

# Određivanje raspodjele kanala u ćeliji s ciljem ostvarenja minimalnih gubitaka

---

**Nimac, Vedrana**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*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:119:614680>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-19**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Vedrana Nimac

ODREĐIVANJE RASPODJELE KANALA U ČELIJI S  
CILJEM OSTVARENJA MINIMALNIH GUBITAKA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

ODREĐIVANJE RASPODJELE KANALA U ĆELIJI S  
OSTVARENJA CILJEM MINIMALNIH GUBITAKA

ALLOCATION OF CELL TRAFFIC CHANNELS FOR ACHIEVING  
MINIMAL LOSSES

Mentor: dr. sc. Marko Matulin

Student: Vedrana Nimac

JMBAG: 0135185010

Zagreb, rujan 2017.

# **ODREĐIVANJE RASPODJELE KANALA U ČELIJI S CILJEM OSTVARENJA MINIMALNIH GUBITAKA**

## **SAŽETAK**

U ovom radu prikazan je ćelijski koncept i ukratko razvoj mobilnih mreža. Definiira se mjerna jedinica za promet Erlang i Erlangov B model, njegova primjena i proširenje. Također se opisuje sustav s prioritetom i definiraju formule koje se koriste. Na temelju više simulacija analiziraju se preformanse sustava s prioritetom ovisno o raspodjeli prometnog opterećenja i kanala unutar njega za poznate vrijednosti dostupnih kanala.

**KLJUČNE RIJEČI:** ćelijski koncept; Erlangov B model; sustavi s prioritetom; blokirani pozivi

# **ALLOCATION OF CELL TRAFFIC CHANNELS FOR ACHIEVING MINIMAL LOSSES**

## **SUMMARY**

This paper presents and explains the cellular concept and the development of mobile networks. It defines and describes the Erlang and Erlang B model, its application and extension. A mobile system with priorities is also described and formulas in use are defined. Based on multiple simulations, the performances of the mobile system with priorities are analyzed depending on the distribution of traffic loads and channels within it for the known values of available cell traffic channels.

**KEYWORDS:** cellular concept; Erlang B model; system with priorities; blocked calls

## SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
2	RAZVOJ POKRETNIH ĆELIJSKIH SUSTAVA.....	2
2.1	KOMPONENTE POKRETNOG ĆELIJSKOG SUSTAVA.....	2
2.2	ĆELIJSKI KONCEPT .....	3
2.3	EVOLUCIJA POKRETNIH ĆELIJSKIH SUSTAVA .....	7
2.3.1	PRVA GENERACIJA MOBILNIH SUSTAVA (1G).....	8
2.3.2	DRUGA GENERACIJA MOBILNIH SUSTAVA (2G).....	9
2.3.3	TREĆA GENERACIJA MOBILNIH SUSTAVA (3G).....	10
2.3.4	ĆETVRTA GENERACIJA MOBILNIH SUSTAVA (4G) .....	11
2.3.5	PETA GENERACIJA MOBILNIH SUSTAVA (5G).....	11
3	PROŠIRENI ERLANGOV MODEL I NJEGOVA PRIMJENA.....	13
3.1	MJERNA JEDINICA ERLANG .....	13
3.2	ERLANGOV B MODEL .....	13
3.3	PROŠIRENI ERLANGOV B MODEL.....	15
3.4	SUSTAVI S PRIORITETOM .....	16
4	KARAKTERISTIKE SKUPA ULAZNIH PODATAKA.....	19
5	BLOKIRANI I PREKINUTI POZIVI U ĆELIJI.....	21
6	ANALIZA PERFORMANSI ĆELIJE OVISNO O RASPODJELI KANALA .....	25
7	ZAKLJUČAK.....	29
8	LITERATURA .....	31

# 1 UVOD

Još među prvim civilizacijama postojala je potreba za komunikacijom i razmjenu informacija i znanja preko velikih udaljenosti. U tu svrhu većinom su se koristili vizualni signali poput dimnih signala, svjetlosne signalizacije, itd. Danas se razmjena informacija između izvora i odredišta obavlja uz pomoć tehnologije, te se cijeli taj proces naziva telekomunikacija. U cilju postizanja što bolje i brže govorne, podatkovne i višemedijske komunikacije razvoj telekomunikacijskih resursa je neophodan. U skladu s ubrzanom načinom života razvijaju se pokretne (mobilne) telekomunikacije gdje korisnici za vrijeme trajanja komunikacije mogu biti u pokretu. Kako bi kvaliteta usluge bila zadovoljavajuća, potrebno je mjeriti promet i analizirati mrežne resurse, tj. pravilno odrediti veličinu kapaciteta mreže kako ne bi došlo do blokiranja i gubitka poziva.

Cilj ovog rada je određivanje raspodjele kanala u ćeliji s ostvarenjem minimalnih gubitaka. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Razvoj pokretnih ćelijskih sustava
3. Prošireni Erlangov model i njegova primjena
4. Karakteristike skupa ulaznih podataka
5. Blokiranje i prekinuti pozivi u ćeliji
6. Analiza performansi ćelija ovisno o raspodjeli kanala
7. Zaključak.

U idućem poglavlju dane su osnovne značajke pokretnih ćelijskih sustava, kao što su komponente, koncept i temeljne prometno-tehnološke značajke te evolucija pokretnih ćelijskih sustava. Treće poglavlje bavi se definicijom i primjenom Erlangovog modela. U izradi su korišteni razni nastavni materijali i članci objavljeni na internetu.

Nakon teorijskog dijela u prva tri poglavlja, eksperimentalni dio dan je u idućim poglavljima. U četvrtom poglavlju generiran je skup ulaznih podataka. Objasnjeno je na koji način je odabrana distribucija koju prate intenziteti i trajanja pojedinih vrsta poziva. U petom poglavlju je zatim, korištenjem ulaznog skupa podataka generiranog u prethodnom poglavlju, provedena računica prekinutih poziva u ćeliji. Šesto poglavlje bavi se analizom ostvarenih performansi u ćeliji ovisno o broju kanala.

Konačno, u zaključku je dan pregled svih bitnih dobivenih rezultata.

## 2 RAZVOJ POKRETNIH ČELIJSKIH SUSTAVA

Mobilni komunikacijski sustavi su komunikacijski sustavi u kojima se ostvaruje veza između korisnika od kojih se najmanje jedan kreće ili je zaustavljen na unaprijed nepoznatoj lokaciji [1]. U takvim komunikacijama korisnik ostvaruje vezu upotrebom mobilnog uređaja (mobitela), pri čemu mreže određuju način transporta informacije, obradu poziva, pružanje usluga, dok usluge opisuju posebne i dodatne mogućnosti komunikacije (govor, podaci, tekst, video, SMS, EMS, MMS, itd.).

Uobičajeni mobilni telefonski sustavi imali su nekoliko nedostataka i bili ograničeni u smislu pružanja usluga. Iz tog razloga globalni sustav za mobilnu komunikaciju (engl. *Global System for Mobile Communications* - GSM) počeo se razvijati. Zahtjevi koji su morali biti zadovoljeni u novim sustavima su prema [2] uključivali:

- veći kapacitet sustava uz bolju iskoristivost raspoloživog spektra
- roaming - mogućnost korištenja mobilne opreme neovisno o državnim granicama
- veća kvaliteta radio-veze
- veći opseg ponuđenih usluga
- jeftinija korisnička oprema i smanjenje cijene infrastrukture
- smanjenje veličine korisničke opreme
- povećanje efikasnosti baterijskog punjenja mobilnih stanica
- manje veličine ćelija
- kompatibilnost s digitalnim ISDN (engl. *Integrated Services Digital Network*) mrežama
- veća „sigurnost“ razgovora (smanjenje mogućnosti prisluškivanja)

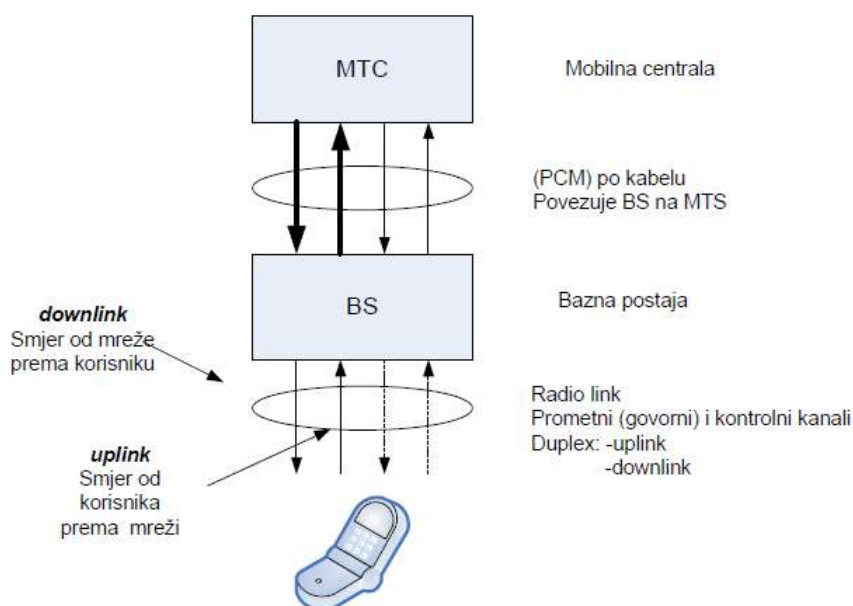
Glavne vrste mobilnih komunikacija danas su ćelijska telefonija, dojavljivački sustavi, bežična telefonija, privatni mobilni radiosustavi te prijenos podataka mobilnim sustavom. Temelj ovih sustava prema [3] je ćelijska struktura.

