

# Optimiziranje topologija bežičnih senzorskih mreža za praćenje okolišnih parametara

---

Ćaćić, Daria

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:200:766325>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-07**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij računarstva**

**OPTIMIZIRANJE TOPOLOGIJA BEŽIČNIH  
SENZORSKIH MREŽA ZA PRAĆENJE OKOLIŠNIH  
PARAMETARA**

**Završni rad**

**Daria Čačić  
Osijek, 2020.**

# SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
1.1	Zadatak rada.....	1
2.	PRIKAZ FAKTORA KOJI UTJEČU NA TOPOLOGIJU MREŽE I POTROŠNJU ENERGIJE.....	2
2.1	Duljina poslana poruke.....	2
2.2.	Broj čvorova.....	3
2.2.1	<i>Unicast</i> slanje podataka.....	4
2.2.2.	<i>Broadcast</i> slanje podataka.....	5
2.3.	Udaljenost čvorova.....	7
3.	OPTIMIZACIJA MREŽNIH TOPOLOGIJA.....	11
3.1.	Optimizacija linijske topologije.....	12
3.2.	Optimizacija zvjezdaste topologije.....	26
4.	ZAKLJUČAK.....	31
	LITERATURA.....	32
	SAŽETAK.....	33
	ABSTRACT.....	34

# 1. UVOD

Bežične senzorske mreže su komunikacijske mreže koje se sastoje od prostorno raspoređenih samostalnih čvorova, bežičnih uređaja, u koje su ugrađeni senzori čija je namjena prikupljanje podataka iz okoline. Jedna od prvih primjena bila je u vojsci tijekom Hladnog rata za detekciju podmornica gdje su se koristili zvučni senzori. S razvojem tehnologija važnih za bežične senzorske mreže proširila su se područja primjene. Zbog svoje široke primjene i velike važnosti jedan su od najvažnijih tehnologija današnjeg doba. Jedno od bitnih područja primjene je praćenje okolišnih parametara, koje se razmatra u ovom radu.

Iako su u početku uporabe bili povezani žicama, danas su čvorovi međusobno bežično povezani zbog čega moraju biti energetske autonomni i što dulje koristiti napajanje iz baterija. Potrošnja energije smatra se jednim od čimbenika koji najviše ograničava ovu vrstu mreže. Čimbenici poput broja čvorova ili područje koje pokrivaju su također ograničenja kojima se treba voditi pri planiranju mreže. Mrežna topologija je još jedan važan aspekt koji direktno utječe na mnoge karakteristike mreže među kojima i na potrošnju energije. Zbog toga je važno tijekom optimiziranja rada bežičnih senzorskih mreža posvetiti dovoljno pažnje izboru mrežnih topologija.

Cilj ovog rada je demonstrirati optimizaciju potrošnje energije pri usporedbi različitih mrežnih topologija. To će se činiti promatranjem potrošnje energije u mrežama s različitim brojem čvorova pri različitim topologijama. Rezultati će se prikazati u mrežnom simulatoru *CupCarbon*.

## 1.1. Zadatak rada

Zadatak rada je opisati te kroz odabrani testni primjer i demonstrirati mogućnost optimizacije potrošnje energije pri usporedbi različitih mrežnih topologija.

## **2. FAKTORI KOJI UTJEČU NA TOPOLOGIJU MREŽE I POTROŠNJU ENERGIJE**

Postoji nekoliko osnovnih karakteristika bežičnih senzorskih mreža, neke od kojih su i veličina mreže i životni vijek. Kod većine mreža bitno je pokriti što veći prostor signalom. U većini slučajeva čvorovi moraju raditi duže vrijeme, a pošto su bežični ne mogu dobivati napajanje poput žičnih mreža nego ovise primarno o bateriji, energiji iz okoliša ili oboje i stoga je njihov rad ograničen. Zbog toga je bitno da čvorovi imaju što duži vijek trajanja na koji najviše utječe potrošnja energije pri komuniciranju između čvorova. Kako bi se smanjila potrošnja energije većina komponenata čvora je isključena veći dio vremena, uključujući i radio vezu.

Kao i kod ostalih mreža tri su glavna izazova dizajna koji znatno utječu na povezanost i produktivnost cijele mreže: korištenje optimalne mrežne topologije za smanjenje broja podatkovnih i kontrolnih paketa, odabir najbolje topologije pozicioniranjem čvorova na odgovarajuća mjesta, te implementiranje algoritam usmjeravanja koji što efektivnije usmjerava pakete od izvornog čvora do odredišta. U ovom radu razmatra se kako razne pozicije čvorova utječu na potrošnju energije, što je pokazatelj efektivnosti.

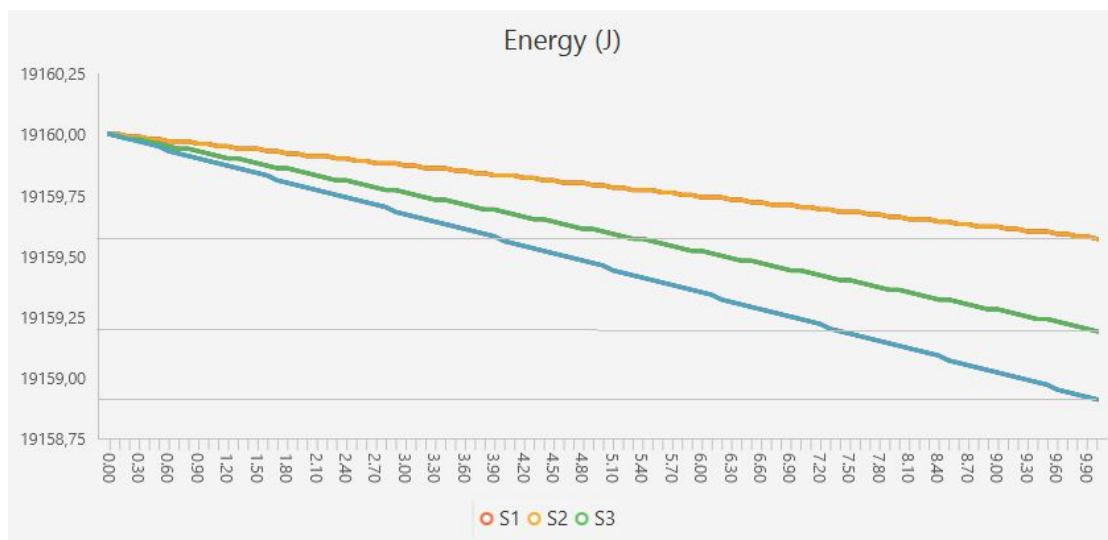
Prostorna raspoređenost čvorova utječe na mrežu, ali trebaju se uzeti u obzir mrežni zahtjevi poput onih za određenom strukturom pri pokrivanju područja. Za to služe različite postojeće mrežne topologije. Iako postoje mnogi faktori koji utječu na efektivnost izbora topologije, bilo bi previše kada bi se probalo analizirati sve i možda nemoguće zbog odabranog simulatora stoga će se ovdje prikazati nekoliko koji se mogu simulirati i jasno prikazati u zadanom simulatoru *CupCarbon*. Ti faktori su duljina poruke, broj čvorova i udaljenost.

### **2.1. Duljina poslanih poruka**

Iako nije vezano za topologiju, jedan je od faktora koji utječe na potrošnju energije i kao što će biti prikazano u konkretnim primjerima optimizacije topologija ima poseban utjecaj kod određenog načina prikupljanja informacija. Da bi se to dokazalo obaviti će se simulacija u kojoj će se repetitivno slati tri različite informacije sa tri različita čvora tijekom perioda od 10s. Svi ostali parametri čvorova su jednaki kako ne bi dodatno utjecali na potrošnju energije.

S1	S2	S3
loop	loop	loop
send 1 5	send 190545446 5	send volfofvk75g7f4c 5
delay 100	delay 100	delay 100

### SI.2.1. Kodovi čvorova



### SI.2.2. Razina energije čvorova nakon simulacije

Iz rezultata simulacije može se vidjeti da veličina poruke utječe na potrošnju energije pri slanju. Da bi čvorovi trošili manje energije trebalo bi i to uzeti u obzir. Naravno o veličini podatka ovisi i priroda promatranog događaja tako da se može samo do određenog stupnja smanjiti informacija bez gubitka kvalitete prikupljenih podataka. Taj aspekt kao što je rečeno ne spada pod optimizaciju topologije nego druge mrežne slojeve, ali kasnije će se vidjeti njegova povezanost sa načinom prikupljanja informacija.

## 2.2. Broj čvorova

Slanje podataka čvorovima je važan dio rada bežičnih senzorskih mreža, ali troši dosta energije. Koliko energije troši slanje utječe i broj čvorova kojima se šalje. U sljedećim primjerima prikazat će se potrošnja energije za dva različita načina usmjeravanja pri korištenju različitog broja čvorova. U oba načina usmjeravanja promatrat će se isti primjeri, samo će se mijenjati način adresiranja. Slika 2.3. predstavlja ta tri primjera.

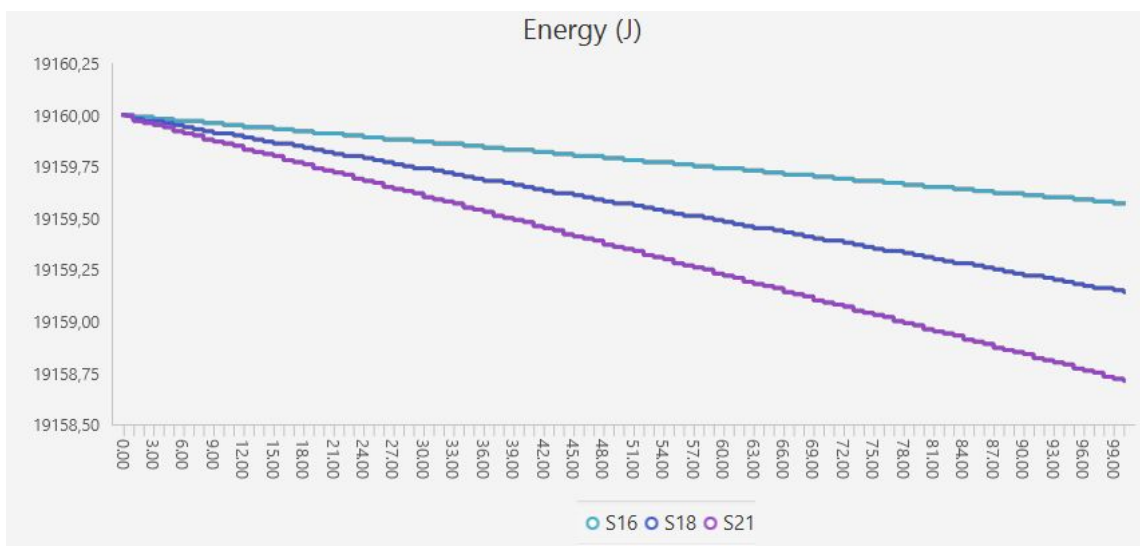


**SI.2.3.** Topologija tri primjera korištena u simulaciji

Također koristit će se isti parametri simulacije koja će trajati 100s i glavni čvorovi će slati podatak svake sekunde. Promatrat će se samo grafički prikaz potrošnje energije glavnih čvorova sa promjenom broja vanjskih čvorova.

### 2.2.1. Unicast slanje podataka

*Unicast* je izraz koji opisuje komunikaciju gdje se podatak šalje sa jednog mjesta na drugo tako da ima jedan izvor i jedno odredište. Iako je korišten za takav način komunikacije jedna je od opcija slanja u ovom simulatoru i stoga će se usporediti sa ostalim kako bi se pokazala razlika u potrošnji energije. U ovom načinu usmjeravanja podatak se šalje na svaku adresu posebno, ali gotovo istovremeno.



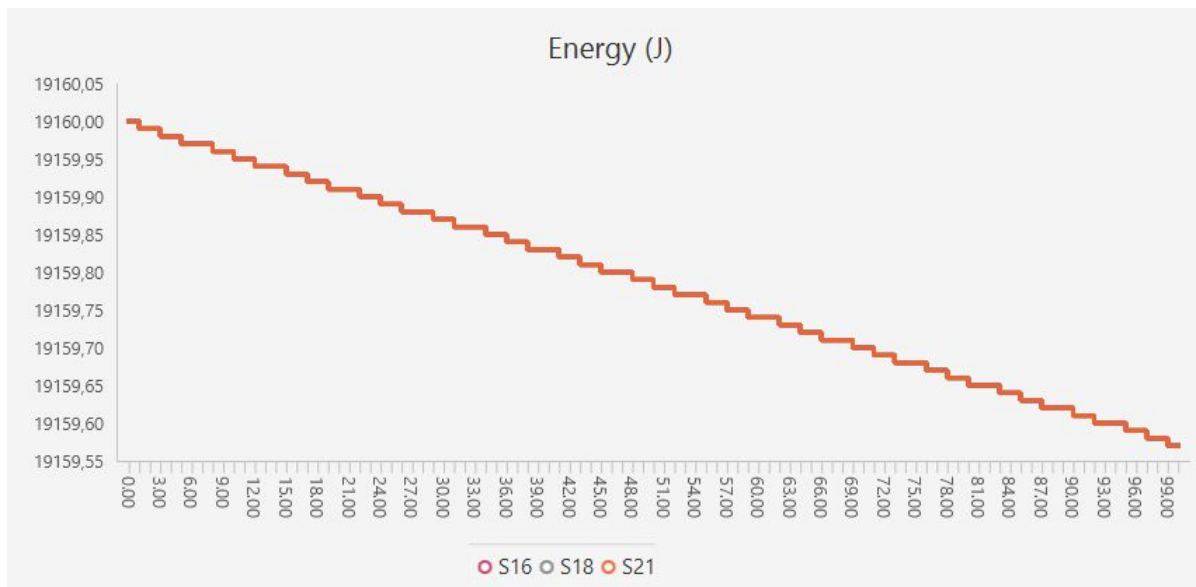
**SI.2.4.** Razina energije u baterijama pri *unicast* slanju podataka jednom čvoru (S16), dvoma čvorovima (S18) i trima čvorima (S21).

