

Analiza vjerojatnosti blokiranja poziva u ćeliji mobilne mreže

Pendelin, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:119:148113>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Mario Pendelin

ANALIZA VJEROJATNOSTI BLOKIRANJA POZIVA U ČELIJI
MOBILNE MREŽE

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2016.

Zagreb, 23. svibnja 2016.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3825

Pristupnik: **Mario Pendelin (0135216805)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Analiza vjerojatnosti blokiranja poziva u ćeliji mobilne mreže**

Opis zadatka:

Prikazati arhitekturu mobilne mreže i strukturu kanala. Analizirati mogućnost primjene Erlangovog B modela kao što su evaluacija performansi sustava, dizajniranje i planiranje resursa. Prikazati način određivanja vjerojatnosti blokiranja poziva za poznate ulazne vrijednosti, te kapaciteta ćelije za govorni promet.

Zadatak uručen pristupniku: 2. svibnja 2016.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

Analiza vjerojatnosti blokiranja poziva u ćeliji mobilne mreže

Analysis of Voice Traffic Blocking Probability in Mobile Network

Mentor: izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Mario Pendelin, 0135216805

Zagreb, lipanj 2016.

ANALIZA VJEROJATNOSTI BLOKIRANJA POZIVA U ĆELIJI MOBILNE MREŽE

SAŽETAK

U ovom radu prikazana je arhitektura 2G i 3G mobilne mreže. Definiiraju i objašnjavaju se određeni dijelovi arhitekture. Opisuju se kanali, koji mogu biti logički ili fizički. Definiira se pojam Erlanga kao mjerne jedinice za izračun statičke mjere gustoće glasovnog prometa. Objašnjava se Erlangov B model i navode se uvjeti za primjenu modela. Prikazuje se Erlangova B formula. U radu se, također, određuje vjerojatnost blokiranja poziva u ćeliji, u 3 različita pokusa. Prikazuje se način planiranja kapaciteta ćelije.

KLJUČNE RIJEČI: mobilna mreža; glasovni promet; Erlangov B model; Erlangova B formula; blokiranje u ćeliji

ANALYSIS OF POSSIBILITY OF BLOCKING CALLS IN THE MOBILE CELL NETWORK

SUMMARY

This paper presents the architecture of 2G and 3G mobile networks. It defines and explains certain parts of the architecture. It also describes the channels, which are logically or physically. It defines a term of Erlang as a unit of measurement for the calculation of static measures of density for voice traffic. The Erlang B model is also explained and the conditions for the application of the model are also shown. Erlang B formula is presented. The paper also determines the probability of call blocking in the cell, in three different experiments. Planning capacity of the cell is also presented.

KEYWORDS: mobile network; voice traffic; Erlang B model; Erlang B formula; blocking in the cell

SADRŽAJ

1	UVOD	1
2	ARHITEKTURA MOBILNE MREŽE.....	3
2.1	Mobilna stanica MS (engl. <i>Mobile Station</i>).....	4
2.2	Podsustav bazne stanice BSS (engl. <i>Base Station Subsystem</i>)	4
2.3	Mrežni i komutacijski podsustav	5
3	STRUKTURA KANALA	7
3.1	Formiranje mobilnih kanala.....	7
3.2	Fizički i logički kanali	9
4	POJAM ERLANGA U TELEKOMUNIKACIJAMA	13
4.1	Mjerna jedinica Erlang	13
4.2	Erlangov B model.....	14
4.2.1	Preduvjeti Erlangovog B modela	14
4.2.1.1	Poissonov proces.....	15
4.2.1.2	Eksponencijalna razdioba	16
4.2.1.3	Disciplina posluživanja FCFS.....	18
4.3	Erlangova B formula	18
5	ODREĐIVANJE VJEROJATNOSTI BLOKIRANJA POZIVA U ČELIJI.....	21
5.1	Vjerojatnost blokiranja poziva.....	21
5.2	Analiza posluživanja u ćeliji mobilne mreže.....	22
5.3	Analiza utjecaja slučajnosti dolazaka poziva i trajanja posluživanja na broj zauzetih poslužitelja	25
6	PLANIRANJE KAPACITETA ČELIJE.....	33
6.1	Kvaliteta usluge i razina usluge.....	34
6.2	Određivanje kapaciteta u ćeliji za stvarnovremenske usluge	35
6.2.1	Određivanje broja poslužitelja	35

6.2.2	Određivanje kapaciteta	38
7	ZAKLJUČAK	40
	LITERATURA.....	41
	POPIS KRATICA	43
	POPIS SLIKA	45
	POPIS TABLICA.....	46

1 UVOD

Telekomunikacijski resursi pružajući mogućnost prijenosa podataka od izvorišta do željenog odredišta. Zbog načina života u 21. stoljeću, telekomunikacijski resursi su sve potrebni. U telekomunikacijskoj mreži najbitnije je da entiteti stignu u predviđenom vremenskom intervalu do odredišta.

Za dobivanje željene kvalitete usluge bitno je mjeriti promet i na kraju analizirati mrežne resurse, odnosno pravilno odrediti veličinu kapaciteta mreže, kako ne bi došlo do blokiranja i gubitka poziva.

Predmet završnog rada je prikazati vjerojatnost blokiranja poziva u mobilnoj ćeliji.

Cilj rada je prikazati Erlangov B kalkulator koji pruža mogućnost unosa broja kanala i prometa u erlanzima u pripadajuće obrasce. Na temelju unesenih podataka dobiti će se vrijednost vjerojatnosti izgubljenih poziva.

Završni rad sastoji se od sedam funkcionalno povezanih dijelova ili teza:

1. Uvod
2. Arhitektura mobilne mreže
3. Struktura kanala
4. Erlangov B model
5. Određivanje vjerojatnosti blokiranja poziva u ćeliji
6. Planiranje kapaciteta ćelije
7. Zaključak

Prvo poglavlje završnog rada je *Uvod* u kojem se iznose predmet i cilj rada te njegova struktura.

Drugo poglavlje pod nazivom *Arhitektura mobilne mreže* odnosi se na osnovne dijelove mobilne mreže, a to su: mobilna stanica, bazna stanica i mrežni podsustav.

U trećem poglavlju rada pod nazivom *Struktura kanala* objašnjeni su: vremenski i frekvencijski multipleks, logički, transportni i fizički kanali te prikaz formiranja mobilnih kanala.

U četvrtom poglavlju pod nazivom *Erlangov B model* daje se objašnjenje Erlangovog B modela kroz primjere erlanga na zadacima, primjere vjerojatnosti blokiranja i primjere proširene on line Erlangove B formule.

Peto poglavlje pod nazivom *Određivanje vjerojatnosti blokiranja poziva u ćeliji* prikazuje: vjerojatnost blokiranja, Poissonovu distribuciju i praktične primjere vjerojatnosti blokiranja poziva u ćeliji.

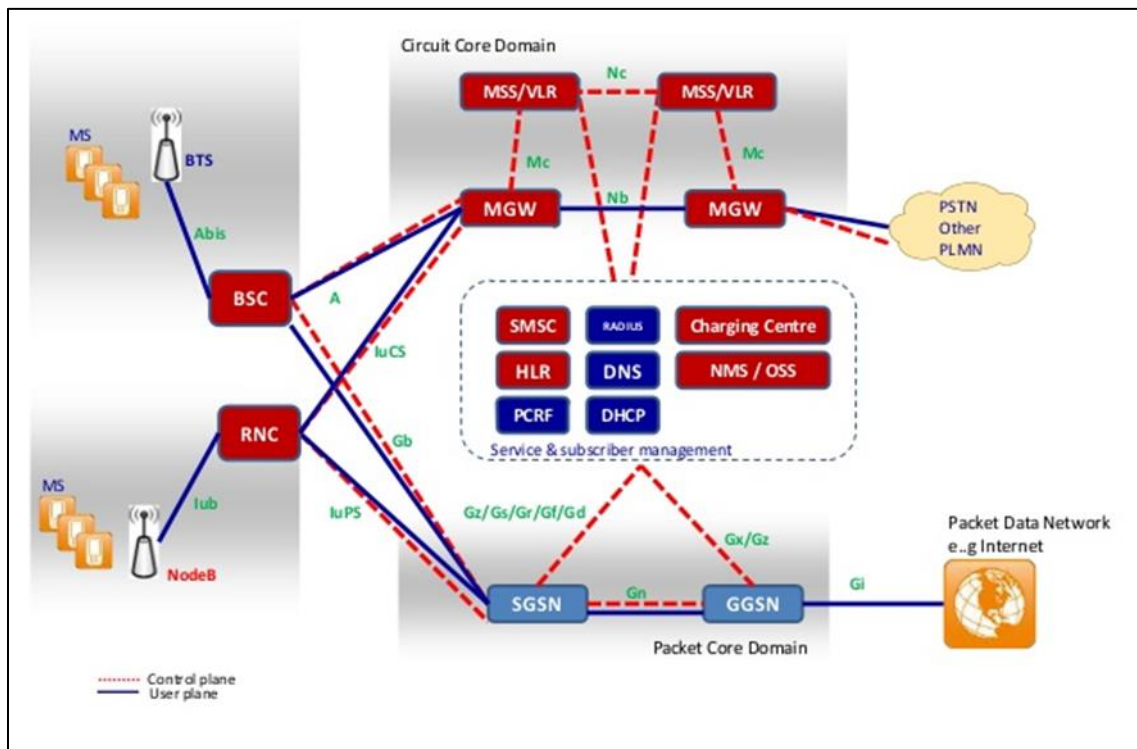
U šestom poglavlju *Planiranje kapaciteta ćelije* prikazane su vrste ćelija i njihove funkcije, odnosno prednosti i mane.

Sedmi dio rada je *Zaključak* koji je donesen na temelju istraživanja i vlastitih promišljanja.

Na kraju rada se, uz popis literature, nalazi popis kratica i akronima, ali i popis slika, grafikona te tablica prikazanih u tekstu rada.

2 ARHITEKTURA MOBILNE MREŽE

Mobilna mreža sastoji se od nekoliko funkcionalnih dijelova. Osnovni dijelovi mobilne mreže prikazana su slikom 2.1.



Slika 2.1 Arhitektura 2G i 3G mobilne mreže, [1]

Tri osnovna dijela mobilne mreže su:

1. mobilna stanica - nosi je pretplatnik
2. kontrolni podsustav bazne stanice
 - a. upravljački dio bazne stanice BSC (engl. *Base Station Controller*) kod 2G mobilne mreže odnosno RNC (engl. *Radio Network Controller*) kod 3G mobilne mreže
 - b. BTS (engl. *Base Transceiver Station*) kod 2G mobilne mreže odnosno, čvor B (eng. *node B*) kod 3G mobilne mreže
3. mrežni i komutacijski podsustav
 - a. MSC (engl. *Mobile Switching Center*) mobilna centrala

- b. VLR (engl. *Visitor Location Register*) registar gostujućih korisnika
- c. HLR (engl. *Home Location Register*) registar domaćih korisnika
- d. EIR (engl. *Equipment Identity Register*) registar identifikacije opreme
- e. OMC (engl. *Operation Maintenance Centre*) centar za nadzor i održavanje

2.1 Mobilna stanica MS (engl. *Mobile Station*)

Mobilna stanica sastoji se od mobilne opreme (engl. *Mobile Equipment*) i SIM (engl. *Subscriber Identity Module*) kartice, koja omogućava korisniku mobilnost i neovisnost od samog uređaja.

Mobilna oprema je jedinstveno određena s IMEI (engl. *International Mobile Subscriber Equipment*), dok SIM kartica sadrži IMSI (engl. *International Mobile Subscriber Identification*), tj. međunarodnu identifikaciju pokretnog pretplatnika kojom se korisnik identificira u sustavu. IMEI i IMSI su međusobno neovisne, stoga omogućuju mobilnost samom korisniku, dok je SIM kartica zaštićena preko lozinke i osobnog identifikacijskog broja i moguće ju je koristiti u više uređaja.

2.2 Podsustav bazne stanice BSS (engl. *Base Station Subsystem*)

Podsustav bazne stanice sastoji se od dva dijela :

1. primopredajne bazne stanice BTS i
2. kontrolnog i upravljačkog dijela bazne stanice BSC.

BTS (engl. *Base Transceiver Station*) je bazni odašiljač-prijemnik, a BSC (engl. *Base Station Controller*) upravlja baznom stanicom. Oni međusobno komuniciraju preko Abis sučelja koje omogućava komunikaciju komponenti različitih proizvođača. BTS sadrži radio odašiljače koji definiraju ćelije i upravlja protokolima radio veze s mobilnom stanicom. Kapacitet pojedinog BTS-a je ograničen, stoga ih je potrebno više u onim dijelovima u kojima ima više korisnika. Na pojedinim manjim područjima gdje je više korisnika mora postojati više primopredajnih uređaja zbog bolje kvalitete signala. Instaliraju se na povišena mjesta i to najčešće u gradovima na krovove visokih građevina. Zahtjevi koji se postavljaju za primopredajne uređaje su: ekonomičnost, niska cijena održavanja, lako premještanje na druge

lokacije. Upravljački dio bazne stanice upravlja radio resursima jednog ili više primopredajnog uređaja, upravlja radiokanalima, te promjenom frekvencije vala nositelja.

