

Planiranje kapaciteta bazne stanice za UMTS mreže

Vujeva, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:620234>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Domagoj Vujeva

PLANIRANJE KAPACITETA BAZNE STANICE ZA
UMTS MREŽE

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2020.

Zagreb, 31. ožujka 2020.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Tehnologija telekomunikacijskog prometa I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5786

Pristupnik: **Domagoj Vujeva (0135228790)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Planiranje kapaciteta bazne stanice za UMTS mreže**

Opis zadatka:

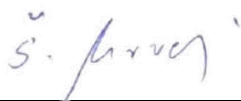
Prikazati arhitekturu UMTS radio mreže. Identificirati i analizirati zahtjeve usluga i područja pokrivanja na kapacitet bazne stanice.

Prikazati razvijene modele za dimenzioniranje bazne stanice te analizirati mogućnosti njihove primjene.

Prikazati značajke mehanizama za upravljanje kapacitetom bazne stanice u svrhu osiguravanja kvalitete usluge.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**PLANIRANJE KAPACITETA BAZNE STANICE ZA UMTS
MREŽE**

CAPACITY PLANNING OF NODE B FOR 3G NETWORKS

Mentor:
prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student:
Domagoj Vujeva 0135228790

Zagreb 2020.

PLANIRANJE KAPACITETA BAZNE STANICE ZA UMTS MREŽE

SAŽETAK

Uvođenje treće generacije mobilnih mreža predstavljalo je revoluciju u razvoju mobilnih mreža. Zadovoljeni su zahtjevi korisnika za novim uslugama na pokretnoj mreži kao što su video pozivi, multimedijske usluge, pregledavanje internetskih sadržaja putem mobilnih mreža i druge. Za ostvarenje svega toga nužno je bilo digitalizirati mrežu te pronaći rješenje za povećanje kapaciteta svake pojedine ćelije. U ovom radu prikazana je arhitektura UMTS radio mreže, te su analizirani zahtjevi usluga i područja pokrivanja na kapacitet bazne stanice. Prikazani su modeli za dimenzioniranje bazne stanice. U radu su opisani i načini korištenja radio sučelja, objašnjeni su mehanizmi povećanja kapaciteta bazne stanice te mehanizmi upravljanja kapacitetom, kao ključnom stavkom u UMTS sustavu. U ovom radu prikazani su modeli širenja signala koji se koriste prilikom planiranja mreže baznih stanica, te je prikazan detaljna analiza performansi svakog pojedinog modela širenja signala.

KLJUČNE RIJEČI: 3G; UMTS; HSDPA; upravljanje kapacitetom; čvor B

CAPACITY PLANNING OF NODE B FOR 3G NETWORKS

SUMMARY:

The introduction of the third generation of mobile networks represented a revolution in the development of mobile networks. Customer requests for new mobile network services such as video calls, multimedia services, browsing the Internet via mobile networks, and others have been met. To achieve all this, it was necessary to digitize the network and find a solution to increase the capacity of each cell. This paper presents the architecture of the UMTS radio network, and analyzes the service requirements and coverage areas of base stations. Models for sizing base stations are also presented. This paper describes the ways of using the radio interface, explains the mechanisms of increasing the capacity of the base station and the mechanisms of capacity management, as a key item in the UMTS system. The signal propagation models used in the planning of the network of Node B's and a detailed analysis of the performance of each individual signal propagation model is presented in this paper.

KEYWORDS: 3G; UMTS; HSDPA; capacity management mechanisms; Node B

Sadržaj

1	UVOD	1
2	ARHITEKTURA UMTS RADIO MREŽE	3
2.1	Jezgrena mreža	5
2.1.1	Domena komutacije kanala	7
2.1.2	Domena komutacije paketa	8
2.2	Radio Pristupna Mreža	8
2.2.1	Modul za upravljanje baznim stanicama	9
2.2.2	Čvor B	10
2.3	Korisnička oprema.....	11
3	ZAHTJEVI USLUGA I PODRUČJA POKRIVANJA NA KAPACITET BAZNE STANICE	13
3.1	QoS	13
3.2	Utjecaj opterećenosti kapaciteta na područje pokrivanja bazne stanice	16
4	MODELIRANJE I DIMENZIONIRANJE BAZNE STANICE	18
4.1	Raspodjela resursa u UMTS mobilnoj mreži	18
4.1.1	Uzlazna veza	20
4.1.2	Silazna veza.....	21
4.1.3	Raspodjela resursa u radio sučelju	21
4.2	Ćelijski sustav s mekim kapacitetom za posluživanje jedne vrste usluge	23
4.2.1	Erlangov model radio sučelja	23
4.2.2	Engsetov model radio sučelja.....	23
5	MEHANIZMI UPRAVLJANJA KAPACITETOM BAZNE STANICE	25
5.1	Kontrola snage	25
5.2	Kontrola prekapćanja.....	26
5.3	Metode dodjele pristupa	26
6	ANALIZA PERFORMANSI RADIO PRISTUPNE TOČKE	29

6.1	Modeli širenja signala.....	29
6.2	Analiza učinkovitosti različitih modela širenja signala	30
6.3	Analiza performansi mreže.....	30
6.3.1	Predviđanje pokrivenosti i propusnosti pojedine bazne stanice	31
6.3.2	Predviđanje pokrivenosti i propusnosti mreže s više baznih stanica	37
6.4	Provjera performansi mjerenjem na terenu i dimenzioniranje kapaciteta HSDPA za gradsku mrežu	42
6.5	Zaključak analize performansi pojedinih modela.....	46
7	ZAKLJUČAK	47
8	LITERATURA.....	48
9	POPIS SLIKA I GRAFIČKIH PRIKAZA.....	49
10	POPIS TABLICA.....	50
11	POPIS KRATICA	51

1 UVOD

Potreba za komunikacijom i većom povezanosti dovela je do razvoja prvih analognih pokretnih mreža prve generacije (1G), koje su bile razvijene na nacionalnoj razini. Te su mreže nudile osnovne usluge za korisnike, kao što su govor i usluge povezane s govorom. Zbog ograničenja specifikacija na nacionalnoj razini, 1G mreže u svijetu bile su međusobno nekompatibilne. Budući da se povećavala potreba za mobilnom komunikacijom, paralelno se pojavila potreba za globalnim sustavom mobilne komunikacije. Međunarodna tijela započele su sa definiranjem specifikacija za drugu generaciju pokretnih mreža, u kojoj je naglasak bio na kompatibilnosti i međunarodnoj transparentnosti. Druga generacija pokretnih mreža nudila je, uz govorne usluge, i neke podatkovne usluge i sofisticirane dodatne usluge.

Razvoj treće generacije proizišao je iz potrebe da se povežu do tada odvojena područja usluga kao što su prijenos audio i video sadržaja, multimedijalni sadržaji, pretraživanje Interneta i drugo. Jedan od najvećih bio je osigurati dovoljan kapacitet sustava.

Završni rad sastoji se od sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Arhitektura UMTS radio mreže
3. Zahtjevi usluga i područja pokrivanja na kapacitet bazne stanice
4. Modeliranje i dimenzioniranje bazne stanice
5. Mehanizmi upravljanja kapacitetom bazne stanice
6. Analiza performansi radio pristupne točke
7. Zaključak

Drugo poglavlje opisuje arhitekturu univerzalnog mobilnog telekomunikacijskog sustava, te arhitekturu pojedinih podsustava jezgrene mreže i radio pristupne mreže.

Treće poglavlje opisuje zahtjeve pojedinih usluga za kapacitetom, te podjelu prometa po klasama, ovisno o tipu usluge. Objašnjen je utjecaj povećanja opterećenosti bazne stanice na područje pokrivanja.

U četvrtom poglavlju opisuje se modeliranje raspodjele resursa u UMTS mobilnoj mreži kao i raspodjela resursa s mekim prekapčanjem koje je karakteristično za mobilnu mrežu treće generacije.

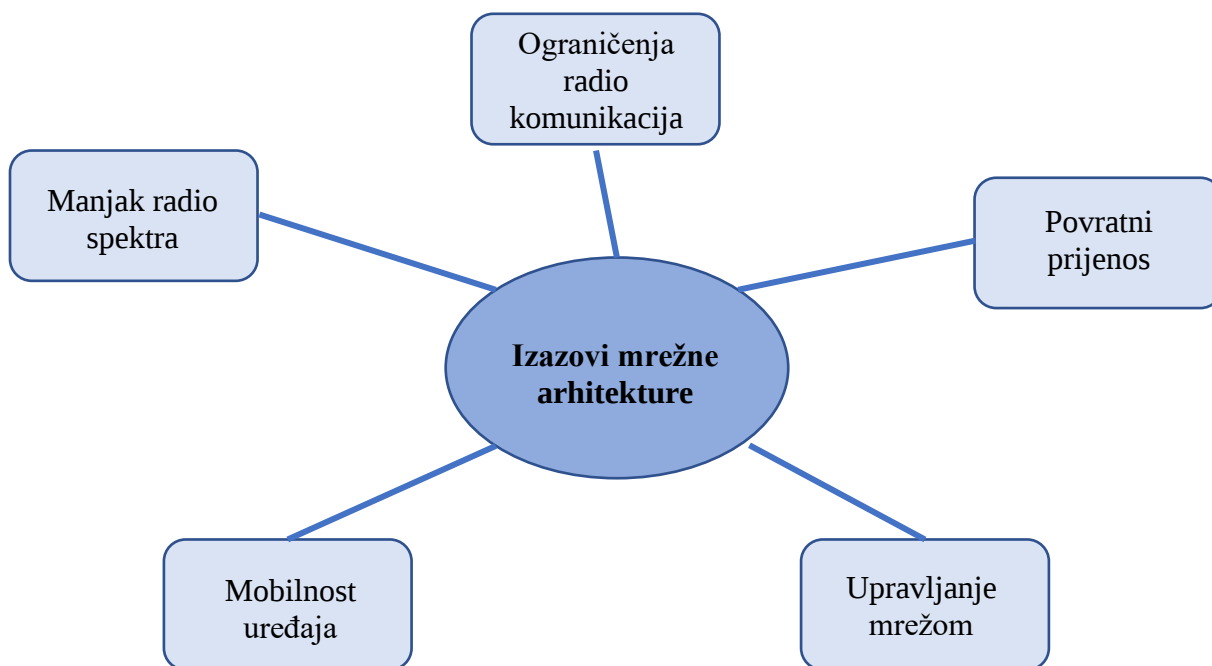
U petom poglavlju opisani su mehanizmi za upravljanje kapacitetom bazne stanice, opisane su metode dodjele pristupa, kao i kontrola snage i vrste prekapčanja.

U šestom poglavlju prikazana je analiza dimenzioniranja kapaciteta urbane mreže koja podržava HSDPA. Prikazani su rezultati analize i usporedbe različitih modela širenja signala.

2 ARHITEKTURA UMTS RADIO MREŽE

Prilikom razvijanja, primarni cilj univerzalnog mobilnog telekomunikacijskog sustava (eng. Universal Mobile Telecommunication System - UMTS) bio je omogućiti korištenje više različitih usluga preko istoga sustava, uključujući i one usluge koje će se tek razviti u budućnosti. Također, cilj je bio da njihova implementacija bude jednostavna i isplativa, te da ista bude omogućena bez razvijanja skupog sustava [1].

U prve dvije generacije mobilnih mreža govor je predstavljao glavni i najveći izvor zarade telekom operatora, dok je svjetska raširenost Interneta, potaknula ideju za novim uslugama utemeljenim na paketnom prijenosu podataka bežičnim putem. Opće paketne radijske usluge (eng. General Packet Radio Service - GPRS), odnosno druga generacija mobilne telefonije, ponudile su sadržaj i omogućile bežični pristup Internetu, no zbog premale brzine prijenosa podataka, nisu postigle željeni učinak. Treća generacija mobilne telekomunikacije mreže nastala je kao odgovor na postavljene zahtjeve za povećanjem broja usluga, kapaciteta i brzine prijenosa podataka. Brojni zahtjevi, prikazani na slici 1, bili su postavljeni prilikom dizajniranja arhitekture mobilne mreže [2].



Slika 1. Ključni zahtjevi prilikom dizajniranja arhitekture mobilne mreže
Izvor: [3]

Rad na 3G širokopojasnom sustavu započeo je 1985. godine i odvijao se pod pokroviteljstvom Međunarodne Telekomunikacijske Unije (eng. *International Telecommunication Union – ITU*). Odlučeno je da će novi sustav, naposljetku nazvan IMT-

2000 (eng. International Mobile Telecommunications), odnosno Međunarodne Mobilne Komunikacije – 2000, osigurati sljedeće standarde:

- brzine prijenosa:
 - brzina prijenosa do 2 Mb/s unutar zgrada i prilikom sporog kretanja mobilnog uređaja, pri brzinama kretanja manjim od 10 km/h
 - brzina prijenosa do 384 kb/s za uređaje u pokretu, pri brzini kretanja do 120 km/h u urbanim područjima
 - brzina prijenosa do 144 kb/s u neizgrađenim sredinama u slučaju brzog kretanja
- pristup Internetu
- prijenos podataka na dva načina: komutacijom kanala i komutacijom paketa
- pružanje usluge u realnom vremenu, multimedijalne usluge, usluge lokalizacije
- istodobno pozivanje različitih usluga
- globalni Roaming¹
- dostupnost usluga neovisno o trenutnoj lokaciji krajnjeg korisnika i korištenog radio sučelja
- visoka razina sigurnosti prenesenih podataka
- nesmetani prelazak sa sustava druge na sustav treće generacije mobilnih mreža [1].

Odredba standarda za sustav, koji bi zadovoljio sve gore navedene preduvjete, dodijeljena je regionalnim organizacijama za standardizaciju, čija je djelatnost uglavnom bila usmjerena na izradu radio sučelja za zemaljski segment sustava. Naposljetku je dogovoreno da će IMT-2000 uključivati tri različita standarda za radio sučelja:

- UMTS zemaljski radio pristup (eng. *UMTS Terrestrial Radio Access – UTRA*) – širokopojasni višestruki pristup s kodnom raspodjelom (eng. *Code-Division Multiple Access - CDMA*) prijenos koji koristi dva načina podjele kanala: dupleks s frekvencijskom podjelom (eng. *Frequency Division Duplex - FDD*) i dupleks s vremenskom podjelom (eng. *Time Division Duplex - TDD*)
- višestruki pristup s kodnom podjelom s više nositelja (eng. *Multicarrier CDMA – MC CDMA*) – CDMA višestruki prijenos

¹ Roaming – Spajanje mobilnog terminalnog uređaja na mobilnu mrežu drugog operatera [3].

- univerzalne bežične komunikacije (eng. *Universal Wireless Communications – UWC 136*) – standard baziran na usklađivanju IS-136² i GSM EDGE³ Standarda [1].

Plan raspodjele za uporabu radio-frekvencijskih opsega za UMTS sustav u Europi uključuje sljedeće frekvencije: 1900-1980 MHz, 2010-2025 MHz, 2110-2170 MHz [1].

MC CDMA tehnike prijenosa integrirane širokopojasne mreže prihvaćene su kao zračno sučelje za Europu. Navedeni sustav može raditi u dva načina:

- FDD – pruža odvojene kalane širine 5 MHz, koji se koriste za silaznu i uzlaznu vezu
- TDD – isti kanal širine 5MHz koristi se za uzlaznu i silaznu vezu, a komunikacija je odvojena vremenskim isječcima [1].

Prilikom dizajniranja UMTS mreže, napravljena je podjela sukladno funkcionalnostima svakog pojedinog podsustava:

- jezgrina mreža (eng. *Core Network - CN*) – odgovorna za komutaciju i usmjeravanje poziva i podatkovnih veza k vanjskim mrežama
- radio pristupna mreža (eng. *Radio Access Network – RAN*) – upravlja svim radio funkcionalnostima.

Važna odluka bila je stvaranje arhitekture sustava koja bi omogućila njegovu punu modularnost i tako zaštitila mrežne operatore od monopola jednog proizvođača opreme. To nije u potpunosti postignuto u fazama planiranja i projektiranja GSM⁴ mreže, a isto je bilo moguće tek nakon što su se u potpunosti definirala sučelja između pojedinih modula. Isto tako, odlučeno je da bi arhitektura sustava trebala biti dovoljno fleksibilna da bi u budućnosti mogla prihvatiti različite vrste usluga [3].

2.1 Jezgrena mreža

Za jezgrenu se mrežu može u punoj mjeri reći da predstavlja evoluciju postojeće jezgrene mreže GSM sustava. S obzirom na to da promjene u jezgrenoj mreži nisu velike kao

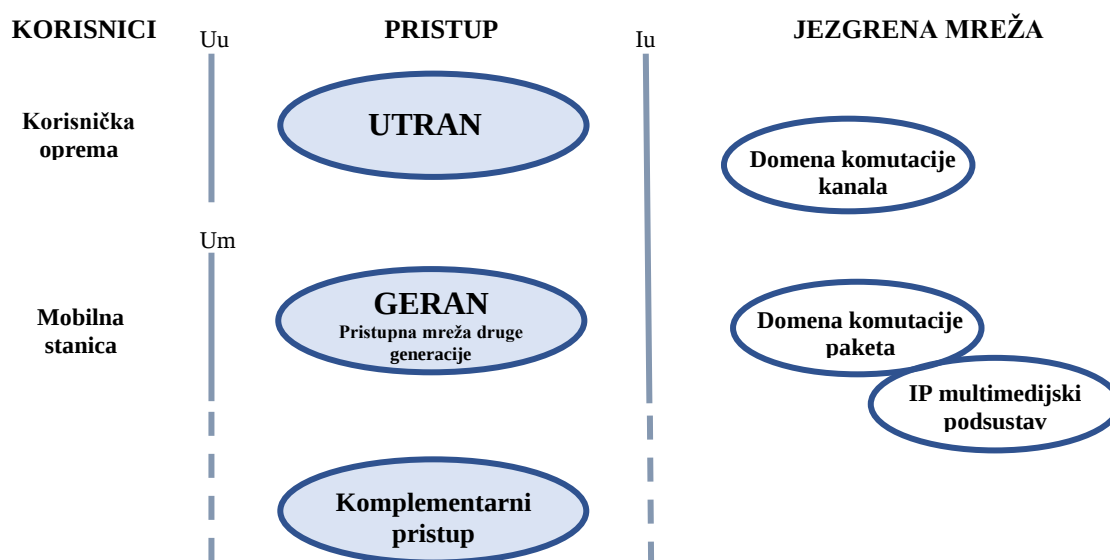
² IS-136 – dupleksni ćelijski komunikacijski sustav u kojem se svaki glasovni kalan može definirati frekvencijom i vremenskim isječkom [1].

³ EDGE – eng. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* – tehnologija druge generacije mobilnih mreža koja omogućava prijenos podataka na GSM frekvencijskim kanalima [3].

⁴ eng. *Global System for Mobile Communications* – druga generacija mobilnih mreža [3].

promjene u radio pristupnoj mreži, UMTS/WCDMA⁵ jezgrena mreža može se realizirati i nadogradnjom postojeće GSM jezgrene mreže [2].

Slojevita arhitektura predstavlja jednu od ključnih značajki UMTS sustava koja se najviše dotiče jezgrene mreže. Za razliku od postojećih mreža koje su bile vertikalno ustrojene, pri čemu je svaka mreža imala svoju zasebnu prijenosnu mrežu, svoju upravljačku logiku te je bila dizajnirana za točno određenu vrstu usluge (prijenos govora, prijenos podataka), ideja je bila da nove mreže, pa tako i UMTS/WCDMA mreže, budu horizontalno ustrojene. To znači da više mreža dijeli istu prijenosnu infrastrukturu, da su pojedine usluge dostupne bez obzira na mrežu u kojoj se korisnik trenutačno nalazi, a ono što će biti specifično za svaku mrežu je vlastita upravljačka logika [2].



