Analiza mobline komunikacijske mreže na području gradske četvrti Meterize-Šibenik

Celić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:101235

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Luka Celić

ANALIZA MOBILNE KOMUNIKACIJSKE MREŽE NA PODRUČJU GRADSKE ČETVRTI METERIZE-ŠIBENIK

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 11. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Planiranje telekomunikacijskih mreža**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6132

Pristupnik: **Luka Celić (0135236133)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Analiza mobline komunikacijske mreže na području gradske četvrti Meterize-Šibenik**

Opis zadatka:

Analizirati pokrivenost radio signalom mobilnih mreža na području suburbane četvrti Meterize u gradu Šibeniku. Koristeći programsku podršku WiMAP simulirati različite scenarije organizacije mobilne mreže i utjecaj na pokrivenost radio signalom.

Mentor:

prof. dr. sc. Zvonko Kavran

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA MOBILNE KOMUNIKACIJSKE MREŽE NA PODRUČJU GRADSKE ČETVRTI METERIZE-ŠIBENIK

ANALYSIS OF MOBILE COMMUNICATION NETWORK IN METERIZE-ŠIBENIK MUNICIPALITY

Mentor: prof. dr. sc. Zvonko Kavran

Student: Luka Celić

JMBAG: 0135236133

Zagreb, rujan 2021.

ANALIZA MOBLINE KOMUNIKACIJSKE MREŽE NA PODRUČJU GRADSKE ČETVRTI METERIZE-ŠIBENIK

SAŽETAK

Svrha i cilj izrade diplomskog rada je provesti analizu mobilnih mreža (LTE/UMTS/GSM) na području suburbane četvrti Meterize u gradu Šibeniku koristeći programsku podršku WiMAP kako bi se utvrdila pokrivenost navedenog područja radio signalom. U istraživanju se simuliraju različiti scenariji organizacije mreže, pokrivenosti ćelija, lokacije baznih stanica,fiktivno proširivanje četvrti i dodavanja još jedne fiktivne bazne stanice

KLJUČNE RIJEČI: LTE/UMTS/GSM mreža; planiranje pokrivenosti; organizacija mreže; WiMAP

ANALYSIS OF THE MOBILE COMMUNICATION NETWORK IN THE AREA OF THE CITY DISTRICT METERIZE-ŠIBENIK

SUMMARY

The purpose and goal of this paper is to conduct an analysis of mobile networks (LTE/UMTS/GSM) in the suburban district of Meterize in the city of Šibenik using WiMAP software to determine the coverage of this area by radio signal. The research will simulate different scenarios of network organization, cell coverage, base station locations, fictitious neighborhood expansion and the addition of another fictitious base station.

KEY WORDS: LTE/UMTS/GSM network; coverage planning; network organization, WiMAP

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. ARHITEKTURA GSM MREŽE 3
   2.1. Mrežna komponenta GSM arhitekture 4
      2.1.1. Pristupni radijski podsustav BSS 4
      2.1.2. Jezgreni mrežni podsustav NSS 5
   2.3. Mobilna komponenta GSM arhitekture 7
   2.4. GSM upravljanje prekapčanjem 8
   2.5. GSM frekvencijski pojas 9
   2.6. GPRS 10
   2.7. EDGE 11
3. ARHITEKTURA UMTS MREŽE 12
   3.1. UTRAN radijsko sučelje 13
   3.2. UMTS upravljanje prekapčanjem 14
      3.2.1. Hard handover 15
      3.2.2. Soft handover 15
      3.2.3. Softer handover 16
   3.3. UMTS frekvencijski pojas 17
   3.4. HSDPA/HSUPA 18
4. ARHITEKTURA LTE MREŽE 19
   4.1. EPC arhitektura 20
      4.1.1. MME 20
      4.1.2. SGW 20
      4.1.3. PGW 21
      4.1.4. HSS 21
      4.1.5. PCRF/PCEF 21
   4.2. E-UTRAN radijsko sučelje 22
   4.3. LTE prekapčanje 23
      4.3.1. Soft handover CBB 23
      4.3.2. Hard handover BBC 23
   4.4. LTE frekvencijski pojas 24

5. PLANIRANJE GSM/UMTS/LTE MREŽE 25
5.1. Uvod u planiranje mreže na novom području 26
5.2. Odabir lokacije 26
5.3. Izračun visine antene 27
5.4. Izračun linka 28
5.5. Izračun nagiba antene 29
5.6. Planiranje transmisije 29
5.7. Planiranje frekvencija 29
6. PROBLEMI U PROCESU PLANIRANJA GSM/UMTS/LTE MREŽE 31
7. STUDIJA SLUČAJA: SIMULACIJA MOBILNE MREŽE PRIMJENOM WiMAP ALATA NA PODRUČJU GRADSKE ČETVRTI METERIZE-ŠIBENIK 34
7.1. Uvod u studiju slučaja 35
7.2. Priprema WiMAP 4G radnog okruženja 37
7.3. Definiranje građevinskih objekata 40
7.4. Lokacija i definiranje baznih stanica 41
7.4.1. LTE tehnologija 42
7.4.2. UMTS tehnologija 45
7.4.3. GSM tehnologija 46
7.5. Slučaj 1: Simulacija stanja pokrivenosti mobilnim mrežama u gradskoj četvrti Meterize-Šibenik 48
7.5.1. Simulacija LTE tehnologije 48
7.5.2. Simulacija UMTS tehnologije 50
7.5.3. Simulacija GSM tehnologije 52
7.6. Slučaj 2: Simulacija stanja pokrivenosti uz dodatne građevine i baznu stanicu 54
7.6.1. Definiranje nove bazne stanice 55
7.6.2. Simulacija LTE tehnologije 59
7.6.3. Simulacija UMTS tehnologije 61
7.6.4. Simulacija GSM tehnologije 63
8. ZAKLJUČAK 65
LITERATURA 66
POPIS ILUSTRACIJA 68

1. UVOD

Mobilni komunikacijski sustavi omogućili su mobilnost krajnjih korisnika i generalno unaprijeđenije telekomunikacijske industrije. Jedan od važnijih čimbenika unaprijeđenja je prateća standardizacija novih generacija mobilnih mreža, kompatibilnost i međunarodna transparentnost koji jednostavno nisu bili dostupni u telekomunikacijskoj industriji prethodnih analognih generacija. Ćelijske mreže omogućile su određene vrste komunikacija koje će se odvijati u masovnim razmjerima. Prilikom dizajniranja mreže glavni napredak je postignut u planiranju radijskog i transmisijskog dijela mreže, kao i u optimiziranju procesa i aktivnosti postojećih infrastruktura. Ovaj rad usmjeren je na analizu i proširenje postojeće mobilne komunikacijske mreže u gradskoj četvrti Meterize – Šibenik.

Rad se sastoji od 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Arhitektura GSM mreže
3. Arhitektura UMTS mreže
4. Arhitektura LTE mreže
5. Planiranje GSM/UMTS/LTE mreže
6. Problemi u procesu planiranja GSM/UMTS/LTE mreže
7. Studija slučaja: Simulacija mobilne mreže primjenom WiMAP alata na području gradske četvrti Meterize – Šibenik

U drugom poglavlju opisana je prva digitalna mreža kroz arhitekturu GSM mreže, konkretnije opisana je mrežna komponenta GSM-a, mobilna komponenta GSM-a, upravljanje prekapčanjem, GSM frekvencijski pojasevi, kao i GPRS i EDGE nadogradnje.

Treće poglavlje opisuje arhitekturu UMTS mreže, opisane su promjene u odnosu na GSM mrežu, kao i novo radijsko sučelje UTRAN. Također opisano je kako unutar UMTS mreže dolazi do sofisticiranijih načina prekapčanja i nove tehnike višestrukog pristupa mediju.

Četvrto poglavlje analizira LTE mrežu, odnosno nadogradnje na postojeće mreže i promjene koje su nastale u pristupnoj i jezgrenoj mreži. Unutar ovog poglavlja opisana je raspodjela EPC i E-UTRAN arhitekture. Također uz načine prekapčanja, prikazani su i LTE frekvencijski pojasevi korišteni u RH, od kojih je jedan i izabran u poglavlju broj 7 prilikom simulacija.

Peto poglavlje opisuje postupke i akcije koje se izvode prilikom procesa planiranja GSM/UMTS/LTE mreže. Opisani su način i čimbenici koji utječu na: odabir lokacije prilikom planiranja, izračun visine antene, izračun linka, izračun nagiba antene, planiranje transmisije i planiranje frekvencija.

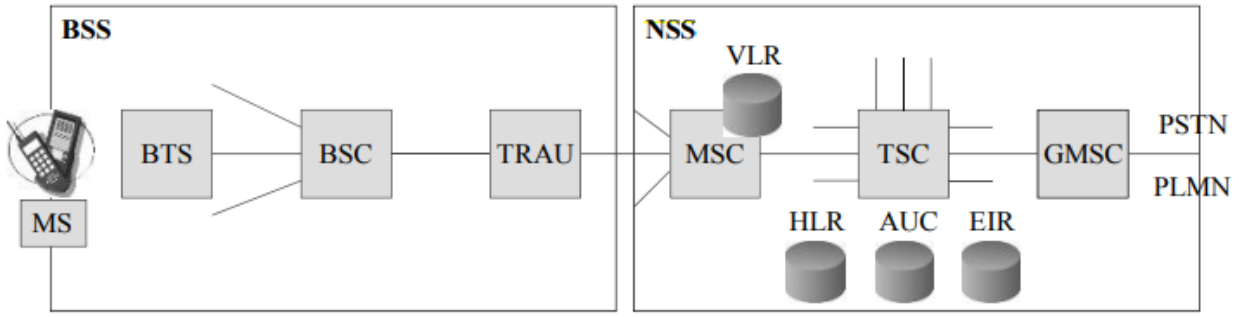
Šesto poglavlje prikazuje probleme s kojima se susreću inženjeri prilikom projektiranja novih mobilnih komunikacijskih mreža. Unutar poglavlja raspravlja se o problematici potencijalnog ukidanja starijih generacija mreža, njihovoj dugoročnoj održivosti, femtoćelijama, kontroli snage i interferenciji.

Sedmo poglavlje središnji je dio ovog rada. Sastoji se od analiziranja i simuliranja mobilne komunikacijske mreže na području gradske četvrti Meterize-Šibenik. Primjenom programske podrške WiMAP u dva slučaja je napravljena simulacija. Prvi slučaj pokušava prikazati realno stanje, dok drugi slučaj fiktivno proširuje četvrt kako bi se dodala nova lokacija bazne stanice i provela simulacija.

2. ARHITEKTURA GSM MREŽE

Na početku razvoja mobilnih ćelijskih komunikacijskih sustava razvijane su različite tehnologije bez regulacije i standardizacije, što je za rezultat imalo probleme s kompatibilnosti na različitim geografskim područjima. GSM (*eng. Global System for Mobile Communication*) predstavlja prvi skoro pa globalni standard koji je orijentiran na rješavanje problema s kompatibilnosti na svjetskoj razini. Treba napomenuti kako do ideje za razvojem ćelijskih sustava dolazi zbog potrebe za poboljšavanjem performansi usluga koje su pružale dotadašnje tehnologije, kao i zbog potrebe za racionalnijim iskorištavanjem frekvencijskog opsega i reguliranja područja pokrivenosti radio signalom. Druga generacija mreže odnosno GSM također uvodi promjenu s analognog sustava na digitalni koji omogućuje usluge prijenosa govora i podataka.

Slika 1 prikazuje kako se arhitektura GSM mreže u pravilu sastoji od 2 dijela. Mrežne i mobilne komponente, s tim da se mrežna komponenta dijeli na dva podsustava od kojih je jedan BSS (*eng. Base station sub-system*) koji predstavlja pristupnu radijsku mrežu, te drugi NSS podsustav (*eng. Network sub-system*) odnosno jezgrena mrežna komponenta. Dok mobilna komponenta predstavlja mobilni terminalni uređaj. [1]



Slika 1. GSM arhitektura [1]

Važno je napomenuti kako različite vrste mobilnih terminalnih uređaja mogu pristupiti GSM mreži koristeći tada novi način višestrukog pristupa po vremenskoj raspodjeli naziva TDMA (*eng. Time Division Multiple Access*). Određeni frekvencijski spektar koji je dodijeljen GSM mreži dijeli se na pojedinačne kanale, koji se opet dijele na određen broj vremenskih raspona što je rezultiralo s tim da se preko jednog kanala može poslužiti 8 korisnika. Prve verzije GSM mreže temelje se na komutaciji kanala slično kao i kod PSTN (*eng. Public Switched Telephone Network*) što će kasnije rezultirati određenim problemima prilikom rezervacije kanala za vrijeme komunikacije iako se sam kanal ne koristi cijelo vrijeme.

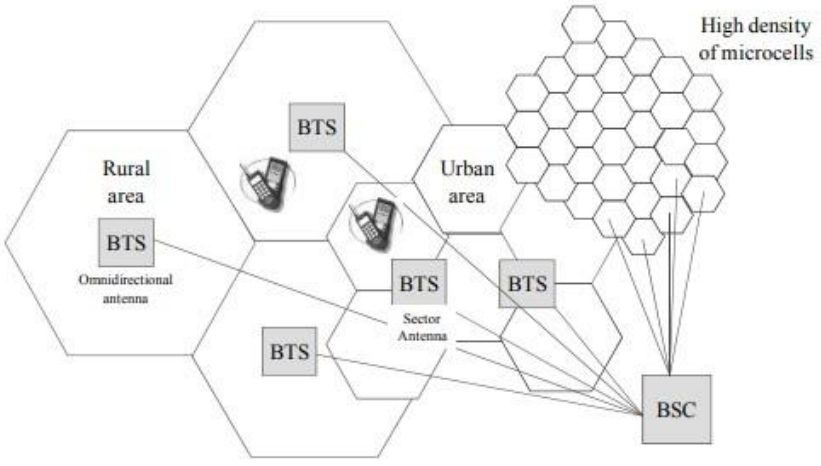
2.1. Mrežna komponenta GSM arhitekture

Kao što je prethodno navedeno mrežna komponenta arhitekture se sastoji od dva dijela. Prvi dio mrežne komponente tj. BSS podsustav ima zadatke upravljanja radio resursima i osiguravanja prijenosa radio signala između mobilne stanice i jezgrene mreže što rezultira omogućavanjem pokretljivosti korisnika s mobilnom stanicom. BSS podsustav se sastoji od BTS (*eng. Base Transceiver Station*) , BSC (*eng. Base Station Controller*) i TRAU (*eng. Transcoder/Rate Adaptor*).

Drugi dio mrežne komponente je NSS koji predstavlja jezgreni dio i koristi se za uspostavljanje komunikacije, obradu poziva i omogućavanje prekapčanja (*eng. Handover*). Glavni djelovi ovog podsustava su MSC (*eng. Moblie Switching Center*), GMSC (*eng. Gateway MSC*), TSC (*eng. Tandem Switching Center*) i baze podataka HLR (*eng. Home Location Register*), VLR (*eng. Visitor Location Register*), AuC (*eng. Authentication Center*), SMSC (*eng. Short Messaging Service Center*) i EIR (*eng. Equipment Identity Register*). Svi navedeni dijelovi bit će objašnjeni u nastavku. [1]

2.1.1. Pristupni radijski podsustav BSS

BTS predstavlja jedan od najvažnijih dijelova GSM mobilne mreže. Prema GSM specifikacijama predstavlja transmisijski put između BTS i mobilnog uređaja. To je u teoriji skup odašiljača i prijemnika koji su zaduženi za radio prijenos s mobilnim terminalnim uređajima uz korištenje GMSK (*eng. Gaussian Minimum Shift Keying*) modulacije s vremenskom i frekvencijskom podjelom.



Slika 2. Arhitektura radijskog podsustava [1]

Na slici 2 se može vidjeti kako BTS u pravilu kontrolira više mikro ćelija ili jednu makro ćeliju dometa čak do 30 km. Ovisno o elevacijskom modelu terena i gustoći naseljenosti područja na kojem je BTS postavljen. U urbanom području sa GSM prometom visoke gustoće BTS se obično koristi na različitim kanalima koji su emitirani sa sektorskih usmjerenih antena.

BSC kontrolira određeni skup BTS-ova u smislu da upravlja raspodjelom radio resursa kao što su frekvencijski pojas i vremenski interval koji je dodijeljen pojedinom korisniku. Također koristi radio mjerenja koja su provedena od strane BTS-a u intervalima od 1 do 2 sekunde kako bi se kontrolirala snaga koju emitira korisnički mobilni terminalni uređaj, što rezultira odlukom hoće li se izvršiti prekapčanje između različitih BTS-ova dok je korisnik u pokretu.

TRAU predstavlja sustav koji se bavi transkodiranjem govora odnosno kompresijom i dekompresijom glasovnih podataka. Generalno je postavljen u neposrednoj blizini MSC-a, iako se funkcionalno vodi kao dio BSS-a. Koristi se primarno za pretvorbu formata G.711 sa 64 kbps u format koji se koristi u radijskom dijelu mreže. Tijekom poziva MSC šalje 64 kbps PCM signal prema radijskog mreži gjde ga TRAU komprimira na 12.2 kbps, dok u odlaznom smjeru TRAU ponovno konvertira signal u 64 kbps. [1]

2.1.2. Jezgreni mrežni podsustav NSS

Jezgreni dio mrežne komponente primarno je zadužen za komutaciju i upravljanje komunikacijom između korisnika. Također sadrži baze podataka sa podacima o svim pretplatnicima GSM mreže koji imaju pravo pristupa mreži.

MSC je glavni dio jezgrene mobilne telekomunikacijske mreže i primarno provodi procese komutacije tj. aktivnosti vezane za uspostavu i održavanje komunikacije između korisnika. Također prenosi SMS tekstualne poruke i izvršava prekapčanje kad je to potrebno. Direktno je povezan sa HLR bazom podataka za informiranje o SIM-u (*eng. Subscriber Identity Module*) kao i sa drugim MSC-ovima na različitim područjima. Sastoji se od MSC servera i MSC Gateway-a.

MSC server zasnovan je na standardima i komunicisa s drugim elementima koristeći otvorene standarde kao što je GCP (*eng. Gateway Control Protocol*), H.248 protokol, SIP (*eng. Session Initiation Protocol*), M2UA i M3UA. MSC također podržava regulatorno okruženje koje postavljaju upravna tijela, kao i definiranje brojeva za hitnoću, prenosivost brojeva i zahtjeve za udruživanjem brojeva.

GMSC je posebna vrsta MSC-a, što zapravo predstavlja sučelje prema drugim mrežama kao što je PSTN (*eng. Public Switched Telephone Network*) ili s nekom drugom PLMN (*eng. Public Land Mobile Network*) mrežom. Svaki NSS unutar GSM-a u pravilu ima GMSC kao izlaz prema drugim mrežama.

TSC ima zadatak uvođenja hijerarhije u uspostavljanju 64 kbps kanala u svrhu optimizacije broja veza s MSC-ovima.

HLR je glavna baza podataka koja trajno sprema sve informacije o mrežnom pretplatniku kao što su detalji o naplati, identitet pretplatnika, trenutni status u mreži i sl. U GSM-u, a i u naprednijim generacijama mobilnih mreža HLR je referentna baza podataka za sve pretplatničke parametre. Svaki korisnik ima IMSI (*eng. International Moblie Subscriber* Identity) koji je pohranjen na SIM kartici. Podaci koje sadrži dostupni su na daljinu svim MSC-ima i VLR-ovima u mreži, iako mreža može sadržavati više od jednog HLR-a, postoji samo jedan zapis unutar baze podataka po pretplatniku što rezultira tim da svaki HLR obrađuje dio ukupne baze podataka pretplatnika.

VLR predstavlja privremenu bazu podataka koja sprema privremene informacije o pretplatniku koji se poslužuje određenim MSC-om. Sadržava informacije o trenutnoj lokaciji pretplatnika, statusu pretplatničkog mobilnog uređaja i tarife. VLR zapravo sadrži kopiju većine podataka pohranjenih u HLR-u, međutim podaci postoje samo dok je pretplatnik “aktivan” u određenom području pokrivenom VLR-om. Zbog toga nerijetko VLR baza podataka može sadržavati dvostruke podatke. Primarna funkcija VLR-a je zapravo eliminacija potrebe za pretjeranim i dugotrajnim referenciranjem na HLR bazu podataka.

AuC je baza podataka koja dodjeljuje i pamti tajni ključ IKS (*eng. Individual Key per Subscriber*) koji je kopija ključa koji se nalazi na SIM kartici pretplatnika. IKS se također koristi i za druge radnje unutar mobilne mreže kao što je identifikacija pretplatnika prilikom uspostavljanja poziva. Uz sve navedeno može se reći da se AuC koristi za autorizaciju korisnika i kriptiranje komunikacije svakog pretplatnika. Općenito je povezan s HLR-om i često integriran unutar njega kao jedna cijelina.

EIR predstavlja bazu podataka koja sadrži IMEI (*eng. International Mobile Equipment Identity*) terminalnog uređaja. Prilikom uspostave poziva od strane korisnika, njegov terminalni uređaj prolazi kontrolu EIR-a. U pravilu EIR sadrži tzv. “crne liste” na kojima se nalaze uređaji kojima nije dozvoljen pristup uslugama mreže.

2.3. Mobilna komponenta GSM arhitekture

Mobilna stanica je dio opreme GSM mreže koju korisnik koristi za uspostavljanje veza bilo to za prijenos govora ili podataka. To je zapravo krajnji uređaj u telekomunikacijskoj mreži unutar kojeg se vrši pretvorba različitih vrsta informacija u električne signale i obrnuto. U pravilu sadrži mobilnu terminalnu opremu i SIM karticu. Svaki dio terminalne opreme jedinstveno je identificiran IMEI brojem koji predstavlja međunarodni identitet hardvera koji dodjeljuje proizvođač.

Za razliku od IMEI broja SIM kartica identificira korisnika terminalnog uređaja i koristi se prilikom uspostavljanja komunikacije. SIM kartica je prenosiva i kao takva može se koristiti u bilo kojem terminalnom uređaju namijenjenom GSM mreži. Sadržava IMSI broj koji identificira pretplatnika i isključivo je prepoznat unutar mobilne mreže. Treba napomenuti kako SIM kartica sadržava dodatni memorijski prostor na koji se mogu spremati informacije kao što su brojevi ostalih SIM kartica i jedinstveno je zaštićena PIN (*eng. Personal Identification* Number) brojem.

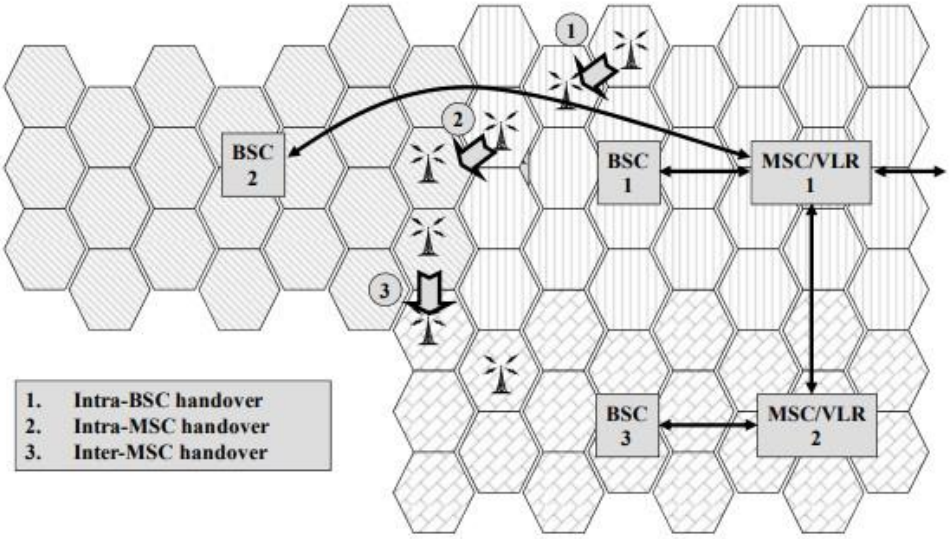
Prema [10] općenita klasifikacija i razlikovanje se može odrediti prema:

- Namjeni,
- Smjeru prijenosa,
- Načinu rada,
- Povezanosti glavnih dijelova,
- Napajanju,
- Izvedbi,
- Primjeni,
- Mreži koju koriste i
- Prometu u kojem se koriste

2.4. GSM upravljanje prekapčanjem

Proces odabira odgovarajuće ćelije koju će koristiti mobilni terminalni uređaj zapravo podrazumijeva odabir ćelije s najboljom radio vezom. Treba napomenuti kako do handover-a dolazi isključivo putem mrežnog dijela GSM-a, dok korisnikov jedini utjecaj na događaj handovera je udaljavanje od jedne bazne stanice prema drugoj s najboljim radio signalom. Cijeli proces handover-a se kontrolira od strane BSC-a i MSC-a.

