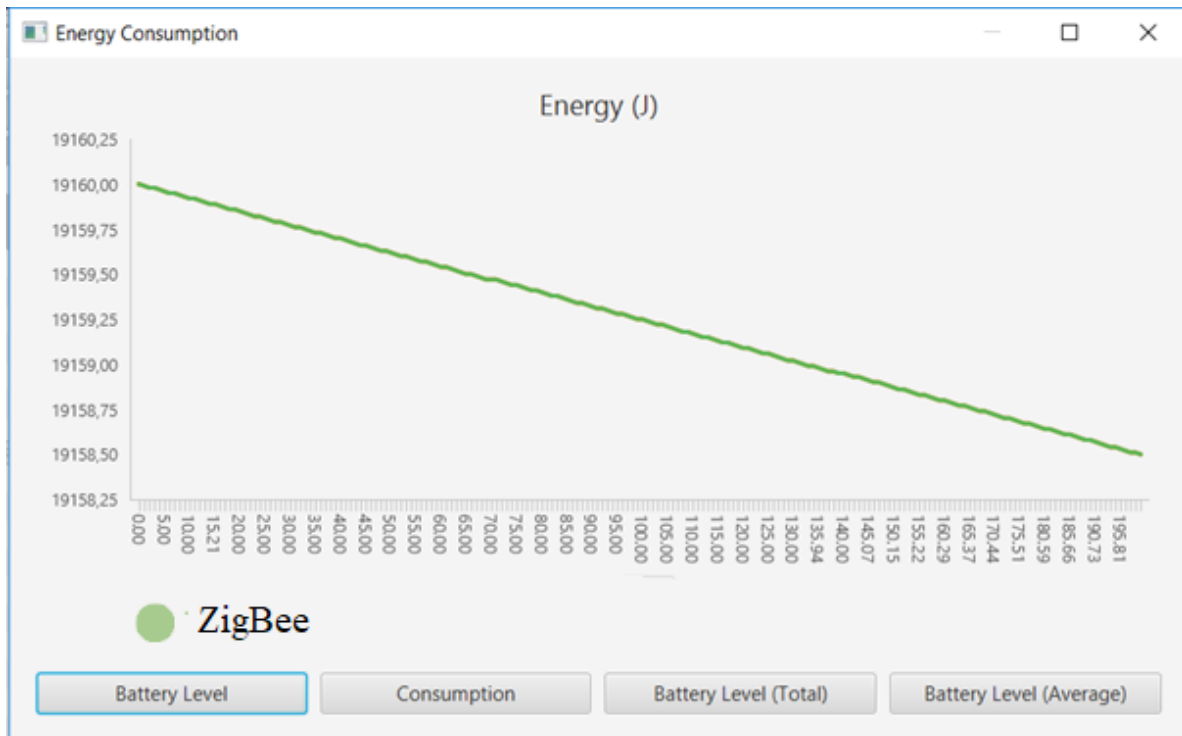
Slika 4.10. Radio parametri tehnologije WiFi



Slika 4.11. Radio parametri tehnologije LoRa

Slike 4.9., 4.10., 4.11. prikazuju parametre radio tehnologija koje su se koristile u simulacijama. Sve tri tehnologije koristile su identične postavke. Najveća razlika je radijus pokrivenosti signalom. LoRa ima najveći radijus pokrivanja koji iznosi 1000.0, kod Wi-Fi-a radijus iznosi 400.0 i kod ZigBee tehnologije radijus iznosi 100.0. Razlika je i u faktoru raspršenja. ZigBee i Wi-Fi faktor raspršenja nemaju, dok LoRa ima faktor raspršenja i on iznosi 7.