Slika 2. Struktura jezgrene mreže na razini podsustava
Izvor: [3]

Ovakva horizontalno ustrojena, slojevita arhitektura realizirana je i u jezgrenoj mreži UMTS/WCDMA sustava. Slojevita arhitektura u UMTS/WCDMA sustavu realizirana je kroz tri sloja:

- uslužni sloj (eng. *Service layer*)
- upravljački sloj (eng. *Control layer*)
- prijenosni sloj (eng. *Connectivity layer*) [2].

⁵ Wideband Code Division Multiple Access - širokopolasni višestruki pristup s kodnom raspodjelom [1].

Uslužni sloj je realiziran u okviru uslužne mreže UMTS/WCDMA sustava, dok upravljački i prijenosni sloj čine jezgrenu mrežu [2].

Kao što je prikazano na slici 2, UMTS jezgrena mreža sastoji se od jedinica koje se nazivaju „domene“ i „podsustavi“, čija je svrha opisati prometne karakteristike, odnosno opisati načine prijenosa podataka. Temeljem ove podjele, UMTS sadrži sljedeće entitete:

- domena komutacije kanala (eng. *Circuit Switched domain – CS*)
- domena komutacije paketa (eng. *Packet Switched domain – PS*)
 - podsustav za podršku multimedijским uslugama u mreži temeljenoj na IP protokolu (eng. *IP Multimedia Subsystem - IMS*)
 - BroadCast domena⁶ [3].

2.1.1 Domena komutacije kanala

Domena komutacije kanala uključena je u peto izdanje 3GPP⁷ R5 (eng. *Third Generation Partnership Project – Release 5*) jer nova generacija mora biti kompatibilna s uslugama prethodne generacije mobilnih mreža. Izdanje 3GPP R99 uključuje domenu komutacije kanala koju je direktno naslijedio od GSM tehnologije [3]. Prema [2] osnovni elementi domene komutacije kanala su:

- poslužitelj komutacijskoga čvora mobilne mreže (eng. *Mobile Switching Centre Server - MSC Server*)
- medijski pristupnik (eng. *Media Gateway - MGW*).

MSC je osnovni čvor za pružanje GSM/CDMA usluga, odgovoran za usmjeravanje glasovnih poziva i SMS poruka, a zadužen je i za uspostavljanje, nadziranje i raskidanje poziva. Isto tako, MSC brine o naplati, prikuplja tarifne i obračunske podatke, upravlja funkcijama vezanim za mobilnost, te je zadužen i za upravljanje radom medijskih pristupnika [2].

Medijski pristupnik je središnji element prijenosnog sloja u domeni komutacije kanala. Zadužen je za funkcionalnosti kao što su eliminacija jeke, enkodiranje/dekodiranje govora iz pulsno-kodne modulacije (eng. *Pulse Code Modulation - PCM*) u prilagodljivi višestupanjski (eng. *Adaptive Multi-Rate - AMR*) kodek i obratno (eng. *transcoding*), omogućavanje poziva

⁶ eng. Broadcast domain - Domena za odašiljanje od jedne točke ka više točaka [3].

⁷ 3GPP (eng. Third Generation Partnership Project) - Organizacija utemeljena 1998 s ciljem izrade i međunarodnog prihvatanja tehničkih specifikacija za treću generaciju pokretnih mreža koje su se trebale bazirati na unapređenju GSM mreže tj. jezgrenih i pristupnih dijelova [3].

između više od dva pretplatnika te interaktivne poruke pretplatnicima. Medijski pristupnik je zadužen i za prilagođavanje podataka koji se prenose različitim prijenosnim tehnologijama, npr., mrežama s vremenskim multipleksiranjem (eng. *Time Division Multiplexing* - *TDM*) i mrežama s asinkronim načinom prijenosa (eng. *Asynchronous Transfer Mode* - *ATM*). Medijski pristupnik je logički smješten na rubovima prijenosnog sloja i predstavlja sučelje prema drugim mrežama, i vanjskim i pristupnim [2].

Vrijedi također napomenuti da je standardnom dopuštena i integracija MSC poslužitelja i medijskoga pristupnika u zajednički čvor - MSC/MGw čvor. Takva arhitektura se naziva monolitnom arhitekturom [2].

2.1.2 Domena komutacije paketa

Dva glavna elementa domene komutacije paketa su poslužitelji specifični za mobilnu mrežu:

- SGSN čvor (eng. *Serving GPRS Support Node*)
- GGSN čvor (eng. *Gateway GPRS Support Node*) [2].

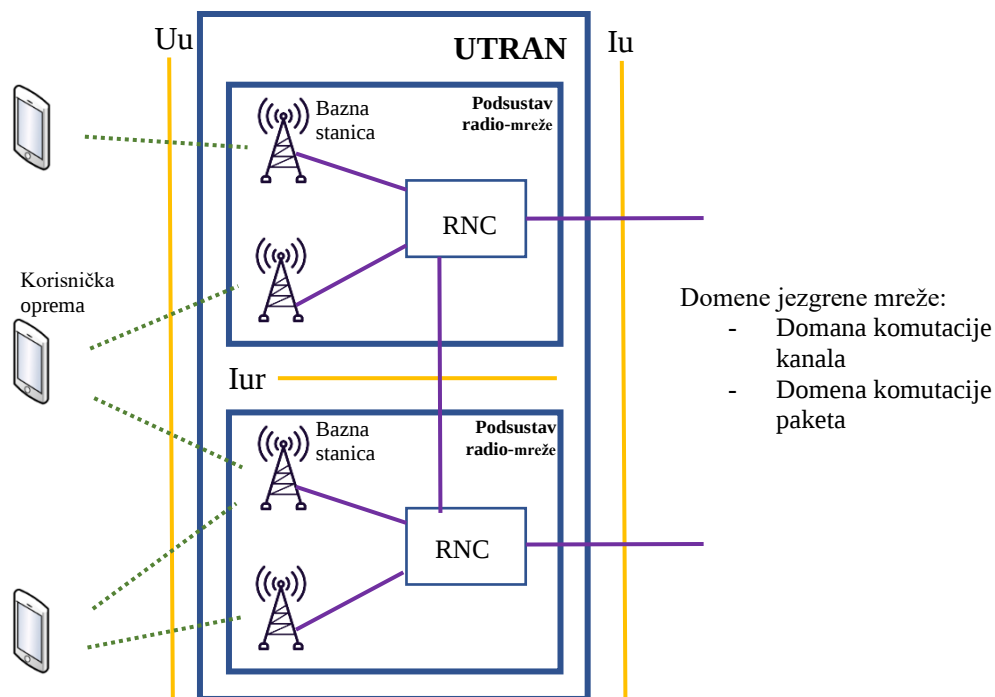
SGSN čvor sadrži funkciju registracije lokacije pretplatnika, te sadrži podatke potrebne za početak i dovršetak podatkovnog prijenosa podataka, te funkcije upravljanja i prikupljanja tarifnih i obračunskih podataka [2].

GGSN čvor sadrži funkcije kontrole podatkovnih sesija, funkciju dodjele IP adresa te funkcije za potvrdu vjerodostojnosti korisnika [2].

2.2 Radio Pristupna Mreža

Funkcije UMTS radio pristupne mreže (eng. *UMTS Radio Access Network* - *UTRAN*) obavljaju dva uređaja: čvor B (eng. *Node B*) bazne stanice i kontroler radio mreže (eng. *Radio Network Controller* - *RNC*). Ti su elementi međusobno povezani sučeljem Iub⁸. Osnovna arhitektura radio pristupne mreže prikazana je na slici 3.

⁸ Iub - sučelje između radio bazne stanice i modula za upravljanje baznim stanicama

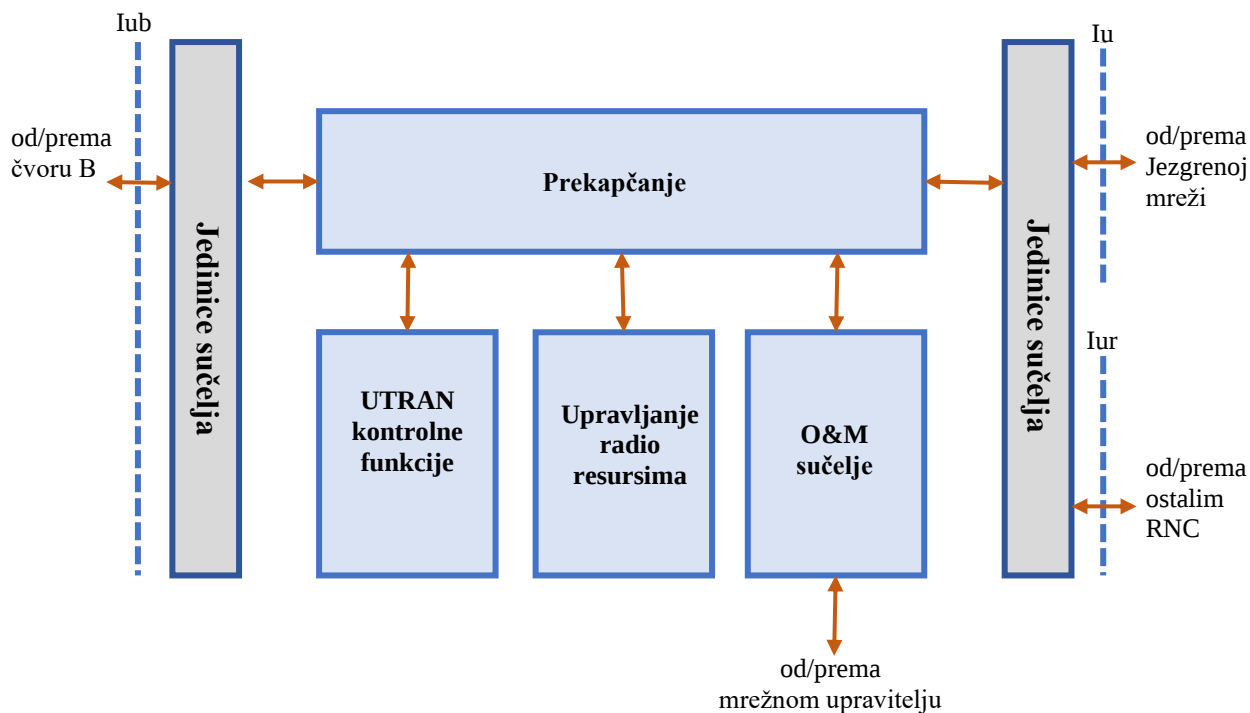


Slika 3. Osnovna UTRAN arhitektura
Izvor: [3]

2.2.1 Modul za upravljanje baznim stanicama

RNC je odgovoran za upravljanje radio resursima UTRAN mreže, te se sastoji od više segmenata prikazanih na slici 4. Glavne funkcije kontrolera su:

- dodjela resursa određenim mobilnim stanicama
- kontrola ulaza u radio mrežu (eng. *Admission Control* - AC)
- kontrola opterećenja radijske mreže (eng. *Load Control* - LC)
- kontrola snage (eng. *Power Control* - PC) - vanjska petlja
- prebacivanje veza između pojedinih čvorova B
- šifriranje podataka u radio vezi
- dodjela kodova za kanaliziranje i kodiranje
- konsolidacija rezultata mjerenja koje su izveli čvor B i pokretne stanice [1].



Slika 4. Osnovna logička RNC arhitektura
Izvor: [3]

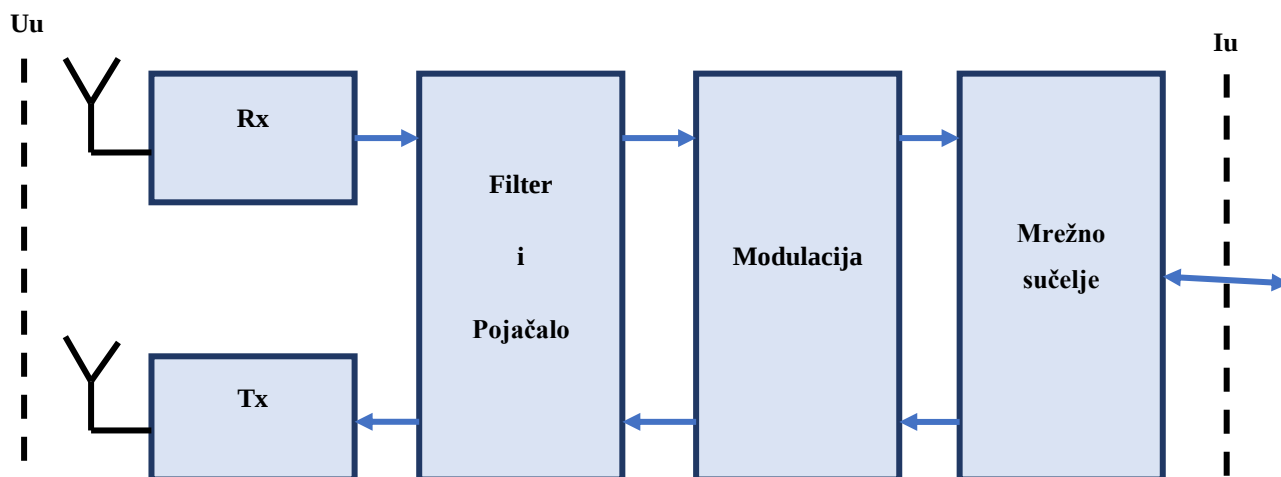
RNC kontroler povezan je s MSC čvorom preko sučelja IuCS, a sa SGSN čvorom preko IuPS sučelja. Također, pojedini RNC čvorovi povezani su je Iur sučeljem. RNC modul može izvršavati slijedeće funkcije:

- (eng. *Serving RNC - SRND*) - preko sučelja Iu usmjerava promet prema jezgrenoj mreži, a u slučaju kada služi kao CRNC kontroler (eng. *Controlling RNC*), on kontrolira rad baznih stanica koje podržava određeni RNC modul.
- (eng. *Drift RNC - DRNC*) - podržava SRNC, odgovoran je za efekt raznovrsnosti⁹. Usmjerava podatke između Iub i Iur sučelja u slučaju da čvor B, na koji je mobilna stanica spojena, pripada drugom RNC [1].

2.2.2 Čvor B

Radio-bazna stanica (eng. *Radio Base Station – RBS; Node B*) nalazi se između Uu sučelja, koje ju povezuje s korisničkom opremom, i Iu sučelja, koje ju povezuje s RNC modulom. Unutarnja struktura bazne stanice ovisi o proizvođaču iste, no u osnovi se sastoji od komponenata prikazanim na slici 5.

⁹ Efekt prilikom kojega se isti podaci prenose preko više RNC-a [1].



Slika 5. Osnovna struktura bazne stanice

Izvor: [3]

U UTRAN radio mreži čvor B podržava sljedeće funkcije:

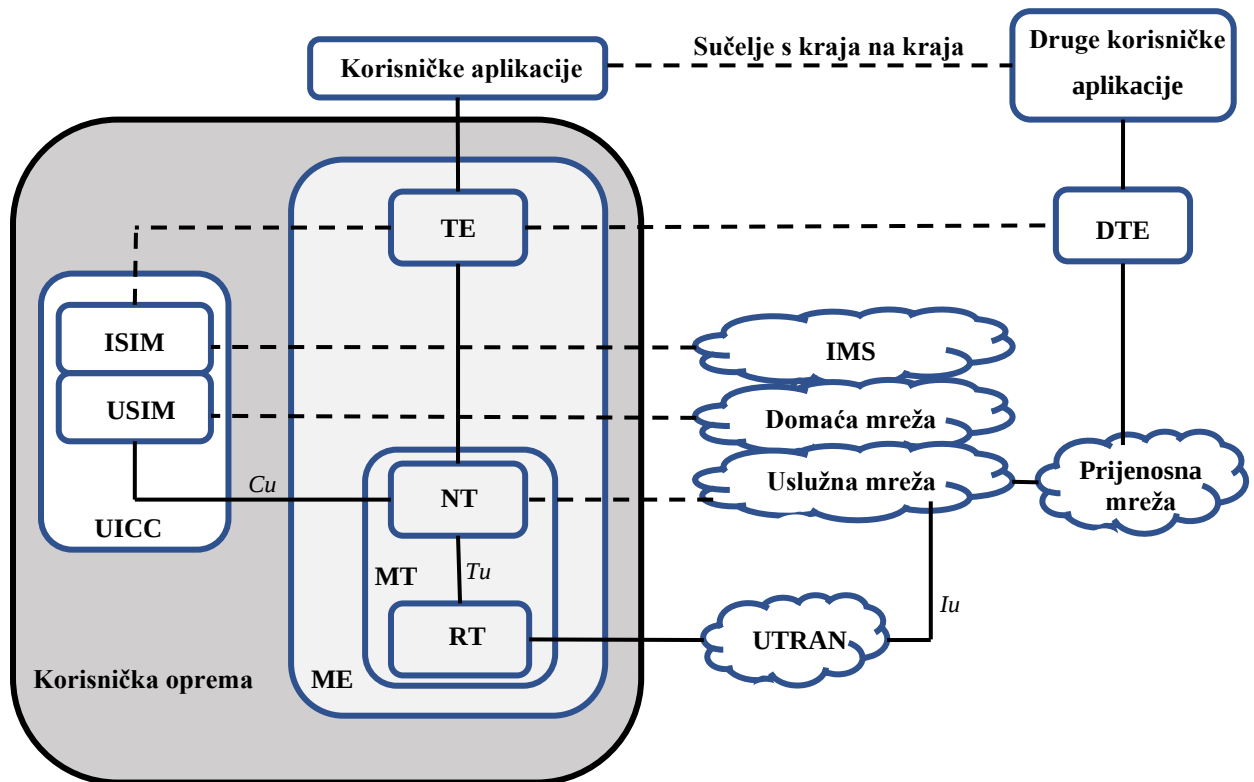
- kodiranje kanala
- preplitanje podataka
- širenje signala
- podešavanje brzine prijenosa podataka
- modulacija
- kontrola snage - unutarnja petlja [1].

2.3 Korisnička oprema

Mobilni terminalni uređaji krajnjih korisnika u UMTS mreži naziva se korisnička oprema (eng. *User Equipment - UE*). Obvezne funkcionalnosti korisničke opreme uglavnom su povezane s interakcijom između korisničke opreme i mreže. Slika 6 prikazuje referentni prikaz arhitekture korisničke opreme, a funkcionalnosti koje se smatraju obveznim za sve korisničke uređaje su:

- sučelje za umetanje kartice s integriranim krugom (eng. Universal Integrated Aircuit Card - UICC), koja sadrži univerzalni pretplatnički identifikacijski modul (eng. *Universal Subscriber Identity Module - USIM*)
- registracija i odjavljivanje pružatelja usluga i mreže
- ažuriranje lokacije
- uspostavljanje i zaprimanje usluga kojima je potrebna veza, odnosno usluga kojima nije potrebna veza

- međunarodni identifikacijski broj uređaja (eng. *International Mobile Equipment Identity* - *IMEI*)
- osnovne identifikacijske sposobnosti uređaja
- uređaj mora imati mogućnost pozivanja hitnih poziva bez USIM modula
- podrška za izvršavanje algoritama potrebnih za provjeru autentičnosti i šifriranje [3].