Iz dobivenih podataka vidi se da se potrošnja povećava proporcionalno sa povećanjem broja čvorova. Ovaj način slanja uzima mnogo energije ako se radi sa više čvorova, pa bi trebalo dalje razmotriti druge opcije koje su ponuđene. Može se reći da je rezultat očekivan s obzirom na uobičajenu primjenu.

### 2.2.2. Broadcast slanje podataka

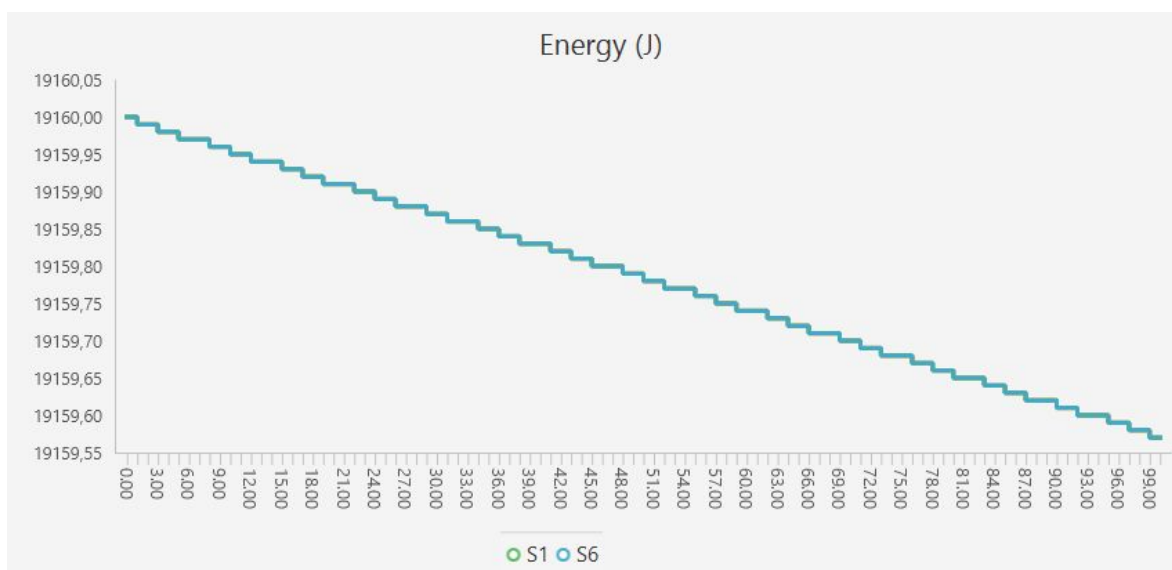
*Broadcast* je izraz koji opisuje komunikaciju gdje se podaci šalju od jednog izvora prema svim mogućim odredištima. Ovaj način adresiranja šalje podatke svim mogućim čvorovima s kojima je povezan.





**SI.2.5.** Razina energije u baterijama pri *broadcast* slanju podataka jednom čvoru (S16), dvama čvorovima (S18) i trima čvorima (S21).

Iz dobivenih podataka vidi se da se potrošnja ne mijenja sa promjenom broja čvorova i time je ovaj način slanja pogodan za slanje većem broju čvorova spram *unicast* slanja prethodno prikazanog. Jedino što ostaje je usporediti *unicast* i *broadcast* adresiranje pri slanju jednom čvoru radi usporedbe potrošnje energije. Usporedba je prikazana na slici 6.

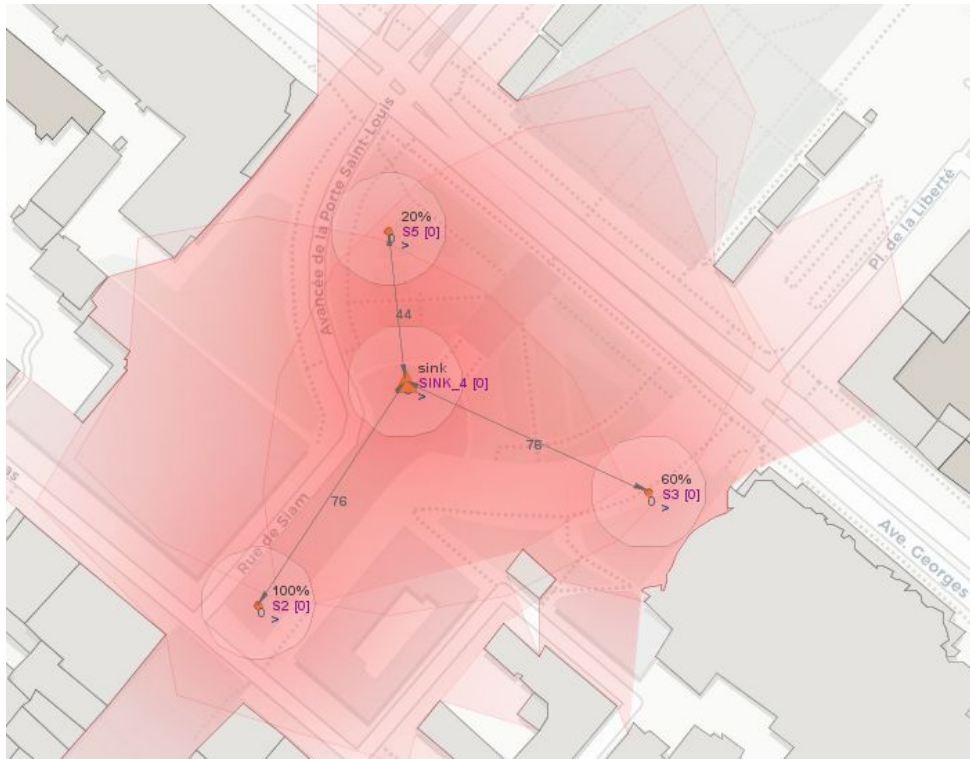


**SI.2.6.** Prikaz energije u baterijama prilikom *unicast* (S1) i *broadcast* (S6) slanja podataka jednom čvoru

Iz grafičkog prikaza vidi se da baterije troše jednako pri slanju jednom čvoru u oba načina rada. Može se zaključiti da se pri slanju prema samo jednom čvoru što se tiče potrošnje energije može se služiti bilo kojim načinom slanja, dok se pri slanju prema više čvorova treba koristiti *broadcast* kako bi se uštedila energija. Kod slanja jednom čvoru prikladniji je *unicast* jer je to njegova klasična primjena i time će se i služiti u primjerima sa konkretnim topologijama.

### 3.3. Udaljenost čvorova

Velik utjecaj na potrošnju energiju pri slanju ima udaljenost. Da bi čvor mogao komunicirati na veću udaljenost mora imati više energije slanja jer pri tome troši više energije. Dok promjena udaljenosti ne utječe direktno na potrošnju energije, smanjuje maksimalnu udaljenost na kojoj mogu komunicirati zbog čega bi čvorovi morali biti bliže kako bi komunicirali. U kompleksnijim mrežnim topologijama ovo je češća praksa tj. korištenje *multi-hop* nego *single-hop*. Mreža je *single-hop* ili *multi-hop* ovisno od toga stiže li podatak iz uređaja direktno u središnju bazu ili ide kroz više uređaja do krajnjeg odredišta. Zbog ograničenja u dometu radio veze češće je u uporabi *multi-hop* kako bi se pokrilo veće područje. Naravno oba načina imaju svoje prednosti i nedostatke u određenim situacijama ovisno koji se cilj želi postići. Kod *multi-hop* prijenosa postoji opasnost od većeg trošenja energije na unutarnjim čvorovima nego vanjskim pošto će oni biti posrednici sa bazom. U sljedećem primjeru koristi se tri čvora koji koriste 100%, 60% i 20% energije transmisije. Postavljeni su na maksimalnu dozvoljenu udaljenost za svoju snagu i svi šalju podatak bazi.

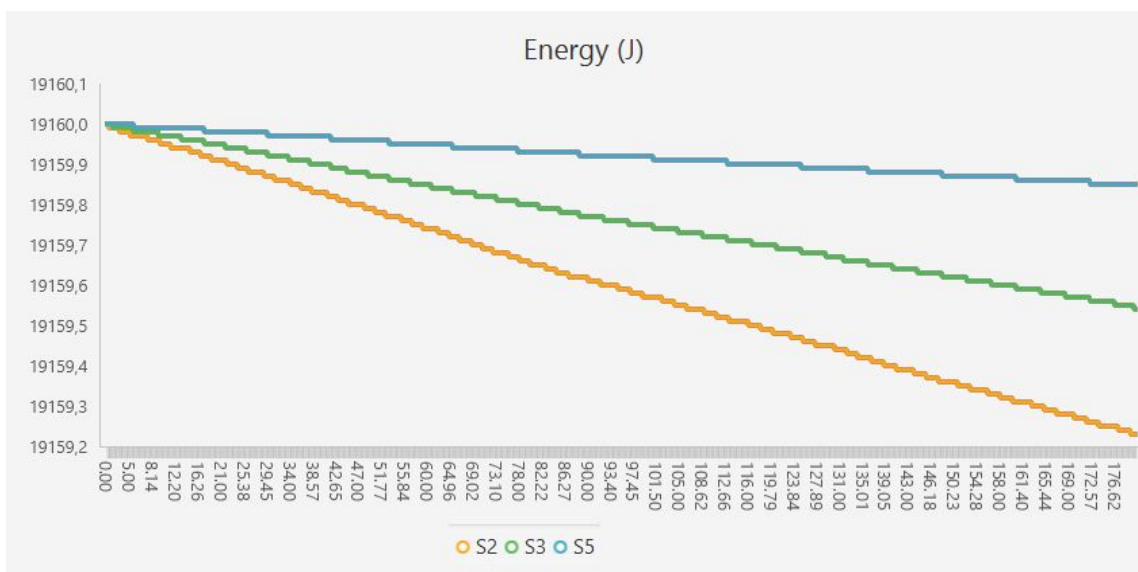


**SI.2.7.** Topologija čvorova iz primjera

Simulacija traje 180s i sva tri čvora šalju isti podatak (jednake veličine) jednaki broj puta i to svake sekunde. Radio parametri su isti u sva tri čvora u svemu osim PL parametru, koji predstavlja energiju transmisije.

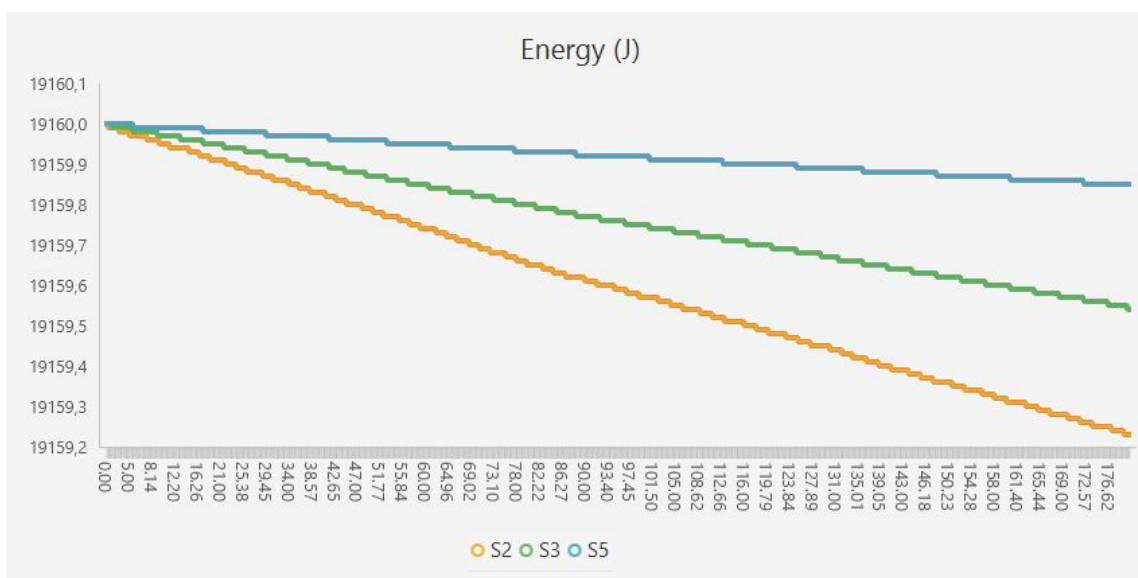
Parameter	S2 (100%)	S3 (60%)	S5 (20%)
Network Id (NID)	13108	13108	13108
MY	0	0	0
CH	0	0	0
PL	100.0	60.0	20.0
Radius	100.0	100.0	100.0
E <sub>Tx</sub>	5.92E-5	5.92E-5	5.92E-5
E <sub>Rx</sub>	2.86E-5	2.86E-5	2.86E-5
Sleeping Energy	1.0E-7	1.0E-7	1.0E-7
Listening Energy	1.0E-6	1.0E-6	1.0E-6
Data Rate	250000	250000	250000
Spreading Factor			
Code Rate	0	0	0
<b>Consumption Model</b>			
Tx	Classical (Tx)	Classical (Tx)	Classical (Tx)
Rx	Classical (Rx)	Classical (Rx)	Classical (Rx)

**SI.2.8.** Radio parametri čvora S2, S3 i S5



SI.2.9. Razina energije nakon simulacije u čvorovima S2 (100%), S3 (60%) i S5 (20%)

Iz rezultata se može zaključiti da se potrošnja energije znatno smanjuje smanjenjem energije transmisije. Da bi se dokazalo da udaljenost ne utječe na promjenu potrošnje energije ponoviti će se simulacija, samo ovaj put sa svim čvorovima na jednakoj udaljenosti od baze dok svi ostali parametri ostaju nepromijenjeni.