### 2.1 KOMPONENTE POKRETNOG ČELIJSKOG SUSTAVA

Ćelijski sustavi temelje se na podijeli geografskog područja na više manjih osnovnih jedinica zvanih ćelija. To je područje pokrivanja bazne stanice. Prema [3], bazna stanica sadrži opremu za prijem i odašiljanje signala od/do korisnika te uređaje koji omogućavaju povezivanje sustava na jezgrenu mrežu. Područje pokrivenosti ćelije ovisi o predajnoj snazi bazne stanice, predajnoj snazi mobilne stanice, dobitaka antene bazne stanice i konfiguracije terena. Područja ćelija mogu se djelomično preklapati, a, prema [3], pokrivenost jedne ćelije može biti od nekoliko stotina metara do tridesetak kilometara.

GSM mreža sastoji se od mobilne stanice, podsustava bazne stanice i podsustava mobilne centrale (slika 1).





Slika 1 Osnovne komponente ćelijskog sustava [2]

Mobilna stanica (mobilna telefonska jedinica) sadrži upravljačku jedinicu, primopredajnik i sustav antene. Podsustav bazne stanice sadrži kontrolnu jedinicu, radio kabinete, antene i napajanje. Podsustav mobilne centrale je centralni element mreže koji služi za koordinaciju svih baznih stanica. Služi za realizaciju procesiranja i prospajanja poziva. Mobilnu stanicu i podsustav mobilne centrale povezuje podsustav bazne stanice [2].

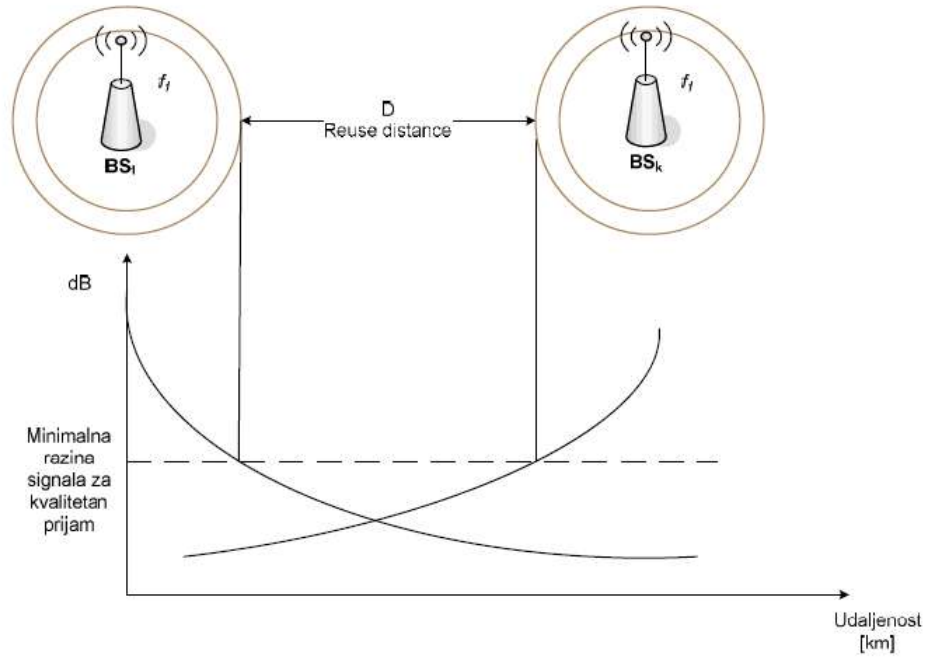
Raspoloživi spektar radiofrekvencija podijeljen je na različite grupe kanala, odnosno frekvencija. Ograničavajući faktor u sustavu su frekvencijski resursi. Problem mobilnih sustava je zadovoljiti uvjet da se posluži maksimalni broj korisnika s određenom kvalitetom usluge [2].

## 2.2 ĆELIJSKI KONCEPT

Pri dizajniranju mobilnih komunikacijskih sustava, prema [2], osnovni elementi su: koncept ponovne upotrebe frekvencijskih kanala, redukcijski faktor istokanalne interferencije, zahtijevani omjer signala nositelja i smetnje, mehanizmi prekapčanja/preuzimanja (engl. *handover, handoff*) i dijeljenje ćelija.

U jednoj ćeliji se koristi samo dio raspoloživog seta frekvencija. Kako bi se izbjegle interferencije (upletanje, miješanje), svakoj ćeliji se dodjeljuje različit skup frekvencija. Jedan radio-kanal sastoji se od para frekvencija, po jedna za svaki smjer prijenosa (*full-duplex* rad). Frekvencija koja je upotrebljena na području jedne ćelije s radijusom pokrivanja  $R$ , može se koristiti u drugoj ćeliji s istim radijusom pokrivanja na udaljenosti  $D$ , [2]. Za tu udaljenost razmak između tih ćelija je dovoljno velik da ne dolazi do interferencije te korisnici na različitim ćelijama mogu koristiti iste frekvencije bez ometanja (slika 2).

Takav koncept naziva se koncept ponovne upotrebe frekvencijskih kanala (engl. *Frequency reuse*) i osnovni je koncept ćelijskog mobilnog radio-sustava. Njime se povećava kapacitet sustava i efikasnost spektra. Problem se javlja ako se frekvencije dobro ne isplaniraju, odnosno, sustav dobro ne dizajnira jer se može javiti interferencija između korisnika istih frekvencija.



Slika 2 Koncept ponovne upotrebe iste frekvencije [2]

Iz [2], minimalna udaljenost na kojoj se ponovno smije upotrijebiti ista frekvencija ovisi o: broju ćelija s istom frekvencijom u okolini promatrane ćelije, geografskim konturama terena, visini antene i snazi na kojoj bazna stanica odašilje signal.

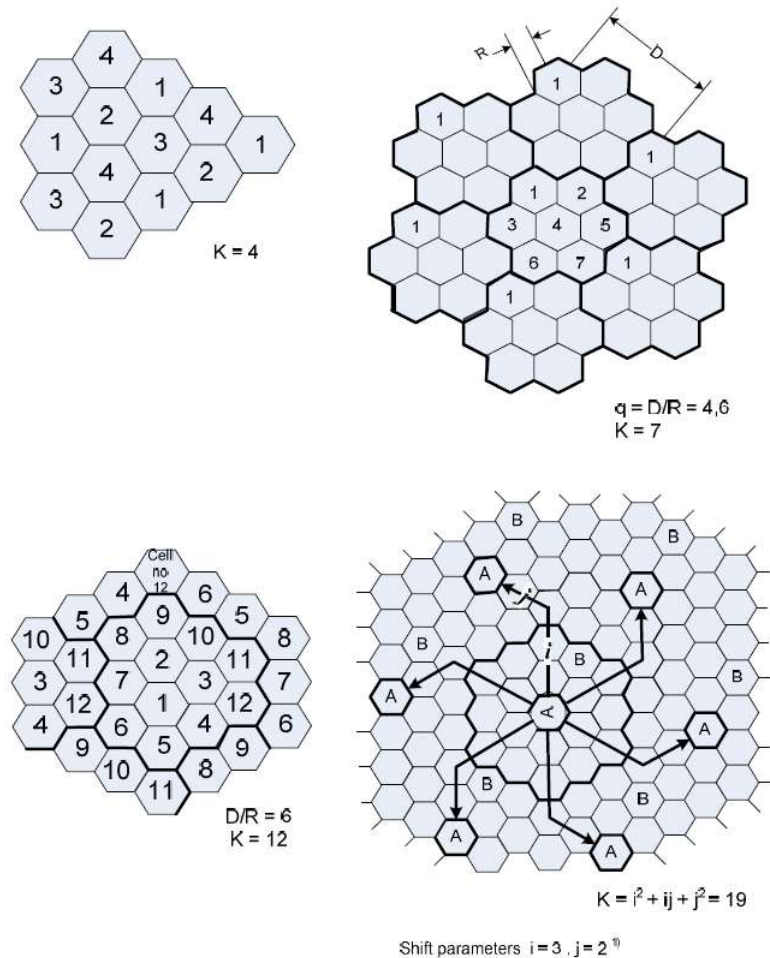
Udaljenost  $D$  računa se kao:

$$D = \sqrt{3 \cdot K} \cdot R \quad (1)$$

gdje je

$K$  - uzorak ponavljanja iste frekvencije (slika 3)

$R$  – radijus pokrivanja ćelija.



Slika 3 Uzorci ponovne upotrebe iste frekvencije [2]

Ukoliko sve ćelije emitiraju signal istom snagom,  $K$  tada raste, a time i udaljenost na kojoj se ponovno može upotrijebiti ista frekvencija. Povećanje udaljenosti između ćelija smanjuje vjerojatnost pojave istokanalne interferencije, interferencije uzrokovane upotrebom iste frekvencije. Teži se većem broju ćelija u uzorku, no budući da je broj dodijeljenih kanala za jedan sustav konačan, kada je  $K$  prevelik, broj kanala dodijeljenih svakoj od  $K$  ćelija postaje mali. Potrebno je odrediti najmanji  $K$  koji će udovoljiti traženim zahtjevima sustava, procjeni istokanalne interferencije, uz odabir minimalne udaljenosti  $D$  koja će smanjiti mogućnost istokanalne interferencije. Iz [2], najmanja vrijednost za  $K$  iznosi 3, a dobije se za parametre pomicanja  $i = j = 1$  u formuli:

$$K = i^2 + ij + j^2 \quad (2)$$

Veličina različitih ćelija i broj kanala u njima ovisi o koncentraciji korisnika, odnosno veličini prometa na određenom području unutar glavnog prometnog sata (GPS).