U 3G mreži bazni odašiljač-prijemnik predstavlja NodeB. Upravljač baznom stanicom u 3G mreži predstavlja RNC. Komunikacija između NodeB-a i RNC-a ostvarena je pomoću IuB sučelja. Nakon toga RNC komunicira s SGSN (engl. *Support GPRS Service Node*), preko Gb-IuPS, tražeći korisnika u HLR-u. Dobivanjem povratne informacije, korisnik je povezan u mrežu i aktivira se *PDP context*. Zatim se traži IP adresa GGSN-a (engl. *Gateway GPRS Service Node*), koja se dobiva iz Gn DNS-a. Dobivanjem IP adrese, GGSN prihvaća se stvoreni *PDP context*, koji se zatim šalje mobilnoj stanici. Zaprimanjem prihvaćenog *PDP contexta* dolazi do komunikacije, [1].

2.3 Mrežni i komutacijski podsustav

Mrežni podsustav, prema [2], sastoji se od:

1. MSC (engl. *Mobile Services Switching Center*)
2. HLR (engl. *Home Location Register*)
3. VLR (engl. *Visitor Location Register*).

MSC je komutacijsko čvorište ćelijske mreže, koje obavlja osnovne komutacijske funkcije i specijalizirane funkcije vezane uz pokretnu mrežu. Odgovoran je za: uspostavu, usmjeravanje, upravljanje i nadzor poziva od i prema mobilnim korisnicima.

Upravljanje pokretljivošću zasniva se na dvama lokacijskim registrima, odnosno lokacijskim bazama podataka koji zajedno s MSC-om pružaju uslugu preusmjeravanja poziva i *roaming*:

1. HLR (engl. *Home Location Register*) i
2. VLR (engl. *Visitor Location Register*).

Registar vlastitih pretplatnika (HLR) sadrži sve podatke o vlastitim (domaćim) pretplatnicima i uslugama koje oni koriste, te o njihovoj trenutnoj lokaciji. Svaka mobilna mreža ima svoj registar vlastitih pretplatnika s trajnim zapisom pretplatničkih podataka i zapisom trenutne lokacije pretplatnika ako je ona poznata.

Lokacijski registar posjetitelja (VLR) pridružuje se svakom MSC-u. VLR sadrži podatke o pretplatnicima vlastite mreže i pretplatnicima drugih mreža koji su trenutno u lokacijskom

području dotičnog MSC-a. Taj zapis pretplatničkih podataka je privremen i traje za vrijeme boravka pretplatnika u lokacijskom području. Podatke o trenutnoj lokaciji VLR dojavljuje HLR-u pretplatnikove domaće mreže, tj. vlastitom HLR-u za pretplatnike svoje mreže, HLR-ovima drugih mreža za njihove pretplatnike koji su prešli u lokacijsko područje koje kontrolira MSC, odnosno VLR.

Lokacijske baze bi trebale biti izvedene na načelu tolerancije kvarova kako bi se omogućio potpuni i brzi oporavak nakon kvara. Prekoračenje kapaciteta VLR-a očituje se kao nemogućnost registriranja novih korisnika. Ono se može riješiti posebnim postupcima odabira i brisanja postojećih VLR zapisa neaktivnih korisnika.

Registri EIR (engl. *Equipment Identification Register*) i AUC (engl. *Authentication Centre*) koriste se u sigurnosne svrhe i za autentikaciju.

Centar za provjeru autentičnosti AUC sadrži autentikacijski ključ kojim se provjerava autentičnost pretplatnika pri svakom pozivu.

Registar identifikacije opreme EIR sadrži serijski broj mobilne stanice kojim se može provjeriti je li ista u vlasništvu pretplatnika preko IMEI (engl. *International Mobile Equipment Identity*) broja. EIR je zapravo dodatna mogućnost GSM-a (engl. *Global System for Mobile Communications*) tako da se provjera ne mora obavezno izvoditi.

3 STRUKTURA KANALA

Frekvencijski spektar signala je ograničen i koristi se kombinacija vremenskog, TDMA (engl. *Time Division Multiple Access*), i frekvencijskog multipleksa, FDMA (engl. *Frequency Division Multiple Access*).

Kod FDMA frekvencijski pojas od 25 MHz dijeli se na 124 frekvencije nositelja međusobno udaljenih 200 kHz. Frekvencijski pojas 890 - 915 MHz rabi se za kanale koji se koriste za prijenos od mobilne stanice prema baznoj stanici, a 935 – 960 MHz za kanale u suprotnom smjeru. Svakoj baznoj stanici dodijeljeni su jedan ili više nositelja. Kako se koristi i kombinacija s TDMA onda se svaka od tih frekvencijskih nositelja podijeli u vremenu.

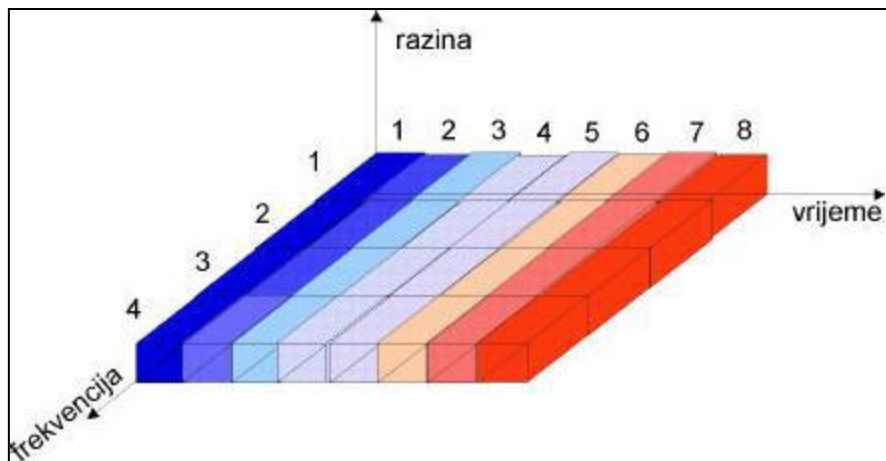
Osnovna jedinica je $15/26$ ms odnosno 0.5769 ms i to se naziva *burst* period, dok tih 8 jedinica predstavlja okvir (*frame*) u trajanju od $120/26$ ms odnosno 4.615 ms te on čini osnovnu jedinicu za definiciju logičkih kanala. Kanal za promet koji se koristi za prijenos govora i podataka definiran je s 26 okvira, a to je trajanje od 120 ms. 24 okvira se koriste za promet, 1 je kontrolni kanal (engl. *Slow Associated Control Channel*) i 1 se ne koristi. Kanali za uzlaznu i silaznu vezu se mogu međusobno pomaknuti za 3 *burst* perioda, pa mobilna stanica ne mora istovremeno odašiljati i primati signal.

3.1 Formiranje mobilnih kanala

Formiranje mobilnog kanala isto je za baznu stanicu kao i za mobilnu stanicu. 124 moguće raspoložive frekvencije dijele se dodatno na osam vremenskih isječaka gdje jedan takav isječak se naziva *burst*. Ti vremenski isječci raspoređeni su na osam kanala po redu, odnosno jedan iza drugog. Na taj se način broj mogućih veza povećava 8 puta što znači da postoji: $124 \times 8 = 992$ kanala.

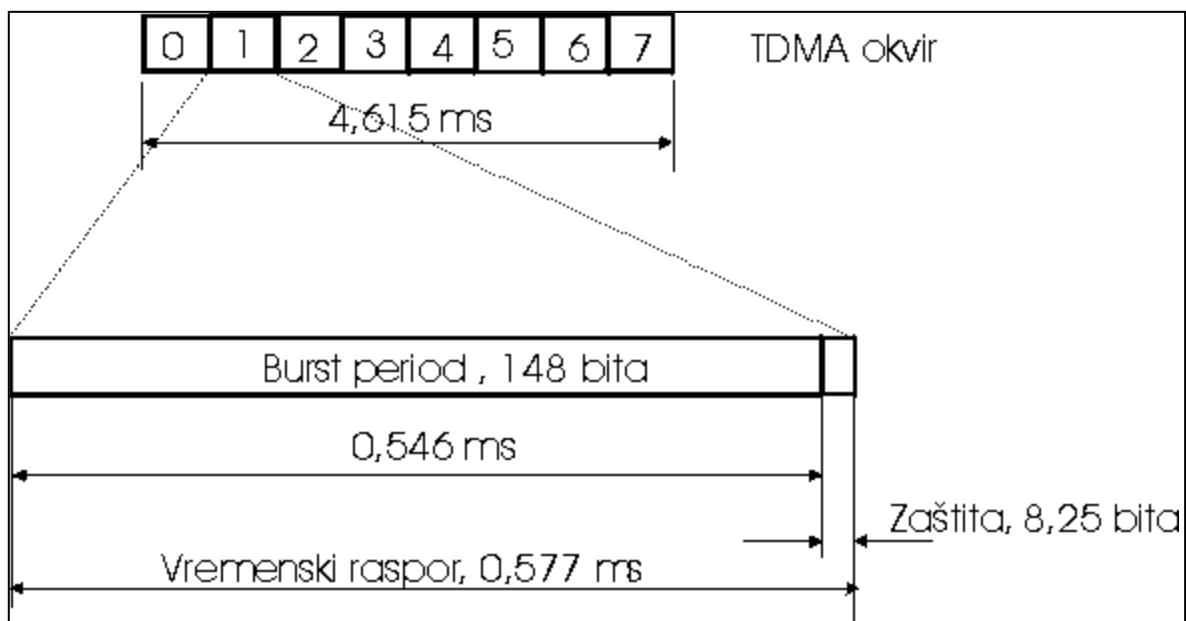
Jedna radio ćelija ne može koristiti maksimalan broj kanala već najviše $1/7$ od toga. Razlog tomu je raspodjela frekvencija po BTS-ovima, prema kojoj BTS-u pripada najviše $1/7$ frekvencija, jer bi u protivnom došlo do ometanja susjednih BTS-ova, [3].

Slikom 3.1. prikazana je blok shema raspodjele 32 kanala nekog BTS-a.



Slika 3.1. Blok shema raspodjele 32 kanala nekog BTS-a, [3]

Sam signal šalje se u nešto kraćem vremenskom periodu čije je trajanje 0,546 ms. Razlika treba postojati radi odvajanja okvira međusobno. Prikaz TDMA okvira, s vremenskim periodima, prikazana je slikom 3.2.



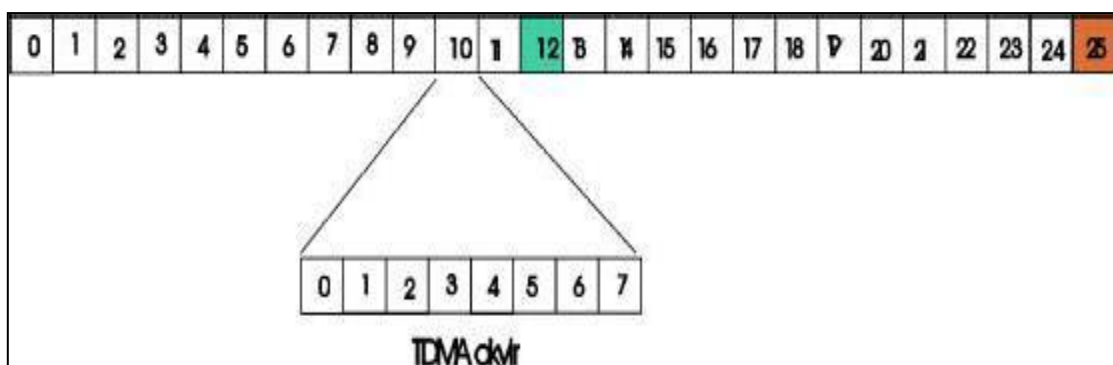
Slika 3.2. Prikaz TDMA okvira, [3]

Za prijenos govora koristi se 1 *burst* period po svakom kanalu, a kod prijenosa podataka (npr. GPRS) koristi se više *burst* perioda, pa čak i svih osam, stoga je razumljivo kako ostaje manje prostora za govorne kanale. Iz toga razloga operater takvu uslugu naplaćuje razmjerno

više. Već na osnovu ovih elemenata se može lako izračunati maksimalna moguća brzina podataka. Iz navedenog proizlazi sljedeće:

Za vrijeme 1 *burst* perioda prenese se $148+8,25$ bita = 156,25 bita.

TDMA okvir sadrži 8 *burst* perioda, pa je za vrijeme od 4,615 ms (koliko on traje) preneseno $8 \times 156,25$ bita = 1250 bita. S druge strane u jednoj sekundi je $1 / 4,615$ ms = 216,68 TDMA okvira. Stoga je binarni protok (bit rate) = 216.68 TDMA okvira/s \times 1250 bita/okviru = 271 kbit/s.



Slika 3.3. Prikaz višestrukog okvira od 26 TDMA, [3]

Od 26 TDMA (slika 3.3.) okvira čije je trajanje 120 ms, 23 su okvira prometna (za prijenos podataka) jedan je okvir kontrolni (br. 12) dok se zadnji okvir (br. 25) ne koristi.

S ovako oblikovanim digitalnim signalom vrši se modulacija sinusnog signala koristeći specijalni modulacijski postupak koji se naziva GMSK.

3.2 Fizički i logički kanali

U GSM-u postoje dvije osnovne vrste kanala: fizički i logički kanali. Fizički kanali se mogu dodatno podijeliti na kanale koji odašilju prema i s MAC sloja te kanali koji podržavaju funkcije fizičkog sloja, ali ne prenose nikakvu informaciju s MAC sloja.

Fizički sloj prima podatke za odašiljanje s MAC sloja u obliku transportnih blokova. Osim fizičkih kanala na koje se izravno mapiraju odgovarajući transportni kanali:

- PDSCH (engl. *Physical Downlink Shared Channel*),

- PUSCH (engl. *Physical Uplink Shared Channel*),
- PBCH (engl. *Physical Broadcast Channel*),
- PMCH (engl. *Physical Multicast Channel*) i
- PRACH (engl. *Physical Random Access Channel*).