SI.2.10. Razina energije nakon simulacije u čvorovima S2 (100%), S3 (60%) i S5 (20%) pri jednakoj udaljenosti

Iz slike 2.10. vidi se da je razina energije jednaka kao i u prethodnom primjeru što dokazuje tvrdnju da se za različite udaljenosti uz istu energiju transmisije troši jednaka količina energije,

dok je god udaljenost dovoljno mala da ne prelazi maksimalnu dozvoljenu za tu energiju transmisije.

Kako bi se smanjila potrošnja energije u ovisnosti o udaljenosti treba uzeti u obzir dva slučaja.

Ukoliko je udaljenost između čvorova zadana, energija transmisije se može namjestiti kako bi se trošilo što manje energije za tu udaljenost. A ukoliko udaljenost nije zadana, ovisno o potrebama pokrivanja prostora za praćenje okolišnih parametara, može se postaviti na maksimalnu dozvoljenu udaljenost sa energijom transmisije koja ju dozvoljava.

Nakon što se prošlo kroz važne parametre topologije koji utječu na topologiju i potrošnju energije dalje će se razmatrati konkretni primjeri optimizacije topologije bežične senzorske mreže za praćenje okolišnih parametara. Optimizirati će se gore razmatrani parametri na simuliranim primjerima.

### 3. OPTIMIZACIJA MREŽNIH TOPOLOGIJA

Topologiju mreže čini raspored čvorova u mreži i konekcija između njih. Logička topologija određuje načine i rute komuniciranja čvorova. Fizička topologija rješava fizički aspekt mreže poput fizičke pozicije uređaja. Ove dvije topologije nisu nužno iste, ali su međusobno povezane tako što je logička i njeno kreiranje vezano uz fizičku. Jedne od tradicionalnih mrežnih topologija su sabirnička, stablo, zvijezda, prsten, *mesh*, kružna, linijska te mrežasta. Najčešće korištene za bežične senzorske mreže su zvijezda, sabirnička i mrežasta. Pošto je povezanost bežična nema fizičke veze između uređaja koji komuniciraju (čvorovi) pa se topologija može odrediti i tijekom rada i time i mijenjati.

Već je spomenuto da postoje određeni zahtjevi mreže koje treba zadovoljiti i iz njih proizlaze određeni kriteriji po kojima se može mjeriti efektivnost topologije. To su:

- Broj skokova: Vrlo često korišteno u mrežama koje koriste *multi-hop*. Broj skokova predstavlja minimalni broj čvorova putem kojih informacija dolazi od izvora do ishodišta. O ovome ovisi pozicioniranje čvorova i izbor algoritma.
- Skalabilnost: Bežične senzorske mreže se može povećati dodavanjem čvorova u okolinu i njihovim međusobnim povezivanjem da bi se pokrilo veće područje. Ovaj kriterij se obično gleda kao sposobnost mreže da bude efikasna pri različitim veličinama od samo par čvorova do stotinjak i više.
- Niska potrošnja energije: Predstavlja direktnu posljedicu zahtjeva za dužim životnim vijekom. Komunikacija mora sporo trošiti energiju. Pozicioniranje čvorova mreže može znatno afektirati životni vijek mreže. Na primjer, neravnomjerna raspodjela čvorova može dovesti do pojave uskih grla i nebalansiranog prometa, a s druge strane ravnomjerna raspodjela može rezultirati oslabljivanjem čvorova koji su bliže bazi što će smanjiti životni vijek mreže.
- Pouzdanost: U smislu gubljenja paketa, pouzdani prijenos podataka je potreban da se pruži visok stupanj efikasnosti u promatranju parametara i kontroli sustava.

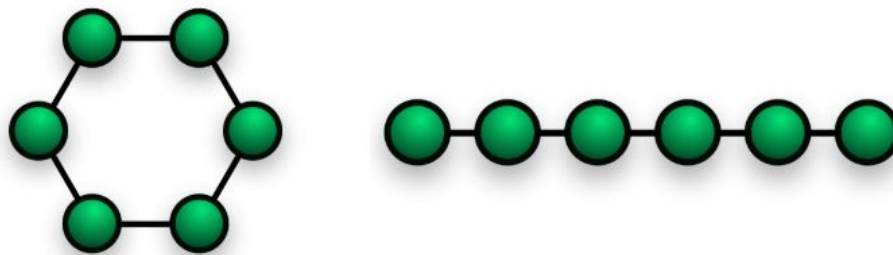
Optimizirajući topologije cilj je zadovoljiti što više ovih zahtjeva.

U ovom dijelu rada će se optimizirati topologija na stvarnim slučajevima korištenjem dvije različite topologije. Koristit će se linijska i zvjezdasta zbog njihovog različitog načina komuniciranja. Također to su neke od najjednostavnijih topologija čije shvaćanje može pomoći u

optimiziranju složenijih topologija koje se sastoje od elemenata jednostavnijih topologija. Do toga dolazi jer topologija cjelokupne mreže ne pripada nužno jednom tipu mreže. Često se događa da se zvjezdasta grana i na njene grane su povezani drugi čvorovi. Tako nastaju kompleksnije mreže sa *multi-hop* slanjem.

### 3.1. Optimizacija linijske topologije

Linijska topologija je topologija u kojoj su čvorovi povezani u liniju na čijem je kraju stanica koja prikuplja podatke. Svaki čvor ima dva susjeda od kojih od jednog prima podatke, a drugom šalje. Slanje uvijek ide u istom smjeru prema stanici. Ne postoji grananje veza. Vrlo slična ovoj topologiji je prstenasta pošto čvorovi komuniciraju na isti način, samo su drukčije prostorno raspoređeni tako da se ovo može gledati i kao primjer za tu topologiju. U obje topologije pošto čvorovi komuniciraju samo u jednom smjeru iako imaju dva susjeda, ukoliko dođe do prekida u vezi dolazi do rušenja cijele mreže.



SI.3.1. Prikaz prstenaste i linijske topologije

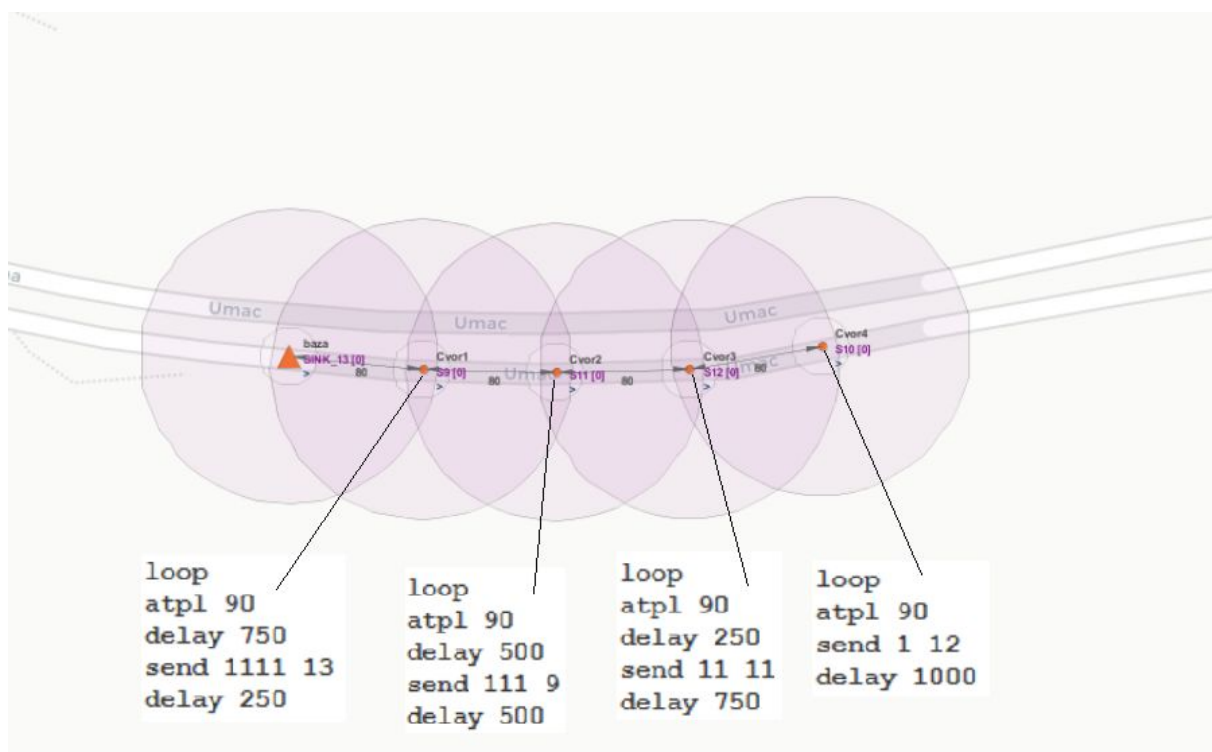
U praksi bežične senzorske mreže se upotrebljavaju za:

- nadzor prostora
- nadzor objekata
- nadzor interakcija između objekata međusobno i sa prostorom.

Prva kategorija uključuje praćenje okoliša i stambenih prostora poput kontrole temperature, videonadzora, inteligentnih alarma i sl. Mnoge prvotne bežične senzorske mreže su korištene za praćenje okolišnih parametara. Druga kategorija uključuje strukturno promatranje, ekofiziologiju, održavanje opreme temeljeno na uvjetima, medicinsku dijagnostiku... Treća kategorija obuhvaća praćenje kompleksnih interakcija uključujući staništa divljih životinja,

praćenje imovine, zdravstvo i mnoge druge primjere primjene. U ovom radu je fokus samo na jednoj primjeni bežičnih senzorskih mreža, a to je promatranje okolišnih parametara.

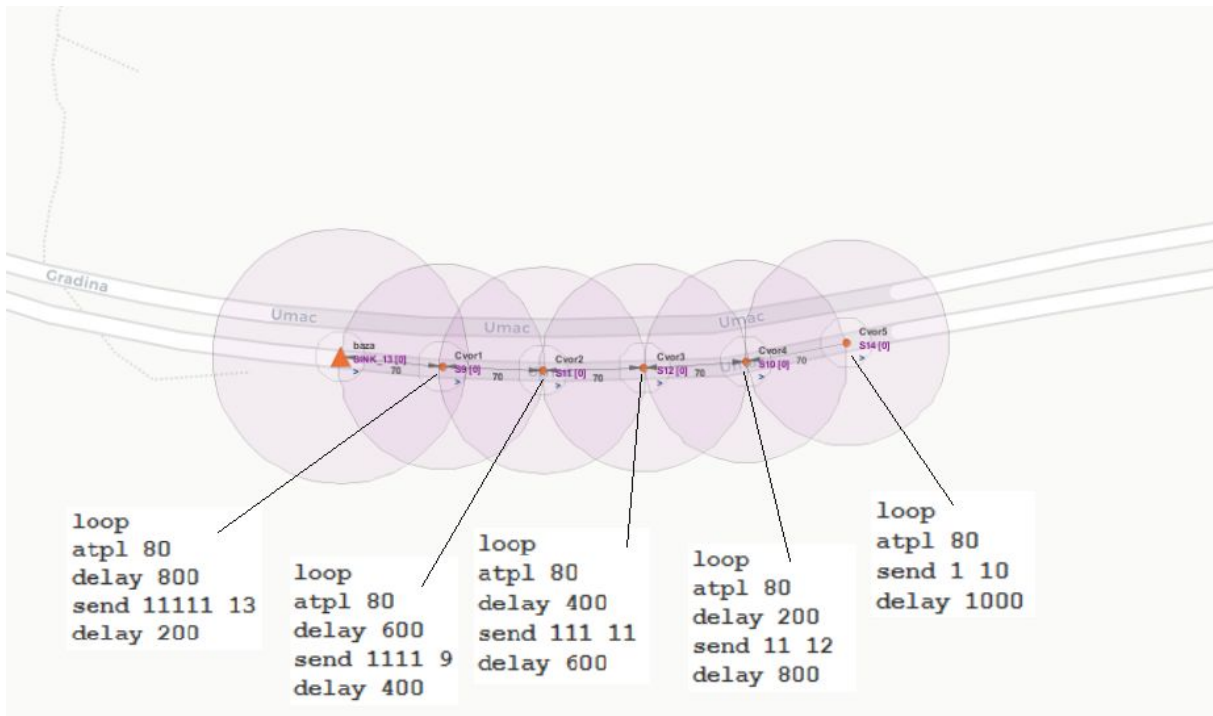
Za primjer linijske topologije uzet će se slučaj gdje je potrebno mjeriti razine određenih plinova kroz hrvatski tunel Umac. Kroz tri različita slučaja za tunel će se razmotriti najbolja opcija. Prvi primjer ( 1.a)) se sastoji od četiri čvora i jedne postaje koja prikuplja podatke. To je minimalan broj čvorova da bi se pokrila sva površina tunela na udaljenosti koja omogućuje da čvorovi mogu međusobno komunicirati. Pošto je zadovoljen zahtjev da čvorovi pokrивaju što veći prostor da bi prikupljali više podataka i ne nalaze se na maksimalnoj udaljenosti za 100% energije slanja, ona se može smanjiti na 90%. Na slici 3.2. je prikaz topologije tog primjera.