Slika 6. Referentni prikaz arhitekture korisničke opreme
Izvor: [3]

Pored ovih obaveznih funkcionalnosti, koje su neophodne za rad mreže, korisnička oprema treba podržavati i sljedeće funkcionalnosti za olakšavanje budućeg razvoja:

- mogućnost programskog sučelja za programiranje
- mehanizam za preuzimanje podataka vezanih uz usluge (parametre, skripte ili čak softver), novih protokola, drugih funkcija, pa čak i novih API-ja u terminal
- izbornu umetanje nekoliko UICC kartica [3].

3 ZAHTJEVI USLUGA I PODRUČJA POKRIVANJA NA KAPACITET BAZNE STANICE

Kapacitet u UMTS-u definiran je kao broj korisnika koje može podržati određeni čvor B sektor uz određenu brzinu prijenosa podataka, te predstavlja vrlo važan aspekt u UMTS mreži. Kod dimenzioniranja UMTS mreže kapacitet predstavlja broj stanica koje je potrebno postaviti na određenom području kako bi se zadovoljio željeni prag kvalitete usluge (eng. *Quality of Service* - QoS), primjerice propusnost, područje pokrivanja ćelije, itd. Zahtjevi krajnjih korisnika utječu na samo planiranje mreže bazni stanica, te je za svaku vrstu usluge potrebno definirati određene parametre kako bi se u samoj mreži moglo jednostavnije i ekonomičnije upravljati kvalitetom, te naposljetku i omogućiti maksimalnu iskoristivost kapaciteta bazne stanice, a da krajnji korisnik pritom zadrži željeno iskustvo korištenja usluge.

3.1 QoS

UMTS uvodi relativno jednostavan QoS koncept koji se sastoji od četiri klase prometa i nekih QoS atributa za definiranje prometnih karakteristika svake pojedine klase prometa. Definirane su slijedeće klase prometa:

- konverzacijska klasa
- streaming klasa
- interaktivna klasa
- pozadinska klasa.

Vrijeme potrebno za prijenos podataka kod konverzacijske klase, kao i varijacija kašnjenja, mora biti minimalno zbog prirode razgovora koje se događa u realnom vremenu. Maksimalno dozvoljeno kašnjenje definira se na temelju ljudske percepcije audio i video razgovora, stoga je granica prihvatljive odgode prijenosa vrlo stroga jer će neuspjeh u osiguravanju dovoljnog kašnjenja rezultirati neprihvatljivom nedostatkom kvalitete. Zahtjevi za maksimalno kašnjenje u prijenosu znatno su niži od zahtjeva u, primjerice, interaktivnoj klasi. Konverzacija u realnom vremenu uvijek se obavlja između „živih“ krajnjih korisnika, stoga je ova klasa jedina u kojoj ljudska percepcija strogo zadaje tražene karakteristike [3]. Tablica 1 prikazuje osnovne karakteristike svake pojedine klase te primjere usluga vezane uz pojedinu klasu.

Streaming klasa karakteristična je po tome što bi vremenski odnosi između informacija u prijenos trebali biti sačuvani, no ne zahtijevaju mala kašnjenja kao što je to slučaj u

konverzacijskoj klasi. Klasa se koristi kada krajnji korisnik pregledava video i/ili audio sadržaj u stvarnom vremenu, te se radi o prijenosu podataka u jednom smjeru [4]. Malo kašnjenje nije nužno, ali ostaju zahtjevi za minimalnom varijacijom kašnjenja, visokom kvalitetom i sinkronizacijom medija.

Interaktivna klasa definirana je za podatkovni promet koji se generira na zahtjev krajnjeg korisnika, primjerice prilikom pretraživanja WEB stranica, pretraživanje baza podataka i slično. Zahtjevi za kašnjenjem nisu strogi kao u prethodne dvije klase, no bitan je integritet podataka koji se prenose.

Kod pozadinske klase odredište podataka ne očekuje podatke u određenom vremenu, a primjeri ove klase su e-mail poruke, prijenos datoteka, i slično.

Tablica 1. Klase prometa i njihove karakteristike

Klasa prometa	Konverzacijska klasa	Strujeća klasa	Interaktivna klasa	Pozadinska klasa
Osnovne karakteristike	Malo kašnjenje, niska varijacija kašnjenja	Umjereno kašnjenje, umjerena varijacija kašnjenja	Kašnjenje s povratnim putom je izrazito važno, mjerena varijacija kašnjenja	Krajnja korisnička aplikacija ne očekuje odgovor u određenom vremenu
Prijmeri usluga	Govor, IP prijenos govora IP protokolom, video konferencije	Prijenos video i audio sadržaja	WEB pretraživanje	Prijenos datoteka, e-mail usluga

Izvor: [3]

Svaka od navedenih klasa prometa nosi usluge krajnjih korisnika. U tablici 1 prikazuju se neki primjeri standardnih usluga i njihove klase. Svaka pojedina prometna klasa definirana je atributima koji određuju tretman korisničkih podataka u mreži. Prema [3] podesivi parametri su:

- Maksimalna brzina prijenosa bita – definira gornju granicu brzine prijenosa podataka koju korisnik ili aplikacija može prihvatiti ili pružiti.
- Zajamčena brzina prijenosa bita – Atributi usluga UMTS nositelja, kao što su kašnjenje i pouzdanost, zajamčeni su za promet do zajamčene brzine prijenosa. Za promet koji prelazi zajamčenu brzinu prijenosa podataka, nisu zajamčeni atributi usluge UMTS nosioca. Parametar zajamčene brzine prijenosa može se koristiti za olakšavanje kontrole ulaza temeljem raspoloživih resursa i za raspodjelu resursa unutar UMTS mreže.

- Redoslijed isporuke – ovaj atribut definira treba li UMTS nositelj osigurati SDU¹⁰ redoslijed poruke ili ne. Izveden je iz korisničkog protokola te određuje jesu li SDU-ovi izvan redoslijeda prihvatljivi ili ne. Opadanje ili ponovno naručivanje SDU-a izvan redoslijeda ovisi o navedenoj pouzdanosti.
- Maksimalna veličina SDU-a – Ovaj atribut definira maksimalnu SDU veličinu pri kojoj mreža mora zadovoljiti dogovoreni QoS. Rukovanje paketima većim od maksimalne SDU veličine ovisi o implementaciji, odnosno navedeni paketi mogu biti ispušteni ili proslijeđeni smanjenim QoS-om.
- Informacije o SDU formatu – Pomoću ovog atributa moguće je definirati popis točnih veličina svih mogućih SDU-ova.
- Omjer pogrešno i ukupno primljenih SDU-a – Ovaj atribut ukazuje na udio SDU-a koji su izgubljeni ili su otkriveni kao pogrešni. Omjer pogreške SDU-a definiran je samo za usklađivanje prometa. Ovaj se atribut, prvenstveno unutar RAN-a, koristi za konfiguriranje protokola, algoritama i shema otkrivanja pogrešaka.
- Omjer zaostale pogreške bita – Ovaj atribut označava omjer neotkrivenih bitnih pogrešaka isporučenih SDU-a. U slučaju kada se ne traži otkrivanje pogreške, omjer zaostale bitne pogreške pokazuje omjer pogreške bita u isporučenim SDU-ovima. Ovaj se atribut koristi za konfiguriranje protokola, algoritama i kodiranja detekcije pogrešaka radijskog sučelja.
- Isporuka pogrešnih SDU-a – Ovaj atribut označava treba li isporučiti ili odbaciti SDU-ove koji su detektirani kao pogrešni.
- Kašnjenje u prijenosu – Ovaj atribut ukazuje na maksimalno kašnjenje za 95% isporučenih SDU-a tijekom radnog vijeka davatelja usluge, pri čemu je kašnjenje za SDU definirano kao vrijeme od zahtjeva za prijenos SDU-a s jedne pristupne točke usluge do isporuke kod druge pristupne točke. Ovaj se atribut odnosi na kašnjenje koje tolerira aplikacija.
- Prioritet u upravljanju prometom – Ovaj atribut određuje relativnu važnost rukovanja svim SDU-ovima koji pripadaju UMTS nositelju, a ne SDU-ima drugih nositelja. Unutar klase interaktivnog prometa postoji definitivna potreba za razlikovanjem kvaliteta nositelja.
- Prioritet dodjele/zadržavanja – Ovaj atribut određuje relativnu važnost raspodjele i zadržavanja UMTS nosioca u usporedbi s drugim UMTS nosiocima. Atribut prioriteta

¹⁰ Service Data Unit – paket mrežne razine, oktet [3]

raspodjele/zadržavanja je atribut pretplate o kojem mobilni terminal ne odlučuje. Ovaj se atribut koristi za razlikovanje nositelja tijekom izvršavanja dodjele i zadržavanja nositelja. U situacijama kada su mrežni resursi oskudni, relevantni mrežni elementi mogu iskoristiti ovaj prioritet dodjele/zadržavanja kako bi dali prednost tretiranja nositeljima s visokim prioritetom u odnosu na nositelje s malim prioritetom pri provođenju kontrole ulaza.

- Deskriptor izvorne statistike – Ovaj atribut određuje karakteristike izvora dostavljenih SDU-a. Govor prati dobro poznato statističko ponašanje ili ima faktor diskontinuiranog prijenosa.
- Indikacija signala – Ovaj atribut označava signalnu prirodu poslanih SDU-a, dodan je ostalim QoS atributima, ali ne utječe na njih. Definiran je samo u interaktivnoj klasi prometa.

Tehnička realizacija kombinacije vrijednosti QoS atributa koja tvori određenu klasu prometa s određenim karakteristikama naziva se „nosilac“. Nosilac je kolekcija dodijeljenih mrežnih resursa koja formira niz bitova koji ispunjavaju QoS zahtjeve, a time i zahtjeve krajnjeg korisnika.

3.2 Utjecaj opterećenosti kapaciteta na područje pokrivanja bazne stanice

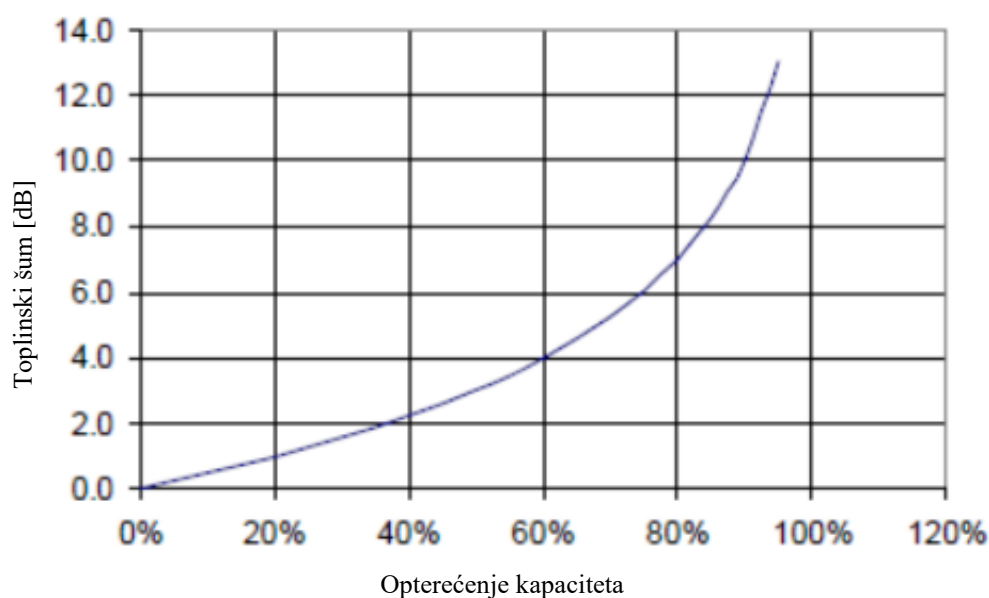
U WCDMA prijenosu, zahtjev za područje pokrivanja i kapacitetom nije moguće zasebno razmatrati, već ga treba planirati istodobno s odgovarajućim smjernicama. Ova veza između područja pokrivanja i kapaciteta često se naziva „efekt disanja“ [5]. Disanje ćelije je stalna promjena raspona geografskog područja koje pokriva bazna stanica na temelju količine podataka koja se trenutno prenosi. S porastom broja terminalnih uređaja koji koriste usluge s velikim brzinama prijenosa podataka, smetnje se povećavaju. Kao rezultat toga, područje pokrivanja stanice smanjuje se, te se pojavljuje, takozvano, područje mrtvog kuta. Stoga se pad poziva događa na rubu ćelije, a korisnicima na krajevima ćelija onemogućene su internetske usluga velikih brzina prijenosa podataka. Ako postoje korisnici koji imaju zahtjeve za prijenosom manjih količina podataka, tada će se područje pokrivanja ćelije povećati u usporedbi sa scenarijem kada postoje korisnici koji imaju potrebe za prijenosom većih količina podataka [8]. U usporedbi s TDMA¹¹/FDMA¹² tehnologijama prijenosa, koje se koriste u GSM mreži,

¹¹ TDMA - Time-division multiple access - radi na način da svaki frekvencijski kanal dijeli u nekoliko vremenskih odsječaka [3].

¹² FDMA – Frequency-division multiple access - radi na način postojeći frekvencijski pojas dijeli u zasebne frekvencijske kanale [3].

područje pokrivanja WCDMA tehnologijom prijenosa ne može se planirati neovisno o opterećenju na mreži. Trenutno opterećenje mreže utjecat će na pokrivenost uglavnom na dva različita načina, ovisno o tome koja se veza razmatra.

Na uzlaznoj liniji, što se više korisnika priključuje na mrežu, čvor B će detektirati veći šum. Ovo povećanje šuma, koje se naziva i termički porast, zahtijeva da svaki terminalni uređaj poveća svoju snagu prijenosa kako bi prevladao ovo povećanje šuma. Stoga se može reći da se učinkovito pokrivanje uzlazne veze smanjuje potrebnim povećanjem snage prijenosa. Taj je učinak dokumentiran i može se prikazati krivuljom porasta toplinskog šuma i opterećenja prikazanom na slici 7, primjerice, kada je opterećenje 50%, pokrivenost se smanjuje za faktor 3 dB [5]. Na silaznoj liniji „efekt disanja“ ne može se tako lako kvantificirati, jer na pokrivenost utječe maksimalna snaga odašiljanja koju nije moguće povećati.

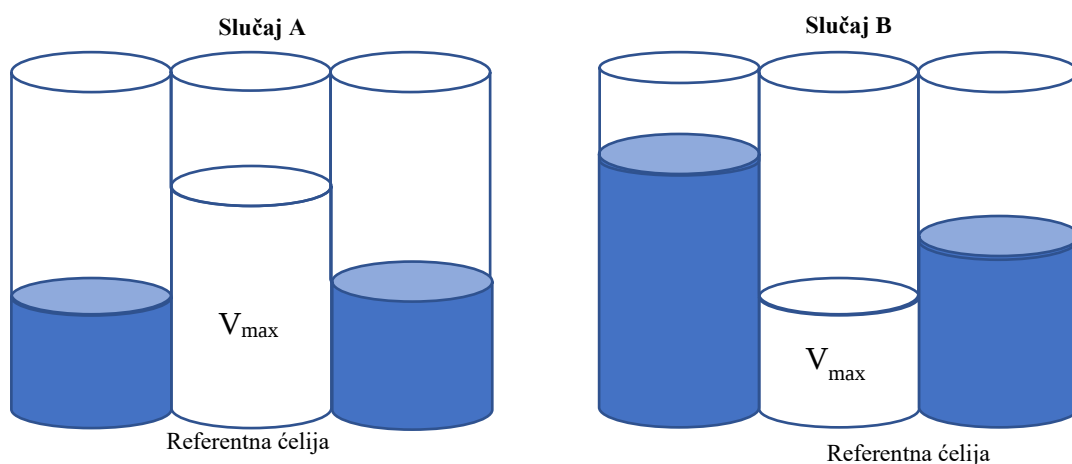


Slika 7. Utjecaj povećanja opterećenja na porast toplinskog šuma u spektru
Izvor: [5]

4 MODELIRANJE I DIMENZIONIRANJE BAZNE STANICE

Pojedina ćelija u mobilnom sustavu može se tretirati kao potpuno raspoloživa grupa s konstantnim ili promjenjivim kapacitetom, ovisno o mogućem utjecaju okoline na opterećenost radio sučelja. Dok se radio sučelje u GSM sustavu može se tretirati kao primjer sustava s tvrdim kapacitetom, radio sučelja UMTS ili LTE¹³ sustava mogu se tretirati kao primjer sustava s mekim kapacitetom. U GSM sustavu maksimalni broj pretplatnika koji se istovremenu mogu povezati na baznu stanicu ovisi isključivo o broju korištenih frekvencijskih kanala, što nije slučaj u sustavima s mekim kapacitetom.

Mekani kapacitet ukazuje na mogućnost promjene kapaciteta bazne stanice, ovisno o vanjskim utjecajima u kojima važnu ulogu ima stupanj opterećenja u susjednim ćelijama.



Slika 8, Fenomen mekog kapaciteta
Izvor: [1]

Slika 8 prikazuje referentnu ćeliju u obliku valjkaste posude okružene s dvije susjedne ćelije, te prikazuje ovisnost kapaciteta sustava o opterećenjima susjednih ćelija. Visina tekućine u posudi predstavlja opterećenje bazne stanice. Iz prikaza je vidljivo da se relativno malo opterećenje susjednih ćelija odražava na veliki kapacitet referentne ćelije (A slučaj). Povećanje opterećenja u susjednim ćelijama zauzvrat uzrokuje smanjenje maksimalnog kapaciteta referentne ćelije (B slučaj) [1].

4.1 Raspodjela resursa u UMTS mobilnoj mreži

UMTS sustav spada u sustave s mekim kapacitetom. Radio sučelje pojedine izolirane ćelije unutar UMTS mreže teoretski ima veliki kapacitet. Dostupni kapacitet u pojedinom

¹³ Long Term Evolution – bežična prijenosna tehnologija četvrte generacije

sučelju ograničen je prihvaćenom razinom smetnji u frekvencijskom kanalu. U svakom mobilnom sustavu s raspodijeljenim spektrom signala kapacitet radijskog sučelja je ograničen kao rezultat pojave nekoliko vrsta smetnji:

- smetnje između kanala unutar bazne stanice – javlja se prilikom istovremenog korištenja frekvencijskog kanala unutar iste ćelije
- vanjske smetnje kanala unutar bazne stanice – javlja se kod istovremenog korištenja frekvencijskog kanala unutar susjednih ćelija
- smetnje susjednih kanala – javlja se zbog djelovanja susjednih frekvencijskih kanala istog ili drugog operatora
- ostale smetnje iz drugih izvora [1].

Iz istih razloga, rast opterećenja u radijskom sučelju praćen je rastom smetnji koje generiraju drugi korisnici usluga (u ovoj ćeliji ili u drugim ćelijama). Da bi se osigurala prihvatljiva razina usluge, potrebno je ograničiti broj zauzetih resursa po izvorima prometnih usluga. Procjenjuje se da je maksimalno korištenje resursa radijskog sučelja u UMTS mreži, bez smanjivanja kvalitete usluge, oko 50 – 80%. Meki kapacitet radio sučelja poznat je kao kapacitet ograničene interferencije.

UMTS sustav nudi nekoliko prometnih klasa, koje omogućavaju različite brzine prijenosa. Stoga je u analizi radio sučelja potrebno razmotriti klasu prometa kojemu pripada poziv i brzinu prijenosa podataka koju zahtijeva poziv ove klase. Radijsko sučelje u UMTS sustavu može se smatrati diskretnom višeuslužnom mrežom.

U radio sučelju UMTS sustava točan prijem signala u prijemniku moguć je jedino uz odgovarajući omjer energije po bitu E_b u odnosu na spektralnu gustoću šuma N_0 . To znači da će prenizak iznos vrijednosti E_b/N_0 uzrokovati to da prijemnik neće biti u mogućnosti dekodirati prijemni signal, dok će preveliku vrijednost navedenog omjera drugi korisnici istog radio kanala percipirati to kao smetnju [1].