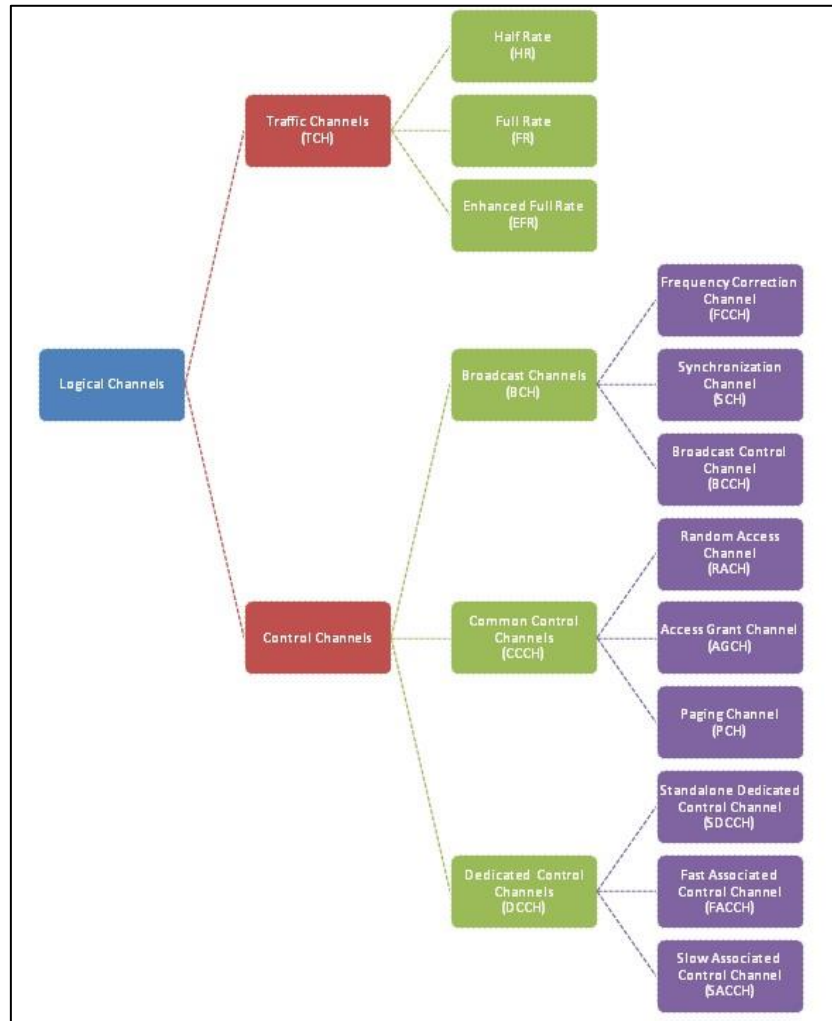
Postoje i fizički kanali koji nose kontrolne informacije s MAC sloja ili prema njemu:

- fizički kontrolni kanal u silaznoj vezi PDCCH (engl. *Physical Downlink Control Channel*)
 - kontrolna signalizacija (za kontrolu snage, raspoređivanje u silaznoj vezi i odobravanje raspoređivanja u uzlaznoj vezi),
- fizički kontrolni kanal u uzlaznoj vezi PUCCH (engl. *Physical Uplink Control Channel*)
 - kontrolna signalizacija (zahtjevi za raspoređivanjem u uzlaznoj vezi)
- kanal indikatora kontrolnog formata PCFICH (engl. *Physical Control Format Indicator Channel*)
 - definira format PDCCH na silaznoj vezi,
- kanal HARQ indikatora PHICH (engl. *Physical Hybrid ARQ Indicator Channel*)
 - prenosi HARQ informacije (ACK/NACK) u silaznoj vezi, [4].

Osim fizičkih kanala postoje i fizički signali koji podržavaju funkcije fizičkog sloja ali ne prenose nikakvu informaciju s MAC sloja:

- referentni signali RS (engl. *Reference Signals*)
 - za mjerenja i koherentnu detekciju u silaznoj i uzlaznoj vezi, prenesena sekvenca jednoznačno definira ćelije (produkt 3-ortogonalne sekvence i 168 pseudo-slučajnih sekvenci što je ukupno 504 moguće sekvence),
- sinkronizacijski signali P-SCH i S-SCH (engl. *Primary And Secondary Synchronization Signals*)
 - koriste se u silaznoj vezi u procesu izbora ćelije (definiiraju sinkronizaciju na okvire i služe za detekciju identiteta ćelije),
- referentni signal za ispitivanje SRS (engl. *Sounding Reference Signal*)
 - za mjerenja zbog raspoređivanja u uzlaznoj vezi.

Logički kanali dijele se na transportne i kontrolne kanale. Shematska podjela logičkih kanala prikazana je slikom 3.4.



Slika 3.4. Shematski prikaz podjele logičkih kanala, [5]

Kod logičkih kanala svaki tip transportnih kanala povezan je s jednim od kontrolnih kanala. Transportni kanali koriste se za komunikaciju i prijenos podataka.

U skupinu kontrolnih kanala ubrajaju se: BCCH (engl. *Broadcast Control Channel*), CCCH (engl. *The Common Control Channel*) i DCCH (engl. *Dedicated Control Channel*).

BCCH je jednosmjerni kanal koji komunicira od bazne stanice prema mobilnoj stanici, noseći informaciju o mobilnoj ćeliji u kojoj se nalazi mobilna stanica, ali i o ostalim ćelijama.

CCCH može se koristiti za komunikaciju između bazne stanice i mobilne stanice u oba smjera. Sastoji se od tri dijela: PCH-a, AGCH-a i RACH-a. PCH se koristi za zvanje mobilne stanice, AGCH za dodjeljivanje resursa mobilnoj stanici.

DCCH kanali se koriste za postavke poziva, prekapčanja ili za mjerenja i određeni su za jednu mobilnu vezu, [6].

Osim fizičkih i logičkih kanala, postoje i zajednički kanali. Zajednički kanali su:

- *Broadcast Control Channel,*
- *Frequency Correction Channel i Synchronisation Channel,*
- *Random Access Channel,*
- *Paging Channel i*
- *Access Grant Channel.*

4 POJAM ERLANGA U TELEKOMUNIKACIJAMA

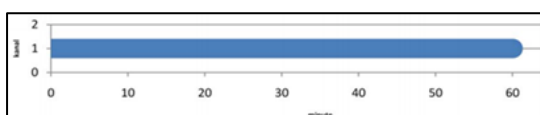
U telekomunikacijskom prometu pojam Erlanga može imati nekoliko značenja, od kojih su najčešći Erlang, kao mjerna jedinica (Erl) i Erlang, kao formule za računanja, Erlangova B i Erlangova C formula.

4.1 Mjerna jedinica Erlang

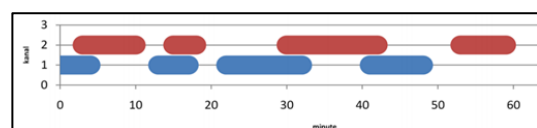
Mjerna jedinica Erlang predstavlja statističku mjeru gustoće glasovnog prometa. Često se koristi, i u fiksnoj i u mobilnoj telefoniji, zbog potrebe za razumijevanjem prometnog obujma u telekomunikacijama.

Kao rezultat pomaže definiranju telekomunikacijskog prometa, tako da se obujam može numerički izraziti i prikazati na standardni način te da se mogu raditi određena računanja. Telekomunikacijski inženjeri koriste mjernu jedinicu Erlang za uočavanje prometnih uzoraka i određivanje kapaciteta mreže, odnosno potrebnog broja kanala, [7].

Jedan Erlang odgovara prometu od 3 600 sekundi nastalih od poziva na istom poslužitelju kanalu (prikazano na slici 4.1.a.) ili prometnom opterećenju koje je dovoljno da bi držalo zauzetim jedan sat, jedan kanal (prikazano na slici 4.1.b.), [2].



(a) prikaz na jednom kanalu



(b) prikaz na više kanala

Slika 4.1. Prikaz prometne jedinice Erlang, [2]

Prometnom jedinicom Erlang također se opisuje zauzimanje kapaciteta određenog kanala tijekom promatranog vremena tako da jedan kanal može ostvariti promet u rasponu od nula do jednog erlanga (0-1 Erl). Kod potpunog iskorištenja kapaciteta (100%) tijekom vremena T ostvaren je promet od jednog Erlanga (1 Erl), a kod 50% zauzimanja tog kapaciteta ostvaruje se promet od 0.5 Erl, [8].

4.2 Erlangov B model

Erlangov B model temeljen je na gubitku poziva, koji nastaje zbog blokiranja (engl. *Blocked call lost*) i to u trenutku kada poslužitelj postane nedostupan. U tom trenutku se zahtjev za uslugom odbija i dolazi do potrebe za ponavljanjem zahtjeva. U telefonskoj komutaciji do takve situacije dolazi kada su svi resursi zauzeti pozivima. Tada pozivatelj mora ponoviti pozivanje i sve dok poslužitelj ne postane dostupan.

Erlangovim B modelom računa se vjerojatnost blokiranja poziva, odnosno vjerojatnost gubitaka, u slučaju kada postoji određeno prometno opterećenje i broj poslužitelja. Vjerojatnost blokiranja, ovisi o prometnom opterećenju i broju kanala, odnosno broju poslužitelja, a predstavlja vjerojatnost zauzeća poslužitelja tijekom prometnog opterećenja, [8].

Prema [2], Erlangov B model koristi se kod:

- blokiranja poziva, koji su ponovno rutirani i nikada se ne vraćaju na originalnu vezu,
- kada je očekivano malo blokiranje,
- za kanale gdje je prisutan prvi pokušaj uspostave poziva, gdje se ne mora u obzir uzeti intenzitet ponovnih pokušaja, zbog ponovnog rutiranja poziva.

4.2.1 Preuvjeti Erlangovog B modela

Ispunjenje sljedećih preuvjeta omogućuje primjenu Erlangova B modela :

- Poissonovim procesom,
- eksponencijalnom razdiobom i
- disciplinom posluživanja FCFS.

4.2.1.1 Poissonov proces

Erlang distribucija je kontinuirana razdioba vjerojatnosti sa širokim primjenom. Kod Erlang distribucije događaji koji se javljaju neovisno s nekom prosječnom frekvencijom modelirani su kao Poissonov proces.

Poissonova raspodjela predstavlja diskretnu distribucijsku vjerojatnost izražavanja vjerojatnosti određenog broja događaja u određenom intervalu vremena ili prostora. Poissonova distribucija idejno nastaje iz pokusa koji broje pojave nekog događaja u jediničnom vremenskom intervalu (ili intervalu volumena, mase i dr.). Pokus treba zadovoljavati sljedeće uvjete:

- vjerojatnost da se pojavi događaj ne ovisi o tome u kojem će se jediničnom intervalu dogoditi,
- broj događaja u jednom vremenskom intervalu neovisan je o broju događaja u nekom drugom intervalu i
- očekivanje broja događaja je isto za sve jedinične vremenske intervale.

Diskretna slučajna varijabla¹ X poprima prebrojivu beskonačnu vrijednost, što znači da slučajna varijabla X može poprimiti isključivo cijele brojeve. Poissonova razdioba javlja se u graničnim slučajevima primjene binomne razdiobe² kada broj ponavljanja pokusa neograničeno raste i vjerojatnost p je mala. Ulogu očekivanja np pojavljivanja broja ishoda zamjenjuje intenzitet λ pojavljivanja događaja. U primjeni se uzima $\lambda = n \cdot p$.

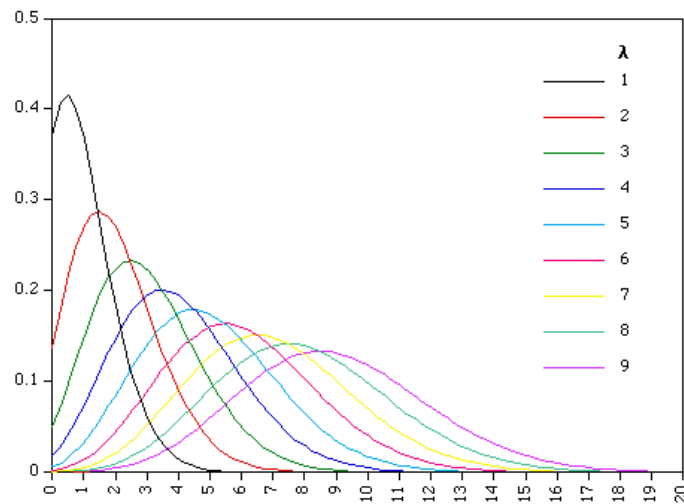
Kumulativna Poissonova vjerojatnost odnosi se na vjerojatnost da se Poissonova slučajna varijabla (X) nalazi unutar određenog raspona, dok kumulativna vjerojatnost predstavlja funkciju razdiobe čija maksimalna vrijednost uvijek iznosi jedan (1). Dobivene vjerojatnosti za određen broj događaja unutar nekog sustava sumiraju se, te se izračunatoj vrijednosti dodaje prethodno izračunata vjerojatnost.

Poissonova razdioba jer raspodjela vrlo rijetkih slučajnih događaja (kod kojih je vjerojatnost pojavljivanja vrlo mala; ako je p veoma malen, tj. ako je $p \leq 0.1$, a $n \geq 50$, tada se binomne vjerojatnosti mogu izračunati aproksimativno pomoću funkcije koju je otkrio

¹ Diskretna slučajna varijabla je slučajna varijabla X , koja poprima konačan ili beskonačan niz vrijednosti s odgovarajućim vjerojatnostima, [9].

