

# Primjena višedimenzionalne Erlangove B formule za izračun kapaciteta ćelije mobilne mreže

---

Jurić, Matija

Master's thesis / Diplomski 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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:632532>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Matija Jurić

PRIMJENA VIŠEDIMENZIONALNE ERLANGOVE B  
FORMULE ZA IZRAČUN KAPACITETA ĆELIJE MOBILNE  
MREŽE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 6. veljače 2020.

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

**DIPLOMSKI ZADATAK br. 5037**

Pristupnik: **Matija Jurić (0135221443)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Primjena višedimenzionalne Erlangove B formule za izračun kapaciteta ćelije mobilne mreže**

Opis zadatka:

Prikazati značajke modela za određivanje vjerojatnosti blokiranja poziva u ćeliji koja je ključna pri dodjeli kanala pojedinoj klasi poziva kako bi se moglo lakše upravljati kapacitetom u ćelijskoj mreži. Generirati proizvoljne vrijednosti vremena trajanja poziva i odrediti razinu kvalitete usluga na području ćelije koja ima određen broj kanala. Za dobivene vrijednosti ponuđenog prometa, izračunati vjerojatnosti blokiranja poziva kreiranjem računalne aplikacije koja će izvoditi postupak izračunavanja vjerojatnosti blokiranja za određeni broj kanala, kada se koristi višedimenzionalna Erlangova B formula.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



---

doc. dr. sc. Marko Matulin

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

PRIMJENA VIŠEDIMENZIONALNE ERLANGOVE B  
FORMULE ZA IZRAČUN KAPACITETA ĆELIJE MOBILNE  
MREŽE

UTILIZING ERLANG B MULTIDIMENSIONAL FORMULA FOR  
DETERMINING CAPACITY OF MOBILE NETWORK CELL

Mentor: doc. dr. sc. Marko Matulin

Student: Matija Jurić  
JMBAG: 0135221443

Zagreb, veljača 2020.

## Sažetak

U ovom radu prikazana je primjena višedimenzionalne Erlangove-B formule koja je ključna pri dodjeli kanala pojedinoj klasi poziva, kako bi se lakše moglo upravljati kapacitetima u ćelijskoj mreži. Proces planiranja ćelija postaje ključna komponenta pri planiranju kapaciteta i pokrivenosti ćelije. Jedan od ciljeva rada bio je napraviti računalnu aplikaciju koja računa vjerojatnosti blokiranja pojedine klase poziva, a da bi taj izračun bio moguć bilo je potrebno generirati vrijednosti vremena trajanja poziva. Također, u radu je prikazan i opisan rad računalne aplikacije kao i rezultati provedene analize.

Ključne riječi: višedimenzionalna Erlangova-B formula, vjerojatnost blokiranja, proces planiranja ćelija, računalna aplikacija

## Summary

This paper presents the application of the multidimensional Erlang-B formula, which is crucial in assigning channels to a particular class of call, so that capacity in the cellular network can be more easily managed. The cell planning process becomes a key component in capacity planning and cell coverage. One of the goals of the paper was to create a computer application that calculates the probabilities of blocking a particular class of call, and for this calculation to be possible it was necessary to generate values for the duration of the call. Also, the paper presents and describes the work of a computer application as well as the results of the analysis.

Key words: multidimensional Erlang-B formula, probability of blocking, cell planning process, computer application

## Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Arhitektura mobilne mreže .....	3
2.1. Komunikacijske procedure u GSM mreži .....	5
2.2. Primjer <i>Handovera</i> .....	8
3. Erlangova B višedimenzionalna formula .....	10
3.1. Višedimenzionalni Erlang-B model.....	12
3.2. Planiranje mobilne mreže.....	14
4. Proračun potrebnog kapaciteta ćelije .....	17
4.1. Izračun vjerojatnosti $Q(0)$ .....	19
4.2. Izračun vjerojatnosti blokiranja $P_v$ i $P_h$ .....	21
4.3. Izračun prosječnog iskorištenja kanala .....	21
5. Izrada računalne aplikacije za proračun kapaciteta .....	23
5.1. Opis programa .....	23
5.2. Tablica vjerojatnosti gubitaka IA i HO .....	24
5.3. Raspodjela kanala.....	25
6. Prikaz rezultata proračuna kapaciteta.....	27
7. Zaključak .....	35
Literatura .....	36
Popis slika .....	37
Popis tablica .....	38
Popis grafikona.....	39
Popis kratica .....	40

## 1. Uvod

U današnje vrijeme razvoj telekomunikacijskih usluga važan je segment razvoja svake zemlje, gdje povećanjem broja usluga dolazi do povećanja broja korisnika telefonskih usluga u pokretnoj (mobilnoj) mreži. Kako bi kvaliteta usluge bila zadovoljavajuća, potrebno je planirati mobilnu mrežu kako bi se osigurao dovoljan kapacitet u trenutku najvećeg intenziteta prometa. Postupci planiranja trebaju se temeljiti na očekivanom broju korisnika i očekivanom generiranom prometu na području ćelije za vrijeme glavnog prometnog sata, sve u cilju određivanja optimalnog kapaciteta i postizanja manjih gubitaka u vidu odbijenih poziva. U sklopu ovog diplomskog rada izrađena je računalna aplikacija koja izvodi postupak kompleksnog izračunavanja vjerojatnosti blokiranja za određeni broj kanala, kada se koristi višedimenzionalna Erlangova B formula.

Cilj ovog rada je primjena višedimenzionalne Erlangove B formule za izračun kapaciteta ćelije mobilne mreže.

Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Arhitektura mobilne mreže
3. Erlangova B višedimenzionalna formula
4. Proračun potrebnog kapaciteta ćelije
5. Izrada računalne aplikacije za proračun kapaciteta
6. Prikaz rezultata proračuna kapaciteta
7. Zaključak.

U drugom poglavlju opisani su elementi arhitekture mobilne mreže kao i komunikacijske procedure u mreži, te je opisan primjer preuzimanja poziva (*handovera*) u mreži.

U trećem poglavlju opisana je višedimenzionalna Erlangove B formula gubitaka, prikazan je pseudokod algoritma za dodjelu kapaciteta pojedine klase poziva. Navedene su pretpostavke višedimenzionalnog Erlangova B prometnog modela, te je objašnjen proces planiranja ćelija.

U četvrtom poglavlju su generirane vrijednosti vremena posluživanja (trajanje poziva), te je prikazan izračun mjerila izvedbe sustava.

Peto poglavlje pojašnjava korisničko sučelje računalne aplikacije i korisne funkcionalnosti koje pruža.

U šestom poglavlju su prikazani dobiveni rezultati računalne aplikacije, kao i uvid u tablice  $P_v$  i  $P_h$  s pomoću kojih je provedena računica odbijenih poziva u ćeliji.

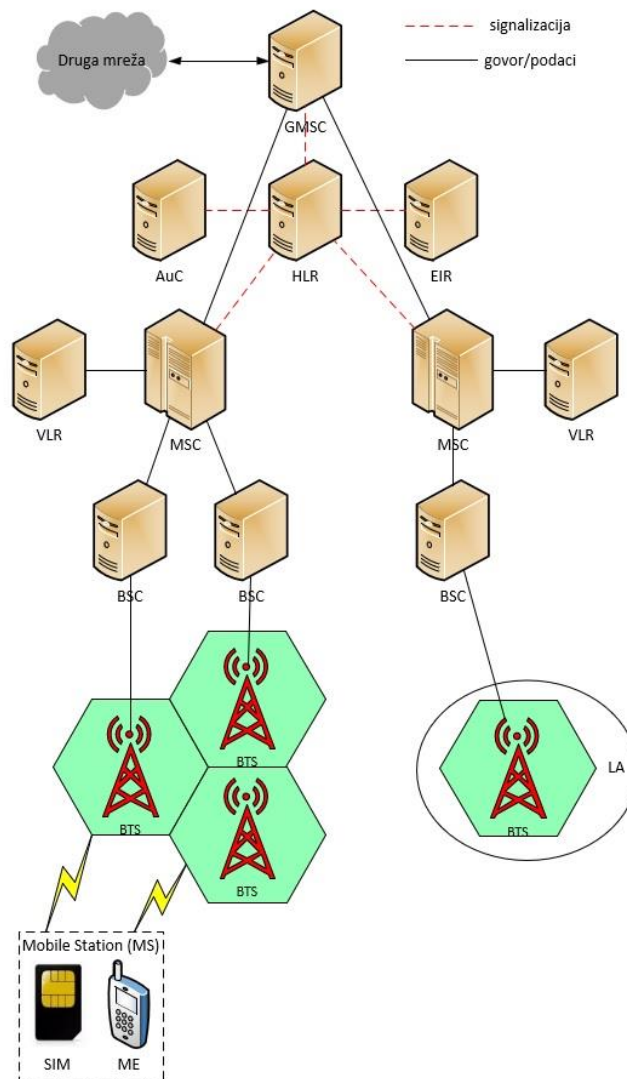
Također je prikazan rezultat određivanja raspodjele kanala u ćeliji za zadane vrijednosti ponuđenog prometa i vjerojatnosti blokiranja pojedine klase poziva.

Konačno, u zaključku su navedene najvažnije značajke ovog rada.



## 2. Arhitektura mobilne mreže

GSM (eng. *Global Systems for Mobile Communications*) mreža, kao što je vidljivo sa slike 1 sadrži prilazni pokretni komutacijski sustav GMSC (eng. *Gateway Mobile Service Centre*) preko kojeg se povezuje s drugim mrežama i preko kojeg se pristupa GSM mreži, te pokretne komutacijske centre MSC (eng. *Mobile Switching Centre*). Oni povezuju GMSC i sustave baznih postaja BSS (eng. *Base Station System*). BSS se sastoji od dva dijela, kontrolnog, BSC (eng. *Base Station Controller*) i primopredajnog, BTS (eng. *Base Transceiver Station*). Jedan BSC upravlja s više BTS-ova koji sadrže antenske sustave, a područje pokrivanja radijskim signalom jednog BTS-a naziva se ćelija. Skup ćelija koje pripadaju jednom MSC-u naziva se lokacijsko područje LA (eng. *Location Area*). Korisnički terminalni uređaj naziva se općenito pokretnom postajom MS (eng. *Mobile Station*), [1].



Slika 1. Arhitektura GSM mreže, [1]

Upravljanje pokretljivošću zasniva se na dvama lokacijskim registrima, odnosno lokacijskim bazama podataka. Domaći lokacijski registar HLR (*eng. Home Location Register*) sadrži sve podatke o vlastitim (domaćim) pretplatnicima i uslugama koje oni koriste, te o njihovoj trenutnoj lokaciji. Svaka GSM mreža ima svoj HLR s trajnim zapisom pretplatničkih podataka i zapisom trenutne lokacije pretplatnika ako je ista poznata.

Gostujući lokacijski registar ili lokacijski registar posjetitelja VLR (*eng. Visitor Location Register*) 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, a HLR-ovima drugih mreža za njihove pretplatnike koji su prešli u lokacijsko područje koje kontrolira dotični MSC, odnosno VLR.

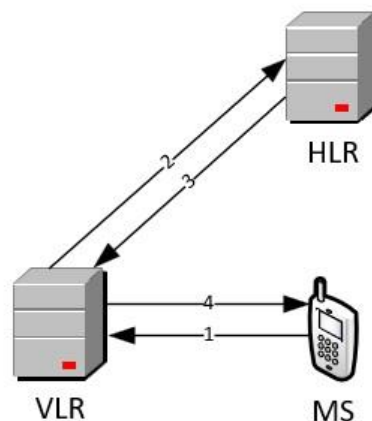
Lokacijske baze podataka trebaju biti izvedene na načelu tolerancije kvarova kako bi se omogućio potpuni i brzi oporavak nakon kvara. Prekoračenje kapaciteta baze podataka korisnika posjetitelja (*eng. VLR overflow*) očituje se kao nemogućnost registriranja novih korisnika. Ono se može riješiti posebnim postupcima odabira i brisanja postojećih VLR zapisa neaktivnih korisnika.

