

# Analiza vjerojatnosti blokiranja na putu za različita prometna opterećenja mreže

---

Grgić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

*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:119:387109>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Ivan Grgić**

**ANALIZA VJEROJATNOSTI BLOKIRANJA NA  
PUTU ZA RAZLIČITA PROMETNA OPTEREĆENJA  
MREŽE**

**Završni rad**

**rujan 2019.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## ZAVRŠNI RAD

### ANALIZA VJEROJATNOSTI BLOKIRANJA NA PUTU ZA RAZLIČITA PROMETNA OPTEREĆENJA MREŽE

### PATH BLOCKING PROBABILITY ANALYSIS FOR DIFFERENT NETWORK LOADS

Mentor : doc. dr. sc. Marko Matulin

Student : Ivan Grgić

JMBAG: 0135241780

rujan 2019.

## SAŽETAK

Vjerojatnost blokiranja je vjerojatnost da su svi poslužitelji zauzeti, a sagledana je vjerojatnost blokiranja u različitim mrežnim uvjetima mobilne mreže 2. generacije. Poblizje je objašnjen model za izračun vjerojatnosti blokiranja na putu te formule koje su korištene. Analiza je obavljena pomoću vlastite prometne mreže, te opisa različitih prometnih slučajeva koji su objedinjeni nakon cjelokupne analize i prikazani su grafički te numerički.

KLJUČNE RIJEČI: vjerojatnost blokiranja; mobilna mreža; analiza; prometni slučajevi

## SUMMARY

The blocking probability is the probability that all servers are busy, and the blocking probability in the different network conditions of a 2nd generation of mobile network is considered. The model for calculating the blocking probability and the formulas used are explained in more detail. The analysis was carried out using arbitrary traffic network, as well as descriptions of the various traffic scenarios, which were combined after the entire analysis and are presented graphically and numerically.

KEY WORDS : blocking probability; mobile network; analysis; traffic scenarios

# Sadržaj

1.	Uvod .....	1
2.	Arhitektura mobilne mreže .....	3
2.1.	Druga generacija mobilnih mreža .....	3
2.2.	Arhitektura GSM mreže.....	5
2.2.1.	Komutacijske procedure u GSM mreži .....	7
2.2.2.	Usluge mobilne mreže druge generacije.....	10
2.2.3.	Višeuslužna mreža (MSN-Multi Service Network).....	11
2.2.4.	Sigurnost GSM mreže .....	12
3.	Model za izračun vjerojatnosti blokiranja na putu.....	14
3.1.	Promet i analiza prometa .....	14
3.1.1.	Odabir prometnog modela.....	15
3.1.2.	Prometno opterećenje .....	15
3.2.	Formula vjerojatnosti blokiranja na putu.....	16
3.2.1.	Erlang B formula .....	16
3.2.2.	Mjerna jedinica Erlang.....	18
4.	Prometna mreža korištena u analizi.....	19
4.1.	Prikaz mreže i njen opis.....	19
4.2.	Ulazno / izlazni čvorovi .....	20
4.3.	Više mogućih ruta .....	21
5.	Opis prometnih slučajeva .....	23
5.1.	Prometni slučaj A.....	23
5.2.	Prometni slučaj B.....	24
5.3.	Prometni slučaj C.....	24
6.	Prikaz rezultata analize vjerojatnosti blokiranja .....	25
6.1.	Analiza prometnog slučaja A .....	25
6.2.	Analiza Prometnog slučaja B .....	27
6.3.	Analiza prometnog slučaja C .....	29
7.	Zaključak.....	32
	LITERATURA.....	33
	KRATICE .....	34
	POPIS SLIKA .....	36
	POPIS TABLICA.....	37

# 1. Uvod

Vjerojatnost blokiranja poziva je jedan od problema prilikom uspostave poziva i kao takav nameće se kao negativna strana informacijsko - komunikacijskih tehnologija odnosno jedne od tehnologija. Vjerojatnost blokiranja se određuje pomoću prometnog modela i gotovih formula za vjerojatnost blokiranja. Na primjeru mreže druge generacije mobilnih mreža u ovome radu, određivat će se vjerojatnost blokiranja za različite prometne slučajeve koji su objašnjeni i analizirani u 5. i 6. poglavlju.

Cilj završnog rada je objasniti vjerojatnost blokiranja, zašto se pojavljuje, gdje se pojavljuje i u kojem trenutku, te kako ga smanjiti.

Svrha završnog rada i analize je odrediti u kojim je mrežnim uvjetima najmanja vjerojatnost blokiranja. U završnom radu je prikazan uvod u vjerojatnost blokiranja i mrežne parametre, te samu mrežu.

Tema završnog rada je Analiza vjerojatnost blokiranja na putu za različita prometna opterećenja mreže. Završni rad podijeljen je u 7 cjelina:

1. Uvod
2. Arhitektura mobilne mreže
3. Model za izračun vjerojatnosti blokiranja na putu
4. Prometna mreža korištena u analizi
5. Opis prometnih slučajeva
6. Prikaz rezultata analize vjerojatnosti blokiranja
7. Zaključak.

U drugom poglavlju razradit će se arhitektura GSM (*Global System for Mobile Communications*) mreže zajedno s uslugama koje nudi te osnovna podjela GSM mreže. U ovom poglavlju objasniti će se pojam višeuslužne mreže.

Treće poglavlje sadržava model za izračun vjerojatnosti blokiranja na putu, a to znači upoznavanje s formulama i opis glavne formule za izračun vjerojatnosti blokiranja na putu. Ovo poglavlje odgovara na pitanje kako odabrati prometni model i pripadajuće formule.

Četvrto poglavlje prikazuje prometnu mrežu završnog rada po kojoj će se za različite prometne slučajeve računati vjerojatnost blokiranja na putu. Opisat će se uloga čvorova i koliko ruta postoji u mreži.

U petom poglavlju prikazana su tri prometna slučaja i njihove početne vrijednosti te put kojim poziv ili zahtjev prolazi.

U šestom poglavlju prikazan je rezultat usporedne analize pomoću grafikona, tablica i slika odnosno podatci dobiveni računanjem pomoću formula i korištenjem Erlang B kalkulatora.

## 2. Arhitektura mobilne mreže

Komunikaciju između izvora i odredišta uvijek ostvaruje se pomoću odašiljača i prijamnika kroz neki prijenosni medij (kabel, zrak, svjetlovod). Primjeri sustava koji koristi radiovalove i mikrovalove za prijenos informacije jesu mobilne mreže među kojima je i druga generacija bežičnih mobilnih mreža. Mobilna mreža druge generacije je ćelijske vrste. GSM pripada u skupinu mobilnih radio sustava kategorije PLMN (*Public Land Mobile Networks*). Arhitektura PLMN-a zasniva se na principu ćelijske pokrivenosti područja, [1].

Ćelija je područje koje bazna postaja pokriva radijskim signalom, a oblik se aproksimira krugom ili šesterokutom. Ćelija omogućuje postizanje većeg broja usporednih komunikacija u istom frekvencijskom opsegu, a mobilna mreža je tehnologija koja se temelji na radio prijenosu. Radio valovi su elektromagnetski valovi za čiju propagaciju su zadužene antene koje su dio radijskog djela GSM mreže.

Generacije bežičnih mobilnih mreža mogu se podijeliti na:

- 1G ili NMT (*Nordic Mobile Telephone*)
- 2G ili (GSM)
- 3G ili UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)
- 4G ili LTE (*Long Term Evolution*)
- 5G (5th generation)

### 2.1. Druga generacija mobilnih mreža

Glavna razlika između prve i druge generacije mobilnih mreža je u signalu koji se koristi, prva generacija koristi analogni signal dok se kod druge generacije javlja digitalni signal (npr. digitalno prenošenje govora). Osnovna značajka kod druge generacije je baziranost na digitalnoj tehnologiji. Osim digitalnog signala u ovoj generaciji je uveden sustav „telefon-prema-mreži“ (*phone-to-network*) - brzo signaliziranje. Najraširenija 2G tehnologija je GSM. GSM je osmišljen 1982. godine nakon što je osnovana udruga *Groupe Speciale Mobile* (GSM), čiji je cilj bio osmisliti i postaviti najbitnije temelje buduće europske i svjetske mobilne komunikacije. Godine 1991. prva komercijalna GSM mreža počela je raditi u Finskoj.

Uvođenjem 2G sustava mobilni telefoni postaju manji i lakši (oko 100-200 grama). Ta promjena u težini nastala je radi znatnog napretka u razvoju tehnologije. Osim manje težine prednosti su i kvalitetnije baterije, učinkovitija elektronika i uvođenje većeg broja ćelija i odašiljača.

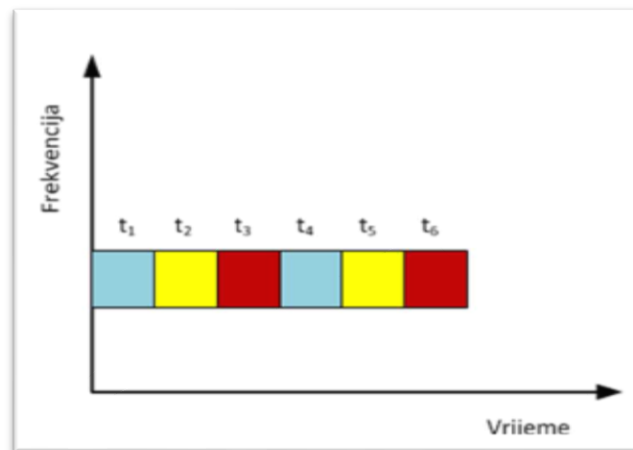
GSM je u potpunosti digitalan standard bežičnih mobilnih komunikacija. Digitalna mobilna mreža koja se najduže koristila na Afričkom kontinentu sve do 2019. godine kada ju



je pretekla 3. generacija bežičnih mobilnih mreža, [3]. GSM koristi višestruki pristup vremenskom raspodjelom kanala TDMA (*Time Division Multiple Access*). Frekvencijsko područje GSM 900 je od 890 do 960 MHz, a širina kanala je 200 kHz. Raspodjela kanala postoji za *uplink* i *downlink*. *Uplink* ima raspodjelu 890-915, a *downlink* 935-960 MHz.

Tehnike višestrukog pristupa su potrebne zato što se treba poslužiti mnogo terminalnih uređaja u isto vrijeme (oba smjera komunikacije) te zbog interferencije između različitih pošiljalatelja i primatelja. GSM je prvotno razvijen kao mreža temeljena na komutaciji kanala slično kao i PSTN (Public Switched Telephone Network), [4].