Tablica 2. Primjer UMTS usluga i faktora opterećenja

Parametri	USLUGE		
	Govor	Video poziv	Podaci
W (Mc/s)	3.84	3.84	3.84
r_i (kb/s)	12.2	64	144
v_i	0.67	1	1
E_b/N_0 (dB)	4	2	1.5
L_i	0.005	0.026	0.050

Izvor: [1]

Omjer energije po bitu u odnosu na spektralnu gustoću šuma, za određeni prometni izvor klase i , može se izraziti na sljedeći način:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i = \frac{W}{v_i r_i} * \frac{P_i}{I_{total} - P_i} \quad (1)$$

gdje su:

- P_i – prosječna snaga signala primljena iz izvora prometa klase i
- I_{total} – ukupna snaga primljenog signala u baznoj stanici s toplinskim šumom
- W – intenzitet generiranja chip-ova u jedinici vremena
- r_i – kapacitet linka podatkovnog signala od izvora prometa klase i (kb/s)
- v_i – faktor aktivnosti izvora prometa klase i
- L_i – faktor opterećenja [1].

4.1.1 Uzlazna veza

Na temelju poznatih faktora opterećenja, kao što broj usluženih prometnih izvora na promatranom uzlanom linku N_i i koeficijent opterećenja pojedine klase prometa L_i , moguće je odrediti ukupno opterećenje η_{UL} za smjer uzlazne veze pomoću formule:

$$\eta_{UL} = \sum_{i=1}^M N_i L_i \quad (2)$$

Formula (2) određuje idealno, maksimalno opterećenje sučelja jedne izolirane ćelije. U stvarnim ćelijskim mrežama, međutim, mora se uzeti u obzir promet generiran u drugim ćelijama koji također ograničavaju kapacitet sučelja određene stanice. Dakle, navedena jednadžba nadopunjuje se s koeficijentom koji uzima u obzir sučelje druge ćelije. Ukupno opterećenje uzlazne veze poprima sljedeći oblik:

$$\eta_{UL} = (1 + \delta_j) \sum_{i=1}^M N_i L_i \quad (3)$$

gdje je δ_j omjer interferencije drugih ćelija u odnosu na vlastitu interferenciju.

S porastom opterećenja radio sučelja, razina smetnji generiranih u sustavu također se povećava. Povećanje šuma definira se kao omjer ukupne snage signala koji je primljen u sustavu I_{total} i toplinskog šuma P_N . Odnos je definiran kao koeficijent povećanja šuma ω :

$$\omega = \frac{I_{total}}{P_n} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (4)$$

Kada se opterećenje smjera uzlazne linije poveća prema jedinicu, odgovarajuće povećanje smetnje teži beskonačnosti.

4.1.2 Silazna veza

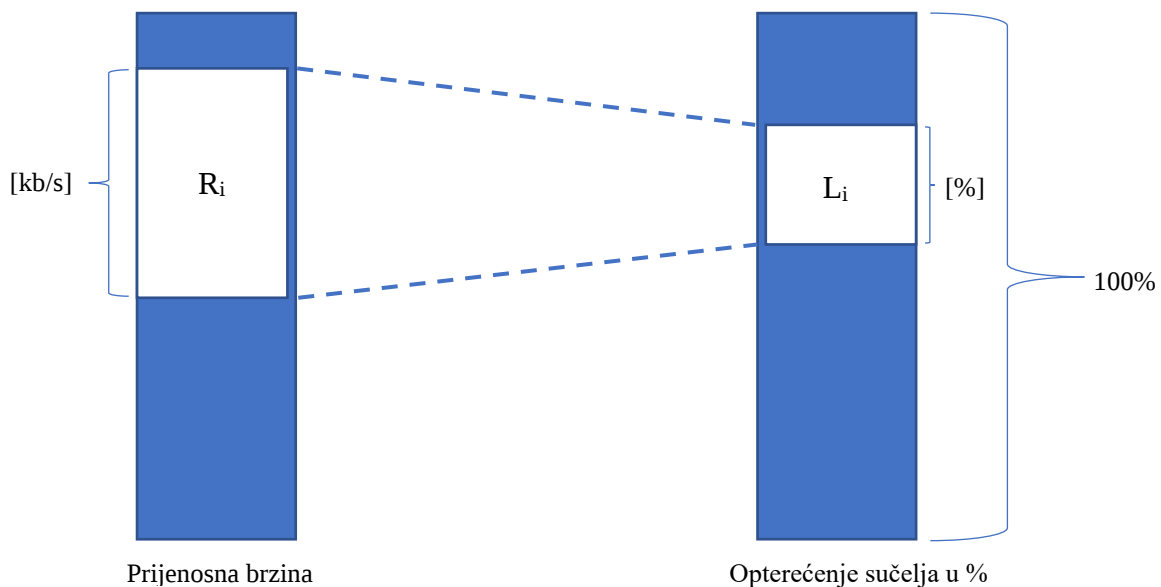
Ukupno opterećenje u silaznoj vezi može se zapisati uz pomoć slijedećeg izraza:

$$N_{DL} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} (1 - \xi_j + \delta_j) L_i \quad (5)$$

gdje je parametar ξ_j definiran kao ortogonalni faktor za j -tog korisnika, dok je δ_j definiran kao omjer interferencije ostalih ćelija i interferencije vlastite ćelije koja ovisi o lokaciji j -tog korisnika unutar ćelije.

4.1.3 Raspodjela resursa u radio sučelju

U sustavima s mekim kapacitetom, raspoloživa propusnost sustava razlikuje se od teoretskog kapaciteta izolirane ćelije. Kapacitet takve ćelije može se mijenjati od maksimalnog (kapacitet izolirane ćelije koja nije izložena vanjskim utjecajima) do određenog minimalnog kapaciteta, kada je utjecaj opterećenja iz susjednih ćelija maksimalan. U razmatranom sustavu, upotreba brzine prijenosa podataka kao mjere raspoređivanja nije baš prikladna, te je mnogo sofisticiranija u mjerenjima razine raspodjele radio resursa u drugim jedinicama pogodnijim za mobilne sustave s mekim kapacitetom. Shema rasporeda resursa u radio sučelju prikazana je na slici 9, gdje R_i predstavlja količinu resursa dodijeljenih korisniku, izraženih u kb/s, dok L_i predstavlja opterećenje sučelja izraženo u postotku.



Slika 9. Raspored resursa u radio sučelju
Izvor: [1]

Ćelijski sustav s mekim kapacitetom pruža usluge više prometnih klasa s različitim faktorima opterećenja. Takav sustav može se tretirati kao sustav s više brzina u kojem bi vrijednost, takozvanih, osnovnih jedinica propusnosti (eng. *Basic Bandwidth Units – BBU*) trebala biti manja ili jednaka najvećem zajedničkom djelitelju resursa koji zahtijevaju pojedinačni pozivi. U slučaju WCDMA radio sučelja u UMTS mreži, može se napisati:

$$L_{BBU} = GCD(L_1, L_2, \dots, L_M) \quad (6)$$

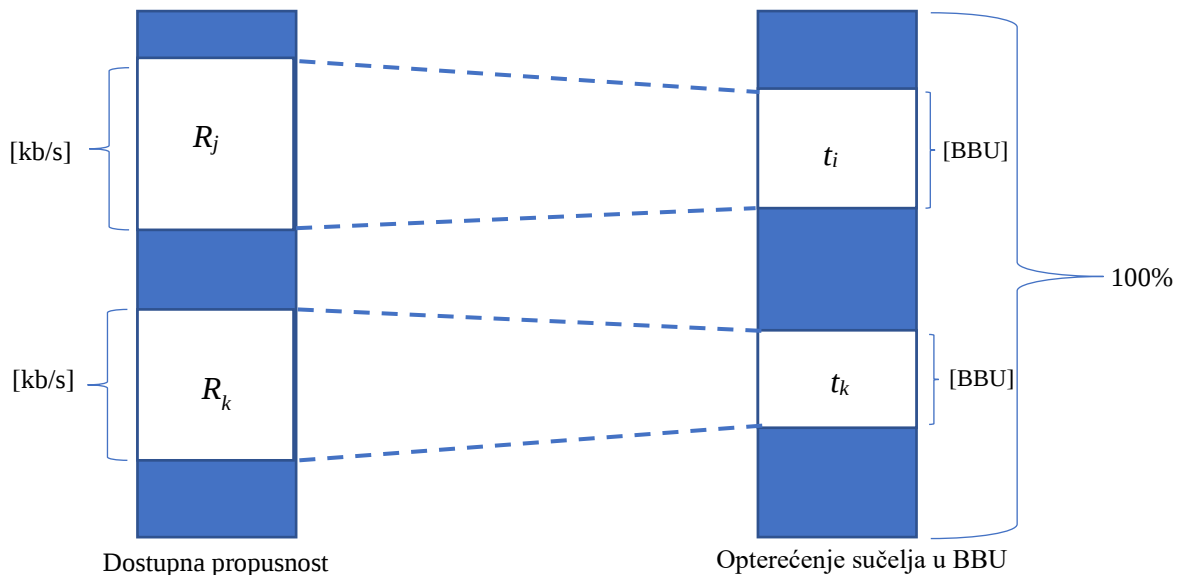
Kapacitet sučelja tada se može izraziti brojem BBU-ova:

$$V = \frac{\eta}{L_{BBU}} \quad (7)$$

gdje je η kapacitet radio sučelja za uzlaznu ili silaznu vezu.

Na sličan način može se izraziti broj BBU koji je potreban za poziv u danoj klasi. Na slici 10 prikazan je način promjene raspodjele resursa izražene u kb/s u raspodjelu resursa koja je izražena u BBU, prema izrazu:

$$t_i = \frac{L_i}{L_{BBU}} \quad (8)$$



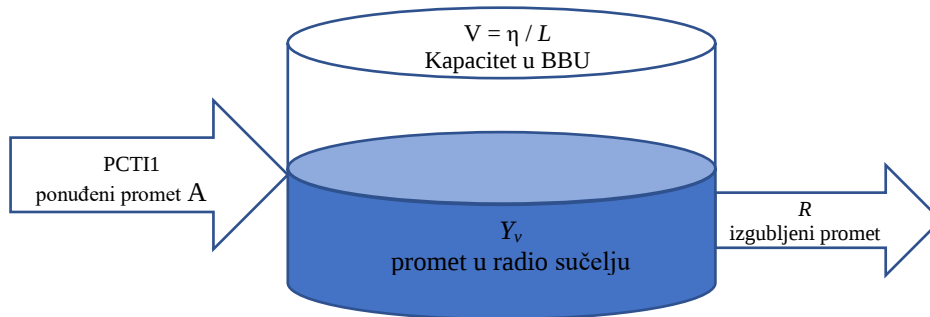
Slika 10. Raspored resursa u radio sučelju više stope
Izvor: [1]

4.2 Čelijski sustav s mekim kapacitetom za posluživanje jedne vrste usluge

Postoje dva modela radio sučelja u mobilnim mrežama s mekim kapacitetom za posluživanje jedne vrste usluga, a to su Erlangov i Engsetov model. Osnova za navedene modele sučelja su modeli grupe pune dostupnosti.

4.2.1 Erlangov model radio sučelja

U ovom modelu broj BBU ponuđenih radijskom sučelju stanice promjenjiv je i ovisi o vanjskim okolnostima, odnosno o opterećenju susjednih ćelija. Nadalje, pretpostavlja se da ćelija poslužuje isključivo jednu klasu usluge, što znači da svaki poziv zahtijeva jedan BBU da uspostavi vezu [1]. Slika 11 prikazuje vizualni model razmatrane bazne stanice s mekim kapacitetom.



Slika 11. Model s mekim kapacitetom koji poslužuje PCTI promet
Izvor: [1]

Da bi se ispravno određivala svojstva sustava, potrebno je provoditi postupke za utvrđivanje ekvivalentnog kapaciteta sustava:

- a) Ekvivalentni kapacitet sustava za uzlaznu vezu u BBU:

$$V_{UL} = \frac{\eta}{L(1 + \delta)} \quad (9)$$

- b) Ekvivalentni kapacitet sustava za silaznu vezu u BBB:

$$V_{DL} = \frac{\eta}{L(1 - \xi + \delta)} \quad (10)$$

4.2.2 Engsetov model radio sučelja

Ovaj se model odnosi na radijsko sučelje u ćelijama u mobilnoj mreži s mekim kapacitetom u kojima je broj izvora prometa ograničen, iako veći, od kapaciteta sučelja. Pretpostavlja se da je broj kanala dostupnih u ćeliji promjenjiv i ovisan o vanjskim

čimbenicima. Uz to, standardna pretpostavka da svaki poziv zahtijeva jedan BBU za uspostavljanje veze ostaje jednako valjana kao i u Erlangovom modelu [1]. Engsetovim modelom nastoji se pojednostaviti predviđanje performansi sustava kada su resursi i količina izvora prometa ograničeni.

5 MEHANIZMI UPRAVLJANJA KAPACITETOM BAZNE STANICE

Kako bi se kapacitet ćelije maksimalno iskoristio, nužno je vršiti kvalitetno upravljanje radio resursima. Neki od najznačajnijih mehanizama za upravljanje kapacitetom bazne stanice su:

- kontrola snage
- kontrola prekapčanja
- kontrola dodjele pristupa.

5.1 Kontrola snage

Postupci kontrole snage omogućuju da se snaga signala koji se prenosi u radio kanalu prilagodi promjenjivoj udaljenosti između odašiljača i prijamnika signala. To se provodi promjenom intenziteta signala koji prenosi, na primjer, mobilna stanica u danom intervalu vrijednosti na takav način da, u određenom trenutku za zadanu duljinu veze i zadanu razinu smetnji u kanalu, bude najniža primjenjiva razina koja osigurava željeni učinak na kvalitetu prijenosa koji se želi postići. Kontrola snage u UMTS-u izvedena je pomoću dva mehanizma:

- kontrola snage s otvorenom petljom
- kontrola snage zatvorenom petljom, u kojoj razlikuju mehanizmi unutarnje i vanjske petlje upravljanja snagom.

Kontrola snage s otvorenom petljom predstavlja sposobnost odašiljača da svoju izlaznu snagu postavi na početnu vrijednost prikladnu za prijemnik. Mobilna stanica u uzlaznoj vezi podešava snagu odašiljanja na temelju razine CPICH¹⁴ signala primljenog u praznom hodu. Pokretna stanica također prima parametre povezane s dopuštenom razinom snage koju emitira ćelija u BCCH¹⁵ kanalu. Mobilna stanica procjenjuje gubitak širenja signala u radio kanalu i procjenjuje razinu snage s kojom se može pokrenuti prijenos u PRACH¹⁶ kanalu [1].

Zatvorenom petljom postiže se znatno preciznija kontrola snage. Na čvoru B procjenjuje se primljeni odnos snaga i interferencije (eng. Signal to Interference Ratio - SIR), te se uspoređuje s ciljanom vrijednosti. Ukoliko je primljeni odnos snaga i interferencije manji od ciljane vrijednosti, bazna stanica zahtjeva od mobilne stanice da se pojača snaga odašiljanja.

¹⁴ eng. Common Pilot Channel – fizički kanal koji se koristi na silaznoj vezi za sinkronizaciju [1].

¹⁵ eng. Broadcast Control Channel – logički kanal na silaznoj vezi za prijenos kontrolnih informacija u Broadcast prometu [1].

¹⁶ eng. Physical random access channel – fizički kanal na uzlaznoj vezi za ukazivanje na alokaciju radio resursa [1].

5.2 Kontrola prekapćanja

U UMTS sustavu postoji tvrdo i meko prekapćanje. Tvrdo prekapćanje događa se bez sudjelovanje mobilne stanice, te se najčešće događa kada se poziv prebacuje sa GSM mreže na UMTS mrežu. Meko prekapćanje poziva podrazumjeva interakciju mobilne stanice sa čvorom B, na način da se prvo uspostavi veza između ciljne ćelije, te se neko vrijeme paralelno koristi kanal u izvornoj ćeliji te kanal u ciljnoj ćeliji [1].

Kada se mobilna stanica nalazi na području pokrivanja više ćelija različitih baznih stanica, ona osluškuje kvalitetu veze sa svakom pojedinom ćelijom. Obje bazne stanice primaju signal od mobilne stanice koji se prosljeđuje u RNC gdje se provodi vanjska petlja kontrole snage. Nakon obrade podataka, za ciljnu baznu stanicu odabire se ona koja ima manju učestalost pojavljivanja pogreške.

5.3 Metode dodjele pristupa

Kako bi se zadovoljila sve veća potražnja za multimedijalnim uslugama, koje zahtijevaju velike brzine prijenosa podataka, uveden je HSDPA protokol. Kako bi iskoristivost kanala bila veća, podatkovni kanal velike brzine prijenosa podataka silazne veze dijeli više korisnika unutar iste ćelije kako bi ponudio vršne brzine prijenosa podataka veće od 10 Mb/s.

Da bi se postigle željene brzine prijenosa podataka, HDSPA se oslanja na nove tehnologije koje uključuju:

- prilagodljivu modulaciju i kodiranje (eng. *Adaptive Modulation Coding* - AMC) – HDSPA dopušta primjenu 16 kvadraturne amplitudne modulacije (eng. *Quadrature Amplitude Modulation* – 16 QAM), uz preduvjet niske interferencije. Modulacijske sheme mijenjaju se ovisno o opterećenju kanala i kvaliteti signala
- hibridni zahtjev za automatskim ponavljanjem (eng. *Hybrid Automatic Repeat Request* - ARQ)
- brzo raspoređivanje kapaciteta
- brzi fizički sloj [6].

Također, znatno povećanje brzine prijenosa podataka omogućeno je uvođenjem novih kanala:

- dijeljeni kanal na silaznoj vezi s velikom brzinom prijenosa podataka (eng. *High Speed Downlink Shared Channel* – HS-DSCH) – kanal dijeli više korisnika sustava kako bi se

u potpunosti iskoristilo radio sučelje ovisno o uvjetima propagacije i razini interferencije

- signalizacijski kontrolni kanal s velikom brzinom prijenosa podataka (eng. *High Speed Signaling Control Channel – HS-SCCH*)
- namjenski fizički kontrolni kanal s velikom brzinom prijenosa podataka (eng. *High Speed Dedicated Physical Control Channel – HS-DPCCH*) [7].

Raspoređivanje kapaciteta, odnosno način dodjele pristupa korisnicima, predstavlja jednu od najvažnijih značajki HSDPA protokola. Kako bi kapacitet ćelije bio maksimalno iskorišten, uvedeni su algoritmi koji imaju zadatak alocirati resurse u ćeliji tako da se maksimalno iskoristi kapacitet ćelije, a da se pritom zadovolje svi QoS zahtjevi. Ulazni podaci potrebni takvom algoritmu su:

- resursi: snaga signala na HS-PDSCH i HS-SCCH kanalima, HS-PDSCH kodovi, broj HS-SCCH kanala
- mjerenje kvalitete signala na silaznoj vezi
- QoS parametri
- razni drugi podaci poput količine podataka koji se nalaze u međuspremniku na čekanju, mogućnost mobilnog uređaja, i drugi [7].

Kako bi se resursi u radio sučelju rasporedili pravedno, a da se u isto vrijeme maksimalno iskoristi kapacitet ćelije, koristi se kombinacija brzih i sporih različitih algoritama za dodjelu pristupa, prikazanih u tablici 3.