Maksimalni broj poziva po satu za svaku ćeliju dobiva se pomoću veličine prometa za pojedinu ćeliju, što pak ovisi o broju kanala instaliranih u ćeliji i očekivanom trajanju razgovora. Ukupan broj poziva za vrijeme GPS-a ovisi o očekivanom broju poziva za vrijeme

GPS-a u svakoj ćeliji, tj. o očekivanom broju poziva po jednom korisniku u GPS-u. Promet koji generira  $N_{mob}$  korisnika na području ćelije tijekom vremena  $T$  određuje se pomoću relacije:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{N_m} t_{s_i}}{T} [\text{Erl}] \quad (3)$$

te se raspoređuje u  $m$  kanala raspoloživih na području ćelije, [2].

Pri određivanju broja kanala u ćeliji, u obzir treba uzeti veličinu dolaznog i odlaznog prometa, vremenskog kolebanja prometa te unaprijed određena razina usluge definirana dozvoljenim gubicima. Iz [2], obzirom da je broj kanala  $m$  ovisan o tim veličinama vrijedi:

$$m = f(A_{dol}, A_{odl}, Var(A), P_B) \quad (4)$$

Promet  $A$  definiran je kao:

$$A = \lambda \cdot T_s = \frac{N_{mob} \cdot n_c \cdot T_s}{T} [\text{Erl}] \quad (5)$$

gdje je

$\lambda$  - ukupan broj poziva posluženih u ćeliji tijekom GPS-a,

$T_s$  - prosječno trajanje razgovora/zauzimanja prometnog kanala,

$N_{mob}$  - broj mobilnih korisnika u ćeliji,

$n_c$  - broj poziva po mobilnom korisniku tijekom GPS-a.

Kada veličina prometa u ćeliji poraste do mjere da postojeći frekvencijski kanali u ćeliji ne mogu poslužiti zadovoljavajući broj poziva (kada su gubici veći od dozvoljenih), originalna ćelija može biti podjeljena u manje. Dvije su vrste dijeljenja ćelije: permanentno i dinamičko cijepanje, [2]. Dijeljenjem/cijepanjem ćelija povećava se efikasnost iskorištenja spektra frekvencija.

Kada mobilna stanica prelazi za vrijeme razgovora iz područja pokrivanja ćelije u kojoj se nalazila, jakost signala opada. Ćelija koju napušta (bazna stanica u njoj) zatražit će prekapčanje (engl. *handover*) na drugu ćeliju. Poziv se prespaja na novu frekvenciju u novoj ćeliji bez prekidanja poziva ili obavljanja korisnika o tome. Prekapčanje je potrebno kada se:

- mobilna stanica nalazi na granici ćelije i jakost signala od mobilne stanice ka baznoj stanici je mala,
- kada mobilna stanica dolazi u područje nepokriveno dovoljno jakim signalom [2].

Prema [1], prednosti ćelijskog koncepta su veći kapacitet sustava (zahvaljujući konceptu ponovne upotrebe frekvencije), manja snaga emitiranja (problem kod mobilnih stanica na većim udaljenostima), samo lokalna interferencija te pouzdanost (problem na jednoj baznoj stanici ugrožava promet samo u okviru malog područja).

Nedostaci su potreba za velikom infrastrukturom (kako bi povezali mnogo ćelija u jedinstvenu mrežu), preuzimanje (engl. *handover*) te planiranje ćelija (zbog izbjegavanja interferencija).

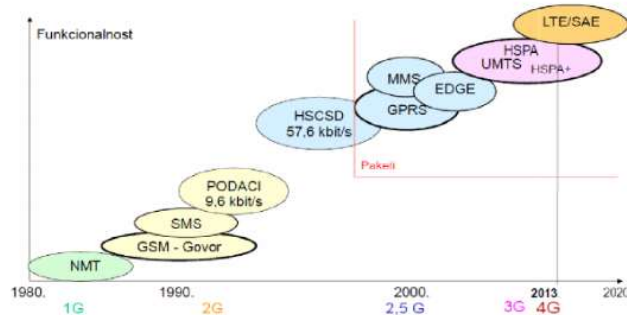
## 2.3 EVOLUCIJA POKRETNIH ĆELIJSKIH SUSTAVA

Zbog nekompatibilnosti tržišne mobilne telefonije unutar Europe, CEPT (engl. *Conference of European Posts and Telegraphs*) je 1982. godine oformila grupu GSM (engl. *Group Special Mobile*) čiji je zadatak bio izrada studije vezane uz razvoj budućeg europskog standarda za mobilnu telefoniju. Razvijeni su kriteriji poput: ISDN kompatibilnost, *roaming* funkcionalnost, poboljšana kvaliteta govora, prihvatljiva proizvodna cijena terminala i visoki standardi sigurnosti veze. Daljnji razvoj jedinstvenog europskog standarda 1989. preuzima ETSI (engl. *European Telecommunication Standard Institute*), [2].

U posljednja tri desetljeća razvijeni su brojni standardi za analogne i digitalne mobilne sustave. Podijeljeni su u četiri skupine, tj. generacije, i nekoliko „međugeneracija“ čije su značajke navedene u tablici 1. Vremenski razvoj mobilnih ćelijskih sustava prikazan je na slici 4.

Tablica 1 Razvoj mobilnih komunikacija od I do IV generacija [5]

Oznaka gen.- Naziv	Pristupna radijska mreža	Brzina prijenosa podataka	Spektralna širina
1G-analogna	FDMA	-	(10-30) kHz
2G-GSM	TDMA-FDMA	9,6 kbit/s	200 kHz
2,5G-GPRS	TDMA-FDMA	171,2 kbit/s	200 kHz
EDGE-2,75G	TDMA-FDMA	<=470 kbit/s	200 kHz
3G-UMTS	W-CDMA	(144 -384-2048) kbit/s	5 MHz
3,5G-HSDPA-HSPA	W-CDMA	(14,4 -42) Mbit/s	5 MHz
3,75G-HSOPA	OFDMA	200 Mbit/s (DL) - 100 Mbit/s (UL) (MIMO)	(1,25 - 20) MHz
3,9G-LTE	OFDMA	326 Mb/s (DL-4x4MIMO)	20 MHz
4G-LTE napredni	OFDMA (DL)/SC-FDMA (UL)	1 Gbit/s (DL) - 500 Mbit/s (UL)	70 MHz (DL) - 40 MHz (UL)



Slika 4 Evolucija mobilnih ćelijskih sustava [4]

### 2.3.1 PRVA GENERACIJA MOBILNIH SUSTAVA (1G)

Prvu generaciju mobilnih sustava (1G) predstavljaju analogni sustavi koji su se počeli razvijati krajem sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Na razvoj je utjecao nagli tehnološki napredak kao i zahtjevi tržišta. Iz [6], prva 1G mobilna stanica puštena je u promet 1979. godine od strane operatera NTT DoCoMo.

Prva generacija mobilnih sustava bili su analogni sustavi jednostavne ćelijske strukture. Sastojali su se od mobilne i bazne stanice, te mobilnog komutacijskog centra koji upravlja cjelokupnom mrežom. Što se tiče usluga, ovi sustavi omogućavaju prijenos govora (mobilna telefonija) i veoma spor prijenos podataka.

Prvi komercijalni analogni sustav bio je američki AMPS (engl. *Advanced Mobile Phone Services*) koji radi na frekvencijskom području od 800 MHz. To je bio najrasprostranjeniji analogni standard.

U Europi se koristio NMT (engl. *Nordic Mobile Telephone*) koji djeluje na frekvencijskom području od 450 MHz, no kasnije je taj sustav prešao na 900 MHz. Koristio se prvotno u skandinavskim zemljama, a kasnije i u ostatku Europe te sjeveru Afrike.

Nakon NMT-a razvijen je sustav TACS (engl. *Total Access Communication System*) koji je ustvari bio modificirana verzija AMPS-a i koji također radio na 900 MHz.

U [4] se navodi da sustavi prve generacije koriste FM modulaciju sa 666 dupleksnih kanala. Za pristup baznoj stanici, mobilni terminali koriste tehniku višestrukog pristupa po frekvenciji FDMA (engl. *Frequency Division Multiple Acces*) [2]. Neki od kanala, npr. kontrolni, rezervirani su za prijenos kontrolne signalizacije, dok su govorni kanali rezervirani za prijenos glasa, odnosno razgovor. U ovim sustavima prvi put se počeo koristiti ćelijski koncept.

Prema [1], nedostaci pokretnih sustava prve generacije bili su ograničena zona pokrivanja, mali kapacitet, slaba kvaliteta signala te nekompatibilnost između pojedinih sustava u različitim zemljama. Analogna mreža nije mogla opstati pod pritiskom sve većih zahtjeva korisnika (veći kapacitet, kvalitetniji signal, dodatne usluge).

### 2.3.2 DRUGA GENERACIJA MOBILNIH SUSTAVA (2G)

Druga generacija mobilnih sustava (2G) pojavila se 1991. godine te, za razliku od prve koja je analogna, koristi digitalnu tehnologiju.