Centar za provjeru autentičnosti AUC (*eng. Authentication Centre*) sadrži autentifikacijski ključ kojim se provjerava autentičnost pretplatnika pri svakom pozivu. Registar identifikacijske opreme EIR (*eng. Equipment Identification Register*) sadrži serijski broj pokretne postaje kojim se može provjeriti je li ista u vlasništvu pretplatnika. EIR je dodatna mogućnost GSM-a, tako da se provjera ne mora obavezno provoditi. Prigodom zasnivanja pretplatničkog odnosa, u HLR se zapisuju međunarodna identifikacija pokretnog pretplatnika IMSI (*eng. International Mobile Subscriber Identification*), pozivni broj pokretne postaje MSISDN (*eng. Mobile Station ISDN*), autentifikacijski ključ Ki (*eng. Authentication Key*) te popis usluga i mogućnosti kojim raspolaže pretplatnik, tj. njegov uslužni profil. IMSI jednoznačno određuje GSM mrežu i pretplatnika, a koristi se za systemske operacije u mreži i između različitih GSM mreža. MSISDN je pretplatnikov pozivni broj, Ki je jednoznačni autentifikacijski ključ zapisan u MS, HLR i AUC koji omogućuje provjeru pretplatnika prije početka poziva. Ako se ključevi ne podudaraju, poziv se odbacuje. U pokretnu postaju umeće se modul pretplatničkog identiteta SIM (*eng. Subscriber Identity Module*) koji sadrži IMSI i Ki. MS je zaštićen osobnim identifikacijskim brojem PIN (*eng. Personal Identification Number*) kojim se uključuje, [1].

## 2.1. Komunikacijske procedure u GSM mreži

Kod sustava 2. generacije važnu ulogu imaju lokacijske baze podataka, HLR i VLR. Trenutna lokacija korisnika, odnosno adresa VLR područja koju je korisnik posjetio zapisuje se u HLR-u, dok se u VLR prebacuju pretplatnički podaci o korisniku iz HLR-a. Mreža nadzire uključivanje (*eng. Attachment*) i isključivanje (*eng. Detachment*) MS-a tako da prati njegovo stanje. Kada se MS uključi, detektira se u kojoj je ćeliji uključen, provjerava se autentičnost i identitet opreme, a nakon toga u VLR se zapisuje njegova lokacijska informacija koju VLR šalje pretplatnikovom matičnom HLR-u. Na ovaj način mreža se unaprijed priprema za pozive jer će unaprijed znati odakle može krenuti odlazni ili završiti dolazni poziv.

Registracija MS-a obavlja se periodički u vremenu ili kod promjene lokacije, te se na taj način omogućava uvijek točna lokacijska informacija koja se zapisuje u HLR i VLR. Kod promjene lokacije, lokacijska informacija se briše u dotadašnjem VLR-u te se upisuje novi VLR. Ako se MS isključi, gubi se njegova lokacijska informacija i MS prestaje biti dostupan. Prigodom svake prve registracije i svake promjene lokacije mora se provesti registracijska procedura između MS-a, VLR-a i HLR-a (slika 2), [1].



Slika 2. Registracija u vlastitoj mreži, [1]

Registracija u vlastitoj mreži sadrži sljedeću organizaciju, kako je prikazano slikom 2 unutar domaće mreže:

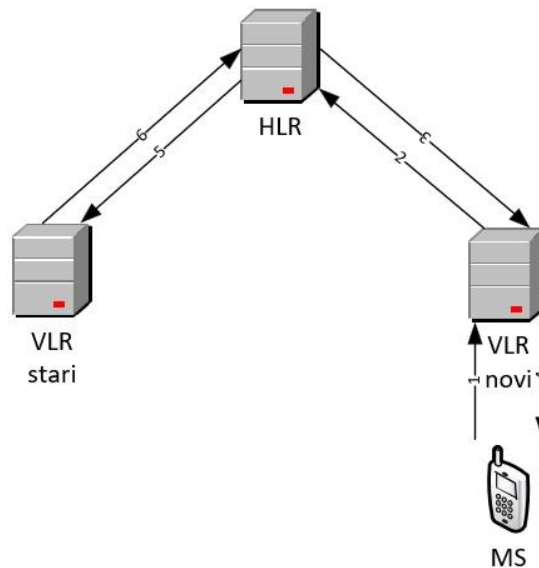
1. Zahtjev za registracijom
2. Registracijska poruka
3. Pretplatnički podaci
4. Uspješna registracija.

Kod promjene lokacije u vlastitoj mreži signalizacijska procedura sastoji se od više koraka koji su navedeni u nastavku i prikazani slikom 3. Procedura promjene lokacije u vlastitoj mreži:

1. Zahtjev za registracijom

2. Registracijska poruka
3. Pretplatnički podaci
4. Uspješna registracija
5. Deregistracijska poruka
6. Potvrda deregistracije.

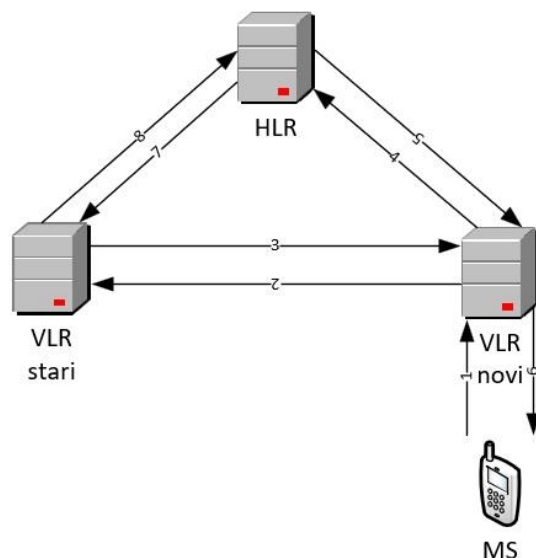
Ovakav način registracije omogućava MS-u da prilikom promjene lokacije ne mora znati adresu VLR-a kod kojeg je prethodno bio registriran jer se sva signalizacija obavlja unutar domaće mreže, [1].



Slika 3. Registracija (nepoznati stari VLR), [1]

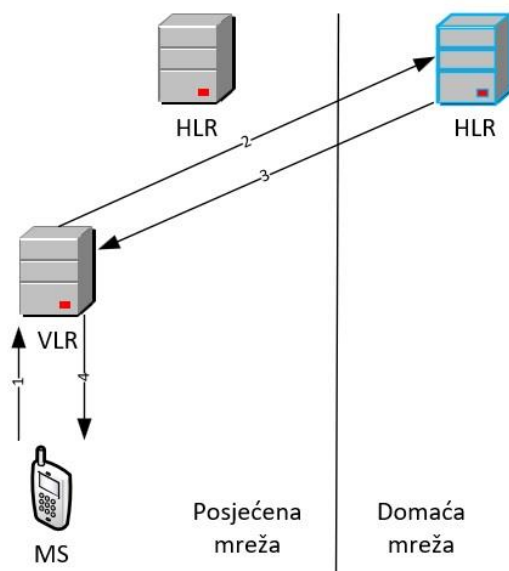
Drugi način registracije moguć je kad MS zna adresu VLR-a kod kojeg je bio prethodno registriran (slika 4). Signalizacija je sljedeća:

1. Zahtjev za registracijom
2. Zahtjev za HLR adresom
3. HLR adresa
4. Registracijska poruka
5. Pretplatnički podaci
6. Uspješna registracija
7. Deregistracijska poruka
8. Potvrda deregistracije.



Slika 4. Registracija (poznati stari VLR), [1]

Kada je MS registriran može ostvariti komunikaciju u drugim mrežama s kojima je operator njegove mreže sklopio ugovor o prelaženju (eng. *Roaming*). Registracija u posjećenoj mreži je složenija, jer izaziva signalizaciju između VLR-a posjećene mreže i HLR-a domaće mreže (slika 5). Svaka promjena lokacije u posjećenoj mreži izaziva signalizaciju između novog VLR-a i starog VLR-a u posjećenoj mreži s HLR-om u domaćoj mreži, [1].



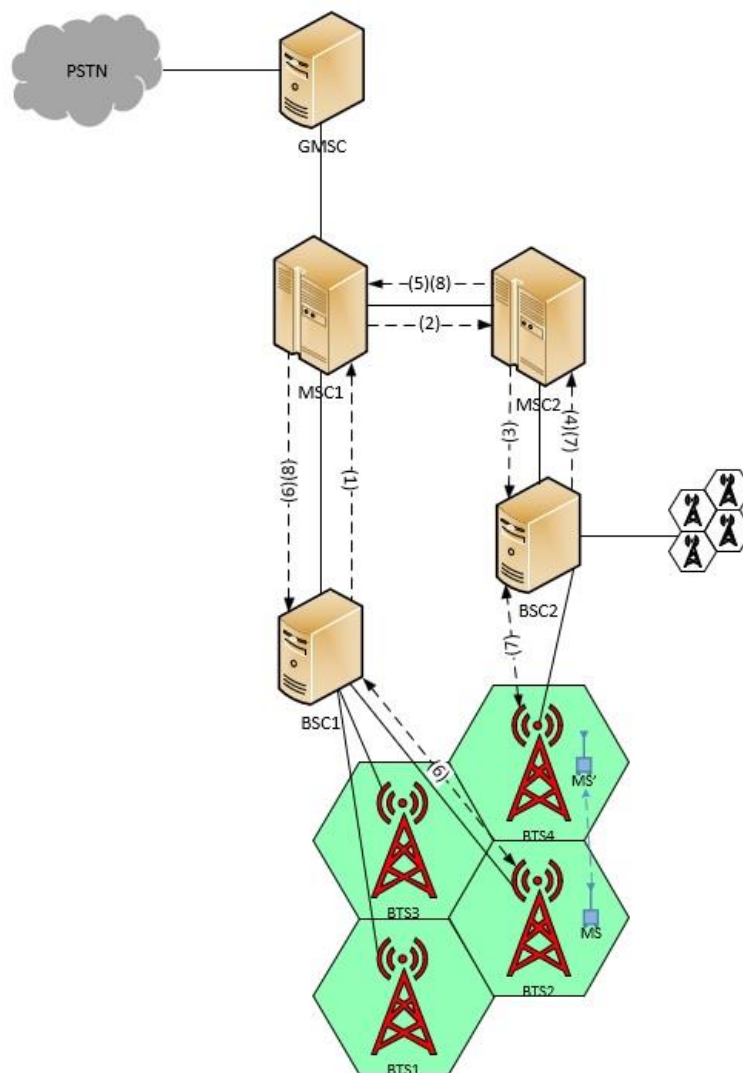
Slika 5. Registracija u posjećenoj mreži s ugovorom o prelaženju, [1]

Na temelju procjene kvalitete odnosa signal/šum (S/N) može se pojaviti potreba za prebacivanjem iz jedne ćelije u drugu, a to se provodi postupkom lociranja (eng. *Locating*). Te dvije ćelije mogu biti unutar istog lokacijskog područja, iste mreže ili različitih mreža. Postoji situacija kada je neko područje pokriveno s više GSM

mreža, a na MS-u je da odabere onaj s najkvalitetnijim signalom, ako se korisnik ručno ne podesi mrežu. Stoga će na zadovoljstvo gostujućih korisnika biti vrlo važna tehnička rješenja sustava baznih postaja, kao npr. prebacivanje poziva (*handover*) kada se svaki započeti poziv mora nastaviti prilikom promjene ćelije, [1].

## 2.2. Primjer *handovera*

*Handover* se odnosi na proces prebacivanja poziva u tijeku ili prenošenje poziva sa jednog kanala u mobilnoj mreži na drugi kanal. Korištenjem primjera iz [2] (slika 6) vidi se mobilni uređaj koji se nalazi u ćeliji BTS2 i kreće se prema BTS4. Ćelija BTS2 je pod nadležnosti BSC1 pod MSC1, dok je ćelija BTS4 pod nadležnosti BSC2 pod MSC2. Pretpostavlja se da je originalna veza uspostavljena između korisnika fiksne mreže preko GMSC, MSC1, BSC1 i BTS2 i mobilnog telefona.