Kod višestrukog pristupa vremenskom raspodjelom vrijeme je podijeljeno u kratke odsječke (*slots*) i samo podatci s jednog mobilnog terminala prenose se u jednom odsječku. Svakom korisniku dan je određeni slot i on ga zadržava do kraja komunikacije kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1. TDMA, [3]

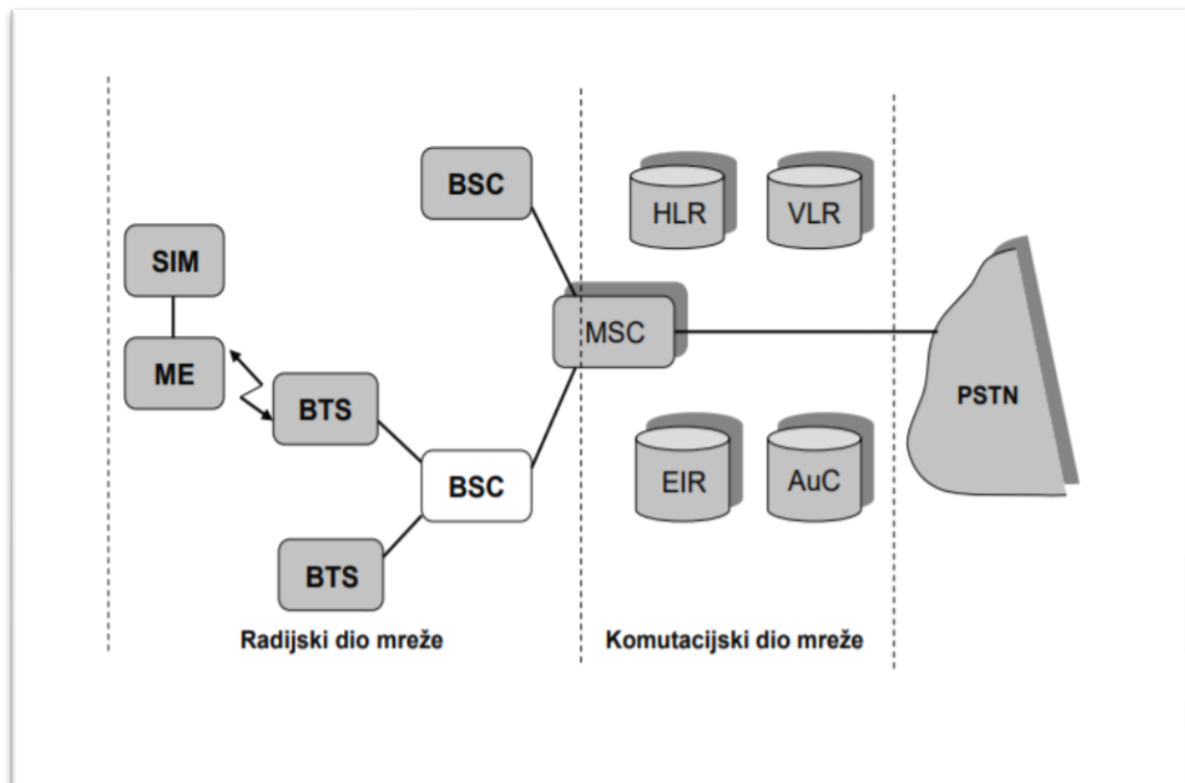
Prema [4], zahtjevi postavljeni pred GSM-om:

- Povećanje kapaciteta sustava uz bolju iskoristivost raspoloživog spektra.
- Mogućnost korištenja GSM opreme neovisno o državnim granicama (roaming).
- Povećanje kvalitete radio-veze kao povećanje opsega ponuđenih usluga.
- Smanjenje cijene korisničke opreme kao i cijene infrastrukture.
- Smanjenje veličine korisničke opreme.
- Povećanje efikasnosti baterijskog punjenja mobilnih stanica.
- Kompatibilnost sa digitalnim ISDN mrežama.
- Povećanje sigurnosti razgovora (smanjenje mogućnosti prisluškivanja).

Mobilne mreže su se s godinama razvijale rapidno i dosegle su tada nezamislive brzine prijenosa. GSM mreža je uzlaznu i silaznu brzinu mjerila u kb/s, dok je danas brzina u Mb/s, a u teoriji čak Gb/s.

## 2.2. Arhitektura GSM mreže

Arhitektura GSM mreže može se podijeliti na 2 dijela. Komutacijski dio i radijski dio. GSM mreža sastoji se od više funkcionalnih dijelova koji su prikazani na slici 2.



Slika 2. Arhitektura GSM mreže, [3]

U radijskom djelu mreže kontroleri bazne stanice spojeni su sa komutacijskim čvorištem, dok je bazna stanica spojena na kontroler bazne stanice. Radijski dio mreže možemo podijeliti na:

- BSC (*Base station controller*) – odgovoran je za dodjeljivanje frekvencija mobilnom uređaju, administraciju frekvencija i predaju veze između BTS-ova.
- BTS (*Base transceiver station*) – bazna postaja sadrži antenski sustav i primopredajni uređaj.

- c) ME (*Mobile equipment*) – mobilni telefon ili terminal.
- d) SIM (*Subscriber identity module*) kartica – identifikacijska kartica.

Komutacijski dio mreže sastoji se od:

- a) HLR (*Home location register*) – središnja baza podataka koja sadrži detalje o svakom pretplatniku mobilnog telefona koji je autoriziran za korištenje GSM mreže.
- b) VLR (*Visitor location register*) – registar podataka o „gostujućim“ pretplatnicima, odgovoran je za prebacivanje glasovnih poziva i praćenje točnog položaja područja u kojem se nalazi korisnik.
- c) AuC (*Authentication Centre*) – obavlja autorizaciju pretplatnika, usko surađuje s HLR.
- d) EIR (*Equipment Identity Register*) – registar za identifikaciju pokretne opreme.

*Mobile switching centre (MSC)* je direktno spojen na telefonsku mrežu (PSTN) i glavna zadaća je upravljanje radom BSC-ova te usmjerava, komutira i raskida pozive prema javnoj telefonskoj mreži. MSC upravlja prikupljanjem tarifnih podataka. Može se smatrati kao dio komutacijskog i radijskog djela mreže.

GSM je ćelijska mreža, što znači da se mobilni telefoni na nju povezuju traženjem ćelija u neposrednoj blizini uređaja.

Postoji pet različitih veličina GSM mreža:

- Makro ćelije – ćelije u mobilnim mrežama koje pružaju radio pokrivenost danu od velikih baznih stanica. Antene makro ćelija smještaju se najčešće na krovove i ostale objekte na određenim visinama koje pružaju jasan pogled na okolni teren.
- Mikro ćelije – ćelije koje pružaju pokrivenost manjih područja, kao što je trgovački ili poslovni centar, određene ulice i drugo. Antena se nalazi nešto niže nego antene makro ćelija, to jest nešto ispod krova što omogućuje veću zaštitu i manje smetnje uzrokovane okolinom. Pokrivaju otvoren prostor do trideset i dva kilometra, ali najčešće puno manje. Pokrivaju najčešće susjedne zgrade i ulice.
- Piko ćelije – ćelije čije bazne stanice pokrivaju malu površinu, kao što su manje zgrade, uredi, željezničke ili autobusne stanice, zrakoplovi i slično. Najčešće se koriste kako bi se signal doveo u zatvorena područja u kojima vanjski signali ne dopiru dovoljno ili kako bi se pojačao kapacitet mreže u područjima gdje je prijenos podataka gušći, to jest gdje je vanjska mreža opterećenija.
- Femto ćelije – ćelije dizajnirane za korištenje u kući ili u poslovnom okružju kao što su male tvrtke. U takvom okružju one omogućuju povezivanje i proširenje mreže na mjestima gdje bi njen pristup bio ograničen ili nedostupan.

- Čelije „kišobran“ – to su ćelije koje su zadužene za pokrivanje takozvanih rupa između ostalih ćelija. Čelija kišobran ili krovna ćelija pokriva nekoliko mikroćelija, [5].

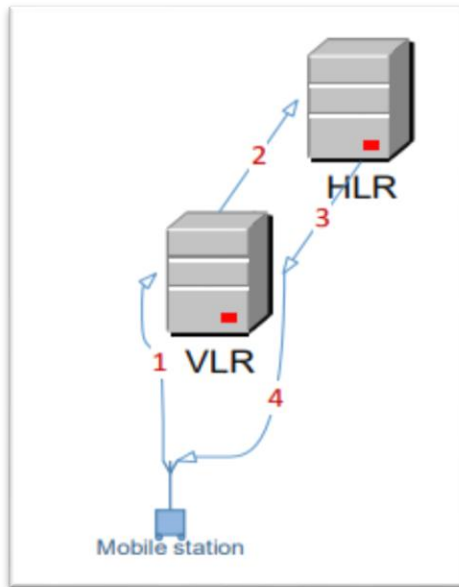
Mreža se sastoji od sljedećih komponenti:

- Podsustav bazne stanice (eng. *Base Station Subsystem*) - sastoji se od BSC-a i BTS-a te koristi *Abis* sučelje za komunikaciju između ta dva podsustava. Komunikacija je ograničena protokolima.
- Podsustav za mrežu i prebacivanje (eng. *Network and Switching Subsystem*) – dio mreže koji je najbliži fiksnoj mreži.
- GPRS (*General Packet Radio Service*) jezgrena mreža (eng. *GPRS Core Network*) – neobavezni dio koji omogućuje povezivanje na Internet, a prijenos podataka kao mod prijenosa koristi paket.
- *Operations support system* (OSS) – podsustav koji se koristi za održavanje mreže.

### 2.2.1. Komutacijske procedure u GSM mreži

Kod sustava 2. generacije veoma 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 prati stanje MS-a na način da prati njegovo uključivanje (*Attachment*) i isključivanje (*Deattachment*). 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 poziv 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 u novi VLR. Ukoliko se MS isključi, gubi se njegova lokacijska informacija i MS prestaje biti dostupan, [11].

Prigodom svake prve registracije i svake promjene lokacije mora se provesti registracijska procedura između MS-a, VLR-a i HLR-a (slika 3), [6].



Slika 3. Registracija u vlastitoj mreži, [7].

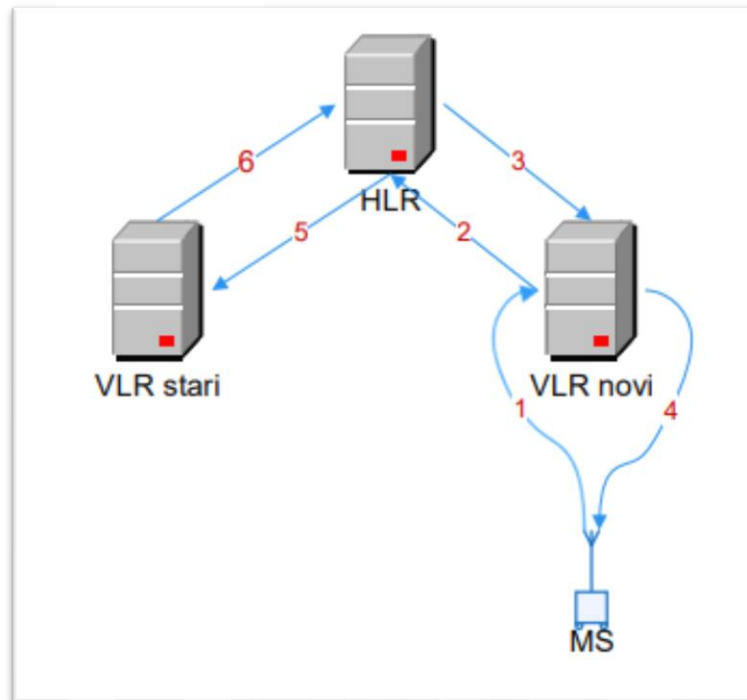
Registracija u vlastitoj mreži sadrži sljedeću signalizaciju, kako je prikazano slikom 3, unutar domaće mreže:

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 4. 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.