Do handovera dolazi kada na određenoj baznoj stanici provedena mjerenja pokazuju slabu razinu ili kvalitetu signala primljenog na mobilnom uređaju. Također je moguće da, radi uravnoteženja prometa, mreža odluči prenijeti određene komunikacije u susjedne ćelije. Treba napomenuti kada je primljena slaba razina kvalitete signala na području s visokom razinom signala, pogoršanje će biti povezano s interferencijom, a ne s udaljenosti te će mreža vrlo vjerojatno donijeti odluku o prijenosu komunikacija na drugi kanal iste bazne stanice.[1]



Slika 3. Vrste GSM handover-a [1]

Kao što je prikazano na slici 3 postoji više vrsta handover procedure s gledišta mreže:

- (1) Intra-BSC Handover - handover između trenutne ćelije i nove ćelije koja su pod istim BSC-om
- (2) Intra-MSC Handover – handover između trenutne ćelije i nove ćelije koje su poslužene istim MSC-om, ali su pod kontrolom različitih BSC-ova
- (3) Inter-MSC Handover – handover između trenutne ćelije i nove ćelije koje su pod kontrolom različitih BSC-ova i različitih MSC-ova

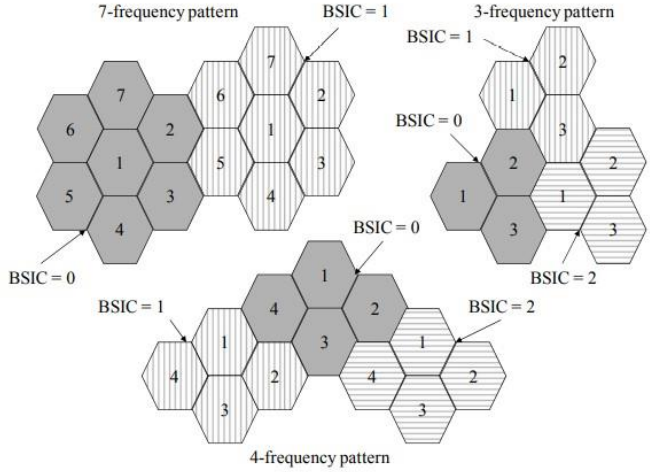
2.5. GSM frekvencijski pojas

Kao što je vidljivo unutar tablice 1 GSM je podijeljen na različite podtehnologije ovisno o frekvencijskom području. Razmak između kanala unutar GSM mreže iznosi 200 kHz i za svaku GSM podtehnologiju odobrava određeni broj kanala: 35 za GSM 450, 34 za GSM 480, 124 za GSM 850, 174 za GSM 900, 374 za DCS 1800 i 299 za PCS 1900.

GSM Sustav	Frekvencijski opseg	
	MS -> BTS	BTS -> MS
GSM 450	450.4 – 457.6 MHz	460.4 – 467.6 MHz
GSM 480	478.8 – 486 MHz	488.8 – 496 MHz
GSM 850	824 – 849 MHz	869 – 894 MHz
Standard GSM 900	890 – 915 MHz	935 – 960 MHz
Extended GSM 900	880 – 915 MHz	925 – 960 MHz
GSM 900 (railway)	876 – 880 MHz	921 – 925 MHz
DCS 1800	1710 – 1785 MHz	1805 – 1880 MHz
PCS 1900	1850 – 1910 MHz	1930 – 1990 MHz

Tablica 1. Frekvencijski plan GSM mreže

Ćelija koju pokriva određena bazna stanica je u teoriji predstavljena šestorokutnom strukturom. Udaljenost koja razdvaja dvije bazne stanice, mora biti dovoljno velika kako bi se ponovno mogla koristiti ista frekvencija.



Slika 4. Reupotreba frekvencije [1]

Kako bi korisnički mobilni uređaj razlikovao BTS-ove emitira se BSIC (*eng. Base Station Identity Code*) unutar BCCH (*eng. Broadcast Control Channel*) kanala.

2.6. GPRS

GSM mreža je dizajnirana tako da se prijenos podataka vrši putem komutacije kanala što za posljedicu ima neoptimalno korištenje mrežnih resursa. Činjenica je da prilikom prijenosa podataka putem mobilne mreže kanal ne mora nužno biti zauzet cijelo vrijeme. Kao odgovor na taj problem GPRS (*eng. General Packet Radio Service*) nadogradnja na GSM mrežu omogućuje stjecanje kapaciteta radio kanala samo onda kada postoje podaci za prijenos što za posljedicu ima optimizaciju radio resursa. U optimalnim uvjetima propagacije GPRS se koristi za postizanje maksimalnih brzina do 171,2 kbps.

GPRS nadogradnja ima četiri klase (CS1, CS2, CS3 i CS4). Svaka klasa odgovara drugom CCU-u (*eng. Channel Codec Unit*) koji je implementiran unutar BTS-a. GPRS nadogradnja također omogućuje operatoru da upravlja prometom prilikom situacija zagušenja unutar mreže na način da "najmanje" hitan promet preusmjeri.

Uvođenje GPRS-a u pravilu ne predstavlja veliku nadogradnju na postojeću GSM infrastrukturu. Utjecaj GPRS-a se u osnovi odnosi na dodavanje novih entiteta unutar GSM mreže:

- SGSN (*eng. Service GPRS Support Node*) čija je svrha usmjeravanje paketa
- GGSN (*eng. Gateway GPRS Support Node*) koji osigurava raspodjelu radio resursa prema mobilnom korisniku i ujedno predstavlja sučelje sa SGSN-om

Upravljanje korisničkom lokacijom je isto kao i kod GSM mreže, odnosno osigurano je putem HLR/VLR-a. Međusobna veza između BSS-a i SGSN-a osigurava se okvirnim relejem podatkovne mreže nudeći maksimalnu brzinu od 2 Mbps. Dok međupovezanost između SGSN i GGSN pruža IP podatkovna mreža.

Naime, kada korisnik započne GPRS sesiju, u svom zahtjevu navodi APN (*eng. Access Point Name*) odnosno adresu pristupne točke u vanjskoj mreži. SGSN postavlja upit DNS-u (*eng. Domain Name Service*) kako bi mogao odrediti IP adresu dotičnog GGSN-a.

IP adresu korisnika dodjeljuje DHCP (*eng. Dynamic Host Configuration Protocol*) poslužitelj. U slučaju dodjele adresa u transparetni način rada, IP adresom upravlja operator GPRS mreže, dok u slučaju dodjele adresa u netransparetnom načinu IP adresa je upravljanja vanjskim poslužiteljem.

Treba napomenuti kako je GPRS nadogradnja temeljna tehnologija na kojoj su razvijane sljedeće generacije tehnologija za podatkovnu komunikaciju, odnosno pristup Internetu.

2.7. EDGE

EDGE (*eng. Enhanced Data rates for the GSM Evolution*) predstavlja nadogradnju na GPRS/GSM tehnologiju. Primarni cilj EDGE nadogradnje je povećati brzinu na radijskom sučelju između bazne stanice i korisnika očuvanjem iste širine radio kanala kao do sad (200 kHz). U pravilu ova nadogradnja predstavlja promjenu modulacijske tehnike unutar GSM mreže.

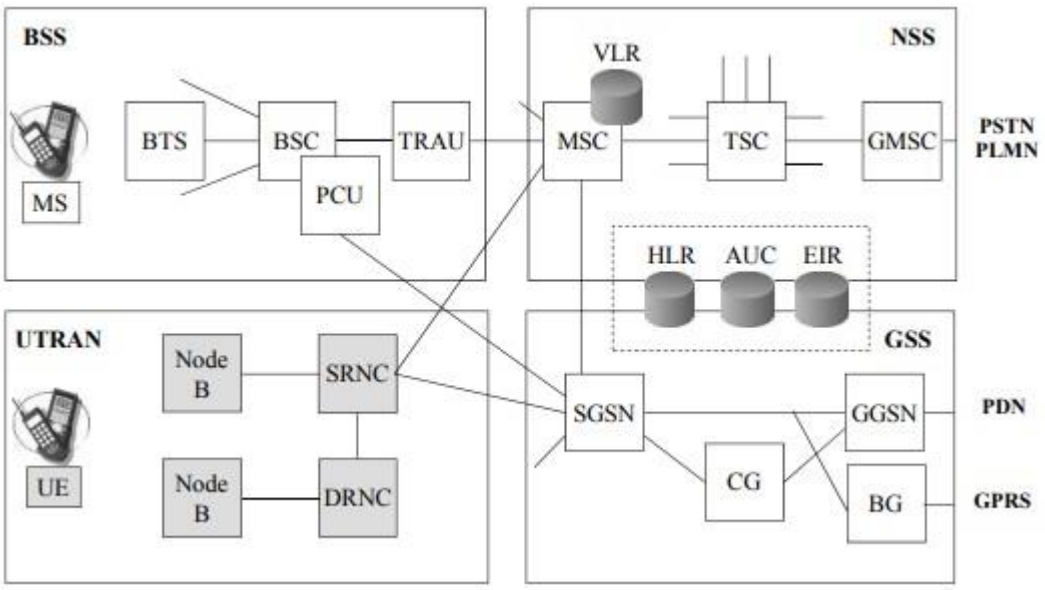
Do sad korištena GPSK modulacija zamijenjena je 8-PSK (*eng. Phase Shift Keying*) modulacijom što rezultira većom propusnošću u iznosu do 236 kbps. EDGE nadogradnja rezultira tim da se može prenijeti četiri puta više prometa u odnosu na GPRS/GSM tehnologiju.

EDGE udovoljava zahtjevima Međunarodne telekomunikacijske unije za 3G mrežu, a ITU ga je prihvatio kao dio obitelji 3G standarda IMT-2000**.** [1]

3. ARHITEKTURA UMTS MREŽE

U ovom poglavlju će se objasniti usluge i način funkcioniranja treće generacije mobilnih mreža pod nazivom UMTS *(eng. Universal Mobile Telecommunications System)*, koji za primarne usluge podrazumijeva telefonsku uslugu i uslugu prijenosa podataka. Navedene usluge se provode u načinu rada pomoću komutacije kanala i komutacije paketa. Treba napomenuti kako se način rada pomoću komutacije paketa u početku isključivo koristi za prijenos podataka. Za razliku od prethodne generacije GSM mreže, kod UMTS-a najviše pažnje je posvećeno većim brzinama prijenosa podataka i pristupa Internetu.

Kako bi se osigurala velika brzina prijenosa podataka u odnosu na GSM mrežu počinje se koristiti novija tehnologija višestrukog pristupa pod nazivom WCDMA *(eng. Wideband Code Division Mulitple Access)*. U pravilu ova tehnologija radi na način da svi korisnici za pristup baznoj postaji koriste istu frekvenciju uz QPSK *(eng. Quadrature Phase Shift Keying)* modulaciju, međutim signal svakog korisnika je proširen različitim kodom pomoću kojeg se mogu razlikovati. [1] [2]



Slika 5. UMTS arhitektura [1]

S obzirom kako se koristi WCDMA tehnologija pristupa dolazi do fenomena pod nazivom “disanje ćelija”. Naime što je više korisnika na određenoj lokaciji koju pokriva UMTS bazna stanica, dolazi i do veće interferencije između krajnjih uređaja što za posljedicu ima manji radijus pokrivanja bazne stanice. Tako da ovisno o broju korisnika na određenom području ćelija može biti manja ili veća.

Na slici 5 se može vidjeti kako UMTS mreža ima sličnu arhitekturu kao i GSM. NSS odnosno jezgrena mreža se dijeli između obje generacije mreža za usluge orijentirane na komutaciju kanala dok se GSS jezgra *(eng. GPRS Sub-System)* dijeli s GPRS i UMTS mrežom za usluge orijentirane na tehnologiju komutacije paketa. Zapravo najveća promjena UMTS-a u odnosu na GSM leži u radijskoj pristupnoj mreži UTRAN *(eng. UMTS Transport Network)*. UTRAN se sastoji od slične topologije kao i BSS sustav kod GSM i GPRS mreže i detaljnije će biti objašnjen u nastavku.

3.1. UTRAN radijsko sučelje

Cjelokupni sustav radijske pristupne mreže zapravo je vrlo sličan kao i kod GSM-a. Mrežni elementi BTS i BSC kod UTRAN mreže su nazvani Node-B i RNC *(eng. Radio Network Controller)*, također korisnička mobilna pristupna točka je nazvana UE *(eng. User Equipment)*. RNC omogućuje funkcije slične onima BSC-a kod GSM/GPRS mreže, odnosno upravlja radio resursima na određenom području koje kontrolira i povezuje baznu stanicu s MSC-om i SGSN-om *(eng. Service GPRS Support Node)* kao što je vidljivo na slici 5. [2]

RNC predstavlja sustav koji pruža upravljačke funkcije za jednu ili više baznih stanica (NodeB). NodeB i RNC u nekim arhitekturama dolaze kao jedna cjelina iako su više uobičajene implementacije koje imaju posebni RNC. Među RNC-om i NodeB postoji logičko sučelje poznato Iub. Određene RNC stanice i NodeB pod njihovom kontrolom se nazivaju RNS *(eng. Radio Network Subsystem)*. Naravno unutar UTRAN mreže može biti prisutno više od jednog RNS-a.

NodeB obavlja funkcije slične onima koje BTS obavlja kod GSM mreže tj. osigurava radijsku vezu s korisničkom opremom te je povezuje s RNC-om. Veza između mobilne i jezgrene mreže može se ostvariti korištenjem dva RNC-a, od kojih svaki ima specifičnu ulogu prilikom komunikacije. Kao što se može vidjeti na slici 5 SRNC *(eng. Serving RNC)* omogućava konekciju s jezgrenom mrežom koristeći signalne protokole i alokaciju radio resursa. Dok DRNC *(eng. Drift RNC)* prema potrebi vrši “posudbu” radio resursa.

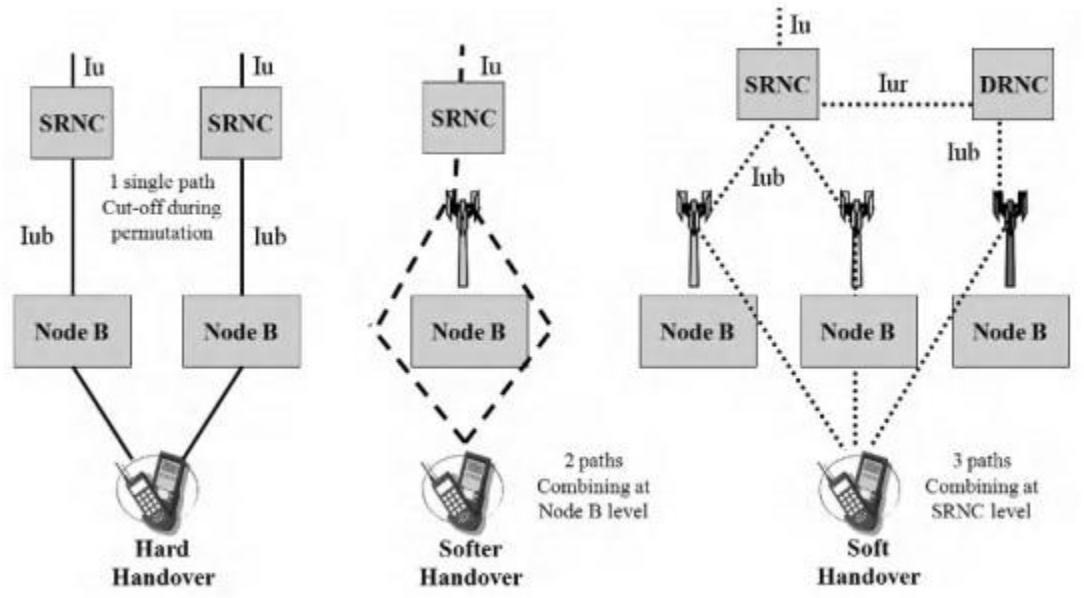
Postoje četiri sučelja koja povezuju UTRAN mrežu interno ili eksterno s drugim funkcionalnim entitetima: Iu, Uu, Iub i Iur. Sučelje Iu predstavlja vanjsko sučelje koje povezuje RNC s jezgrom mreže. Uu je također vanjsko sučelje koje povezuje NodeB s krajnjom korisničkom opremom (UE). Iub predstavlja unutarnje sučelje koje povezuje RNC s NodeB. I na kraju Iur sučelje koje je većinom unutarnje sučelje, ali u nekim slučajevima može biti i vanjsko sučelje koje međusobno povezuje dva RNC-a. [2]

3.2. UMTS upravljanje prekapčanjem

Jedan od ključnih aspekata bilo kojeg mobilnog telekomunikacijskog sustava pa tako i UMTS mreže je primopredaja komunikacije s jedne ćelije na drugu. Unutar treće generacije mobilnih mreža postoji nekoliko oblika prekapčanja:

- (1) Hard handover
- (2) Softer handover
- (3) Soft handover

Također treba napomenuti kako postoji prekapčanje iz jednog sustava pristupa u drugi, odnosno iz UMTS u GSM ili iz UMTS u LTE i naziva se inter-RAT handover.



Slika 6. UMTS handover [1]

Pojavom (W)CDMA tehnologije otvaraju se nove mogućnosti za postizanje pouzdanijih oblika prekapčanja. Kao rezultat toga dostupan je jedan od niza različitih mogućnosti prekapčanja, ovisno o različitim okolnostima kao što je prikazano na slici 6. U nastavku će pojedinačno biti objašnjen svaki od navedenih vrsta prekapčanja.

3.2.1. Hard handover

Naziv hard ukazuje na to da je došlo do “tvrde” promjene tijekom procesa prekapčanja. Konkretnije zbog teške primopredaje s jedne bazne stanice na drugu baznu stanicu radijske veze se prekidaju na jednoj, a zatim se ponovo uspostavljaju na drugoj baznoj stanici. Ovaj postupak uvijek ostavlja mogućnost da krajnji korisnik primijeti kratki prekid veze. [1] [3]

Osnovna metodologija koja stoji iza hard načina prekapčanja relativno je jednostavna i opisana je narednim fazama:

- Mreža odlučuje ovisno o jačini signala postojeće veze i jačini emitiranih kanala susjednih ćelija da li je prekapčanje potrebno
- Veza između postojećeg NodeB i UE je prekinuta
- Uspostavlja se nova veza između novog NodeB i UE

Iako navedene faze prikazuju pojednostavljen prikaz procesa, u osnovi se upravo to događa. Glavni problem je što će sve poteškoće u ponovnom uspostavljanju veze uzrokavotai neuspjelu primopredaju i prekid komunikacije.

3.2.2. Soft handover

Soft odnosno mekano prekapčanje oblik je primopredaje komunikacije koji je omogućen uvođenjem CDMA tehnologije. Naime do meke primopredaje dolazi kada se UE nalazi u preklapajućem području pokrivenosti dviju ćelija. Veze s dvije bazne stanice mogu se uspostaviti istovremeno i na taj način UE može komunicirati s dvije bazne stanice (Slika 6). Budući da je tijekom procesa primopredaje aktivno više od jedne veze, to pruža pouzdaniji i učinkovitiji način izvođenja prekapčanja.

S obzirom da soft prekapčanje koristi nekoliko istovremenih veza, to znači da susjedne ćelije moraju raditi na istoj frekvenciji ili kanalu jer UE nemaju više odašiljača i prijamnika koji bi bili potrebno postavljeni na različitim frekvencijama.

U uzlaznoj vezi situacija je složenija nego u silaznoj jer se kombiniranje signala ne može postići u NodeB s obzirom da je uključeno više od jednog NodeB. Umjesto toga, kombiniranje se postiže okvir po okvir, te se najbolji okviri biraju nakon svakog perioda isprepletenja. Odabir se postiže korištenjem algoritma za kontrolu vanjske snage koji mjeri omjer signala i šuma primljenih ulaznih signala. [1] [3]

3.2.3. Softer handover

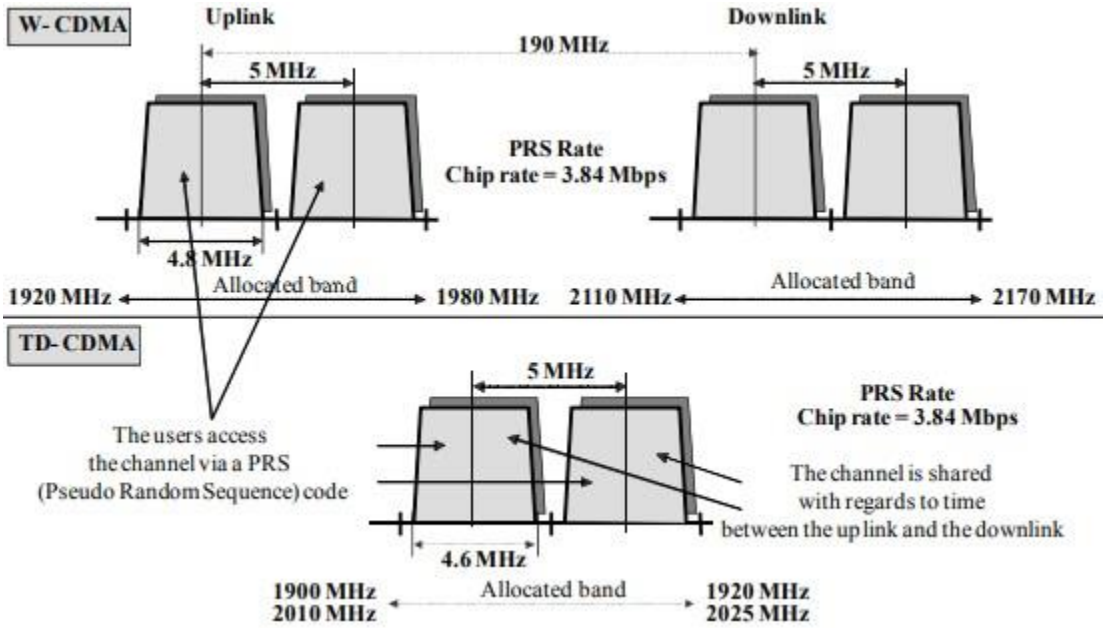
Softer odnosno mekši oblik primopredaje zapravo je malo posebniji oblik soft prekapčanja. Predstavlja oblik prekapčanja koje se događa kada se dodaju nove radio veze s istog NodeB. U pravilu ovaj način se događa kada UE dobiva signal iz dva različita sektora poslužena istim NodeB. Što se često događa kao rezultat preklapanja sektora , kao rezultat višestazne propagacije ili refleksije signala. [1] [3]

3.3. UMTS frekvencijski pojas

Unutar treće generacije mobilne mreža CDMA sustav posjeduje dva načina rada:

- FDD (*eng. Frequency Duplex Division*) način – koji radi na principu korištenja dva pojasa veličine 5 MHz, od kojih se jedan koristi za uzlaznu vezu, a drugi za silaznu
- TDD (*eng. Time Duplex Division*) način – koristi jedinstven pojas za komunikaciju u oba smjera, dijeljenjem vremena komunikacije za svaku vezu posebno.

U GSM mreži planiranje se sastoji od dodjeljivanja frekvencijskog pojasa svakoj ćeliji iz uzorka ponovne upotrebe frekvencije. Jedna ćelija može može koristiti nekoliko frekvencija u slučaju visoke količine prometa. Za razliku od GSM-a, UMTS u svakoj ćeliji koristi istu frekvenciju, ali razdjeljuje korisnike pseudo nasumičnim kodom kao što je prikazano na slici 7. [3]



Slika 7. UMTS frekvencijski plan [1]

Također treba napomenuti kako unutar UMTS mreže mora postojati kontrola snage odašiljanja UE s obzirom da se koristi CDMA sustav. Bez ove funkcije UE bi mogao prenositi razinu snage toliko jaku da spriječi sve ostale korisnike u komunikaciji s baznom stanicom. U nedostatku kontrole snage, amplituda mobilnog signala koji se prima na baznoj stanici od strane UE udaljenog primjerice sto metara, mnogo je manja od amplitude signala koji se nalazi na udaljenosti od deset metara. [1]

3.4. HSDPA/HSUPA

Razvoj HSDPA (*eng. High Speed Downlink Packet Access*) i HSUPA (*eng. High Speed Uplink Packet Access*) zapravo predstavlja nadogradnju na postojeću UMTS mrežu. Cilj ovog unaprijeđenja je povećavanje brzine u silaznom, odnosno uzlaznom kanalu. Navedeno unaprijeđenje odvijalo se pod nekoliko “Release” dokumenata od strane 3GPP organizacije.

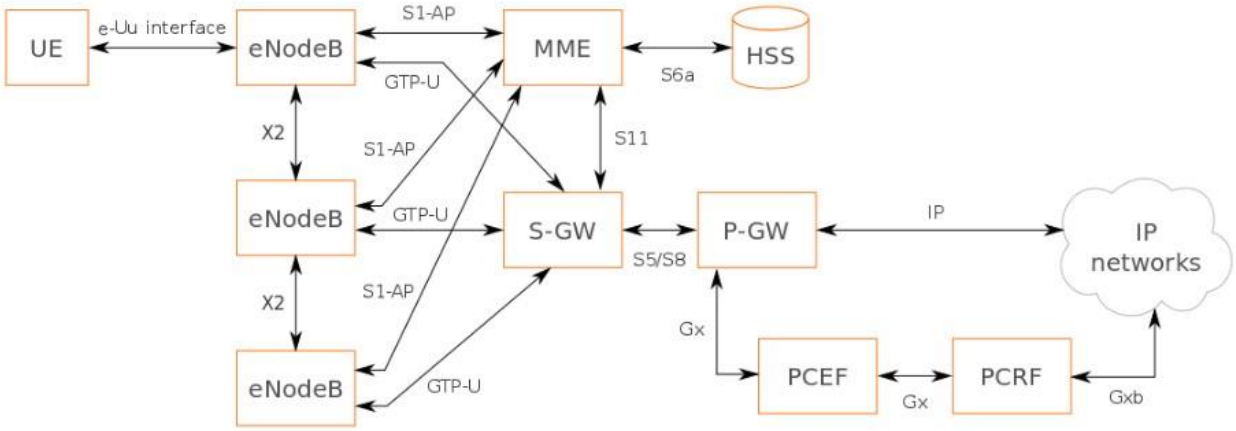
Prilagodba uvjetima radijskog prijenosa u silaznoj vezi provodi se odabirom odgovarajućih kombinacija kodova, stope kodiranja i korištenja QPSK ili 16-QAM (*eng. Quadrature Amplitude Modulation*) modulacije čime se postiže povećanje brzine s regularnih 384 kbit/s na nekoliko megabita po sekundi uz napomenu ukoliko se UE nalazi u blizini UMTS bazne, može postići veću brzinu prijenosa.