² Binomna razdioba - za diskretnu slučajnu varijablu X čiji skup vrijednosti sadrži adekvatne pripadne vjerojatnosti, kaže se da ima binomnu razdiobu s parametrima n i p (n se odnosi na skup prirodnih brojeva dok je p u intervalu $[0,1]$, [10].

Poisson). Izražava vjerojatnost broja događaja ako se ti događaji pojavljuju u fiksnom vremenskom periodu s poznatom prosječnom brzinom pojavljivanja i vremenski su nezavisne od prošlog događaja. Za razliku od normalne distribucije koja je potpuno definirana aritmetičkom sredinom i standardnom devijacijom, Poissonova distribucija je potpuno definirana aritmetičkom sredinom, jer je njena varijanca jednaka aritmetičkoj sredini. To znači da je ta distribucija šira što joj je aritmetička sredina veća.

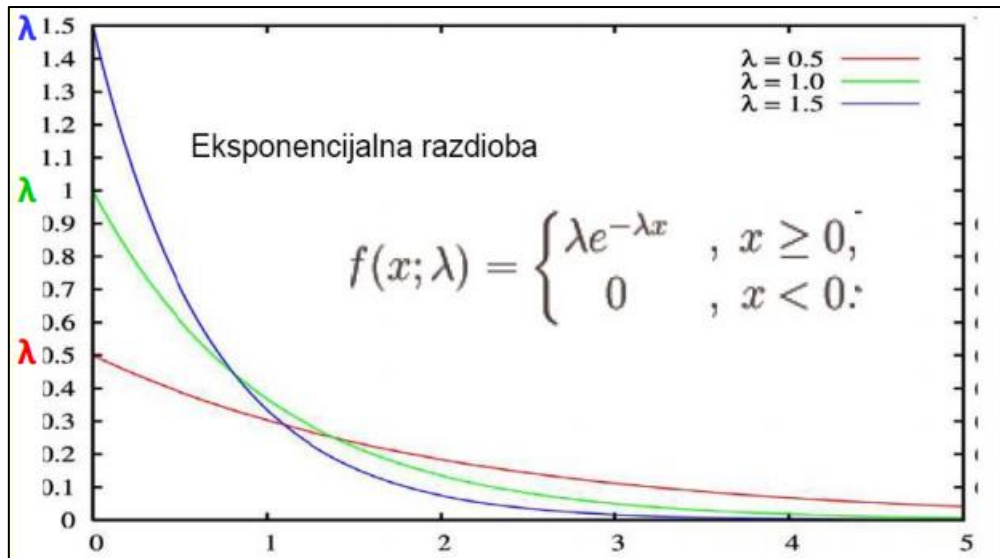


Slika 4.2. Poissonova distribucija, [11]

Na slici 4.2. je prikazana vjerojatnost da u intervalu duljine t jedinica vremena dođe k korisnika uz poznati parametar λ intenzitet toka dolazaka (prosječan broj zahtjeva u jedinici vremena).

4.2.1.2 Eksponecijalna razdioba

Eksponecijalna razdioba (slika 4.3.) je kontinuirana razdioba, koja služi opisivanju vremenskih razmaka između dvaju događaja, kao što primjerice može biti dva poziva u telefoniji. U tom slučaju duljina poziva ima eksponecijalnu distribuciju.



Slika 4.3. Eksponecijalna razdioba, [12]

Kao što je vidljivo sa slike 4.3., vrijeme upućivanja poziva ne može imati negativnu vrijednost. Također, sa slike je vidljivo kako je većina poziva kraća od prosjeka, dok ih malo duže od prosjeka, [12].

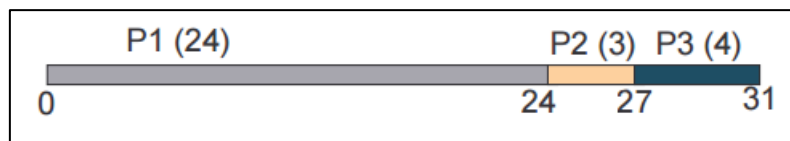
Matematički gledano, kada je $\alpha > 0$, slučajna varijabla X ima eksponencijalnu razdiobu onda kada X može poprimiti svaku vrijednost iz intervala $[0, +\infty>$, a funkcija gustoće vjerojatnosti je dana formulom (1):

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{za } t < 0 \\ \frac{1}{\alpha} \cdot e^{-\frac{t}{\alpha}} & \text{za } t > 0. \end{cases} \quad (1)$$

Eksponecijalna razdioba najčešće se pojavljuje kao matematički model za opisivanje slučajnog vijeka trajanja nekog elektrotehničkog proizvoda (žarulja, otpornik, kondenzator i slično), [13].

4.2.1.3 Disciplina posluživanja FCFS

Disciplina posluživanja FCFS (engl. *First Come First Serve*) je disciplina posluživanja u kojoj se prvi dolazeći korisnik prvi poslužuje, a svaki sljedeći se poslužuje nakon što se posluži njemu prethodni. Drugi naziv za FCFS disciplinu posluživanja je FIFO (engl. *First In First Out*). Disciplina FCFS objasnit će se slikom 4.4.



Slika 4.4. Prikaz FCFS posluživanja, [14]

Ako se pretpostavi da sva 3 korisnika (P1, P2 i P3) dođu na posluživanje jedan za drugim. Tada će se prvo poslužiti korisnik P1, zatim korisnik P2 i na kraju korisnik P3. U tom slučaju korisnik P2 treba čekati da se posluži korisnik P1, a korisnik P3 treba čekati kraj posluživanja korisnika P1 i P2, [14].

4.3 Erlangova B formula

Erlang B formula se koristi kod planiranja telefonskih mreža i nije samo ograničena na telefonske mreže. Opisuje vjerojatnost gubitka poziva u grupi poslužitelja (mreža s komutacijom kanala). Erlangova B formula koristi se za određivanje broja poslužitelja unutar telekomunikacijskog sustava.

Erlang B formula pretpostavlja izvor s neograničenom populacijom (kao što su telefonski pretplatnici), koji generiraju promet prema N poslužitelja (linkova). Intenzitet dolazaka novih poziva (intenzitet "rođenja" poziva), je jednaka λ i ona je konstantna, ne ovisi o broju aktivnih izvora, jer je ukupni broj izvora pretpostavljen kao beskonačan. Intenzitet odlazaka poziva je jednak broju poziva koji trenutno traju podijeljenom s h , koji označava prosječnu duljinu poziva. Pomoću formule izračunava se vjerojatnost blokiranja u sustavu koji trpi gubitke, gdje se poziv odbacuje ako se ne uspostavi odmah. Blokiranje se događa kada novi zahtjev dolazi

od izvora, a svi serveri su zauzeti. Pretpostavka koja je uključena u formulu je da su svi takvi pozivi odmah odbačeni.

Izraz kojim se određuje vjerojatnost blokiranja u sustavu ovisi o veličini ponuđenog prometa i broju poslužitelja. Izraz je prikazan formulom (2):

$$P_b = B(A_p, m) = \frac{\frac{A_p^m}{m!}}{\sum_{i=0}^m \frac{A_p^i}{i!}} \quad (2)$$

gdje je:

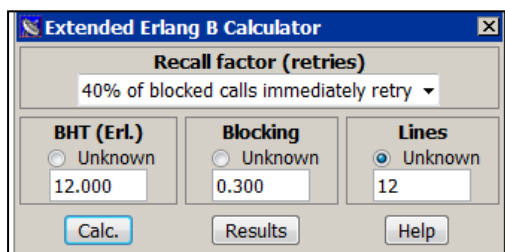
P_b – vjerojatnost blokiranja poziva,

m – broj kanala ili poslužitelja i

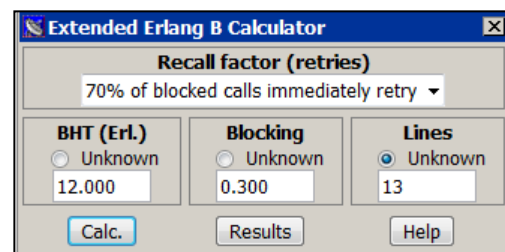
A_p – ponuđena veličina prometa u Erl.

Kao što je napisano, formula je razvijena za određivanje broja poslužitelja, odnosno broja kanala. Za određivanje vjerojatnosti blokiranja se najčešće koriste tablice s izračunatim vjerojatnostima blokiranja za poznate vrijednosti ponuđenog prometa i broja poslužitelja. Također, razvijeno je i više kalkulatora dostupnih na Internetu za određivanje vjerojatnosti blokiranja i broja potrebnih kanala (poslužitelja) za poznato opterećenje i dozvoljene gubitke.

Prošireni Erlang B prometni model koriste inženjeri telefonskih sustava kako bi procijenili broj linija potrebnih za PSTN vezu ili privatnu žičnu mrežu i uzimaju u obzir dodatno prometno opterećenje koje je uzrokovano blokiranim pozivima, čiji korisnici odmah pokušavaju ponovno nazvati ukoliko su njihovi pozivi odbijeni tj. blokirani.



(a) 40% odbijenih zahtjeva



(b) 70% odbijenih zahtjeva

Slika 4.5. Utjecaj ponovljenih poziva na potreban broj kanala , [15]

Iz primjera na slici 4.5.a. i 4.5.b. može se zaključiti kako se vjerojatnost blokiranja poziva održava na 30% ($p_b = \text{const.}$) i promet u Erlanzima je također konstantan, a mijenja se faktor ponovno upućenih poziva s 30% na 40% u primjeru na slici 4.5 a. te s 30% na 70% u primjeru na slici 4.5 b. Potrebno je uvođenje još jedne linije koja će voditi brigu o ponovno upućenim pozivima.

5 ODREĐIVANJE VJEROJATNOSTI BLOKIRANJA POZIVA U ČELIJI

Telekomunikacijski sustavi trebaju posluživati govorni i podatkovni promet koji se može definirati kao zauzeće poslužitelja. Osnovno svrha prometnog inženjerstva je odrediti uvjete pod kojima će biti osigurana adekvatna usluga za korisnika a da se pri tome na ekonomičan način koriste resursi mreže. Funkcije koje izvodi određena mreže će ovisiti o vrsti aplikacija koje se koriste. Osnovne funkcionalnosti mreže su prospajanje, usmjeravanje, kontrola toka, sigurnost, nadzor grešaka, nadzor prometa, povezivost s drugim mrežama i upravljanje mrežom. Da bi izvodila sve navedene funkcije mreža se sastoji od velikog broja opreme koja radi zajedno. Stoga prometno inženjerstvo osigurava temelje za analizu i dizajn telekomunikacijskih mreža kao i modele. Pod osigurava se podrazumijeva određivanje dovoljne količine zajedničke opreme koja će moći jamčiti određenu razinu usluge za određenu količinu prometa. Koristeći razvijene modele moguće je osigurati najbolju dostupnost i najveće iskorištenje mrežne opreme. Prometno inženjerstvo također određuje sposobnost telekomunikacijskih mreža da prenesu ponuđeni prometa uz određenu razinu gubitaka, [16].

5.1 Vjerojatnost blokiranja poziva

Kako bi se sustav što adekvatnije optimizirao i što točniji proračun donio koriste se već napravljeni prometni modeli. Prometni model može se definirati kao skup mjerenih te izračunatih parametara koji predstavljaju korisnikove radnje na mreži. Opće je poznato da što je više parametara prikupljeno od strane prometnog inženjera to je veća vjerojatnost da se dizajnira što adekvatniji i pouzdaniji sustav na temelju kojeg je moguće izračunati očekivani telekomunikacijski promet, [16].

Nakon analize i izračuna svih dobivenih parametara se dizajnira određeni telekomunikacijski sustav. Vremenski period na temelju kojega se planiraju kapaciteti mreže ovisi o vrsti mreže tj. o vrsti prometa koji se u toj mreži nalazi. Ako određeni telekomunikacijski sustav ne može obraditi određenu količinu prometa, javlja se zagušenje u mreži.

U praksi se razlikuje dva tipa zagušenja a to su:

- vremensko zagušenje i
- zagušenje poziva.

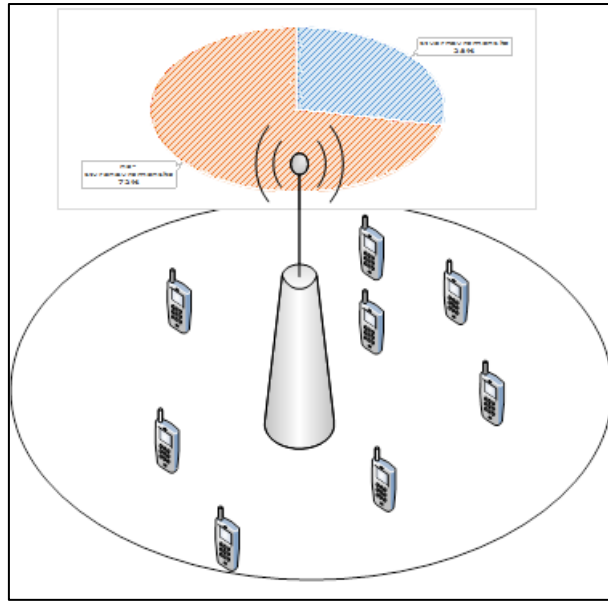
Vremensko zagušenje je vremenski period od kada je zauzet posljednji slobodni resurs do trenutka kada se oslobodi prvi resurs. Zagušenje poziva je vremenski period između trenutka dolaska prvog poziva kada su već svi resursi zauzeti, i trenutka oslobađanja prvog resursa, [9].