Slika 6. Prikaz *Handovera* u mreži, [2]

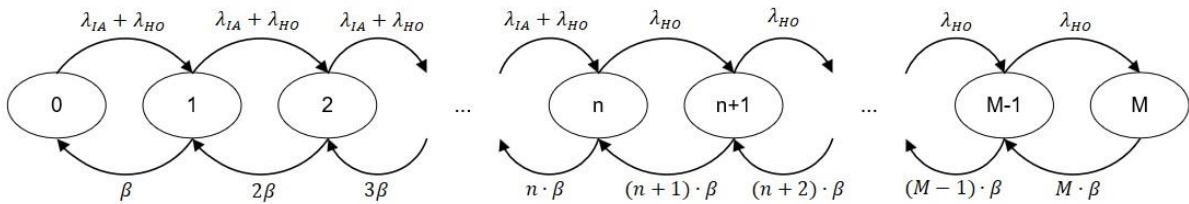
Locirajuća funkcija u BSC1 je uvidjela potrebu mobilnog telefona za prespajanjem, s obzirom na kvalitetu signala koju je prijavila BSC1 bazna stanica. Mobilni telefon je sam također prijavio kvalitete signala iz baznih stanica u blizini ćelije BTS2, uključujući bazne stanice u ćelijama upravljanih od strane drugih MSC-a i BSC-a. Analizirajući sve te podatke BSC1 je u mogućnosti identificirati određeni broj ćelija (uobičajeno najboljih 6) koje pružaju prihvatljivu kvalitetu signala, uključujući BTS4. BSC1 nije odgovoran za nijednu od susjednih ćelija, [2]. Proces preuzimanja poziva sastoji se od sljedećih koraka:

1. BSC1 informira svoj MSC da mobilni telefon treba *handover*. Također predlaže ćelije koje su pogodne za *handover* i daje prioritet ćeliji BTS4.
2. Nakon analize situacije, MSC1 šalje signal MSC2 tražeći *handover* na ćeliju BTS4. MSC1 također šalje podatke o korisniku koje su pohranjene u njegovoj bazi podataka (VLR).
3. MSC2 naređuje BSC2 da dodjeli slobodan kanal mobilnom telefonu.
4. BSC2 dodjeljuje slobodan kanal.
5. MSC2 pokazuje kanal u BTS4 na koji bi mobilni telefon trebao biti spojen. Nakon toga MSC1 i MSC2 rezerviraju novi put za spajanje preko njihovih "prekidača".
6. MSC1 naređuje BSC1 da provjeri je li mobilni telefon spojen na novi kanal u BTS4 nakon toga BSC1 naređuje mobilnom telefonu da promjeni kanal.
7. Nakon što mobilni telefon promjeni kanal mora potvrditi tu naredbu. Potvrda je primljena na BSC2 i poslana MSC2. Ako potvrda nije primljena do vremena početka korištenja veza se prekida.
8. MSC2 pravi posrednu vezu od MSC1 do BSC2 i prenosi potvrdu do MSC1. MSC1 pravi novu vezu između GMSC i MSC2 preko sebe i odbacuje staru verziju GMSC i BSC1. Tada se naređuje BSC1 da otpusti originalni promet kanala u BTS2, [2].

Koracima od 1 do 8 proces *handovera* završava. Ako je odabrana ćelija ne prihvati *handover*, sljedeća ćelija na listi će biti odabrana.

### 3. Erlangova B višedimenzionalna formula

Bazne stanice su međusobno raspoređene tako da svaka bazna stanica pokriva radio signalom određeni dio teritorija u obliku ćelije, gdje se jednoj ćeliji dodjeljuje ukupno  $M$  kanala ili poslužitelja. Ovisno o količini prometa pojedine vrste poziva i ukupnom kapacitetu ćelije može se odgovoriti na dinamične promjene u samoj ćeliji. Potrebno je odrediti vjerojatnost blokiranja za pojedinu klasu poziva, kada se primjenjuje višedimenzionalna Erlangova B formula. Prema [3], shema fiksnog zaštitnog pojasa (eng. *Fixed guard band - FGB*) je shema prioriteta za prijam poziva. Prioritet se daje *handover* pozivima jer se mogu natjecati za svih  $M$  kanala u ćeliji. Ostalih  $n$  kanala dijele inicijalni i *handover* pozivi. Intenziteti dolazaka  $\lambda_{IA}$  i  $\lambda_{HO}$  se ravnaju po Poissonovim procesu, a vremena posluživanja imaju eksponencijalnu razdiobu s intenzitetom posluživanja  $\beta_{IA}$  i  $\beta_{HO}$ . Stanje  $k$  ( $k = 0, 1, \dots, M$ ) ćelije definirano je kao broj poziva u sustavu. Neka je  $Q(k)$  vjerojatnost da se sustav nađe u stanju  $k$ . Vjerojatnosti  $Q(k)$  mogu se pronaći analizom tipičnog načina rađanja i umiranja procesa jednodimenzionalnog Markovljevog procesa. Dijagram prijelaza među stanjima prikazan je na slici 7.



Slika 7. Jednodimenzionalni ST dijagram, [4]

Svi ovdje prezentirani izrazi za izračun mjerila izvedbe preuzeti su iz [5].

Postavljajući normirajući uvjet  $\sum_{k=0}^M Q(k) = 1$ , vjerojatnost da je sustav prazan,  $Q(0) = p(0,0)$ , može se izračunati na sljedeći način:

$$Q(0) = p(0,0) = \left[ \sum_{i=0}^n \frac{1}{i!} \cdot A_v^i \cdot \sum_{j=0}^{M-i} \frac{1}{j!} \cdot A_h^j \right]^{-1} \quad (1)$$

gdje je:

$A_v$  – promet inicijalnih korisnika

$A_h$  – promet *handover* korisnika

$M$  – ukupan broj poslužitelja/kanala u sustavu (ćeliji)

$n$  – broj kanala dodijeljen inicijalnim korisnicima.



Vjerojatnost da je u sustavu  $k$  kanala od  $M$  kanala zauzeto, može se izraziti na sljedeći način:

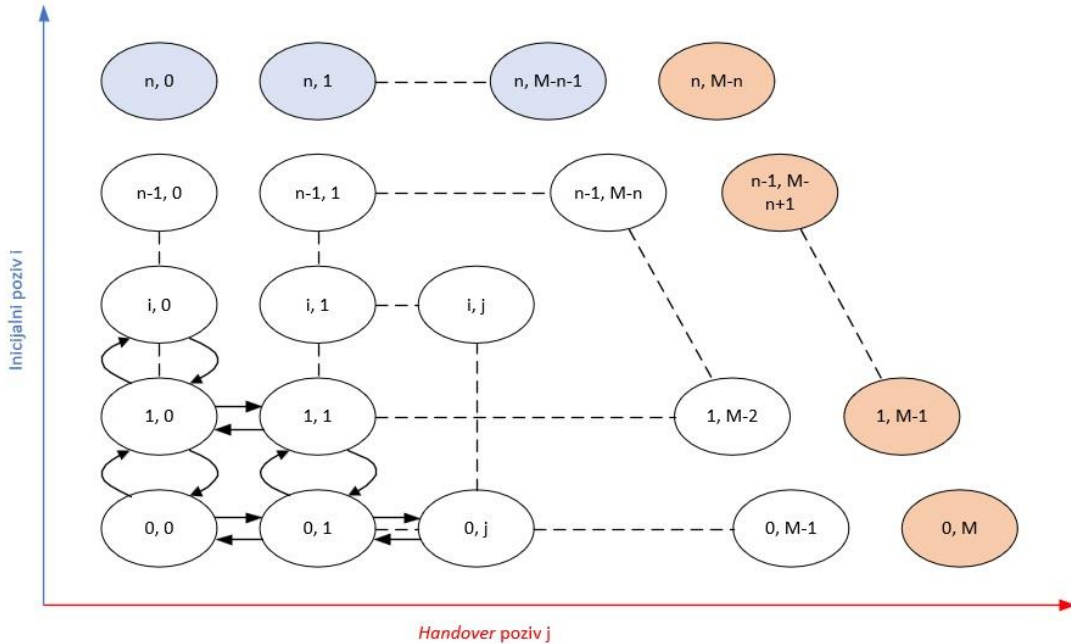
$$Q(k) = \begin{cases} Q(0) \cdot \sum_{i=0}^k \frac{1}{i!} \cdot A_v^i \cdot \frac{1}{(k-i)!} \cdot A_h^{k-i}, & 0 \leq k \leq n \\ Q(0) \cdot \sum_{i=0}^n \frac{1}{i!} \cdot A_v^i \cdot \frac{1}{(k-i)!} \cdot A_h^{k-i}, & n \leq k \leq M \end{cases} \quad (2)$$

Prosječno iskorištenje kanala  $\rho$  se dobiva množenjem svake vrijednosti  $k$ -tog kanala s njezinom vjerojatnošću  $Q(k)$ , a zatim se zbroj produkata podijeli s ukupnim brojem poslužitelja u ćeliji. Izraz za prosječno iskorištenje kanala je:

$$\rho = \frac{1}{M} \cdot \sum_{k=0}^M k \cdot Q(k) \quad (3)$$

Prosječno iskorištenje kanala može poprimiti vrijednost u intervalu  $\rho \in [0,1]$ .

Dvodimenzionalni ST dijagram (eng. *State Transition Diagrams*) prikazan na slici 8, gdje stanja  $(i, j)$  predstavljaju broj zauzetih kanala IA i HO poziva.



Slika 8. Dvodimenzionalni ST dijagram, [4]

Ako je svih  $M$  ili svih  $n$  kanala zauzeto, novi IA poziv će biti blokiran. Izraz za vjerojatnost blokiranja IA poziva može se izraziti na sljedeći način:

$$P_v = \sum_{j=0}^{M-n-1} p(n, j) + Q(M) \quad (4)$$

$$P_v = Q(0) \cdot \frac{1}{n!} \cdot A_v^n \cdot \sum_{j=0}^{M-n-1} \frac{1}{j!} \cdot A_h^j + \sum_{i=0}^n \frac{1}{i!} \cdot A_v^i \cdot \frac{1}{(M-i)!} \cdot A_h^{M-i} \quad (5)$$

Ako je svih  $M$  kanala zauzeto, novi HO poziv će biti blokiran. Izraz za vjerojatnost blokiranja HO poziva može se izraziti na sljedeći način:

$$P_h = Q(M) = Q(0) \cdot \sum_{i=0}^n \frac{1}{i!} \cdot A_v^i \cdot \frac{1}{(M-i)!} \cdot A_h^{M-i} \quad (6)$$

Strategije prihvaćanja i odbijanja poziva FGB sheme prikazane su u algoritmu 1. Ovdje su strategije prihvaćanja inicijalnog i *handover* poziva klasificirane u dva različita uvjeta, [3].

---

#### **Algoritam 1: Strategija prihvaćanja i odbijanja poziva FGB sheme**

---

```

if (novi IA korisnik)
{
    if (Broj korisnika u ćeliji < n)
    {
        Omogućiti pristup korisnika u ćeliju
    }
    else
    {
        Odbij IA korisnika
    }
}
if (HO korisnik)
{
    if (Broj korisnika u ćeliji < M)
    {
        Omogućiti pristup korisnika u ćeliju
    }
    else
    {
        Odbij HO korisnika
    }
}

```

---

### 3.1. Višedimenzionalni Erlang-B model

Prema [4, 6], višedimenzionalni Erlang-B prometni model zasnovan je na sljedećim pretpostavkama:

- Potpuna dostupnost kanala
- Uzorak sa slučajnim dolascima poziva
- Eksponencijalna razdioba vremena posluživanja
- Blokirani pozivi se odbijaju
- Broj izvora prometa je neograničen
- Ne postoji rezervacija kanala, disciplina posluživanja FCFS.

Odlazni snop s potpunom dostupnošću je onaj odlazni snop kod kojega je svakom slobodnom ulazu 1, 2, ...,  $M$  omogućena veza  $k$  svakom slobodnom izlazu 1, 2, ...,  $N$  u svako vrijeme. To znači da svaki slobodni ulaz 1, 2, ...,  $M$  može, po želji, biti spojen sa svakim slobodnim izlazom 1, 2, ...,  $N$  u bilo kojem trenutku, naravno u paru, tj. po jedan ulaz s po jedim izlazom, [7].