SI.3.2. Topologija primjera 1.a)

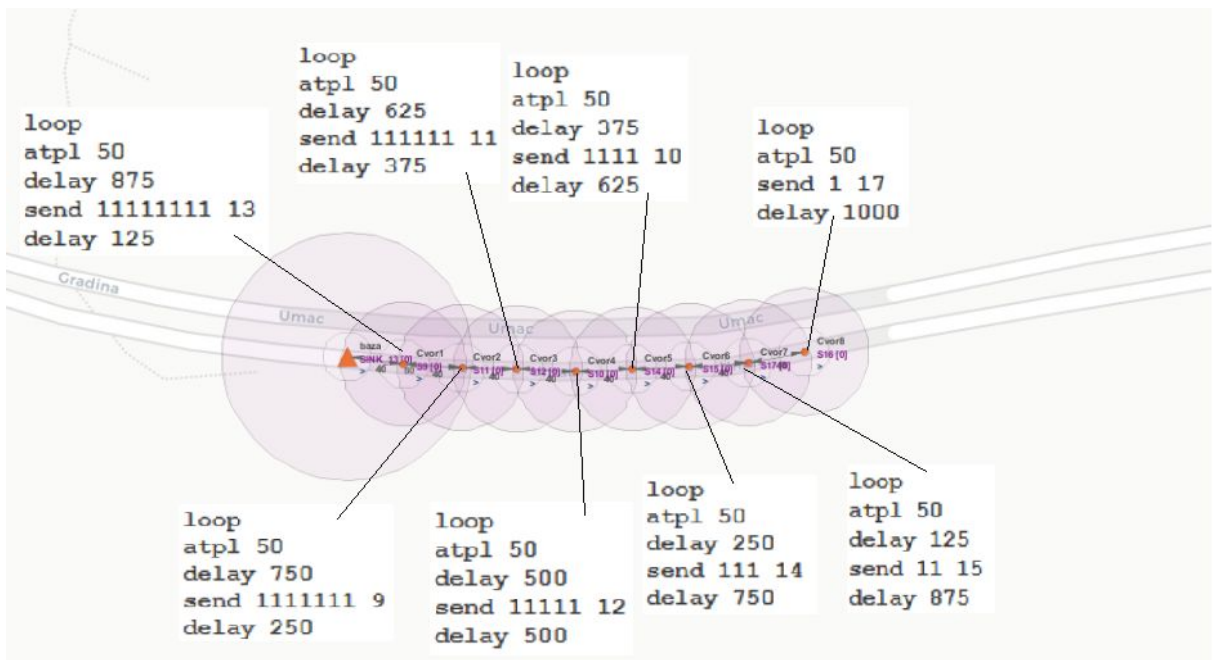
Za drugi primjer (1.b)) koristiti će se pet komunikacijskih čvorova i zbog manje međusobne udaljenosti smanjena je energija slanja za 20%, maksimalno smanjenje koje dozvoljava trenutna udaljenost između čvorova. Pošto komunikacija ide samo u jednom smjeru povećava se broj skokova za krajnje čvorove za točno toliko koliko je čvorova dodano.





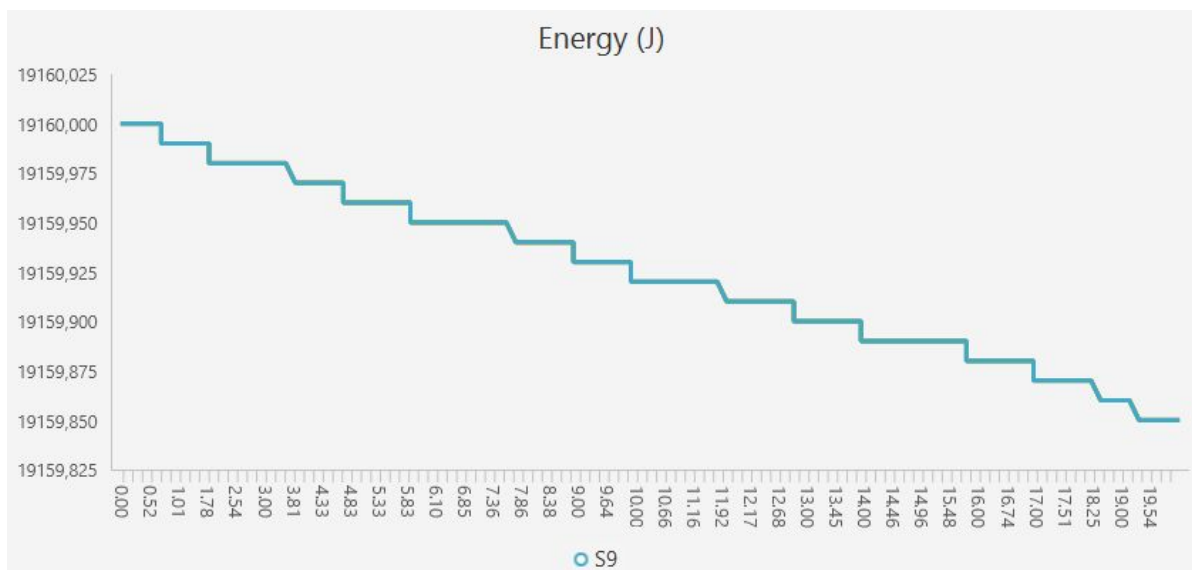
SI.3.3. Topologija primjera 1.b) sa 5 čvorova

I za zadnji primjer slučaj koristiti će se osam komunikacijskih čvorova sa smanjenom energijom slanja za 50%. Iz slike 3.4. vidi se da se maksimalna udaljenost znatno smanjila sa smanjenjem energije slanja, na čak 40 u usporedbi sa 100 na maksimalnoj.

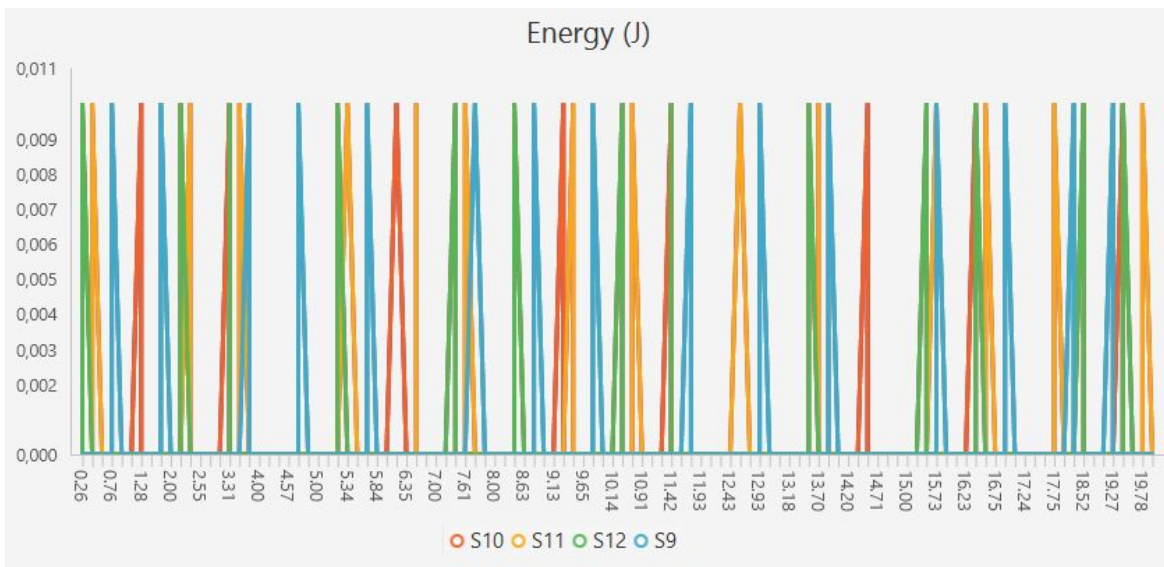


SI.3.4. Topologija primjera 1.c) sa 8 čvorova

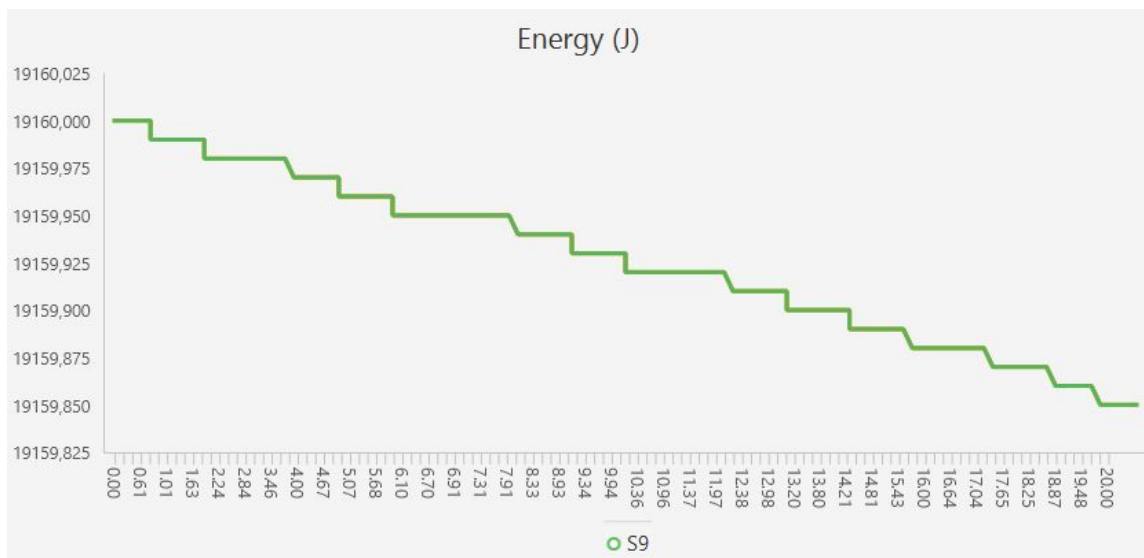
Pošto se mijenja broj čvorova, simulacija će se obavljati tako da će u svakom primjeru biti 20 slanja informacije od krajnjeg čvora do stanice. Uzet će se da je zahtjev mreže da čvorovi redovito šalju informaciju o stanju okoline. Pošto čvorovi redovito šalju informaciju, a ne na detekciju promjene, svi će slati informaciju zajedno tako da će krajnji čvor poslat informaciju susjednom, a susjedni će svojem susjedu slati svoju i njegovu informaciju i tako do baze. Svakih 5s se dobije novi skup informacija od svih čvorova. Povećanje informacije će se simulirati na jednostavan način jer se ne zna točno veličina informacije koja se šalje, to ovisi o mnogim drugim faktorima, a u te detalje se neće ulaziti. Na kraju će se zaključiti koja je opcija najbolja, više čvorova sa manjom energijom slanja ili manje čvorova sa većom energijom. Rezultati simulacije prikazani su na sljedećim slikama.



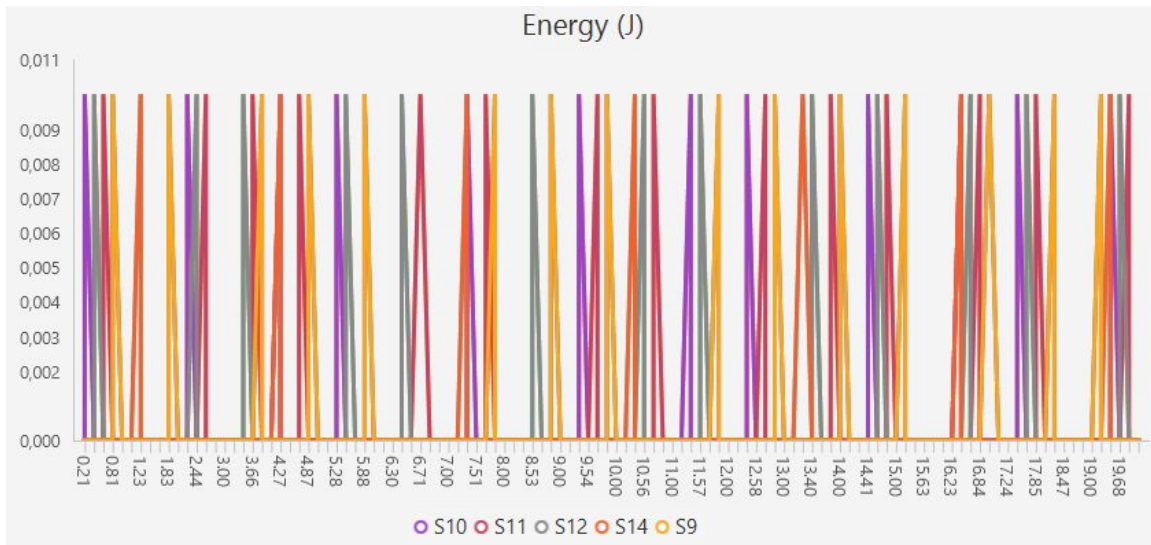
**SI.3.5.** Razina energije čvora S9 nakon simulacije za primjer 1.a)



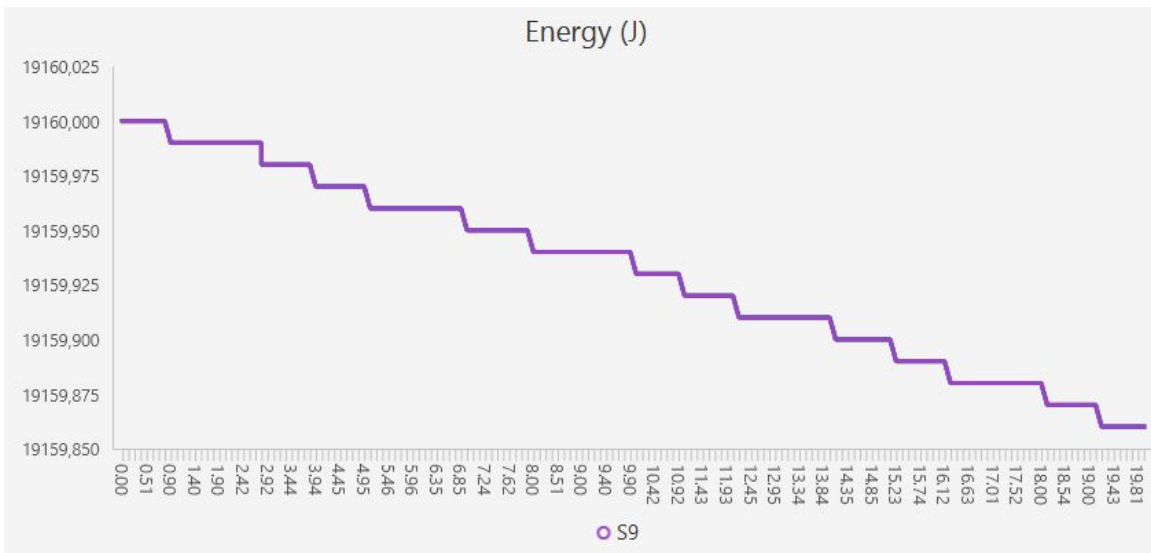
SI.3.6. Potrošnja energije čvorova za primjer 1.a)