## 4.2. Rezultati prvog scenarija

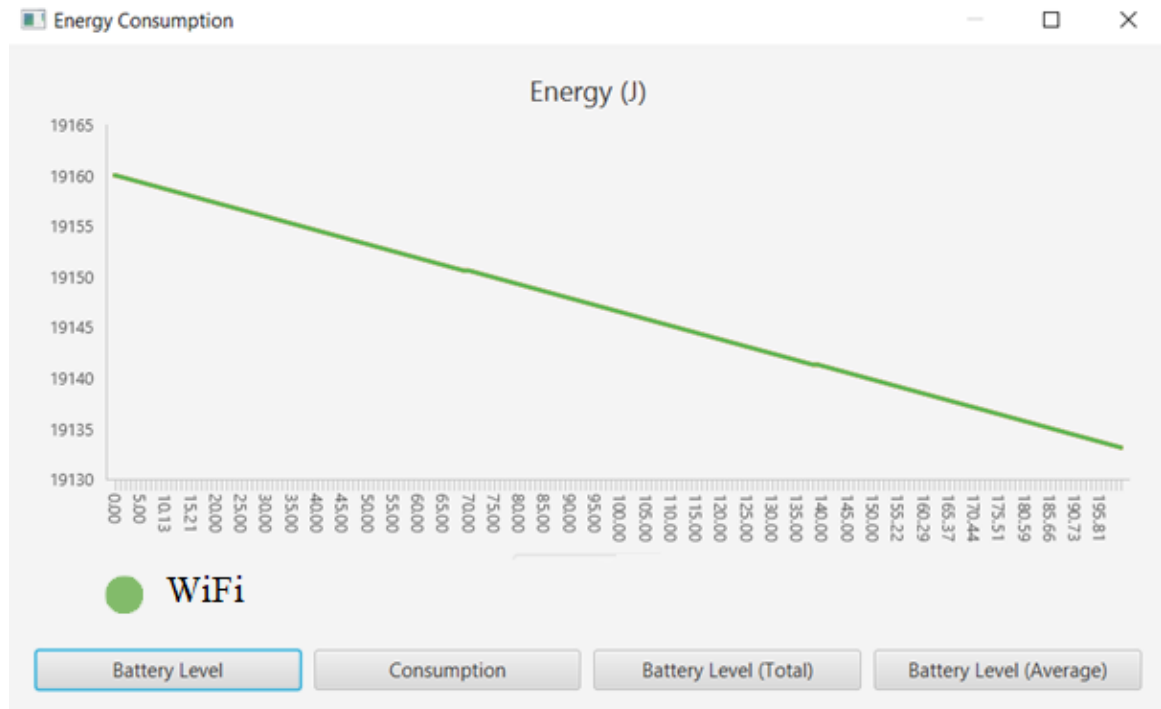


Slika 4.12. Potrošnja energije senzora u prvom scenariju

Na slici 4.12. vidimo potrošnju energije radio tehnologije ZigBee za prijenos podataka. U ovom scenariju su korištena tri senzora istih parametara. Senzori šalju podatke u istom trenutku na baznu postaju, te su podatci koji se šalju jednaki. Iz dijagrama potrošnje vidi se da sva tri senzora troše jednako energije i u trajanju od 200 sekundi potroše 2.5 J energije za slanje podataka.

Ovim tempom potrošnje energije ovi senzori mogu slati podatke bez prestanka 1 532 800 sekundi. To znači da mogu raditi bez prestanka gotovo 18 dana. Kada bi slanje podataka bilo postavljeno tako da se promijena podataka šalje svakih sat vremena produžio bi se vijek trajanja baterije.

### 4.3. Rezultati drugog scenarija

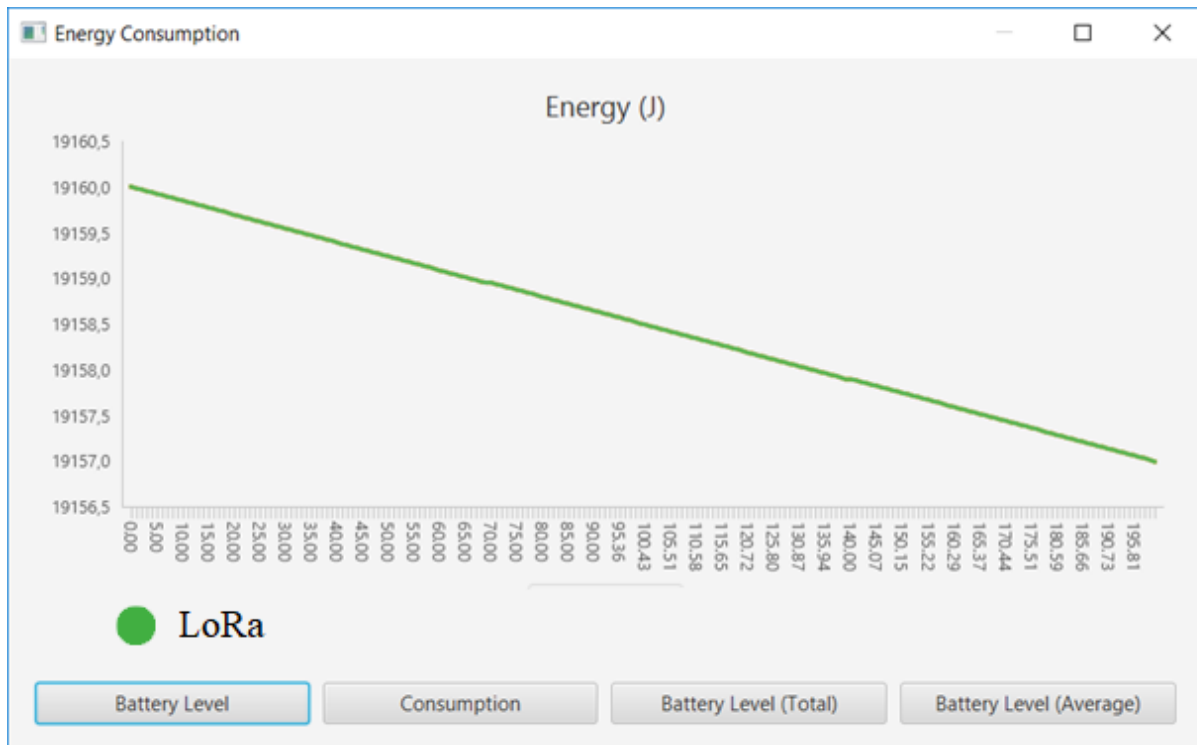


Slika 4.13. Potrošnja energije senzora u drugom scenariju

Slika 4.13. prikazuje potrošnju energije senzora koji se koriste Wi-Fi tehnologijom za prijenos podataka. Tri senzora se nalaze na jednakoj udaljenosti i imaju jednake parametre za slanje podataka. U usporedbi sa ZigBee tehnologijom koja je u vremenu od 200 sekundi za slanje podataka potrošila 2.5 J, Wi-Fi je u istom tom razdoblju i šaljući iste podatke potrošio 27 J.