Govor je i dalje dominantan usluga. Korištenjem digitalne tehnologije omogućen je:

- veći prometni kapacitet,
- veća sigurnost od zloupotreba (zaštita privatnosti poziva i kodiranje korisničkih podataka),
- pružanje novih naprednijih usluga (faks, SMS (engl. *Short Message Service*), te Internet male brzine) [1].

Najvažniji sustavi/standardi druge generacije su: GSM, IS-95, CDMA (engl. *Code Division Multiple Access*), D – AMPS (engl. *Digital AMPS*) te PDC (engl. *Personal Digital Communication*) [2].

Prvi korak u digitalizaciji bio je uvođenje digitalnih kanala za prijenos glasa. Više prometnih kanala ostvaruje se jednim frekvencijskim kanalom primjenom TDMA (engl. *Time-Division Multiple Access*) multipleksiranja tako da je svaki kanal za glas podijeljen u vremenske odsječke (engl. *time slot*). Prema [2], vremenski odsječak koji nosi govorni kanal i „zaštitu“ ima dužinu 0,577 ms.

Kao posljedica nekompatibilnosti analognih sustava u Europi javila se potreba za jedinstvenim europskim digitalnim sustavom. Stoga je Europski institut za standarde u telekomunikacijama ETSI izdao skup tehničkih specifikacija za GSM.

GSM je ćelijski mobilni sustav potpuno temeljen na digitalnom prijenosu. Razvijan je tokom osamdesetih godina prošlog stoljeća, a 1990. g. je uveden GSM standard kao prvi standard mobilnih sustava druge generacije. Prva GSM mreža lansirana je 1991. g. Proširila se izvan Europe te je skraćenica GSM sada oznaka za *Global System for Mobile Communications*. Namijenjen je za rad u opsegu 900 MHz, ali već 1993. g. razvijen je sustav koji radi na opsegu 1800 MHz [1]. Danas je GSM najuspješniji mobilni standard koji je u upotrebi u preko 250 zemalja širom svijeta.

Paralelno s razvojem GSM-a u SAD-u, razvio se novi sustav IS-95 CDMA. On se temeljio na uskopojasnom CDMA (engl. *Code Division Multiple Access*) tehničkom rješenju koje koristi principe raširenog spektra (engl. *Spread Spectrum*). Ovo je bio napredak u razvoju bežičnih digitalnih komunikacija jer se prvi put u javnom komunikacijskom sustavu koristio kodni multipleks, [4]. Na tržištu se pojavio 1993. godine.

Budući da su sustavi druge generacije optimizirani za prijenos glasa i nemaju baš velike mogućnosti po pitanju prijenosa podataka, razvijaju se sustavi 2.5 generacije. Prema [2] uvode se:

- nova frekvencijska područja (1800 i 1900 MHz)
- proširenje IN funkcija

- integracija GSM i satelita za globalno pozicioniranje (GPS)
- pristupi drugim standardima (→DECT standard)
- novi standardi za prijenos podataka
  - GPRS (engl. *General Packet Radio Service*)
  - IDA (engl. *Internet Direct Access*).

Ti sustavi vezani su u koncept PCS (engl. *Personal Communication Services*). Njime se proširuje spektar radijskih komunikacijskih usluga, ukidaju ograničenja žične PSTN mreže, omogućuje dostup do korisnika putem jedinstvenog broja, koncept nije ograničen na mobilnu telefoniju nego obuhvaća usluge prijenosa podataka, pohranjivanje i upravljanje porukama (engl. *messaging*), telefonske usluge te niz VAS (engl. *Value Added Service*) aplikacija. PCS ne određuje poseban standard ili pristup već spaja različite mrežne tehnologije i tehnike pristupa, [2].

Značajnije tehnologije su: HSCSD (engl. *High Speed Circuit Switched Data*), GPRS (engl. *General Packet Radio Service*) i EDGE (engl. *Enhanced Data for Global Evolution*).

HSCSD sustav temelji se na komutaciji krugova, te omogućava kombinaciju više vremenskih odsječaka (maksimalno 4) pri čemu se brzina prijenosa povećava maksimalno na 57,6 kbit/s.

Zbog razvoja Interneta, javila se potreba za unapređenjem GSM sustava za prijenos podataka bržim od 9,6 kbit/s. Stoga se razvija GPRS sustav koji koristi paketski orijentiran prijenos, odnosno komutaciju paketa. Dominantno se oslanja na komunikacijsku infrastrukturu GSM-a. Iz [2], brzina prijenosa je do 171,2 kbit/s pri korištenju 8 vremenskih odsječaka, komutacijom paketa. Komutacija paketa omogućava korištenje mrežnih resursa samo kada korisnik treba slati ili primiti podatke. Praktična brzina prijenosa je oko 55 kbit/s što je dovoljno za e-mail i pretraživanje Interneta. GPRS omogućava slanje i primanje informacija mobilnom mrežom uz novitete poput: veća brzina prijenosa podataka, kraće vrijeme za konekciju i stalni pristup Internetu, jednostavnija naplata usluge prijenosa podataka temeljena na količini prenesenih podataka, a ne na trajanju konekcije, te mogućnost primanja poziva i tokom pregleda Internet sadržaja. U [2] se navode i nedostaci poput ograničnog kapaciteta ćelije, niže stvarne brzine, prijenosna kašnjenja i neoptimalna modulacija.

Kako je rasla potreba za još većim brzinama prijenosa podataka, tako su GPRS sustavi unaprijeđeni u EDGE sustav. Takav sustav predstavlja nadogradnju postojeće komunikacijske infrastrukture GSM-a i GPRS-a. U usporedbi s GSM-om, EDGE sustav koristi 8 PSK (engl. *Phase Shift Keying*) modulaciju što omogućava veće brzine prijenosa, ali isto tako i smanjenu pokrivenost u odnosu na GSM, [4].

### **2.3.3 TREĆA GENERACIJA MOBILNIH SUSTAVA (3G)**

Treća generacija mobilnih sustava (3G) puštena je u rad 2001. g. u Japanu, a 2003. g. u Europi, [4]. Razvija se u skladu sa zahtjevima korisnika glede brzina prijenosa i dodatnih usluga (multimedijalnih). Ideja 3G sustava je bila integrirati žičane i bežične sustave, uključujući i satelitske mreže, u univerzalni multimedijски širokopoljasni pokretni sustav, [2].



IMT-2000 (engl. *International Mobile Telecommunications 2000*) je skup standarda koji definira rad budućih pokretnih sustava s multimedijским uslugama u frekvencijskom području 2000 MHz, [2]. Osim tog standarda, ETSI je definirao standard za paneuropski sustav treće generacije nazvan UMTS (engl. *Universal Mobile Telecommunication System*). UMTS je implementacija svjetskog koncepta IMT-2000 u Europi.

Razvoj UMTS sustava bio je potaknut velikim uspjehom GSM-a, aktualnim tehnološkim dostignućima CDMA tehnike i zahtjevima za što većim brzinama prijenosa. Smatra se više kao proširenjem GSM-a, nego kao njegovim zamjenikom. Prema [4], nedostaci CDMA tehnike doveli su do toga da je stvoren potpuno novi sustav koji se nije oslanjao na postojeću GSM infrastrukturu. U osnovi je 3G WCDMA koji je u biti tehnologija širokopojasnih digitalnih radio komunikacija namijenjenih Internetu, multimediji i sl.

Ovi 3G sustavi nisu doživjeli uspjeh kakav se očekivao iz nekoliko razloga. Prvi je da zbog nedovoljnih brzina prijenosa (predviđeno 14 Mb/s, u praksi 384 kb/s). Multimedijalni usluge bile su vrlo loše kvalitete.

Pravi uspjeh dolazi nadogradnjom UMTS-a u vidu HSPA sustava. Postoje dva oblika takvih sustava: HSDPA (engl. *High Speed Downlink Packet Access*) i HSUPA (engl. *High Speed Uplink Packet Access*). Prednost u odnosu na UMTS je znatno veća brzina prijenosa (maksimalno 7,2 Mb/s, a tipično 1,4 Mb/s). Dobre performanse sustava postignute su tehničkim unapređenjima poput *fast packet scheduling*, adaptivnost modulacija i kodiranja, upotreba HARQ (engl. *Hybrid Automatic Repeat Request*) tehnike za upravljanje retransmisijom, itd.

#### **2.3.4 ČETVRTA GENERACIJA MOBILNIH SUSTAVA (4G)**

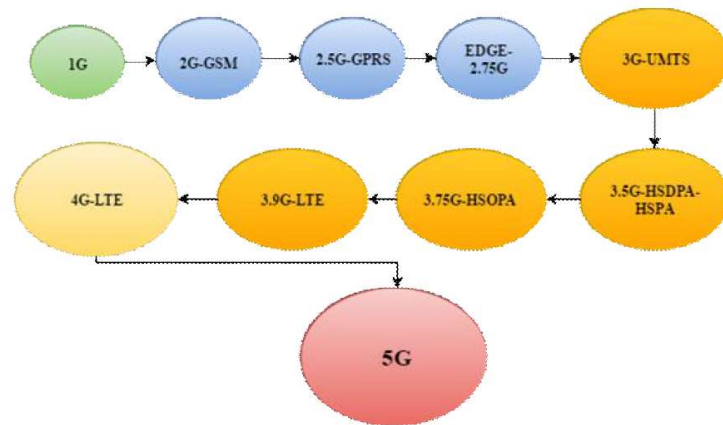
Unapređenje HSPA sustava bio je prvi korak ka razvoju mobilnih sustava četvrte generacije (4G). Ideja 3GPP organizacije bila je razvoj novog sustava koji će biti baziran na postojećem GSM-3G sustavu. Stoga nastaje tehnologija LTE (engl. *Long Term Evolution*).