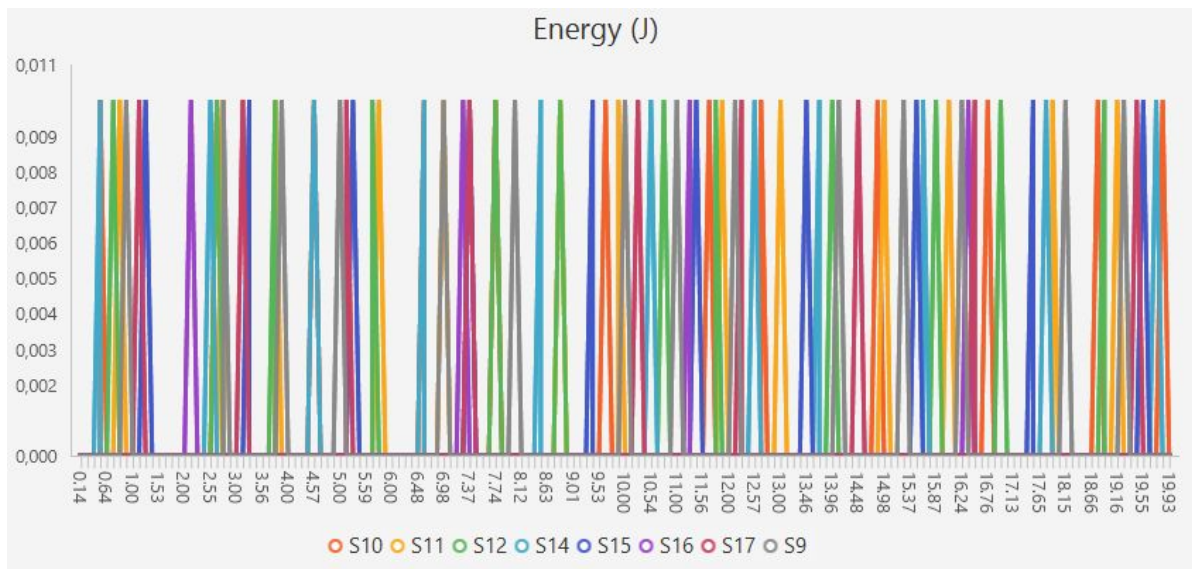
SI.3.7. Razina energije čvora S9 nakon simulacije za primjer 1.b)



SI.3.8. Potrošnja energije čvorova za primjer 1.b)

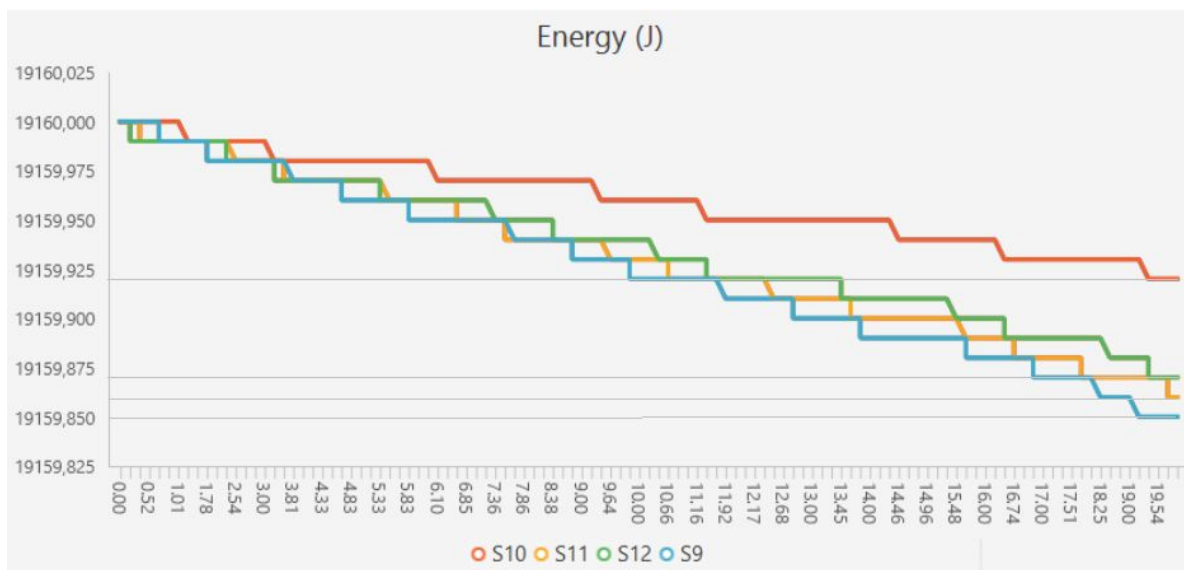


SI.3.9. Razina energije čvora S9 nakon simulacije za primjer 1.c)

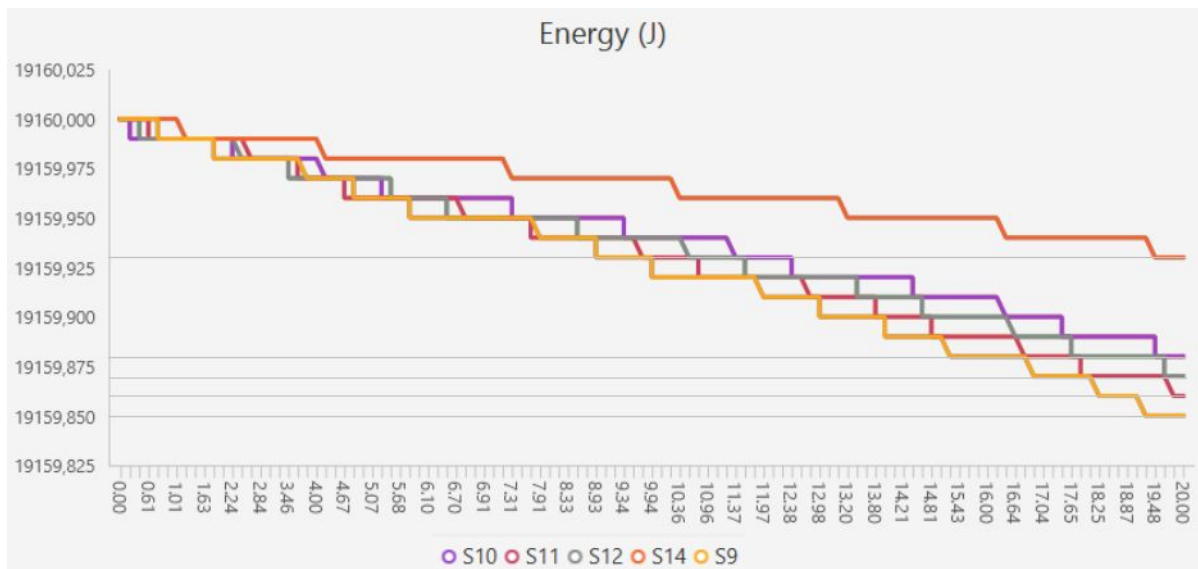


**Sl.3.10.** Potrošnja energije čvorova za primjer 1.c)

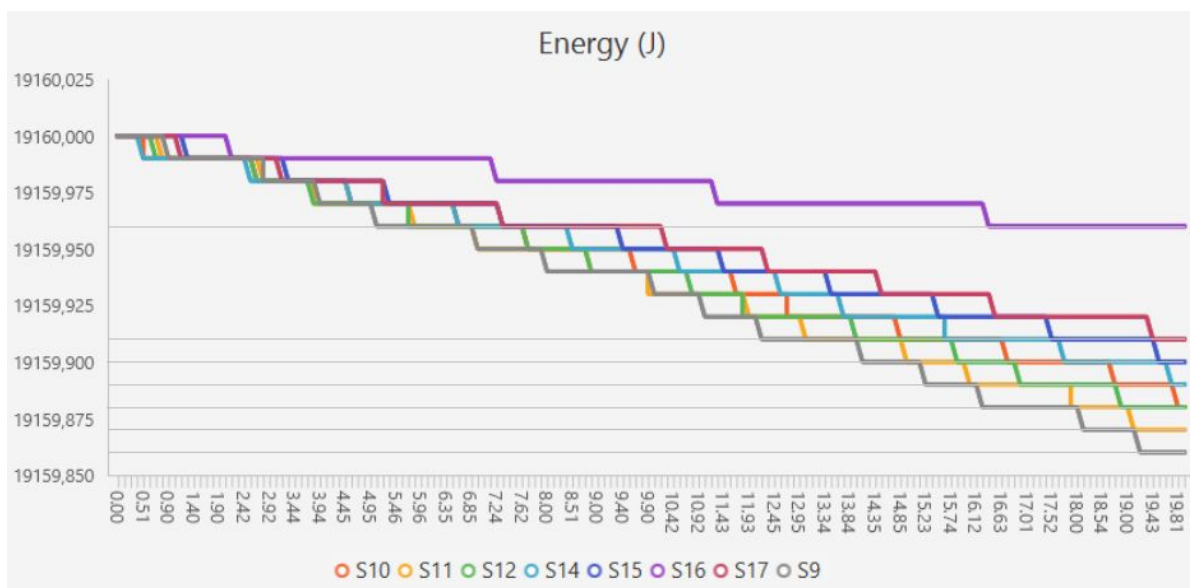
Iako razlika nije velika, manje energije se troši ukoliko je više čvorova (manja energija slanja) unatoč povećanju informacije, što također utječe na potrošnju. Može se zaključiti da je za ovaj primjer prikladnije imati više čvorova što se tiče potrošnje energije, ali treba uzeti u obzir da se prilikom kreiranja mreže povećava i kompleksnost mreže povećanjem broja čvorova. Zbog toga postoji ograničenje koliko se čvorova može i ima smisla staviti u mrežu. Pošto čvorovi šalju informacije različite veličine treba pogledati i razliku u energiji na kraju simulacija.



**Slika 3.11.** Razina energije svih čvorova nakon simulacije za primjer 1.a)



Slika 3.12. Razina energije svih čvorova nakon simulacije za primjer 1.b).



Slika 3.13. Razina energije svih čvorova nakon simulacije za primjer 1.c)

Razlike u potrošnji energije između čvorova nisu jako velike ako se ne gleda krajnji čvor, ali razlika postoji. Razlika između prvog i krajnjeg čvora se povećava sa povećanjem broja čvorova u mreži što je očekivano zbog povećanja veličine informacije koja se šalje. Iako veličina informacije i njeno povećanje ovisi o faktorima kao algoritam slanja i drugi, sigurno će postojati razlika između potrošnje čvorova koji šalju informacije različite veličine, sa razlikom većom ili manjom od ove. U ovom primjeru veličina informacije ne utječe više od udaljenosti, stoga je još uvijek prikladnije koristiti manju udaljenost tj. više čvorova, ali vidi se da to dolazi sa posljedicama i da se ne može beskonačno dodavati čvorove. Treba uzeti u obzir da će čvorovi

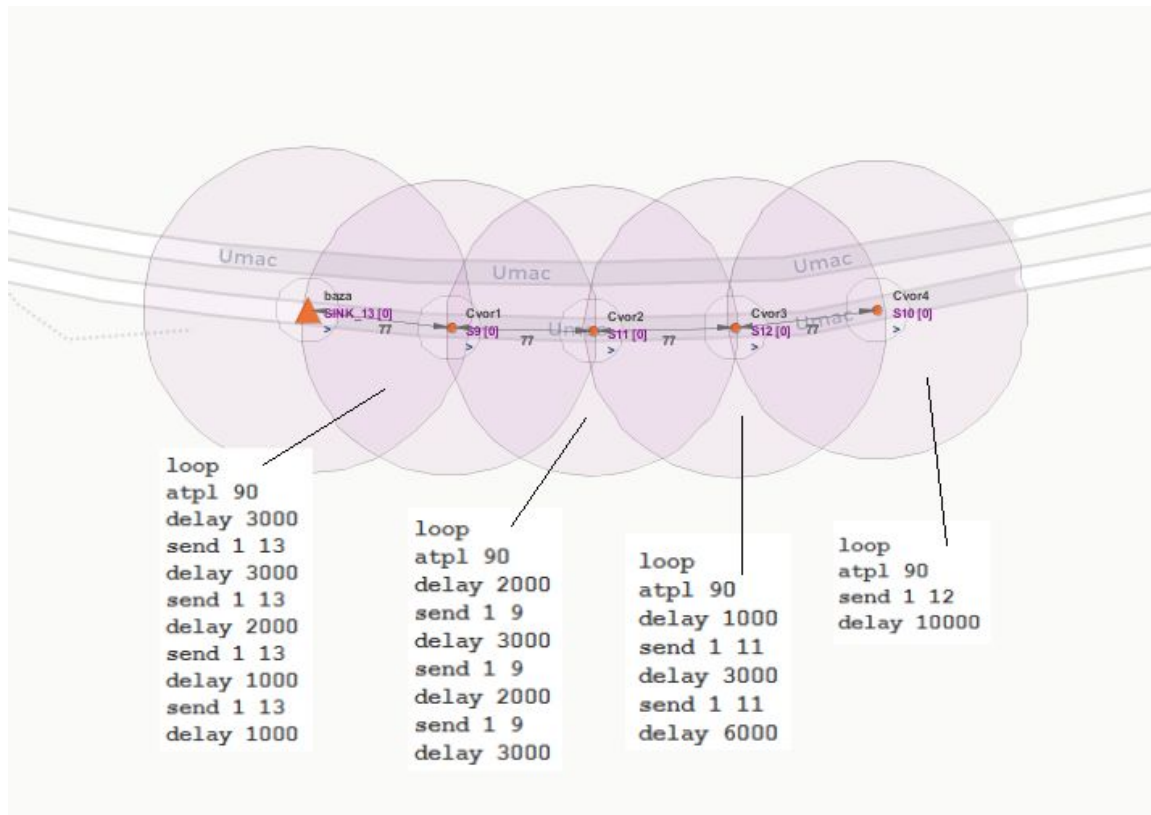
svejedno nejednako trošiti i stoga će čvorovi bliže bazi prije potrošiti energiju. Zbog svega toga ova topologija pri ovom načinu prikupljanja informacija nije prikladna za jako velik broj čvorova jer će se veličina informacije samo povećavati što će voditi do sve neravnomjernije potrošnje.