Naravno brzina prijenosa ovisi o nekoliko kriterija kao što su: karakteristike i dizajn mreže, radio uvjeti na području na kojem se nalazi UE, karakteristikama prijamnika i broju aktivnih korisnika koji komuniciraju s baznom stanicom.

U konačnici MSC unutar jezgrene mreže je podijeljen na MSC-S (*eng. MSC-Server*), čiji je zadatak kontrola poziva i upravljanje mobilnosti, i MG (*eng. Media Gateway*) koji priprema formate različitih podataka ovisno o metodi prijenosa koja se koristi. [1]

4. ARHITEKTURA LTE MREŽE

U odnosu na prethodne generacije mobilnih mreža LTE (*eng. Long Term Evolution*) tehnologija pruža daleko veće brzine prijenosa, kao i kapacitet sustava. Glavna razlika između UMTS i LTE mreže leži u nekoliko čimbenika od kojih je najvažnija brzina prijenosa podataka. Za razliku od prethodnih generacija ova mreža koristi novi jezgreni sustav pod nazivom EPC (*eng. Evolved Packet Core*), također koristi novu pristupnu mrežu pod nazivom E-UTRAN (*eng. Evolvet UMTS Terestrial Radio Access Network*). Navedeni sustavi bit će detaljnije objašnjeni u nastavku.



Slika 8. LTE arhitektura [14]

U pravilu temelj LTE tehnologije leži u mrežnim tehnologijama GSM/EDGE i UMTS/HSPA, s određenim promjenama u smislu povećanog kapaciteta i veće brzine. Navedeno se postiglo pojednostavljenjem jezgrene mreže i korištenjem drugog radijskog sučelja.

Korištenjem adaptivne modulacije i novijih tehnologija multipleksiranja i višestrukog pristupa omogućeno je postizanje visokih brzina prijenosa. Također omogućeno je komuniciranje MIMO (*eng. Multiple Input – Multiple Output*) načinom, koje podrazumijeva istodobno korištenje više baznih stanica kako bi se povećala brzina prijenosa.

Kao što je vidljivo na slici 8, eNodeB ima ulogu kao i NodeB u UMTS mreži. RNC je ukinut i njegove funkcije preuzima eNodeB što je rezultiralo smanjenjem kašnjenja signala. Sučelja prikazana na slici 8, S1 i X2 baziraju se na IP protokolu. Također unutar LTE arhitekture postoje logička sučelja S-GW (*eng. Serving Gateway*) čija je uloga direktno posluživanje korisnika i P-GW (*eng. Packet Gateway*) sučelje koje predstavlja izlaz prema vanjskim paketskim mrežama. U nastavku će biti posebno objašnjene komponente LTE arhitekture.

4.1. EPC arhitektura

EPC predstavlja jezgrenu dio LTE mreže. Kako je vidljivo na slici 8, sastoji se od MME (*eng. Mobility Management Entity*), HSS (*eng. Home Subscriber Server*), PCRF/PCEF (*eng. Policy and Charging/Enforcement Rules Function*), SGW (*eng. Serving Gateway*) i PGW (*eng. Packet Data Network Gateway*).

Iz ove arhitekture može se povući analogija s GSM/UMTS jezgrenom mrežom u kojem HSS ima funkciju sličnu HLR/VLR odnosno kontrolira korisničku registraciju, upravlja sigurnosti vezanom uz autentikaciju i pruža informacije o PGW-u koji se koristi, MME ima funkciju sličnu funkcijama MSC-a u prethodnim generacijama, dok PCRF ima zadatak obavljanja posebnih naredbi od strane ovlaštenog operatora. SGW je zadužen za obavljanja funkcija vezanih uz mobilnost. U nastavku će pojedinačno biti objašnjen svaki od navedenih elemenata EPC arhitekture. [4]

4.1.1. MME

MME odnosno entitet za upravljanje mobilnošću, upravlja svim razmjenama signalizacije između UE i EPC, kao i razmjenom informacija između eNodeB i EPC. U pravilu MME se povezuje s eNodeB putem sučelja S1-AP (Slika 8) i pri tom vrši autentifikaciju. Zatim se povezuje s HSS-om i traži podatke za provjeru autentičnosti pretplatnika koji se pokušava povezati s mrežom. Signalizacija prilikom uspostave komunikacije koju izvodi MME poznata je kao NAS (*eng. Non-Access Stratum*) signalizacija, odnosno signalizacija se vrši putem NAS protokola.

MME je također odgovoran za dodjeljivanje određenog izlaza prema Internetu. U pogledu prekapčanja komunikacije na drugu baznu stanicu koja se odvija na razini eNodeB, MME prenosi primopredajne poruke između različitih baznih stanica kada sučelje X2 nije dostupno (Slika 8). Treba napomenuti kako MME također podržava zakonito presretanje signalizacije.

4.1.2. SGW

S-GW (*eng. Serving Gateway*) služi kao poveznica za primopredaju komunikacije između susjednih eNodeB i usmjerava sve korisničke pakete prema PGW-u. SGW je također odgovoran za posebno terećenje usluge korisnika koji se nalazi u roamingu. Treba napomenuti kako se SGW mijenja isključivo ako dolazi do promjene lokacije

korisničke opreme koju kontrolira drugi SGW, dok PGW u pravilu ostaje isti sve dok je korisnik spojen na mrežu.

4.1.3. PGW

P-GW (*eng. Packet Data Network Gateway*) osigurava povezivanje korisničke opreme s vanjskim paketnim podatkovnim mrežama. PGW djeluje kao točka ulaza i izlaza prometa prema i od korisničke opreme. PGW upravlja provedbom pravila, filtriranjem paketa po korisniku, podrškom za naplatu, zakonitim presretavanjem i provjerom paketa. Također djeluje kao poveznica za mobilnost između 3GPP tehnologija i tehnologija koje nisu 3GPP, kao što su WiMAX i 3GPP2.

4.1.4. HSS

HSS (*eng. Home Subscriber Server*) predstavlja središnju bazu podataka koja sadrži infomacije vezane za korisnike i pretplate. Funkcije HSS-a uključuju upravljanje mobilnošću, podršku za uspostavu poziva i sesija, autentifikaciju korisnika i autorizaciju pristupa. HSS se temelji na HLR i AuC komponentama GSM/UMTS mreže.

4.1.5. PCRF/PCEF

PCRF (*eng. Policy and Charging Rules Function*) osigurava politiku usluge i šalje informacije o kvaliteti usluge (QoS) za svaku započetu sesiju. Dok PCEF (*eng. Policy and Charging Enfocement Function*) odgovara za QoS na IP paketima u PGW-u, odnosno provodi pravila koja dopuštaju paketima prolaz kroz pristupnu točku.

4.2. E-UTRAN radijsko sučelje

E-UTRAN (*eng. Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) sastoji se od UE i eNodeB. UE predstavlja bilo koji uređaj korišten od strane pretplatnika, a koji ima mogućnost LTE komunikacije kao što su: mobilni telefoni, prijenosna računala, tableti i sl. Radijsko sučelje koje povezuje UE naziva se E-UTRA (*eng. Evolved Universal Terrestrial Radio Access*). [8]

E-UTRA zapravo predstavlja zračno sučelje LTE mreže i u odnosu na sučelje UMTS mreže, znatno smanjuje kašnjenje i omogućuje veću propusnost uz optimizaciju za paketni promet. Koristi se OFDMA (*eng. Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) tehnologija višestrukog pristupa mediju u silaznoj vezi i SC-FDMA (*eng. Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) u uzlaznoj.

OFDMA dijeli informacije na male podnositelje signala susjednih frekvencija, preko jednog kanala. Također se znatno bolje nosi s fenomenima kao šuma ili višestaznih propagacija od drugih modulacijskih metoda.

SC-FDMA također je metoda višestrukog pristupa mediju frekvencijskom raspodjelom i obično predstavlja alternativu OFDMA. Glavna prednost je manji omjer vršne i prosječne snage, koji se pokazao učinkovitijim u mrežama gdje prijenosna snaga nije najvažniji faktor.

Treba napomenuti kako je bazna postaja eNodeB a ključni dio E-UTRAN mreže i predstavlja komponentu koja omoguće povezivanje UE s LTE mrežom. eNodeB obično komunicira s drugim eNodeB stanicama i s EPC putem različitih sučelja: Uu, X2 i S1. EnodeB prema [8] izvodi sljedeće funkcije:

- Upravljanje radio resursima koje uključuje: kontrolu radijskog signala i odgovara za uspostavu, održavanje i prekidanje nositelja radijskih signala. Također upravlja mobilnošću na način da kontrolira radio resurse za UE u stanju mirovanja i one u stanju komuniciranja. Uz sve navedeno vrši i dinamičku alokaciju resursa u korisničkoj i upravljačkoj razini.
- Usmjeravanje korisničkih paketa prema S-GW
- Odabir MME centra uz omogućavanje posluživanja čak dok je UE u samom procesu spajanja na centar.
- Kompresija i kriptiranje paketa
- Zakazivanje i prijenos kontrolnih i obavještajnih poruka

4.3. LTE prekapčanje

Jedan od glavnih ciljeva LTE mobilne mreže je pružiti brzu i besprijekornu primopredaju tj. prekapčanje s jedne ćelije u drugu, uz održavanje jednostavnog upravljanja mrežom. LTE tehnologija je osmišljena kako bi podržala mobilnost pri relativno visokim brzinama kretanja od 350 km/h, ili čak do 500 km/h u nekim slučajevima. Cijeli proces primopredaje može se obavljati na dva načina: Soft handover koji je poznat kao CBB (*eng. Connect-Before-Break*) ili BBC (*eng. Break-Before-Connect*). [4]

4.3.1. Soft handover CBB

Ovaj način prekapčanja se odvija na takav način da korisnička oprema uvijek zadržava barem jednu vezu s baznom stanicom prije nego se spoji na drugu. Ova tehnika primopredaje signala uvedena je još u UMTS mreži s WCDMA arhitekturom. Naime postoji središnji sustav RNC (*eng. Radio Network Controler*) koji omogućuje simultano spajanje na dvije različite bazne stanice.

S aspekta primopredaje kontrole, soft handover prikladan je za održavanje aktivnih sesija, sprječavanje prekida glasovnog poziva ili poništavanja paketnih sesija. Međutim zahtijeva mnogo složeniju signalizaciju, postupke i u konačnici cijelokupni sustav.

4.3.2. Hard handover BBC

Tvrdi način prekapčanja podrazumijeva kao i kod UMTS mreže prekidanje postojećih veza s baznom stanicom, te naknadno povezivanje na novu baznu stanicu. Tvrdo prekapčanje zahtijeva od korisnika prekidanje postoće veze kao posljedicu promjene ćelije i uspostavu komunikacije unutar druge ćelije. S obzirom da dolazi do prekida komunikacije također dolazi do prekida posluživanja što degradira krajnje korisničko iskustvo. Međutim za razliku od mekog prekapčanja, ne zahtijeva složenu signalizaciju i jednostavnije se provodi.

4.4. LTE frekvencijski pojas

LTE je na području Republike Hrvatske (RH) uveden početkom 2012. godine. U rad je pušten od strane Hrvatskog Telekoma, dok su ostali operatori učinili to nekoliko mjeseci kasnije. Što se tiče specifikacija na području RH, frekvencija koja se koristila je 1800 MHz (upravo ova LTE1800 se koristi u zadnjem poglavlju prilikom simulacija). Omogućene teoretske brzine u silaznoj vezi iznosile su 75Mbps, dok je u uzlaznoj vezi bilo omogućeno 25 Mbps. Koristi se samo jedna frekvencija odnosno kanal za prijem i predaju (FDD Duplex).

Frekvencijski pojasevi (MHz)	Dodijeljeni radiofrekvencijski spektar (MHz)	Nositelj dozvole	Ograničenja uporabe radijskih frekvencija
791 – 821/ 832-862	791 – 806/832 – 847	**A1 Hrvatska d.o.o.**	2024.
	806 – 814/847 – 862	**Hrvatski Telekom d.d.**	2024.
925 – 960/ 880 -915	925.3 – 930.3/880.3 – 885.3	**Tele 2. d.o.o.**	2024.
	930.3 – 932.7/885.3 – 887.7	**Hrvatski Telekom d.d.**	2024.
	941.1 – 953.1/896.1 – 908.1	**Hrvatski Telekom d.d.**	2024.
	932.7 – 940.9/887.7 – 895.9953.3 – 959.5/908.3 – 914.5	**A1 Hrvatska d.o.o.**	2024.
	953.3 – 959.5/908.3 – 914.5	**A1 Hrvatska d.o.o.**	2024.
1805 – 1880/ 1710 - 1785	1805.1 – 1825.1/1710.1 – 1730.1	**Tele 2. d.o.o.**	2024.
	1845.1 – 1852.1/1750.1 – 1757.1	**Tele 2. d.o.o.**	2024.
	1825.1 – 1845.1/1730.1 – 1750.1	**Hrvatski Telekom d.d.**	2024.
	1869.9 – 1879.9/1774.9 – 1784.9	**Hrvatski Telekom d.d.**	2024.
	1852.1 – 1869.9/1757.1 – 1774.9	**A1 Hrvatska d.o.o.**	2024.
1900 – 1920	1900 – 1905	**Hrvatski Telekom d.d.**	2024.
	1905 – 1910	**Hrvatski Telekom d.d.**	2024.
	1910 – 1915	**A1 Hrvatska d.o.o.**	2024.
2110 – 2170/ 1920 - 1980	2110 – 2125/1920 – 1935	**Hrvatski Telekom d.d.**	2024.
	2125 – 2140/1935 – 1950	**Tele 2. d.o.o.**	2024.
	2140 – 2160/1950 – 1970	**A1 Hrvatska d.o.o.**	2024.
	2160 – 2170/1970 – 1980	**Tele 2. d.o.o.**	2024.
2620 – 2690/ 2500 - 2570	2620 – 2640/2500 – 2520	**Tele 2. d.o.o.**	2024.
	2640 – 2660/2520 – 2540	**A1 Hrvatska d.o.o.**	2024.
	2660 – 2680/2540 – 2560	**Hrvatski Telekom d.d.**	2024.

Tablica 2. Baza radiofrekvencijskog spektra za javne pokretne komunikacijske mreže [17]

5. PLANIRANJE GSM/UMTS/LTE MREŽE

RF (*eng. Radio Frequency*) planiranje predstavlja jedan od najbitnijih procesa prilikom realizacije mobilne mreže na nekom području. Glavni problemi s kojima se planeri moraju nositi predstavljaju probleme u vidu pokrivenosti, kvalitete i kapaciteta mreže, uz određivanje financijski i lokacijski optimalnog broja baznih stanica.

U ćelijskim mobilnim mrežama pokrivenost i kvalitete mreže skoro su obrnuto proporcionalni, što za posljedicu ima degradaciju kvalitete udaljavanjem od bazne stanice. Zbog toga glavni cilj pri planiranju ćelijskih mreža je postići maksimalni kapacitet, uz omogućavanje prihvatljive kvalitete usluge. Također treba napomenuti kako nova mreža koja je u procesu planiranja, mora pružiti fleksibilnost u vidu izvanrednih prometnih opterećenja. [3]

RF planiranje prema uključuje:

- Planiranje frekvencije
- Položaj antena
- Nagib antene
- Visinu antene
- Lokaciju antene
- Kontinuirano optimiziranje mreže

Dva glavna cilja prilikom RF planiranja su: pokrivenost i kapacitet. Pokrivenost se odnosi na geografski otisak unutar sustava koji ima dovoljnu jačinu radio signala da osigura komunikaciju. S druge strane kapacitet predstavlja sposobnost sustava da održi određeni broj pretplatnika. Kako bi se poboljšala pokrivenost mora se smanjiti kapacitet ili obrnuto.

5.1. Uvod u planiranje mreže na novom području

Prvobitne stvari koje se razmatraju pri planiranju mobilne mreže na novom području su: trenutni podaci o pokrivenosti na konkretnom području, frekvencijsko planiranje, optimizacija nakon izgradnje, reljef područja, nagib antene, visina antene, snaga bazne stanice, planiranje transmisije, definiranje susjednih ćelija i područje pokrivanja. Treba napomenuti kako su navedene akcije samo mali dio ukupnog planiranja mobilnog mrežnog sustava. Pitanja na koja svaki tim planera pokušava odgovoriti prema [3], prije početka procesa planiranja su:

- Potrebna površina pokrivenosti?
- Mogu li se određene bazne stanice optimizirati kako bi se izbjegla gradnja nove?
- Visina antenskog sustava?
- Samostalno/klaster?
- Rezultati simulacije pokrivenosti i kapaciteta?

Nakon što su razriješena navedena pitanja, fokus procesa planiranja je:

- Konkretna lokacija bazne stanice
- Izračun visine antene
- Izračun nagiba antene
- Planiranje transmisije
- Frekvencijsko planiranje

5.2. Odabir lokacije

Obzirom na visoke troškove implementacije i održavanja baznih stanica, treba uzimati u obzir kako nije dobro nasumično postavljanje baznih stanica bez odgovarajućeg planiranja. Više je razloga koji potkrjepljuju navedenu tezu jer ako je bazna stanica instalirana na pogrešnom mjestu, ona neće samo degradirati mrežu stvaranjem bespotrebne interferencije, nego će i degradirati generiranje financijskog prihoda operatora.

Mjesto bazne stanice u pravilu se odabire putem rezultata simulacije. Rezultati simulacije moraju pružati dobru pokrivenost uz zadovoljavajuću kvalitetu usluge uzimajući u obzir troškove instaliranja, na određenom području koje se planira. U poglavlju 7. detaljnije je opisan odabir nove lokacije prilikom simuliranja u WiMAP programu.

5.3. Izračun visine antene

Činjenica je kako se unutar ćelijskih mreža koriste radio valovi za komunikaciju, zbog toga bitno je znati koji propagacijski model koristiti pri izračunu kako bi se pravilno izračunali gubitci na putu zbog karakteristika građevina i okoliša. Kao primjer za GSM, UMTS i LTE mreže prikazan je Okumura-Hata model.[3]

Okumura-Hata model:

$$L_U = 69.55 + 26.16 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_B - C_H + [44.9 - 6.55 \log_{10} h_B] \log_{10} d$$

Za male do srednje gradove:

$$C_H = 0.8 + (1.1 \log_{10} f - 0.7) h_M - 1.56 \log_{10} f$$

Za velike gradove:

$$C_H = \begin{cases} 8.29 (\log_{10}(1.54 h_M))^2 - 1.1 & \text{, if } 150 \leq f \leq 200 \\ 3.2 (\log_{10}(11.75 h_M))^2 - 4.97 & \text{, if } 200 < f \leq 1500 \end{cases}$$

Oznake predstavljaju:

L_U = gubitke na putu [dB]

h_B = visina antene bazne stanice [m]

h_M = visina antene mobilne stanice [m]

f = frekvencija transmisije [MHz]

C_H = faktor korekcije visine antene

d = udaljenost između bazne i mobilne stanice

Kao što se može vidjeti iz gornje jednadžbe, postoje četiri varijable: gubitci na putu, udaljenost, visina mobilne stanice i visina bazne stanice. Sljedeći korak je uzimanje jednostavne pretpostavke:

- Visina mobilne stanice (h_m) iznosi otprilike 1.5 metara
- Udaljenost (d) – geografska udaljenost do susjednih ćelija i radijus same ćelije
- Gubitci na putu se utvrđuju proračunom linka koje će biti objašnjeno u nastavku

5.4. Izračun linka

Izračun linka se koristi za kvantificiranje performansi radio veze. U osnovi uključuje sve dobitke i gubitke nastale propagacijom radio signala od odašiljača do prijemnika kroz medij. Proračun linka izvodi se u telekomunikacijskoj industriji kako bi se dobila procjena maksimuma dopuštenih gubitaka na putu koji se dalje koristi za određivanje osnovne visine antene. [3]

Značajke odašiljača	Snaga odašiljača	20 W / 43.0103 dBm
	Dobitak BTS antene	0 dBm
	BBU-RRU gubitak u kablovima	0.4 dBm
	Gubitak BTS pretvarača	3 dBm
	Gubitak na putu (/100 m)	3 dBm
	EIRP odašiljača	53.6 dBm
Značajke prijemnika	Dobitak mobilne stanice	0 dBm
	Osjetljivost mobilne stanice	-107 dBm
	Gubitak kontrolnog kanala	1 dB
	Margina interferencije	3 dB
	Zahtijevana Rx snaga	-103 dBm
	Maksimalni gubici na putu	158.6 dB

Tablica 3. Značajke odašiljača i prijemnika [3]

Nakon što se pomoću svih navedenih podataka izračuna najveći gubitak na putu, uvrštava se u Okumura-Hata model za pronalaženje minimalne visine bazne stanice. Nakon što je izračunata minimalni prag visine antene, podaci se ubacuju u odgovarajući softver kako bi se vidio učinak promjene visine u odnosu na prepreke na putu poput visokih zgrada, brda ili bilo kojih drugih prepreka. Treba napomenuti kako postoje različiti modeli prihvatljivi za GSM/UMTS/LTE model: Okumura-Hata model, COST 231, Hata model i COST 231 Walfish-Ikegami.

5.5. Izračun nagiba antene

Učinkovitost bazne stanice ovisi o ispravnoj konfiguraciji antene, jedan od važnijih parametara prilikom optimizacije mreže je nagib antene. Generalno antena sa ćelijskim tornjem ima uzorak zračenja s primarnim režnjem usmjerenim prema horizontu. Nagib antene prema dolje ograničava raspon smanjenjem snage u horizontu i preusmjeravanjem snage prema stanicama koje antena poslužuje.

Povećanje nagiba antene prema tlu smanjit će područje pokrivanja, ali proporcionalno tome povećava jačinu signala. Cilj izračuna nagiba je pružiti najveću moguću snagu signala za područje pokrivanja bazne stanice. Različiti stupnjevi nagiba se isprobavaju unutar simulacija kako bi se izabralo najbolje rješenje.[3]

5.6. Planiranje transmisije

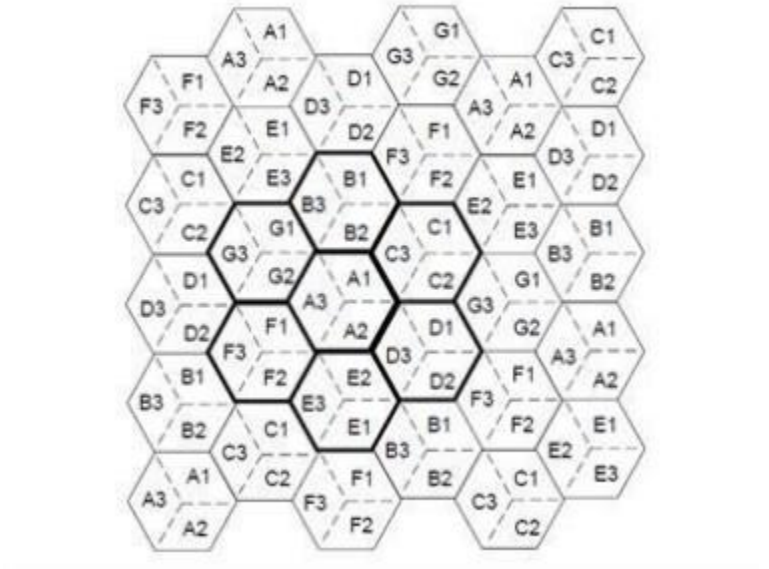
Transmisija signala ima ključnu ulogu u mobilnoj komunikaciji. Planiranje transmisije razmatra opcije povezivanja baznih stanica sa drugim baznim stanicama i samom jezgrenom mrežom. U pravilu mjesto se može izravno povezati na jezgrenu mrežu putem optičkih kabela ili se može povezati na druge bazne stanice putem minilink-a ili optike. Treba napomenuti kako prilikom korištenja minilink-a obje bazne stanice moraju biti u savršenom LOS (*eng. Line-Of-Sight*). [3]

5.7. Planiranje frekvencija

Kao što je poznato u mobilnoj mreži svaki operator ima ograničenu širinu frekvencijskog pojasa. U ćelijskim mrežama pogotovo starijih generacija za učinkovitiju dodjelu BCCH (*eng. Broadcast Control Channel*) broja koji je jedinstven za ćeliju i klaster, koristi se reupotreba frekvencije. Kao što je opisano u prethodnim poglavljima ovog rada ćelije za reupotrebu frekvencije mogu biti podijeljenje u klastere veličine 3,4,7 itd.

Uobičajena notacija koja se koristi u telekomunikacijskoj industriji za prikazivanje reuporabe frekvencije je n/m gdje je n faktor ponovne uporabe ili veličina klastera, a m predstavlja broj jedinstvenih frekvencijskih nosioca.

Kao primjer reuporabe (Slika 9) uzet je uzorak 7/21 što znači da od ukupno 7 postaja, svaka sa 3 sektora koristi 21 jedinstvenu BCCH frekvenciju.



Slika 9. 7/21 klaster [3]

6. PROBLEMI U PROCESU PLANIRANJA GSM/UMTS/LTE MREŽE

Jedna od ključnih prednosti GSM mreže bila je ta da se roaming mogao odvijati po različitim, državama i kontinentima uvelike zbog usklađenog spektra koji se proteže velikim dijelom svijeta. Međutim LTE infrastruktura se projektira na način kako bi radila u različitim pojasevima spektra. Za istinsku podršku globalnom roamingu, potrebno je harmonizirati spektar koji se koristi, u suprotnom teret korištenja roaminga se prebacuje na terminalne uređaje koji bi morali pružati podršku više frekvencijskih pojaseva.