Cilj LTE u pogledu usluga je vezan uz podršku VoIP-u (engl. *Voice over Internet Protocol*) s brzinama prijenosa većim od 100 Mb/s i malim kašnjenjem (< 10 ms). Prema [4], sustav LTE uključuje evoluiranu pristupnu radio mrežu EUTRAN (engl. *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*) i evoluiranu jezgru mreže EPC (engl. *Evolved Packet Core*) koje je bazirano na SAE (engl. *System Architecture Evolution*) arhitekturi. Velike brzine prijenosa omogućene su korištenjem tehnike OFDM (engl. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) na radio sučelju, upotrebu višeantenskih rješenja MIMO (engl. *Multiple Input Multiple Output*), te fleksibilnost upotrebe frekvencijskog spektra.

#### **2.3.5 PETA GENERACIJA MOBILNIH SUSTAVA (5G)**

Od početka razvoja mobilnih sustava, primjećuje se trend da se svakih 10 g. pojavljuje nova generacija mobilnih sustava. 5G, kao logičan nastavak 4G mreže (slika 5), očekuje se da bi mogao stupiti na snagu oko 2020 g. u Japanu. Nešto kasnije implementacije tog sustava očekuju se u Europi.

Očekuje se još veći propusni opseg, pogodnosti za korisnike u smislu većeg kapaciteta za veliki broj korisnika koji komuniciraju istovremeno te niže tarife.



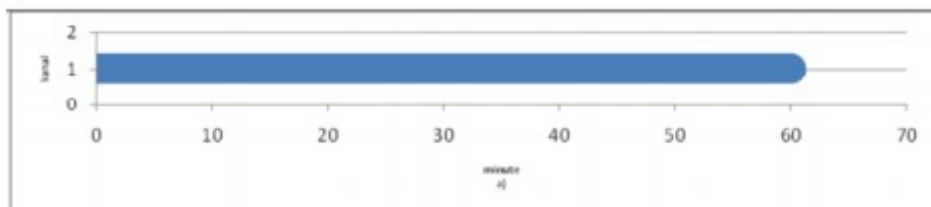
Slika 5 Razvoj generacija pokretnih mreža

### 3 PROŠIRENI ERLANGOV MODEL I NJEGOVA PRIMJENA

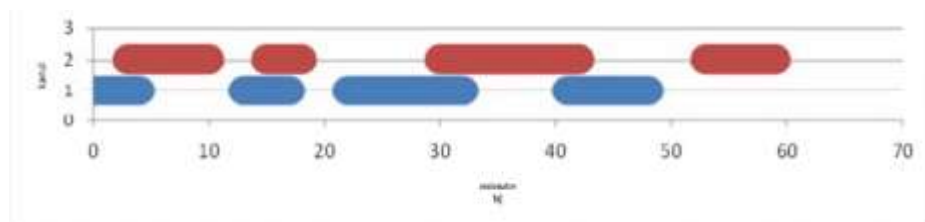
#### 3.1 MJERNA JEDINICA ERLANG

Mjerna jedinica Erlang je statistička mjera gustoće telekomunikacijskog prometa i predstavlja neprekidnu upotrebu jednog kanala [7]. U praksi, opisuje ukupan promet u jednom satu [8]. Upotrebljava se u svim telekomunikacijskim sustavima, fiksnim i mobilnim, za opis obujma prometa. Uvođenjem mjerne jedinice Erlang, količina prometa mogla se numerički izraziti. Telekomunikacijski inženjeri koriste mjernu jedinicu Erlang za uočavanje prometnih uzoraka unutar svojih glasovnih mreža i određivanje potrebnog kapaciteta mreže (potrebnog broja kanala) u bilo kojem dijelu mreže [7].

Jedan Erlang odgovara prometu od 3600 sekundi nastalih od poziva na istom poslužitelju kanalu ili prometnom opterećenju koje je dovoljno da bi se jedan kanal držao zauzetim jedan sat u modelima s više kanala (slika 6 i 7) [9].



Slika 6 Prikaz prometa od jednog Erlanga na jednom kanalu [9]



Slika 7 Prikaz prometa od jednog Erlanga na više kanala [9]

Broj Erlanga može se i jednostavnije opisati. Ako resurs nosi 1 Erl, to je ekvivalentno jednom neprekidnom pozivu tijekom sat vremena. Ako su u tijeku bila dva poziva 50% vremena, onda bi to također bio promet od jednog Erlanga (1 Erl). Ali, ako se kanal koristio samo 50% vremena, to je promet od pola Erlanga (0,5 Erl).

#### 3.2 ERLANGOV B MODEL

Postoji nekoliko modela koji dijele ime s mjernom jedinicom prometa Erlang. Najčešće korišten model je Erlangov B model.

Erlangov B model zasnivan je na principu gubitaka poziva koji nastaju zbog blokiranja poziva u trenutku kada poslužitelj nije u mogućnosti zaprimiti poziv. Iz tog razloga se taj isti poziv odbacuje i pozivatelj mora ponoviti poziv.

Prema [10], Erlangovim B modelom računa se vjerojatnost blokiranja poziva, odnosno vjerojatnost gubitaka, u slučaju kada postoji određeno prometno opterećenje i broj poslužitelja. Vjerojatnost blokiranja ovisi o prometnom opterećenju i broju kanala, odnosno o broju poslužitelja, a predstavlja vjerojatnost zauzeća poslužitelja tijekom prometnog opterećenja.

Prema [11], Erlangov B model koristi se:

- kod blokiranja poziva – blokirani pozivi ponovno su rutirani i nikada se ne vraćaju na originalnu vezu,
- kada pozivatelj radi samo jedan pokušaj ako je poziv blokiran te se tada poziv ponovno rutira,
- 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 se očekuje vrlo malo blokiranje.

Pretpostavke Erlangovog B modela su da je izvor prometa neograničen, uzorak dolazaka slučajna varijabla koja prati Poissonovu razdiobu, blokirani pozivi se odbijaju, a vrijeme zauzimanja resursa prati eksponencijalnu distribuciju. Dodatna pretpostavka je disciplina posluživanja FCFS<sup>1</sup> (engl. *First Come First Serve*). FCFS je oznaka za disciplinu posluživanja u kojoj se prvi dolazeći korisnik prvi poslužuje, a svaki sljedeći se poslužuje nakon što se posluži njemu prethodni.

Ponuđeni promet (engl. *offered traffic*) je stvarna količina poziva koji nastoje pristupiti sustavu. Veličina ponuđenog prometa u ovome modelu dana je izrazom:

$$A_p = \lambda \cdot T_s \quad (6)$$

gdje je:

$\lambda$  – intenzitet dolazaka poziva,

$T_s$  – prosječno vrijeme trajanja poziva.

Za izvođenje Erlangovog B modela koristi se Erlangova B formula, drugog naziva Erlangova formula gubitaka. Erlangova B formula je izraz kojim se određuje vjerojatnost blokiranja (gubitaka) poziva  $p_b$ . Poziv će biti izgubljen, odnosno blokiran, ako su svi poslužitelji zauzeti.  $P_b$  ovisi o veličini ponuđenog prometa i broju poslužitelja, a dan je formulom

$$p_b(A_p; m) = \frac{\frac{A_p^m}{m!}}{\sum_{i=0}^m \frac{A_p^i}{i!}} \quad (7)$$

gdje je:

$p_b$  – vjerojatnost blokiranja poziva,

---

<sup>1</sup>Drugi naziv za FCFS disciplinu je FIFO (engl. *First In First Out*).

$m$  – broj kanala ili poslužitelja u sustavu,

$A_p$  – ponuđena veličina prometa u Erl, [11].

Ostvareni promet (engl. *carried traffic*) je promet koji stvarno poslužen na telekomunikacijskoj opremi. Veličina ostvarenog prometa zadana je formulom:

$$A_{ost} = A_p \cdot (1 - p_b) \quad (8)$$

Za određivanje vjerojatnosti blokiranja osim formule koriste se već gotove tablice s izračunatim vjerojatnostima uz poznate vrijednosti ponuđenog prometa i broja poslužitelja. Dostupni su i kalkulatori na internetu.

Telefonske centrale i drugi podsustavi telekomunikacijskih mreža mogu se shvatiti kao modeli posluživanja s gubicima. Osnovni problem sustava posluživanja s gubicima je određivanje broja poslužitelja  $m$  koji će uz zahtjevanu razinu kvalitete (dopušteni broj izgubljenih poziva) moći poslužiti ponuđeni promet. Erlangova B formula razvijena je za određivanje upravo takvog broja poslužitelja unutar modela i koristi se kod planiranja telefonskih mreža.

### 3.3 PROŠIRENI ERLANGOV B MODEL

Prošireni Erlangov model sličan je Erlangovom B modelu. Razlikuje se od njega po činjenici da dozvoljava da se dio ili svi blokirani pozivi ponovno pokušavaju uspostaviti. To se naziva LCR model (engl. *Lost Calls Retried*).

Prošireni Erlangov model bazira se na osnovnom Erlangovom B modelu te su pretpostavke slične: izvor prometa neograničen, uzorak dolazaka slučajna varijabla sa Poissonovom distribucijom, vrijeme zauzimanja resursa prati eksponencijalnu distribuciju, uz različitu pretpostavku: blokiranje poziva s ponovnim pokušajima.