Wi-Fi za razliku od ZigBee pokriva znatno veće područje signalom, ali i mnogo više troši energije pri slanju podataka. Kada bi se podaci slali ovim tempom baterija uređaja bi ostala bez energije u roku od 141 926 sekundi, odnosno 40 sati.

#### 4.4. Rezultati trećeg scenarija

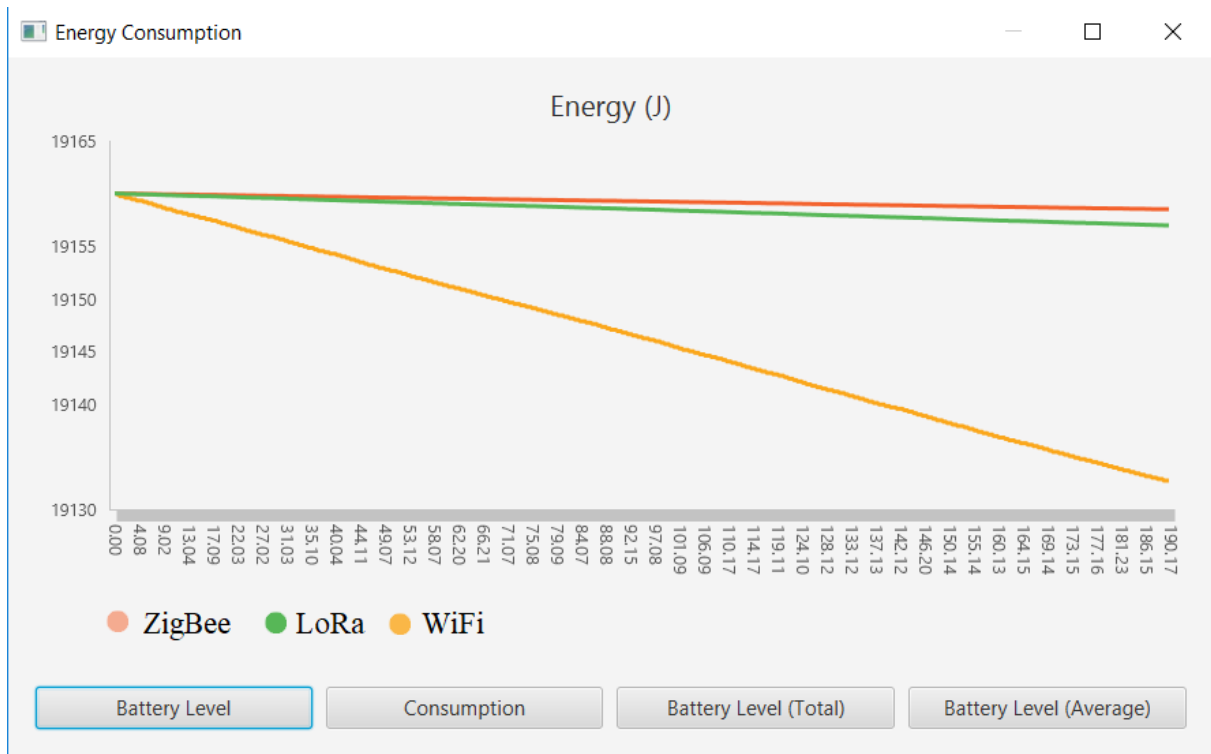


Slika 4.14. Potrošnja energije senzora u trećem scenariju

Slika 4.14. prikazuje potrošnju energije tehnologije LoRa za prijenos podataka. U usporedbi s prethodna dva scenarija, ova tehnologija troši manje energije od Wi-Fi, ali više od ZigBee tehnologije za prijenos podataka. LoRa pokriva najveće područje signalom, a troši malu količinu energije s obzirom na područje pokrivanja. LoRa je potrošila 3 J pri slanju jednake količine podataka kao i prethodne dvije tehnologije. U usporedbi sa ZigBee tehnologijom za prijenos koja pokriva deset puta manje područje razlika je svega 0.5 J.