Povijesno GSM i UMTS mreže su građene uz filozofiju "izgradi i korisnici će se pojaviti" i dobra vijest je da su korisnici upravo tako i postupili, iako je za UMTS mrežu postojalo gotovo četiri godine odgode do kompletnog usvajanja. Napretkom tehnologije pojavile su se i femto ćelije, koje omogućuju operatorima uvođenje strategije za isporuku LTE brzine prijenosa podataka u unutarnje okruženje uz korištenje svojih UMTS/HSPA mreža za makro pokrivenost.

Također treba napomenuti kako je prilikom dizajniranja postojećih mreža, ili mreža novijih generacija potrebno postići fleksibilnost uz niske operativne troškove. Konkretnije u središtu dizajniranja novih mreža leži pitanje interoperabilnosti. Naime operatori bi u teoriji trebali moći koristiti standardiziranu opremu od različitih dobavljača bez problema s interoperabilnosti.

Trenutno većina operatora uz LTE, a negdje i 5G u službi također posjeduje GSM i UMTS što dovodi do pitanja trebaju li i dalje u službi držati zastarjelu tehnologiju?. Odgovor je očit s obzirom na financijsku isplativost. Naime operatori će koristiti i održavati svoje GSM/UMTS mreže još neizvjestan period vremena, međutim isključivanjem GSM mreže omogućilo bi se korištenje frekvencijskog dijela spektra koji je vezan uz GSM. Alternativno operatori bi mogli postepeno prebacivati korisnike s GSM na UMTS, zatim s UMTS na LTE. U praksi još nema jasnih odgovora kako bi se izvelo isključivanje pojedinih mobilnih mreža, ali ono što je vrlo jasno je da rad i održavanje četiri generacija mobilnih mreža simultano, nije dugoročna opcija.

Planeri također moraju razmišljati o near-far (*eng. Blizu*-Daleko) efekt odnosno problem koji se javlja unutar UMTS mreže zbog korištenja CDMA tehnologije pristupa mediju. Naime unutar bazne stanice dolazi do problema "slušanja" signala od uređaja koji su udaljeni i emitiraju slabiji signal, za razliku od onih koji se nalaze u neposrednoj blizini i emitiraju jači signal.

Još jedna stavka koja stvara problematiku prilikom planiranja pokretnih komunikacijskih mreža je intermodulacija odnosno prisustvo neželjenih signala koji su stvoreni kombinacijom željenih signala. Ovaj problem u prijamniku bazne stanice koja je dominantna se može smanjiti oštrim jednakokanalnim filtrima i povećanom linearnošću

sklopova. Postoji i mogućnost smanjenja snage odašiljača pokretne stanice kad dođe u blizinu prijamnika bazne stanice.

Također je važno napomenuti interferenciju telekomunikacijskog signala dok putuje duž komunikacijskog kanala između bazne i mobilne stanice. Prilikom planiranja važno je postići balans između susjednih ćelija i jačine baznih stanica. Upravo najveći uzrok smanjenog kapaciteta određenih ćelija predstavlja interferencija iz različitih susjednih ćelija koje pokušavaju simultano pristupiti mreži. Treba napomenuti kako inteferencija može biti istokanalna i susjednokanalna.

Korištenjem ICIC (*eng. Inter-Cell Interference Coordination*) tehnike umanjena je interferencija na način da se korisnički uređaji koji su smješteni na rubnim dijelovima ćelije, i spojeni su na različite bazne stanice, koriste različite frekvencije za komunikaciju. U prethodnim generacijama mreža, konkretnije GSM i UMTS za kontrolu interferencije bili su zaduženi kontrolori baznih stanica (BSC i RNC), dok kod LTE tehnologije to upravo čini ICIC.

U pogledu planiranja pokrivenosti područja pokrivenog radio signalom važno je istaknuti kako je pokrivenost povezana s veličinom ćelije. Naime, prilikom propagacije radio signala kroz određeni medij događaju se gubici koje treba uzeti u obzir:

- Gubitak staze (*Path loss*)
- Zasjenjenje (*Shadowing*)
- Višestruki fading (*Multipath fading*)

U konačnici radijus ćelije se određuje prema maksimalno dozvoljenim gubicima puta. Još jedna važna stavka koja se mora primjeniti prilikom planiranja pokretnih ćelijskih mreža je kontrola snage (uplink), u protivnom dolazi do mogućnosti blokade ćelije. Također bitno je navesti kako se planiranje odnosi na 60 minutni busy hour, a ne na prosijek.

Jedna od prednosti koja se pojavila s četvrtom generacijom mreže su i femtoćelije. S LTE femtoćelijama operatori također mogu isporučiti namjenski kapacitet potrošača u njihovim domovima, uredima i sl. Uvođenje ove strategije pod nazivom “unutra prema van” eliminira rizike povrata ulaganja prilikom planiranja, a koja su potrebna kod izgradnje mikro i makro ćelijske infrastrukture.

Drugi aspekt koji treba uzeti u obzir je povezivanje femto ćelija s pametnim uređajima. S obzirom da pametni terminalni uređaji generiraju velike količine podatkovnog prometa, taj promet bi na ovaj način bio izuzet iz makro-ćelijske mreže što za posljedicu ima sniženje cijene isporuke sadržaja.

U konačnici kako bi se omogućilo operatorima, i općenito telekomunikacijskoj industriji da se nosi sa suvremenim izazovima upravljanja multi-tehnologijskim mrežama, razvijene su različite programske podrške koje se koriste za kontrolu i održavanje postojećih mreža, ali i predviđanja problema prilikom dizajniranja i planiranja novih mreža.

7. STUDIJA SLUČAJA: SIMULACIJA MOBILNE MREŽE PRIMJENOM WiMAP ALATA NA PODRUČJU GRADSKE ČETVRTI METERIZE-ŠIBENIK

Studija slučaja pokrivenosti mobilnih mreža na području suburbane četvrti Meterize u gradu Šibeniku biti će odrađena koristeći programsku podršku WiMAP 4G v7.1.6. WiMAP 4G je programska podrška za planiranje radijskih mreža napravljen od strane tvrtke Brown-Iposs i razvijen posebno za planiranje bežičnih širokopojasnih pristupnih mreža. Postoje profesionalna i besplatna inačica softvera, u ovom radu se koristi besplatna verzija koja ima određena ograničenja u pogledu uvoza određenih podataka. Podrška programu je također korisnički priručnik koji pojednostavljuje upravljanje programom za korisnike s malo iskustva.

Prema [12] ovaj softver omogućuje planiranje koristeći tri propagacijska modela: Erceg model, ITU-R P.1411-3 model i Free Space Propagation model. Treba napomenuti kako WiMAP 4G koristi OpenStreetMap kartu za prikazivanje područja simuliranja te elevacijski model temeljen na SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

Simulacija će se sastojati od dva dijela. U prvom dijelu simulirati će se stvarno stanje pokrivenosti četvrti radio signalom od strane GSM,UMTS i LTE tehnologije, dok će drugi dio biti orijentiran na širenje četvrti prema sjevero-zapadu. Drugi dio simulacije će podrazumijevati dodavanje proizvoljnih građevinskih objekata i jedne bazne stanice koja će biti postavljena na dodanoj građevini. Razlog odabira lokacije nove bazne stanice bit će posebno objašnjen prilikom simuliranja.

7.1. Uvod u studiju slučaja

Suburbana četvrt Meterize se nalazi na sjevero-zapadnom dijelu grada Šibenika i kao takva je okružena sa svih strana brdima i niskim raslinjem. Na slici 10. se može vidjeti kako je također okružena sa tri bazne stanice označene crvenim točkama i brojevima 1,2 i 3.



Slika 10. Prikaz gradske četvrti Meterize-Šibenik sa lokacijama baznih stanica. (Izvor: http://bbzone.hakom.hr/hr-HR/InteraktivniPreglednik)

Svaka bazna stanica omogućuje korisnicima pristup putem GSM, UMTS i LTE mreže. Također treba napomenuti kako se bazna stanica 1 sastoji od tri antene međusobno pomaknute za 120° dok se bazna stanica 2 sastoji od dvije usmjerene antene sa azimutom od 300° i 210°. U prvom dijelu ovog studija slučaja razmatrati će se simulacija pokrivenosti četvrti od strane baznih stanica 1 i 2 s obzirom da iste koristi jedan operator, dok baznu stanicu 3 koristi drugi operator/i pa se neće uzimati u obzir u ovom radu. Drugi dio studije slučaja će podrazumijevati dodavanje građevinskih objekata i još jedne bazne stanice sa tri antene pomaknute za 120° na sjeverozapadnom dijelu četvrti.

Bazna stanica broj 1 se nalazi na privatnom objektu, dok je bazna stanica broj 2 postavljena na objektu vodovoda koji je u gradskom vlasništu. Treba napomenuti kako četvrt ima najnižu nadmorsku visinu upravo u svom središtu što u ovom slučaju znači da su bazne stanice 1 i 2 postavljene na primjetnoj visini u odnosu na središte četvrti koja je najgušće naseljena.



Slika 11. Pogled na četvrt s bazne stanice broj 2 (Izvor: Autor)

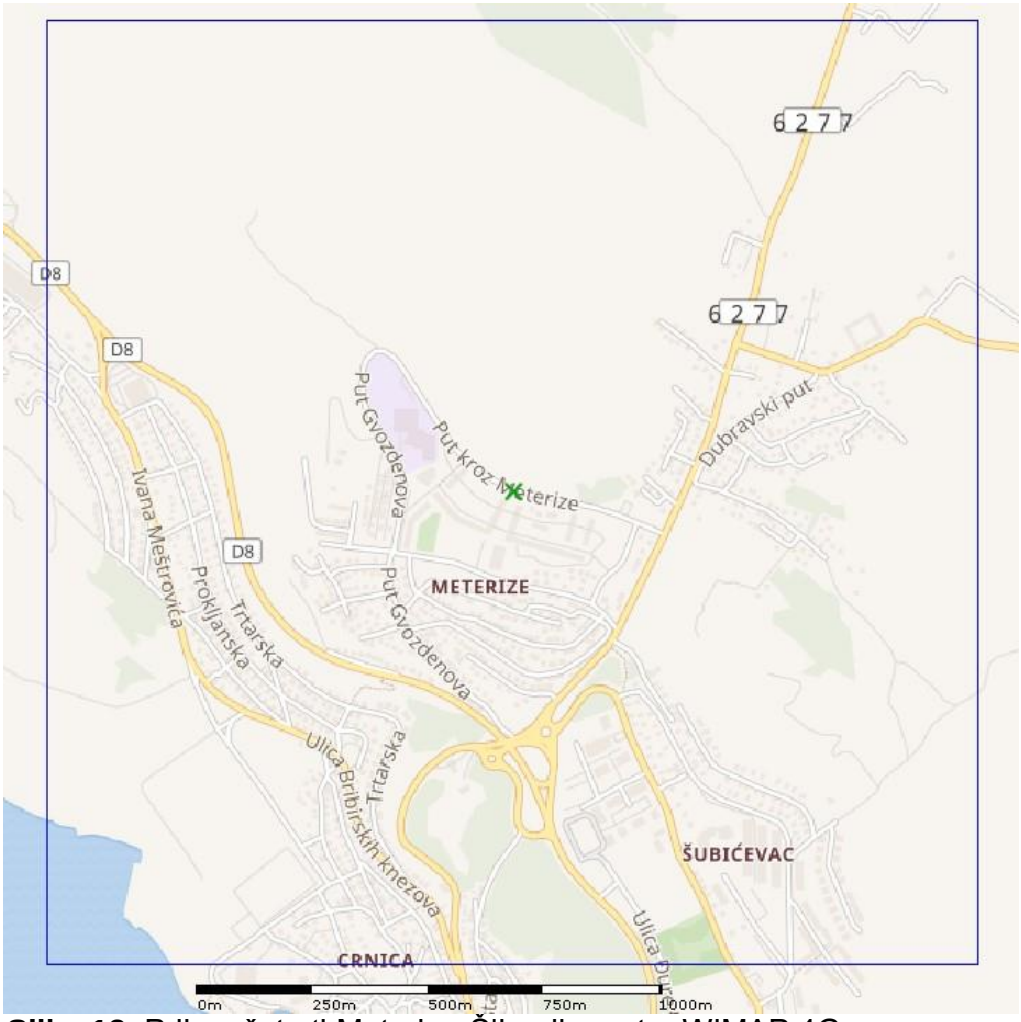
Na slici broj 11 prikazana je bazna stanica broj 2 na kojoj se nalazi više antena koje koriste različiti operatori. Dvije antene pod određenim azimutom koji je naveden u prethodnom dijelu će se koristiti prilikom izvođenja simulacija. Ovaj dio je ključan za postavljanje parametara simulacije bazne stanice broj 2 s obzirom da će se unutar softvera na temelju toga koristiti azimuti i broj antena na ovoj lokaciji. Na lijevoj strani slike 11 unutar crvenog kruga može se vidjeti bazna stanica broj 1.

Bazna stanica broj 1 koja se nalazi na privatnom građevinskom objektu ima ukupnu visinu uključujući objekt na kojem se nalazi u iznosu od 11 metara od tla, dok bazna stanica broj 2 koja se nalazi na vodovodnom objektu ima ukupnu visinu 8 metara od tla.

Za sve korištene simulacije u pogledu LTE tehnologije, snage baznih stanica iznosti će 43.010 dBm-a. Za simulacije povezane s UMTS tehnologijom obje bazne stanice će imati postavljenu omnidirekcionalnu antenu te će bazna stanica broj 1 imati postavljenu nešto višu snagu od Tx = 55 dBm dok će bazna stanica broj 2 imati postavljenu snagu od Tx = 50 dBm kako bi se adekvatno pokrilo područje četvrti UMTS signalom. U pogledu GSM tehnologije bazne stanice će imati postavljenu zadanu snagu u iznosu od Tx = 36.990 dBm. Svi prethodni navedeni iznosi će se koristiti uz propagacijski model Erceg B koji je najpogodniji za ovaj tip područja (suburbano područje), također unutar simulacije bit će prikazana razina snaga unutar mikro ćelija za svaki navedeni slučaj.

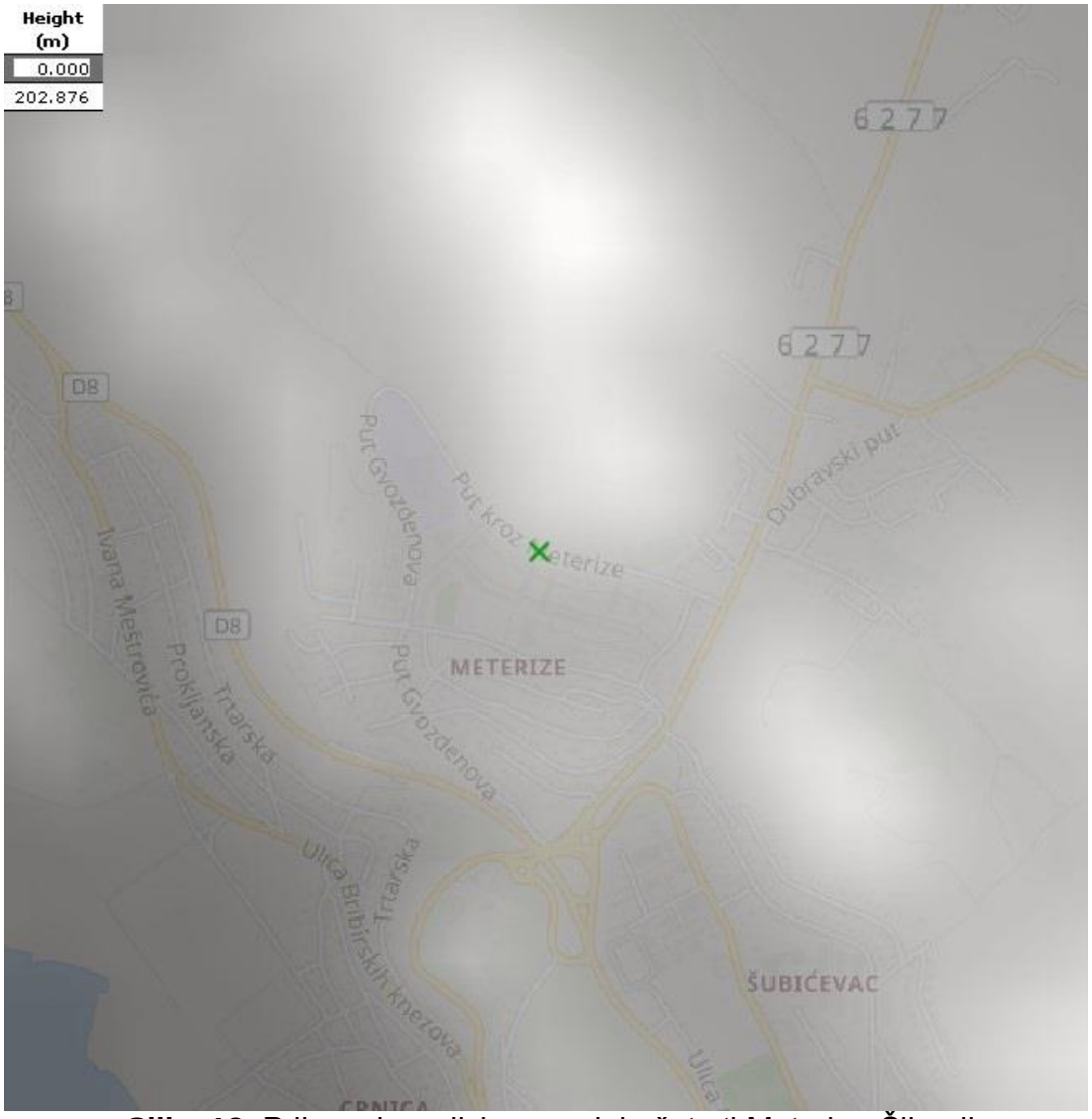
7.2. Priprema WiMAP 4G radnog okruženja

Prilikom izrade novog projekta u WiMAP programu, pruža se mogućnost specificiranja točne lokacije s određenim radijusom na kojoj se želi izvršiti simulacija. Kao referentna točka uzeta je adresa Put kroz Meterize 34 koja je označena zelenim slovom X na slici 12. Radijus unutar kojeg će se vršiti simuliranje iznosi minimalnih 1000 metara u smjeru sjevera od referentne točke što se unutar softvera definira kao površina od 2000m x 2000m.



Slika 12. Prikaz četvrti Meterize-Šibenik unutar WiMAP 4G programa

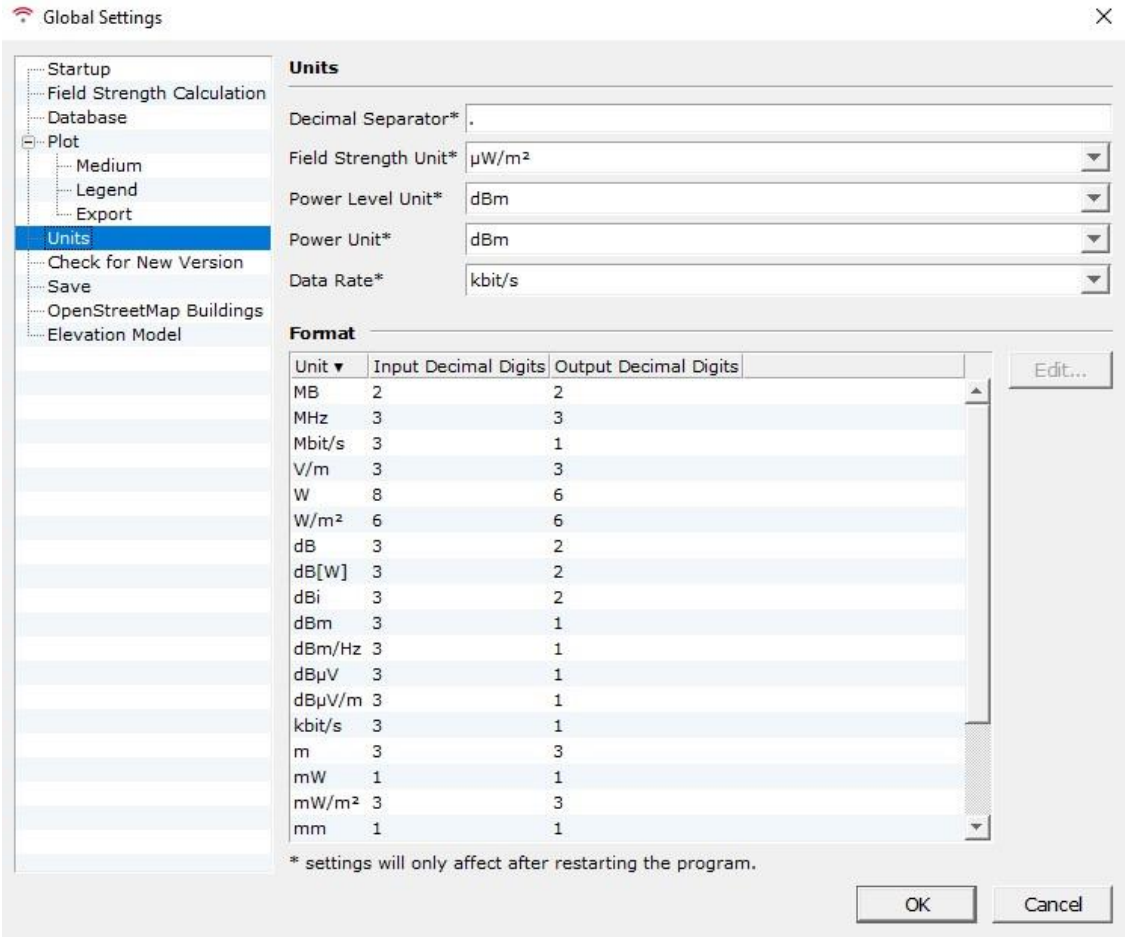
Elevacijski model odnosno model terena na području na kojem će se izvršavati simulacije temeljen je na SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) i može se pronaći na sljedećoj poveznici: https://bailu.ch/dem3/N43/. Treba napomenuti kako je elevacijski model izuzetno bitna stavka u planiranju mobilnih mreža pogotovo kada je teren brdovit kao što je slučaj u ovom radu.



Slika 13. Prikaz elevacijskog modela četvrti Meterize-Šibenik

Slika 13 sadržava prikaz elevacijskog modela pomoću kojeg se može točno vidjeti kako je četvrt okružena brdovitim reljefom gdje je najveća visina od 202.876 metara. Tamnija područja prikazuju nižu nadmosku visinu dok svjetlije područje u kojem se i nalazi četvrt Meterize predstavlja višu nadmorsku visinu. Središte četvrti se nalazi na oko 110 metara nadmorske visine. Program WiMAP 4G također sadržava mogućnost uvoza šumovitih području unutar simulacije, no kako se na brdima koja okružuju četvrt i u samoj četvrti nalazi isključivo nisko raslinje taj parametar se može zanemariti.

Tokom pripreme radnog okruženja važno je obratiti pažnju i na mjerne jedinice koje će se koristiti prilikom simulacija i koje se po potrebi mogu promijeniti u izborniku programa.

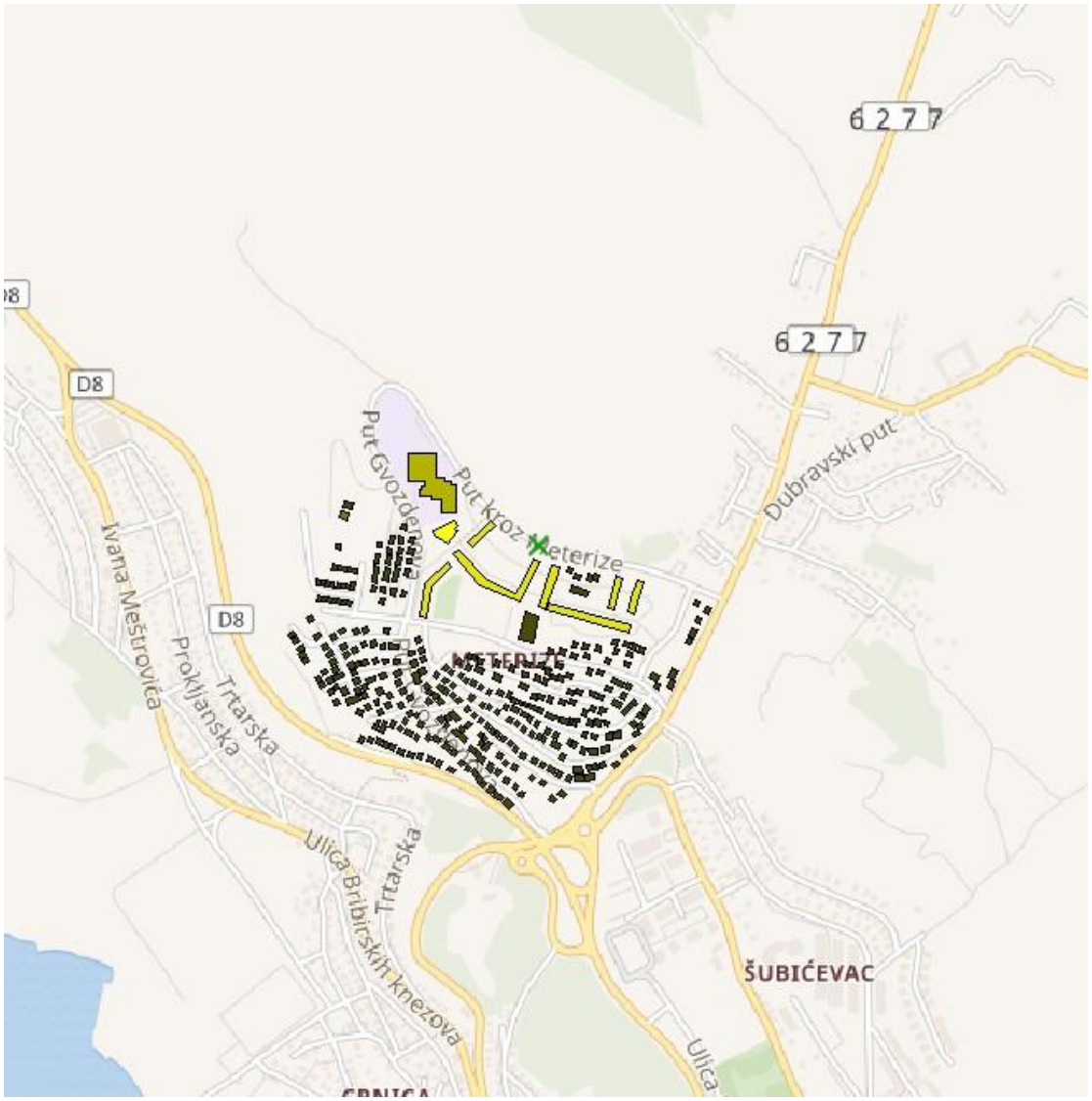


Slika 14. Prikaz glavnog izbornika za definiranje globalnih postavki

Glavni izbornik osim navedenog upravljanja mjernim jedinicama omogućava promjenu raznih stavki koje se mogu prikazivati prilikom planiranja i simuliranja. Također unutar ovog izbornika se definiraju objekti koji se nalaze unutar radijusa pokrivanja odabranog područja.