Osnovna podjela sustava posluživanja je na sustave s gubitcima i sustave s čekanjem. Oni se razlikuju po načinu tretiranja poziva ili zahtjeva za vezom na način da sustav s gubitcima odbacuje svaki pokušaj uspostavljanja veze u slučaju zauzeća svih resursa, dok sustav s čekanjem u trenutku kada je došlo do zauzeća svih resursa pozive stavlja na čekanje do oslobađanja resursa.

Vjerojatnost blokiranja poziva određuje se pomoću izraza (2) prikazanog u poglavlju 4.3. ovog rada. Vjerojatnost čekanja na posluživanje određuje se pomoću Erlangove C formule koja nije objašnjena u ovom radu s obzirom na to da je tema rada od određivanje vjerojatnosti blokiranja poziva u mobilnoj mreži.

5.2 Analiza posluživanja u ćeliji mobilne mreže

Posluživanje zahtjeva u ćeliji mobilne mreže kombinira prethodno opisana dva načina posluživanja (s gubicima i s čekanjem) što ovisi o vrsti zahtjeva. Način podjele ukupnog kapaciteta u ćeliji (slika 5.1.) i dodjeljivane raspoloživog kapaciteta u ćeliji prikazano i opisano u nastavku.



Slika 5.1. Podjela kapaciteta u ćeliji

Podjela kapaciteta u ćeliji između stvarnovremenskih usluga i onih koje to nisu može biti fiksna ili dinamička. Primjer podjele prikazan je na slici 5.1.

Nakon odrađene procedure preuzimanja poziva koja je kompleksna i nije detaljno opisana u ovom opisu, sesija može biti prihvaćena ili blokirana.

U ovom radu bit će analizirana samo vjerojatnost blokiranja poziva za stvarnovremenske usluge s obzirom na to da tada sustav funkcionira kao sustav posluživanja s gubicima.

Dolazak novog zahtjeva za prometnim kanalom u jednoj ćeliji mobilne mreže zahtijeva ispitivanje je li novi zahtjev od poziva iz te ćelije ili je to poziv koji ulazi u ćeliju, radi različitog tretiranja poziva. Ako je to zahtjev koji je ušao u ćeliju tada se najprije provodi procedura preuzimanja poziva, a ako je to zahtjev koji polazi iz ćelije tada se ispituje radi li se o usluzi u stvarnom vremenu ili ne (slika 5.2.).

- Ako je riječ o usluzi u stvarnom vremenu tada treba ispitati postoji li raspoloživ kapaciteta u dijelu kapaciteta koji je dodijeljen za usluge u stvarnom vremenu (primjer takve usluge je govorna usluga. Ako je zauzeti kapacitet od usluga u stvarnom vremenu manji od ukupnog kapaciteta predviđenog za tu vrstu usluga, tada se prihvaća zahtjev za novom sesijom i novom zahtjevu se dodjeljuje kanal za komunikaciju. Ako nema raspoloživog kapaciteta zahtjev za sesijom se odbija.

- Ako je riječ o usluzi koja nije usluga u stvarnom vremenu tada se ispituje ima li raspoloživog kapaciteta u grupi resursa za tu vrstu usluga. Ako je dovoljno raspoloživog kapaciteta tada se dodjeljuje resurs iz tog skupa resursa i zahtjev za sesijom se prihvaća. Ako nema dovoljno raspoloživog kapaciteta zahtjev za sesijom se odbija.

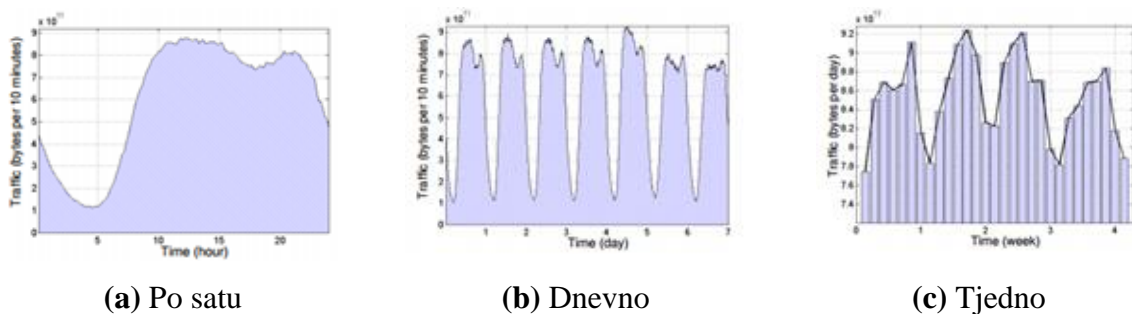


Slika 5.2. UML dijagram aktivnosti za opis procedure prihvatanja ili odbijanja poziva/sesije
Izvor: [17]

Pod pretpostavkom kako je određen fiksni kapacitet u ćeliji mobilne mreže za stvarnovremenske usluge za određivanje vjerojatnosti blokiranja poziva u ćeliji može se koristiti Erlangova B formula, objašnjena u poglavlju 4.3. ovog rada.

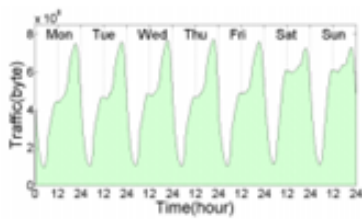
5.3 Analiza utjecaja slučajnosti dolazaka poziva i trajanja posluživanja na broj zauzetih poslužitelja

Kada bi se u telekomunikacijskim sustavima osiguralo nepostojanje blokiranja zahtjeva to bi značilo da je potrebno osigurati toliko poslužitelja koliko ima korisnika. Takav sustav ne bi bio ekonomičan, stoga neki zahtjevi moraju biti odbijeni. Mobilne mreže predstavljaju poseban izazov u planiranju potrebnog kapaciteta posebice u pristupnoj mreži, tj. broj poslužitelja u jednoj ćeliji. Osnovni problem predstavlja broj korisnika, koji se može nalaziti na području jedne ćelije i koji zahtijeva usluge mreže. Taj broj nije fiksna i može bitno varirati što će utjecati i na varijacije veličine prometa na različitim vremenskim skalama (varijacije u satu, danu i tjednu) kao što je prikazano na slici 5.3.

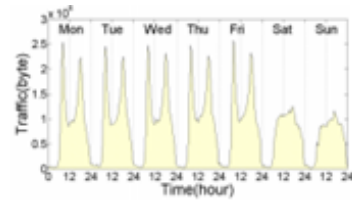


Slika 5.3. Varijacije prometa na različitim vremenskim skala u ćeliji prometne mreže, [18]

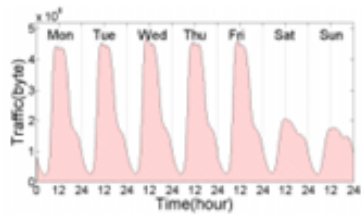
Veličina i varijacije prometa ovise i o tome na kojem se području ćelija nalazi, nije svejedno pokriva li ćelija rezidencijalno područje, prometnice, područje s uredima, područja za zabavu ili područje koje obuhvaća sve navedeno (slika 5.4.).



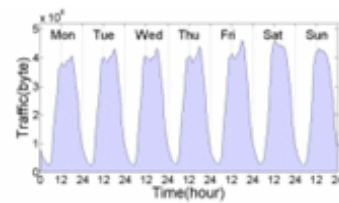
(a) Rezidencijalno područje



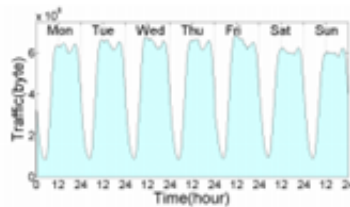
(b) Područje s prometnicama



(c) Područje s uredima



(d) Područje za zabavu



(e) Sveobuhvatno područje

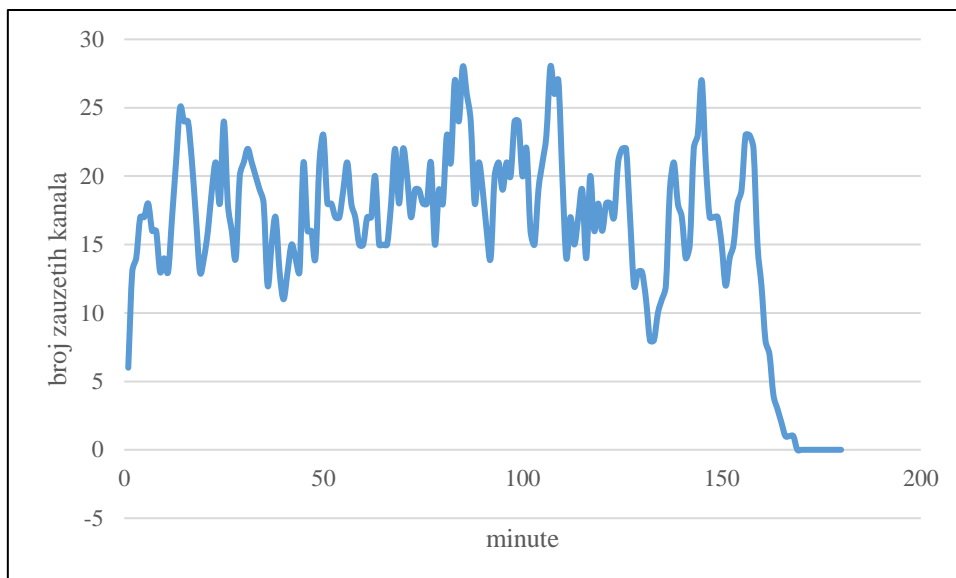
Slika 5.4. Utjecaj područja koje pokriva ćelija na varijacije i veličinu prometa, [18]

Kako bi se analizirao utjecaj slučajnosti dolazaka poziva i trajanja posluživanja na broj zauzetih poslužitelja, tj. veličinu prometa u promatranom periodu. Za potrebe ovog rada, korišten je generator distribucija vjerojatnosti, dostupan na stranici: <http://www.math.uah.edu/stat/apps/SpecialSimulation.html>. Za trenutke pojavljivanja poziva korištena je pretpostavka da se dolasci poziva mogu opisati Poissonovom razdiobom (opisana u poglavlju 4.2.2.1), što znači da se međudolazna vremena mogu opisati eksponencijalnom razdiobom (opisana u poglavlju 4.2.2.2). Generirana međudolazna vremena, t_a , koja podliježu navedenom zakonu, prikazana su u 2. stupcu tablice 5.1. Korištenjem spomenutog generatora slučajnih brojeva generirana su vremena zauzimanja poslužitelja, t_s (vrijeme posluživanja), koja su distribuirana po eksponencijalnom razdiobi (stupac 3, tablice 5.1). Napravljena su ukupno tri scenarija. U svakom scenariju generirano je 1000 dolazaka poziva s pripadajućim vremenima trajanja poziva. Isječak takve tablice s generiranim vrijednostima prikazan je tablicom 5.1.

Tablica 5.1. Slučajne vrijednosti međudolaznog vremena i vremena posluživanja (3 scenarija)

Redni broj poziva	1. scenarij		2. scenarij		3. scenarij	
	t_a [s]	t_s [min]	t_a [s]	t_s [min]	t_a [s]	t_s [min]
1.	1,9	2,4	11,1	3,7	12,6	1,4
2.	9,6	0,6	1,2	0,2	5	1
3.	14,9	2,8	11,4	2,1	7,1	1
4.	0,2	4,5	24,5	3,1	0,8	1,6
5.	7,8	7,7	18,7	5,9	1,3	0,3
6.	13,5	14,1	5,1	2,5	4,3	11,4
7.	3,5	3,2	13,6	2,5	4,7	0,9
8.	19,1	3,1	6,9	3,5	3,2	4,8
9.	16,2	2	11	4,3	0,9	0,1
10.	3,8	0,5	14,7	1,8	0,8	0,7
11.	10,4	4,1	7,7	0,1	21	3,2
12.	3,3	2,3	5,3	0,1	5,8	0,4
13.	6,2	0,8	5,9	3,3	32,5	0,4
14.	4	0,5	4,2	3,7	9,8	0,6
15.	11,3	5,5	3,2	2,6	6,5	1,9
16.	6,9	0,1	5,3	1,5	8	1,3
17.	5,8	2,8	14	3,8	15,5	3,1
18.	3,2	1,8	24	3,3	12,2	1,4
19.	7,4	1,1	3,6	2	34,7	2
20.	30,3	2,5	14,9	2,9	12,6	1,4

Za svaki scenarij određene su vrijednosti broja zauzetih poslužitelja s korakom od 1 minute. Vrijednosti broja zauzetih poslužitelja u svakom trenutku, s korakom od 1 minute, prikazane su grafički na slici 5.5. Prosječan broj zauzetih poslužitelja tijekom vremena promatranja kod scenarija 1 iznosi 18,51 Erl, što odgovara veličini prometa. Iz grafikona na slici 5.5, vidljivo je kako broj zauzetih poslužitelja tijekom vremena varira, ali ne prelazi vrijednost 30. Prosječno trajanje svih 1000 razgovora iznosi 2,63 minute. Standardno odstupanje broja zauzetih kanala (promet) za prikazani slučaj iznosi 5,1 Erl.