Spori algoritmi za dodjelu pristupa su:

- Round Robin
- pristup se temelji na prosječnoj vrijednosti omjera C/I (eng. *Average C/I*)
- pristup koji osigurava pravednu raspodjelu propusnosti (enf. *Fair Throughput - FTH*).

Brzi algoritmi za dodjelu pristupa su:

- pristup se temelji na najvećoj vrijednosti omjera C/I (eng. *Maximum C/I*)
- pristup se temelji na proporcionalnoj pravednosti (eng. *Proportional Fair - PF*)
- brzi algoritam temeljen na pravednoj propusnosti (eng. *Fast Fair Throughput - FFTH*) [6].

Tablica 3. Metode dodjele pristupa

Metode dodjele pristupa	Brzina prilagodbe radio uvjetima	Redoslijed posluživanja	Pravednost pri dodjeli resursa
Round Robin	Mala	Ciklično posluživanje korisnika	Pravedna proporcionalna propusnost i prosječno ista količina radio resursa
Fair Throughput	Mala	Poslužuje se korisnik s najnižom prosječnom propusnošću	Pravedna raspodjela propusnosti uz <i>max-min</i> način
Average Fair	Mala	Poslužuje se korisnik s najboljim prosječnim radio uvjetima na linku	Nepravedna raspodjela resursa u korist korisnika s boljim radio uvjetima
Proportional Fair	Velika	Poslužuje se korisnik s trenutno relativno najboljim radio uvjetima na linku	Pravedna raspodjela propusnosti i resursa, uz određene pretpostavke
Fast fair Throughput	Velika	Poslužuje se korisnik s trenutno relativno najboljim radio uvjetima na linku uključujući i druge korisnike	Pravedna raspodjela propusnosti uz <i>max-min</i> način i određene pretpostavke
Maksimum C/I	Velika	Poslužuje se korisnik s najboljim radio uvjetima na linku	Nepravedna raspodjela resursa u korist korisnika s boljim radio uvjetima

Izvor: [6]

6 ANALIZA PERFORMANSI RADIO PRISTUPNE TOČKE

Najvažniji faktor koji utječe na kapacitet je odgovarajući model širenja signala. Ovi modeli izračunavaju putanju na određenoj udaljenosti između odašiljača i prijemnika, te predviđaju područje pokrivanja ćelije. Modeli širenja signala usredotočeni su na predviđanje jačine primljenog signala na određenoj udaljenosti od prenesene snage. Uz to, oni pružaju veliku pomoć inženjerima za planiranje mobilnih mreža jer pružaju uvid područje pokrivanja ćelije uz minimiziranje smetnji. Postoje mnogi parametri na svakoj pojedinoj mikrolokaciji koji su uključeni u modele širenja signala, kao što su visine antena, profili terena, karte smetnji i vrste smetnji, a koji su vrlo bitni za planiranje mreže. Modeli širenja signala izračunavaju gubitke signala koji se javljaju prilikom prolaska signala kroz prostor.

Sve te relevantne informacije vrlo su važne za određivanje precizne pokrivenosti, položaja i optimizacije čvora B. Bez predviđanja širenja signala, parametri poput procjene pokrivenosti mogu se dobiti samo opsežnim terenskim mjerenjima koja troše vrijeme, te su istovremeno znatno skupe.

6.1 Modeli širenja signala

Postoje razne vrste modela širenja signala kao što su empirijske, teorijske i stanični specifične modeli. Teoretski modeli izvedeni su pod pretpostavkama idealnih uvjeta. Primjerice, koriste se modeli širenja signala koji prikazuju šumove koji nastaju uslijed prepreka u vidu zgrada u naseljenom području uz pretpostavku da su sve zgrade jednakih visina i međusobnih razmaka.

Empirijski modeli izvedeni su iz opsežnih mjerenja na terenu, a ulazni parametri za ove modele su kvantitativni. Ovi se modeli mogu koristiti za specifična okruženja, te se koriste relativno jednostavno i učinkovito. Primjerice, empirijski model za makro ćelije ne može se koristiti za modeliranje u zatvorenom prostoru. Neki od empirijskih modela širenja signala su:

- model gubitka slobodnog puta u prostoru (eng. *Free Space Path Loss Model - FSPL*)
- Okumura Model
- Okumura-Hata Model
- Cost-Hata model
- Stanford Sveučilišni privremeni Model (eng. *Stanford University Interim Model - SUJ*)
- COST 321 Walfish-Ikegami Model

- Ericssonov model
- standardni model širenja signala (eng. *Standard Propagation Model - SPM*) [8].

6.2 Analiza učinkovitosti različitih modela širenja signala

Planiranje radio mreže pomoću pojedinih modela radio mreže vrlo su važni u dizajnu i optimizaciji bilo koje mreže. Ti se modeli koriste prije pokretanja mreže, a rezultati performansi mreže pojedinih modela mogu se koristiti i kasnije za potrebe optimizacije. Modeli predviđanja gubitka puta, fizički parametri opreme na čvoru B i lokalizirane informacije o određenom području, koriste se za određivanje vjerojatnost opsluživanja određenog čvora B u određenoj točki. Za analizu učinkovitosti modela širenja signala koristi se alat Atoll¹⁷ na kreiranje predikcije bazirane na temelju SPM modela. Zbog nedostupnosti opreme i softvera ova analiza preuzeta je iz [8]. Na temelju analize ovih rezultata autori su proveli dimenzioniranje kapaciteta urbane mreže grada Islamabada u Pakistanu.

6.3 Analiza performansi mreže

Prije samog početka rada potrebno je postaviti određene ulazne parametre, kao što su klasifikacija područja, digitalne modele, ceste, konfiguracija terena, visine objekata i druge.

Klasifikacija područja, odnosno klasifikacija šuma, prikazuje očekivanu razinu smetnji s obzirom na okolinu u kojoj se signal rasprostire kao što je gradska sredina, ruralno područje, otvoreno područje i ostalo.

Tablica 4, Unutarnji i vanjski ulazni gubici šuma

Klasa šuma	Gubitak uslijed šuma [dB]	Gubici u zatvorenom prostoru [dB]
Otvoreni prostor	-4	0
Unutarnje vode	-13	0
Šume	-2	0
Parkovi	-6	0
Selo	-8	0
Industrijska	-1	0
Poljoprivredna	-10	0
Zračna luka	-2	0
Ceste	-2	0
Ruralna	-10	0
Urbana	2	20
Guste urbane sredine	3	20
Zgrade	4	20
Stambena	2	20

¹⁷ Atoll - višenamjenski softver za dizajn i optimizaciju bežične mreže [8].

Izvor :[8]

Iz tablice 4 vidljivo je da najveći gubitak prilikom širenja signala daju klase šuma visokih zgrada i guste gradske četvrti. Isto tako, dodatni gubitak širenju signala u zatvorenom prostoru, od 20 dB, daje se i onim klasama šuma gdje je većina korisnika unutar zgrada, primjerice u stambenoj, gustoj urbanoj klasi te klasi sa visokim zgradama.

Prema [8], u SPM modelu dva parametra imaju kritičnu ulogu, a to su klasa šuma i gubici zbog difrakcije¹⁸. U ovoj analizi ova dva parametra podešena su prema topografskom području Islambada. Za urbane sredine s visokim zgradama uzimaju se veći iznosi gubitaka šuma, no kako je većina područja Islamabada obična i nema mnogo visokih zgrada, uzima se vrijednost 1. U Islamabadu prosječna visina čvora B iznosi 30 metara. Što je znatno veće od prosječne visine zgrada, koja iznosi 10 metara. Difrakcijski gubitak bit će vrlo mali u takvom scenariju. Vrijednost difrakcijskih gubitaka, kao i vrijednost gubitaka šuma, vrlo je visoka za gradove koji imaju visoke zgrade, no to u ovoj analizi nije slučaj. Vrijednost gubitka uslijed šuma varira od 1 u gradovima bez zgrada do 3 u gradovima s visokim zgradama.

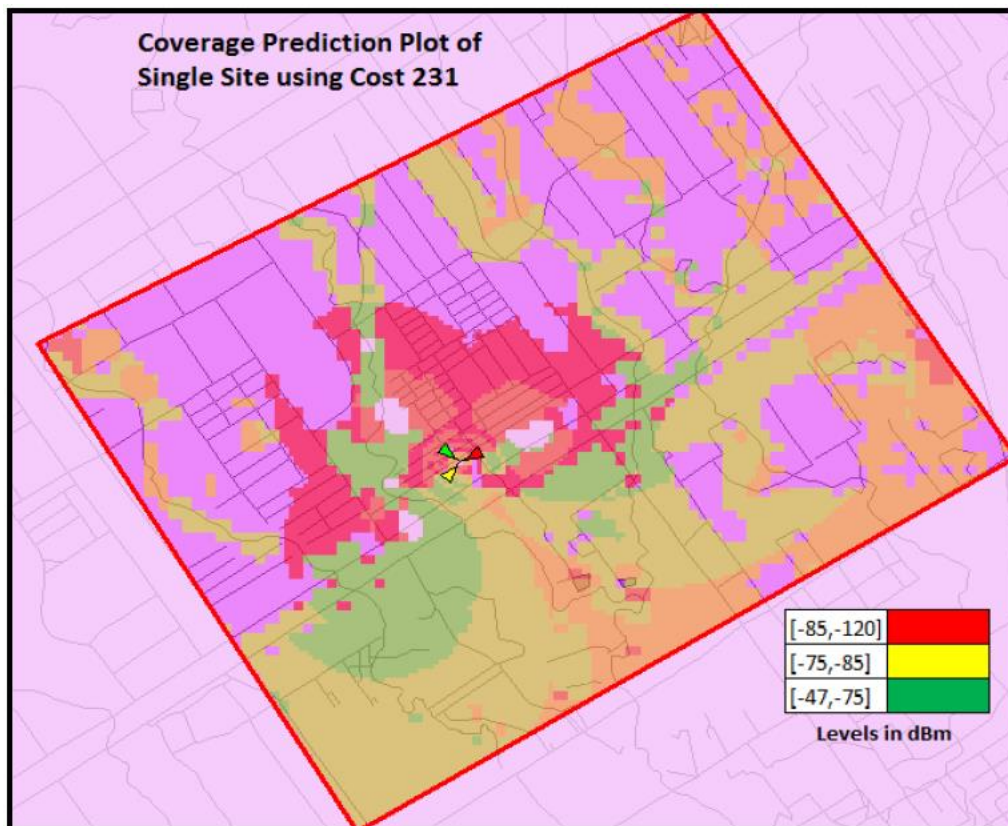
6.3.1 Predviđanje pokrivenosti i propusnosti pojedine bazne stanice

Predviđanje podrazumijeva definiranje očekivane jačine signala i propusnosti u određenoj točki ili na određenom području. Predviđeni gubici uslijed šuma također su uključeni u predikciju pokrivenosti i propusnosti. Analiza se vrši za tri različita modela širenja signala:

- Cost-Hata
- Okumura
- SPM.

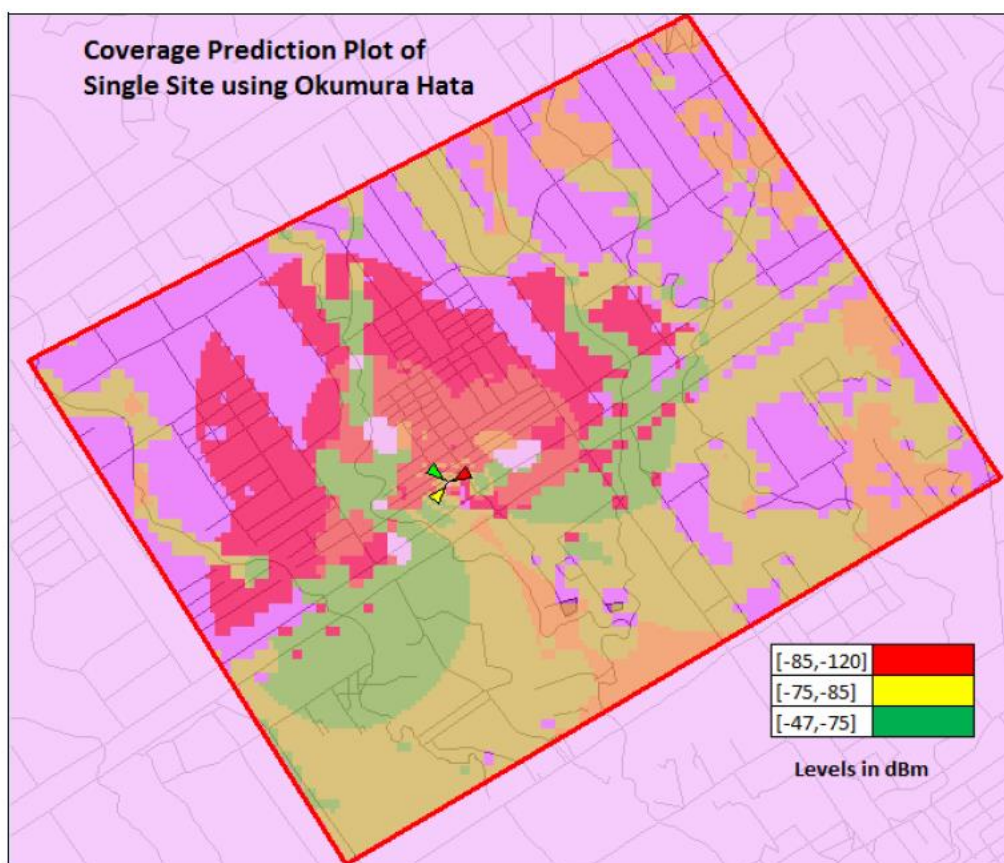
Područje pokrivanja prikazano je raznim bojama, primjerice, [-60, 0 dBm] raspon pokrivenosti prikazan je zelenom bojom, [-60, -70 dBm] prikazan je svijetlo zelenom, [-70, -80 dBm] je prikazan žutom bojom, [-80, -90 dBm] je prikazan narančastom bojom, a [-90, -110 dBm] crvenom bojom. Zeleno područje pokazuje da je jačina signala izvrsna, a tamo gdje crvena boja pokazuje da je jačina signala prilično slaba [8].

¹⁸ Difrakcija je promjena smjera širenja vala prilikom prelaska zapreke ili prolaska kroz uski prolaz čije su dimenzije približne valnoj duljini vala, te zbog toga nastaju smetnje.



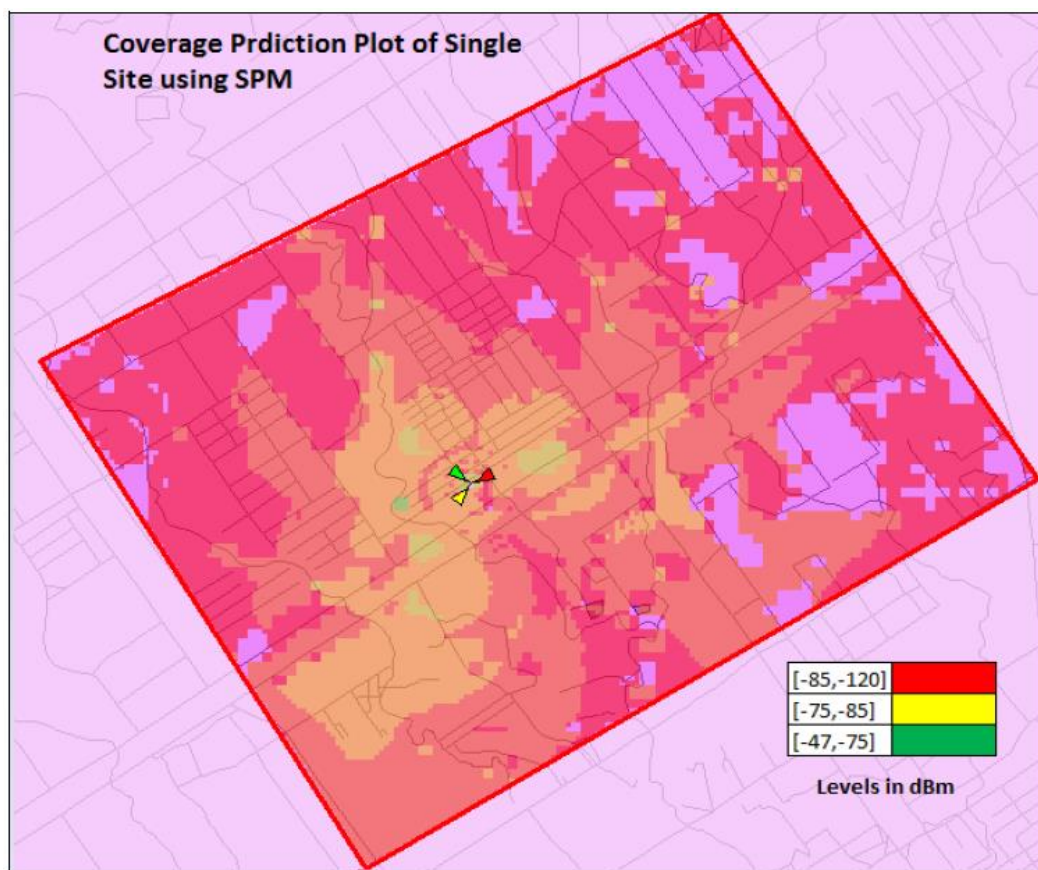
Slika 12. Prikaz pokrivenosti jednog čvora B korištenjem modela Costa Hata, [8]

Slika 12 pokazuje da se primjenom modela Costa Hata uočava slaba pokrivenost područja u blizini bazne stanice. Također, može se zaključiti da mnoga područja nisu u potpunosti prekrivena.



Slika 13. Prikaz pokrivenosti jednog čvora B korištenjem modela Okumura Hata, [8]

Slika 13 prikazuje područje pokrivenosti signalom korištenjem modela Okumura Hata te je, također, vidljivo da je područje slabo pokriveno kao i kod prethodnog modela.