U ovisnosti o interakciji između izvora i odredišta kao i prirode događaja koji se promatra, bitno je navesti kako se razlikuje nekoliko standardnih načina prikupljanja podataka:

- Detekcija događaja: čvorovi šalju podatak bazi samo kada se dogodi neka promjena u nadgledanom području.
- Periodično javljanje: čvorovi šalju podatke o pojavi koju promatraju u točno određenim vremenskim periodima. Dužina tih perioda ovisi o tipu aplikacije kao i od prirode pojave koja se promatra.
- Kontinuirano nadgledanje: kontinuirano praćenje nekog objekta, živog ili neživog u promatranom području u vremenu i prostoru. Ovo se ne odnosi na praćenje okolišnih parametara nego spada u drukčiju primjenu bežičnih senzorskih mreža.
- Predviđanje događaja: svi podatci koje čvorovi prikupe sa promatranog prostora mogu se uzeti kao parametri funkcija za aproksimaciju događaja poput lokacije, rute, vremena, temperaturne mape, itd...

Nakon što je razmotren slučaj u kojemu se podaci šalju redovito umjesto slanja samo na prisutnu promjenu, sada će se promotriti slučaj kod kojeg se šalje samo kada dođe do promjene i to će se izvesti uz pretpostavku da se promjena jednako vjerojatno može pojaviti na svakom čvoru. To će se izvesti simuliranjem u određenom periodu u kojemu je maksimalan broj promjena jednak broju čvorova i svaki čvor će jednom doživjeti promjenu i poslati informaciju prema bazi. Ovo je drukčiji način prikupljanja podataka od prijašnjeg primjera pa će se pratiti i utjecaj te promjene unutar iste topologije.

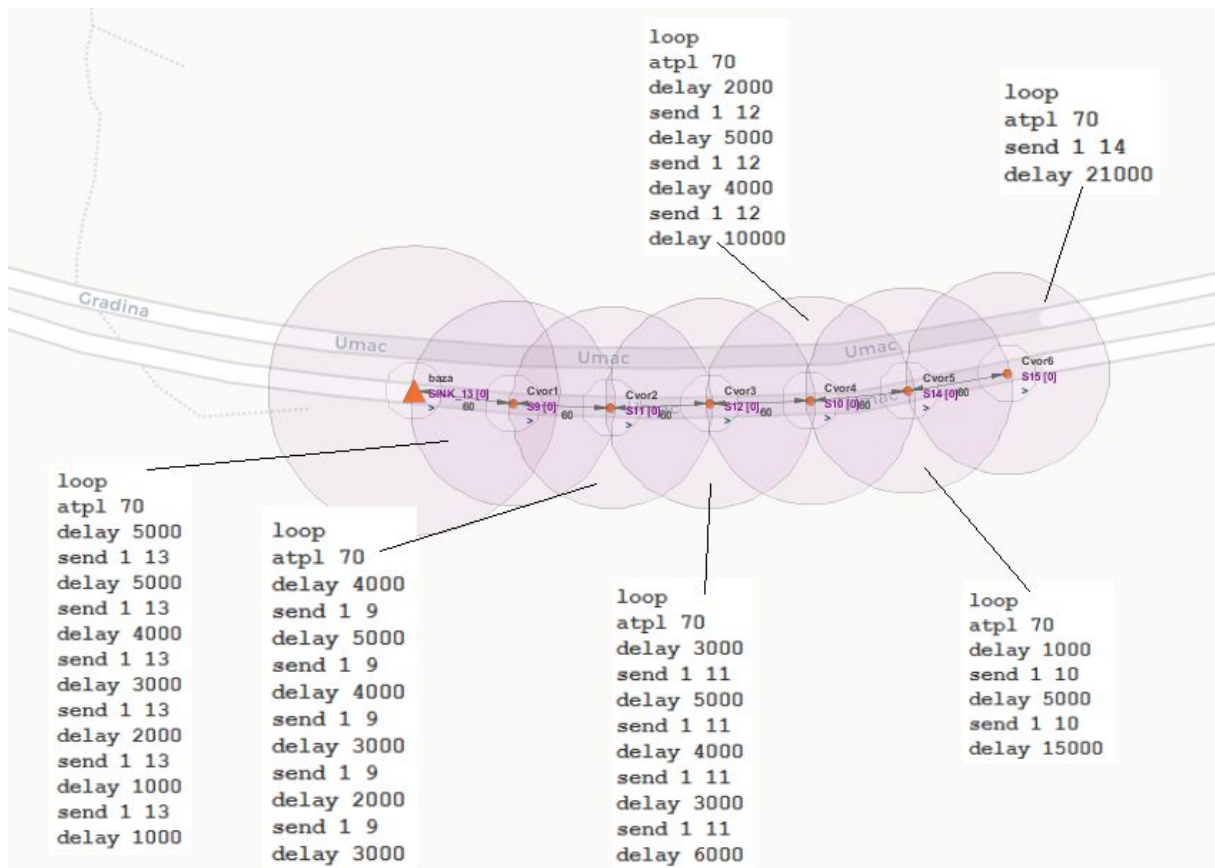
Koristiti će se isti model praćenja plinova u tunelu sa četiri čvora kao u primjeru 2.a) i šest čvorova kao u primjeru 2.b). Simulacija različito traje kako bi se dobio uzorak slanja svakog čvora prema bazi i kako bi svaki čvor poslao jednom informaciju. U primjeru 2.a) simulacija traje 100s, dok u primjeru 2.b) traje 210s, sa po 10 ponavljanja za svaki čvor.



SI.3.14. Topologija za primjer 2.a)

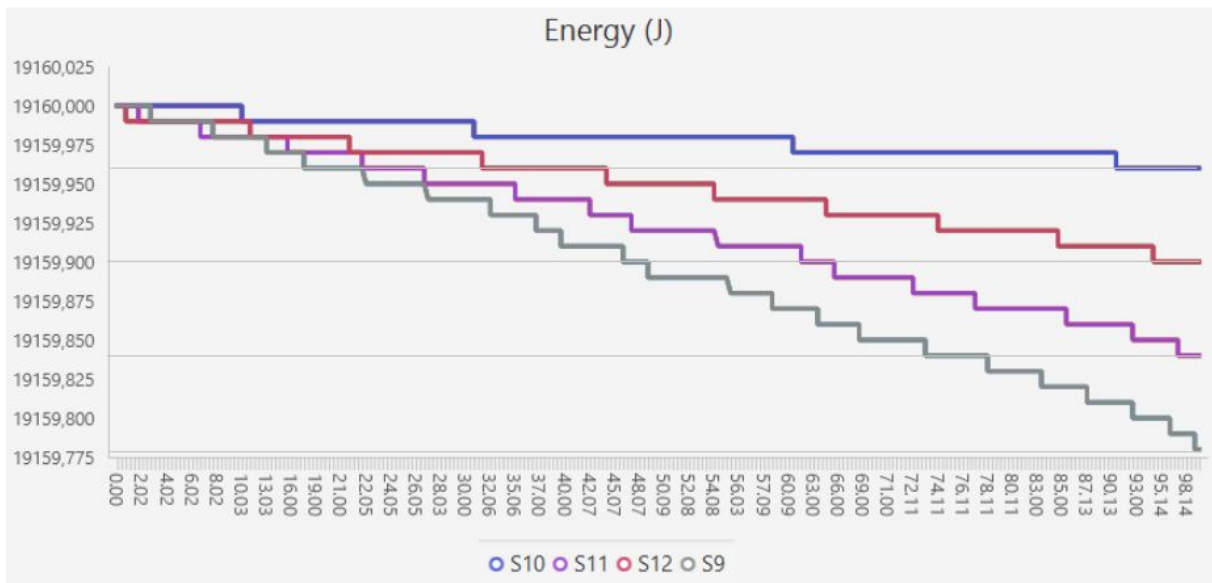
Broj skokova kao u prijašnjem primjeru povećava se za krajnje čvorove.



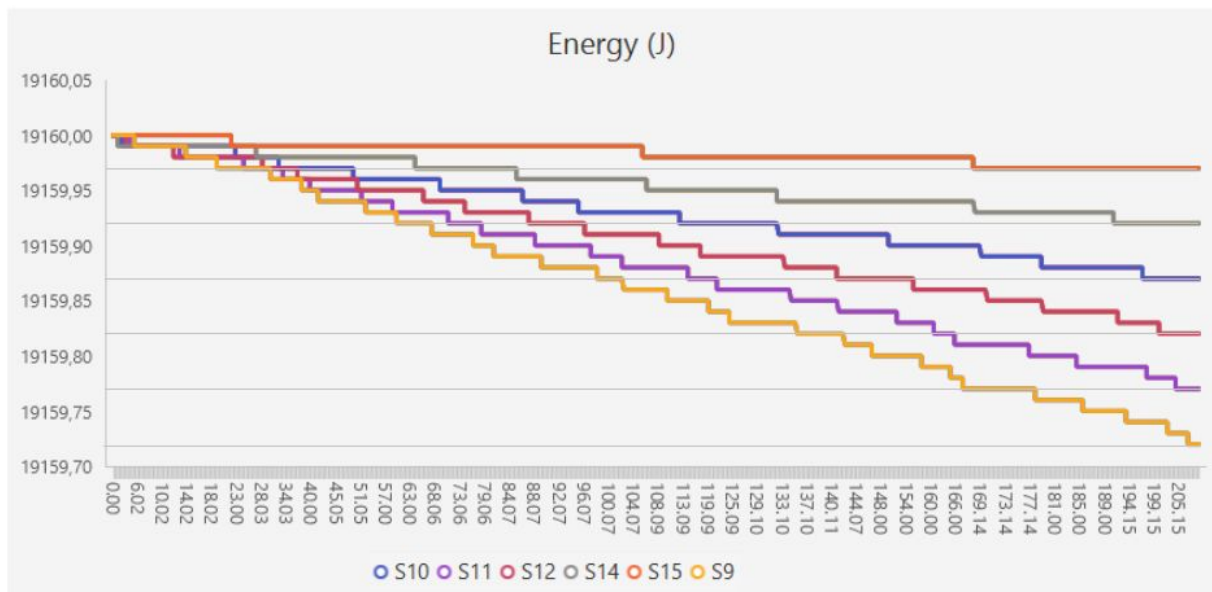


SI.3.15. Topologija za primjer 2.b)

Za primjer 2.a) korištena je smanjena energija slanja za 10%, a u primjeru 2.b) smanjena za 30%. Oboje su minimalne energije koje su potrebne kako bi čvorovi komunicirali na tim udaljenostima i pokrili cijelo područje tunela. Očekivano je da će čvorovi dalje od baze imati manje slanja (kao što se vidi iz koda), ali također će čvorovi u primjeru 2.b) koristiti manje energije zbog manje međusobne udaljenosti.