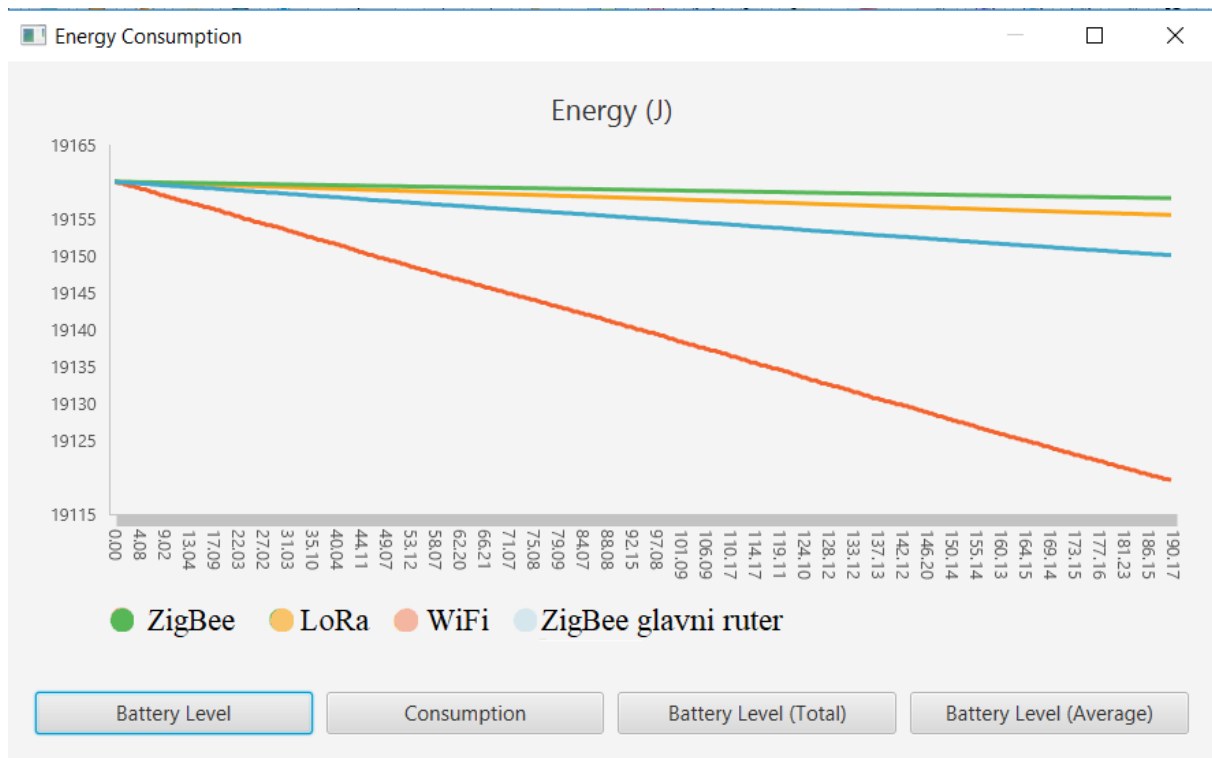
Ovim tempom potrošnje energije baterija bi trajala 1 277 333 sekunde, odnosno 15 dana.

#### 4.5. Rezultati četvrtog scenarija



Slika 4.15. Potrošnja energije senzora u četvrtom scenariju

Slika 4.15. prikazuje potrošnju energije sve tri tehnologije prilikom prijenosa podataka. Kako je opisano u teoriji iz grafa se može vidjeti da ZigBee troši najmanje energije, dok Wi-Fi troši daleko najviše energije pri prijenosu podataka. Velika razlika je u pokrivanju područja signalom. Pri toj usporedbi daleko je najbolje koristiti LoRa tehnologiju za prijenos podataka. Razlog toga je što u usporedbi sa ZigBee tehnologijom troši zanemarivo više energije, a pokriva do 10 puta veću površinu signalom.