Dodatni parametar  $r$  (faktor ponavljanja, engl. *Recall Factor*) predstavlja postotak korisnika koji nakon neuspjeha odmah pokušavaju ponovno dobiti uslugu. Iz [12], proračun se bazira na Erlangovoj B formuli, ali se sada mora uzeti u obzir porast ponuđenog prometa, kada su gubici  $p_b = B(m, A_r)$ . Da bi se našla povećana vrijednost ponuđenog prometa  $A_r$  radi se iteracijski proračun počevši od  $A_0 = A$ . Proračun se ponavlja dok se ne postigne ravnoteža. Iterativna relacija za dani ponuđeni promet  $A_0$ , broj kanala  $m$  i faktor ponavljanja  $r$  ima oblik:

$$A_i = A_0 + A_{i-1} B(m, A_{i-1}) r \quad (9)$$

Kada je  $A_i$  aproksimativno jednako  $A_{i-1}$  zaustavlja se iterativni postupak i dobivena je vrijednost traženog ponuđenog prometa  $A_r$ .

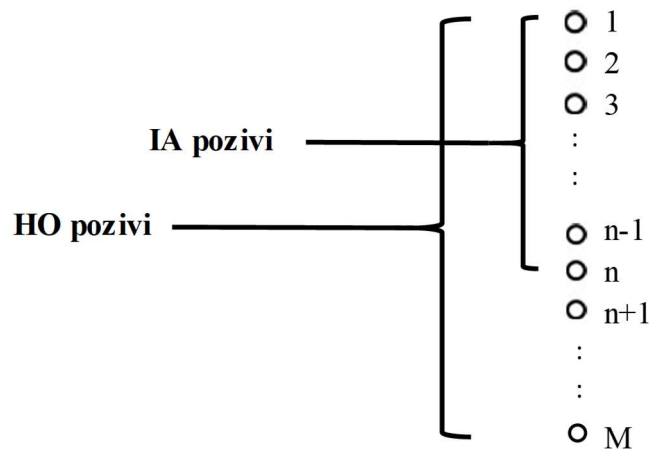
Zbog dozvoljavanja ponavljanja uspostave blokiranih poziva, prošireni Erlangov model u širokoj je upotrebi u telekomunikacijama, naročito u *call* centrima. Koriste ga i inženjeri telefonskih sustava pri dizajniranju mreža kada treba uzeti u obzir dodatno prometno opterećenje rezultirano blokiranim pozivima koji se odmah pokušavaju ponovno uspostaviti.

### 3.4 SUSTAVI S PRIORITETOM

Kada se mobilna stanica kreće tokom razgovora i napušta područje ćelije u kojoj se nalazi, bazna stanica ćelije koju napušta traži prekapčanje (engl. *handover*) poziva na drugu ćeliju. Prekapčanje poziva važan je zadatak svakog mobilnog sustava. Osim sigurnosti prekapčanje, treba voditi i računa o nepotrebnim prerekapčanjima, odnosno o smanjenju takvih, ali najviše o uspješnosti. Kako bi prekapčanje bilo uspješno, takvim pozivima dodjeljuje se prioritet.

Svi pozivi u ćeliji mogu se podijeliti u dvije skupine: handover pozivi (HO pozivi) i inicijalni pozivi (IA pozivi). HO pozivi su pozivi na području ćelije koji su prespojeni s druge ćelije. IA pozivi su uspostavljeni na području te ćelije, odnosno, mobilna stanica koja traži uspostavu poziva nalazi se na području pokrivanja bazne stanice te ćelije. I jedni i drugi pozivi natječu se za ukupan broj raspoloživih kanala u toj ćeliji. Kako bi izbjegli gubitak HO poziva prilikom prelaska mobilne stanice iz jedne ćelije u drugu, HO pozivima dodjeljuje se prioritet. Prioritet znači da će tim pozivima biti dostupno više kanala, a IA pozivima (dakle, pozivima sa manjim prioritetom) ograničeni broj kanala. Sada je mobilni sustav postao višedimenzionalan sustav s prioritetom.

Neka je u sustavu dostupno ukupno  $M$  kanala. HO pozivima dostupni su svi kanali u ćeliji, a IA pozivima samo  $n < M$  kanala (slika 8).



Slika 8 Sustav sa prioritetom [13]

Postavlja se pitanje kako upravljati kapacitetom u ćeliji kako bi se što manje HO poziva izgubilo. Erlangove formule gubitaka pomažu pri dodjeli kanala pojedinim pozivima kod ovakvih ćelijskih sustava.

Neka je u sustavu ukupno  $M$  kanala (poslužitelja). Intezitet dolazaka HO poziva je  $\lambda_{HO}$ , a intezitet dolazaka IA poziva je  $\lambda_{IA}$ . Prosječan intezitet posluživanja HO poziva je  $\beta_{HO}$ , a prosječan intezitet posluživanja IA poziva je  $\beta_{IA}$ . Vjerojatnost da je  $k$  kanala u sustavu zauzeto (u sustavu je ukupno  $k$  poziva, bilo HO ili IA) označava se sa  $Q(k)$ . Tada vrijedi sljedeći raspis za prvih nekoliko vrijednosti za tu vjerojatnost:

$$Q(0) = p(0,0)$$

$$Q(1) = p(1,0) + p(0,1)$$

$$Q(2) = p(0,2) + p(1,1) + p(2,0)$$

gdje je

$p(i,j)$  - vjerojatnost da je u sustavu  $i$  handover poziva te  $j$  inicijalnih poziva.

Prema [13], sustav ukupno može biti u  $(n + 1) \cdot (M - n + 1) + \frac{n \cdot (n+1)}{2}$  stanja  $(i,j)$ . Uvođenjem vjerojatnosti  $Q(k)$ , broj stanja sustava smanjuje se na  $(M+1)$ . Dalje vrijedi:

$$Q(0) = p(0,0) = \left[ \sum_{i=0}^n \frac{1}{i!} A_v^i \cdot \sum_{j=0}^{M-i} \frac{1}{j!} A_h^j \right]^{-1} \quad (10)$$

$$Q(k) = \begin{cases} Q(0) \cdot \sum_{i=0}^k \frac{1}{i!} A_v^i \cdot \frac{1}{(k-i)!} A_h^{k-i}, & \text{za } 0 \leq k \leq n \\ Q(0) \cdot \sum_{i=0}^n \frac{1}{i!} A_v^i \cdot \frac{1}{(k-i)!} A_h^{k-i}, & \text{za } n \leq k \leq M \end{cases} \quad (11)$$

gdje je:

$$A_h = \frac{\lambda_{HO}}{\beta_{HO}}, \quad A_v = \frac{\lambda_{IA}}{\beta_{IA}} \quad (12)$$

$$p(i,j) = \frac{1}{i!} A_v^i \cdot \frac{1}{j!} A_h^j \cdot p(0,0) \quad (13)$$

Vjerojatnost blokiranja HO poziva  $p_h$  jednaka je  $Q(M)$ , tj. HO poziv biti će blokiran ako je zauzeto svih  $M$  kanala. Iz formule (11) slijedi:

$$p_h = Q(M) = Q(0) \cdot \sum_{i=0}^n \frac{1}{i!} A_v^i \cdot \frac{1}{(M-i)!} A_h^{M-i} \quad (14)$$

IA poziv biti će blokiran ako je zauzeto ili svih  $M$  kanala ili svih  $n$  kanala predviđenih za IA pozive. Koristeći (11), izraz za vjerojatnost blokiranja IA poziva je:

$$p_v = \sum_{j=0}^{M-n-1} p(n, j) + Q(M) \quad (15)$$

$$p_v = Q(0) \cdot \left( \frac{1}{n!} A_v^n \cdot \sum_{j=0}^{M-n-1} \frac{1}{j!} A_h^j + \sum_{i=0}^n \frac{1}{i!} A_v^i \cdot \frac{1}{(M-i)!} A_h^{M-i} \right) \quad (16)$$

Koristeći gore navedene izraze, mogu se odrediti vrijednosti  $p_h$  i  $p_v$  u sustavima gdje je poznat ponuđeni promet  $A_h$  i  $A_v$ . U tablici 2 prikazan je izračun od prvog do zadnjeg koraka u sustavu sa 23 kanala. Za ponuđeni  $A_h = 15 \text{ Erl}$  i  $A_v = 7 \text{ Erl}$  traže se vjerojatnosti  $p_h$  i  $p_v$  ako je IA pozivima dozvoljeno 5 i 10 kanala.