U mobilnim mrežama tok dolazaka prometa stohastički je proces te se kao takav može opisati u uvjetima statističke ravnoteže odnosno stacionarnosti. Dakle, pod uvjetom stacionarnosti tok dolazaka i posluživanja može se opisati u očekivanim vrijednostima (ili prosjecima) i ponekim pokazateljima varijabilnosti. Uzorak sa slučajnim dolascima poziva je poznat kao Poissonov tok dolazaka čije su karakteristike sljedeće [8]:

- Stacionarnost – proces koji pokazuje varijaciju oko neke srednje vrijednosti, što znači kako  $k$  zahtjeva u nekom vremenskom intervalu  $t$  ne ovisi o početku promatranja već o duljini tog intervala.
- Tok "bez pamćenja" – broj zahtjeva u nekom intervalu  $t$  ne ovisi o broju pojavljivanja zahtjeva u nekom drugom intervalu koji se ne sječe s njim.
- Ordinarnost – isključuje se mogućnost pojave dva ili više zahtjeva u istom vremenskom trenutku.

Prema [8], poissonova distribucija opisana je izrazom:

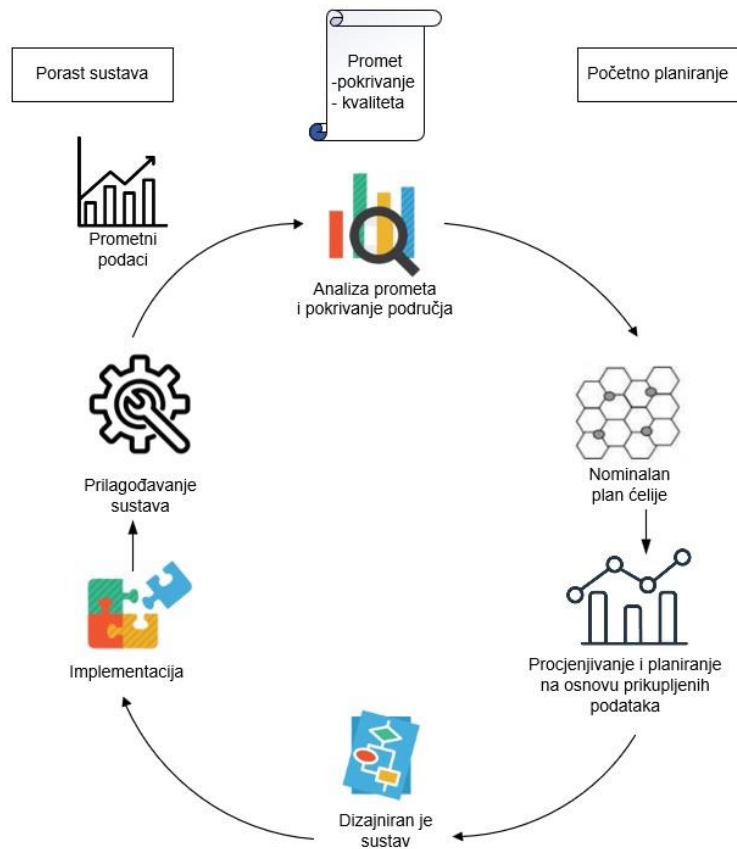
$$P_k(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda t}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

Izrazom (7) se računa vjerojatnost da u intervalu  $t$  zahtjev zatraži  $k$  broj korisnika uz intenzitet toka  $\lambda$  dolazaka koji predstavlja prosječan broj zahtjeva u jedinici vremena.

Blokiranje poziva s odbijanjem (engl. *Lost Calls Cleared*, - LCC) je način blokiranja poziva koji je karakterističan tako da u slučaju novog poziva koji dolazi u sustav u kojem su svi poslužitelji zauzeti na putu od izvorišta do odredišta on biva izgubljen tj. odbijen. Ako je poziv odbijen na jednom podsustavu on se može preusmjeriti na drugi podsustav ako takav postoji. LCC koncept koji se primjenjuje u Europi, pretpostavlja da korisnik nakon dobivanja signala zauzeća će spustiti slušalicu i ponovno pokušava uspostaviti poziv nakon određenog vremena. Za takav poziv se smatra da je nestao iz sustava i ponovni pokušaj će se smatrati kao iniciranje novog poziva, [8].

### 3.2. Planiranje mobilne mreže

Planiranje ćelija može se ukratko opisati kao sve aktivnosti koje su uključene u određivanje mjesta koja će se koristiti za radio opremu, koja oprema će se koristiti i kako će se konfiguracija konfigurirati. Da bi se osigurala pokrivenost i izbjegle smetnje, svaka mobilna mreža treba se planirati. Glavne aktivnosti koje su uključene u procese planiranja ćelija prikazane su na slici 9.



Slika 9. Proces planiranja ćelija, [4]

Planiranje ćelijske mreže ima za cilj stvoriti mrežni plan koji će zadovoljiti unaprijed skup ciljeva troškova i performansi. Prema [9], proces planiranja ćelija sastoji se od sljedećih aktivnosti:

1. Analiza prometa i pokrivanja (utječe na zahtjeve koje mora ispuniti sustav) - proces planiranja ćelija započinje analizom prometa i pokrivenosti. Analiza bi trebala proizvesti podatke o zemljopisnom području i očekivanoj potrebi kapaciteta. Tipovi prikupljenih podataka su:
  - troškovi
  - kapacitet
  - pokrivanje
  - GoS (pozivi koji ne ostvare zbog zagušenja)
  - raspoložive frekvencije

- indeks kvalitete govora ( u zatvorenim i na otvorenim prostorima)
- porast sustava (tj. potreba za povećanjem kapaciteta).

Potražnja prometa (tj. koliko će se pretplatnika pridružiti sustavu i koliko će prometa biti generirano). Definicija prometa do sada korištena vrijedi i u mobilnim sustavima, isto kao i jedinica za mjerenje prometa – Erlang. Geografska raspodjela potražnje u prometu može se izračunati korištenjem demografskih podataka kao što su:

- raspodjela stanovništva
  - distribucija korištenja automobila
  - raspodjela razine dohotka
  - podaci o korištenju zemljišta
  - statistika upotrebe telefona
  - ostali čimbenici kao što su pretplata, troškovi poziva i cijene mobilnih stanica.
2. Nominalni ćelijski plan - nakon prikupljanja podataka primljenih iz analize prometa i pokrivenost izrađuje se plan nominalne ćelije. Nominalni plan ćelije grafički je prikaz mreže i jednostavno izgleda kao ćelijski uzorak na karti. Međutim, puno posla stoji iza toga (kao što je prethodno opisano). Nominalni ćelijski planovi prvi su proizvedeni planovi ćelija i čine osnovnu za daljnje planiranje. Često se nominalni plan ćelija zajedno s jednim ili dva primjera predviđanja pokrivenosti, uključuje u ponude. U ovoj fazi obično se pokreću predviđanja za pokrivenost i smetnje. Takvo planiranje zahtijeva računalno automatizirano analitičko sredstvo za radio propagacijske studije.
  3. Procjene (i radio mjerenje) - jednom kada je plan nominalne ćelije dovršen i osnovna predviđanja pokrivenosti i sučelja su dostupna, mogu se provesti procjene i radio mjerenja. Pored toga, mora se provjeriti radijsko okruženje kako bi se osiguralo da na mjestu nema druge radio opreme koja uzrokuje probleme. Radio mjerenja se provode kako bi se parametri korišteni u alatu za planiranje prilagodili stvarnosti, tj. prilagođavanja se izvršavaju kako bi se zadovoljile specifične potrebe klime i terena mjesta. Na primjer, parametri koji se koriste u hladnoj klimi razlikovat će se od onih koji se koriste u tropskoj klimi.
  4. Dizajniranje sustava (konačni ćelijski plan) - konačni plan ćelija izrađuje se nakon prilagodbe parametara planiranja tako da odgovaraju stvarnim mjerenjima. Mogu se podesiti i dimenzije RBS opreme, MSC i BSC. U konačnici taj će se plan koristiti tijekom instalacije sustava. Nova predviđanja pokrivenosti i sučelja pokreću se u ovoj fazi, što rezultira dokumentima pod nazivom podaci o ćelijskom dizajnu (eng. *Cell Design Data*, - *CDD*), koji sadrže sve parametre ćelija za svaku pojedinačnu ćeliju.
  5. Implementacija - instalacija, puštanje u rad i testiranje sustava izvode se nakon konačnog planiranja ćelija i dizajna sustava.

6. Prilagođavanje sustava - nakon što je sustav instaliran, kontinuirano se ocjenjuje kako bi se utvrdilo koliko dobro zadovoljava potražnju. To se naziva prilagođavanje sustava. To uključuje:

- provjera je li konačan ćelijski plan uspješno implementiran
- evaluiranje korisničkih prigovora/žalbi
- provjera jesu li mrežne performanse u prihvatljivim granicama
- promjena parametara i izvođenje drugih mjerenja ako je potrebno.

Kada sustav dosegne točku u kojoj mreža mora biti proširena, analiza prometa i prekrivanja ponovno se izvodi i kružni proces planiranja ćelija počinje od početka.

7. Porast sustava - planiranje ćelija nije jednokratna aktivnost, to je proces koji traje. Ako se mreža mora proširiti zbog povećanja prometa ili zbog promjene okoliša (npr. izgradnja nove zgrade), tada operator mora ponovno izvršiti postupak planiranja ćelije, počevši s novom analizom prometa i pokrivenosti.

#### 4. Proračun potrebnog kapaciteta ćelije

U ovom poglavlju se opisuje postupak izračuna kako se dolazi do vjerojatnosti blokiranja za određenu klasu poziva. Korištenjem simulacijskog alata iz [10] generirana su vremena posluživanja koja se ravnaju po eksponencijalnoj razdiobi. U ovom primjeru promatra se slučaj jedne ćelije u nekoj mobilnoj mreži u kojoj je raspodjela kanala složena na sljedeći način: ukupan broj kanala u ćeliji je 25, a broj kanala dodijeljen inicijalnim pozivima iznosi 10. Simulirana trajanja za prvih 100 poziva prikazana su u tablici 1. Prosječno trajanje IA poziva dobiveno je 5,4 min, a HO poziva dobiveno je 7,2 min.

Tablica 1. Vrijednosti vremena posluživanja (trajanje poziva)

Redni br. poziva	IA pozivi	HO pozivi	29	0,9	1
	$t_{s_i}$ [min]	$t_{s_i}$ [min]			
1	3,8	0,1	30	3,3	6,4
2	11,9	1	31	1	19,2
3	1,5	3,6	32	5,6	0,6
4	0,5	9,1	33	3	4,2
5	17,7	6,7	34	9,7	6,1
6	5,6	2,3	35	4,4	3,6
7	3,2	25,8	36	5,1	2,3
8	1,1	4,9	37	1,4	4,8
9	10,5	13,3	38	2,8	1
10	3,6	3	39	7,1	9,1
11	4	1,2	40	23,4	16,9
12	7,2	15,6	41	2,7	9,8
13	0,7	17,5	42	1,8	6,4
14	10,9	7,6	43	1,9	0,3
15	5,3	2,9	44	3,3	9,4
16	7,3	5	45	4,9	3,1
17	11,7	0,3	46	5,8	17,9
18	15,3	1,1	47	5,6	5,1
19	1,2	3,1	48	0,6	0,1
20	0,7	4,6	49	6,1	1
21	2,3	12,2	50	9	7,1
22	5	3,8	51	12,1	24,6
23	3,7	4,2	52	0,1	0,7
24	4	0,4	53	0,1	2
25	0,7	2,1	54	6,3	5,1
26	4,9	0,7	55	4,1	8,1
27	4,1	19,9	56	1,9	1,2
28	1,2	5,3	57	5	2,2
			58	15,2	11
			59	1,1	1,8

60	6,3	3,8
61	2,5	0,4
62	1,9	9,2
63	5,7	8,4
64	6,7	23,6
65	7,8	9,4
66	11,4	3,8
67	3,4	9,2
68	1,9	1,1
69	6,5	5,6
70	2,7	4,9
71	12,5	16,5
72	1,7	4,1
73	1,4	18
74	2,4	16,6
75	1,9	4,8
76	21,7	2,1
77	21,8	15,3
78	10,2	4,8
79	0,5	7,3
80	2	10,1

81	13,1	5,1
82	0,6	3
83	5,4	4,6
84	4,7	10
85	5,5	11,1
86	8	3,4
87	2	10,3
88	10,5	17,9
89	0,9	9,8
90	1	0,7
91	6,1	2,4
92	0,8	21,2
93	16,5	4,5
94	0,7	5,6
95	5,1	6,7
96	3,2	14,2
97	2,3	16,8
98	5,7	17,3
99	6,2	4,3
100	3,9	2,7

Prema [8], ponuđeni promet (*eng. offered traffic*) je stvarna količina poziva koji nastoje pristupiti sustavu. Veličina ponuđenog prometa određena je izrazom:

$$A_p = \lambda \cdot T_s \text{ [Erl]} \quad (8)$$

gdje je:

$\lambda$  – intenzitet dolazaka

$T_s$  – prosječno trajanje posluživanja.