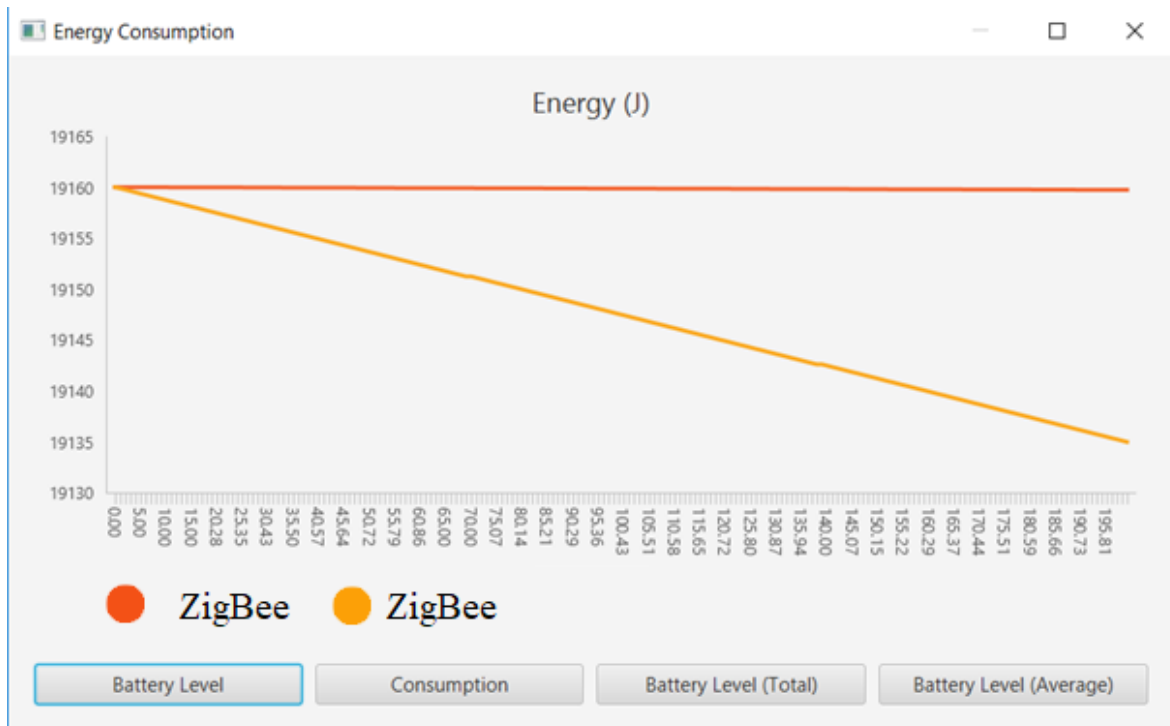


Slika 4.16. Potrošnja energije usmjerivača u četvrtom scenariju

Slika 4.16. prikazuje potrošnju energije usmjerivača koji se koriste za slanje podataka prema glavnom usmjerivaču i baznoj postaji. Kao i kod senzora ZigBee troši najmanje energije, zatim slijedi LoRa te glavni usmjerivač koji radi na ZigBee tehnologiji za prijenos podataka. Wi-Fi kao usmjerivač troši najviše energije za prijenos podataka. Za razliku od senzora, kako je pretpostavljeno i u teoriji, usmjerivači troše više energije pri prijenosu zato što oni i zaprimaju podatak i šalju ga dalje, dok senzori samo šalju podatke prema odredištu.



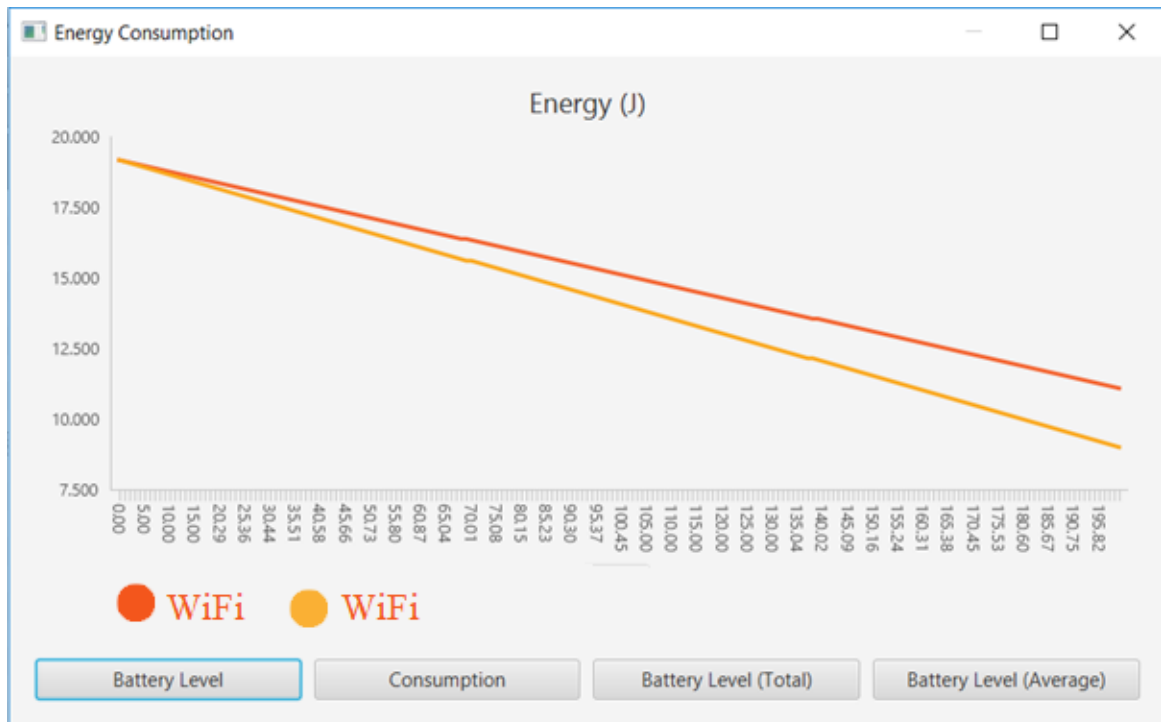
#### 4.6. Rezultati petog scenarija



Slika 4.17. Potrošnja energije senzora u petom scenariju

Slika 4.17. prikazuje potrošnju energije senzora koji rade na istoj ZigBee tehnologiji za prijenos podataka. Svaka grupa senzora za svoju radio tehnologiju ima različite parametre kako je opisano u scenariju. Na grafu se vidi razlika u potrošnji energije između minimalnih i maksimalnih vrijednosti kod ZigBee tehnologije za prijenos podataka. Senzori kojima su parametri podešeni na minimalne vrijednosti troše 2.5 J, dok senzori kojima su parametri podešeni na maksimalne vrijednosti 25 J.