7.3. Definiranje građevinskih objekata

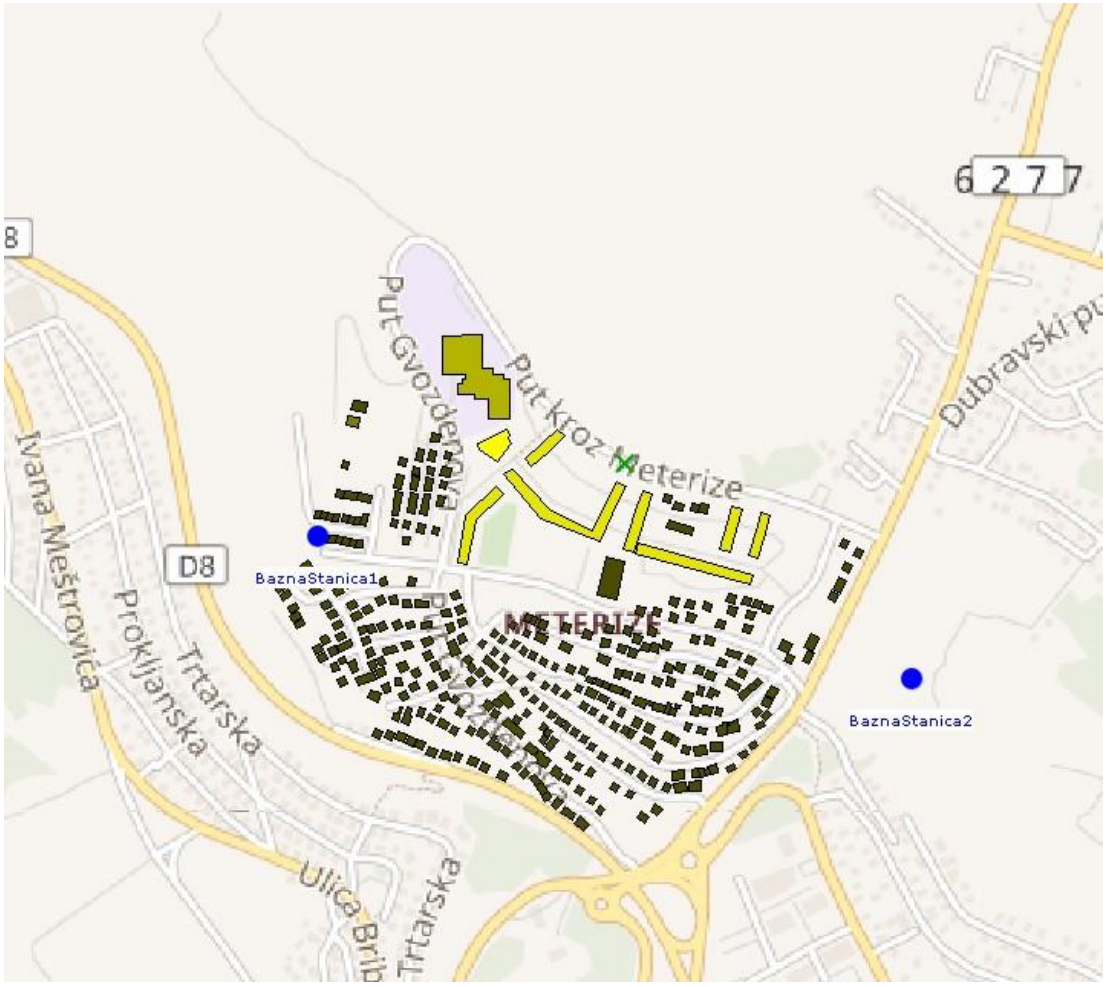
Mogućnosti koje WiMAP 4G program nudi u pogledu definiranja građevina na području simulacije su: uvoz građevina pomoću OpenStreetMap alata ili ručno definiranje pomoću koordinata. S obzirom da se gradska četvrt Meterize sastoji od velikog broja građevina one su uvezene s OpenStreetMap alata kao što je prikazano na slici 15. Visina većine objekata unutar četvrti prilikom uvoza iznosi 8 metara, što je točno za dio četvrti u kojem se nalaze kuće. Međutim visine škole, zgrada i crkvenog tornja ne odgovaraju stvarnom stanju pa su visine zgrada promijenjene na 21 metar, visina crkvenog tornja na 30 metara i visina škole na 14 metara.



Slika 15. Građevinski objekti na području simulacije

7.4. Lokacija i definiranje baznih stanica

Nakon što su definirane građevine sa svojim visinama, sljedeći korak je definiranje baznih stanica. Svaka bazna stanica unutar simulacije sadrži tehnologije pristupa GSM, UMTS i LTE mreži. Kao što je prethodno navedeno bazna stanica broj 1 se sastoji od 3 antene pomaknute za 120° za LTE i GSM tehnologiju, i jedne omnidirekcionalne za UMTS tehnologiju. Bazna stanica broj 2 se sastoji od dvije usmjerene antene za slučaj LTE i GSM mreže i od jedne omnidirekcionalne antene za slučaj UMTS mreže. Prvi korak prilikom definiranja bazne stanice je postavljanje točne lokacije na kojoj se ona nalazi kao što je prikazano na slici 16, zatim slijedi postavljanje parametara za svaku baznu stanicu pojedinačno.



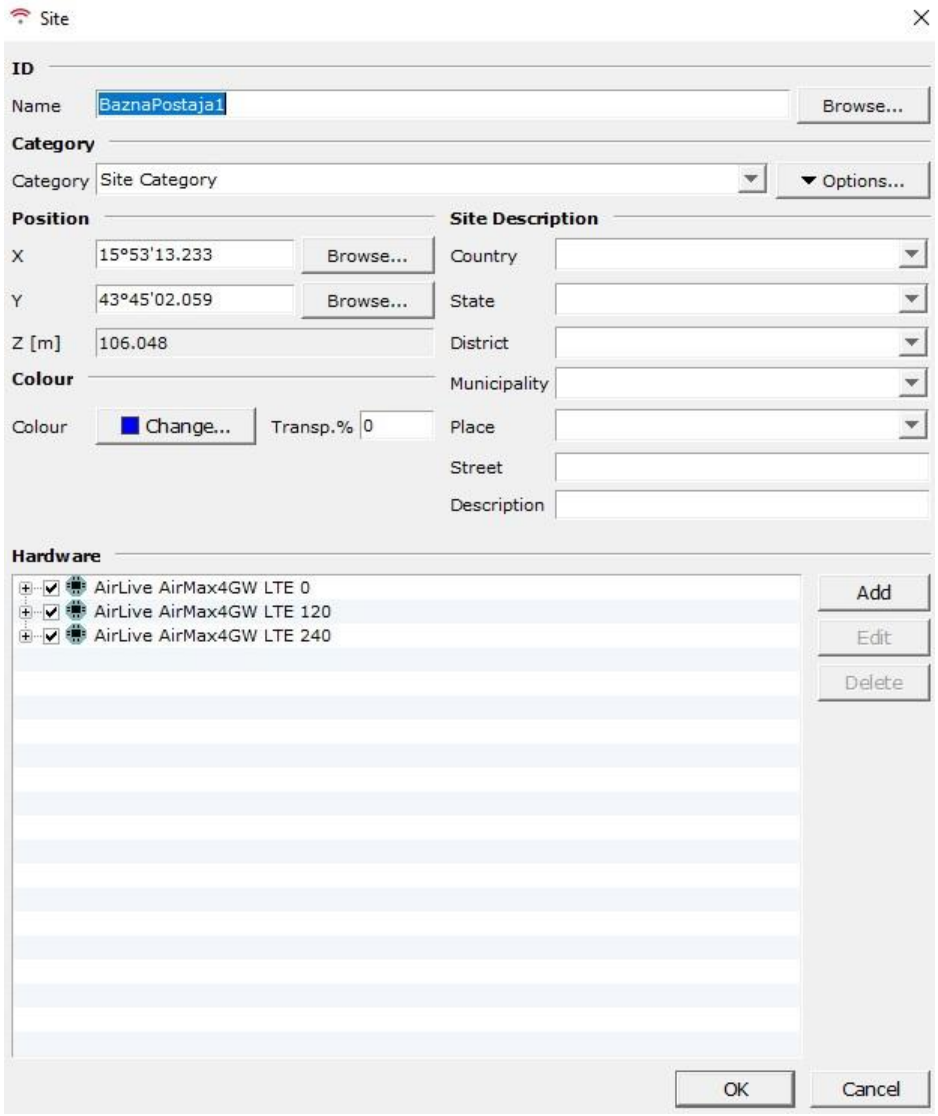
Slika 16. Lokacije baznih stanica

Treba napomenuti kako bazna stanica broj 1 sa svojim antenama tvori dvije ćelije koje su pod azimutom od 0° i 120 ° i poslužuju korisnike unutar četvrti Meterize, dok antena pod azimutom od 240° služi za pokrivanje malog dijela četvrti i dijela grada

zapadno od četvrti. S druge strane bazna stanica broj 2 se sastoji od dvije ćelije pod azimutom od 210° i 300°. Nakon postavljanja točnih lokacija unutar softvera je potrebno definirati tehnologije i karakteristike antena. U nastavku je prikazan način definiranja parametara za svaku tehnologiju posebno.

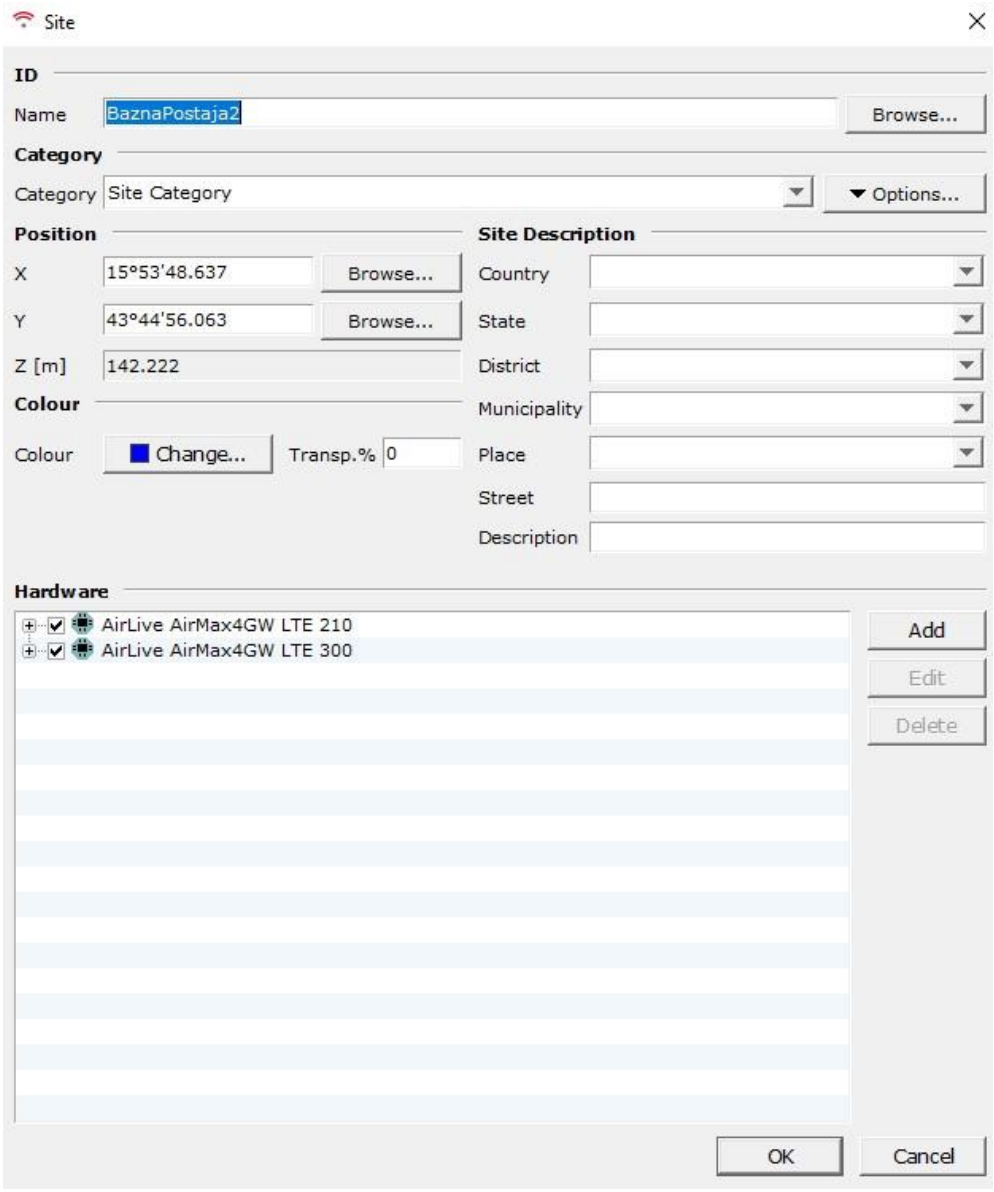
7.4.1. LTE tehnologija

Prvi korak u definiranju LTE bazne postaje je dodjeljivanje hardvera navedene tehnologije lokacijima koje su odabrane u prethodnom koraku. U ovom radu za simulaciju LTE mreže koristi se tehnologija LTE 2600 MHz.



Slika 17. Definiranje LTE postavki bazne stanice broj 1

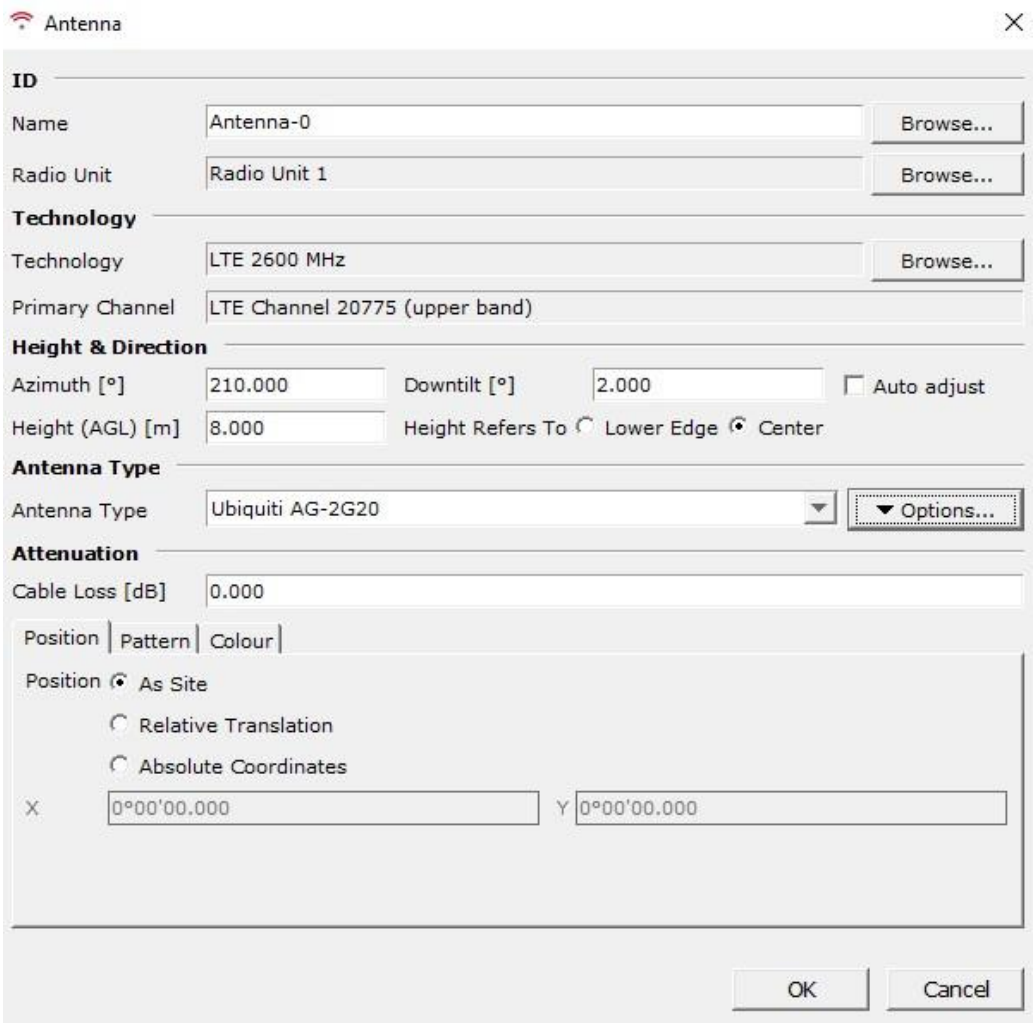
Treba napomenuti kako svaki od navedenih LTE hardvera za posluživanje postoji predefiniran unutar programa. Po potrebi program ima mogućnost izrade novih hardvera što u ovom radu nije slučaj.



Slika 18. Definiranje LTE postavki Bazne stanice broj 2

Nakon definiranja hardverskih komponenti za svaku baznu stanicu, sljedeći korak se sastoji od specificiranja karakteristika radijskog sučelja svakog pojedinog hardvera. Treba napomenuti kako svako radijsko sučelje mora koristiti različite kanale kako ne bi došlo do neželjene interferencije što znači da će dvije bazne stanice u četvrti posluživati korisnike na pet različitih kanala.

Sljedeći korak prikazan na slici 19 se sastoji od odabira antene, postavljanja visine antene, postavljanja azimuta, downtilt-a i odabira kanala na kojem će posluživati korisnike. Za LTE simulacije koristiti će se antene UBIQUITI AG-2G20. Bazna stanica broj 1 postavljena je na ukupnoj visini 11 metara od tla, sa 3 antene razmaknute za 120°. Dok je bazna stanica broj 2 postavljena na visini 8 metara od tla sa dvije antene od kojih je jedna pod azimutom od 210° , a druga 300°. Također treba napomenuti kako je na baznim stanicama postavljen parametar downtilt 2°.

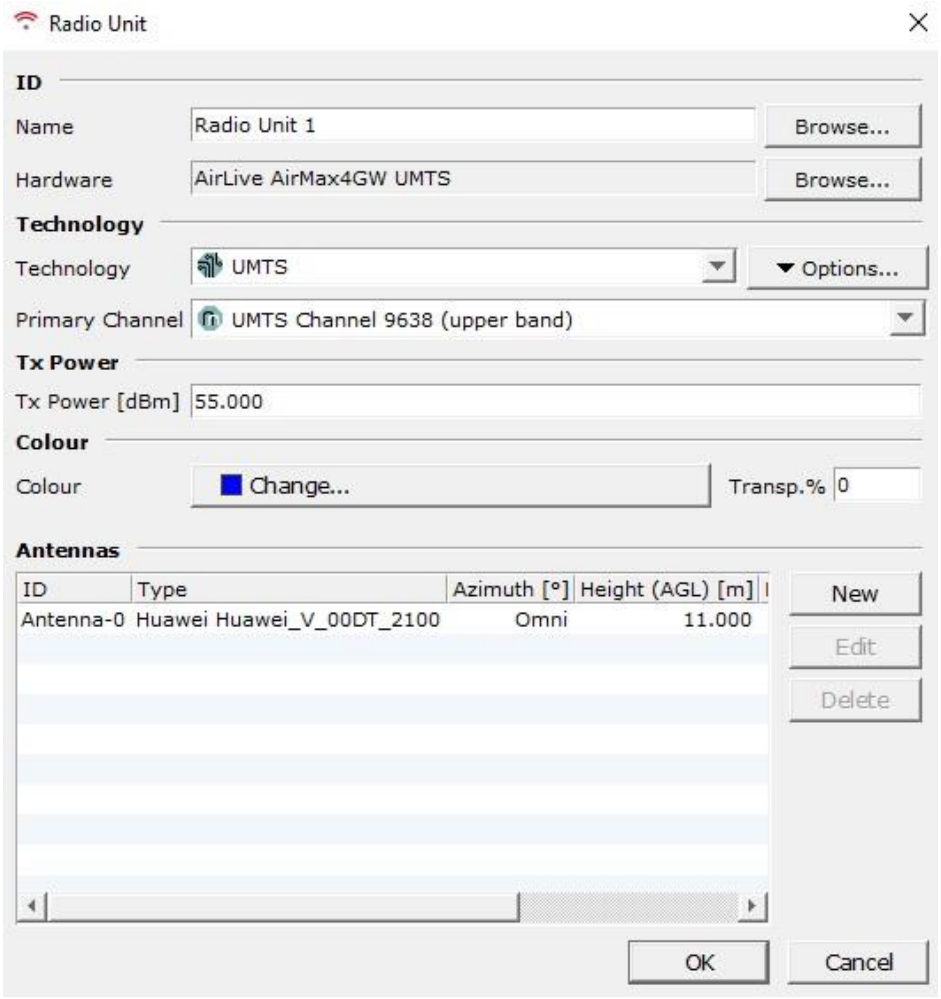


Slika 19. Definiranje vrste LTE antene, azimuta, visine i downtilt-a baznih stanica

Važna stavka koju također treba napomenuti je kako za LTE tehnologiju koja će se simulirati svi navedeni antenski hardveri imaju snagu Tx = 43.010 dBm.

7.4.2. UMTS tehnologija

Za razliku od prethodno definirane LTE tehnologije, prilikom simuliranja UMTS tehnologije koristiti će se omnidirekcionalne antene. Parametri visine antenskih sustava ostaju isti kao i kod LTE tehnologije s obzirom da se antene nalaze na istoj baznoj stanici. Međutim za razliku od LTE tehnologije koja je koristila zadanu snagu od Tx= 43.010 dBm, UMTS antenski sustav će koristiti nešto drugačije vrijednosti kako bi se adekvatno pokrila četvrt. Točnije bazna stanica broj 1 ima snagu Tx = 55.000 dBm, dok bazna stanica broj 2 ima snagu Tx= 50.000 dBm.

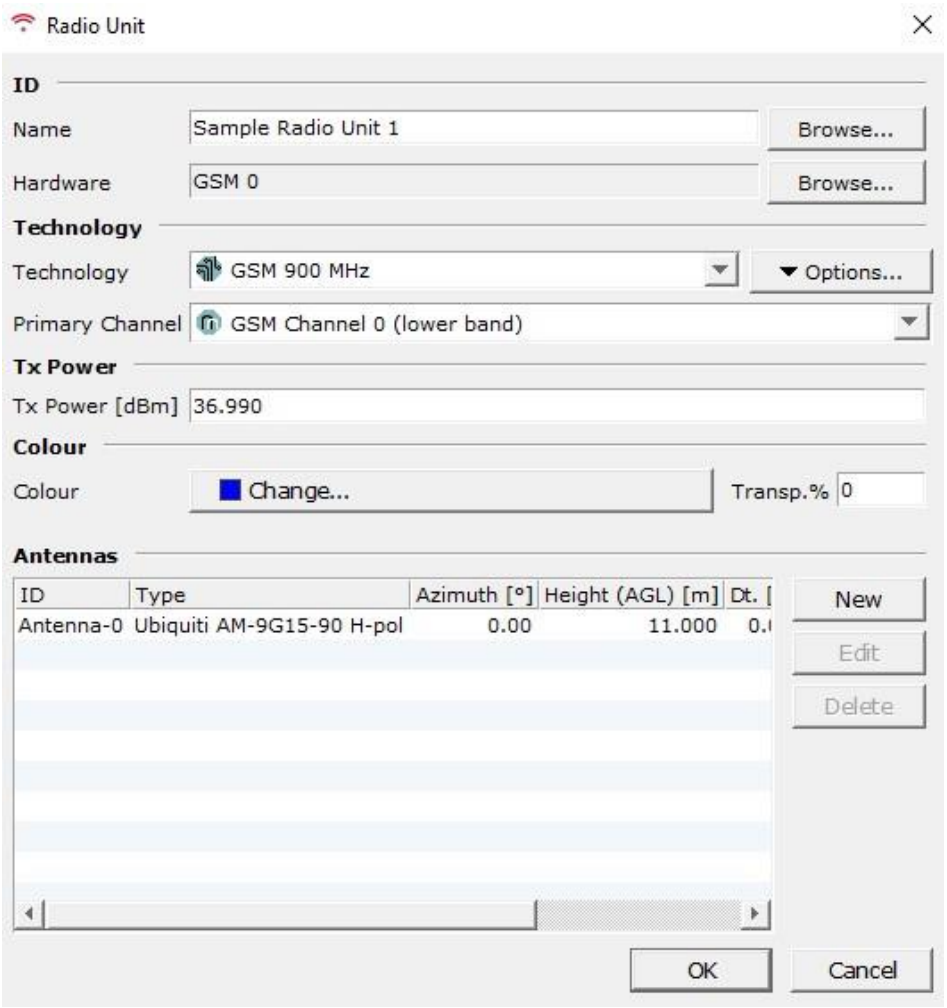


Slika 20. Definiranje UMTS postavki

Za simulacije s UMTS tehnologijom koriste se Huawei_V_00DT_2100 omnidirekcionalne antene kao što je prikazano na slici 20.