Uvrštavanjem u izraz (8) za ponuđeni promet, dobiju se odgovarajući promet za IA i HO pozive, radi preglednosti rezultati su prikazani u tablici 2.

Tablica 2. Prosječno trajanje poziva  $T_s$ , intenzitet poziva  $\lambda$  i odgovarajući promet  $A_p$  za simulaciju IA i HO poziva

Vrijednost	IA pozivi	HO pozivi
$T_s$ [min]	5,4	7,2
$\lambda$ [poz/h]	100	100
$A_p$ [Erl]	9	12



#### 4.1. Izračun vjerojatnosti $Q(0)$

U tablici 3 je prikazan postupak izračuna vjerojatnosti  $Q(0)$ .

U izraz (1) se uvrštavaju se poznate vrijednosti:  $A_v = 9 \text{ Erl}$ ,  $A_h = 12 \text{ Erl}$ ,  
 $M = 25 \text{ kanala}$ ,  $n = 10 \text{ kanala}$

Postupak izračuna vjerojatnosti  $Q(0)$  provodi se u tri koraka:

- 1) U tablici 3a. je prikazan izračun za poznati parametar  $A_v$  i vrijednosti trenutnog indeksa  $i$ .
- 2) Sljedećim korakom u tablici 3b. izračunava se suma za svaki  $(M - i)$  koji se množi s dobivenom rezultatom iz tablice 3a.
- 3) Treći korak se dobiva sumiranjem produkata  $i$  dolazi se do rezultata. Recipročnom vrijednošću rezultata dolazi se do vjerojatnosti  $Q(0)$ .

Tablica 3. Prikaz izračuna vjerojatnosti Q(0)

Tablica 3a.		Tablica 3b.						
$i$	$\frac{1}{i!} \cdot A_v^i$	$j$	$(M-i) = 25$	$(M-i) = 24$	$(M-i) = 23$		$(M-i) = 16$	$(M-i) = 15$
0	1	0	1	1	1		1	1
1	9	1	12	12	12		12	12
2	40,5	2	72	72	72		72	72
3	121,5	3	288	288	288		288	288
4	273,375	4	864	864	864		864	864
5	492,075	5	2073,6	2073,6	2073,6		2073,6	2073,6
6	738,1125	6	4147,2	4147,2	4147,2		4147,2	4147,2
7	949,0017857	7	7109,485714	7109,485714	7109,485714		7109,485714	7109,485714
8	1067,627009	8	10664,22857	10664,22857	10664,22857		10664,22857	10664,22857
9	1067,627009	9	14218,97143	14218,97143	14218,97143		14218,97143	14218,97143
10	960,864308	10	17062,76571	17062,76571	17062,76571		17062,76571	17062,76571
		11	18613,92623	18613,92623	18613,92623		18613,92623	18613,92623
		12	18613,92623	18613,92623	18613,92623		18613,92623	18613,92623
		13	17182,08575	17182,08575	17182,08575		17182,08575	17182,08575
		14	14727,50208	14727,50208	14727,50208		14727,50208	14727,50208
		15	11782,00166	11782,00166	11782,00166		11782,00166	11782,00166
		16	8836,501245	8836,501245	8836,501245		8836,501245	
		17	6237,530291	6237,530291	6237,530291	⋮		
		18	4158,353527	4158,353527	4158,353527			
		19	2626,328543	2626,328543	2626,328543			
		20	1575,797126	1575,797126	1575,797126			
		21	900,4555006	900,4555006	900,4555006			
		22	491,1575458	491,1575458	491,1575458			
		23	256,2561108	256,2561108	256,2561108			
		24	128,1280554	128,1280554				
		25	61,5014666					
		$\sum_{j=0}^{M-i} \frac{1}{j!} \cdot A_h^j$	162704,7028	162643,2013	162515,0733		146269,1946	137432,6934
		$\frac{1}{i!} \cdot A_v^i \cdot \sum_{j=0}^{M-i} \frac{1}{j!} \cdot A_h^j$	162704,7028	1463788,812	6581860,468		156160942,8	132054169,8
		$\sum_{i=0}^n \frac{1}{i!} \cdot A_v^i \cdot \sum_{j=0}^{M-i} \frac{1}{j!} \cdot A_h^j$	868590592,7					
		$Q(0)$	1,15129E-09					

#### 4.2. Izračun vjerojatnosti blokiranja $P_v$ i $P_h$

Uvrštavanjem numeričkih vrijednosti u izraz (5) za vjerojatnost blokiranja IA poziva, dobiva se:

$$P_v = (1,1513 \cdot 10^{-9}) \cdot \left[ \frac{1}{10!} \cdot 9^{10} \cdot \sum_{j=0}^{25-10-1} \frac{1}{j!} \cdot 12^j + \sum_{i=0}^{10} \frac{1}{i!} \cdot 9^i \cdot \frac{1}{(25-i)!} \cdot 12^{25-i} \right]$$

$$P_v = 0,1786$$

Uvrštavanjem numeričkih vrijednosti u izraz (6) za vjerojatnost blokiranja HO poziva, dobiva se:

$$P_h = (1,1513 \cdot 10^{-9}) \cdot \sum_{i=0}^{10} \frac{1}{i!} \cdot 9^i \cdot \frac{1}{(25-i)!} \cdot 12^{25-i}$$

$$P_h = 0,0396$$

#### 4.3. Izračun prosječnog iskorištenja kanala

U ovom potpoglavlju prikazati će se drugi način izračuna prosječnog iskorištenja kanala. Prosječno iskorištenje kanala se računa kao omjer ostvarenog prometa i ukupnog broja poslužitelja u ćeliji.

$$\rho = \frac{A_{ost}}{M} \quad (9)$$

U ovom slučaju izraz za prosječno iskorištenje glasi:

$$\rho = \frac{A_{ost_v} + A_{ost_h}}{M} \quad (10)$$

Ostvareni promet (*eng. carried traffic*) je promet koji je stvarno poslužen na telekomunikacijskoj opremi, [8]. Veličina ostvarenog prometa zadana je izrazom:

$$A_{ost} = A_p \cdot (1 - p_b) \quad (11)$$

gdje je:

$p_b$  – vjerojatnost blokiranja

U ovom slučaju izraz za ostvareni promet glasi:

$$A_{ost_v} = A_{p_v} \cdot (1 - P_v) \quad (12)$$

$$A_{ost_h} = A_{p_h} \cdot (1 - P_h) \quad (13)$$

gdje je:

$A_{ost_v}$  – ostvareni promet IA korisnika

$A_{ost_h}$  – ostvareni promet HO korisnika

$A_{p_v}$  – ponuđeni promet IA korisnika

$A_{p_h}$  – ponuđeni promet HO korisnika

$P_v$  – vjerojatnost blokiranja IA korisnika

$P_h$  – vjerojatnost blokiranja HO korisnika

Uvrštavanjem rezultata iz tablice 2 i izraza (5) i (6) u izraze (12) i (13) dobiva se:

$$A_{ost_v} = A_{p_v} \cdot (1 - P_v) = 9 \cdot (1 - 0,1786) = 7,3926 [Erl]$$

$$A_{ost_h} = A_{p_h} \cdot (1 - P_h) = 12 \cdot (1 - 0,0396) = 11,5248 [Erl]$$

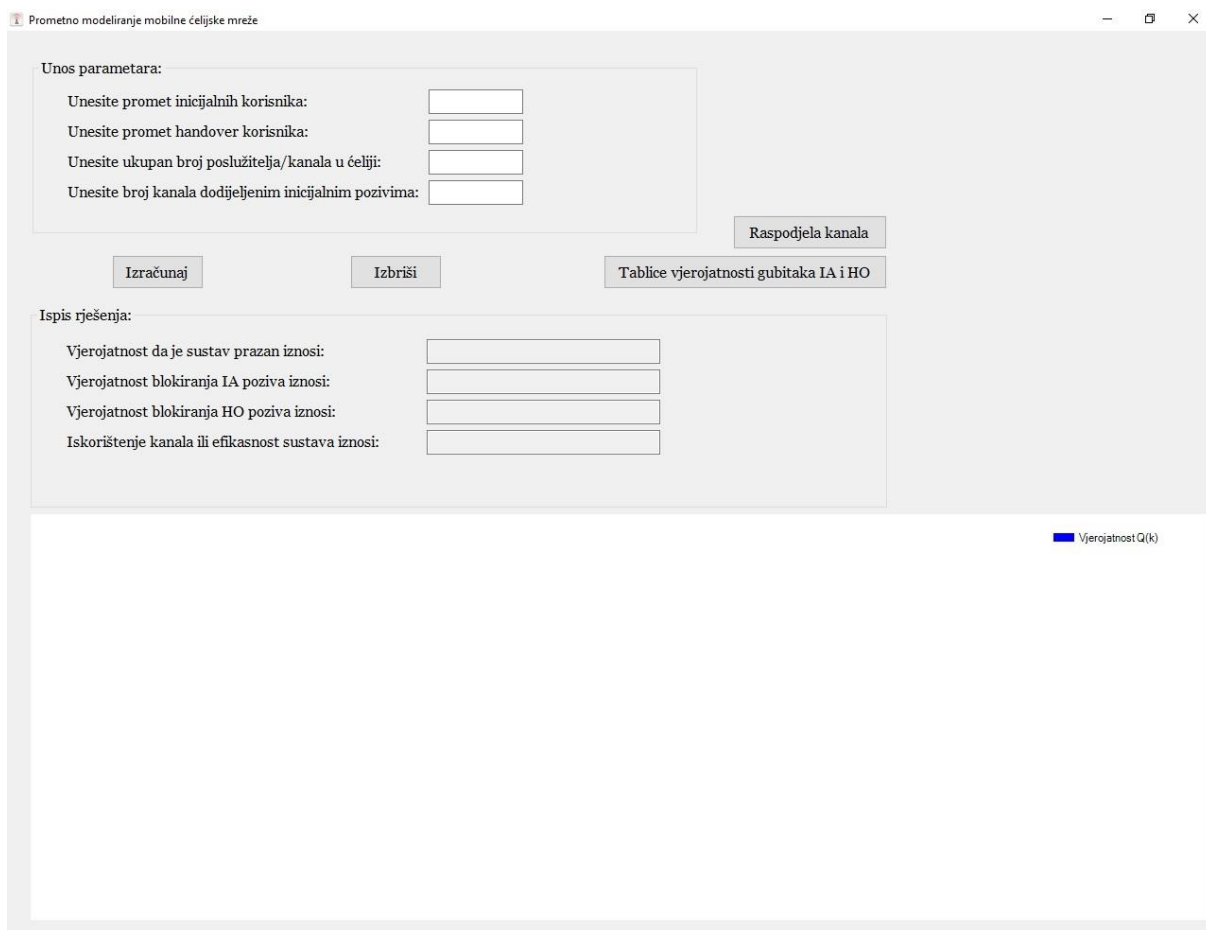
Slijedi uvrštavanje rezultata iz izraza (12) i (13) u izraz (9) te se dobiva:

$$\rho = \frac{18,9174}{25} = 0,7567$$

## 5. Izrada računalne aplikacije za proračun kapaciteta

### 5.1. Opis programa

Praktični dio ovog diplomskog rada bilo je implementirati algoritme za izračunavanje vjerojatnosti blokiranja za određeni broj kanala, kada se koristi višedimenzionalna Erlangova B formula. Aplikacija koja je nazvana *Prometno modeliranje mobilne ćelijske mreže* je razvijena u programskom okruženju Microsoft Visual Studio 2017 u programskom jeziku C#, a programsko sučelje je izrađeno pomoću Windows forme. Na slici 10 prikazano je početni zaslon aplikacije čiji je sadržaj opisan ispod.