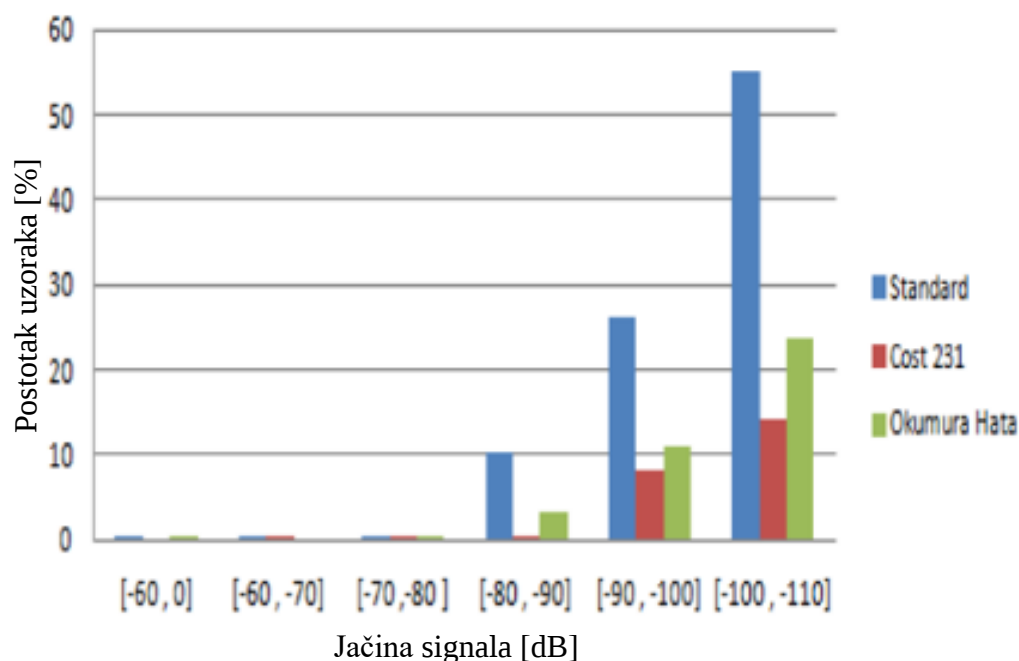


Slika 14. Prikaz pokrivenosti jednog čvora B stanice korištenjem modela SPM, [8]

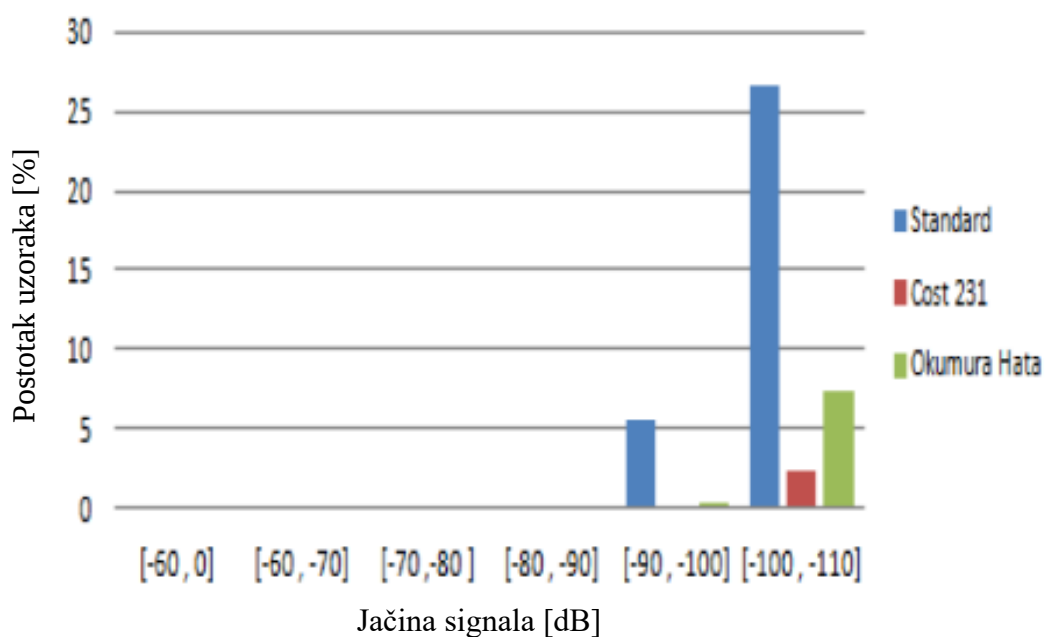
Slika 14 pokazuje da je predviđena pokrivenost SPM modela širenja signala znatno bolja od predviđanja drugih modela. Model SPM pokazuje gotovo cjelovitu pokrivenost promatranog područja, te daje dobru pokrivenost u rasponu od $[-60, -70 \text{ dBm}]$ blizu lokacije bazne stanice. U slučajevima ostalih modela širenja signala može se primijetiti da mnoga područja nisu pokrivena, te da je slaba pokrivenost uočena i blizu bazne stanice.

Detaljna analiza pokrivenosti također se radi i za klase šuma. U ovoj studiji u obzir su uzete dvije klase šuma: stambeno područje i zgrade.

Da bi se uspoređivali rezultati, za svaku se klasu šuma izrađuju grafovi koji pokazuju raspodjelu razine signala u dBm za svaki raspon, primjerice, raspon $[-60, 0 \text{ dBm}]$ pokazuje da snaga primljenog signala leži između 0 i -60 [dBm] .



Slika 15. Usporedba pokrivenosti jednog čvora B za klasu nerada Stambenog područja, [8]

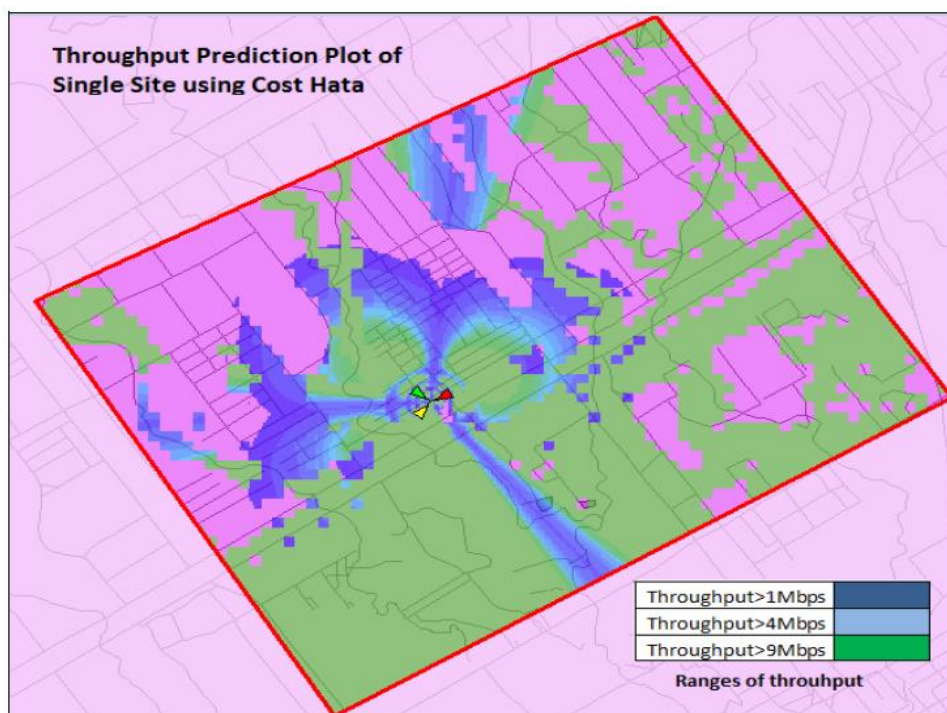


Slika 16. Usporedba pokrivenosti jednog čvora B za klasu nerada Zgrade, [8]

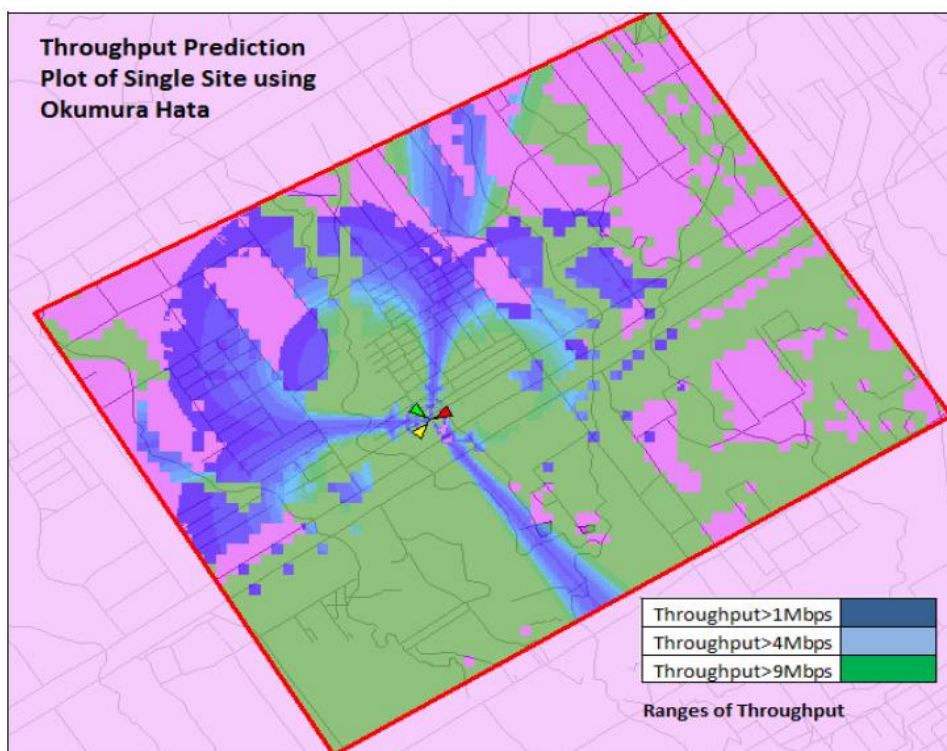
Slike 15 i 16 pokazuju ograničenja Cost 231 i Okumura Hata modela u predviđanju pokrivenosti za klase šuma u zatvorenim prostorima u stambenoj klasi i klasi zgrada. SPM model pruža bolju prognozu pokrivanja za ove klase šuma u usporedbi s druga dva modela širenja signala.

Slike 17, 18 i 19 prikazuju predviđenu propusnost na baznoj stanici, koristeći različite modele širenja signala. Propusnost u rasponu od 9 Mb/s do 12 Mb/s prikazana je raznim

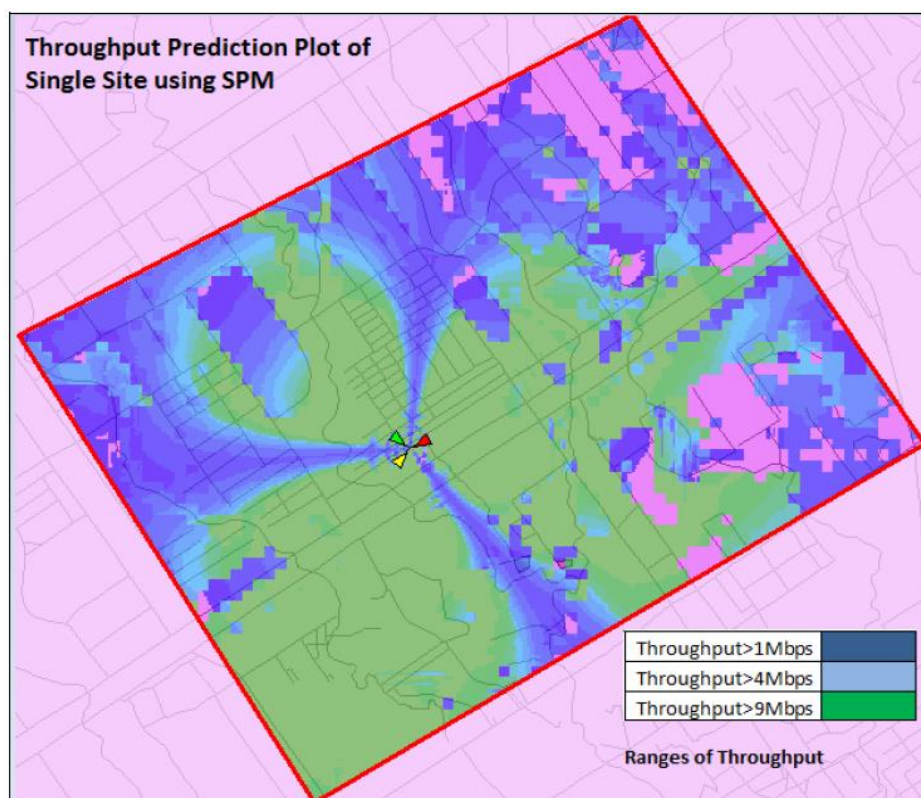
nijansama zelene boje, dok je propusnost u rasponu od 1 Mb/s do 8 Mb/s prikazana raznim nijansama plave boje.



Slika 17. Karta propusnosti jednog čvora B stanice koristeći model Cost Hata, [8]



Slika 18. Karta propusnosti jednog čvora B koristeći model Okumura hata, [8]

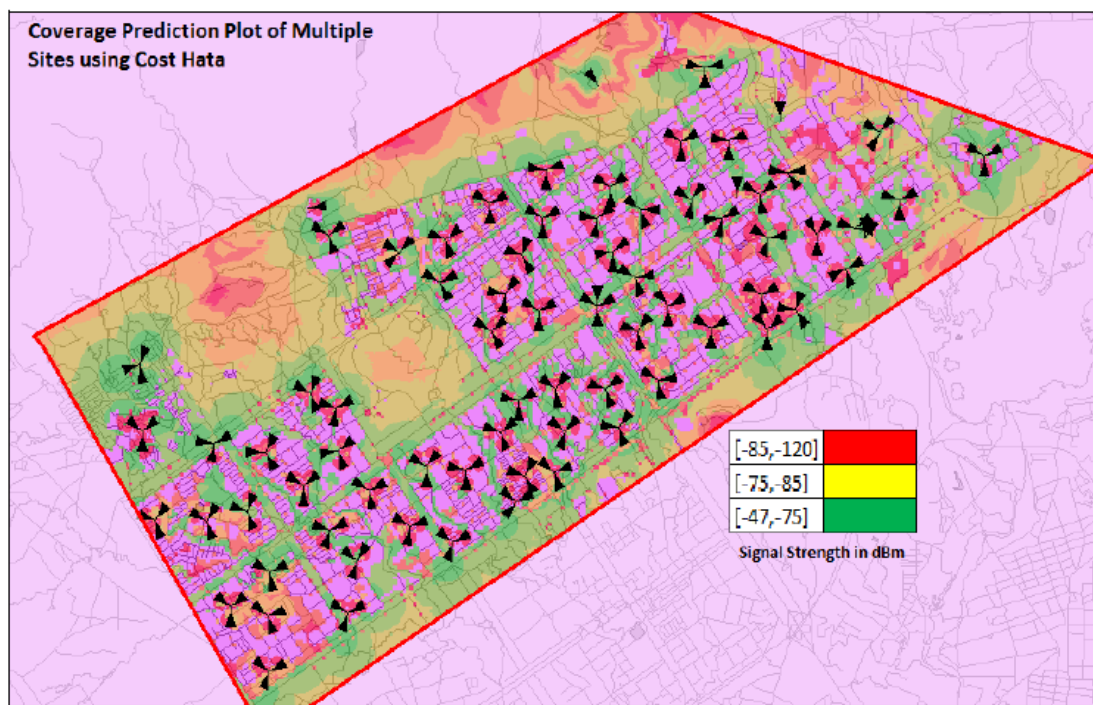


Slika 19. Karta propusnosti jednog čvora B koristeći model SPM, [8]

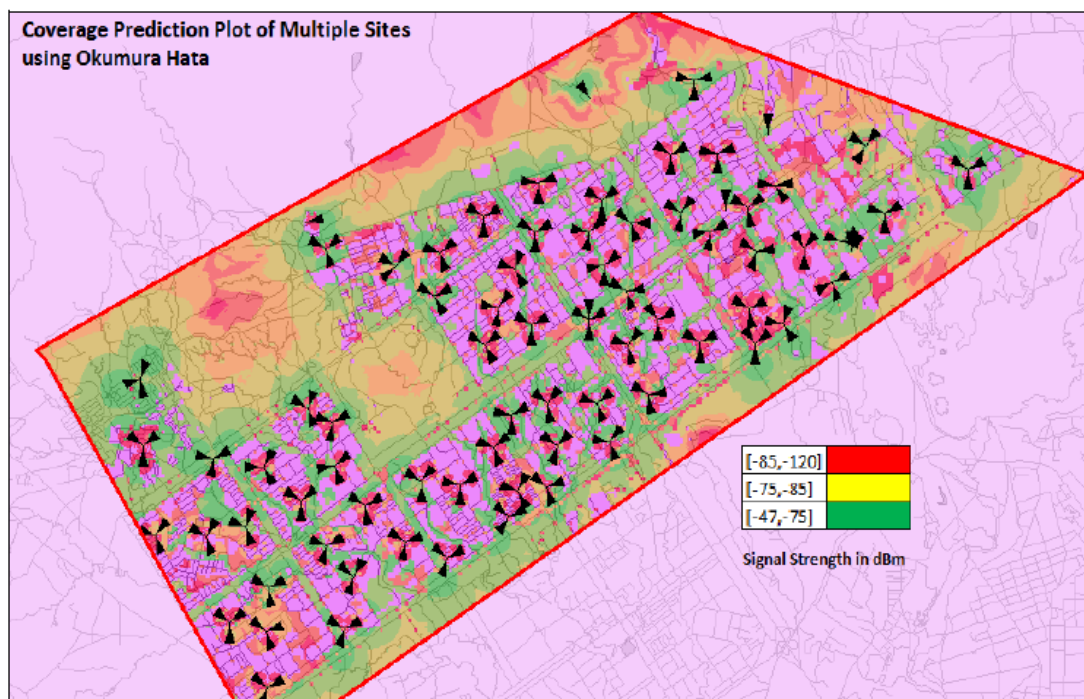
6.3.2 Predviđanje pokrivenosti i propusnosti mreže s više baznih stanica

Analiza predviđanja pokrivenosti jedne bazne stanice nije dovoljna kako bi se došlo do konačnog zaključka o učinkovitosti bilo kojeg modela širenja signala. S obzirom na to da u slučaju grada Islamabada pozicije čvorova B nisu određene, postojeće bazne stanice mreže druge generacije odabrane su kao referentne točke za položaje čvorova B. Na površini od 84,22 četvornih kilometara grada Islamabada postoji 82 postojećih GSM baznih stanica.

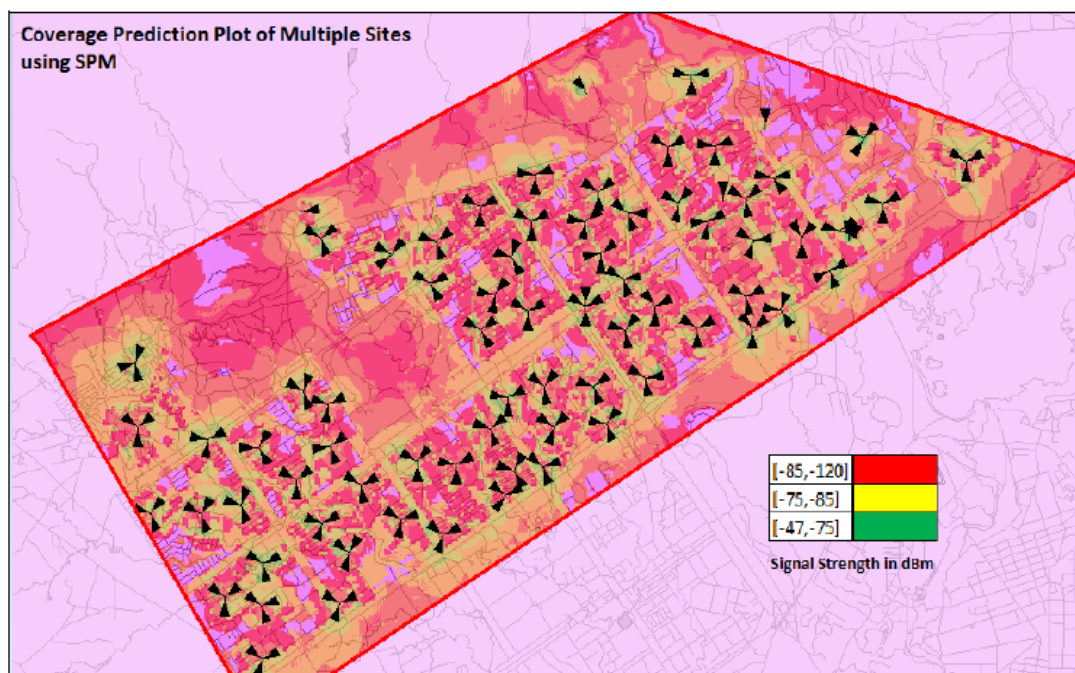
Usporedba pokrivenosti signalom i propusnosti provodila se i za različite klase šuma. Nakon analize, zaključak je da su performanse propusnosti i pokrivenosti SPM modela znatno bolje od preostala dva modela [8].