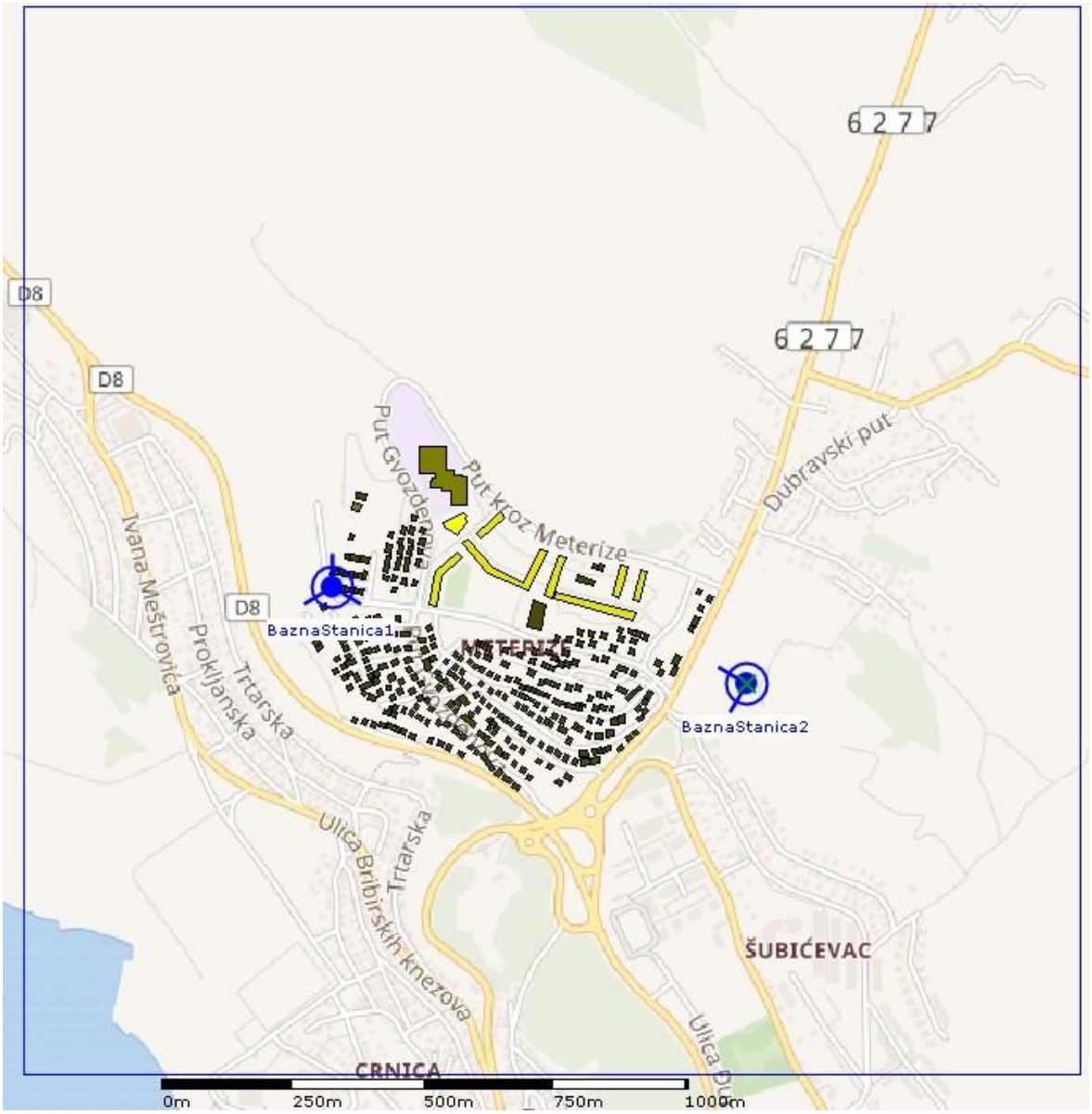
7.4.3. GSM tehnologija

Antenski sustavi za GSM tehnologiju na baznim stanicama definirani su zadanom snagom od Tx = 36.990 dBm, te su kao i sustavi za posluživanje prethodno navedenih tehnologija postavljeni na iste visine. Nadalje sustavi za GSM tehnologiju na baznoj stanici broj 1 se sastoje od tri antene međusobno pomaknute za 120°, dok su na baznoj stanici broj 2 postavljene dvije usmjerene antene s azimutom od 210° i 300° kao i kod prethodno navedene LTE tehnologije.



Slika 21. Definiranje GSM postavki

Važno je napomenuti kako antenski sustav na baznoj stanici broj 1 koristi horizontalnu polarizaciju, dok antenski sustav na baznoj stanici broj 2 koristi vertikalnu polarizaciju. Također je bitno naglasiti kako se koristi GSM 900 tehnologija.



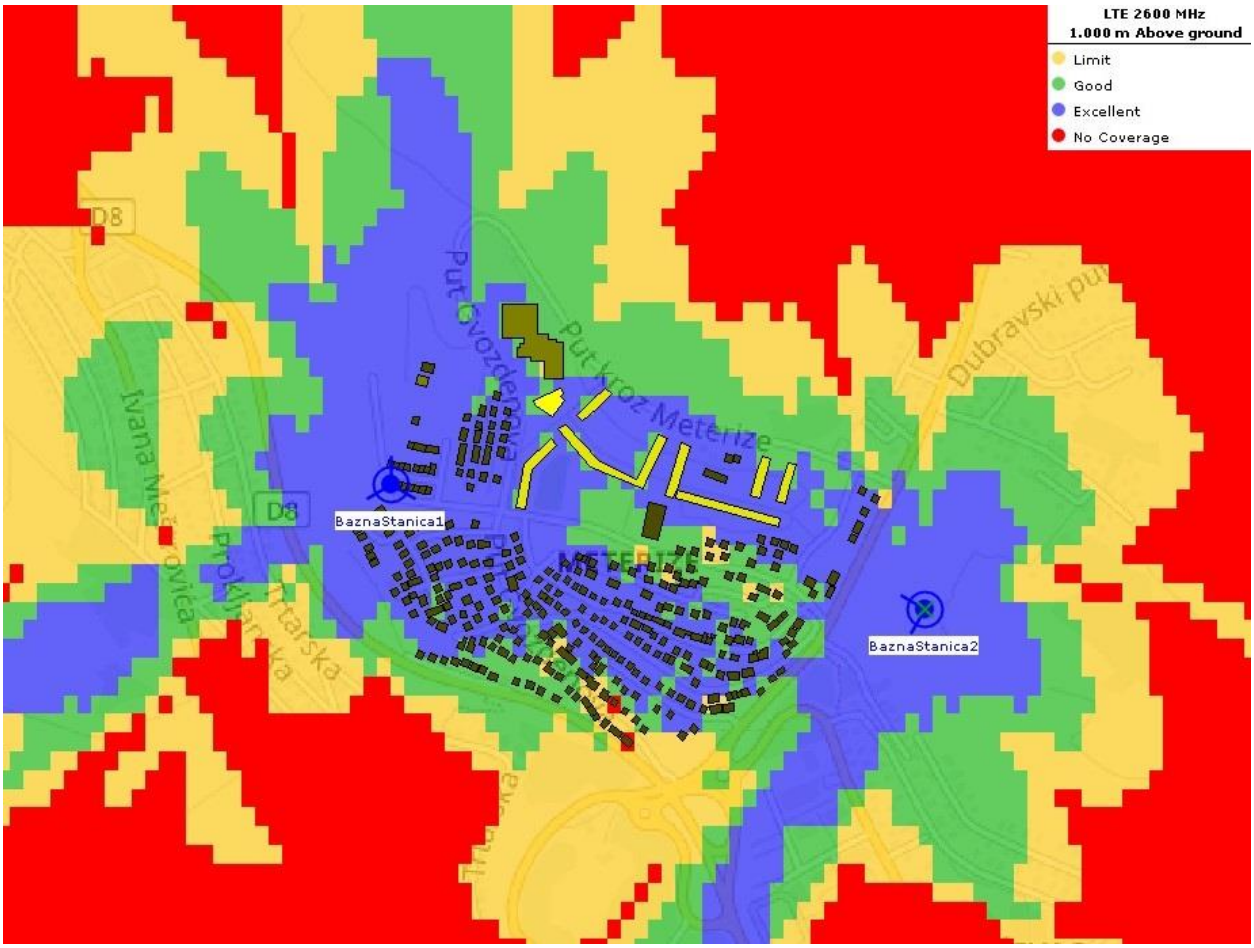
Slika 22. Konačan izgled četvrti unutar WiMAP 4G nakon definiranja postavki

Konačan izgled sa s postavljenim parametrima baznih stanica tj. antenskih sustava, uvezenim građevinama s određenim visinama i odabranim propagacijskim modelom prikazan je na slici 22. U nastavku će se izvršiti simuliranje za dva slučaja. Slučaj 1 će podrazumijevati simulaciju sa dvije bazne stanice koje su prikazane na slici 22, dok će se u drugom slučaju dodati još jedna bazna stanica na fiktivno dodanu građevinu sjevero-zapadno od četvrti kako bi se simuliralo širenje četvrti. Područje sjevero-zapadno od četvrti odabran je iz razloga što se na tom prostoru nalazi građevinska zona i vrlo je vjerovatno da će se u skoroj budućnosti na tom mjestu izgraditi stambeni objekti i samim time proširiti četvrt, odnosno povećati broj korisnika koji se moraju poslužiti na širem području.

7.5. Slučaj 1: Simulacija stanja pokrivenosti mobilnim mrežama u gradskoj četvrti Meterize-Šibenik

U prvom slučaju će se obraditi simulacija unutar programa WiMAP 4G sa svim prethodno unesenim parametrima za GSM, UMTS i LTE tehnolgiju i definiranim baznim stanicama. Prilikom izvođenja simulacija odabrani propagacijski model je Erceg B koji najviše odgovara suburbanom simuliranom području. Ovaj slučaj pokušava simulirati stvarno stanje pokrivenosti četvrti LTE,UMTS i GSM tehnologijama.

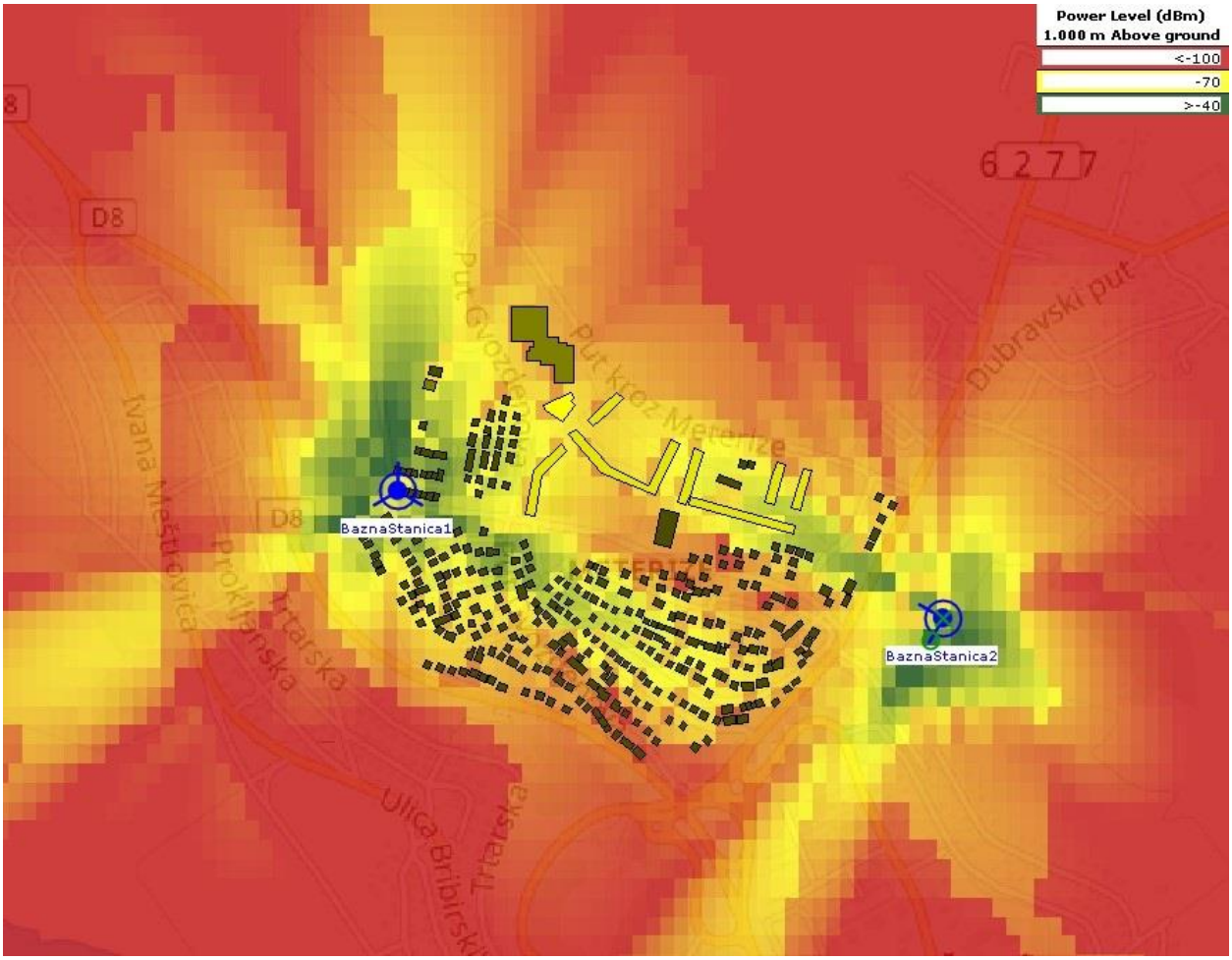
7.5.1. Simulacija LTE tehnologije



Slika 23. Pokrivenost LTE signalom

Na slici 23 su prikazani rezultati simulacije pomoću kojih se može vidjeti pokrivenost LTE signalom unutar mikroćelija. Svaki LTE antenski sustav ima razinu snage

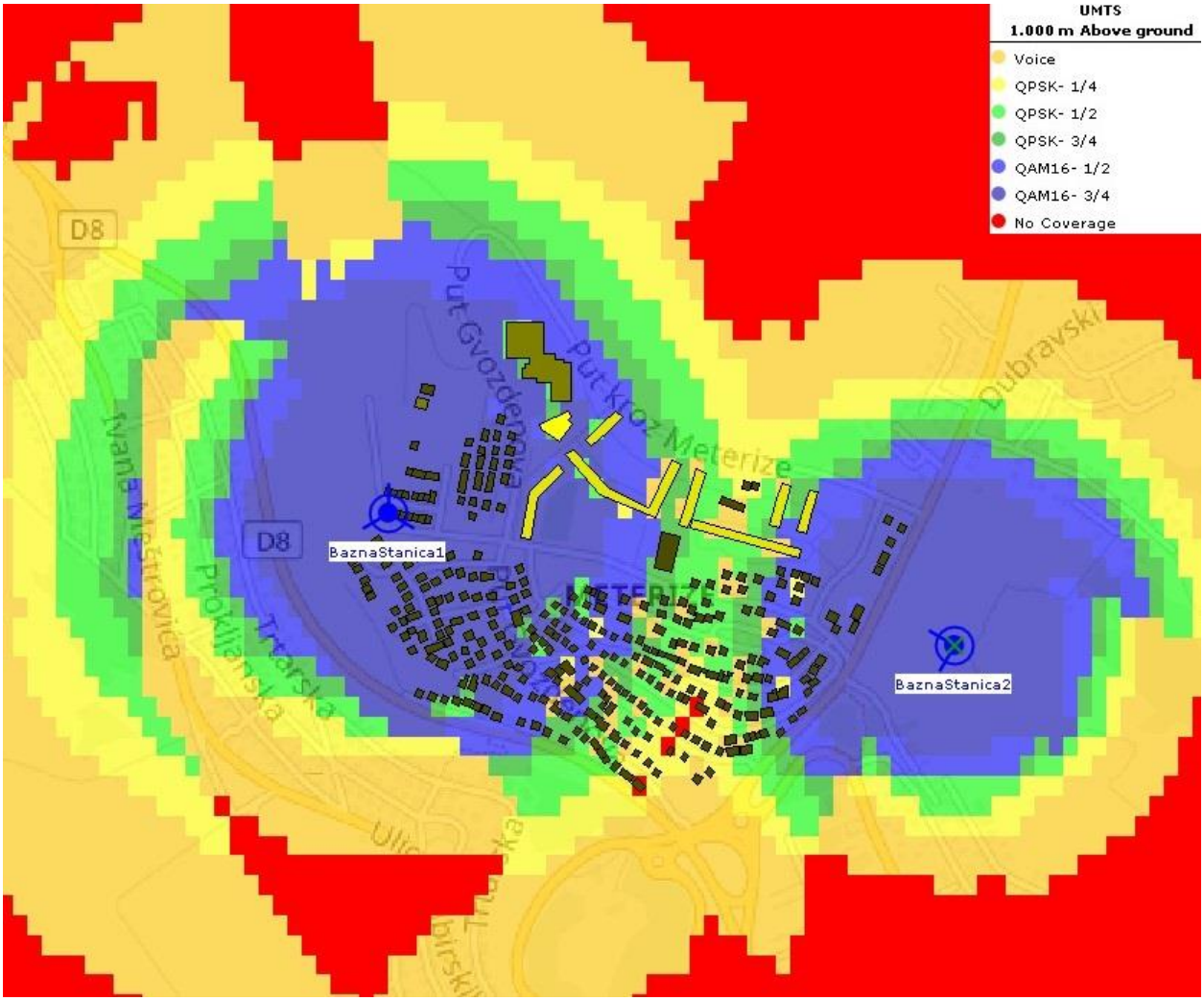
emitiranja od Tx = 43.010 dBm. Plava poja prikazuje najbolju pokrivenost, zelena boja dobru pokrivenost, žuta boja ograničenu pokrivenost i crvena boja prikazuje mjesta koja nisu pokrivena. Na slici 23 i 24 se također može vidjeti utjecaj građevina i brdovitog područja oko četvrti na pokrivenost signalom.



Slika 24. LTE razina snage unutar mikro ćelija

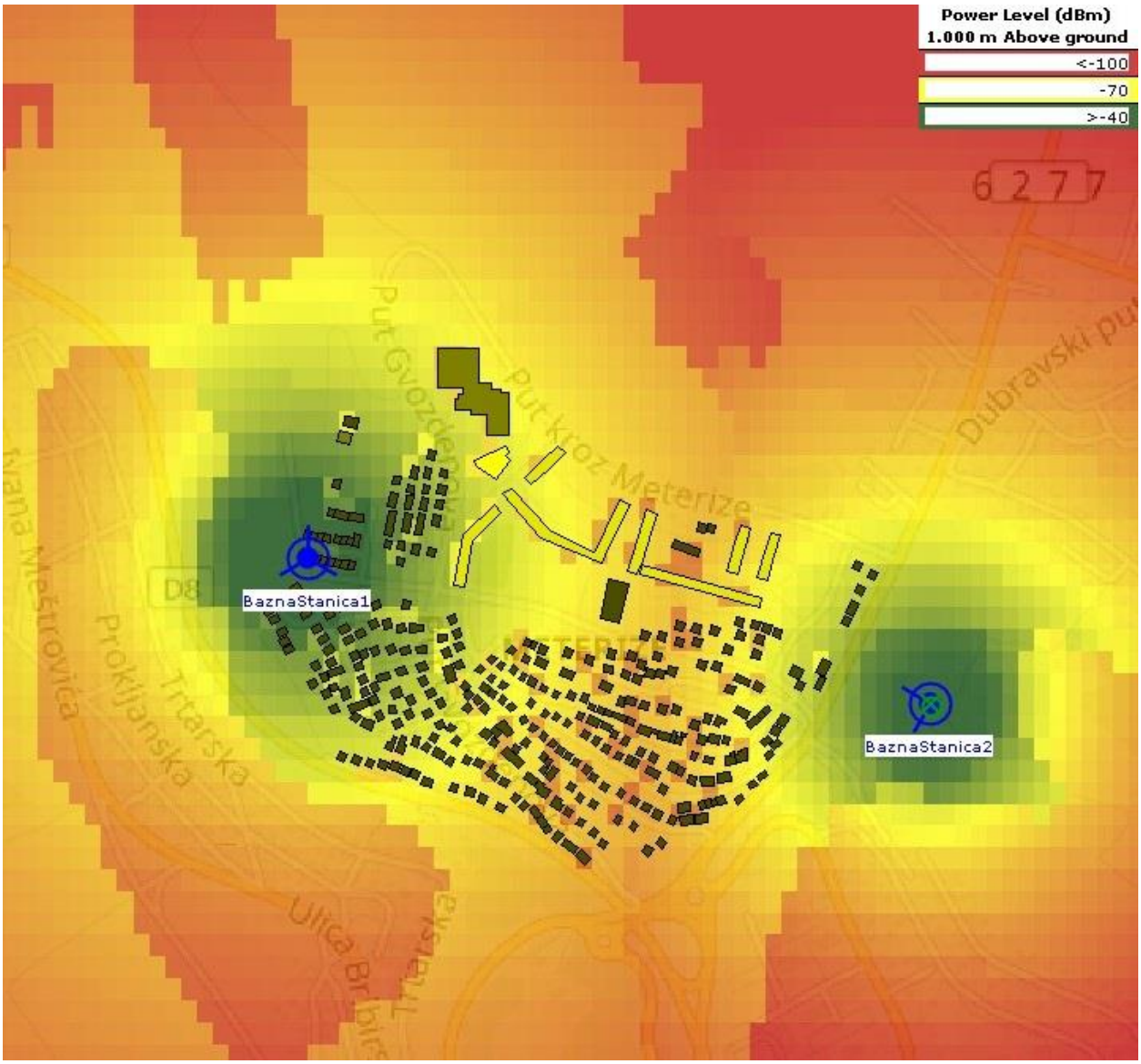
Zbog specifičnosti terena oko četvrti i položaja antena na baznim stanicama, vidljivo je kako područja pokrivenosti imaju oblik koji se prilagođava terenu s obzirom da se brdovito područje i građevinski objekti definiraju kao prepreka signalu. Na slici 24 je prikazana simulacija razine snage unutar mikroćelija. Zelena boja prikazuje područja s visokom snagom, žuta boja prikazuje područja s 70 dBm-a i crvena boja prikazuje područja s najnižom razinom snage.

7.5.2. Simulacija UMTS tehnologije



Slika 25. Pokrivenost UMTS signalom

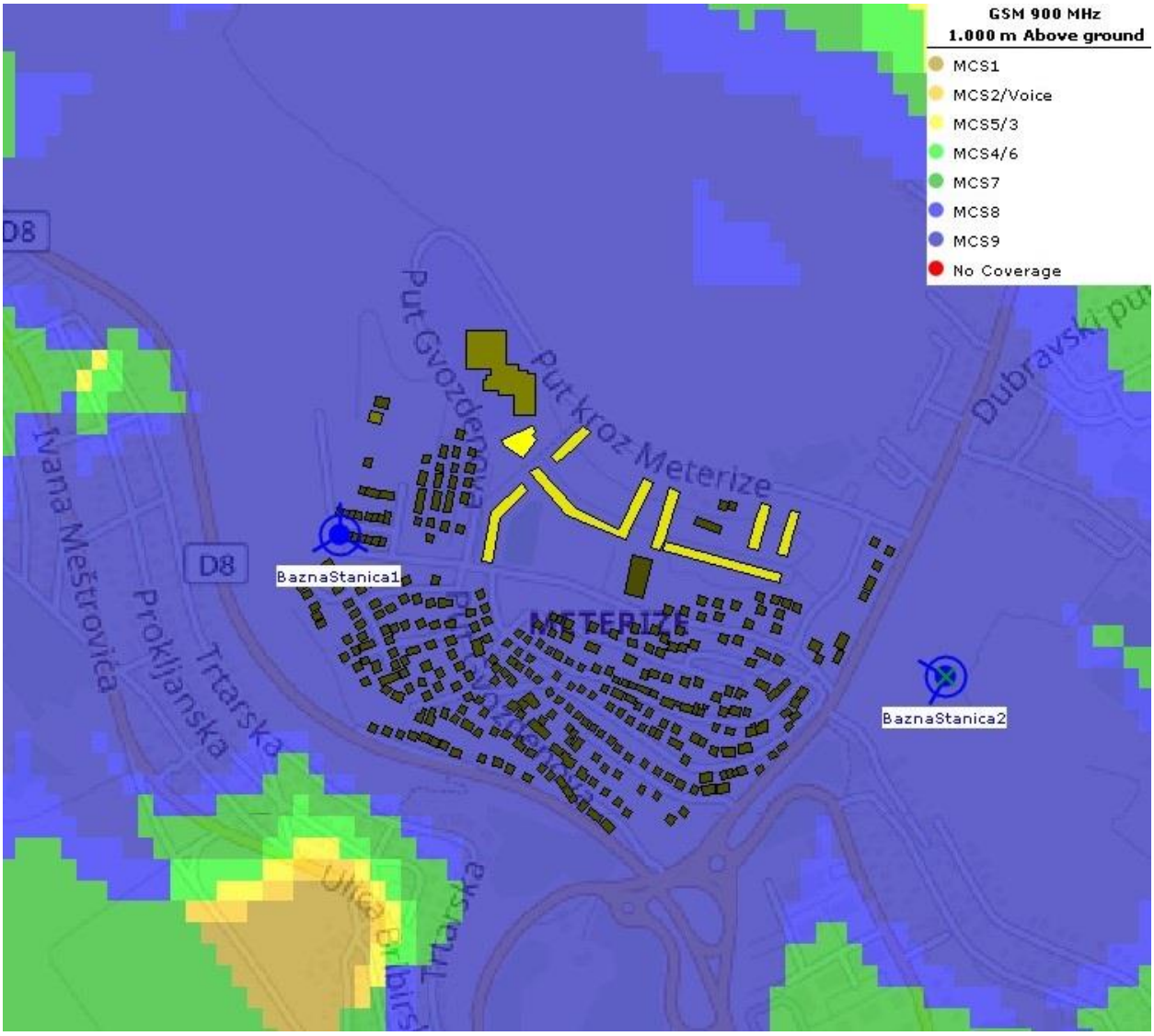
Simulacijom UMTS tehnologije može se vidjeti karakterističan oblik zračenja antena s obzirom da se koriste omnidirekcionalna antene. Također je vidljivo kako bazna stanica 1 pokriva veći prostor s obzirom da ima postavljenu veću snagu u iznosu od Tx = 55 dBm, dok bazna stanica broj 2 ima nešto manju snagu emitiranja Tx = 50 dBm. Povećanje udaljenosti od bazne stanice rezultira korištenjem slabije tehnike modulacije i samim time smanjenjem brzine komunikacije. Tako da najtamnija područja koriste najbolju modulaciju QAM16 – ¾, dok najsvjetlija područja koriste najslabiju modulaciju QPSK-1/4. Područja unutar crvene boje nisu pokrivena signalom.