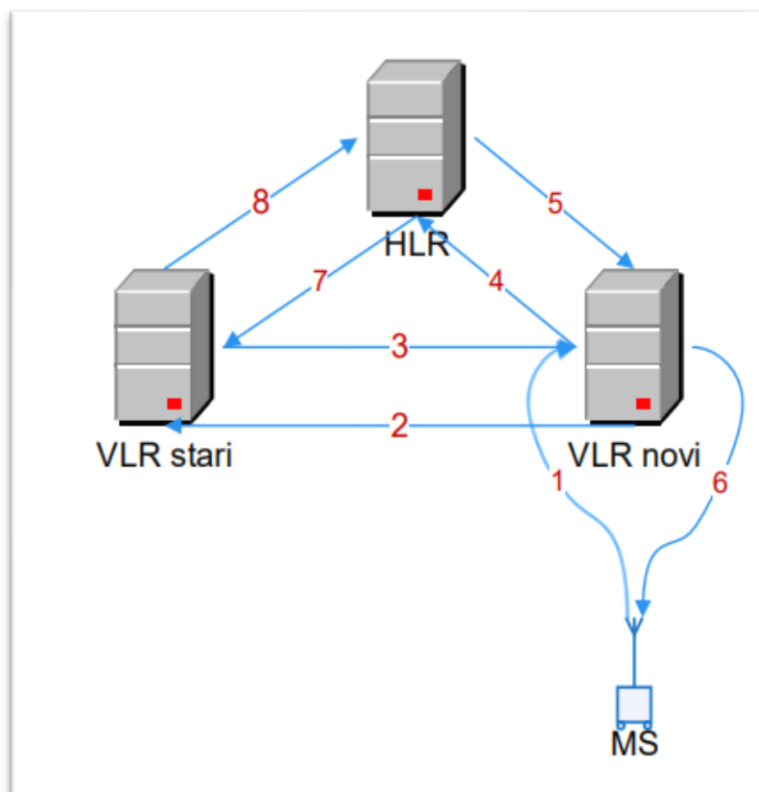
Ovakav način registracije omogućava MS-u da prilikom promjene lokacije ne mora znati adresu VLR-a kod kojeg je prethodno bio registriran jer se sva signalizacija obavlja unutar domaće mreže.



Slika 4. Registracija (nepoznat stari VLR), [7]

Drugi način registracije moguć je kad MS zna adresu VLR-a kod kojeg je bio prethodno registriran (slika 5). 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 5. Registracija (poznat stari VLR), [7]

### 2.2.2. Usluge mobilne mreže druge generacije

GSM pripada drugoj generaciji mobilnih mreža zajedno sa GPRS (*General Packet Radio Service*) i EDGE (*Enhanced Data for GSM Evolution*) standardima. Kao što i sami naziv govori EDGE je poboljšani standard u odnosu na GSM i GPRS. *Enhanced Data for GSM Evolution* je poznatiji pod terminom 2.5G odnosno standard između druge i treće generacije mobilnih mreža. U upotrebi je od 2004. godine, a brzina prijenosa podataka iznosi 100 kb/s u silaznoj vezi i oko 40 kb/s u uzlaznoj vezi, [7].

GPRS je osmišljen s ciljem da poveća propusnu moć tamo gdje je to potrebno i prvi je standard koji je omogućio korisnicima mobilnih uređaja, da preko mobilnog uređaja koriste pogodnosti Internet mreže. Brzine koje je GPRS dosegao su bile oko 9,6 kb/s. Usporedba dvije tehnologije prikazana je na slici 6.

Generacija	Oznaka	Tehnologija	Brzina downloada	Brzina uploada
2G	G	GPRS	0.1Mbit/s	<0.1Mbit/s
	E	EDGE	0.3Mbit/s	0.1Mbit/s

Slika 6. Opis 2 standarda, [3]

GPRS nadograđuje GSM usluge i omogućuje sljedeće usluge:

- stalan pristup Internetu,
- MMS (eng. *Multimedia Messaging Service*),
- PTT (eng. *Push to talk*) preko ćelija (*Poc/PTT*) – metoda komunikacije na kanalu koji podržava obostranu, ali neistovremenu (*half-duplex*), komunikaciju upotrebom tipke za prebacivanje s primanja poruka na slanje poruka,
- IM (eng. *Instant messaging*),
- podrška za aplikacije za pregledavanje Internet stranica namijenjene pametnim uređajima (eng. *smart devices*) preko protokola WAP (eng. *Wireless Application Protocol*) i
- P2P (eng. *Point-to-point*) spajanje na Internet.

Ako se koristi SMS preko GPRS-a moguće je postići brzinu prijenosa od oko 30 poruka u minuti. To je mnogo brže od prijenosa poruka putem GSM-a gdje je brzina prijenosa između 6 i 10 poruka u minuti, [1].

GPRS podržava sljedeće protokole:

- IP (*Internet Protocol*),
- PPP (eng. *point-to-point protocol*) – ovaj način rada često ne podržava pružatelj usluge, ali ukoliko se koristi, mobitel se spaja na modem koji je povezan na računalo te se mobitelu dodjeljuje IP adresa,
- X.25 veze – obično se koristi za aplikacije kao što su bežični terminali za plaćanje.

GPRS veza se uspostavlja referencom na ime točke pristupa (eng. *Access point name* – APN). APN definira usluge kao što su WAP pristup, SMS, MMS te pristup elektroničkoj pošti i Internetu. Za uspostavljanje GPRS veze na bežični modem korisnik mora odrediti APN, korisničko ime i lozinku (opcionalno) te rijetko IP adresu. Sve navedeno korisniku dodjeljuje pružatelj usluge.

GPRS optimizira upotrebu mreže i radio resursa. Postoji stroga odvojenost između radio podsustava i mrežnog podsustava.

GSM je mobilna mreža koja je na svom početku služila za prijenos govora i koristila je komutaciju kanala, kao tehniku komutiranja, [7].

### **2.2.3. Višeuslužna mreža (MSN-Multi Service Network)**

Definicija višeuslužne mreže je da prenosi promet više od jedne vrste aplikacija. Usluge koje se prenose su usluge govora, podataka, pokretne slike, nepokretne slike i multimedijских usluga. Temeljna podjela usluga sa stajališta telekom operatora dijeli se na:



- noseće ili nosive mrežne usluge
- teleusluge
- razne dodatne usluge, [4].

Noseće usluge (*Bearer Service*) - u telekomunikacijama, noseća usluga ili podatkovna usluga je usluga koja omogućuje prijenos informacijskih signala između mrežnih sučelja. Ove usluge daju korisniku potreban kapacitet za prijenos odgovarajućih signala (digitalnih informacija) između određenih pristupnih točaka, tj. sučelja korisničke mreže.

Teleusluga – je kompletna usluga od kraja do kraja (*end-to-end*) i uključuje funkcionalnosti krajnjih terminalnih uređaja. Teleusluga se temelji na uslugama noseće mreže.

Dijeli se na četiri tipa teleusluga :

- interaktivne
- usluge prijenosa poruka
- usluge pretraživanja pohranjenih informacija
- distributivne usluge.

Razne dodatne usluge – mogu biti realizirane distributivno u svim čvorovima na svim razinama i centralizirano u određenim čvorištima za čitavu mrežu, [4].

#### **2.2.4. Sigurnost GSM mreže**

GSM je dizajniran tako da podržava umjerenu razinu sigurnosti usluge i pruža mnogo bolju sigurnost od analognih sustava prve generacije. GSM sustav koristi algoritam za kriptiranje govora, GMSK digitalnu modulaciju (eng. *Gaussian Minimum Shift Keying*), sporo preskakanje frekvencija i TDMA arhitekturu. Za presretanje i rekonstrukciju signala potrebno je posjedovati posebnu opremu, skuplju od policijskog skenera.

Sigurnost GSM sustava je orijentirana na sljedeće aspekte zaštite:

- autentikacija identiteta pretplatnika,
- povjerljivost identiteta pretplatnika,
- povjerljivost podataka vezanih uz pozive i
- povjerljivost korisničkih podataka.

Sigurnosni mehanizmi GSM sustava postoje u tri različite komponente sustava:

- SIM (eng. *Subscriber Identity Module*) kartica,
- GSM uređaj, odnosno mobilni telefon te
- GSM mreža.

SIM kartica sadrži:

- IMSI (eng. *International Mobile Subscriber Identity*) broj,
- jedinstveni autentikacijski ključ pretplatnika (*K<sub>i</sub>*),
- algoritam za stvaranje kriptografskog ključa (algoritam A8) i
- PIN (eng. *Personal Identification Number*) broj, [5].

### 3. Model za izračun vjerojatnosti blokiranja na putu

Vjerojatnost blokiranja je vjerojatnost da su svi poslužitelji zauzeti odnosno vjerojatnost da će zahtjev za uslugom biti odbijen. Ovisi o ponuđenom prometu i broju poslužitelja. Određuje se pomoću Erlangove B-formule (formule gubitaka). Zbog kompleksnog izračunavanja vrijednosti za velik broj kanala, izračunate vrijednosti su tabelirane za ponuđeni promet od 0,1 do 36,4 [Erl] i broj poslužitelja od 1 do 55.

Vjerojatnost čekanja na posluživanje je vjerojatnost da će prispjeli zahtjev čekati na posluživanje, vjerojatnost suprotnog događaja od događaja da je barem jedan poslužitelj slobodan. Određuje se pomoću Erlangove C-formule. Zbog kompleksnog izračunavanja vrijednosti za velik broj kanala, izračunate vrijednosti su izražene u tablicama za ponuđeni promet od 0,1 do 36,2 [Erl] i broj poslužitelja od 1 do 51, [8].

#### 3.1. Promet i analiza prometa

Promet je količina podataka ili jedinica informacija koja se prenese u određenom vremenskom intervalu. Kako bi se mogao kvalitetno analizirati promet potrebno je uzeti u obzir nekoliko bitnih faktora:

- mjerenje prometnog opterećenja
- tipovi / vrste prometa
- razina usluge
- metoda uzimanja uzoraka.

Razina usluge (*GoS - Grade of service*) definira se kao vjerojatnost da će poziv biti blokiran u nastojanju da zauzme poslužitelja. Zove se faktor blokiranja ili samo blokiranje.

Npr. ako je faktor blokiranja  $P_b = 0,01$  to znači da:

- je 1 % vjerojatnost da će poziv biti blokiran na određenom resursu (s gledišta operatera)
- će od 100 poziva jedan biti blokiran (s gledišta korisnika), [4].

### 3.1.1. Odabir prometnog modela

Kriterij za odabir prometnog modela može se opisati i odabrati uz pomoć nekoliko elemenata, a ti elementi su:

- uzorci dolazaka poziva
- vrijeme zauzimanja resursa
- *blokirani pozivi*
- broj izvora.