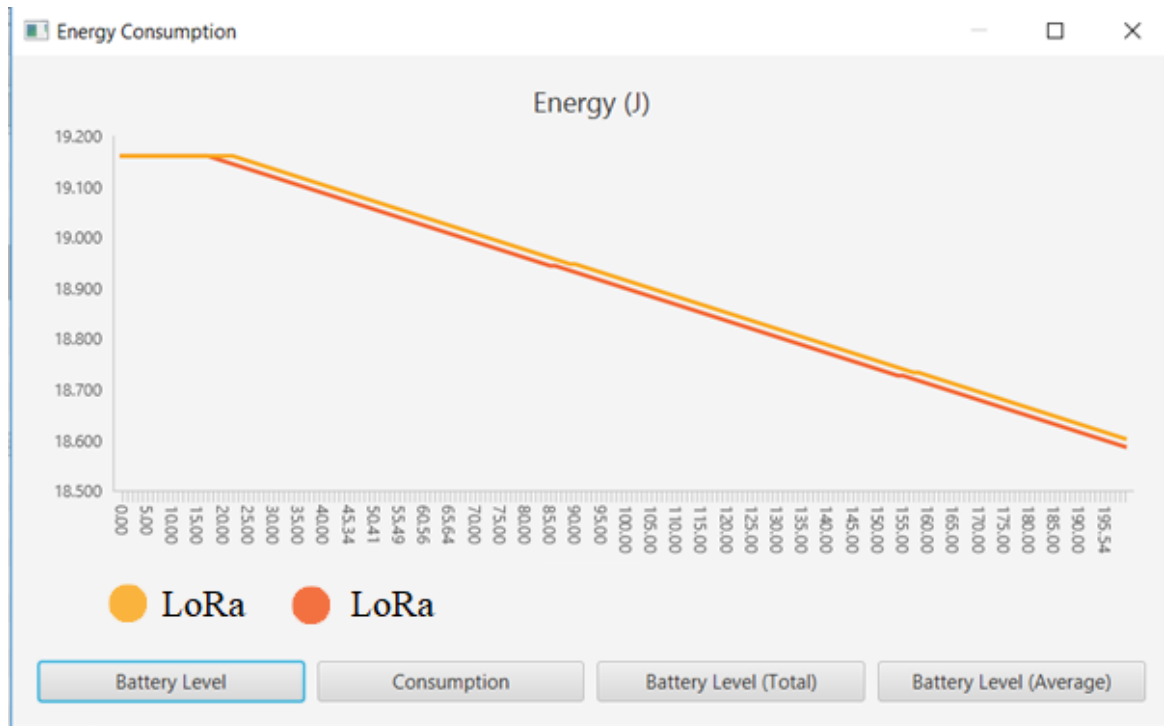
#### 4.7. Rezultati šestog scenarija



Slika 4.18. Potrošnja energije senzora u šestom scenariju

Slika 4.18. prikazuje potrošnju energije radio tehnologije Wi-Fi za prijenos podataka. U ovom scenariju su također podešene minimalne i maksimalne vrijednosti parametara za ovu tehnologiju. Za razliku od ZigBee tehnologije, ova tehnologija troši jako veliku količinu energije pri slanju podataka. Iz grafa se vidi da je i pri minimalnim i maksimalnim parametrima potrošnja energije velika. Ovakva tehnologija zahtijeva stalni izvor energije kako bi mogla odašiljati podatke, a da nije potrebno razmišljati o potrošnji energije.

#### 4.8. Rezultati sedmog scenarija



Slika 4.19. Potrošnja energije senzora u sedmom scenariju

Slika 4.19. prikazuje potrošnju energije za LoRa tehnologiju prijenosa podataka. Iz grafa se vidi da je razlika u potrošnji minimalna. U usporedbi sa ZigBee i Wi-Fi tehnologijama, za prijenos podataka ova tehnologija pokriva najveće područje, a troši u usporedbi s tim najmanje energije.

#### 4.9. Usporedba rezultata

Sve tri tehnologije ZigBee, Wi-Fi i LoRa pri prijenosu podataka od senzora do bazne postaje dale su rezultate simulacije kao što je opisano u teoriji. Iz potrošnje energije u heterogenom okruženju rada najmanju potrošnju imala je ZigBee tehnologija s time da je njen domet najmanji. LoRa se sa svojim velikim dometom i nešto većom potrošnjom nalazi na drugome mjestu od ove tri tehnologije po potrošnji energije pri slanju istih podataka. Wi-Fi se pokazao najlošijim što se tiče potrošnje energije. Pri slanju podataka ova tehnologija je potrošila 27 J, a u usporedbi sa potrošnjom energije ZigBee od 2.5 J i LoRa od 3 J, Wi-Fi je daleko najveći potrošač energije i zahtijeva stalni izvor napajanja.

Pri promjeni parametara svake tehnologije od minimalnih od maksimalnih vrijednosti rezultati su se znatno promijenili, ali je i dalje ZigBee tehnologija najmanje potrošila energije, zatim LoRa i najveću potrošnju je imao Wi-Fi.

ZigBee je pri minimalno podešenim vrijednostima potrošio 2.5 J, dok je pri maksimalnim potrošnja skočila na 25 J, ali to je i dalje manje nego kod Wi-Fi pri minimalno podešenim parametrima. LoRa i Wi-Fi su znatno povećali svoju potrošnju pri povećanju područja pokrivanja i povećanju energije slanja podataka.