Slika 26. UMTS razina snage unutar mikro ćelija

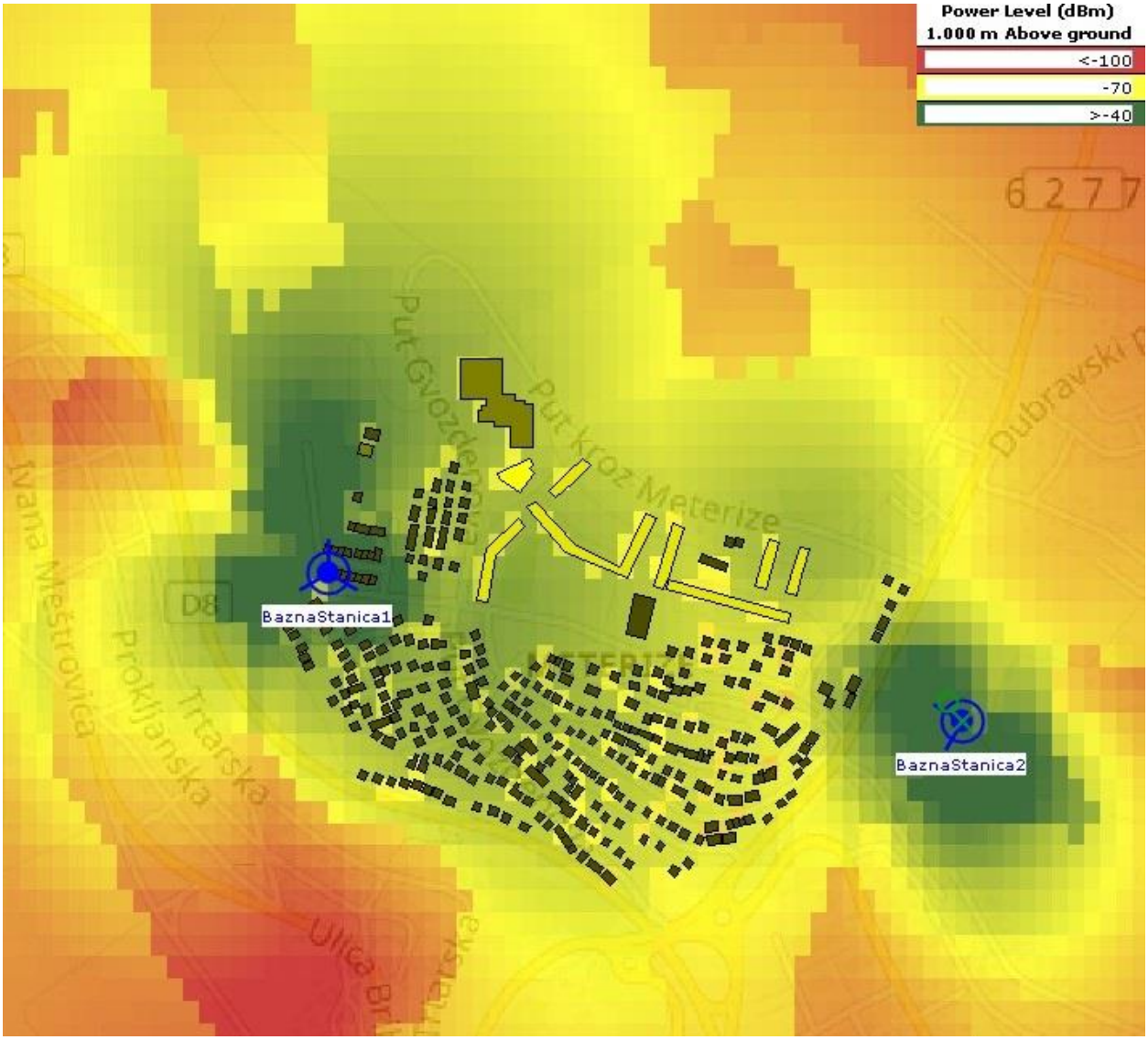
Slika 26 prikazuje simulaciju razine snage UMTS signala unutar mikro ćelija za područje četvrti. Kao i u prethodnom slučaju simuliranja LTE tehnologije može se vidjeti utjecaj brdovitog područja i građevina na propagaciju signala. Zelena boja prikazuje područja s najboljom razinom snage, žuta sa iznosom snage od 70 dBm-a dok crvena boja prikazuje najslabije pokrivena područja.

7.5.3. Simulacija GSM tehnologije



Slika 27. Pokrivenost GSM signalom

Zbog činjenice da se u slučaju simuliranja GSM tehnologije koristi frekvencijsko područje od oko 900 MHz razina pokrivenosti signalom je znatno veća nego u prethodnim slučajevima gdje su se koristile veće frekvencije. Upravo zbog toga područje cijele četvrti je pokriveno radio signalom E-GPRS (MSC9) te u pravilu ne postoji područje unutar definiranog prostora za simuliranje koje nije pokriveno GSM signalom. Postavljena snaga baznih stanica iznosi zadanih Tx = 36.990 dBm.

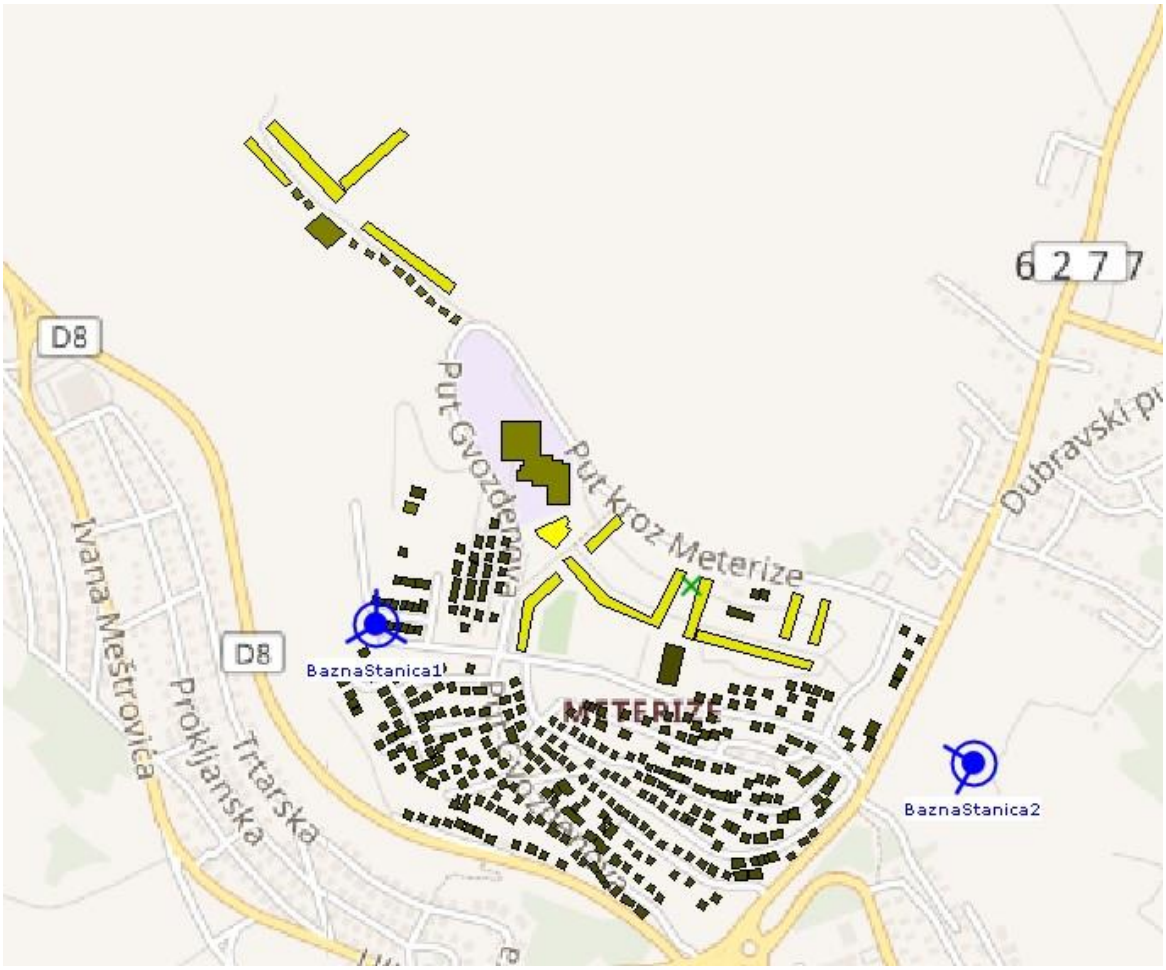


Slika 28. GSM razina snage unutar mikro ćelija

Slika 28 prikazuje simuliranu razinu snage unutar mikro ćelija. Kao i u prethodnim slučajevima može se vidjeti utjecaj okolnog terena i građevina na propagaciju signala. Također je vidljivo kako za razliku od drugih tehnologija GSM 900 ima najviše prostora koja imaju najvišu razinu snage.

7.6. Slučaj 2: Simulacija stanja pokrivenosti uz dodatne građevine i baznu stanicu

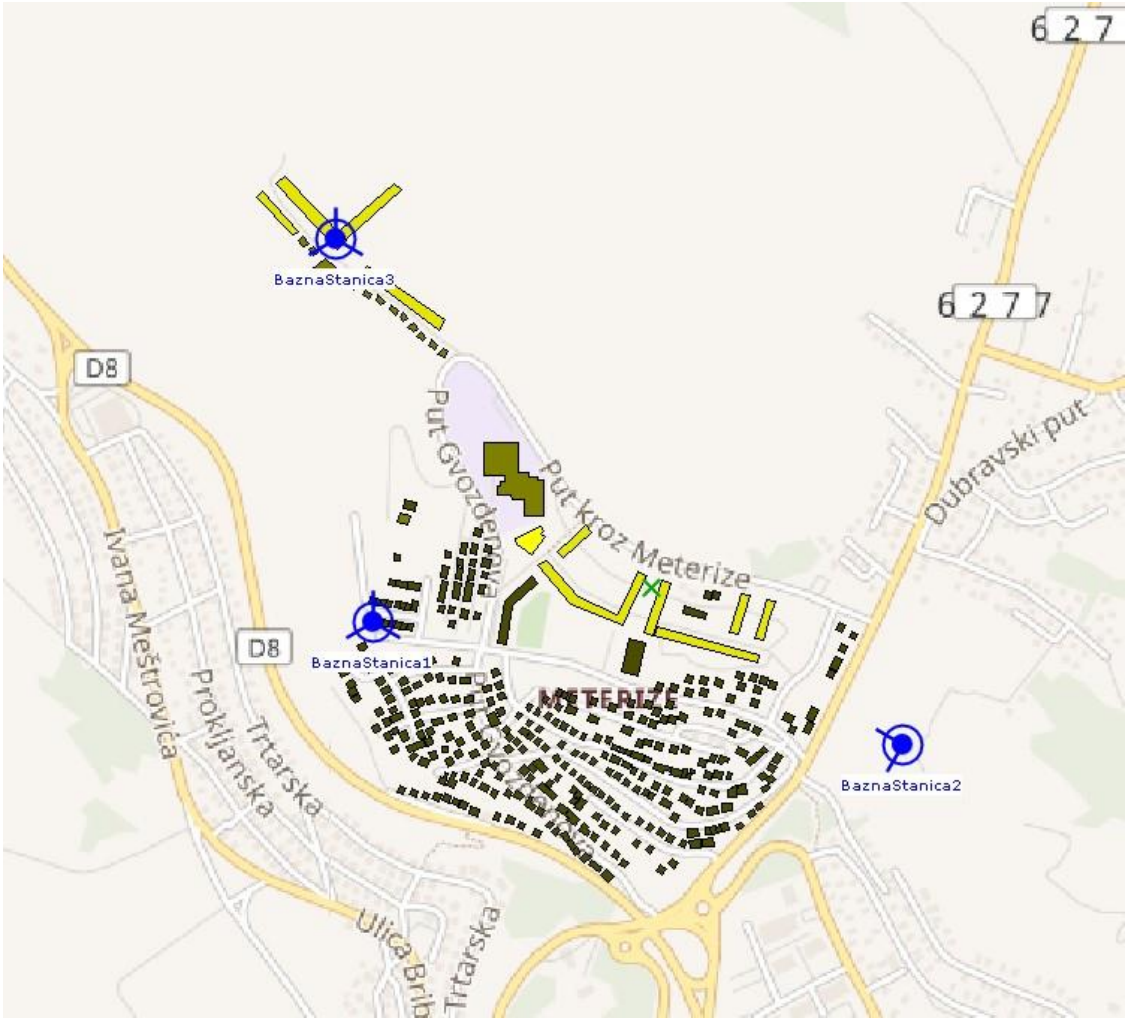
Slučaj 2 koji je prikazan na slici 29 podrazumijeva dodavanje građevinskih objekata na sjeverozapadni dio četvrti kako bi se simulirao rast odnosno širenje četvrti. Definirana je nekolicina proizvoljnih građevina koja se sastoji od 4 zgrade visine 21 metar, te desetak kuća i jedan komercijalni objekt visine 8 metara. Visine zgrada i kuća su iste kao i u ostatku četvrti. Propagacijski model (Erceg B) je isti kao i u prethodnim simulacijama.



Slika 29. Proizvoljno dodane građevine

7.6.1. Definiranje nove bazne stanice

Nova bazna stanica pod brojem 3 će se sastojati od sustava pristupa GSM, UMTS i LTE tehnologiji kao i u slučaju 1. Na slici 30 može se vidjeti kako je bazna stanica postavljena na zgradu. Visina zgrade iznosi 21 metar, dok je antenski sustav visok 5 metara što rezultira ukupnom visinom od 26 metara. LTE tehnologiju će podržavati antenski sustav od 3 antene međusobno pomaknute za 120°. UMTS tehnologija će koristiti omnidirekcionalnu antenu, dok će GPS tehnologija koristiti sustav od 3 antene međusobno pomaknute za 120° kao i kod LTE sustava. GPS i LTE antene imaju downtilt od 2°.



Slika 30. Dodavanje nove bazne stanice broj 3

Lokacija bazne stanice odabrana je zbog jeftinijeg pristupa izgradnje sustava na visokom građevinskom objektu nego u okolini. S obzirom da se u okolici nalazi relativno nepristupačan teren bilo bi potrebno izgraditi cijelu prilaznu infrastrukturu što bi rezultiralo znatno većim troškovima.

Procjena kapitalnih i operativnih rashoda investicije nove bazne stanice za ukupno područje pokrivanja u iznosu od jednog kilometra četvornog određena je pomoću varijabli iz modela prikazanog u tablici 4 i 5. Četvrt se sastoji od približno 1500 kućanstava po kilometru četvornom.

CAPEX VARIJABLE	
Primarna distribucija	
Troškovi planiranja (/m)	0,25
Troškovi dozvola (/m)	0,3
Troškovi kopanja (/m)	15
Troškovi instalacijskih radova (/m)	5
Troškovi materijla za pasivnu infrastrukturu (/m)	8
Troškovi katastra (/m)	1
Pokrivenost aktivnog čvora (km2)	3
Ukupna površina pokrivanja (km2)	1
Troškovi pasivne opreme čvora	50.000,00
Troškovi aktivne opreme čvora	25.000,00
Broj aktivnih čvorova	4,00
Prosječan broj korisnika mreže po aktivnom čvoru (ukupan broj kućanstava/broj čvorova	375
Penetracija	50,00%
Efektivan broj korisnika po čvoru (50% penetracija)	188,00
Sekundarna distribucija (korisnici)	
Troškovi planiranja	2
Troškovi pasivne opreme	0
Troškovi aktivne mrežne opreme	250
Dodatne varijable	
Primarna distribucija	
% kopanja popločanih površina	30,00%
% povećanja troškova gradnje zbog sanacije	100,00%
Sekundarna distribucija	
% zračnih veza	0
Prosječna udaljenost (m)	0

% smanjenja troškova gradnje zbog zračnih priključaka	0
% kopanja popločanih površina	30,00%
% povećanja troškova gradnje zbog sanacije	100,00%
% teritorija za pokrivanje populacije	50,00%

Tablica 4. CAPEX varijable

OPEX VARIJABLE	
Troškovi energije mjesečno po čvoru (kWh * 0,1EUR)	550
Troškovi energije mjesečno po korisniku	2,93
Vrijednost po korisniku zbog zastarjelosti opreme (7 god)	4,5593
Trošak najma infrastrukture	0
Mjesečni troškovi održavanja po čvoru	50
Prosječni troškovi održavanja po čvoru / korisniku	0,2660
Prosječni troškovi održavanja na strani korisnika	0,5
TOTAL OPEX po korisniku mjesečno (EUR)	**8,25**

Tablica 5. OPEX varijable

Korištenjem kaluklatora planiranja telekomunikacijskih mreža uz sve navedene varijable iz tablice 4 i 5 i uz gustoću naseljenosti od 1500 kućanstava po kilometru četvornom dolazi se do konačnog rezultata troškova investicije nove bazne stanice.

CAPEX	
Projektna dokumentacija	203
Troškovi vezani uz suglasnosti i dozvole za izvođenja projekta	240
Građevinski radovi	15 600
Pasivna infrastruktura instalacijski troškovi (kabliranje, spajanje, mjerenja)	4 000
Troškovi prostora za smještaj čvorova mreže (primary nodes)	200
Troškovi materijla i pasivne opreme	6400
Troškovi aktivne opreme	288
Nadzor procesa gradnje (1% troškova gradnje)	269
Premjeravanje i evidentiranje radova za katastar komunalnih usluga	800
TOTAL CAPEX	**28 000**

Tablica 6. Ukupni kapitalni troškovi

OPEX	
OPEX po korisniku	8,25
Efektivni broj korisnika (50% kućanstava)	750
Duljina projekta u mjesecima (20 godina)	240
TOTAL OPEX	**1 485,137**

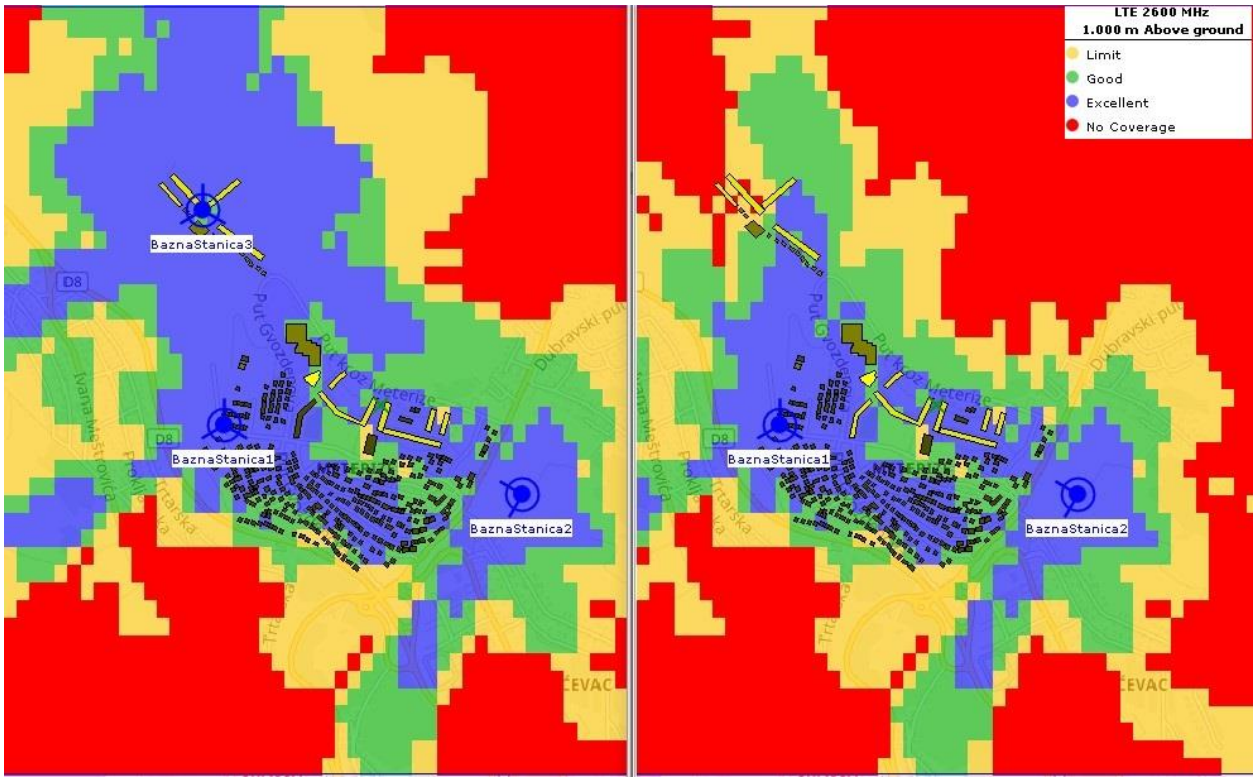
Tablica 7. Ukupni operativni troškovi

Iz tablica 6 i 7 može se zaključiti kako zbrojem ukupnih operativnih i kapitalnih troškova investicija nove bazne postaje iznosi približno 29 485 €.

Također treba napomenuti jednu zanimljivost kako prema [14] “Hrvatska je jedina zemlja u Europi u kojoj nije potrebna građevinska ili lokacijska dozvola ni za antenske stupove (tornjeve) na tlu niti za krovne prihvate na krovovima postojećih objekata. Osim toga, Hrvatska je jedna od samo četiri zemlje u Europi u kojoj nije obavezna javna rasprava, pa čak ni obavještavanje lokalne zajednice i lokalne uprave o planiranim lokacijama baznih stanica.”

7.6.2. Simulacija LTE tehnologije

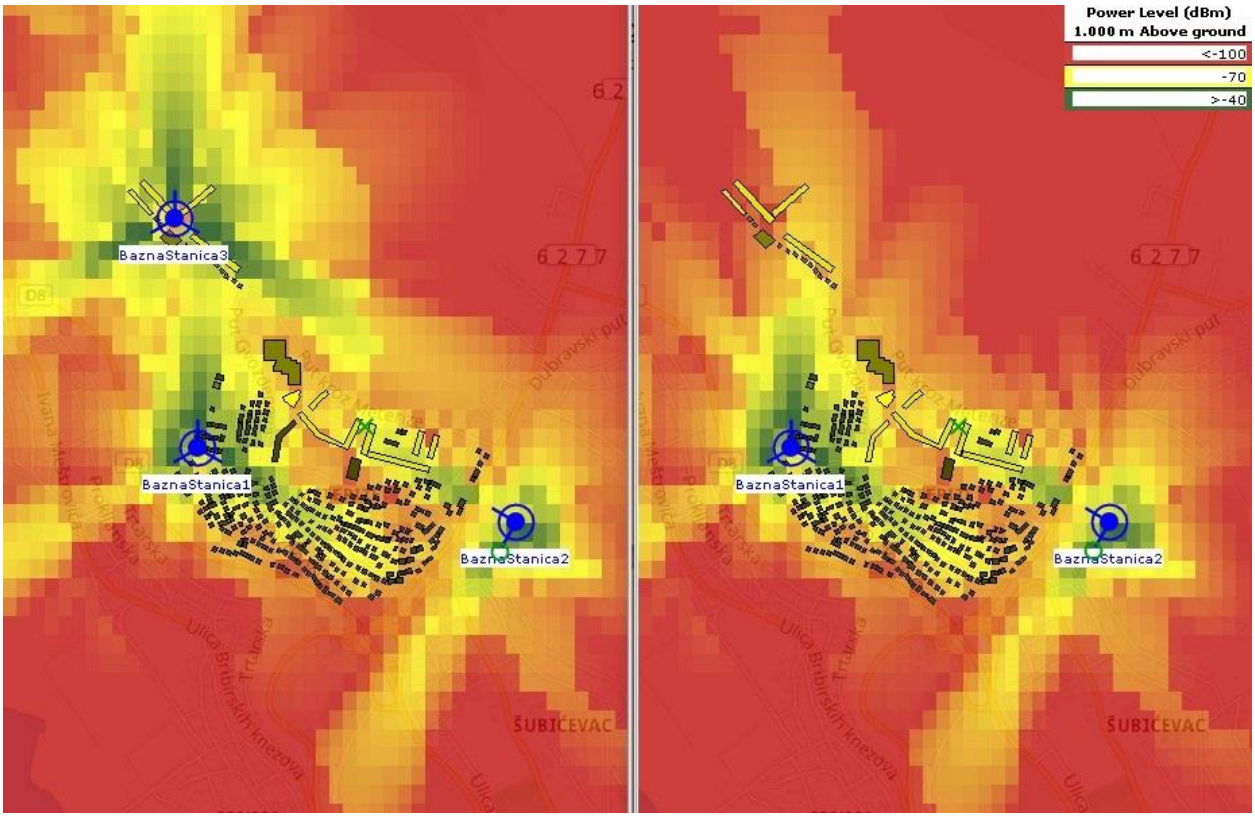
Snaga LTE sustava nove bazne stanice iznosi Tx= 43.010 dBm kao i u prethodnim slučajevima LTE simulacija. Na slici 31 s desne strane se može vidjeti kako područje pokrivenosti bez nove bazne stanice rezultira takvom pokrivenosti da je dio novododanih građevinskih objekata koji je bliže baznoj stanici broj 1 dobro do odlično pokriven, međutim dio koji se nalazi dalje od bazne stanice broj 1 je jako loše do nikako pokriven LTE signalom.