Za ovaj završni rad najzanimljiviji element je blokirani pozivi. Blokirani poziv je onaj poziv koji nije poslužen odmah. Osnovni tipovi blokiranih poziva su:

- a) Blokiranje poziva uz zadržavanje ili LCH (*Lost Calls Held*)
- b) Blokiranje poziva s odbijanjem ili LLC (*Lost Calls Cleared*)
- c) Blokiranje poziva s čekanjem ili LCD (*Lost Calls Delayed*)
- d) Blokiranje s ponovnim pokušajima ili LCR (*Lost calls Retired*)

Prometni modeli koji se najčešće koriste su Erlangov B model, prošireni Erlangov B model, te Erlangov C model. U analizi vjerojatnosti blokiranja koristit će se Erlangova B formula te formula za vjerojatnost blokiranja na putu.

### 3.1.2. Prometno opterećenje

Prometno opterećenje  $\rho$  jednog poslužitelja (kanala) uz potpunu dostupnost i jednoliku razdiobu opterećenja je:

$$\rho = \frac{A_{ost}}{m} \quad (1)$$

$A_{ost}$  - ostvareni promet u mreži ili na linku

$m$  - broj kanala

Prometno opterećenje može se interpretirati kao promet po jednom poslužitelju, vjerojatnost da je poslužitelj zauzet te iskorištenost poslužitelja bilo da je riječ o kapacitetu ili vremenu, [9].

### 3.2. Formula vjerojatnosti blokiranja na putu

Prema [10], formula za izračun vjerojatnosti blokiranja na putu daje odgovor na pitanje koliko je blokiranje na putu između mobilne stanice, bazne stanice, komutacijskog čvora i ostalih dijelova mreže. Jako je bitno napomenuti da je izračun baziran na jednom smjeru. Izraz je prikazan formulom:

$$P_{b_{jk}} = 1 - \prod_i (1 - p_i) \quad (2)$$

gdje je :

$P_{b_{jk}}$  — vjerojatnost blokiranja na putu od jedne točke u mreži do druge

$\prod_i (1 - p_i)$  — umnožak vjerojatnosti blokiranja na određenom linku između elemenata mreže

Formula za vjerojatnost blokiranja na putu koristiti će se kao glavna formula preko koje će se računati problemski zadatak i blokiranje poziva u mreži.

#### 3.2.1. Erlang B formula

Nastavno na kriterije odabira prometnog modela (poglavljje 3.1.1.), postoji niz prometnih modela koji se koriste, a najčešći su:

- a) Erlanogov B model
- b) Prošireni Erlangov B model
- c) Erlangov C model

$$p_b = \frac{\frac{A_p^m}{m!}}{\sum_{i=0}^m \frac{A_p^i}{i!}} \quad (3)$$

U nastavku slijedi opis Erlangove B formule koja je opisana prema [2].

$A_p$  – ponuđeni promet (*offered traffic*)

$p_b$  – vjerojatnost da će zahtjev biti odbijen = vjerojatnost da su svi poslužitelji zauzeti

$m$  – broj poslužitelja

Tablica 1. prikazuje prometne modele po uzoru na [4]. Prometni model po kojem se izračunava vjerojatnost blokiranja u završnom radu je Erlangov B prometni model.

Tablica 1. Prometni model

Prometni model	Izvor	Uzorak dolazaka	Blokiranje poziva	Vrijeme zauzimanja resursa
Poisson	Neograničen	Slučajna varijabla	Sa zadržavanjem	Eksponecijalna
Erlang B	Neograničen	Slučajna varijabla	S odbijanjem	Eksponecijalna
Prošireni Erlang B	Neograničen	Slučajna varijabla	S ponovnim pokušajem	Eksponecijalna
Erlang C	Neograničen	Slučajna varijabla	Sa čekanjem	Eksponecijalna

Izvor: [4]

Erlangov B model temelji se na gubitku poziva koji nastaje zbog blokiranja, kada je poslužitelj nedostupan odnosno zauzet. Kao što je prikazano postoje 4 tipa blokiranih poziva, a s korisnikove strane postoji potreba za ponovnom uspostavom poziva i zahtjeva. Pozivatelj ponavlja pozivanje sve dok ponovno poslužitelj ne bude dostupan i spreman za sesiju. Tablica 1 prikazuje svojstva i temelje Erlangovog B modela na primjeru izvora, uzoraka dolazaka, blokiranih poziva i vremenom zauzimanja resursa. Vidljivo je kako je blokiranje poziva s odbijanjem, svojstvo Erlangovog B modela.

*Lost Calls Cleared (LCC)* za ovakav način blokiranja poziva karakteristično je da u slučaju da novi poziv dolazi u sustav u kome 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 je koncept koji se primjenjuje u Europi, koji pretpostavlja da korisnik nakon dobivanja signala zauzeća će spustiti slušalicu i pokušati ponovno nakon određenog vremena. Za takav poziv se smatra da je nestao iz sustava i ponovni pokušaj će se smatrati kao iniciranje novog poziva, [10].

Erlangov B model koristi se:

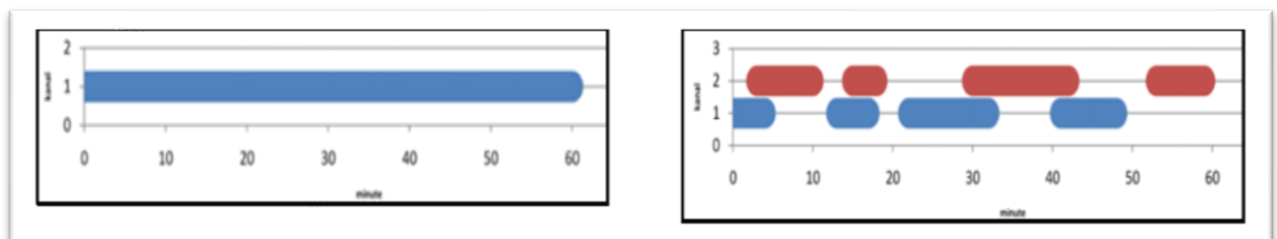
- kada su blokirani pozivi ponovno rutirani i nikad se ne vraćaju na originalni link
- kada se očekuje vrlo malo blokiranje
- za skupinu kanala gdje je prisutan prvi pokušaj uspostave poziva, gdje se ne mora uzimati u razmatranje intenzitet ponovnih pokušaja, jer su pozivi ponovno rutirani
- kada pozivatelj radi samo jedan pokušaj ako je poziv blokiran, tada se poziv ponovo rutira

### 3.2.2 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, [4].

Jedan Erlang odgovara prometu od 3600 sekundi nastalih od poziva na istom poslužitelju/kanalu (prikazano na slici 7a) ili prometnom opterećenju koje je dovoljno da bi držalo zauzetim jedan sat - jedan kanal (prikazano na slici 7b).



(a) prikaz na jednom kanalu

(b) prikaz na više kanala

Slika 7. Prikaz jedinice prometa Erlang

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.

## 4. Prometna mreža korištena u analizi

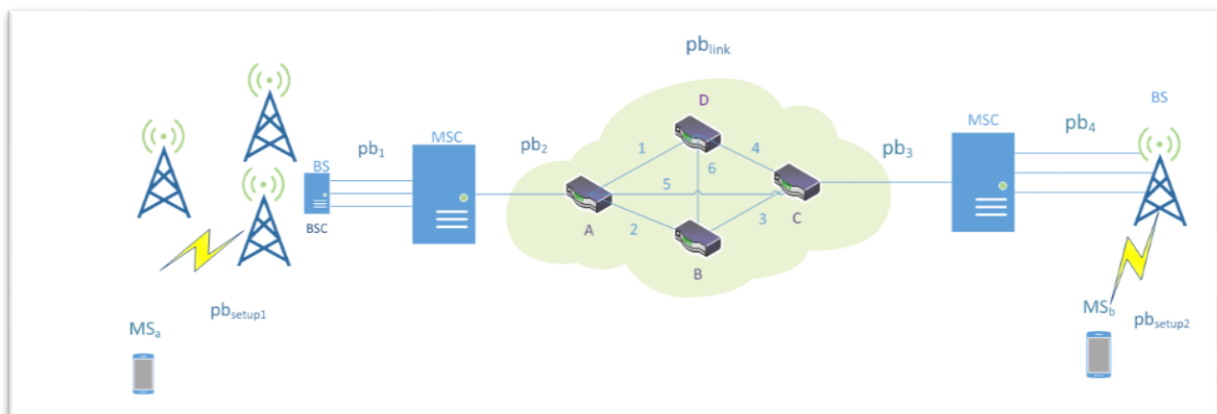
Prometna mreža korištena u analizi sastoji se od niza elemenata i uređaja koji zajedno čine cjelinu u kojoj se računa vjerojatnost blokiranja na putu pod različitim opterećenjem mreže i različitom vrijednosti nailazaka poziva. Mreže u telekomunikacijama razlikuju se i dijele prema više kriterija, a jedan od njih je na pokretne i nepokretne mreže.

Prema HAKOM-u pokretna elektronička komunikacijska mreža obuhvaća prijenosne sustave i prema potrebi opremu za prospajanje ili usmjeravanje i druga sredstva koja omogućuju prijenos signala radijskim ili drugim elektromagnetskim sustavom bez obzira na vrstu podataka koji se prenose te omogućavaju uspostavljanje elektroničke komunikacijske veze i u uvjetima fizičkog kretanja korisnika usluga te mreže.

Nepokretna elektronička komunikacijska mreža obuhvaća prijenosne sustave i prema potrebi, opremu za prospajanje ili usmjeravanje i druga sredstva koja omogućuju prijenos signala žičnim, svjetlosnim ili drugim elektromagnetskim sustavom bez obzira na vrstu podataka koji se prenose te omogućavaju uspostavljanje elektroničke komunikacijske veze na određenoj lokaciji, odnosno, to je elektronička komunikacijska mreža koja ne obuhvaća pokretnu elektroničku komunikacijsku mrežu, [11].

### 4.1. Prikaz mreže i njen opis

Mreža prikazana na slici 8 prikazuje potencijalne rute kojim određeni poziv putuje nakon što se početna sesija izvrši. Računati će se vjerojatnost blokiranja  $pb_{ijk}$  na putu od mobilne stanice  $MS_a$  do mobilne stanice  $MS_b$ .



Slika 8. Prometna mreža korištena u analizi

Mreža se sastoji od mobilne stanice (mobilnog terminalnog uređaja) koji je inicijator poziva. Zatim se poziv spaja preko bazne stanice do komutirane mreže (MSC) i tada ulazi u čvorište (različita opterećenja mreže na različitim putevima), te prolazi u novo komutacijsko



čvorište i tada se poziv spaja na drugu baznu stanicu (najbližu gdje je primatelj poziva) sa svojim terminalnim uređajem odnosno mobilnom stanicom.