Iz ovoga se može zaključiti da ZigBee tehnologija troši najmanje energije od svih tehnologija analiziranih u ovom radu.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovome diplomskom radu provedena je analiza performansi tehnologija kratkog dometa u bežičnim senzorskim mrežama, s posebnim naglaskom na razlike u njihovoj energetskej učinkovitosti. U teorijskom dijelu rada opisane su tehnologije koje se danas koriste u primijeni u ovom području, kao što su ZigBee, LoRa, Wi-Fi, Bluetooth, NFC te RFID. Svaka tehnologija ima svoje prednosti i nedostatke, ovisno o području primjene u kojemu se koristi. Opisana je kratka povijest bežičnih mreža od prvog prijenosa radio signala, pa sve do najnovijih primjena u području bežičnih komunikacija. Velik iskorak je napravljen standardizacijom svih usluga i protokola. Danas je jedan od najprisutnijih mrežnih modela OSI mrežni model. Na principu ovoga modela rade i tehnologije korištene u ovome diplomskom radu. Na svakom sloju mrežnog modela izvršavaju se potrebne funkcije kako bi se podatak pripremio za slanje kroz mrežu.

Praktični dio rada izrađen je u simulatoru *CupCarbon*. Ovaj simulator je namijenjen za simuliranje scenarija u području bežičnog slanja podataka. Može se koristiti digitalna mapa bilo kojeg područja na svijetu, ali je moguće kreirati i vlastite prikaze kako bi se određeni problem mogao što detaljnije simulirati i iz dobivenih rezultata zaključiti da li je potrebno mijenjanje parametra ili su rezultati odgovarajući. Simulator koristi tri tehnologije za prijenos podataka, a to su ZigBee, Wi-Fi i LoRa. Svaka od ove tri tehnologije ima drugačije parametre i područje pokrivanja signalom.

Rezultati dobiveni iz scenarija koji su simulirani u *CupCarbon*-u prikazuju potrošnju pojedine tehnologije pri slanju podataka od senzora prema baznoj postaji. Svi testovi su potvrdili teorijsku podlogu u kojoj je navedeno da Zigbee ima najmanji domet i najmanju potrošnju energije. LoRa ima najveći domet uz nešto veću potrošnju energije od ZigBee-a. Nadalje, također sukladno teoriji, mjerenja su pokazala da je Wi-Fi tehnologija, koja u usporedbi s prethodne dvije daje srednji domet, najveći potrošač energije i zahtijeva stalni izvor napajanja. Tehnologije kratkog dometa ZigBee i LoRa se prema dobivenim rezultatima mogu koristiti na teško pristupačnim lokacija s kojih će slati podatke dugi niz godina bez potrebe mijenjanja baterije, a i njima se može pristupiti na daljinu kako bi se vršile promjene parametara senzora. Dobiveni rezultati su zadovoljavajući i u potpunosti se poklapaju sa teorijskim znanjem koje je opisano u radu.

## LITERATURA

- [1] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1909/marconi/biographical/>
- [2] [https://www.google.com/search?q=translate&rlz=1C1GCEA\\_enHR851HR851&oq=tra&aqs=chrome.1.69i57j0j46j0j46l2.3924j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=translate&rlz=1C1GCEA_enHR851HR851&oq=tra&aqs=chrome.1.69i57j0j46j0j46l2.3924j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- [3] <https://www.techopedia.com/definition/12938/network-protocols>
- [4] <https://www.itprotoday.com/compute-engines/isoosi-ieee-8022-and-tcpip>
- [5] <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
- [6] Keysight Technologies The Internet of Things: Enabling Technologies and Solutions for Design and Test
- [7] <https://www.toptal.com/designers/interactive/smart-home-domestic-internet-of-things>
- [8] Keysight Technologies The Menu at the IoT Café: A Guide to IoT Wireless Technologies
- [9] [https://www.google.com/search?q=zigbee&rlz=1C1GCEA\\_enHR851HR851&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiDopatt8\\_iAhVDZVAKHT8BCRMQ\\_AUIECgB&biw=768&bih=744#imgrc=FxsfnjmDKIAYhM:](https://www.google.com/search?q=zigbee&rlz=1C1GCEA_enHR851HR851&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiDopatt8_iAhVDZVAKHT8BCRMQ_AUIECgB&biw=768&bih=744#imgrc=FxsfnjmDKIAYhM:)
- [10] [https://www.google.com/search?q=zigbee&rlz=1C1GCEA\\_enHR851HR851&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiDopatt8\\_iAhVDZVAKHT8BCRMQ\\_AUIECgB&biw=768&bih=744#imgrc=HS\\_kdrEtQ6cK0M:](https://www.google.com/search?q=zigbee&rlz=1C1GCEA_enHR851HR851&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiDopatt8_iAhVDZVAKHT8BCRMQ_AUIECgB&biw=768&bih=744#imgrc=HS_kdrEtQ6cK0M:)
- [11] [https://www.google.com/search?q=zigbee+protocol+istog&rlz=1C1GCEA\\_enHR851HR851&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjD7auI-s\\_iAhUEwqYKHU5KD9UQ\\_AUIECgB&biw=767&bih=663#imgrc=qf4uiQwe719INM:](https://www.google.com/search?q=zigbee+protocol+istog&rlz=1C1GCEA_enHR851HR851&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjD7auI-s_iAhUEwqYKHU5KD9UQ_AUIECgB&biw=767&bih=663#imgrc=qf4uiQwe719INM:)
- [12] <https://www.zigbee.org/what-is-zigbee/>
- [13] Keysight Technologies The Menu at the IoT Café: A Guide to IoT Wireless Technologies
- [14] [https://www.google.com/search?q=wifi&rlz=1C1GCEA\\_enHR851HR851&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi908L44tHiAhVOposKHT4yDw4Q\\_AUIECgB&biw=770&bih=714&dpr=1.25](https://www.google.com/search?q=wifi&rlz=1C1GCEA_enHR851HR851&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi908L44tHiAhVOposKHT4yDw4Q_AUIECgB&biw=770&bih=714&dpr=1.25)
- [15] Keysight Technologies The Menu at the IoT Café: A Guide to IoT Wireless Technologies
- [16] <https://www.mdpi.com/1999-5903/11/4/93>