Slika 31. Usporedba LTE pokrivenosti koristeći dodatnu baznu stanicu

Dodavajući baznu stanicu broj 3 kao što je prikazano na slici 31 s lijeve strane, dolazi do znatnog poboljšanja pokrivenosti signalom za područje s novoizgrađenim građevinama kao i za potencijalno širenje četvrti u istom smjeru. Također je došlo do poboljšanja pokrivenosti signalom u ostalim djelovima četvrti koje bazna stanica broj 3 sada može poslužiti.

Kao i u prethodnim slučajevima plava boja označava područja s odličnom pokrivenošću, zelena boja označava dobru pokrivenost, žuta boja predstavlja područja s dobrom pokrivenosti i crvena boja područja na kojim usluga nije dostupna.



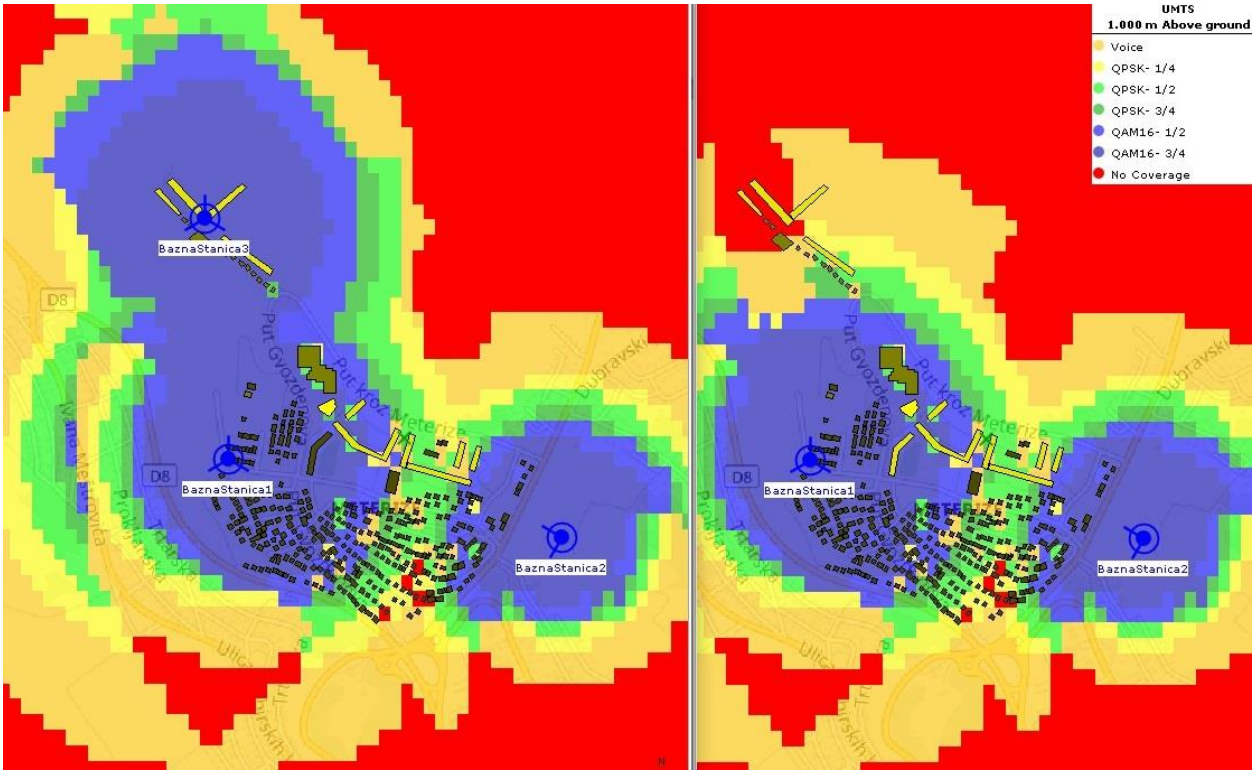
Slika 32. Usporedba LTE razine snage signala uz dodavanje nove bazne stanice

Uz isto korištenje snaga emitiranja na svim baznim stanicama Tx = 43.010 dBm na slici 32 može se vidjeti kako bazna stanica broj 3 prekriva veće područje s visokim razinama snage u odnosu na ostale bazne stanice. Razlog zbog kojeg bazna stanica ima više područja s višom razinom snage je taj što u okruženju ima manje terenskih prepreka i građevinskih objekata koji se nalaze oko nje kao i činjenica da je postavljena na visini od 26 metara.

Zelena boja označava područja s visokom razinom snage, žuta s razinom snage 70 dBm-a i crvena područja s niskom do najnižom razinom snage.

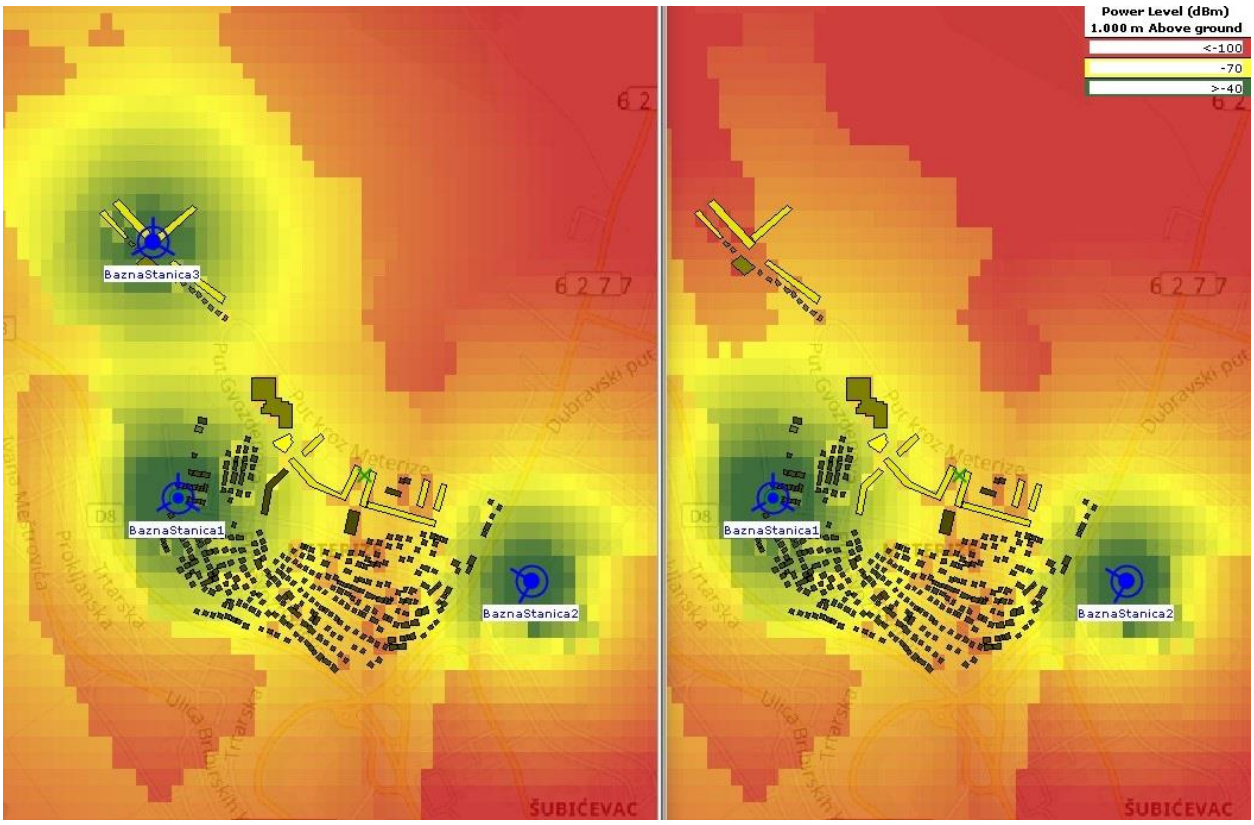
7.6.3. Simulacija UMTS tehnologije

Postavljena snaga nove UMTS bazne stanice iznosi Tx= 55 dBm, isto kao i bazna stanica broj 1, dok bazna stanica broj 2 ima postavljenu snagu Tx = 50 dBm. Na slici 33 može se vidjeti karakterističan oblik prostora pokrivenog signalom omnidirekcionalnim antenama.



Slika 33. Usporedba UMTS pokrivenosti koristeći dodatnu baznu stanicu

Na slici 33 također je vidljivo kako je prostor novoizgrađenih objekata koji do tad nije bio pokriven UMTS signalom, sada ima najbolju pokrivenost. Štoviše omogućeno je širenje i dodavanje građevisnkih objekata koji će u budućnosti biti pokriveni UMTS signalom.

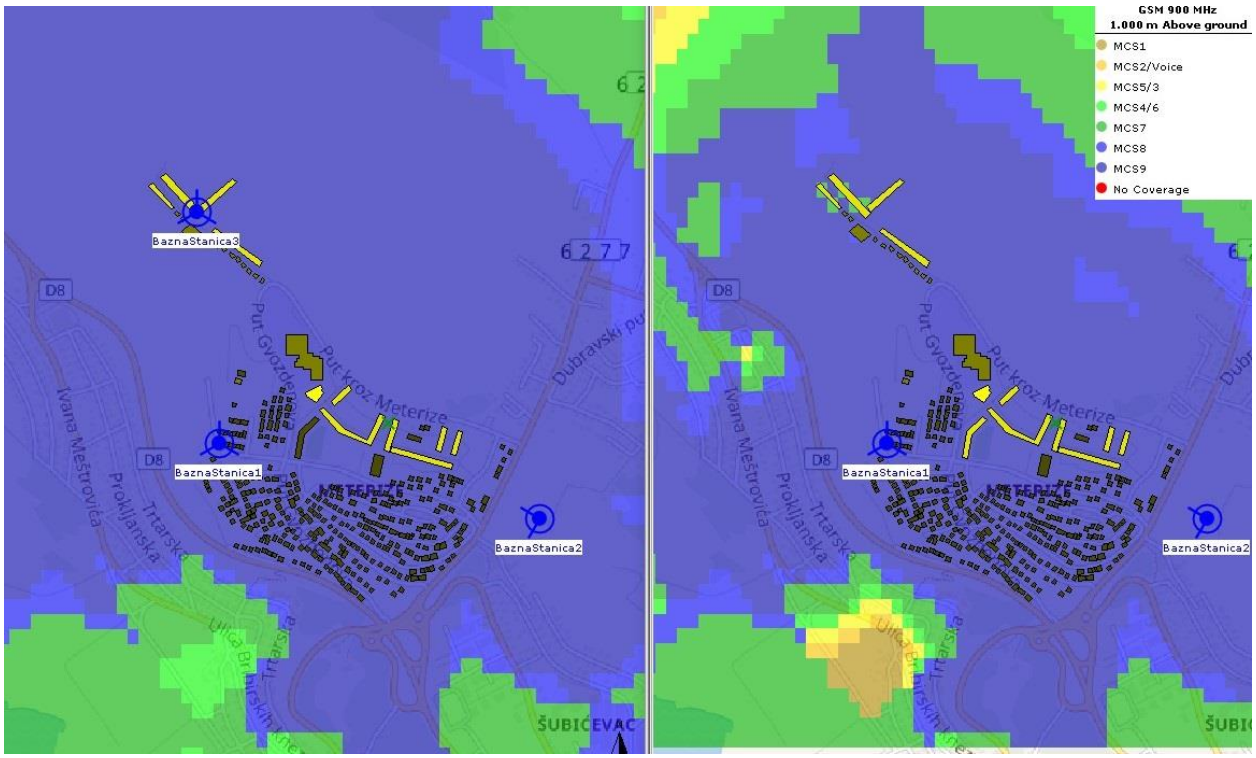


Slika 34. Uporedba UMTS razine snage signala uz dodavanje nove bazne stanice

Zbog korištenja omnidirekcionalne antene nove bazne stanice na znatno većoj visini nego što je to slučaj kod postojećih baznih stanica i nemogućnosti downtilt-a, razina primljene snage je manja. Međutim razina primljene snage je sasvim dovoljna za prostor na kojem se četvrt širi.

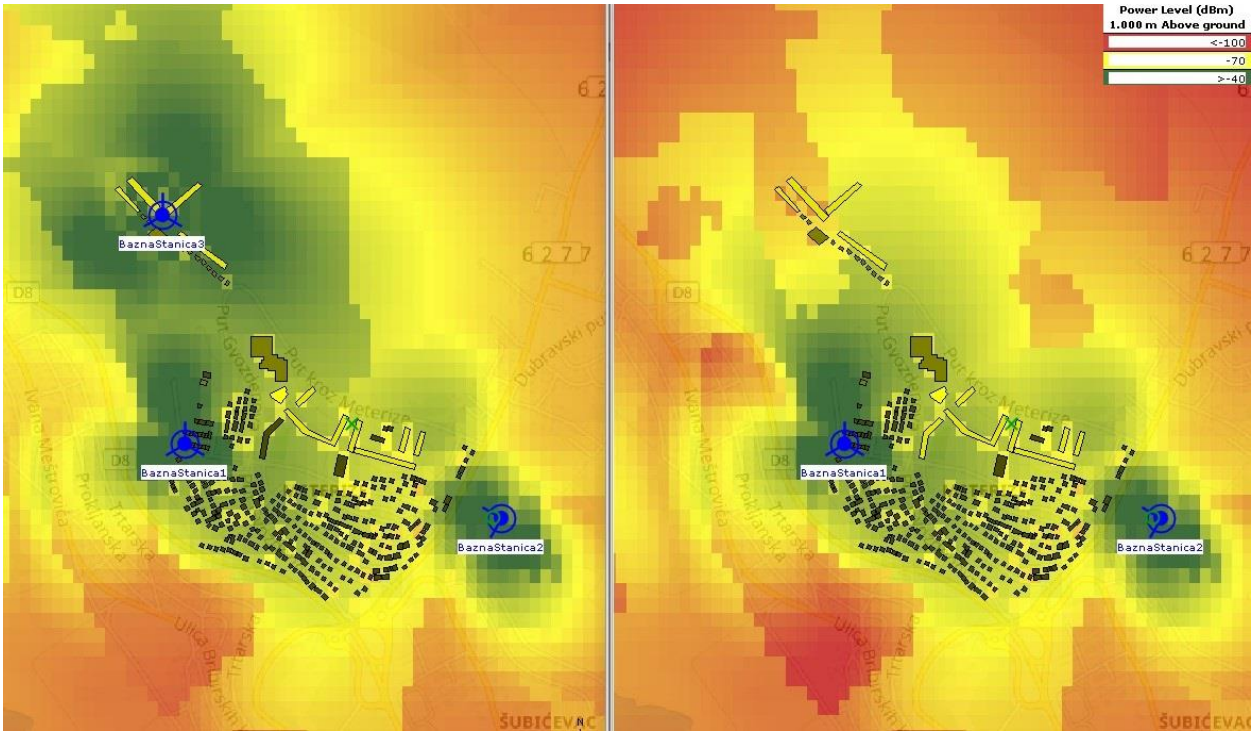
7.6.4. Simulacija GSM tehnologije

Kao i u prethodnom slučaju simuliranja GSM tehnologije, postavljena snaga bazne stanice iznosi zadanih Tx = 36.990 dBm. Na slici 35 je vidljivo kako prije dodavanja bazne stanice broj 3 prostor oko novoizgrađenih građevina ima slabiju pokrivenost GSM signalom.



Slika 35. Usporedba GSM pokrivenosti koristeći dodatnu baznu stanicu

Također treba napomenuti kako signal s bazne stanice slabi ako se korisnik sa svojim terminalnim uređajem nalazi unutar betonskog ili željeznog objekta. Štoviše ako se nalazi na nižim katovima kao što su garaže u novim zgradama, podrumi ili hodnici može doći do potpunog prekida signala.



Slika 36. Uporedba GSM razine snage signala uz dodavanje nove bazne stanice

Dodavanje nove GSM bazne stanice na visinu od 26 metara rezultira znatno većom razinom snage na područjima koja su do tad imala izraženiju slabiju razinu snage.

8. ZAKLJUČAK

Planiranje pokretnih ćelijskih mreža predstavlja kompleksan proces koji zahtijeva temeljito poznavanje različitih generacija mobilnih mreža i korisničkih zahtjeva, kako bi se pravilno pružio potrebni kapacitet na određenoj lokaciji uz najmanje operativne troškove i troškove implementacije uz zadovoljavajuću kvalitetu usluge. Napredak tehnologije od GSM mreže, preko UMTS i LTE do 5G mreže sve više pojednostavljuje arhitekturu i povećava brzinu prijenosa podataka kako u silaznoj, tako i u uzlaznoj vezi. U pogledu povećavanja pokrivenosti, odnosno radijusa ćelija, novije generacije mreža ne pružaju znatno poboljšanje, ali zato pružaju neusporedivo veću brzinu prijenosa. S obzirom da se u novijim generacijama mreža koriste nove ortogonalne tehnike modulacije i višestrukog pristupa, razina istokanalnih i međukanalnih smetnji dovedena je do minimuma.

Korištenjem programske podrške WiMAP 4G izvršeno je planiranje radijskog dijela mreža u dva slučaja s ciljem analize postojeće infrastrukture pokretnih mreža GSM,UMTS i LTE u gradskoj četvrti suburbanih karakteristika Meterize-Šibenik. Naime analizom postojećih uvjeta na lokaciji četvrti utvrđeno je kako određeni operator pokriva četvrt s dvije bazne stanice koje tvore različite mikroćelije. Nakon provedene simulacije jasno se može vidjeti kako dio četvrti koji predstavlja građevinsku zonu i koji je najvjerovatnije mjesto za širenje četvrti zbog karakteristika okolnog terena i izrađene cestovne infrastrukture ima jedino dobru GSM pokrivenost i razinu snage signala s obzirom na frekvencijsko područje rada GSM tehnologije, dok su UMTS i LTE tehnologije ograničene i na velikim dijelovima nedostupne, što predstavlja problem korisnicima koji bi potencijalno živjeli na toj lokaciji u vrijeme kad je GSM de facto tehnologija na zalasku. Iako su postojeće bazne stanice postavljene na relativno velikim visinama, zbog geografskih i građevinskih karakteristika četvrti postoje dijelovi koji imaju slabiju razinu snage signala i pokrivenosti.

Nakon različito istraženih scenarija, kao prihvatljivo rješenje za područje širenja četvrti, odabrana je fiktivna bazna stanica na određenom potencijalnom objektu unutar simulacije. Uz pravilno postavljen downtilt stupanj i pravilno odabranu snagu bazne stanice, može se vidjeti kako taj dio četvrti dobiva skoro savršenu pokrivenost i razinu snage signala. Ova bazna stanica također u budućnosti može pokrivati i još sjeverniji dio četvrti u slučaju širenja.

LITERATURA

[1] Perez, A.: Mobile Networks Architecture, John Wiley & Sons Ltd., Ujedinjeno Kraljevstvo, 2012.

[2] Mohammad, S. Sharawi: RF Planning and Optimization for LTE Networks., Saunder., 2010.

[3] Novosad, T., Laiho, T., Wacker, S.: Radio Network Planning and Optimisation for UMTS., Engleska, John Wiley & Sons LTD., 2006.

[4] A.Kaid, H.Hassan, A. Ghaleb: LTE Network Planning and Optimization. Taiz University Faculty of Engineering and IT Communication Department. 2014.

[5] Draško, M.: Elektroničke komunikacije – regulativa, sustavi, norme., Alfatel., Zagreb

[6] Youngtaek Hong, Jinpil Tak, Jisoo Baek, Bongsik Myeong, Jaehoon Choi,: Design of a Multiband Antenna for LTE/GSM/UMTS Band Operation. Department of Electronics and Communications Engineering, Hanyang University, Seoul, South Korea, 2014.

[7] Kreher R., Karsten G.: LTE Signaling: Troubleshooting and Optimization 1st edition., Wiley Tektronix Communications, 2016.

[8] 3GPP TS 36.106 version 8.7.0 Release 8: LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); FDD repeater radio transmission and reception., France 2012.

[9] Kavran Z., Grgurević I.: Autorizirana predavanja iz kolegija Planiranje telekomunikacijskih mreža: Pokretne mreže, Planiranje LTE mreže, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2020.

[10] Husnjak S.,: Autorizirana predavanja iz kolegija Terminalni uređaji: Klasifikacija terminalnih uređaja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.

[11] Muštra M.: Autorizirana predavanja iz kolegija Mobilni komunikacijski sustavi: Mobilne komunikacije, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2018.

[12] WiMAP-4G: User manual

[13] White Paper: LTE-Top 12 Challanges. Manish Singh, CTO

Internet stranica:

[14] https://yatebts.com/documentation/concepts/lte-concepts/#The_EPC

[15]https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21093/LTE+Handover+Performance+Evaluation.pdf?sequence=4

[14] Hrvatska udruga za zaštitu od EM zračenja - http://www.huzez.hr/cesta-pitanja-i-odgovori/

[16] https://hr.wikipedia.org/wiki/LTE_u_Hrvatskoj

[17]https://www.hakom.hr/UserDocsImages/dokumenti/2021/Baza_radiofrekvencijskog-spektra_20190423.pdf?vel=388619

POPIS ILUSTRACIJA

Popis slika:

Slika 1. GSM arhitektura 3
Slika 2. Arhitektura radijskog podsustava 4
Slika 3. Vrste GSM handover-a 8
Slika 4. Reupotreba frekvencije 9
Slika 5. UMTS arhitektura 12
Slika 6. UMTS handover 14
Slika 7. UMTS frekvencijski plan 17
Slika 8. LTE arhitektura 19
Slika 9. 7/21 klaster 30
Slika 10. Prikaz gradske četvrti Meterize-Šibenik sa lokacijama baznih stanica 35
Slika 11. Pogled na četvrt s bazne stanice broj 2 36
Slika 12. Prikaz četvrti Meterize-Šibenik unutar WiMAP 4G programa 37
Slika 13. Prikaz elevacijskog modela četvrti Meterize-Šibenik 38
Slika 14. Prikaz glavnog izbornika za definiranje globalnih postavki 39
Slika 15. Građevinski objekti na području simulacije 40
Slika 16. Lokacije baznih stanica 41
Slika 17. Definiranje LTE postavki bazne stanice broj 1 42
Slika 18. Definiranje LTE postavki Bazne stanice broj 2 43
Slika 19. Definiranje vrste LTE antene, azimuta, visine i downtilt-a baznih stanica 44
Slika 20. Definiranje UMTS postavki 45
Slika 21. Definiranje GSM postavki 46
Slika 22. Konačan izgled četvrti unutar WiMAP 4G nakon definiranja postavki 47
Slika 23. Pokrivenost LTE signalom 48
Slika 24. LTE razina snage unutar mikro ćelija 49
Slika 25. Pokrivenost UMTS signalom 50
Slika 26. UMTS razina snage unutar mikro ćelija 51
Slika 27. Pokrivenost GSM signalom 52
Slika 28. GSM razina snage unutar mikro ćelija 53
Slika 29. Proizvoljno dodane građevine 54
Slika 30. Dodavanje nove bazne stanice broj 3 55
Slika 31. Usporedba LTE pokrivenosti koristeći dodatnu baznu stanicu 59
Slika 32. Usporedba LTE razine snage signala uz dodavanje nove bazne stanice 60
Slika 33. Usporedba UMTS pokrivenosti koristeći dodatnu baznu stanicu 61
Slika 34. Uporedba UMTS razine snage signala uz dodavanje nove bazne stanicee 62
Slika 35. Usporedba GSM pokrivenosti koristeći dodatnu baznu stanicu 63
Slika 36. Uporedba GSM razine snage signala uz dodavanje nove bazne stanice 64

Popis tablica:

Tablica 1: Frekvencijski pojas GSM mreže.....9

Tablica 2: Baza radiofrekvencijskog spektra za javne pokretne komunikacijske mreže.....24

Tablica 3: Značajke odašiljača i prijemnika..... 28

Tablica 4: CAPEX varijable.....57

Tablica 5: OPEX varijable.....57

Tablica 6: Ukupni kapitalni troškovi.....57

Tablica 7: Ukupni operativni troškovi.....58

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom **Analiza mobilne komunikacijske mreže na području gradske četvrti Meterize-Šibenik** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 06/09/2021

Student/ica:

(potpis)