Slika 20. Karta pokrivenosti mreže više čvorova B koristeći Cost hata model, [8]



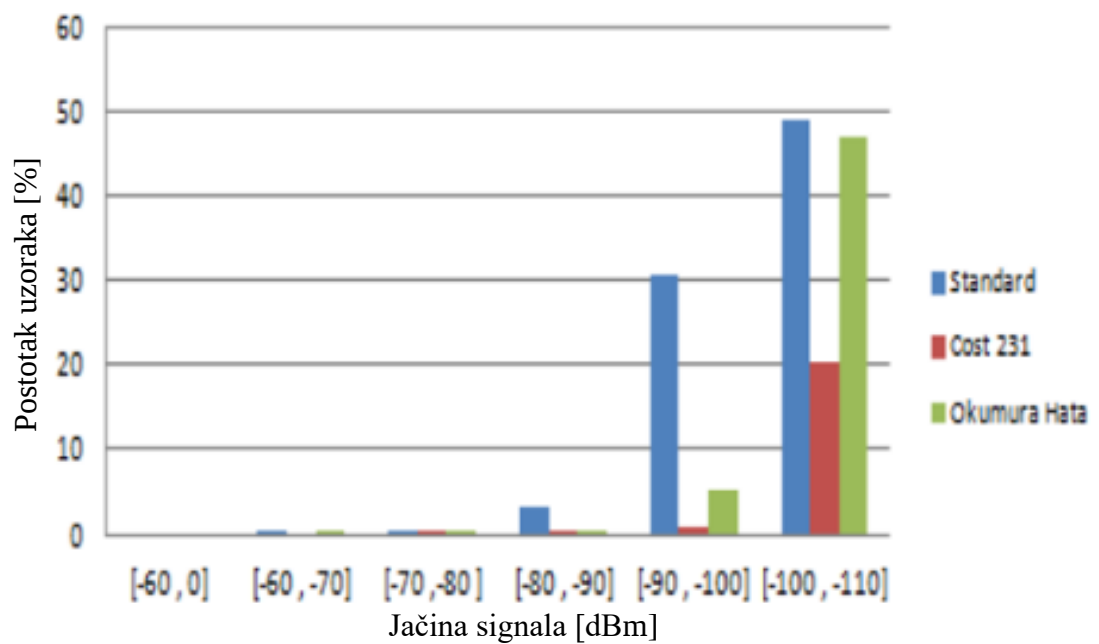
Slika 21. Karta pokrivenosti mreže više čvorova B koristeći Okumura Hata model, [8]



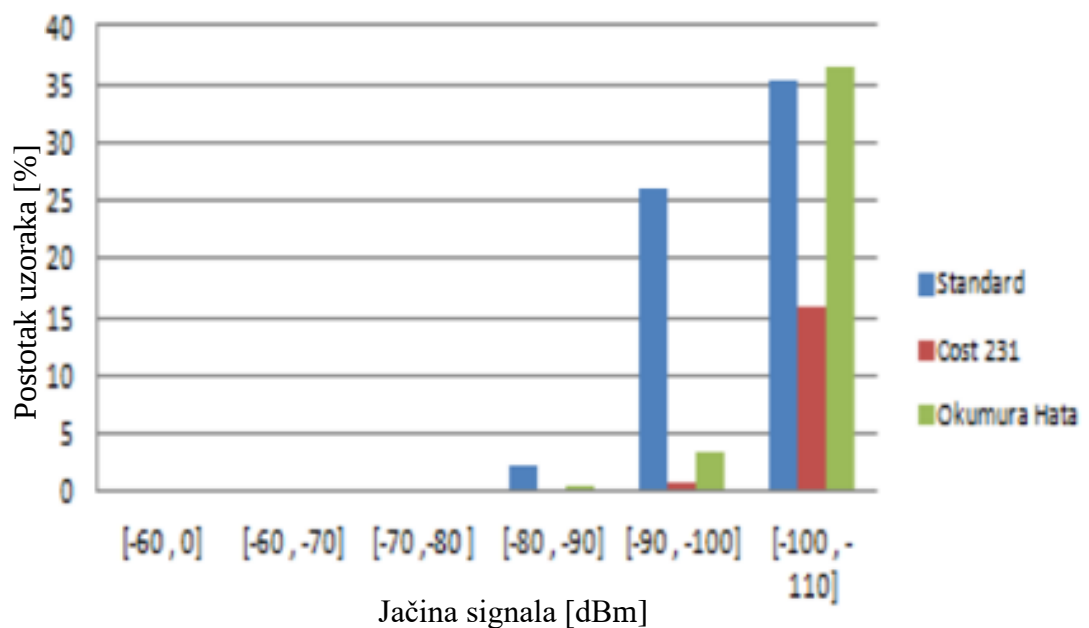
Slika 22. Karta pokrivenosti mreže više čvorova B koristeći SPM model, [8]

Na slikama 20 i 21 je vidljivo je da modeli širenja signala Okumura Hata i Cost Hata pružaju vrlo ograničenu pokrivenost u gustim urbanim područjima. U usporedbi s njima, SPM model daje znatno bolje rezultate, naročito za gusta gradska područja kao što je prikazano na slici 22. Isto tako, primijećeno je da, unatoč tome što se prognoza pokrivenosti poboljšava primjenom SPM modela, još uvijek postoje neka područja koja nisu pokrivena. To znači da postojeću GSM infrastrukturu baznih stanica treba povećati [8].

Usporedba pokrivenosti za više čvorova B također se provodi za različite klase šuma po istom obrascu kao što je to učinjeno za jedan čvor B. Ovdje se u obzir uzimaju iste klase šuma, odnosno stambena područja i zgrade. Kao što je prikazano na slikama 23 i 24, uočeno je da SPM daje bolje rezultate za pokrivenost i propusnost čvorova B.

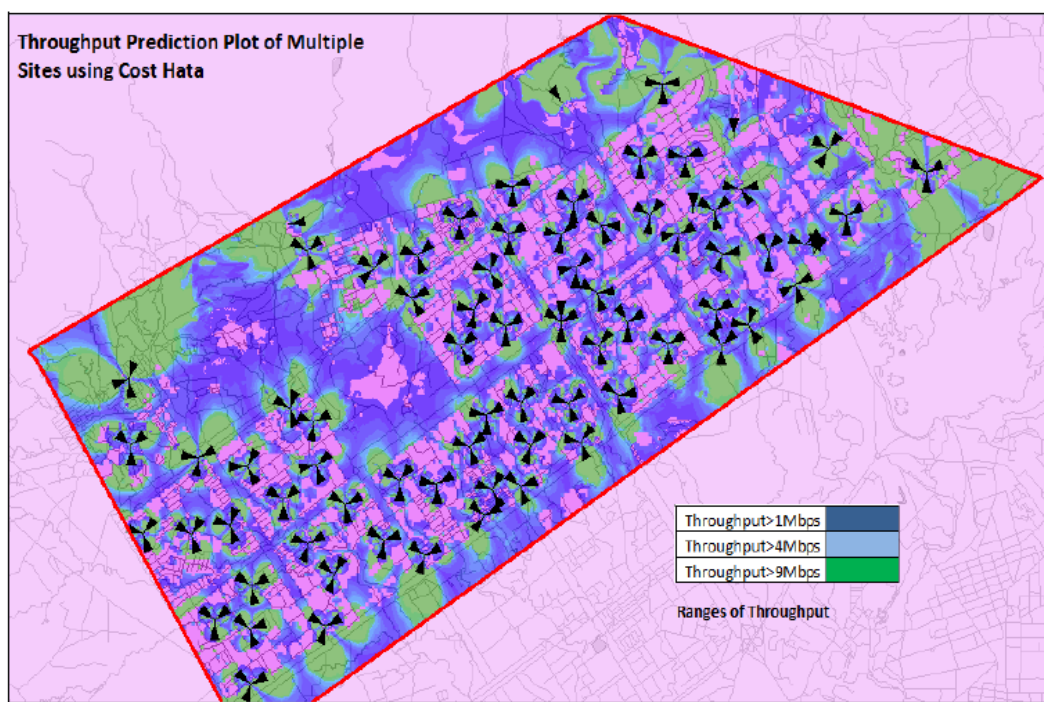


Slika 23. Usporedba pokrivenosti više čvorova B za klasu nerada Stambenog područja, [8]

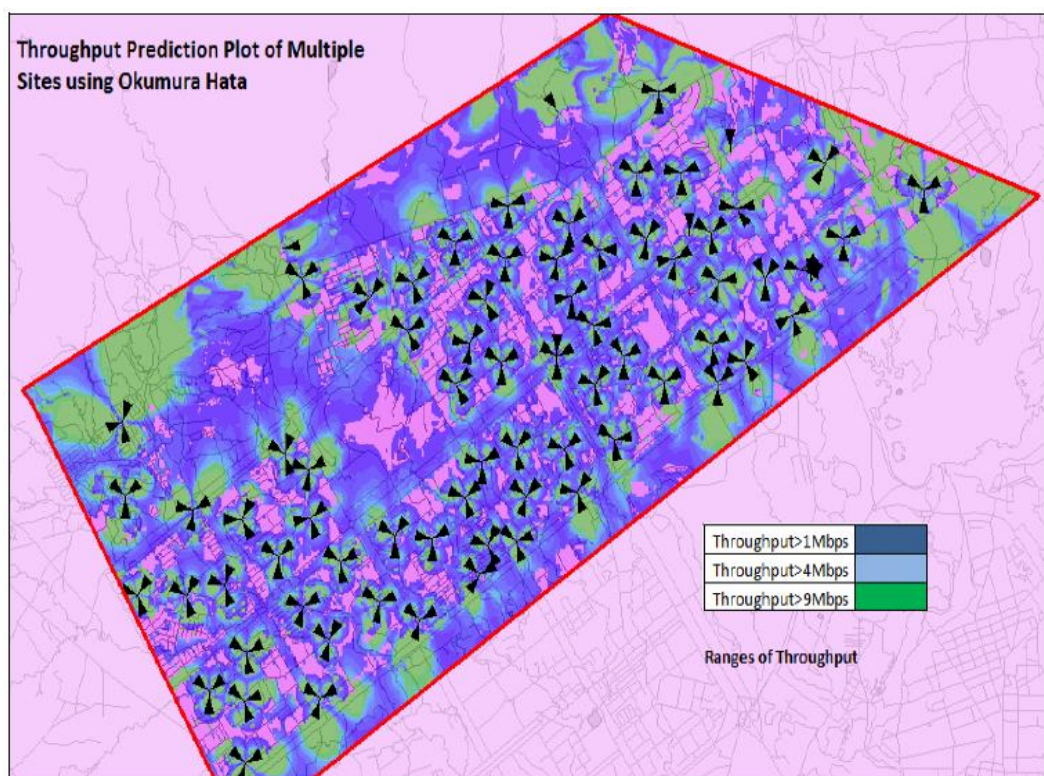


Slika 24. Usporedba pokrivenosti više čvorova B za klasu nerada Zgrade, [8]

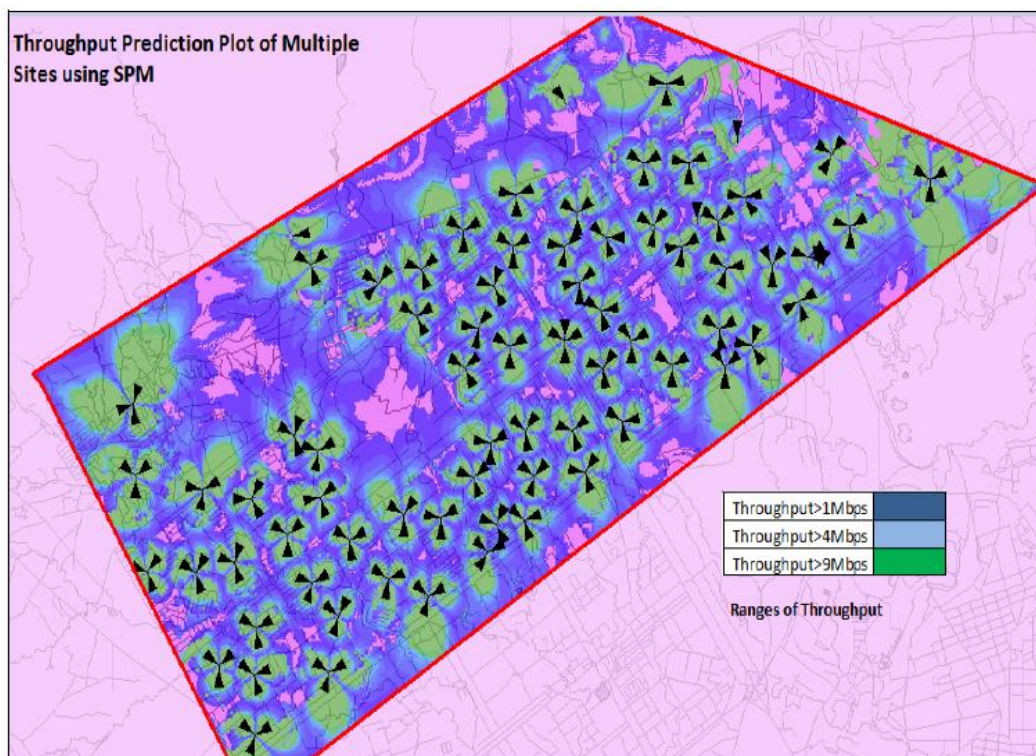
Prikazi propusnosti za mrežu s više čvorova B prikazani su na slikama 25, 26 i 27. Može se primijetiti da se zbog bolje prognoze pokrivenosti SPM modela također primjećuje i bolja prognoza propusnosti u usporedbi s drugim modelima širenja signala. Stoga se može zaključiti da SPM model daje bolje rezultate u usporedbi s drugim modelima širenja signala za mrežu s više čvorova B.



Slika 25. Karta propusnosti više čvorova B koristeći model Cost Hata, [8]



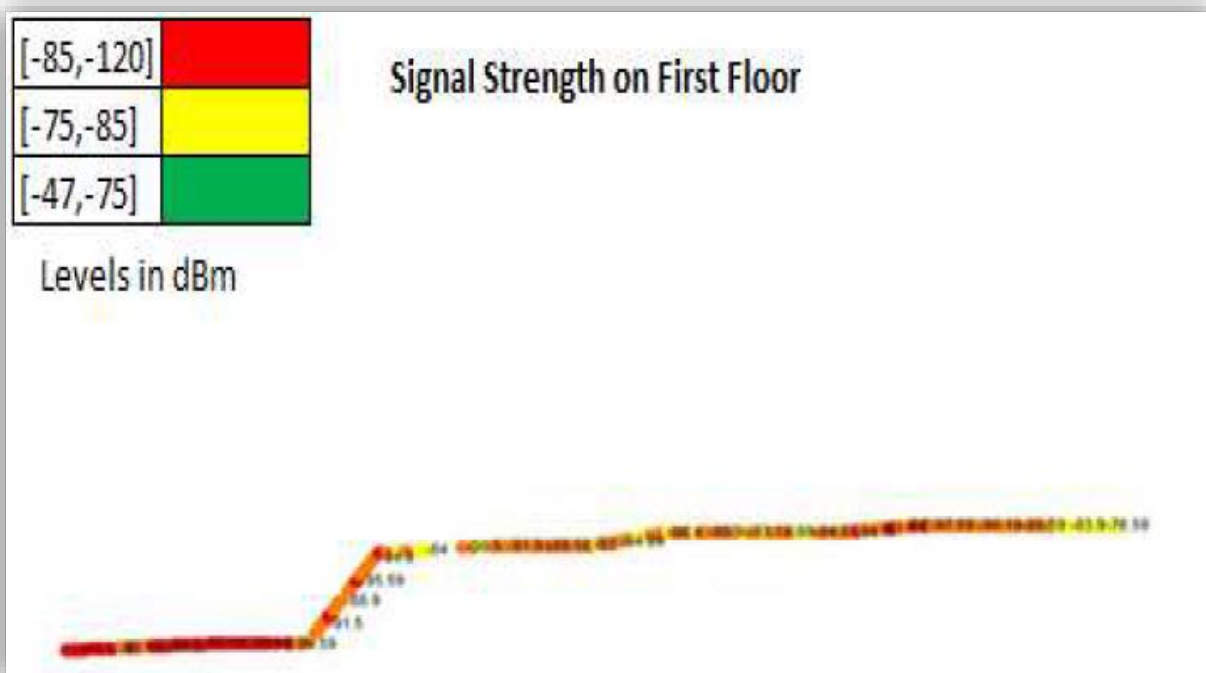
Slika 26. Karta propusnosti više čvorova B koristeći model Okumura Hata, [8]



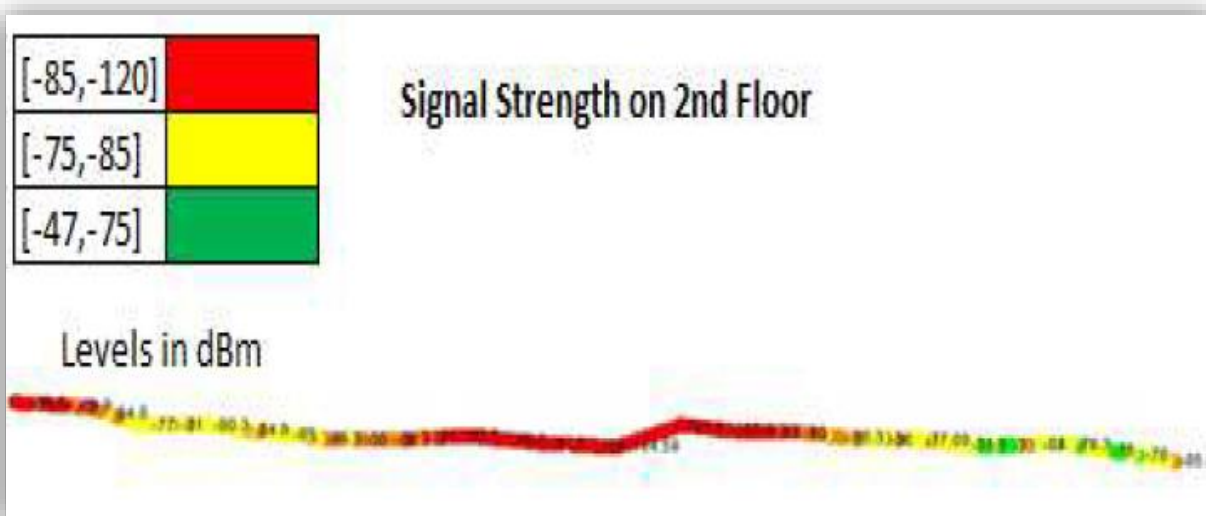
Slika 27. Karta propusnosti više čvorova B koristeći model SPM, [8]

6.4 Provjera performansi mjerenjem na terenu i dimenzioniranje kapaciteta HSDPA za gradsku mrežu

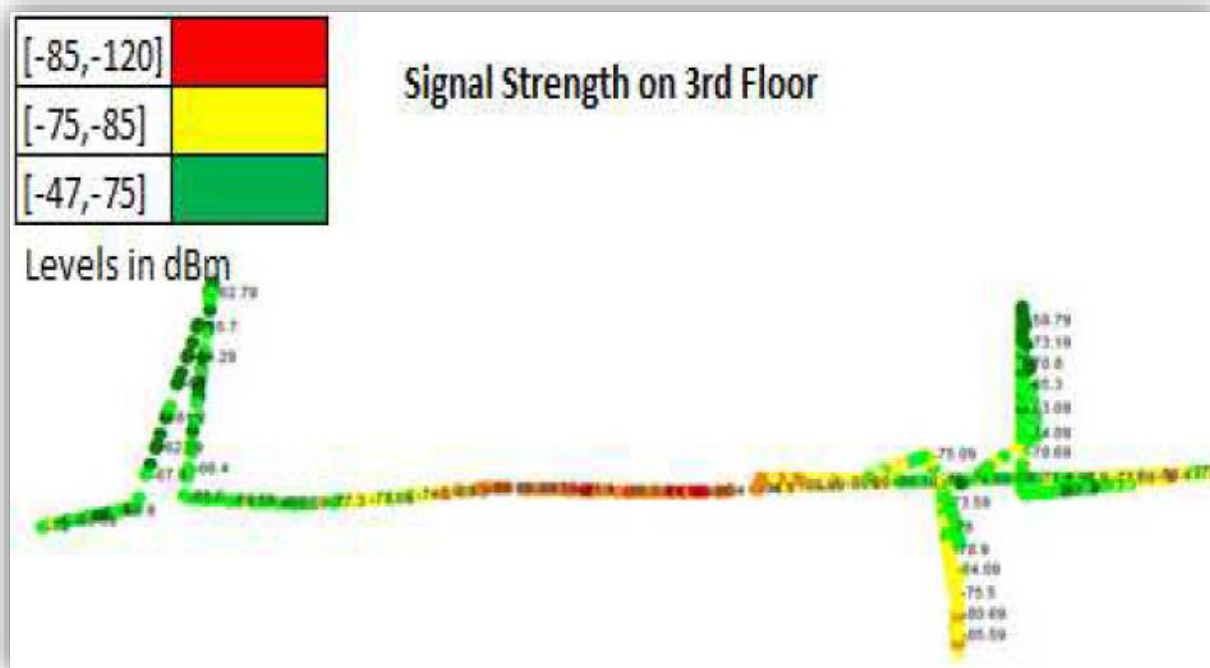
Provjera performansi simulacije mreže provedeno je mjerenjima na terenu pomoću opreme za testiranje. Kako bi se analizirao utjecaj gubitaka prodiranjem u zatvorene prostore, testiranje se provodilo za zgrade s pet katova. Područja pokrivanja uzimana su za svaki kat zasebno. Vrijednost snage signala bilježi se za svaku točku, a prosječna vrijednost signala izračunava se za svaki kat. Na prikazima mjerenja zelena boja pokazuje bolju pokrivenost, dok crvena boja pokazuje slabu pokrivenost. Rezultati ispitivanja na terenu prikazani su na slikama 28, 29 i 30. Rezultati mjerenja područja pokrivanja s prva tri kata zgrade uzeti su kao referentni prikaz [8].