- [17] <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [18] Keysight Technologies The Menu at the IoT Café: A Guide to IoT Wireless Technologies
- [19] <https://www.computerweekly.com/news/450298598/Bluetooth-5-standard-brings-range-speed-and-capacity-boost-for-IoT>
- [20] <https://rfid4u.com/explore/rfid-certification-prep/cheat-sheet-rfid-architecture-components/>
- [21] <https://www.behance.net/gallery/67918923/RFID-Tag>
- [22] Sen, Dipankar; Sen, Prosenjit; Das, Anand M. (2009), RFID For Energy and Utility Industries, PennWell, ISBN 978-1-59370-105-5, pp. 1-48
- [23] <https://mob.hr/sto-je-i-kako-radi-nfc/>
- [24] <https://www.iso.org/standard/56692.html>
- [25] <https://www.popsci.com/gadgets/article/2011-02/near-field-communication-helping-your-smartphone-replace-your-wallet-2010/>
- [26] <https://www.eurasip.org/Proceedings/Ext/RFID2007/pdf/s1p4.pdf>
- [27] [https://www.google.com/search?q=nfc&rlz=1C1GCEA\\_enHR851HR851&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjgrPZ2NniAhUCiIsKHallCnMQ\\_AUIECgB&biw=767&bih=712&dpr=1.25](https://www.google.com/search?q=nfc&rlz=1C1GCEA_enHR851HR851&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjgrPZ2NniAhUCiIsKHallCnMQ_AUIECgB&biw=767&bih=712&dpr=1.25)
- [28] <https://ieeexplore.ieee.org/document/8319179>

## **Sažetak**

U ovom diplomskom radu obrađen je problem analize performansi tehnologija kratkog dometa u bežičnim senzorskim mrežama. Kratko su opisane sve tehnologije koje se koriste pri prijenosu podataka, to su Wi-Fi, LoRa, ZigBee, RFID, NFC, Bluetooth. Opisani su mrežni protokoli, prikazana klasifikacija mreža te kratko opisana povijest razvoja bežičnih mreža. U praktičnom dijelu rada opisan je simulator *CupCarbon* i načinjenih sedam testnih scenarija koji su se simulirali u *CupCarbon* simulatoru. Prva tri scenarija su se odnosila na analizu prijenosa podataka uz primjenu pojedinih tehnologija te na potrošnju energije pri slanju tih podataka, dok su se preostala četiri scenarija odnosila na mijenjanje parametra pri prijenosu podataka te na analizu time uzrokovane promjene u potrošnji energije. Dobiveni rezultati se poklapaju sa teorijskim postavkama o svakoj od prijenosnih tehnologija.

### **Ključne riječi:**

Wi-Fi, LoRa, ZigBee, *CupCarbon*, bežične tehnologije kratkog dometa, bežične senzorske mreže



## **Summary**

In this graduate thesis the performance analysis of short-range technologies in wireless sensor networks was elaborated. All technologies used in data transmission were briefly described, which are Wi-Fi, LoRa, ZigBee, RFID, NFC and Bluetooth. Network protocols, network classification and wireless network history are also described. The practical part of this thesis describes the *CupCarbon* simulator and seven test scenarios simulated in *CupCarbon*. The first three scenarios pertain on the data transfer of analysis using individual technology and the energy consumption of sending the same data, while the remaining four scenarios pertain on the changing data transmission parameters when transferring data and on analysis of the resulting changes in energy consumption. The results match with the theoretical assumption about each of the portable technologies.

## **Keywords:**

Wi-Fi, LoRa, ZigBee, *CupCarbon*, short-range wireless transmission technologies, wireless sensor networks

## **ŽIVOTOPIS**

Josip Matijević rođen 16.07.1995. godine u Požegi. Osnovnu školu Vladimir Nazor pohađao je u Trenkovu. Završio je srednju Tehničku školu u Požegi, smjer mehatronika. Sudjelovao je na tri Sajma inovacija, gospodarstva i tehničkog stvaralaštva mladih INVENTUM. Rezultati s natjecanja su dva treća mjesta te jedno drugo mjesto. U trećem razredu srednje škole pohađao je stručnu praksu u europskom projektu odrađivanja prakse u stranoj zemlji. U sklopu projekta pohađao je dva tjedna praksu u tvrtci Yulon u Ljubljani, Slovenija. Nakon završetka srednje škole upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku.

Potpis \_\_\_\_\_