Dijelovi mreže su:

- Mobilna stanica MS – mobilni terminalni uređaj ili popularan naziv mobitel koji u ovom slučaju služi za uspostavu ili pokretanje poziva i s njim se koristi korisnik, te se sastoji od ME (*mobile equipment*) i SIM (*subscriber identity module*)
- Bazna stanica BS – bazna stanica je fiksni dio bežične telekomunikacijske mreže, a glavna svrha je prijenos podataka na i sa MS-a
- Kontroler bazne stanice (BSC)– upravljački dio bazne stanice
- Komutacijski dio mreže (MSC) – dio mrežnog podsustava
- Usmjerenik ili ruter – uređaj koji se rabi kod međusobnog povezivanja dvaju ili više LAN-ova na trećoj razini OSI-RM (*Network layer*), u mreži služi kao čvor koji usmjerava pozive.

## 4.2. Ulazno / izlazni čvorovi

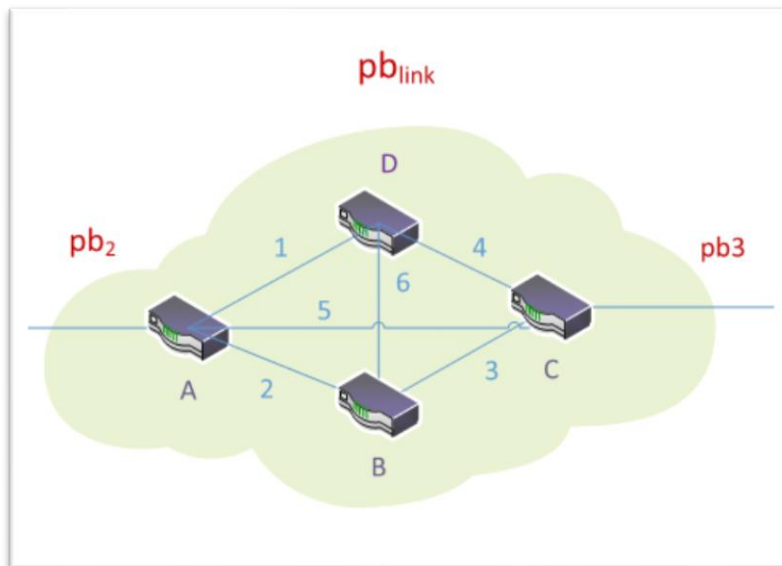
Čvorovi bežične mreže koriste raspoložive resurse čvora kako bi koristile svoju funkcionalnost. Čvorovi bežične mreže dijele raspoložive resurse. Mrežna topologija definira više različitih kategorija po kojima se mogu utvrditi sastavni dijelovi i način rada mreže. Najčešća podjela mrežne topologije se odnosi na fizičku topologiju i logičku topologiju. Neke od fizičkih topologija su:

- Point to point – dva čvora i link mrežusobno komuniciraju
- BUS – centralni vodič povezuje ostale dijelove mreže
- Zvijezda – središnji čvor je povezan na sve ostale čvorove
- Mesh – svaki čvor je povezan jedan sa drugim

Logička mrežna topologija – prikazuje putanju podataka između čvorova u mreži. Povezane su tako da se pristupa mediju za slanje podataka (*MAC-Media Access Control*). Logičke topologije je moguće dinamički konfigurirati pomoću rutera i switcha [13]. U prometnoj mreži izrađenoj za potrebe završnog rada usmjerenici su povezani jedan sa drugim.

### 4.3. Više mogućih ruta

Vjerojatnost blokiranja ovisi o prometnom opterećenju mreže, broju kanala i vremenu posluživanja. Više mogućih ruta, odnosno različit broj kanala na pojedinom linku i između čvorova, ovisit će o vjerojatnosti blokiranja te će biti veća ili manja od očekivane vrijednosti. Kao što je prikazano na slici broj 9 postoje četiri čvora i svaki je povezan s ostalim čvorovima preko tri linka (ukupno ih je 6).



Slika 9. Prikaz potencijalnih ruta

U završnom radu analiziraju se tri različite rute. Prva ruta kojom prolazi poziv kreće od mobilne stanice koja se spaja na baznu stanicu, a između njih postoji vjerojatnost blokiranja *setup* kanala. Nakon toga poziv se spaja na komutacijsko čvorište MSC i preko usmjernika A ulazi u jezgrenu mrežu i usmjerava se preko linka broj 5 te izlazi iz tog djela mreže kroz usmjernik C. Komutacijsko čvorište na drugoj strani mreže omogućuje mobilnoj stanici da se spoji na baznu stanicu. Ruta broj 5 nazvana je zato što prolazi linkom broj 5 u jezgrenoj mreži. U tablici ruta broj 5 biti će označena kao ruta X.

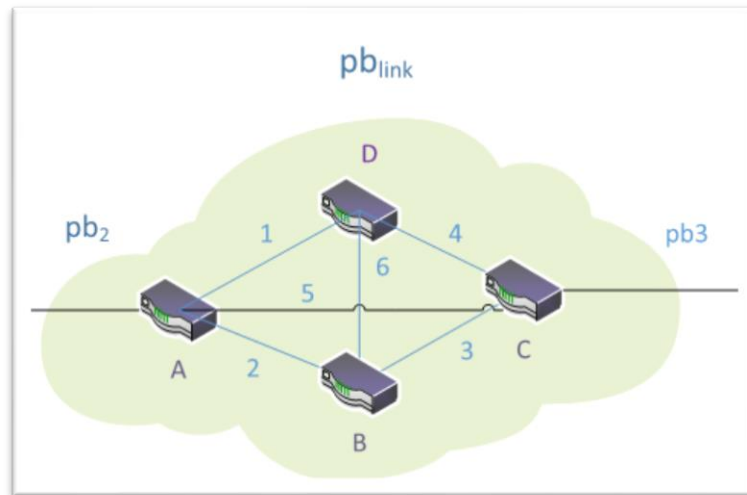
Druga ruta se razlikuje po tome što se u jezgrenoj mreži usmjerava poziv preko usmjernika A, D i C te prolazi linkovima jedan i četiri. Usmjernik A usmjerava poziv linkom broj 1 do usmjernika D, koji poziv dalje usmjerava do usmjernika C. Poziv nastavlja dalje put kao i kod rute broj 5. U tablicama ova ruta biti će označena kao ruta Y.

U trećoj ruti poziv ulazi u jezgrenu mrežu na istom mjestu kao i dosadašnje rute. Razlika je u usmjerniku B koji je poveznica između ulaza i izlaza u jezgrenoj mreži i usmjerava taj poziv linkovima 2 i 3. Označena je u tablicama kao ruta Z.

Tablica 2. Broj kanala na pojedinom linku

Broj linka	1	2	3	4	5	6
Broj kanala	20	18	22	16	19	14

U tablici 2. prikazan je broj kanala za pojedini link i njegov naziv odnosno broj. Na ovom primjeru je prikazana jedna od mogućih ruta. Broj kanala na pojedinom linku bitan je za izračun ukupne vjerojatnosti blokiranja na putu. Ponuđeni promet izračunava se preko formule za prometno opterećenje (3). U završnom radu razmatraju se tri različite rute, dok je na slici 10 prikazana jedna od tih ruta za koje će se izračunavati vjerojatnost blokiranja na putu  $pb_{jk}$ .



Slika 10. Prikaz jedne od ruta

Iznos intenziteta nailazaka poziva ima velik utjecaj na ponuđeni promet i broj kanala na svakom linku. Ruta koja se ponavlja u tri slučaja analize ide preko linka broj 5 naznačena je na slici 10 crnom bojom.

Usmjernik u ovoj mreži ima ulogu čvora i usmjeravanjem tih podataka i poziva koristi određene protokole. Takvi protokoli se zovu usmjerivački protokoli. Usmjerivački protokoli dijele se prema načinu izračunavanja optimalnog puta na:

- Protokole vektora udaljenosti (eng. *Distance-vektor*)
- Protokole stanja veze (eng. *link-state*)

Protokoli vektora udaljenosti određuju najbolji put na osnovu informacije koliko je udaljeno odredište paketa. Susjednim usmjernicima se šalje cijela tablica usmjeravanja. Najpoznatiji protokol ove vrste je RIP (*Routing information protocol*) protokol.

Protokoli stanja veze rade na način da svaki usmjernik zna topologiju mreže i ne šalje se cijela tablica usmjeravanja, nego se svim usmjernicima u mreži šalje samo informacija o stanju veze u obliku malih paketa. Primjer ovog protokola je OSPF (*Open shortest path first*), [13].

## 5. Opis prometnih slučajeva

Različiti prometni slučajevi promatrat će se preko mreže sa vidljivo označenim linkovima, a ti linkovi će opisivati put kojim je zahtjev prolazio od jedne strane mreže do druge, tj. od mobilne stanice  $MS_a$  do mobilne stanice  $MS_b$ .

U mreži je zadana vrijednost vjerojatnosti blokiranja setup kanala broj 1 te vrijednost blokiranja između bazne stanice i MSC-a (komutacijske podmreže), a na drugoj strani mreže zadane su iste te vrijednosti. Vrijeme posluživanja je fiksno i iznosi 2 minute, a intenzitet poziva je različit za svaki prometni slučaj. Računa se vjerojatnost blokiranja na pojedinim linkovima nakon što se uz pomoć broj kanala i ponuđenog prometa preko Erlang B formule dobije vjerojatnost blokiranja.

Za svaki primjer, slučaj kao što je i opisano postoje unaprijed određene veličine i one su jednake za svaki prometni slučaj. Uspostava poziva i mala vjerojatnost blokiranja su ciljevi prometne mreže korištene u ovom radu. Za svaki slučaj (A, B i C) u opisivanju koristiti će se samo 1 prometno opterećenje koje će se izračunati formulom (1).

Unaprijed određene i nepromjenjive veličine jesu :

- $T_s = 2$  minute (vrijeme posluživanja)
- $\lambda_1 = 360$  poz/h (intenzitet nailazaka zahtjeva za slučaj A)
- $\lambda_2 = 540$  poz/h (intenzitet nailazaka zahtjeva za slučaj B)
- $\lambda_3 = 450$  poz/h (intenzitet nailazaka zahtjeva za slučaj C)
- $pb_{\text{setup1}} = 0,005$
- $pb_1 = 0,0125$
- $pb_4 = 0,0035$
- $pb_{\text{setup2}} = 0,0005$
- $m = 25$  (broj kanala na linkovima gdje vrijedi  $pb_2$  i  $pb_3$ , slika 8)

### 5.1. Prometni slučaj A

U ovom prometnom slučaju unaprijed je zadan intenzitet nailazaka poziva, a prometno opterećenje mreže računa se preko formule (1). U prometnom slučaju A računat će se vjerojatnost blokiranja na putu za 3 različite rute ili puta koji imaju jednak intenzitet nailazaka poziva.