Slika 28. Rezultati mjerenja pokrivenosti na prvom katu, [8]



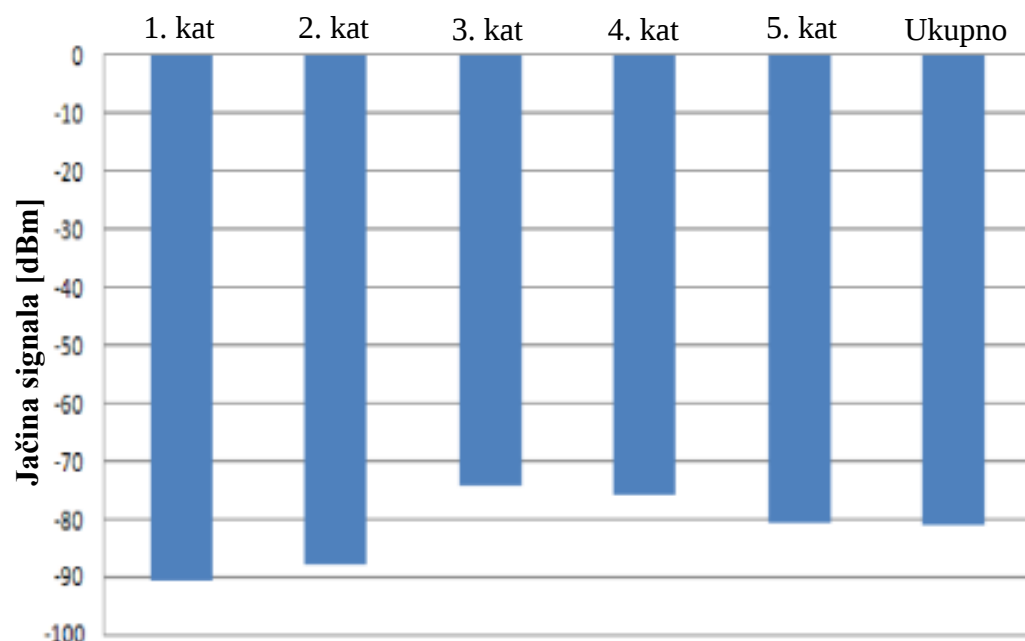
Slika 29. Rezultati mjerenja pokrivenosti na drugom katu, [8]



Slika 30. Rezultati mjerenja pokrivenosti na trećem katu, [8]

Rezultati mjerenja na terenu prikazani su i u obliku grafova, kao što je vidljivo na slikama 28, 29 i 3. Slika 1 grafički prikazuje izmjerenu prosječnu razinu signala za svaki kat. Ovdje prosječna zaprimljena jačina signala iznosi -81 [dBm]¹⁹.

¹⁹ dBm – označava decibele po milivatu, te prikazuje razinu signala



Slika 31. Rezultati testiranja jačine signala, [8]



Slika 32. Predviđanja i terenska mjerenja jačine signala pojedinih modela širenja signala, [8]

Kao što je vidljivo na slici 32, razlika između predviđene i izmjerene razine jakosti primljenog signala za SPM model je minimalna. Druga dva modela širenja signala ne pokazuju zadovoljavajuće rezultate. SPM daje bolje rezultate u smislu predviđanja pokrivenosti i propusnosti, kako za jednu baznu stanicu, tako i za postojeću GSM mrežu od 82 stanice. Ovi se rezultati također ponavljaju u pogonskom testu gdje su se performanse SPM modela pokazale znatno boljima od ostalih modela širenja signala.

Na temelju dobivenih rezultata izračunava se zahtjev za kapacitetom urbane mreže Islamabada koji je prikazan u tablici 5. Radijus pokrivanja pojedine ćelije izračunava se korištenjem iznosa prigušenja na putu širenja signala, dobivenih korištenjem modela širenja signala Cost 231, Okumura Hata i SPM. Broj potrebnih baznih stanica izračunava se za svaki model širenja na površini od 84.22 četvorna kilometra pomoću jednadžbe (11). Izračuni su izrađeni za 600 kb/s, koliko iznosi brzina prijenosa podataka na rubu ćelije.

$$S = 9/8 * \sqrt{3} * R^2 = 1.95 * R^2 \quad (11)$$

Tablica 5. Broj potrebnih baznih stanica za svaki model širenja signala

Model širenja signala	Područje pokrivanja ćelije [km]	Broj baznih stanica
Cost Hata	0.2518	681
Okumura Hata	0.3586	335
SMP	0.502	180

Izvor: [8]

Analizom je utvrđeno da se SMP modelom predviđa postavljanje 180 baznih stanica, što je optimalan broj uzimajući u obzir da se za pozicije čvorova B uzimaju postojeće pozicije baznih stanica GSM mreže. Kako bi se dodatno poboljšala pokrivenost unutarnjih prostora, mogu se ugraditi femto ćelije koje pružaju ekonomično rješenje. Femto ćelije su ćelije male snage koje pružaju ekonomično rješenje, te se raspoređuju u stambenim i poslovnim zgradama [8].

6.5 Zaključak analize performansi pojedinih modela

Provedeno je dimenzioniranje mrežnog kapaciteta za urbanu mrežu koja podržava HSPDA protokol. Podešavanja konstanti propagacije SPM modela izvršena su prema topografskim informacijama grada Islamabada. Učinak analiza različitih modela propagacije provedena su pomoću alata Matlab, Atoll-a, te terenskih mjerenja. Analiza pokazuje da SPM model daje najbolje rezultate među svim modelima širenja signala. Razlika između mjerenja na terenu i teorijskih rezultata dobivenih u simulaciji je minimalna za SPM model u usporedbi s drugim modelima širenja signala. Na temelju tih rezultata predložene su optimalne pozicije lokacija za urbanu mrežu Islamabada. Na temelju provedene analize, sugerira se da je za gustu gradsku mrežu od 84,22 kvadratna kilometra od Islamabada potrebno najmanje 180 mjesta kako bi se omogućila zadovoljavajuća pokrivenost i kapacitet UMTS mreže.

7 ZAKLJUČAK

Uvođenje UMTS sustava donijelo je velike promjene u korištenju mobilnih mreža, te je otvorilo brojne mogućnosti u vidu korištenja mnogobrojnih usluga. Koje do tada nisu bile dostupne korisnicima mobilnih mreža. Arhitektura sustava je dizajniran na slojeviti način te svaki pojedini dio sustava ima vlastitu upravljačku logiku.

S obzirom na porast broja usluga koje podržava nova digitalna mobilna mreža, pojavila se i potreba za znatno većim kapacitetom od prijašnjih generacija mobilnih mreža. Taj problem riješen je pametnim mehanizmima upravljanja kapacitetima, kao što su kontrole snage kojom se omogućuje da se snaga signala koji se prenosi u radio kanalu prilagodi promjenjivoj udaljenosti između odašiljača i prijamnika signala, kontrolom prekapčanja kojom se odabire najpovoljnija bazna stanica za posluživanje pojedine mobilne stanice, te metode dodjele pristupa kako bi se postigla maksimalna iskorištenost kapaciteta čvora B.

S obzirom da okolina predstavlja izrazito bitan faktor prilikom dizajniranja UMTS mreže, prilikom planiranja pozicija čvorova B bitno je definirati ulazne parametre koji utječu na šum unutar ćelije kako bi se postigla što bolja pokrivenost. Analizom je utvrđeno da razni modeli širenja signala daju različite izlazne parametre prilikom planiranja mreže.

U radu su analizirani rezultati tri različita modela širenja signala: Cost-Hata, Okumura i SPM model. U gusto naseljenom području s pretežito niskim zgradama, nakon što su uneseni svi ulazni parametri koji se odnose na smetnje, najbolje rezultate širenja signala imao je SPM model. S obzirom da je, prilikom analize, cilj bio iskoristiti postojeće pozicije baznih stanica mobilne mreže druge generacije, SMP model je u potpunosti zadovoljio očekivanja. Pokrivenost ćelije kod SMP modela je znatno veća, te je samim time potreban manji broj čvorova B da se adekvatno pokrije promatrano područje grada Islambada.

8 LITERATURA

- [1] Stasiak M, Glabowski M, Wisniewski A, Zwierzykowski P. *Modeling and Dimensioning of Mobile Networks: From GSM to LTE*. USA: John Wiley & Sons; 2010.
- [2] Malić N. Univerzalni sustav pokretnih telekomunikacija. *Revija*. 2003; 16(2): 12-27. Preuzeto s: https://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_2_2003/univerzalni.pdf [Pristupljeno 1. travnja 2020].
- [3] Kaaranen H, Ahtiainen A, Laitinen L, Naghian S, Niemi V. *UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services*. 2nd Edition. England: John Wiley & Sons; 2005.
- [4] Zhuang W. End to End Quality of Service in UMTS Systems, U: Ortiz J. (ed.) *Telecommunications Networks - Current Status and Future Trends*. China: InTech; 2012. p. 99-126.
- [5] Engineering Service Group. *WCDMA Network Planning and Optimization*. 80-W0853-1, Revision 2. San Diego USA: QUALCOMM Incorporated; 2006.
- [6] Mrvelj Š. Pokretne ćelijske mreže 2. i 3. generacije. [Prezentacija] Fakultet prometnih znanosti sveučilišta u Zagrebu, [2019].
- [7] Janevski T, Jakimoski K. Comparative Analysis of Packet Scheduling Schemes for HSDPA Cellular Networks. *Telfor Journal*. 2009; 1(1): 2-5. Preuzeto s: http://journal.telfor.rs/Published/Vol1No1/Vol1No1_A1.pdf [Pristupljeno 22. kolovoza 2020].
- [8] Saeed A, Khan A, Salah S, Yasin S. Capacity Dimensioning of HSDPA Urban Network. *International Journal of Communication Networks and Information Security*. 2014; 6(2): 148-161.

9 POPIS SLIKA I GRAFIČKIH PRIKAZA.

Slika 1. Ključni zahtjevi prilikom dizajniranja arhitekture mobilne mreže	3
Slika 2. Struktura jezgrene mreže na razini podsustava	6
Slika 3. Osnovna UTRAN arhitektura	9
Slika 4. Osnovna logička RNC arhitektura	10
Slika 5. Osnovna struktura bazne stanice	11
Slika 6. Referentni prikaz arhitekture korisničke opreme	12
Slika 7. Utjecaj povećanja opterećenja na porast toplinskog šuma u spektru	17
Slika 8. Fenomen mekog kapaciteta	18
Slika 9. Raspored resursa u radio sučelju	21
Slika 10. Raspored resursa u radio sučelju više stope	22
Slika 11. Model s mekim kapacitetom koji posluhuje PCT1 promet	23
Slika 12. Prikaz pokrivenosti jednog čvora B korištenjem modela Costa Hata	32
Slika 13. Prikaz pokrivenosti jednog čvora B korištenjem modela Okumura Hata	33
Slika 14. Prikaz pokrivenosti jednog čvora B stanice korištenjem modela SPM	34
Slika 15. Usporedba pokrivenosti jednog čvora B za klasu nerada Stambenog područja	35
Slika 16. Usporedba pokrivenosti jednog čvora B za klasu nerada Zgrade	35
Slika 17. Karta propusnosti jednog čvora B stanice koristeći model Cost Hata	36
Slika 18. Karta propusnosti jednog čvora B koristeći model Okumura hata	36
Slika 19. Karta propusnosti jednog čvora B koristeći model SPM	37
Slika 20. Karta pokrivenosti mreže više čvorova B koristeći Cost hata model	38
Slika 21. Karta pokrivenosti mreže više čvorova B koristeći Okumurat Hata model	38
Slika 22. Karta pokrivenosti mreže više čvorova B koristeći SPM model	39
Slika 23. Usporedba pokrivenosti više čvorova B za klasu nerada Stambenog područja	40
Slika 24. Usporedba pokrivenosti više čvorova B za klasu nerada Zgrade	40
Slika 25. Karta propusnosti više čvorova B koristeći model Cost Hata	41
Slika 26. Karta propusnosti više čvorova B koristeći model Okumura Hata	41
Slika 27. Karta propusnosti više čvorova B koristeći model SPM	42
Slika 28. Rezultati mjerenja pokrivenosti na prvom katu	43
Slika 29. Rezultati mjerenja pokrivenosti na drugom katu	43
Slika 30. Rezultati mjerenja pokrivenosti na trećem katu	44
Slika 31. Rezultati testiranja jačine signala	45
Slika 32. Predviđanja i terenska mjerenja jačine signala pojedinih modela širenja signala	45

10 POPIS TABLICA

Tablica 1. Klase prometa i njihove karakteristike	14
Tablica 2. Primjer UMTS usluga i faktora opterećenja	19
Tablica 3. Metode dodjele pristupa	28
Tablica 4, Unutarnji i vanjski ulazni gubici šuma.....	30
Tablica 5. Broj potrebnih baznih stanica za svaki model širenja signala.....	46

11 POPIS KRATICA

3GPP	(Third Generation Partnership Project) projekt partnerstva treće generacije
AC	(Admission Control) kontrola pristupa mreži
AMC	(Adaptive Modulation and Coding) adaptivna modulacija i kodiranje
AMR	(Adaptive Multi-Rate) prilagodljivi višestupanjski kodek
ATM	(Asynchronous Transfer Mode) asinkroni način prijenosa
BBU	(Basic Bandwidth Units) osnovna jedinica propusnosti
BCCH	(Broadcast Control Channel) broadcast kontrolni kanal
CDMA	(Code Division Multiple Access) višestruki pristup s kodnom raspodjelom
CN	(Core Network) jezgrena mreža
CPICH	(Common Pilot Channel) fizički kana na silaznoj vezi za sinkronizaciju
CRNC	(Controlling Radio Network Controller) kontroler baznih stanica koje podržavaju određeni RNC modul
CS	(Circuit Switched) komutacija kanala
DRNC	(Drift Radio Network Controller) RNC pod čijim se nadzorom nalaze bazne stanice
EDGE	(Enhanced Data Rates for GSM Evolution) poboljšana brzina prijenosa podataka na GSM mreži
FDMA	(Frequency Division Multiple Access) višestruki pristup s frekvencijskom podjelom
FFTH	(Fast Fair Throughput) brzi algoritam koji omogućava pravednu propusnost
FSPL	(Free Space Path Loss Model) model gubitka slobodnog puta u prostoru
FTH	(Fair Throughput) pravedna propusnost
GERAN	(GSM EDGE Radio Access Network) pristupna mreža druge generacije
GGSN	(Gateway GPRS Support Node) čvor čija je funkcija kontrola podatkovnih sesija
HS-PCCH	(High Speed Dedicated Physical Control Channel) namjenski fizički kontrolni kanal s velikom brzinom prijenosa podataka

HS-DSCH	(High Speed Downlink Shared Channel) dijeljeni kanal na silaznoj vezi s velikom brzinom prijenosa podataka
HS-SCCH	(High Speed Signaling Control Channel) signalizacijski kontrolni kanal s velikom brzinom prijenosa podataka
IMEI	(International Mobile Equipment Identity) međunarodni identifikacijski broj uređaja
IMS	(IP Multimedia Subsystem) podsustav za podršku multimedijским uslugama u IP mreži
IP	(Internet Protocol) Internet protokol
LC	(Load Control) kontrola opterećenja
LTE	(Long Term Evolution) bežična prijenosna tehnologija četvrte generacije
MGW	(Media Gateway) medijski pristupnik
MSC	(Mobile Switching Centre) komutacijsko čvorište mobilne mreže
PC	(Power Control) kontrola snage
PCM	(Pulse Code Modulation) pulsno-kodna modulacija
PF	(Proportional Fair) pravedni proporcionalni model
PRACH	(Physical Random Access Channel) fizički kanal na uzlaznoj vezi alokaciju radio resursa
PS	(Packet Switched) komutacija paketa
QAM	(Quadrature Amplitude Modulation) kvadratura amplitudna modulacija
QoS	(Quality of Service) kvaliteta usluge
RAN	(Radio Access Network) radio pristupna mreža
RBS	(Radio Base Station) radio bazna stanica
RNC	(Radio Network Controller) kontroler radio mreže
SDU	(Service Data Unit) uslužna podatkovna jedinica
SGSN	(Serving GPRS Support Node) čvor podrške posluživanja GPRS usluge
SPM	(Standard Propagation Model) standardni modeli širenja
SRNC	(Serving RNC) uslužni RNC
SUI	(Stanford University Interim Model) Stanford Sveučilišni privremeni model

TDMA	(Time-division multiple access) višestruki pristup s vremenskom raspodjelom
UE	(User Equipment) korisnička oprema
UICC	(Universal Integrated Aircuit Card) Sučelje za umetanje kartice s integriranim krugom
UMTS	(Univesrsal Mobile Telecommunication System) univerzalni mobilni sustav telekomunikacija
USIM	(Universal Subscriber Identity Module) univerzalni pretplatnički identifikacijski modul
UTRAN	(UMTS Radio Access Network) UMTS radio pristupna mreža
WCDMA	(Wideband Code Division Multiple Access) širokopojasni višestruki pristup s kodnom raspodjelom



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni 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 završnog rada
pod naslovom **Planiranje kapaciteta bazne stanice za UMTS mreže**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 9.9.2020

Student/ica:

Vujan
(potpis)