The screenshot shows a Windows application window titled "Prometno modeliranje mobilne ćelijske mreže". The interface is divided into several sections:

- Unos parametara:** A section for entering parameters with four input fields:
  - Unesite promet inicijalnih korisnika:
  - Unesite promet handover korisnika:
  - Unesite ukupan broj poslužitelja/kanala u ćeliji:
  - Unesite broj kanala dodijeljenim inicijalnim pozivima:
- Buttons:** "Izračunaj", "Izbriši", "Raspodjela kanala", and "Tablice vjerojatnosti gubitaka IA i HO".
- Ispis rješenja:** A section for displaying results with four output fields:
  - Vjerojatnost da je sustav prazan iznosi:
  - Vjerojatnost blokiranja IA poziva iznosi:
  - Vjerojatnost blokiranja HO poziva iznosi:
  - Iskorištenje kanala ili efikasnost sustava iznosi:
- Legend:** A legend at the bottom right indicates "Vjerojatnost Q(k)" with a blue square.

Slika 10. Početni zaslon

Korisnik u gornjem dijelu sučelja unosi željene vrijednosti parametara. U sredini se nalaze tipke *Izračunaj* i *Izbriši*. Tipka *Izbriši* briše sve unesene i dobivene vrijednosti te resetira graf. Klikom na tipku *Izračunaj* provjerava se valjanost unosa, te izbacuje upozorenja ako nisu uneseni svi potrebni parametri ili ako je broj kanala dodijeljen inicijalnim korisnicima veći od ukupnog broja kanala u ćeliji. Ako je unos

parametara ispravan rezultati se ispisuju i iscrtava se graf vjerojatnost  $Q(k)$ . Korisnik nakon dobivenih rezultata, može odabrati jednu od dvije opcije:




- Tipka *Tablice vjerojatnosti gubitaka IA i HO* – otvara se nova forma gdje korisnik kreira tablicu vjerojatnosti gubitaka ovisno o klasi poziva.
- Tipka *Raspodjela kanala* – otvara se nova forma koja izračunava minimalan broj kanala za pojedinu klasu poziva, temeljem zadanih vrijednosti.

## 5.2. Tablica vjerojatnosti gubitaka IA i HO

Korisnik pritiskom na tipku *Tablice vjerojatnosti gubitaka IA i HO* otvara novu formu koja je prikazana na slici 11. Opis kontrola na formi:

- Promet  $A_v$  – promet inicijalnih korisnika, čija je vrijednost kopirana iz početne forme
- Broj kanala  $M$  – ukupan broj poslužitelja, vrijednost je također kopirana iz početne forme
- $dA_h$  - kratica koja znači delta *handover* promet, s kojom ćemo povećati ili smanjiti početnu vrijednost *handover* prometa
- Start  $A_h$  - zbrajanjem prometa inicijalnih korisnika i delta *handover* prometa dobiva se početna vrijednost *handover* prometa u retku
- Razmak između  $A_h$  - razmak između redaka *handover* prometa
- Broj redaka – ukupan broj redaka
- Donja granica – početna vrijednost kanala dodijeljena inicijalnim korisnicima
- Gornja granica – krajnja vrijednost kanala dodijeljena inicijalnim korisnicima.

Opis tipki na kontroli:

- Popuni  - nakon što korisnik popuni sve potrebne parametre, klikom na tipku će se kreirati tablice vjerojatnosti gubitaka
- Refresh – klikom na tipku ažurirati će se tablica s novo unesenim vrijednostima
- Print  – klikom na tipku aktivira se nova forma, gdje korisnik pregledava dokument koji će odabrati za ispisivanje. Ako dokument treba ispisati u nekoliko primjeraka u polju kopije odrediti će se broj primjeraka.
- Izvezi u Notepad dokument – u dijaloškom okviru koji se pojavi unosi se ime datoteke u polje Naziv datoteke. Spremanje će se završiti upotrebom tipke *Spremi*.
- Nazad  – ako se želi vratiti na početni zaslon, isto to se može izvršiti odabirom tipke *Nazad*.

Prometno modeliranje mobilne ćeljske mreže

Prijenos vrijednosti:

Promet Av:

Broj kanala M:

dAh:

Start Ah:

Razmak između Ah:

Broj redaka:

Broj kanala IA poziva:

Donja granica:

Gornja granica:

Popuni Refresh Print

Izvezi u Notepad dokument

Nazad

Tablica vjerojatnosti gubitaka za IA pozive:

--

Tablica vjerojatnosti gubitaka za HO pozive:

--

Slika 11. Izgled forme tablice vjerojatnosti gubitaka IA i HO

### 5.3. Raspodjela kanala

Korisnik odabirom opcije Raspodjela kanala pristupa dijelu aplikacije koja omogućava za zadane vrijednosti ponuđenog prometa i vjerojatnosti blokiranja izračun minimalnog kapaciteta za pojedinu klasu poziva. Ako se želi izbrisati unesene i izračunate vrijednosti na desnoj strani postoji tipka *Izbriši*, što je prikazano na slici 12.

Prometno modeliranje mobilne ćelijske mreže

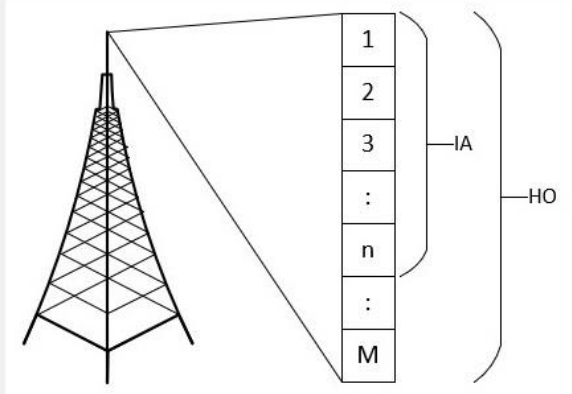
Unos parametara:

Unesite promet IA korisnika:

Unesite promet HO korisnika:

Unesite vjerojatnost blokiranja Pv:

Unesite vjerojatnost blokiranja Ph:



1  
 2  
 3  
 :  
 n  
 :  
 M


} IA

} HO

Izračunaj

Izbriši

Nazad



Ispis rješenja:

IA pozivima dodjeljuje se:

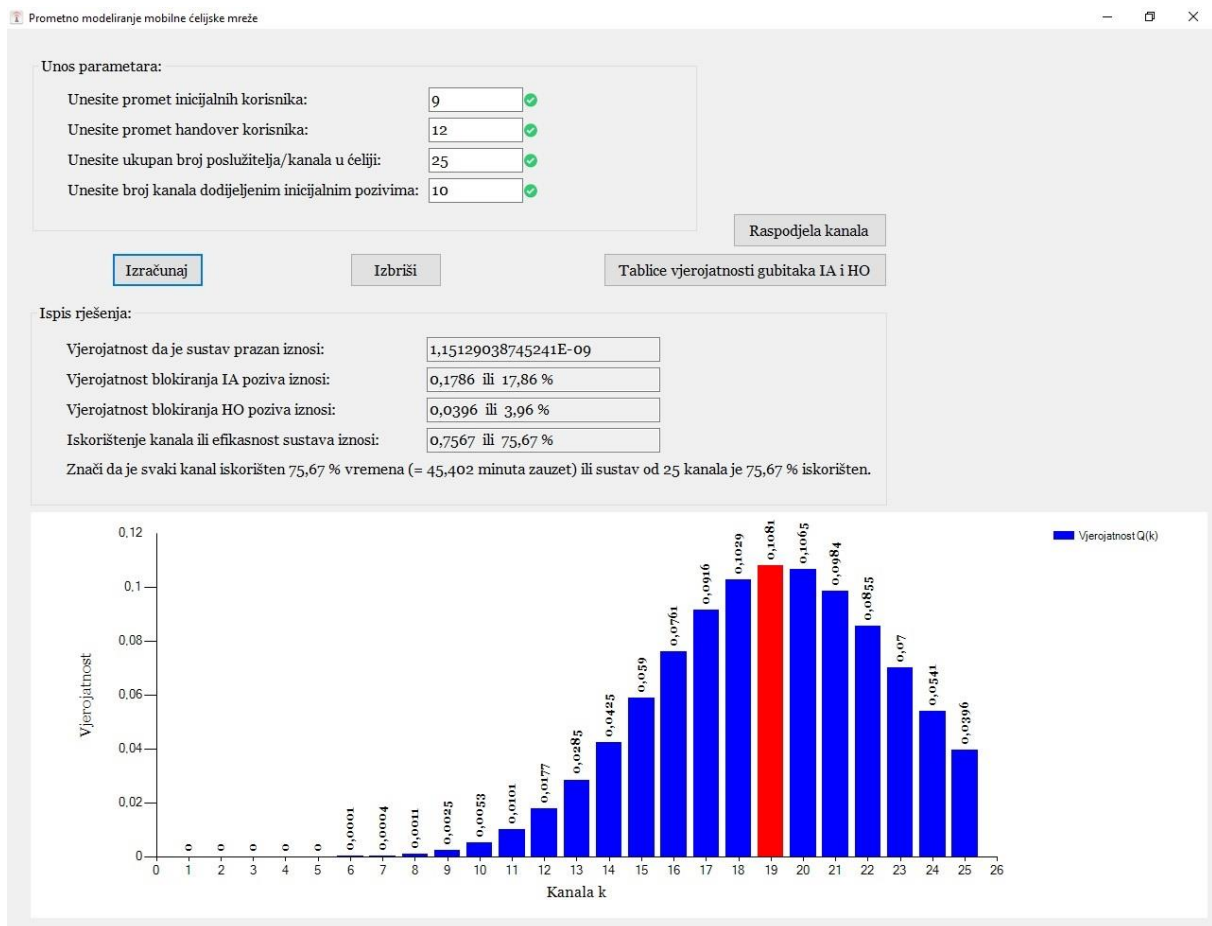
HO pozivima dodjeljuje se:

Slika 12. Izgled forme raspodjela kanala



## 6. Prikaz rezultata proračuna kapaciteta

U posljednjem poglavlju na ranije navedenom primjeru iznose se rezultati koji su dobiveni primjenom korisničkog sučelja aplikacije, dok će ostali rezultati biti prezentirani uz pomoć tablica i grafikona. Na slici 13 su prikazani dobiveni rezultati aplikacije koji se podudaraju s ranijim izračunima, što dovodi do zaključka da je aplikacija za izračun vjerojatnosti blokiranja ispravna.



Slika 13. Prikaz izračuna aplikacije

Rezultati vjerojatnosti  $Q(k)$  dobiveni prema izrazu (2), koji se mogu iskoristiti za prikaz postupka izračuna prosječnog iskorištenja kanala korištenjem izraza (3). Radi preglednosti cijeli postupak je prikazan u tablici 4.