Za slučaj gdje je intenzitet poziva 360 poz/h potrebno je izračunati ponuđeni promet koji se dobije umnoškom vremena posluživanja i intenziteta nailazaka zahtjeva, a zatim se podijeli dobiveni ponuđeni promet sa brojem kanala koji je unaprijed zadan kako bi se izračunalo prometno opterećenje. Ovaj postupak se koristi za sve slučajeve gdje je zadan

intenzitet koji iznosi 360, 540 i 450 poziva po satu. U ovom slučaju izračunate vrijednosti za intenzitet od 360 poz/h su:

- $pb_{2\ i\ 3} = 0,0038$
- $\rho = 0,48$  (na linkovima gdje vrijedi  $pb_2$  i  $pb_3$ , slika 8)
- $A_A = 12$  Erl (na linkovima gdje vrijedi  $pb_2$  i  $pb_3$ , slika 8)

## 5.2.Prometni slučaj B

U prometnom slučaju B intenzitet nailazaka poziva je 540 poz/h i korištenjem formula za izračun ponuđenog prometa i prometnog opterećenja dobivene su slijedeće vrijednosti:

- $pb_{2\ i\ 3} = 0,0248$
- $\rho = 0,72$  (na linkovima gdje vrijedi  $pb_2$  i  $pb_3$ , slika 8)
- $A_B = 18$  Erl (na linkovima gdje vrijedi  $pb_2$  i  $pb_3$ , slika 8).

Vrijeme posluživanja je jednako kao i u ostala dva slučaja. Slučaj B ima najveći broj poziva odnosno intenzitet nailazaka poziva u odnosu na preostale slučajeve analizirane u završnom radu. Vjerojatnost blokiranja na linkovima 2 i 3 je jednaka zato što se koristi ista vrijednost intenziteta nailazaka poziva i jednak broj kanala koji iznosi 25 kanala.

## 5.3.Prometni slučaj C

Za sva tri slučaja potrebno je izračunati vjerojatnosti blokiranja na linkovima 2 i 3 te ponuđeni promet i prometno opterećenje prije nego što se krene računati to isto na pojedinim linkovima u jezgrenoj mreži, izuzev prometnog opterećenja koje je za svaki slučaj različito. U ovom slučaju izračunate vrijednosti za intenzitet od 450 poz/h su:

- $pb_{2\ i\ 3} = 0,005$
- $\rho = 0,6$  (na linkovima gdje vrijedi  $pb_2$  i  $pb_3$ , slika 8)
- $A_C = 15$  Erl (na linkovima gdje vrijedi  $pb_2$  i  $pb_3$ , slika 8).

Prema [9] formula koja se koristi za izračunavanje ponuđenog prometa je:

$$A = \lambda \cdot Ts \text{ [Erl]} \quad (4)$$

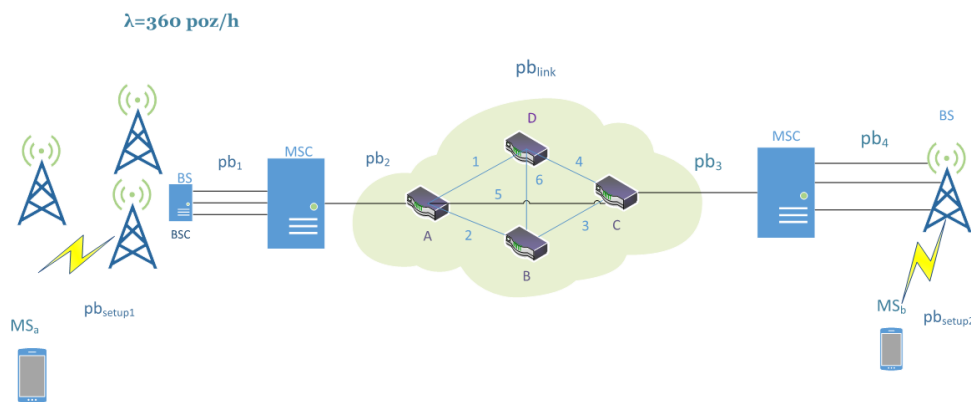
Svaki od slučajeva koji su navedeni analizira vjerojatnost blokiranja za tri različite rute i uspoređuju se rješenja te kako promjena puta utječe na vjerojatnost blokiranja i u kolikoj mjeri. Za prometni slučaj B koji ima najveći intenzitet nailazaka zahtjeva predviđa se najveća vjerojatnost blokiranja, ali to će ovisiti o broju kanala i ponuđenom prometu na pojedinom linku u jezgrenoj mreži.

## 6. Prikaz rezultata analize vjerojatnosti blokiranja

Rezultati analize vjerojatnosti blokiranja bit će prikazani uz pomoć tablice i grafikona kako bi se jasnije prikazalo i objasnilo što se je dobilo izračunom.

### 6.1. Analiza prometnog slučaja A

Prvi slučaj koji će se analizirati je prometni slučaj A. Put označen crnom linijom sastoji se od usmjernika A i B i jedan link između njih što znači da postoji jedno prometno opterećenje (npr. slika 13 postoji više linkova, pa tako i različit broj kanala i vjerojatnost blokiranja za svaki link). Taj put se koristi u izračunu za sva 3 slučaja.



Slika 11. Prikaz rute X za prometni slučaj A

Na slici 11 prikazana je mreža sa pripadajućom rutom X koja se računa za sva tri slučaja, a prikazana je na primjeru prometnog slučaja A.

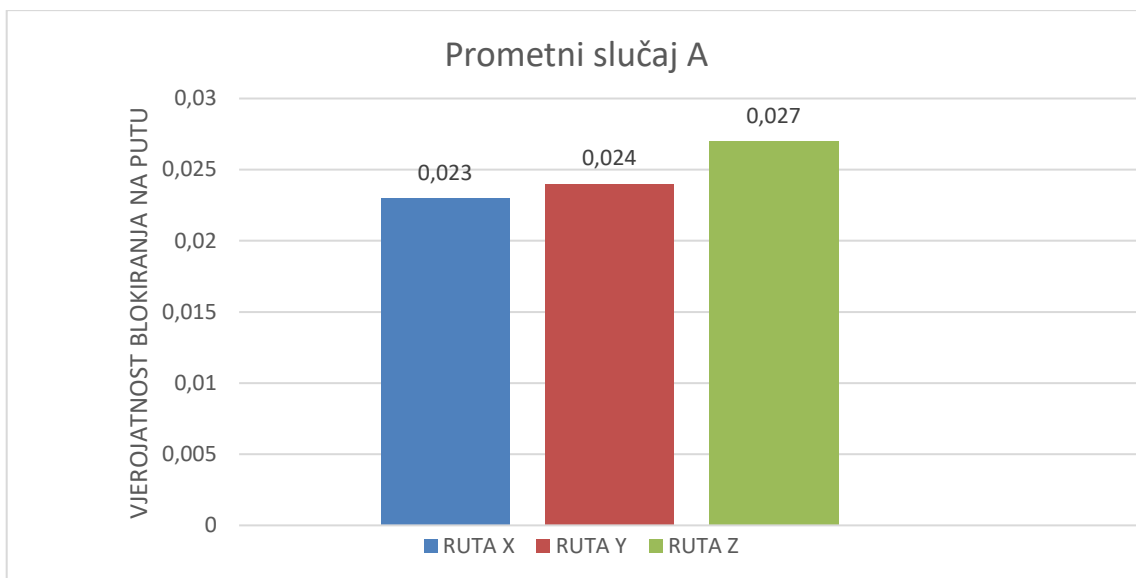
$$p_{bjk} = 1 - [(1 - p_{bsetup1}) \cdot (1 - p_{b1}) \cdot (1 - p_{b2}) \cdot (1 - p_{blink5}) \cdot (1 - p_{b3}) \cdot (1 - p_{b4}) \cdot (1 - p_{bsetup2})] \quad (4)$$

Vrijednosti koje se upisuju u formulu (4) prikazane su u tablici 3. Vrijednosti koje su se izračunavale i nisu zadane unaprijed, a odnose se na jezgrenu mrežu su ponuđeni promet na linku broj 5 koji iznosi 9,12 Erlanga i vjerojatnost blokiranja na istom linku koja iznosi 0,0014. Za ovaj slučaj intenzitet je 360 poz/h.

Tablica 3. Slučaj A izračun

Ruta	X(5)	Y(1-4)	Z(2-3)
Ponuđeni promet	12,00	12,00	12,00
Broj kanala m na linku 2 i 3	25	25	25
Prometno opterećenje	0,48	0,48	0,48
Vjerojatnost blokiranja pb2 i pb3	0.00038	0,00038	0,00038
Ponuđeni promet na linku br. 5	9,120	/	/
Broj kanala na linku br. 5	19	/	/
Vjerojatnost blokiranja pba5	0,0014	/	/
Ponuđeni promet na linku br. 1	/	9,6	/
Broj kanala na linku br. 1	/	20	/
Vjerojatnost blokiranja pba1	/	0,006	/
Ponuđeni promet na linku br. 4	/	7,68	/
Broj kanala na linku br. 4	/	16	/
Vjerojatnost blokiranja pba4	/	0,0014	/
Ponuđeni promet na linku br. 2	/	/	8,64
Broj kanala na linku br. 2	/	/	18
Vjerojatnost blokiranja pba2	/	/	0,0009
Ponuđeni promet na linku br. 3	/	/	10,56
Broj kanala na linku br.3	/	/	22
Vjerojatnost blokiranja pba3	/	/	0,004
Vjerojatnost blokiranja na putu	0,023	0,024	0,027
Broj blokiranih poziva	9	9	10

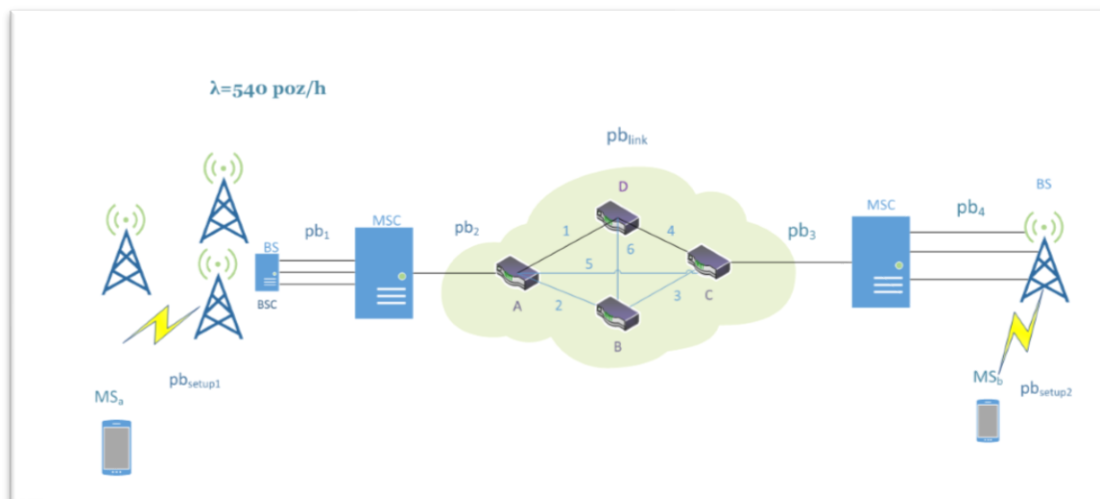
U tablici 3 prikazani su rezultati analize za intenzitet od 360 poz/h odnosno prometnog slučaja A. Iz tablice je vidljivo kako je slučaj A specifičan i postoje vrlo male razlike u iznosu vjerojatnosti blokiranja na putu. Broj blokiranih poziva u 2 minute posluživanja za rute X i Y je 9 poziva po satu, dok je za rutu Z prosječno 10 poziva po satu. Ponuđeni promet je umnožak vremena posluživanja koje je fiksno i iznosi 2 minute za sve slučajeve i intenziteta nailazaka poziva. U slučaju A broj izgubljenih poziva je vrlo mali što znači da je propusnost mreže dobra. U izračunu broj blokiranih poziva dobije se u decimalnom obliku i zaokružuje se na veći broj. Na grafikonu 1 je grafički prikazana vjerojatnost blokiranja na putu za tri rute analizirane u završnom radu.