Slika 5.5. Broj zauzetih kanala – scenarij 1

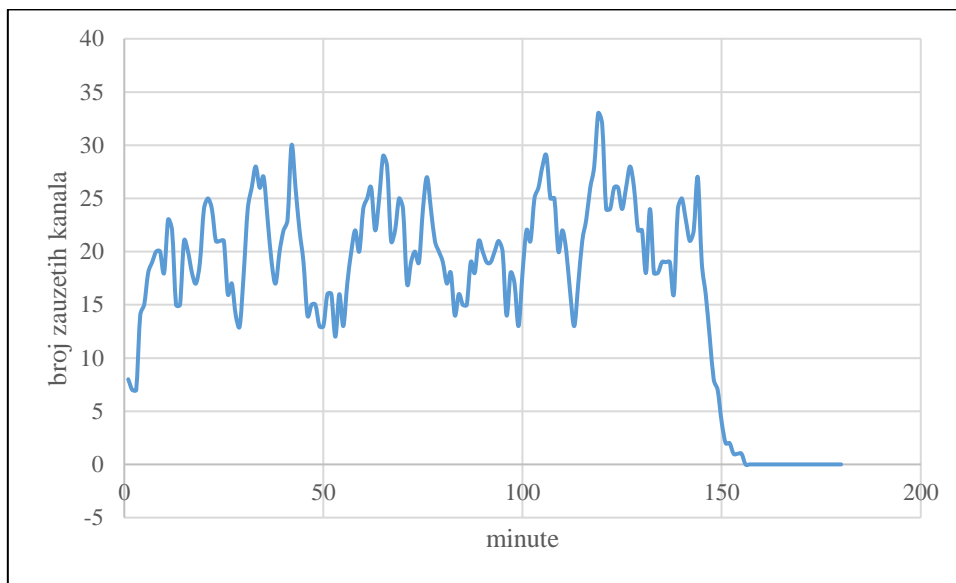
Korištenjem Erlangove B formule može se odrediti vjerojatnost blokiranja poziva za različite vrijednosti broja raspoloživih kanala, uz pretpostavku kako je veličina ponuđenog prometa jednaka veličini dobivenoj u scenariju 1 (18,51 Erl).

Tablica 5.2. Promjena vjerojatnosti blokiranja ovisna o broju poslužitelja – scenarij 1

Promet	Vjerojatnost blokiranja	Broj poslužitelja (kanala)
18,510	0,004	30
18,510	0,006	29
18,510	0,009	28
18,510	0,014	27
18,510	0,021	26
18,510	0,030	25
18,510	0,042	24
18,510	0,057	23
18,510	0,075	22
18,510	0,097	21
18,510	0,122	20
18,510	0,150	19

Iz izračuna broja zauzetih kanala je vidljivo kako je broj zauzetih kanala prelazio broj 27 samo u dva slučaja (slika 5.5.), što bi prema tablici 5.2. značilo kako bi se s 28 kanala zadovoljio uvjet da gubici pri ovoj prosječnoj veličini prometa ne prelaze 1%.

Prosječan broj zauzetih poslužitelja tijekom vremena promatranja kod scenarija 2 iznosi 20,74 Erl, što odgovara veličini prometa. Iz grafikona na slici 5.6., vidljivo je kako broj zauzetih poslužitelja tijekom vremena varira, ali ne prelazi vrijednost 35. Prosječno trajanje svih 1000 razgovora iznosi 2,43 minute. Standardno odstupanje broja zauzetih kanala (promet) za prikazani slučaj iznosi 7,83 Erl.



Slika 5.6. Broj zauzetih kanala – scenarij 2

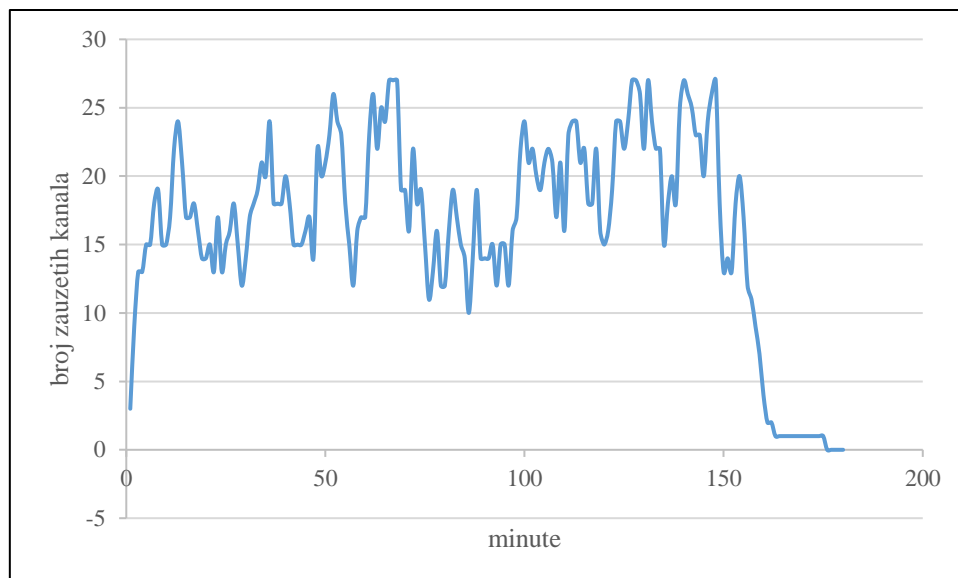
Korištenjem Erlangove B formule određena je vjerojatnost blokiranja poziva za različite vrijednosti broja raspoloživih kanala, uz pretpostavku kako je veličina ponuđenog prometa jednaka veličini dobivenoj u scenariju 2 (20,74 Erl).

Tablica 5.3. Promjena vjerojatnosti blokiranja ovisna o broju poslužitelja – scenarij 2

Promet	Vjerojatnost blokiranja	Broj poslužitelja (kanala)
20,740	0,001	35
20,740	0,002	34
20,740	0,003	33
20,740	0,005	32
20,740	0,008	31
20,740	0,012	30
20,740	0,180	29
20,740	0,025	28
20,740	0,035	27
20,740	0,047	26
20,740	0,062	25
20,740	0,080	24

Iz izračuna broja zauzetih kanala je vidljivo da je broj zauzetih kanala prelazio broj 31 samo u dva slučaja (slika 5.6.) što bi prema tablici 5.3. značilo da s 31 kanalom bi se zadovoljio uvjet da gubici pri ovoj prosječnoj veličini prometa ne prelaze 1%.

Prosječan broj zauzetih poslužitelja tijekom vremena promatranja kod scenarija 3 iznosi 18,68 Erl, što odgovara veličini prometa. Iz grafikona na slici 5.7 vidljivo je kako broj zauzetih poslužitelja tijekom vremena varira, ali ne prelazi vrijednost 30. Prosječno trajanje svih 1000 razgovora iznosi 2,62 minute. Standardno odstupanje broja zauzetih kanala (promet) za prikazani slučaj iznosi 5,94 Erl.



Slika 5.7. Broj zauzetih kanala – scenarij 3

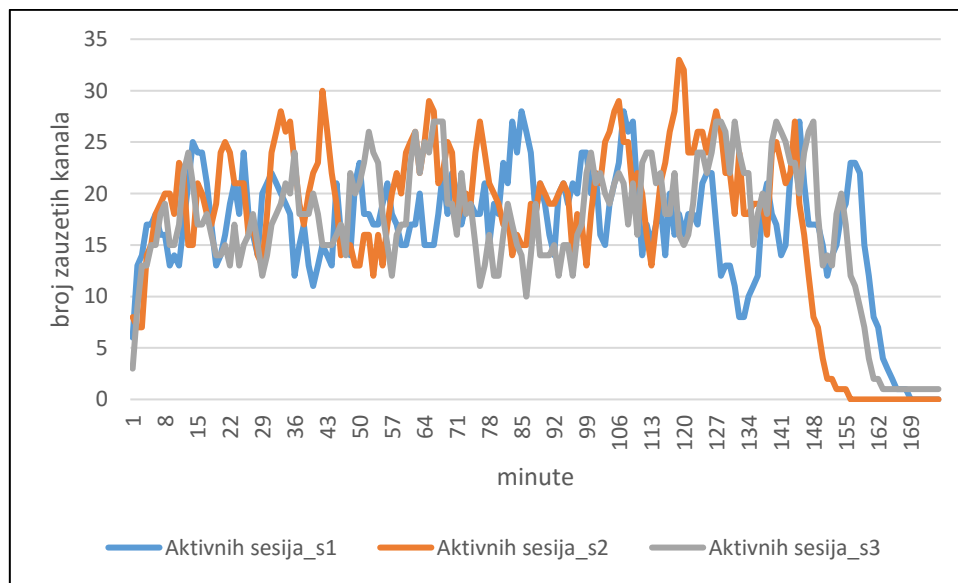
Korištenjem Erlangove B formule određena je vjerojatnost blokiranja poziva za različite vrijednosti broja raspoloživih kanala, uz pretpostavku kako je veličina ponuđenog prometa jednaka veličini dobivenoj u scenariju 3 (18,68 Erl).

Tablica 5.4. Promjena vjerojatnosti blokiranja ovisna o broju poslužitelja – scenarij 3

Promet	Vjerojatnost blokiranja	Broj poslužitelja (kanala)
18,680	0,004	30
18,680	0,007	29
18,680	0,010	28
18,680	0,015	27
18,680	0,023	26
18,680	0,032	25
18,680	0,045	24
18,680	0,060	23
18,680	0,079	22
18,680	0,101	21
18,680	0,126	20
18,680	0,154	19

Iz izračuna broja zauzetih kanala je vidljivo da broj zauzetih kanala nije prelazio broj 27 (slika 5.7.) što bi prema tablici 5.4. značilo da s 29 kanala bi se zadovoljio uvjet da gubici pri ovoj prosječnoj veličini prometa ne prelaze 1%.

Iz usporednog prikaza broja zauzetih kanala u svakom trenutku za sva tri scenarija (slika 5.8.) vidljivo je kako su očekivane vrijednosti približno jednake i kreću se u rasponu od 18,51 do 20,74 Erl. Najviše variraju vrijednosti broja zauzetih kanala kod scenarija 2 (narančasta linija na slici 5.8.) u kome je postignut i najveći prosječni promet, iako je za taj scenarij dobiveno najkraće prosječno vrijeme posluživanja. U 2. scenariju u 10 slučajeva broj zauzetih poslužitelja je veći od 27 što bi značilo da s 28 poslužitelja u 10 slučajeva bi došlo do blokiranja poziva. No to je još uvijek manje ili jednako od 1% izgubljenih poziva ($\frac{\text{broj odbijenih poziva}}{\text{ukupni broj poziva}} = \frac{10}{1000}$).



Slika 5.8. Usporedni prikaz broja zauzetih kanala za sva tri scenarija

Analiza ova tri scenarija pokazuje da uz isti očekivani promet koji generira isti broj poziva čije pojavljivanje na posluživanje se može opisati Poissonovom razdiobom i trajanje zaposjedanja poslužitelja eksponencijalnom razdiobom varijacije prometa neznatno utječu na promjenu vjerojatnosti blokiranja poziva.

6 PLANIRANJE KAPACITETA ĆELIJE

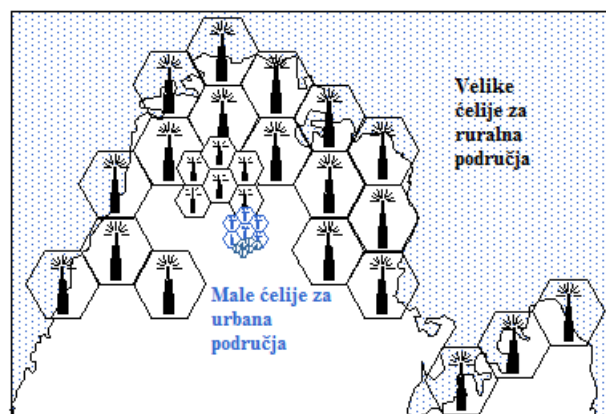
Kako je već opisano u poglavlju 5.3. na zahtijevani kapacitet ćelije će utjecati niz parametara:

- Područje koje ćelija pokriva,
- Očekivani broj korisnika u ćeliji,
- Usluge koje korisnici koriste i trajanje vremena korištenja usluga i
- Tehnologija višestrukog pristupa.

Optimalna mreža za mobilnu telefoniju se sastoji od velikih i malih ćelija (slika 6.1.). Kakav će se tip ćelija koristiti u sustavu ovisi o intenzitetu prometa na pojedinom području.

Tehnika velikih ćelija se koristi na područjima gdje je mali broj pretplatnika, dok tehnika malih ćelija se koristi za područja s velikim intenzitetom prometa. Korištenjem puno baznih stanica s malim područjem prekrivanja radio signalom znači korištenje tehnika malih ćelija.

U principu se radijus ćelije može po želji smanjivati, ali posljedica toga može biti prevelik broj *handovera* u toku jednog razgovora što znači ometanje normalnog razgovora.



Slika 6.1. Pokrivanje područja velikim i malim ćelijama, [19]

Osnovna ideja je da pored bežične mreže makro ćelija postoje i upravljive male (piko) ćelije koje rade u suradnji s makro mrežom. Time se značajno povećava stupanj pokrivenosti i prosječan kapacitet mreže. Uvođenjem piko ćelija u makro mrežu mogu se riješiti eventualni problemi zagušenja u mreži (engl. *Air interface Congestion*). Operatori moraju u cjelini voditi

računa o performansama mreže, kašnjenju i protocima nakon uvođenja koncepta heterogenih mreža u dijelove svoje mreže.