Sl.3.16. Razina energije nakon simulacije za primjer 2.a)

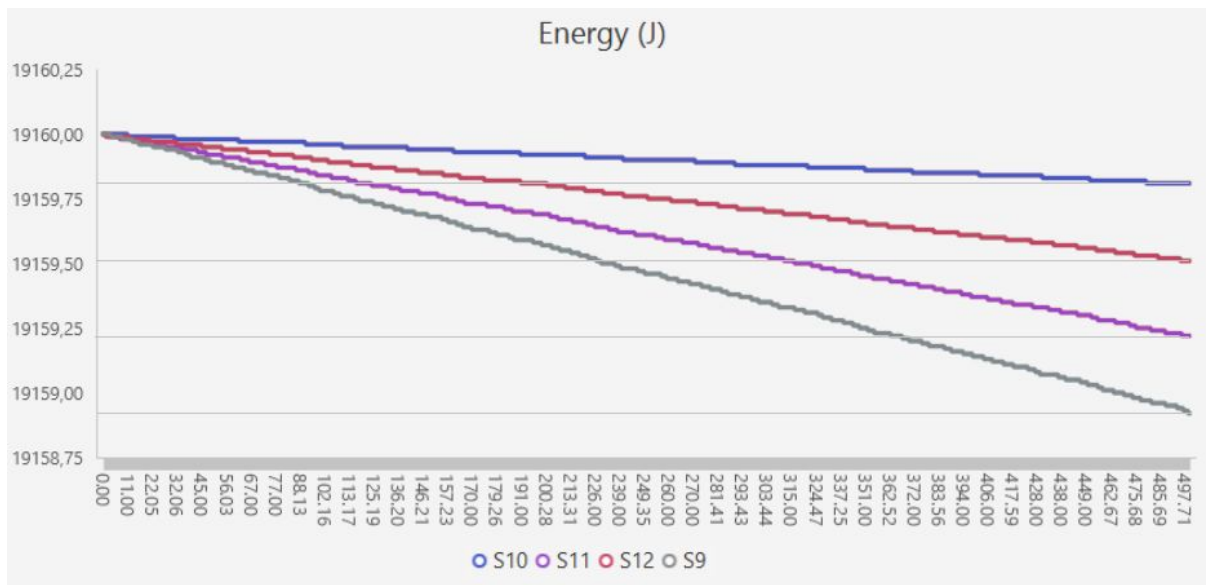


Sl.3.17. Razina energije nakon simulacije za primjer 2.b)

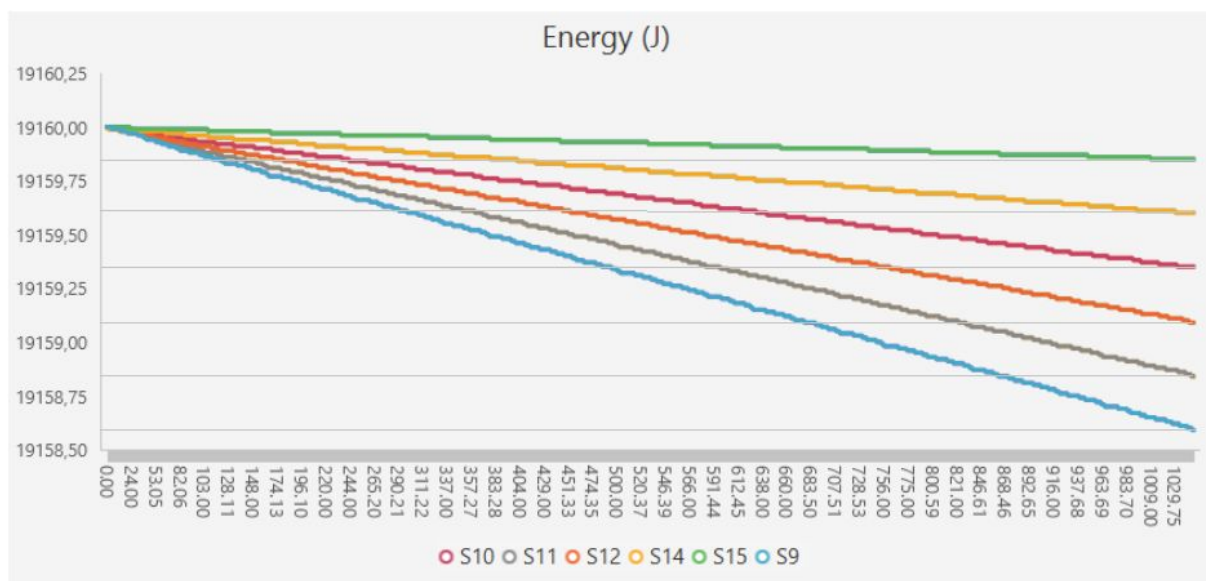
Iz ovih rezultata može se vidjeti da je razlika u potrošnji između čvorova manja u primjeru 2.b) nego u 2.a). Razliku u energiji svakog pojedinog čvora će se gledati po brojevima tako da se čvor 5 i 6 neće imati s kim uspoređivati. Oni se gledaju kao dodani na niz.

Svi čvorovi primjera 2.a) imaju više energije nego čvorovi primjera 2.b) što bi se moglo pridodati manjem broju slanja unatoč tome što troše više energije na pojedinačno slanje zbog veće udaljenosti. Kako bi dodatno potvrdilo i utvrdilo što ima dominantniji utjecaj, udaljenost ili

broj slanja, obaviti će se još dvije simulacije koja će imati po 50 i 100 slanja za svaki čvor. Simulacija primjera 2.a) će stoga trajati 500s i 1000s, a simulacija primjera 2.b) 1050s i 2100s.

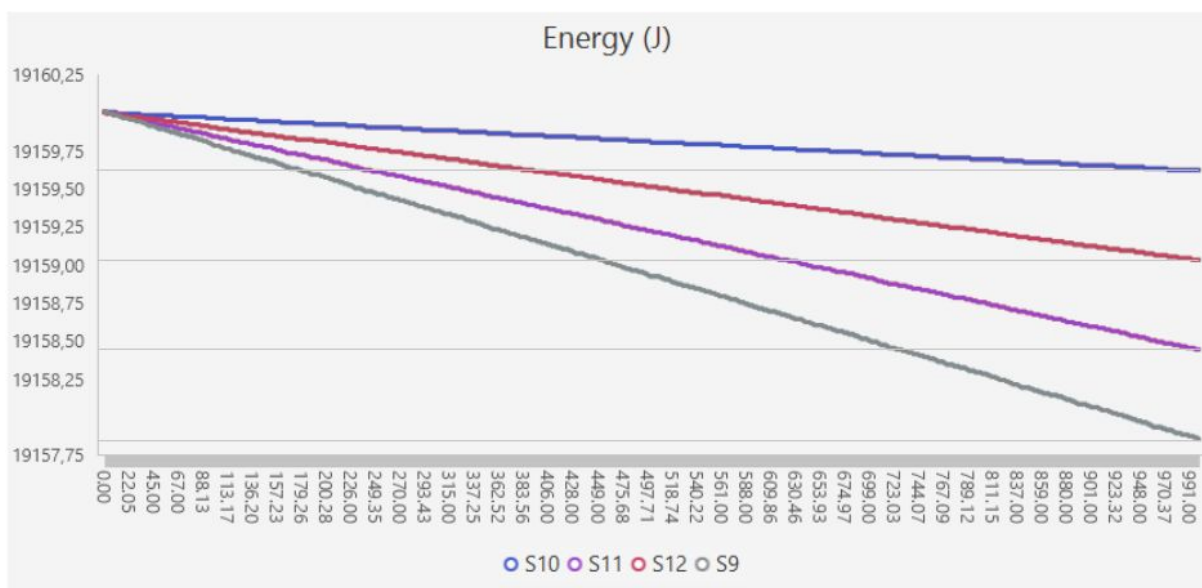


SI.3.18. Razina energije nakon druge simulacije za primjer 2.a)

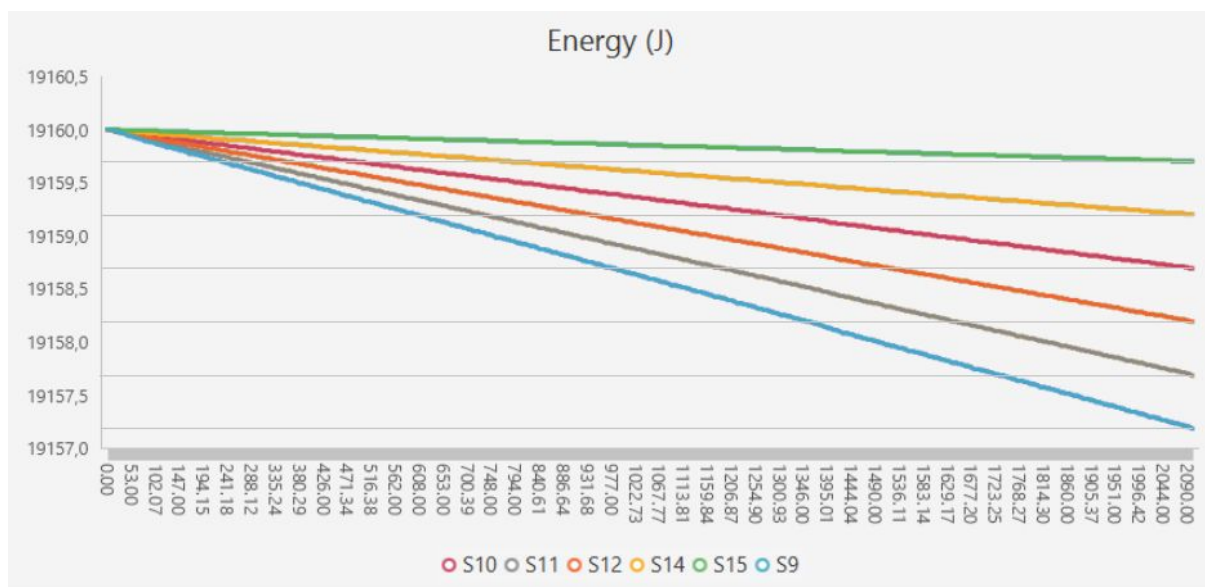


SI.3.19. Razina energije nakon druge simulacije za primjer 2.b)

U ovoj simulaciji razlika između energija čvorova je u oba slučaja približno jednaka. Svi čvorovi kao u prošloj simulaciji troše manje u prvom primjeru nego u drugom sa još većom razlikom nego u prošloj simulaciji. Sljedeće će se izvesti simulacija sa 100 slanja za svaki čvor.



SI.3.20. Razina energije nakon treće simulacije za primjer 2.a)



SI.3.21. Razina energije nakon treće simulacije za primjer 2.b)

Iz konačnih rezultata se vidi da je razlika između potrošnje čvorova u oba primjera približno jednaka kao u svakom primjeru do sad, pa se može zaključiti da se ne mijenja sa promjenom broja slanja. Razlika između energija svakog čvora u usporedbi primjera 2.a) sa 2.b) je puno veća i može se primijetiti da se povećava sa povećanjem broja slanja. Konačno se može zaključiti da dominantan utjecaj na potrošnju energije ima broj čvorova spram udaljenosti i da je stoga za ovakav način slanja informacija u linijskoj ili prstenastoj topologiji bolje imati što manji broj čvorova. Zbog toga nije prikladna topologija sa većim brojem čvorova zbog velike razlike u potrošnji energije. U usporedbi sa prijašnjim primjerom iste topologije sa različitim načinom

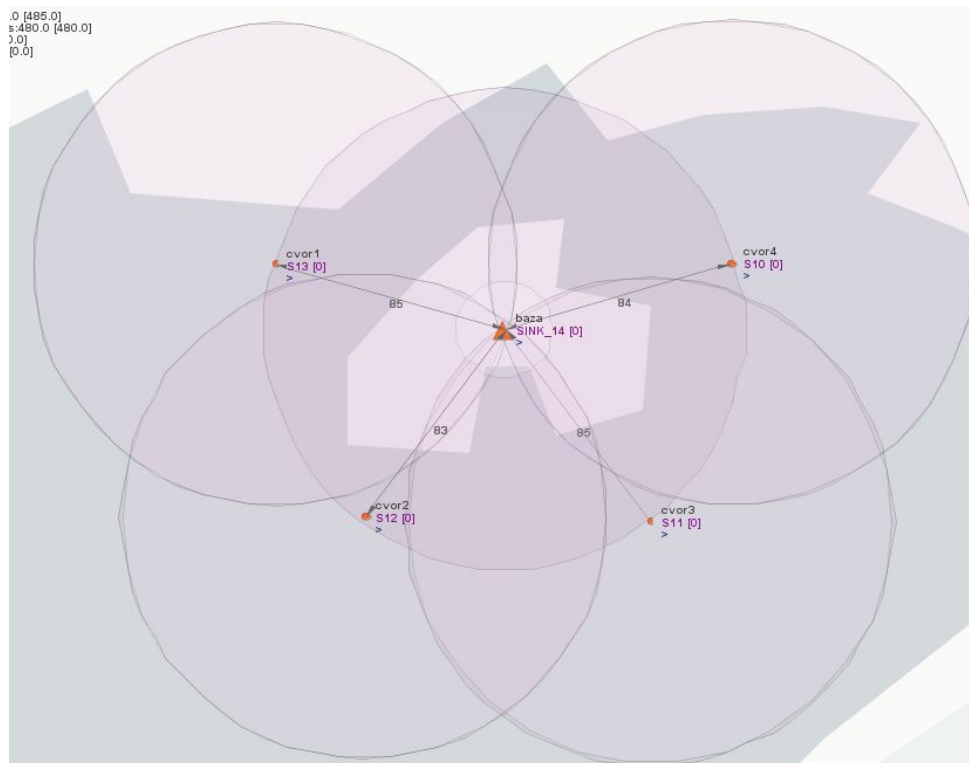
prikupljanja podataka, ovdje se jače osjeti utjecaj dodavanja čvorova u mrežu na potrošnju energije.

### 3.2. Optimizacija zvjezdaste topologije

Zvjezdasta topologija ima središnju bazu (*sink*) povezanu direktno sa čvorovima dok čvorovi ne mogu međusobno komunicirati. Ova topologija može pokriti samo manje područje, ali potpuno ga pokriti. Ova topologija je najjednostavnija topologija za bežične senzorske mreže. Kvar jednog čvora za razliku od linijske topologije neće utjecati na cijelu mrežu zbog čega je ova topologija pouzdana. Iako je ova mreža jednostavna i skraćuje put komuniciranja direktnim slanjem, ima negativne posljedice. Pošto je ovo *single-hop* ograničeno je koliko se može smanjiti udaljenost između čvora i baze kako ne bi došlo do neželjenog rezultata u kojemu područje nije dobro pokriveno zbog bliskosti čvora i baze. Zbog toga čvorovi će većinom raditi na udaljenosti bližoj maksimalnoj kako bi se mogli efektivno iskoristiti, a time i trošiti više energije.

Jednostavno je za primjenu gdje je potrebno pokriti manje područje potpuno sa bazom u središtu područja.