Grafikon 1. Vjerojatnost blokiranja na putu za prometni slučaj A

## 6.2. Analiza Prometnog slučaja B

U ovom prometnom slučaju intenzitet je 540 poz/h. Za rutu Y ponavlja se formula koja je vrijedila u prometnom slučaju A, a razlika je u uvrštavanju i postoji jedna varijabla više. Umjesto  $pb_{link5}$  ubacuju se dvije varijable  $pb_{link1}$  i  $pb_{link4}$ .



Slika 12. Prikaz rute Y za prometni slučaj B

Slika 12 prikazuje kojim linkovima prolazi zahtjev odnosno poziv koji je upućen sa mobilne stanice. Vjerojatnost blokiranja na putu u ovom slučaju iznosom manja nego u slučaju A, ali razlika je u ponuđenom prometu koji je veći te prometnom opterećenju mreže koje isto tako veće.



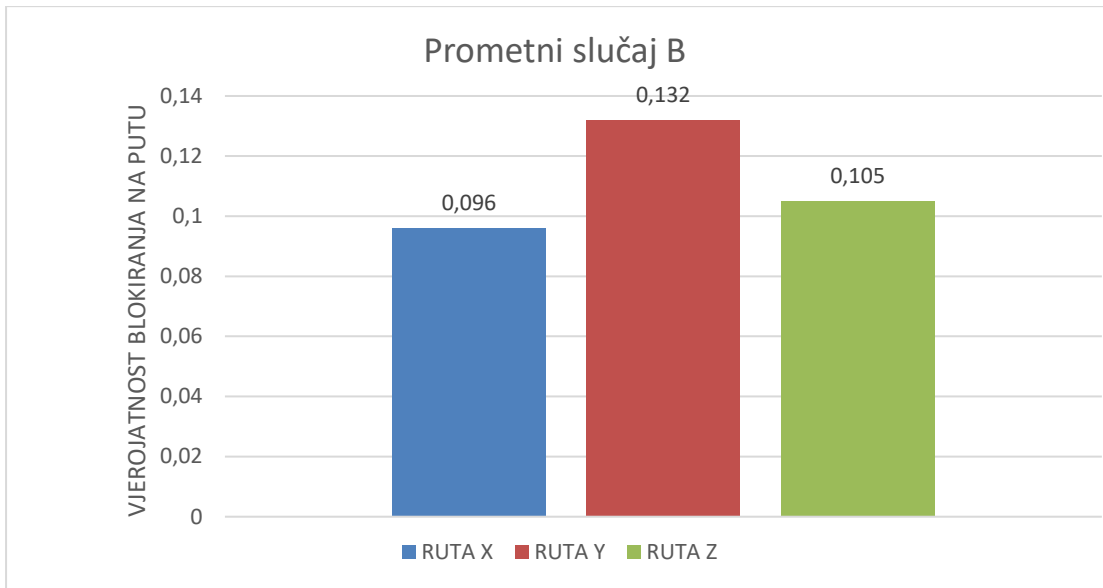
Tablica 4. Slučaj B izračun

Ruta	X(5)	Y(1-4)	Z(2-3)
Ponuđeni promet	18,00	18,00	18,00
Broj kanala m	25	25	25
Prometno opterećenje	0,72	0,72	0,72
Vjerojatnost blokiranja pb2 i pb3	0,02475	0,02475	0,02475
Ponuđeni promet na linku br. 5	13,68	/	/
Broj kanala na linku br. 5	19	/	/
Vjerojatnost blokiranja pba5	0,0284	/	/
Ponuđeni promet na linku br. 1	/	14,4	/
Broj kanala na linku br. 1	/	20	/
Vjerojatnost blokiranja pba1	/	0,03	/
Ponuđeni promet na linku br. 4	/	11,52	/
Broj kanala na linku br. 4	/	16	/
Vjerojatnost blokiranja pba4	/	0,0039	/
Ponuđeni promet na linku br. 2	/	/	12,96
Broj kanala na linku br. 2	/	/	18
Vjerojatnost blokiranja pba2	/	/	0,0265
Ponuđeni promet na linku br. 3	/	/	15,84
Broj kanala na linku br.3	/	/	22
Vjerojatnost blokiranja pba3	/	/	0,021
Vjerojatnost blokiranja na putu	0,096	0,132	0,105
Broj blokiranih poziva	52	72	56

Najviše odbijenih poziva je na ruti Y koja u jezgrenoj mreži prolazi linkom 1 i linkom 4 te iznosi 72 poziva po satu kao što je prikazano u tablici 4. Za slučaj B može se reći da ima nešto veću vjerojatnost blokiranja, ali je to još u granicama normalnog.

Broj kanala na pojedinom linku je zadan, a računao se ponuđeni promet koji niti na jednom linku nije bio veći od ponuđenog prometa na ulazu u jezgrenu mrežu. U ovom slučaju je najveći intenzitet  $\lambda$  i samim time raste i vjerojatnost blokiranja na putu.

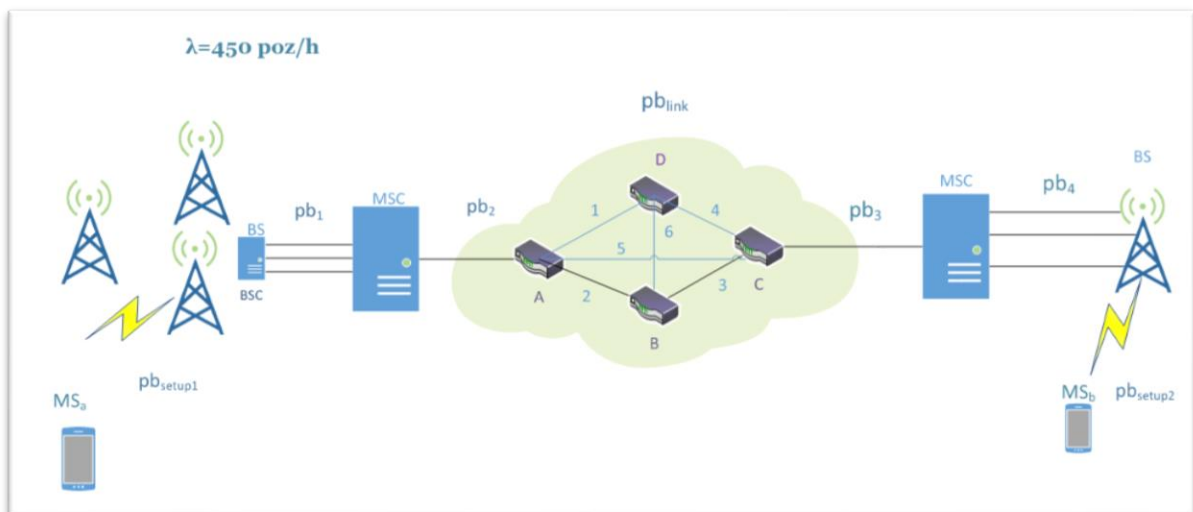
Grafički je prikazana vjerojatnosti blokiranja na pojedinim rutama u prometnom slučaju B (grafikon 2).



Grafikon 2. Prikaz vjerojatnosti blokiranja na putu za prometni slučaj B

### 6.3. Analiza prometnog slučaja C

Za prometni slučaj C i rutu Z, (slika 13) u jezgrenoj mreži uvrštavaju se vrijednosti za link 2 i za link 3. Ponuđeni promet za linkove  $pb_2$  i  $pb_3$  izračunat je za intenzitet od 450 poz/h i za vrijeme posluživanja od 2 minute. Isto tako prometno opterećenje od 0,6 vrijedi samo za slučaj C.



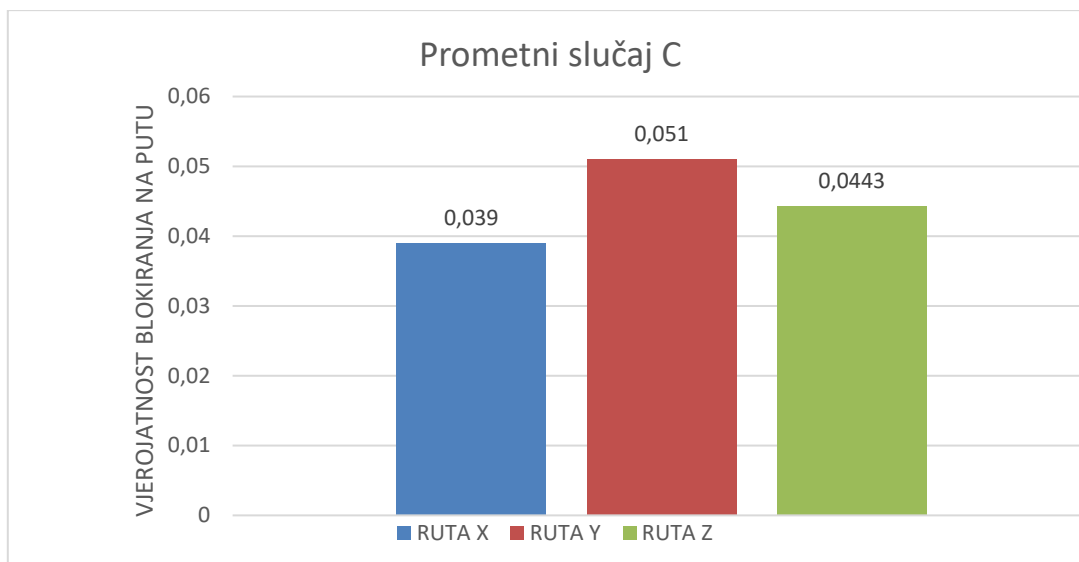
Slika 13. Prikaz rute Z za prometni slučaj C

Ponuđeni promet je jednak ja sve tri rute zato što su intenzitet nailazaka poziva i vrijeme posluživanja nepromijenjeni (misli se slučaj C i tri rute koje se analiziraju).