Tablica 2 Prikaz izračuna vjerojatnosti  $p_h$  i  $p_v$  za poznate veličine  $M$ ,  $A_h$  i  $A_v$

$M = 23, A_h = 15 \text{ Erl}, A_v = 7 \text{ Erl}$							n=5	n=10
k	$\frac{A_h^k}{k!}$	$\sum_{i=0}^k \frac{A_h^i}{i!}$	$\frac{A_v^k}{k!}$	$\sum_{i=0}^k \frac{A_h^{M-i}}{(M-i)!} \cdot \frac{A_v^k}{k!}$	$\sum_{i=0}^n \frac{1}{i!} A_v^i \cdot \sum_{j=0}^{M-i} \frac{1}{j!} A_h^j$	$Q(0)$	$\frac{A_h^{M-k}}{(M-k)!} \cdot \frac{A_v^k}{k!}$	$\frac{A_h^{M-k}}{(M-k)!} \cdot \frac{A_v^k}{k!}$
0	1,000	1,000	1,000	3.205.387,341			43.411,474	43.411,474
1	15,000	16,000	7,000	22.133.831,069			465.949,818	465.949,818
2	112,500	128,500	24,500	75.837.584,376			2.391.875,734	2.391.875,734
3	562,500	691,000	57,167	171.373.320,163			7.813.460,733	7.813.460,733
4	2.109,375	2.800,375	100,042	286.229.754,003			18.231.408,376	18.231.408,376
5	6.328,125	9.128,500	140,058	375.197.683,878	za n=5 9,340E+08	<b>1,071E-09</b>	32.330.364,187	32.330.364,187
6	15.820,313	24.948,813	163,401	400.011.872,973				45.262.509,861
7	33.900,670	58.849,482	163,401	354.749.363,112			zbroj 61.276.470,322	51.297.511,176
8	63.563,756	122.413,238	142,976	265.520.370,444			<b>P<sub>h</sub></b> <b>0,0656</b>	47.877.677,098
9	105.939,593	228.352,830	111,204	169.277.650,380	za n=10			37.238.193,298
10	158.909,389	387.262,219	77,843	92.427.619,958	2,216E+09	<b>4,51271E-10</b>		24.328.952,955
11	216.694,621	603.956,841	49,536					
12	270.868,277	874.825,117	28,896				zbroj	267.281.314,709
13	312.540,319	1.187.365,436	15,559				<b>P<sub>h</sub></b>	<b>0,1206</b>
14	334.864,628	1.522.230,064	7,780					
15	334.864,628	1.857.094,692	3,631				zbroj	404.143.790,013
16	313.935,588	2.171.030,280	1,588				<b>P<sub>v</sub></b>	<b>0,4327</b>
17	277.001,990	2.448.032,270	0,654					
18	230.834,992	2.678.867,262	0,254				zbroj	335.379.981,712
19	182.238,151	2.861.105,413	0,094				<b>P<sub>v</sub></b>	<b>0,1513</b>
20	136.678,613	2.997.784,026	0,033					
21	97.627,581	3.095.411,607	0,011					
22	66.564,260	3.161.975,867	0,003					
23	43.411,474	3.205.387,341	0,001					



## 4 KARAKTERISTIKE SKUPA ULAZNIH PODATAKA

U ovom poglavlju opisuje se način generiranja podataka koji predstavljaju HO i IA pozive te njihovo trajanje tokom GPS-a. Već u samom uvodu spomenuto je kako da bi kvaliteta usluge bila zadovoljavajuća, potrebno je pravilno odrediti veličinu kapaciteta mreže kako ne bi došlo do blokiranja i gubitka poziva. Prema [14], cijeli postupak se bazira na četiri koraka: prikupljanje podatka o prometu tokom nekoliko radnih dana (trajanje i broj poziva), određivanje glavnog prometnog sata, odabir razine kvalitete usluge, tj. dopuštenog postotka blokiranih poziva i na kraju izračun potrebnog broja kanala. Budući da autorica rada ne raspolaže s konkretnim mjerenjima, za potrebe rada će intenzitet poziva i prosječno trajanje IA i HO poziva biti generirani. U Excel-u su trajanja poziva generirana kao slučajni brojevi, te je intenzitet HO poziva 200 poz/h, a inicijanih IA poziva 150 poz/h. Simulacije su rađene za tri slučaja IA poziva, te četiri varijante HO poziva. Simulirana trajanja za prvih 23 poziva prikazana su u tablici 3. Prosječno trajanje tako simuliranih IA poziva redom je dobiveno 1,2 min, 2 min i 2,8 min, a HO poziva 2,7 min, 3,9 min, 4,5 min i 6 min.

Tablica 3 Slučajne vrijednosti vremena posluživanja (trajanja poziva)

Redni br. poziva	IA pozivi			HO pozivi			
	$ts_1$ [min]	$ts_2$ [min]	$ts_3$ [min]	$ts_1$ [min]	$ts_2$ [min]	$ts_3$ [min]	$ts_4$ [min]
1	1,817	1,845	0,296	4,392	1,258	3,334	5,176
2	1,477	3,272	0,181	2,748	4,725	1,163	1,460
3	0,019	2,106	1,779	1,459	3,836	1,068	7,877
4	0,684	3,022	4,239	4,294	6,877	8,949	3,827
5	0,236	1,356	0,166	3,890	2,952	6,221	0,178
6	2,252	1,566	2,392	5,212	7,124	3,636	5,661
7	1,700	3,661	0,683	2,435	4,511	6,930	9,662
8	0,352	1,382	0,897	3,916	6,420	8,804	7,871
9	1,258	0,162	1,227	0,399	2,767	4,129	7,945
10	1,957	0,582	4,627	2,989	2,805	5,606	2,851
11	0,371	0,361	4,285	0,901	5,890	3,843	10,745
12	0,924	0,349	0,197	0,552	3,490	0,506	2,667
13	1,727	3,194	0,507	0,317	5,637	7,130	8,948
14	2,276	3,342	1,424	0,591	7,270	7,030	11,217
15	1,024	2,198	1,444	1,629	2,513	7,083	8,159
16	1,507	2,391	5,508	0,090	0,315	3,636	9,056
17	1,982	0,619	1,171	1,583	1,381	3,273	10,218
18	2,251	0,780	5,321	1,182	6,231	0,255	0,040
19	0,709	1,839	1,966	0,559	7,678	8,200	1,363
20	0,734	2,414	0,381	0,419	0,110	5,382	3,985
21	0,304	0,881	3,151	3,903	4,041	2,361	3,948
22	1,864	1,975	0,124	2,389	0,568	4,248	5,501
23	0,931	1,559	3,865	2,598	5,520	0,044	7,077

Korištenjem formule (5) za ponuđeni promet, dobije se kako je odgovarajući promet za IA pozive 3, 5 i 7 Erl, a za HO pozive 9, 13, 15 i 20 Erl (tablica 4).

Tablica 4 Prosječno trajanje poziva  $T_s$  (min), intenzitet poziva  $\lambda$  i odgovarajući promet  $A$  za tri simulacije IA poziva i četiri simulacije HO poziva

Vrijednost	IA pozivi			HO pozivi			
$T_s$ (min)	1,2	2,0	2,8	2,7	3,9	4,5	6,0
$\lambda$ (poz/h)	150	150	150	200	200	200	200
$A$ (Erl)	3	5	7	9	13	15	20

Za dobivene vrijednosti ponuđenih prometa  $A$  u tablici 4 računaju se vjerojatnosti blokiranja poziva  $p_h$  i  $p_v$  metodom opisanom u prethodnom poglavlju ili putem već postojećih tablica iz nastavnih materijala. Korištenjem metode iz prethodnog poglavlja, izračunate su vjerojatnosti za sve slučajeve simulacije.

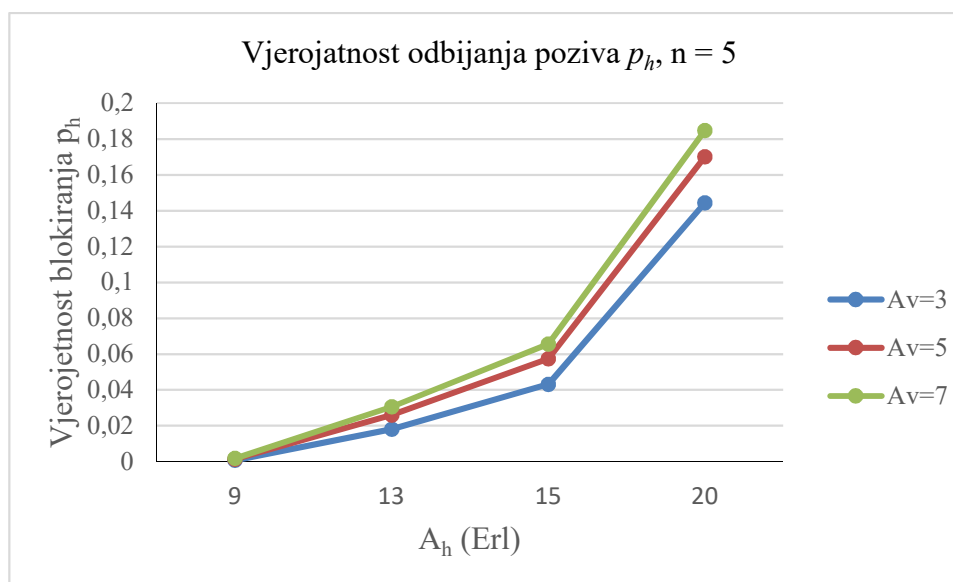
## 5 BLOKIRANI I PREKINUTI POZIVI U ČELIJI

Vjerojatnosti su izračunate za sve kombinacije  $A_v$  i  $A_h$  prometa korištenjem formula iz prethodnog poglavlja i dobiveni rezultati prikazani su u tablici 5 za broj kanala koje mogu koristiti IA pozivi  $n = 5$  te ukupan broj kanala u ćeliji  $M = 23$ . Vrijednosti blokiranja  $p_v$  veće su u odnosu na  $p_h$  za iste parove prometa  $A_v$  i  $A_h$ , što je i očekivano s obzirom da su to pozivi koji nisu prioritetni.