Tablica 4. Pomoćni izračun prosječnog iskorištenja kanala

$k$	$Q(k)$	$k \cdot Q(k)$	$\sum_{k=0}^M k \cdot Q(k)$
0	1,1513E-09	0	0
1	2,4177E-08	2,4177E-08	2,42E-08
2	2,5386E-07	5,0772E-07	5,32E-07

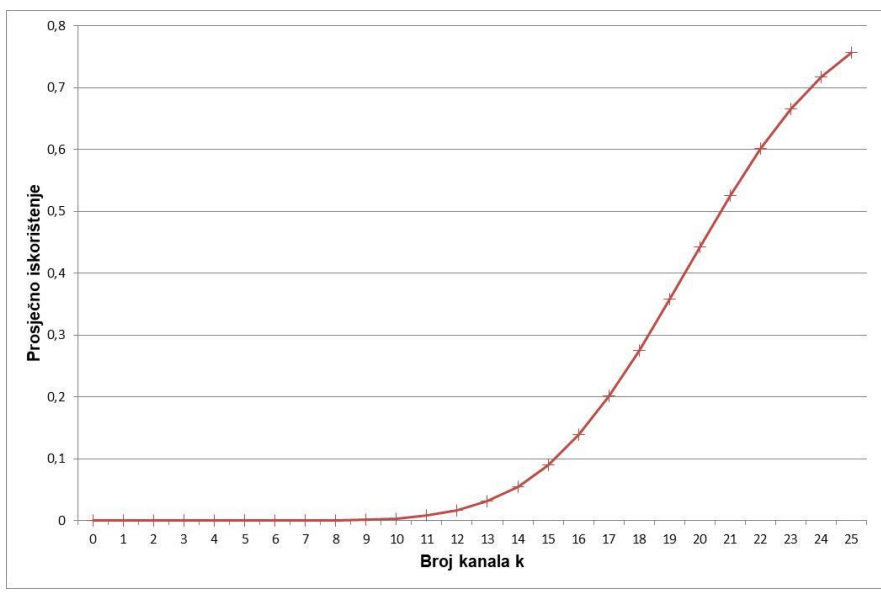
$k$	$Q(k)$	$k \cdot Q(k)$	$\sum_{k=0}^M k \cdot Q(k)$
3	1,777E-06	5,3311E-06	5,86E-06
4	9,3293E-06	3,7317E-05	4,32E-05
5	3,9183E-05	0,00019592	0,000239096
6	0,00013714	0,00082285	0,001061944
7	0,00041142	0,00287997	0,003941911
8	0,00107999	0,0086399	0,01258181
9	0,00251997	0,02267974	0,035261547
10	0,00529194	0,05291939	0,088180932
11	0,01010189	0,11112075	0,199301686
12	0,01766835	0,21202015	0,411321833
13	0,02848603	0,37031842	0,781640251
14	0,04252424	0,59533932	1,376979569
15	0,05896046	0,8844069	2,26138647
16	0,07609529	1,21752468	3,478911154
17	0,09157125	1,55671119	5,035622345
18	0,10290074	1,85221339	6,887835738
19	0,10814429	2,05474145	8,942577189
20	0,10647322	2,12946446	11,07204165
21	0,09838376	2,066059	13,13810065
22	0,08548804	1,88073681	15,01883745
23	0,06999681	1,60992657	16,62876403
24	0,05411943	1,29886631	17,92763034
25	0,03959518	0,98987947	<b>18,91750981</b>

Uvrštavanjem rezultata iz tablice 4 u izraz (3) dobiva se:

$$\rho = \frac{1}{25} \cdot 18,9175 = 0,7567$$

Graf 1 prikazuje što se više broj kanala približava ukupnom broju kanala u sustavu, prometno iskorištenja kanala strmoglavo raste.

Korištenjem opcije tablice vjerojatnosti blokiranja u aplikaciji, izračunati će se vjerojatnosti blokiranja  $P_v$  i  $P_h$ . Izračunate vrijednosti su tabelirane za *handover* promet od 10 do 15 [Erl] i broj kanala dodijeljen inicijalnim pozivima od 10 do 15. Slika 14 prikazuje izračunate vrijednosti za pojedinu klasu poziva.



Graf 1. Iskorištenje kanala ili efikasnost sustava

Prometno modeliranje mobilne ćelijske mreže

Prijenos vrijednosti:  
 Promet Av:   
 Broj kanala M:

Broj kanala IA poziva:  
 Donja granica:   
 Gornja granica:

dAh:   
 Start Ah:   
 Razmak između Ah:   
 Broj redaka:

Popuni Refresh Print

**Izveži u Notepad dokument**

Nazad

Tablica vjerojatnosti gubitaka za IA pozive:

Ah	n = 10	n = 11	n = 12	n = 13	n = 14	n = 15
10	0,171	0,126	0,092	0,068	0,053	0,044
11	0,174	0,131	0,099	0,077	0,063	0,056
12	0,179	0,138	0,108	0,088	0,076	0,07
13	0,185	0,146	0,119	0,102	0,092	0,087
14	0,192	0,157	0,132	0,117	0,109	0,105
15	0,202	0,169	0,147	0,134	0,128	0,125

Tablica vjerojatnosti gubitaka za HO pozive:

Ah	n = 10	n = 11	n = 12	n = 13	n = 14	n = 15
10	0,014	0,019	0,024	0,028	0,032	0,034
11	0,025	0,032	0,038	0,043	0,046	0,048
12	0,04	0,048	0,054	0,059	0,063	0,065
13	0,057	0,066	0,073	0,078	0,081	0,083
14	0,077	0,087	0,094	0,098	0,101	0,102
15	0,099	0,108	0,115	0,119	0,122	0,123

Slika 14. Vjerojatnosti blokiranja poziva  $P_v$  i  $P_h$

Koristeći dobivene tablice vjerojatnosti gubitaka moguće je odrediti broj inicijalnih, *handover* i ukupno odbijenih poziva u sustavu. Broj odbijenih poziva se računa prema sljedećim izrazima:

$$\lambda_{odb-IA} = \lambda_{IA} \cdot P_v \quad (14)$$

$$\lambda_{odb-HO} = \lambda_{HO} \cdot P_h \quad (15)$$

$$\lambda_{odb-uk} = \lambda_{IA} \cdot P_v + \lambda_{HO} \cdot P_h \quad (16)$$

gdje je:

$\lambda_{odb-IA}$  – broj odbijenih inicijalnih poziva

$\lambda_{odb-HO}$  – broj odbijenih *handover* poziva

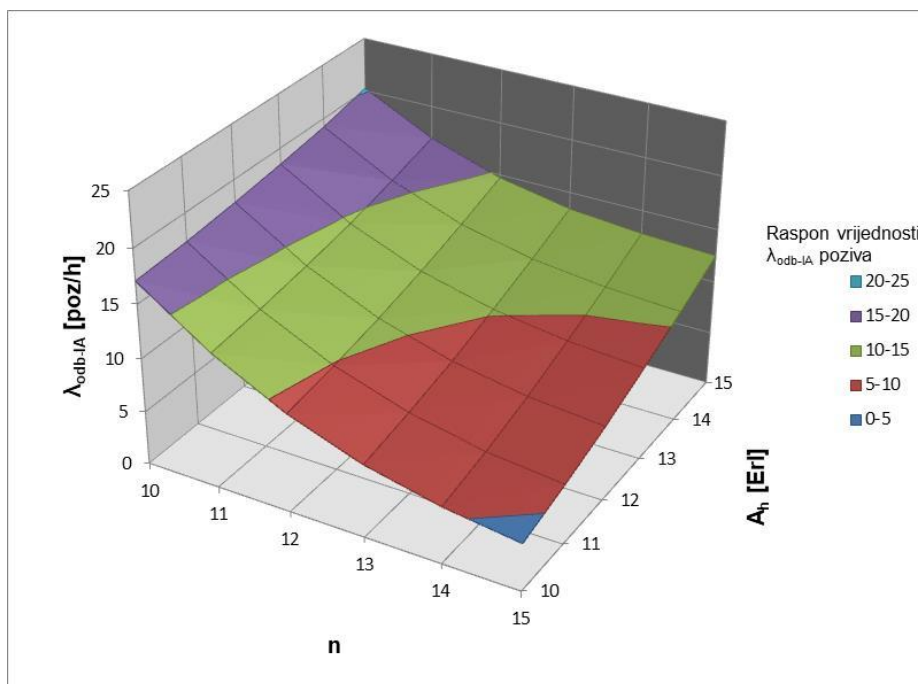
$\lambda_{odb-uk}$  – broj ukupno odbijenih poziva u ćeliji.

U tablici 5 su prikazane izračunate vrijednosti broja odbijenih poziva  $\lambda_{odb-IA}$  ovisno o broju kanala  $n$  i prometu  $A_h$  prema izrazu (14).

Tablica 5. Broj odbijenih poziva  $\lambda_{odb-IA}$  ovisno o broju kanala  $n$  i prometu  $A_h$

$\lambda_{odb-IA} [poz/h]$						
$A_h$	$n = 10$	$n = 11$	$n = 12$	$n = 13$	$n = 14$	$n = 15$
10	17,1	12,6	9,2	6,8	5,3	4,4
11	17,4	13,1	9,9	7,7	6,3	5,6
12	17,9	13,8	10,8	8,8	7,6	7
13	18,5	14,6	11,9	10,2	9,2	8,7
14	19,2	15,7	13,2	11,7	10,9	10,5
15	20,2	16,9	14,7	13,4	12,8	12,5

Iz tablice 5 je vidljivo da porastom *handover* prometa i povećanju broja kanala  $n$  dovodi do smanjenja odbijenih inicijalnih poziva. Površina koja prikazuje broj odbijenih inicijalnih poziva za različite vrijednosti  $A_h$  i broj kanala  $n$  prikazana je na slici 15.



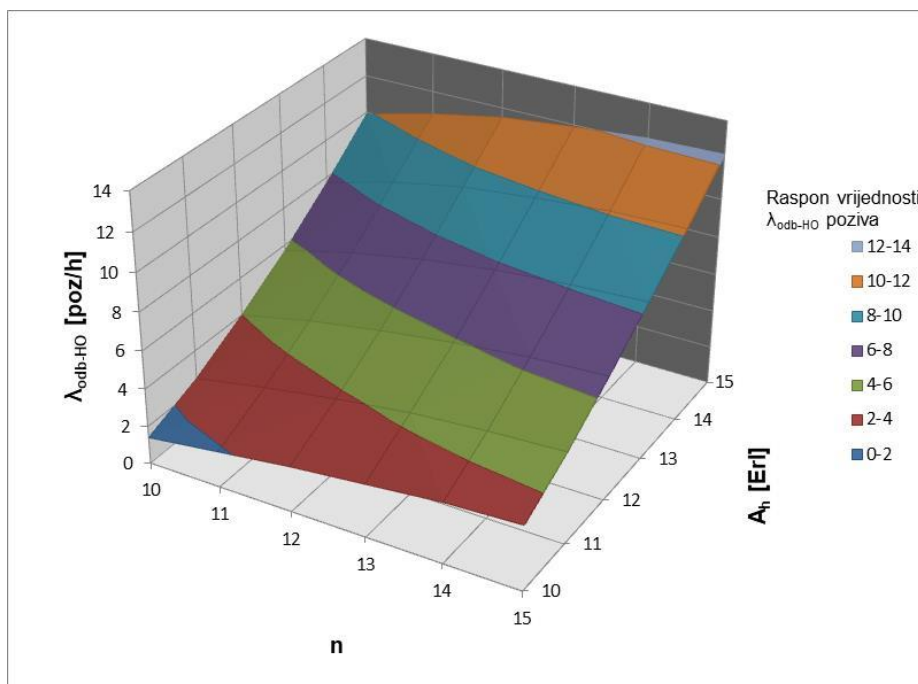
Slika 15. Prikaz površine koja opisuje broj odbijenih IA poziva

U tablici 6 su prikazane izračunate vrijednosti broja odbijenih poziva  $\lambda_{odb-HO}$  ovisno o broju kanala  $n$  i prometu  $A_h$  prema izrazu (15).

Tablica 6. Broj odbijenih poziva  $\lambda_{odb-HO}$  ovisno o broju kanala  $n$  i prometu  $A_h$

$A_h$	$\lambda_{odb-HO}$ [poz/h]					
	$n = 10$	$n = 11$	$n = 12$	$n = 13$	$n = 14$	$n = 15$
10	1,4	1,9	2,4	2,8	3,2	3,4
11	2,5	3,2	3,8	4,3	4,6	4,8
12	4	4,8	5,4	5,9	6,3	6,5
13	5,7	6,6	7,3	7,8	8,1	8,3
14	7,7	8,7	9,4	9,8	10,1	10,2
15	9,9	10,8	11,5	11,9	12,2	12,3

Iz tablice 6 je vidljivo da porastom *handover* prometa i povećanju broja kanala  $n$  dovodi do povećanja odbijenih *handover* poziva. Površina koja prikazuje broj odbijenih *handover* poziva za različite vrijednosti  $A_h$  i broj kanala  $n$  prikazana je na slici 16.