Ekonomičnost se ogleda i u tome što su male ćelije energetski efikasnije. Ipak, uvođenjem malih ćelija znatno se povećava kompleksnost mreže i održavanja, upravljanje mrežom, *billing*, kontrola i dr. U takvoj mreži i osoblje mora imati viši nivo znanja i stručnosti. I međunarodna tijela za standardizaciju (3GPP) se zalažu da male ćelije postanu legitiman dio mobilne mrežne arhitekture. Male ćelije se također mogu koristiti i za poboljšanje pokrivenosti i povećanje kapaciteta mreže unutar zgrada (engl. *in door*).

6.1 Kvaliteta usluge i razina usluge

Pojam kvaliteta usluge (engl. *Quality of Service*, QoS) predstavlja skup performansi usluge, koje je potrebno ispuniti za određivanjem stupnja zadovoljstva korisnika uslugom, [2]. Pojam kvaliteta usluge, uz sebe ima određene pojmove, odnosno faktore, koji ga formiraju. Ti faktori se najčešće dijele na dvije grupe: ljudske i tehničke faktore, [20]. U ljudske faktore se ubrajaju, [20]:

- Stabilnost za kvalitetom usluge,
- Dostupnost pretplatničkih linija,
- Vrijeme čekanja,
- Vrijeme otklanjanja kvarova,
- Pretplatničke informacije i dr.

U tehničke faktore se ubrajaju, [20]:

- Pouzdanost,
- Skalabilnost,
- Efikasnost,
- Održivost sustava,
- Kvaliteta transmisije i dr.

Uz pojam kvaliteta usluge, postoji sličan pojam, razina usluge (engl. *Grade of Service*, GoS). Razina usluge se odnosi na dio mrežnih performansi (engl. *Network Performance*, NP),

koje su povezane s prometom. GoS se definira kao omjer između izgubljenog i ponuđenog prometa. Prema [21], može se predočiti izrazom (3):

$$GOS = \frac{\text{broj izgubljenih poziva}}{\text{broj ponuđenih poziva}} = \frac{\text{izgubljeni promet}}{\text{ponuđeni promet}} = \frac{A - A_0}{A} \quad (3)$$

GOS se očituje sposobnošću mreže da osigura funkcije koje se odnose na komunikaciju između korisnika. Mrežne performanse ne pokrivaju samo GoS, koji se često naziva i performanse prometne sposobnosti (*trafficability performance*), nego i druge neprometne aspekte kao što su pouzdanost, svojstva prijenosa i značajke tarifirana. Ciljevi mrežnih performansi, a posebno razina usluge su izvedeni iz zahtjeva kvalitete usluge, [2].

Manja vrijednost GoS-a predstavlja bolju uslugu. Primjerice, ako se preporučuje GoS od 0,002, to znači da će dva poziva biti odbijena, od 1000 pokušaja uspostave poziva, [22].

6.2 Određivanje kapaciteta u ćeliji za stvarnovremenske usluge

6.2.1 Određivanje broja poslužitelja

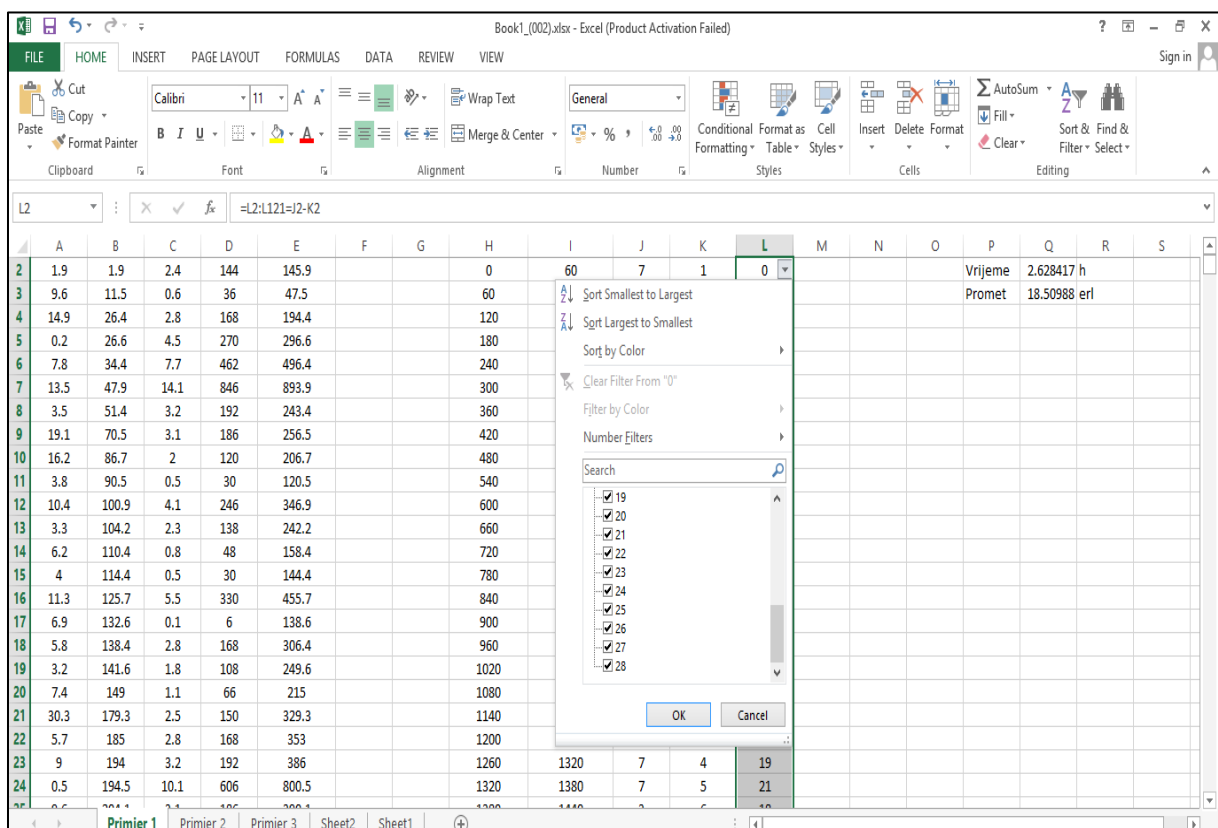
Poznajući očekivani promet u nekoj ćeliji i karakteristike tog prometa te njegove varijacije tijekom dana može se odrediti potreban kapacitet ćelije, bilo ukupni ili dio kapaciteta koji se koristi za određenu vrstu usluga. Korištenjem Erlangove B formule čija je osnovna svrha određivanje broja poslužitelja za poznati ponuđeni promet A_p i uz definiranu razinu usluge pb može se odrediti potreban broj poslužitelja.

Analiza potrebnog broja poslužitelja za sva tri scenarija slijedi u nastavku rada. Uz definiranu razinu usluge broj potrebnih poslužitelja prikazan je u tablici 6.1.

Tablica 6.1. Broj zahtijevanih poslužitelja

Promet u GPS-u	Vjerojatnost blokiranja	Broj poslužitelja (kanala)
18,510	0,010	28
18,510	0,020	27
20,740	0,010	31
20,740	0,020	29
18,680	0,010	29
18,680	0,020	27

Broj potrebnih kanala ovisi o dozvoljenoj vjerojatnosti blokiranja i ulaznom prometu. Iz tablice 6.1. je vidljivo kako veći promet zahtjeva i veći broj kanala, uz istu vjerojatnost blokiranja. Kako promet nije raspoređen ujednačeno, već ima oscilacije, moguća su blokiranja, odnosno odbijanja poziva zbog zauzetosti svih kanala, što bi se dogodilo u drugom scenariju ako bi u sustavu bilo svega 31 kanal.



Slika 6.2. Prikaz izračuna za prvi scenarij

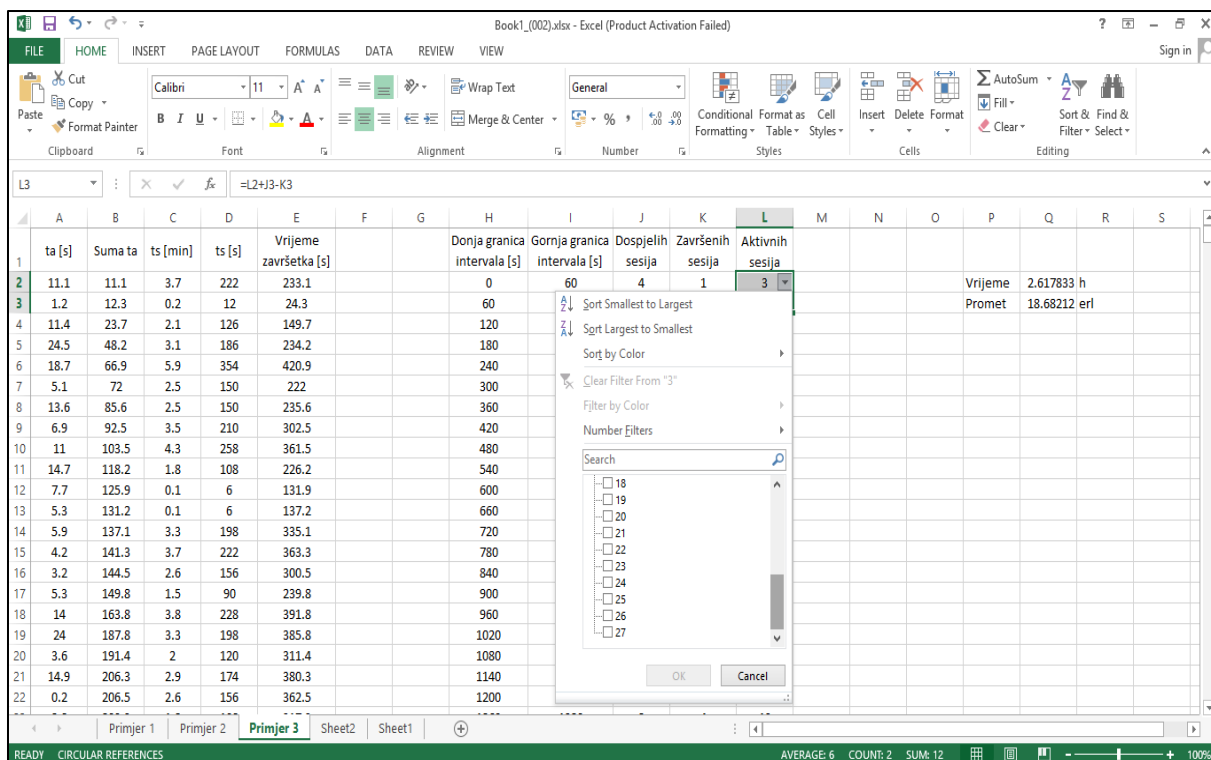
Prvi scenarij (izračun prikazan slikom 6.2.), ima najmanji promet i najmanje standardno odstupanje od prosjeka. Zbog toga niti jednom nije došlo do blokiranja zahtjeva, odnosno niti jednom nije bilo potrebno više kanala.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	ta [s]	Suma ta	ts [min]	ts [s]	Vrijeme završetka [s]			Donja granica intervala [s]	Gornja granica intervala [s]	Dospjelih sesija	Završenih sesija	Aktivnih sesija							
2	12.6	12.6	1.4	84	96.6			0	60	10	2	8				Vrijeme	2.428361 h		
120	9.9	1062.5	2.1	126	1188.5			7080	7140	11	6	33							
121	0.8	1063.3	0.3	18	1081.3			7140	7200	3	4	32							
182	47.7	1544.7	0.2	12	1556.7														
183	4.3	1549	0.6	36	1585														
184	16.1	1565.1	2.1	126	1691.1														
185	7.6	1572.7	1.4	84	1656.7														
186	21.7	1594.4	0.8	48	1642.4														
187	7.8	1602.2	0.6	36	1638.2														
188	10.6	1612.8	1	60	1672.8														
189	26	1638.8	1.8	108	1746.8														
190	7.3	1646.1	1.4	84	1730.1														
191	21.1	1667.2	0.3	18	1685.2														
192	12.2	1679.4	0.5	30	1709.4														
193	13.1	1692.5	0.1	6	1698.5														
194	3.8	1696.3	11.8	708	2404.3														
195	0.7	1697	0.4	24	1721														
196	0.7	1697.7	3	180	1877.7														
197	5.1	1702.8	1.4	84	1786.8														
198	3	1705.8	6.2	372	2077.8														
199	13	1718.8	4	240	1958.8														

Slika 6.3. Dobiveni rezultati nakon izračuna za drugi scenariji

Drugi scenarij (dobiveni rezultati prikazani su na slici 6.3.) ima najveći promet, ali i najveće oscilacije, odnosno standardno odstupanje, što dovodi do preopterećenja pa je u određenim trenucima potrebno više kanala, kako bi sustav u ovom scenariju zadovoljio traženu razinu usluge. Kako je prema Erlangovoj B formuli dobiven broj od 31 kanala, na slici 6.3. je vidljivo kako je potrebno imati 33 kanala, kako bi sustav funkcionirao bez blokiranja.

U trećem slučaju dolazi do „ravnije krivulje“ standardnog odstupanja (5,9 Erl). Sa slike 6.4. je vidljivo kako u ovom scenariju nije došlo do blokiranja zahtjeva.



Slika 6.4. Prikaz izračuna za treći scenarij.

Iz navedenih scenarija može se zaključiti kako uz ulazni promet, veliku ulogu u smanjenju blokiranja, odnosno odbijanja zahtjeva ima standardno odstupanje od prosjeka.

U telekomunikacijskoj mreži može biti veliki promet, pa dolazi do većeg broja odbijanja poziva ili mali promet, pa dolazi do nepotpunog iskorištavanja telekomunikacijske mreže. Optimalno iskorištavanje mreže dobiva se uvođenjem dodatnih resursa, odnosno povećanjem broja poslužitelja (kanala) ili pokušajem smanjivanja prometa u glavnom prometnom satu.