Tablica 5. Slučaj C izračun

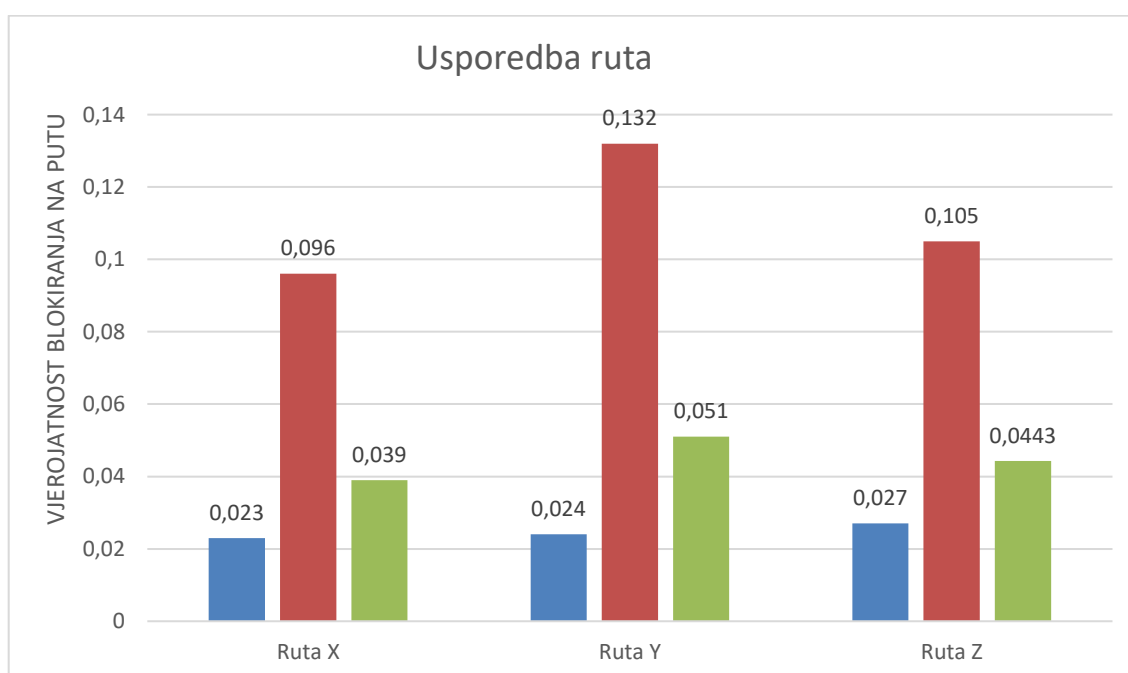
Ruta	X(5)	Y(1-4)	Z(2-3)
Ponuđeni promet	15,00	15,00	15,00
Broj kanala m	25	25	25
Prometno opterećenje	0,6	0,6	0,6
Vjerojatnost blokiranja pb2 i pb3	0,005	0,005	0,005
Ponuđeni promet na linku br. 5	11,4	/	/
Broj kanala na linku br. 5	19	/	/
Vjerojatnost blokiranja pba5	0,0085	/	/
Ponuđeni promet na linku br. 1	/	12,00	/
Broj kanala na linku br. 1	/	20	/
Vjerojatnost blokiranja pba1	/	0,0097	/
Ponuđeni promet na linku br. 4	/	9,6	/
Broj kanala na linku br. 4	/	16	/
Vjerojatnost blokiranja pba4	/	0,0011	/
Ponuđeni promet na linku br. 2	/	/	13,2
Broj kanala na linku br. 2	/	/	18
Vjerojatnost blokiranja pba2	/	/	0,0065
Ponuđeni promet na linku br. 3	/	/	10,8
Broj kanala na linku br.3	/	/	22
Vjerojatnost blokiranja pba3	/	/	0,0071
Vjerojatnost blokiranja na putu	0,039	0,051	0,0443
Broj blokiranih poziva	18	23	20

Rezultati izračuna su vidljivi u tablici 5 i odnose se samo za prometni slučaj C, a to je i prikazano grafikonom. Ponuđeni promet na ulazu i izlazu u jezgenu mrežu iznosi 15 Erl. Vjerojatnost blokiranja je manja nego u slučaju B, dok je veća od vjerojatnosti blokiranja u slučaju A. Broj blokiranih poziva je 5 posto ili manji što znači da mreža može primiti veći broj poziva u vremenu posluživanja.



Grafikon 3. Prikaz vjerojatnosti blokiranja na putu za prometni slučaj C

Grafikon 4 prikazuje vjerojatnosti blokiranja za sva tri slučaja i za svaku rutu kojom je poziv ili zahtjev prolazio.



Grafikon 4. Usporedba vjerojatnosti blokiranja  
(plavo = prometni slučaj A; crveno = prometni slučaj B; zeleno = prometni slučaj C)

## 7. Zaključak

Bežične mreže 2. generacije ili GSM danas se u većini zemalja svijeta manje koristi jer se zamjenjuje novijim tehnologijama. Danas je Afrički kontinent jedan od rijetkih područja gdje je još u upotrebi i to u svome vrhuncu. Arhitektura mobilne mreže druge generacije uz neke preinake omogućila je razvoj treće generacije bežičnih mobilnih mreža.

Za GSM mrežu može se reći kako je dovoljno sigurna i u svojem vrhuncu je bila napredna, naravno misleći se na vrijeme kada je bila dostupna u Europi, Aziji i Americi.

U završnom radu obrađena je analiza vjerojatnosti blokiranja na putu za različit intenzitet nailazaka zahtjeva. Za izradu mreže koristio se programski paket Visio 2016 sa svim pripadajućim alatima. Erlangove B tablice i Erlangov B kalkulator dostupan na internetu koristili su se za izračun konačne vjerojatnosti blokiranja na putu i na pojedinim linkovima.

Za sva tri prometna slučaja dobivene su različite vrijednosti prometnog opterećenja. Konačni rezultat i izračun prikazan je uz pomoć tablica i grafikona, a svaka mreža odnosno put kojim je poziv putovao od mobilne stanice  $MS_a$  do mobilne stanice  $MS_b$  prikazan je odgovarajućom slikom iz vlastitog primjera mreže.

Vjerojatnost blokiranja poziva je najveća za prometno opterećenje od 0,72 gdje je i intenzitet najveći i iznosi 540 poz/h. Za sva tri slučaja vidljivo je kako broj odbijenih poziva raste, dok u isto vrijeme raste intenzitet nailazaka poziva.

Broj linkova kojim putuje poziv (od 1 do 3) postavljeni su tako da se može jasno iščitati iz tablica i grafikona konačni rezultati i razlika između svakog slučaja. Vjerojatnost blokiranja ovisi o više varijabli koje su bile zadane i izračunavale se (prikazano u tablicama), a konačni izračun je bio uvrštavanjem u formulu za vjerojatnost blokiranja na putu. Što je veći intenzitet i što više linkova obuhvaća taj put to je vjerojatnost blokiranja i broj odbijenih poziva veći. U prometnom slučaju C iznosi vjerojatnosti blokiranja i broja odbijenih poziva prelaze prihvatljivu granicu.

Vjerojatnost blokiranja na putu ni u kojem slučaju ne prelazi vrijednost od 0,14 ili 14 posto, a slučajevi A i C imaju vjerojatnost blokiranja manju od 5 posto (samo u jednom slučaju je 5,1 posto) što je prihvatljivo. Pretpostavke koje su postavljene u analizi su se i ostvarile, a to je pretpostavka za slučaj B gdje je vjerojatnost blokiranja najveća.

## LITERATURA

- [1] URL: <https://www.cert.hr/wp-content/uploads/2019/04/NCERT-PUBDOC-2010-06-303.pdf> (pristupljeno: srpanj 2019.)
- [2] <https://www.gsma.com/r/mobileeconomy/sub-saharan-africa/>
- [3] Muštra, M. : Predavanja iz kolegija Mobilni komunikacijski sustavi, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.
- [4] Mrvelj, Š. : Predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa 1, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016.
- [5] URL: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/> (pristupljeno: lipanj, 2019.)
- [6] Bažant A., Gledec G., Ilić T., Ječić G., Kos M., Kunštić M., Iovrek I., Matijašević M., Mikac B., Sinković V., Osnove arhitekture mreža, 2. izdanje, Zagreb; 2007; p. 279-298.
- [7] URL: <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/GSM> (pristupljeno: lipanj 2019.), Margaret Rouse : GSM (Global System for Mobile communication)
- [8] Bošnjak, I. : Telekomunikacijski promet I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
- [9] Mrvelj, Š. , Bošnjak, I. : Primjeri i zadatci iz telekomunikacijskog prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2000[
- [10] Bošnjak, I. : Telekomunikacijski promet II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
- [11] URL: [https://www.hakom.hr/default.aspx?id=42\(hakom\)](https://www.hakom.hr/default.aspx?id=42(hakom)) (srpanj 2019.)
- [12] URL: <https://sysportal.carnet.hr/dokumenti> (pristupljeno: lipanj 2019.)
- [13] URL: <https://sysportal.carnet.hr/node/650>, (pristupljeno: Srpanj 2019.)
- [14] URL: <https://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/GSM.pdf> (pristupljeno: srpanj 2019.)
- [15] URL: <https://www.tutorialspoint.com/gsm/index.htm> ( pristupljeno: srpanj 2019.)

## **KRATICE**

NMT - Nordic mobile telephone

GSM – Global system for Mobile communications

UMTS – Universal mobile telecommunication system

LTE – Long term evolution

2G – Second-generation

TDMA - Time-division multiple access

PSTN - Public switched telephone network

ISDN - Integrated Services Digital Network

BTS - Base transceiver station

BSC – Base station controller

ME – Mobile equipment

HLR – Home location register

VLR – Visitor location register

AuC – Authentication Centre

EIR – Equipment Identity Register

MSC – Mobile switching centre

GPRS - General Packet Radio Service

MMS - Multimedia Messaging Service

PTT – Push to talk

OSS – Operations support system

IM – Instant messaging

WAP – Wireless Application protocol

P2P – Point to point

IP – Internet protocol

PPP – Point-to-point protocol

X.25 – Wan protocol

SGSN - Serving GPRS Support Node

GGSN - gateway GPRS support node

MS – Mobile station

BG – Border gateway

GMSK – Gaussian Minimum shift Keying

SIM - Subscriber Identity Module

IMSI - International mobile subscriber identity

PIN – Personal identification number

LCH – Lost calls held

LLC- Lost calls cleared

LCD- Lost calls delayed

LCR- Lost calls retired

HAKOM – Hrvatska Regulatorna agencija za mrežne djelatnosti

RIP – Routing information protocol

OSPF – Open shortest path first

PLMN - Public Land Mobile Networks



## **POPIS SLIKA**

Slika 1. TDMA, stranica 4.

Slika 2. Arhitektura GSM mreže, stranica 5.

Slika 3. Registracija u vlastitoj mreži, stranica 8.

Slika 4. Registracija (nepoznat stari VRL), stranica 9.

Slika 5. Registracija (poznat stari VRL), stranica 10.

Slika 6. Opis 2 standarda, stranica 10.

Slika 7. Prikaz jedinice prometa Erlang, stranica 18.

Slika 8. Prometna mreža korištena u analizi, stranica 19.

Slika 9. Prikaz potencijalnih ruta, stranica 21.

Slika 10. Prikaz jedne od ruta, stranica 22.

Slika 11. Prikaz rute X za prometni slučaj A, stranica 25.

Slika 12. Prikaz rute Y za prometni slučaj B, stranica 27.

Slika 13. Prikaz rute Z za prometni slučaj C, stranica 29.

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Prometni model, stranica 17.

Tablica 2. Intenzitet na pojedinom linku, stranica 21.

Tablica 3. Slučaj A izračun, stranica 26.

Tablica 4. Slučaj B izračun, stranica 28.

Tablica 5. Slučaj C izračun, stranica 30.