Za primjer se koristi mreža koja prati okolišni parametar pH vode u jezeru. Cilj je pokriti što veće područje vode sa što manjom potrošnjom energije. Da bi se dobilo maksimalno pokrivanje područja dovoljno je 4 čvora u ovom slučaju. U oba primjera se čvor 2 i 3 nalaze jednakoj udaljenosti (maksimalnoj) jer se nalaze na većinski vodenom području i povećanjem udaljenosti se povećava samo područje vode čije parametre prate. U primjeru 3.a) čvor 1 i 4 su na maksimalnoj udaljenosti također dok na primjeru 3.b) je smanjena udaljenost i time i energija slanja. Vanjski bijela kružnica prikazuje područje koje senzor čvora pokriva, dok je kružnica sa obojanim središtem područje komunikacije dva čvora (središte jednom mora biti u tom području kako bi komuniciralo sa drugim čvorom).



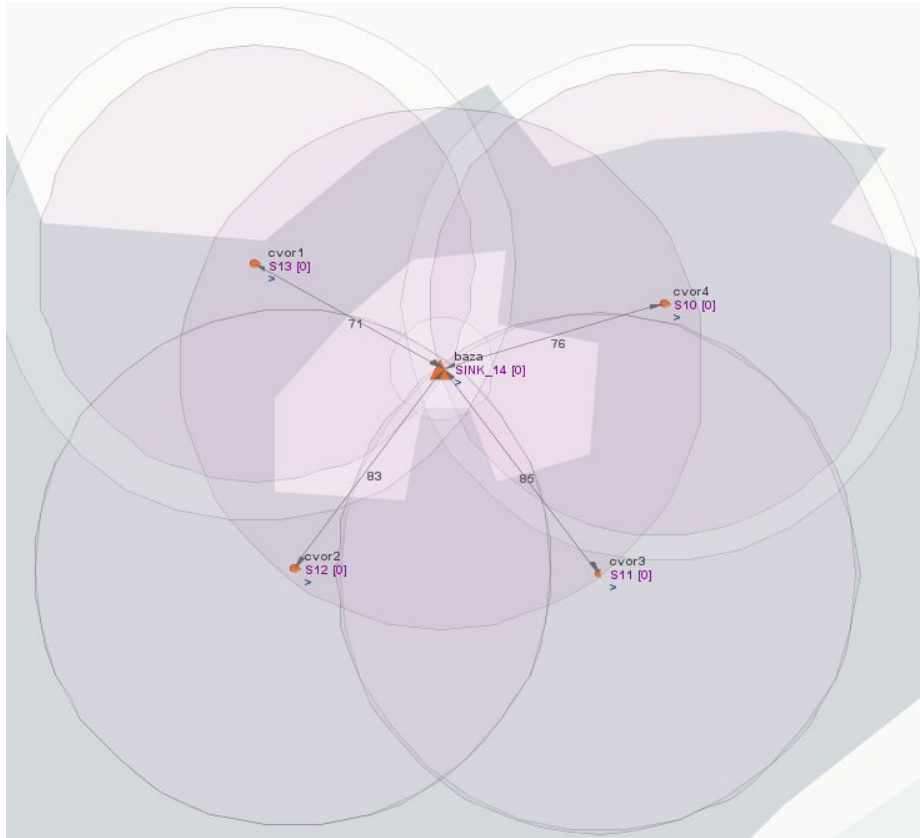
**SI.3.22.** Topologija primjera 3.a)

```

loop
send 1
delay 1000

```

**SI.3.23.** Parametri čvorova za primjer 3.a)

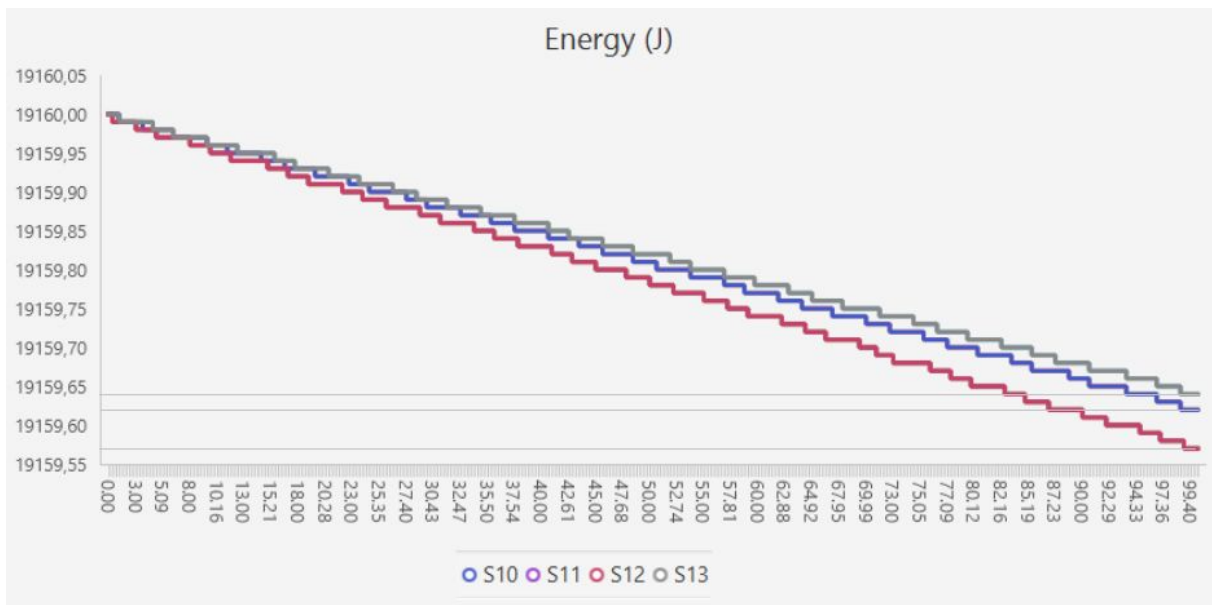


SI.3.24. Topologija primjera 3.b)

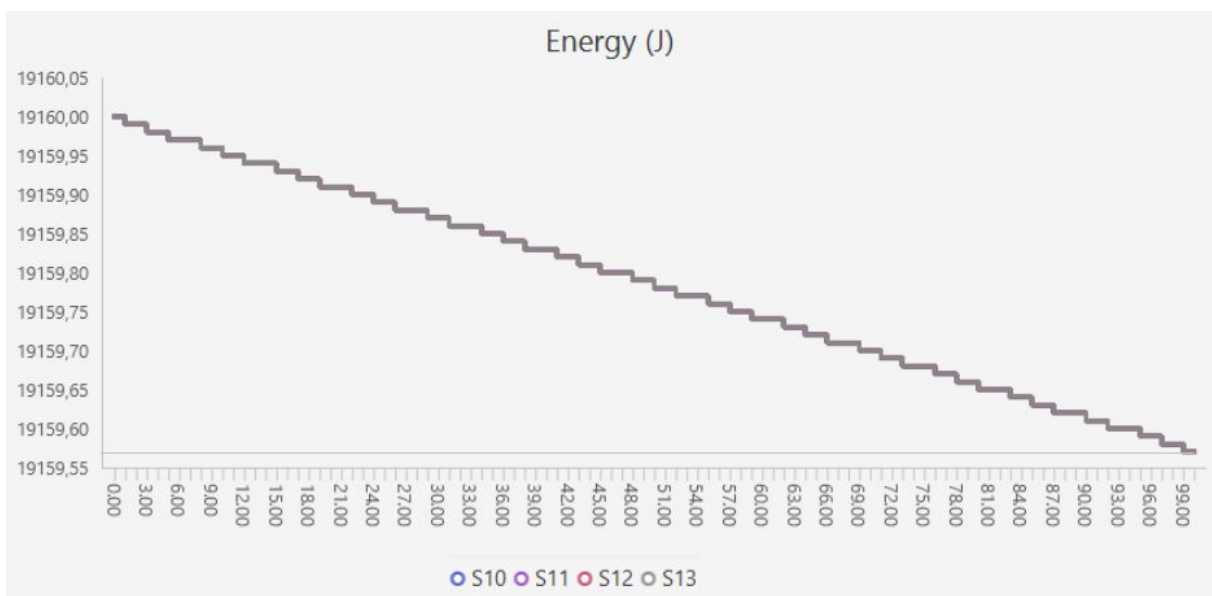
<u>S13-čvor1</u>	<u>S12-čvor2 i S11-čvor3</u>	<u>S10-čvor1</u>
loop	loop	loop
atpl 85	send 1	atpl 90
send 1	delay 1000	send 1
delay 1000		delay 1000

SI.3.25. Parametri čvorova za primjer 3.b)

Već se uspoređivanjem topologije vidi da su područja pokrivanja približno jednaka u oba primjera. Čvorovi šalju informaciju svake sekunde, a simulacija traje 100s u oba primjera.



SI.3.26. Razina energije nakon simulacije za primjer 3.a)



SI.3.27. Razina energije nakon simulacije za primjer 3.b)

Iz rezultata se može vidjeti da se potrošnja razlikuje prema različitoj energiji slanja i uspoređujući topologiju u kojoj nema velike razlike u pokrivenom području, može se zaključiti kako je primjer 3.b) optimalniji zbog manje potrošnje energije. U ovoj topologiji broj skokova nikad ne prelazi jedan jer su čvorovi direktno povezani sa bazom, ali to znači da moraju raditi na većim udaljenostima od baze nego što bi mogli u drugačijim topologijama. Što se tiče skalabilnosti, zbog svojeg dizajna to je najveće ograničenje ove topologije. Zbog toga je ova



topologija dobra za korištenje samo kada je broj čvorova mreže jako mali i područje koje treba biti pokriveno ne prelazi maksimalnu udaljenost na kojoj čvorovi mogu komunicirati.

## 4. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog rada bio je kroz primjere opisati i demonstrirati mogućnost optimizacije topologije bežične senzorske mreže za različite mrežne topologije. Nakon kraćeg opisa bežičnih senzorskih mreža, definirani su zahtjevi i kriteriji sa naglaskom na one koji utječu na potrošnju energije. Kratko su prikazani i dokazani neki čimbenici koji utječu na potrošnju mogući za simulaciju u korištenom simulatoru *CupCarbon*. Te se čimbenike koristilo u optimizaciji na konkretnim primjerima dvije različite topologije. Pri optimiziranju linijske topologije koristila su se dva različita načina prikupljanja informacija. Pri prikupljanju informacija periodično zaključilo se da se dodavanjem čvorova smanjuje potrošnja i čvorovi imaju više energije sa jednako slanja za razliku od manjeg broja čvorova zbog dominantnog utjecaja udaljenosti na potrošnju spram veličine podatka koja raste sa svakim čvorom. Ali kao što se vidjelo, to rješenje nije savršeno zbog neravnomjerne potrošnje energije između čvorova zbog čega mreža gubi efikasnost ako se dodaje previše čvorova unatoč smanjenju potrošnje. Kod drugog predstavljenog načina prikupljanja podatka, detekcija događaja, rezultat je drukčiji. Bolje je imati što manje čvorova zbog velike razlike u potrošnji i velike razlike između potrošnje krajnjeg i početnog čvora. Nakon toga se optimizirala i objasnila zvjezdasta topologija. Prikazana su njena ograničenja i jednostavnost. Zaključeno je da je ova topologija primorana koristiti *single-hop* slanje zbog čega ne može previše smanjiti potrošnju smanjenjem udaljenosti da ne bi izgubila zahtjev pokrivanja što većeg područja. Optimizacija topologije za potrošnju što manje energije je još uvijek veliki izazov mreža i ne postoji jedan pristup tome nego mnogi. Postoje razni načini i simulatori sa *CupCarbon*-om kao jednim od njih koji se prikazao kao jednostavan i pregledan za korištenje. Ovo područje se konstantno razvija i mijenja i u budućnosti se očekuje približavanje univerzalnom pristupu ovom problemu.

## LITERATURA

- [1] D.Culler, D.Estrin, M.Srivastava, *Overview of Sensor Networks*, Guest Editors' Instruction, IEEE Computer Society, August 2004.
- [2] V. Jindal, *History and Architecture of Wireless Sensor Networks for Ubiquitous Computing*, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology, Volume 7, Issue 2, February 2018.
- [3] H. Zhou, D. Luo, Y. Gao, D. Zuo, *Modeling of Node Energy Consumption for Wireless Sensor Networks*, Wireless Sensor Network, 2011, 3, 18-23
- [4] D. Sharma, S. Verma, K. Sharma, *Network Topologies in Wireless Sensor Networks: A Review*, IJECT, Vol.4, Issue Spl - 3, April - June 2013.
- [5] G. Kaur, R. M. Garg, *Energy Efficient Topologies For Wireless Sensor Networks*, International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS) Vol.3, No.5, September 2012
- [6] Dimitrije Nikolić, *Analiza rada bežičnih senzorskih mreža sa pregledom primene istih u pojedinim medicinskim rješenjima*, Master rad, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2016.

## SAŽETAK

U radu je prikazana optimizacija topologije bežične senzorske mreže simulirana u programu *CupCarbon*. Prikazani su faktori koji utječu na potrošnju i u konkretnim primjerima su se prilagođavali da kako bi se zadovoljili uvjeti mreže i smanjila potrošnja. Koristili su se linijska topologija sa dva načina prikupljanja podataka i zvjezdasta topologija. Rezultati su prikazani grafički i uspoređeni.

Ključne riječi: bežične senzorske mreže, *CupCarbon*, optimizacija topologije, potrošnja energije mreže

## **ABSTRACT**

### **Topology optimization of wireless sensor network used for tracking environmental parameters**

In this B.A. thesis, optimization is shown in *CupCarbon* simulator. Factors that affect energy consumption are displayed and in concrete examples are adjusted to satisfy network conditions and reduce consumption. Line topology with two different types of data collection are used along with star topology. Results are shown graphically and were being compared.

Key words: *CupCarbon*, network energy consumption, wireless sensor network, topology optimization.