6.2.2 Određivanje kapaciteta

Nakon određivanja potrebnih broja kanala, potrebno je izračunati potreban kapacitet sustava za prijenos govora u 3G mobilnim mrežama ako je poznato da se govor prijenosi brzinom 6,4 kbit/s u *uplinku* i *downlinku*³. Svi izračuni su rađeni prema prethodno navedenim podacima za kapacitet i broj kanala izračunat erlangovim B kalkulatorom. Formula za izračun kapaciteta prikazana je izrazom (4):

³ U 3G mreži, brzina prijenosa govora je između 4 kbit/s i 25 kbit/s, [23].

$$c_{uk} = m \cdot c_i \quad (4)$$

U prvom primjeru izračunato je kako za traženu razinu usluge je potrebno osigurati 28 kanala. Uvrštavanjem u izraz (4), izračunat je ukupan kapacitet za slučaj jedan, koji je prikazan izrazom (5).

$$c_{uk} = m \cdot c_i = 28 \cdot 12,8 = 358,4 \text{ kbit/s} \quad (5)$$

U drugom primjeru izračunato je kako za traženu razinu usluge je potrebno osigurati 31 kanal. Uvrštavanjem u izraz (4), izračunat je ukupan kapacitet za drugi slučaj, koji je prikazan izrazom (6).

$$c_{uk} = m \cdot c_i = 31 \cdot 12,8 = 396,8 \text{ kbit/s} \quad (6)$$

U trećem primjeru izračunato je kako za traženu razinu usluge je potrebno osigurati 28 kanala. Uvrštavanjem u izraz (4), izračunat je ukupan kapacitet za treći slučaj, koji je prikazan izrazom (7).

$$c_{uk} = m \cdot c_i = 29 \cdot 12,8 = 371,2 \text{ kbit/s} \quad (7)$$

Iz navedenih izraza (5-7), vidljivo je kako je za navedene slučaje potrebno osigurati ukupan kapacitet od 358,4 kbit/s do 396,8 kbit/s.

7 ZAKLJUČAK

Za glasovnu komunikaciju korisnika najčešće se koristi mobilna telekomunikacijska mreža. Najčešće generacije mobilnih mreža u Hrvatskoj su 2G i 3G, ali 4G mobilnu mrežu počinje koristiti sve veći broj korisnika. Zbog optimalnog dimenzioniranja mobilne mreže u cijelosti i pojedinih njenih dijelova, potrebno je poznavati veličinu prometa i definirati zahtijevanu razinu kvalitete usluge.

U 3G tehnologiji, mobilne mreže su određene kao više uslužne mreže da bi omogućile terminalnim mobilnim uređajima upotrebu više aplikacija odjednom baziranih na komunikacijskim uslugama. Izvršavanje više funkcija odjednom zahtjeva da se informacijski tokovi slažu u logičke kanale, te se oni mapiraju i multipleksiraju u transportne kanale, te s oni potom mapiraju u fizičke. Takva evolucija mobilne arhitekture iz 2G u 3G ima za posljedicu efikasnije i fleksibilnije korištenje frekvencijskog spektra.

U završnom radu je obrađena analiza vjerojatnosti blokiranja poziva i prikazan je primjer korištenja Erlangove B formule, kojom se izračunava vjerojatnost blokiranja. Erlang B formula se dobiva iz Erlangove distribucije, a osnovna primjena je u projektiranju telefonskih mreža.

Za određivanje vjerojatnosti blokiranja poziva korištenjem Erlangove B formule mogu se koristiti razni softverski alati poput kalkulatora, koji su dostupni online. Jedan od alata je korišten i primjerima prikazanim u radu.

U ovom završnom radu napravljena su tri scenarija dolazaka poziva i njihovog trajanja u svrhu prikaza planiranja kapaciteta ćelije. U sva tri scenarija generiran je isti broj poziva čija se međudolazna vremena i vremena posluživanja opisuju eksponencijalnom razdiobom a trajanja poziva imaju približno istu prosječnu vrijednost. S obzirom na to da su ovako generirani pozivi dali približno jednaku veličinu prometa to je uz uvjet prihvatljiva razina odbijanja poziva je 1%, broj potrebnih kanala također približno isti (28 do 31).

Ovako određen broj kanala može se koristiti za utvrđivanje potrebnog kapaciteta u ćeliji za govorni promet uz definiranu brzinu prijenosa govora u mobilnoj mreži što je i učinjeno u poglavlju 6.

LITERATURA

- [1] Introduction into Mobile Core Network, URL:
<http://www.slideshare.net/yusufd/introduction-to-mobile-core-network-17667704>
(pristupljeno: rujan, 2014.)
- [2] Mrvelj, Š.: Nastavni materijali iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa, URL: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologijatelekomunikacijskogprometa/VjezbeMaterijali/1i_2_vjezbe.pdf (pristupljeno: rujan, 2014.)
- [3] Informacije i komunikacije, URL: <http://www.inet.hr/~vklapac/INIK9.pdf> (pristupljeno: rujan, 2014.)
- [4] Ericsson revija, URL: http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_12010/04.pdf
(pristupljeno: rujan, 2014.)
- [5] URL: <https://embeddedsmartlife.files.wordpress.com/2011/01/gsm-logical-channel-heirarchy2.jpg> (pristup: lipanj, 2016.)
- [6] GSM Radio Aspects, URL: <http://www.angelfire.com/mac/adityar/standards.html>
(pristup: lipanj, 2016.)
- [7] What is an Erlang, URL: http://www.radio-electronics.com/info/telecommunications_networks/erlang/what-is-erlang-telecommunications-unit-tutorial.php (pristup: lipanj, 2016.)
- [8] Bošnjak, I.: *Telekomunikacijski promet I*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
- [9] Slučajne varijable, URL: <http://marjan.fesb.hr/~borka/files/pm-pr6.pdf> (pristup: lipanj, 2016.)
- [10] Primjeri diskretnih slučajnih varijabli, URL:
<http://www.grad.hr/vera/webnastava/vjerojatnostistatistika/html/VISch6.html> (pristup: lipanj, 2016.)
- [11] URL: <https://www.umass.edu/wsp/images/poisson3.gif> (pristup: lipanj, 2016.)
- [12] Teorija repova/redova, URL: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/O/Osnove_prometnog_inzenjerstva/Materijali/OPI_PREDAVA_NJE_2012.pdf (pristup: lipanj, 2016.)
- [13] Eksponecijalna razdioba, URL:
https://helpdesk.uniri.hr/system/resources/docs/000/007/419/original/vis_2015_zadaci_66_do_72.doc (pristup: lipanj, 2016.)

- [14] Single Processor Scheduling Algorithms, URL: <http://web.cse.ohio-state.edu/~agrawal/660/Slides/jan18.pdf> (pristup: lipanj, 2016.)
- [15] Poisson Distribution Calculator, URL: <http://stattrek.com/online-calculator/poisson.aspx#TopPage> (pristup: rujana, 2014.)
- [16] Komutacija i upravljanje u telekomunikacijskoj mreži, URL: www.moodle.oss.unist.hr/mod/resource/view.php?id=4006 (pristupljeno: rujana, 2014.)
- [17] Wang J., Zeng, Q-A., Agrawal, D.P.: *Performance Analysis of Preemptive and Priority Reservation Handoff Scheme for Integrated Service-Based Wireless Mobile Networks*, IEEE Transactions on Mobile Computing, svezak 2(1), sij. – ožu. 2003., str. 65.-75.
- [18] Wang, H., Xu, F., Li, Y., Zhang, P., Jin, D.: *Understanding Mobile Traffic Patterns of Large Scale Cellular Towers in Urban Environment*, ICM'15, 28. – 30. list. 2015., Tokyo, str. 225.-238.
- [19] Introduction to Cellular Communications, URL: <http://www.gsmfavorites.com/documents/introduction/gsm/> (pristup: lipanj, 2016.)
- [20] Peuhkuri, M.: *IP Quality of Service*, URL: <https://www.netlab.tkk.fi/~puhuri/htyo/Tik-110.551/iwork/iwork.html> (pristup: lipanj, 2016.)
- [21] Bagad, V.S.: *Telecommunication Switching Systems and Networks*, First Edition, Technical Publications Pune, Pune, 2009.
- [22] Grade of Service and Blocking Probability, URL: <http://telecommunication9.blogspot.hr/2009/02/submarine-communications-cable-2.html> (pristup: lipanj, 2016.)
- [23] Korhonen, J.: *Introduction to 3G Mobile Communications (second edition)*, Artech House, Norwood, 2003.

POPIS KRATICA

AUC - Authentication Centre
BCCH - Broadcast Control Channel
BCH - Broadcast Channel
BSC - Base station Controller
BTS - Base Transceiver Station
CCCH - The Common Control Channel
DCCH - Dedicated Control Channel
DL-SCH - Downlink Shared Channel
DRX - Discontinuous Reception
EIR - Equipment Identity Register
Erl - Erlang
FCFS - First Come First Serve
FDMA - Frequency Division Multiple Access
FIFO - First In First Out
GGNS - Gateway GPRS Service Node
GoS- Grade of Service
HLR - Home Location Register
IMEI - International Mobile Subscriber Equipment
IMSI - International Mobile Subscriber Identification
ITU - International Telecommunication Union
MCH - Multicast Channel
MS - Mobile Station
MSC - Mobile Services Switching Center
QoS-a - Quality of Service
OMC - Operation Maintenance Centre
PBCH - Physical Broadcast Channel
PCFICH - Physical Control Format Indicator Channel
PCH - Paging Channel
PDCCH - Physical Downlink Control Channel
PDSCH - Physical Downlink Shared Channel
PHICH - Physical Hybrid ARQ Indicator Channel
PMCH - Physical Multicast Channel

PRACH - Physical Random Access Channel
P-SCH - Primary Synchronization Signals
PSTN - Public Switched Telephone Network
PUCCH - Physical Uplink Control Channel
PUSCH - Physical Uplink Shared Channel
RACH - Random Access Channel
RNC - Radio Network Controller
RS - Reference Signals
SGSN - Support GPRS Service Node
SIM - Subscriber Identity Module
S-SCH - Secondary Synchronization Signals
SRS - Sounding Reference Signal
TDMA - Time Division Multiple Access
UL-SCH - Uplink Shared Channel
VLR - Visitor Location Register

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Arhitektura 2G i 3G mobilne mreže	3
Slika 3.1. Blok shema raspodjele 32 kanala nekog BTS-a.....	8
Slika 3.2. Prikaz TDMA okvira	8
Slika 3.3. Prikaz višestrukog okvira od 26 TDMA	9
Slika 3.4. Shematski prikaz podjele logičkih kanala.....	11
Slika 4.1. Prikaz prometne jedinice Erlang	13
Slika 4.2. Poissonova distribucija	16
Slika 4.3. Eksponencijalna razdioba	17
Slika 4.4. Prikaz FCFS posluživanja.....	18
Slika 4.5. Prikaz uvođenja novih linija	19
Slika 5.1. Podjela kapaciteta u ćeliji.....	23
Slika 5.2. UML dijagram aktivnosti za opis procedure prihvatanja ili odbijanja poziva/sesije	24
Slika 5.3. Varijacije prometa na različitim vremenskim skala u ćeliji prometne mreže.....	25
Slika 5.4. Utjecaj područja koje pokriva ćelija na varijacije i veličinu prometa.....	26
Slika 5.5. Broj zauzetih kanala – scenarij 1	28
Slika 5.6. Broj zauzetih kanala – scenarij 2	29
Slika 5.7. Broj zauzetih kanala – scenarij 3	31
Slika 5.8. Usporedni prikaz broja zauzetih kanala za sva tri scenarija	32
Slika 6.1. Pokrivanje područja velikim i malim ćelijama	33
Slika 6.2. Prikaz izračuna za prvi scenarij.....	36
Slika 6.3. Dobiveni rezultati nakon izračuna za drugi scenariji.....	37
Slika 6.4. Prikaz izračuna za treći scenarij.....	38

POPIS TABLICA

Tablica 5.1. Slučajne vrijednosti međudolaznog vremena i vremena posluživanja (3 scenarija).....	27
Tablica 5.2. Promjena vjerojatnosti blokiranja ovisna o broju poslužitelja – scenarij 1.....	28
Tablica 5.3. Promjena vjerojatnosti blokiranja ovisna o broju poslužitelja – scenarij 2.....	30
Tablica 5.4. Promjena vjerojatnosti blokiranja ovisna o broju poslužitelja – scenarij 3.....	31
Tablica 6.1. Broj zahtijevanih poslužitelja.....	36

METAPODACI

Naslov rada: Analiza vjerojatnosti blokiranja poziva u ćeliji mobilne mreže

Student: Mario Pendelin

Mentor: izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Analysis of Voice Traffic Blocking Probability in Mobile Network

Povjerenstvo za obranu:

- doc. dr. sc. Niko Jelušić, predsjednik
- izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj, mentor
- dr. sc. Marko Matulin, član
- prof. dr. sc. Zvonko Kavran, zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Zavod za informacijsko komunikacijski promet

Vrsta studija: Preddiplomski

Studij: Promet

Datum obrane završnog rada: 5. srpnja, 2016.

Napomena: pod datum obrane završnog rada navodi se prvi definirani datum roka obrane.



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 Analiza vjerojatnosti blokiranja poziva u ćeliji mobilne mreže

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

Student/ica:

U Zagrebu, 29.6.2016

(potpis)