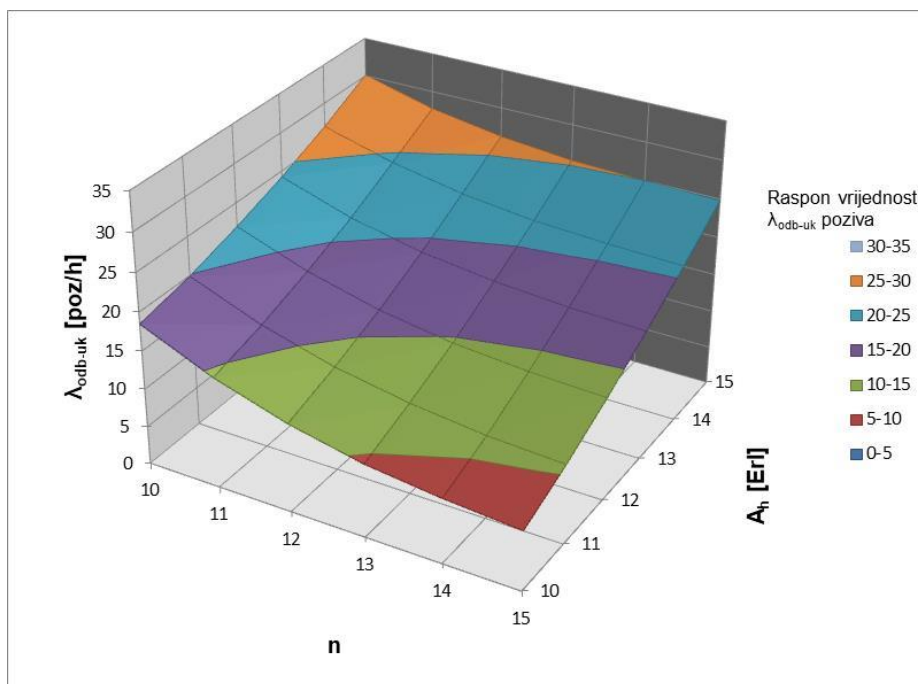
Slika 16. Prikaz površine koja opisuje broj odbijenih HO poziva

U tablici 7 su prikazane izračunate vrijednosti ukupnog broja odbijenih poziva  $\lambda_{odb-uk}$  ovisno o broju kanala  $n$  i prometu  $A_h$  prema izrazu (16).

Tablica 7. Ukupan broj odbijenih poziva  $\lambda_{odb-uk}$  ovisno o broju kanala  $n$  i prometu  $A_h$

$A_h$	$\lambda_{odb-uk}$ [poz/h]					
	$n = 10$	$n = 11$	$n = 12$	$n = 13$	$n = 14$	$n = 15$
10	18,5	14,5	11,6	9,6	8,5	7,8
11	19,9	16,3	13,7	12	10,9	10,4
12	21,9	18,6	16,2	14,7	13,9	13,5
13	24,2	21,2	19,2	18	17,3	17
14	26,9	24,4	22,6	21,5	21	20,7
15	30,1	27,7	26,2	25,3	25	24,8

Iz tablice 7 je vidljivo da porastom *handover* prometa i povećanju broja kanala  $n$  dovodi do smanjenja ukupno odbijenih poziva u ćeliji. Površina koja prikazuje broj ukupno odbijenih poziva za različite vrijednosti  $A_h$  i broj kanala  $n$  prikazana je na slici 17.



Slika 17. Prikaz površine koja opisuje ukupni broj odbijenih poziva

Odabirom opcije *Raspodjela kanala* u aplikaciji prikazuje se forma čija je osnovna svrha određivanje minimalnog broja kanala koji će uz zahtijevanu razinu kvalitete usluge poslužiti ponuđeni promet pojedine klase poziva. Izračun je rađen prema prethodno navedenim parametrima za ponuđeni promet i izračunate vrijednosti blokiranja pojedine klase poziva.

Unos parametara:

Unesite promet IA korisnika:

Unesite promet HO korisnika:

Unesite vjerojatnost blokiranja Pv:

Unesite vjerojatnost blokiranja Ph:

Izračunaj

Izbriši

Nazad

100%

Ispis rješenja:

IA pozivima dodjeljuje se:

HO pozivima dodjeljuje se:

Slika 18. Određivanje broja kanala u ćeliji

Iz slike 18 vidljivo da je minimalni broj kanala za inicijalne pozive iznosi 10, i 25 kanala za *handover* pozive koji će zadovoljiti definiranu kvalitetu usluge pojedine klase poziva.



## 7. Zaključak

Napretkom mobilnih mreža došlo je do velike potrebe za mobilnosti korisnika, a time i komunikacijom tijekom kretanja. Prilikom kretanja u prostoru korisnik je spojen na baznu stanicu koja ima doseg unutar svoje ćelije. Korisnik koji izlazi iz područja dosega jedne bazne stanice, ulazi u drugo područje tj. u njezinu ćeliju. Kako ne bi došlo do prekidanja poziva mobilni uređaj se prebacuje na drugu baznu stanicu i taj se proces naziva *handover*.

Višedimenzionalna Erlangova B formula bazira se na određenim pretpostavkama poput:  $M$  kanala u potpunoj dostupnosti, poissonov proces dolazaka s intenzitetom  $\lambda_{IA}$  i  $\lambda_{HO}$ , vremena posluživanja imaju eksponencijalnu distribuciju s parametrima  $\beta_{IA}$  i  $\beta_{HO}$ , svaki odbijeni poziv je izgubljeni poziv. Za optimalno dimenzioniranje mobilne mreže u cijelosti potrebno je poznavati veličinu prometa i definirati zahtijevanu razinu kvalitete usluge, kao i sve aktivnosti u procesu planiranja ćelija.

Realizirana aplikacija omogućava znatno lakše izračunavanje vjerojatnosti blokiranja, kao i uvid u tablicu vjerojatnosti blokiranja za pojedinu klasu poziva kada se koristi višedimenzionalna Erlangova B formula. Dobiveni rezultati ukazuju da je vjerojatnost blokiranja poziva  $P_h$  manja od vjerojatnosti  $P_v$  za definirani promet  $A_v$  i odgovarajući  $A_h$ . Kako su *handover* pozivi prioritetni, dostupno im je više kanala, stoga je dobiveni rezultat očekivan.

Vjerojatnost blokiranja IA poziva smanjuje se kako se povećava broj kanala  $n$ , iz čega je vidljivo da će najmanji broj odbijenih IA poziva iznositi za najveći broj kanala  $n$ . Kod HO poziva vjerojatnost blokiranja raste kako se povećava broj kanala  $n$ , iz čega proizlazi da se najmanji broj odbijenih HO poziva dobiva dodjelom najmanjeg broja kanala  $n$ . Iz dobivenih rezultata, može se zaključiti da se dodjelom najvećeg broja kanala  $n$  postiže minimalan broj ukupno odbijenih poziva u ćeliji na konkretnom primjeru.

## Literatura

- [1] Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Kunštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac, B., Sinković, V., Osnovne arhitekture mreža, 2. izdanje, Zagreb; 2004; p. 288-293.
- [2] Kubat, T., Tehnike prijelaza između mobilnih sustava za glasovnu komunikaciju, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2018.
- [3] Rahman, A., QoS Provisioning Using Optimal Call Admission Control for Wireless Cellular Networks, Khulna University of Engineering and Technology, Bangladesh, 2014.
- [4] Mrvelj, Š., Nastavni materijali iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa, URL: [https://moodle.srce.hr/2016-2017/pluginfile.php/1049115/mod\\_resource/content/1/Mobilne%20mre%C5%BEE%20-%20Planiranje.pdf](https://moodle.srce.hr/2016-2017/pluginfile.php/1049115/mod_resource/content/1/Mobilne%20mre%C5%BEE%20-%20Planiranje.pdf) (pristupljeno: srpanj, 2018.)
- [5] Mrvelj, Š., Bošnjak, I., Primjeri i zadaci iz telekomunikacijskog prometa, FPZ, Zagreb, 2001.
- [6] URL: <https://slideplayer.com/slide/5146332/> (pristupljeno: kolovoz, 2018.)
- [7] Župan, J., Uvod u komutacijske sustave, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1978.
- [8] Mrvelj, Š., Nastavni materijali iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa, URL: [https://moodle.srce.hr/2016-2017/pluginfile.php/976257/mod\\_resource/content/6/teorija%20prometa%201%20i%202%20za%20objavu.pdf](https://moodle.srce.hr/2016-2017/pluginfile.php/976257/mod_resource/content/6/teorija%20prometa%201%20i%202%20za%20objavu.pdf) (pristupljeno: srpanj, 2018.)
- [9] Ericsson, Cell Planning Principles, Student Text EN/LZT 123 3314 R3A, Ericsson Radio Systems AB, 1997.
- [10] URL: <http://www.randomservices.org/random/apps/SpecialSimulation.html> (pristupljeno: srpanj, 2018.)

## Popis slika

Slika 1. Arhitektura GSM mreže, [1] .....	3
Slika 2. Registracija u vlastitoj mreži, [1].....	5
Slika 3. Registracija (nepoznati stari VLR), [1].....	6
Slika 4. Registracija (poznati stari VLR), [1].....	7
Slika 5. Registracija u posjećenoj mreži s ugovorom o prelaženju, [1] .....	7
Slika 6. Prikaz Handovera u mreži, [2].....	8
Slika 7. Jednodimenzionalni ST dijagram, [4] .....	10
Slika 8. Dvodimenzionalni ST dijagram, [4] .....	11
Slika 9. Proces planiranja ćelija, [10] .....	14
Slika 10. Početni zaslon .....	23
Slika 11. Izgled forme tablice vjerojatnosti gubitaka IA i HO.....	25
Slika 12. Izgled forme raspodjela kanala .....	26
Slika 13. Prikaz izračuna aplikacije.....	27
Slika 14. Vjerojatnosti blokiranja poziva $P_v$ i $P_h$ .....	29
Slika 15. Prikaz površine koja opisuje broj odbijenih IA poziva.....	31
Slika 16. Prikaz površine koja opisuje broj odbijenih HO poziva.....	32
Slika 17. Prikaz površine koja opisuje ukupni broj odbijenih poziva .....	33
Slika 18. Određivanje broja kanala u ćeliji .....	33

## Popis tablica

Tablica 1. Vrijednosti vremena posluživanja (trajanje poziva) .....	17
Tablica 2. Prosječno trajanje poziva $T_s$ , intenzitet poziva $\lambda$ i odgovarajući promet $A_p$ za simulaciju IA i HO poziva .....	18
Tablica 3. Prikaz izračuna vjerojatnosti $Q(0)$ .....	20
Tablica 4. Pomoćni izračun prosječnog iskorištenja kanala.....	27
Tablica 5. Broj odbijenih poziva $\lambda_{odb} - IA$ ovisno o broju kanala $n$ i prometu $Ah$ ....	30
Tablica 6. Broj odbijenih poziva $\lambda_{odb} - HO$ ovisno o broju kanala $n$ i prometu $Ah$ ...	31
Tablica 7. Ukupan broj odbijenih poziva $\lambda_{odb} - uk$ ovisno o broju kanala $n$ i prometu $Ah$ .....	32

## Popis grafikona

Graf 1. Iskorištenje kanala ili efikasnost sustava .....	29
--	----

## Popis kratica

AUC – *Authentication Centre*

BSC – *Base Station Controller*

BSS – *Base Station System*

BTS – *Base Transceiver Station*

CDD – *Cell Data Design*

EIR – *Equipment Identification Register*

FCFS – *First Come First Served*

FGB – *Fixed Guard Band*

GMSC – *Gateway Mobile Switching Centre*

GoS – *Grade Of Service*

GSM – *Global System for Mobile communication*

HLR – *Home Location Registrar*

HO – *Handover pozivi*

IA – *Inicijalni pozivi*

IMSI – *International Mobile Subscriber Identification*

KI – *Authentication Key*

LA – *Location Area*

LCC – *Lost Calls Cleared*

MS – *Mobile Station*

MSC – *Mobile Switching Centre*

MSISDN – *Mobile Station ISDN*

PIN – *Personal Identification Number*

RBS – *Radio Base Station*

SIM – *Subscriber Identity Module*

VLR – *Visitor Location Register*



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

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

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada  
pod naslovom **Primjena višedimenzionalne Erlangove B formule za izračun**

**kapaciteta ćelije mobilne mreže**

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

U Zagrebu, 17.2.2020

Student/ica:

*Jemić Matija*  
(potpis)