Tablica 5 Vjerojatnosti blokiranja poziva  $p_v$  i  $p_h$  ovisno o prometu  $A_h$  i  $A_v$  za  $n = 5$  kanala

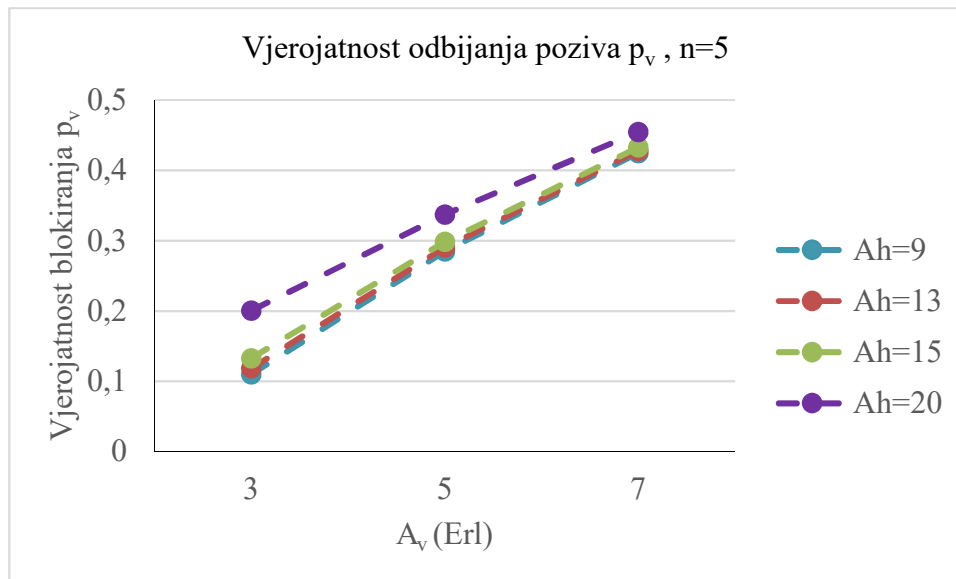
n = 5	$p_h$			$p_v$		
	$A_v = 3$	$A_v = 5$	$A_v = 7$	$A_v = 3$	$A_v = 5$	$A_v = 7$
$A_h = 9$	0,0008	0,0014	0,0018	0,1103	0,2851	0,4248
$A_h = 13$	0,0181	0,0260	0,0306	0,1187	0,2903	0,4279
$A_h = 15$	0,0431	0,0575	0,0656	0,1329	0,2986	0,4327
$A_h = 20$	0,1445	0,1701	0,1848	0,2006	0,3373	0,4549

Budući da obje vjerojatnosti ovise o iznosima  $A_v$  i  $A_h$ , za svaku je vjerojatnost posebno prikazan odnos ovisno o kombinacijama prometa. Tako se iz slike 9 vidi kako vjerojatnost  $p_h$  raste porastom oba prometa. Vidljivo je i kako je skok od  $A_h = 15$  Erl do  $A_h = 20$  Erl mnogo izraženiji od onog od  $A_h = 9$  Erl do  $A_h = 13$  Erl, iako je razlika u prometu skoro jednaka. Također, ovisno o iznosu prometa  $A_v$ , promjena u vjerojatnosti je veća kada  $A_v$  poraste sa 3 Erl na 5 Erl, nego sa 5 Erl na 7 Erl.



Slika 9 Ovisnost vjerojatnosti odbijanja poziva  $p_h$  o prometu  $A_h$  i  $A_v$

Porast vjerojatnosti  $p_v$  ovisno o prometu  $A_v$  je gotovo linearnog oblika za odabrane iznose prometa, tj. za jednak porast prometa  $A_v$  za 2 Erl. Razlika u vjerojatnosti  $p_v$  nešto malo je veća za prvi interval (slika 10). Ovisno o prometu  $A_h$ , za prve tri vrijednosti vjerojatnost je gotovo ista, dok se razlike uočavaju tek za  $A_h = 20$  Erl.



Slika 10 Ovisnost vjerojatnosti odbijanja poziva  $p_v$  o prometu  $A_v$  i  $A_h$

Množenjem pripadne vjerojatnosti blokiranja poziva i intenziteta poziva  $\lambda$  dobije se broj izgubljenih IA i HO poziva. Dobivene vrijednosti dane su u tablici 6.

Tablica 6 Broj izgubljenih poziva  $\lambda_h$  i  $\lambda_v$  ovisno o prometu  $A_h$  i  $A_v$  za  $n = 5$  kanala

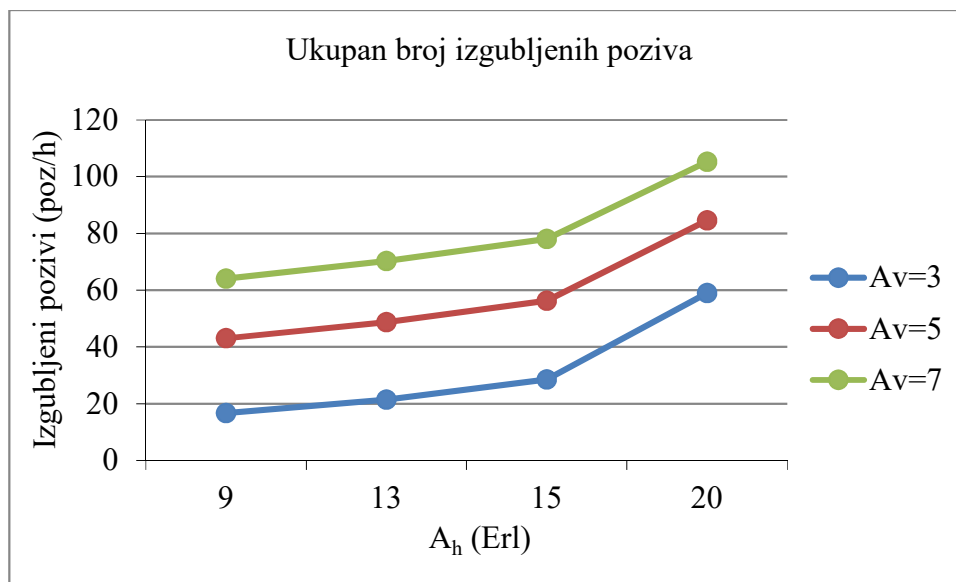
$n = 5$	$\lambda_h$ izg			$\lambda_v$ izg		
	$A_v = 3$	$A_v = 5$	$A_v = 7$	$A_v = 3$	$A_v = 5$	$A_v = 7$
$A_h = 9$	0,16	0,28	0,36	16,55	42,76	63,73
$A_h = 13$	3,61	5,20	6,12	17,81	43,54	64,19
$A_h = 15$	8,62	11,50	13,12	19,94	44,79	64,91
$A_h = 20$	28,89	34,03	36,96	30,08	50,60	68,23

Uz intenzitete poziva iz prethodnog poglavlja za IA i HO pozive grafovi broja izgubljenih IA i HO poziva isti su kao grafovi vjerojatnosti sa slika 9 i 10 samo dodatno pomnoženi konstantom te ih iz tog razloga nema potrebe prikazivati dodatno. Budući da svaki od intenziteta ovisi o  $A_v$  i  $A_h$  prometu, tek njihova međusobna „kombinacija“, tj. njihov zbroj dat će konačnu mjeru. Ukupan broj izgubljenih poziva za sve kombinacije prometa  $A_v$  i  $A_h$  dan je u tablici 7 i prikazan na slikama 11 i 12.

Tablica 7 Ukupan broj izgubljenih poziva ovisno o  $A_v$  i  $A_h$  prometu za  $n = 5$  kanala

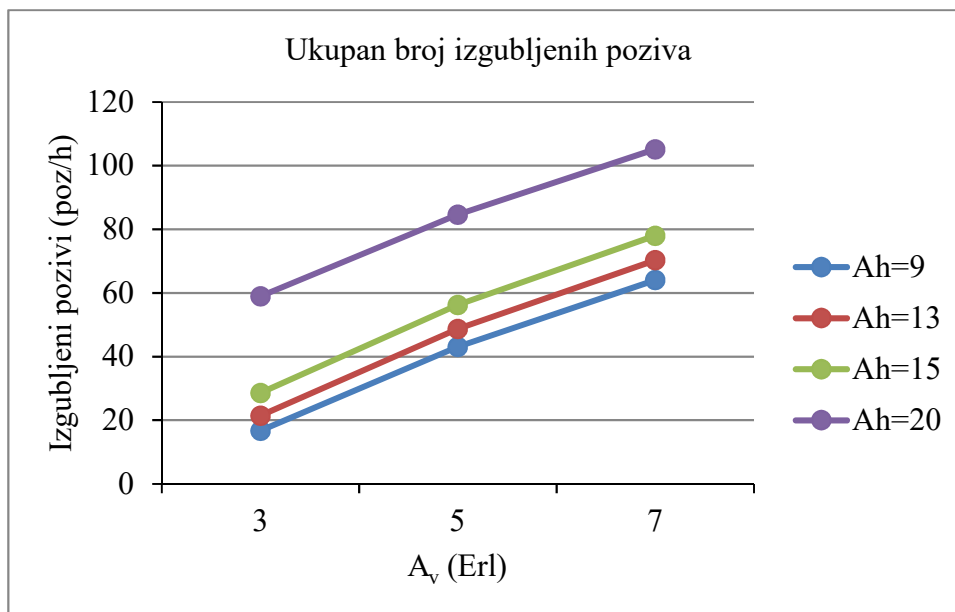
n = 5	$\lambda_{tot}$		
	$A_v = 3$	$A_v = 5$	$A_v = 7$
$A_h = 9$	16,71	43,04	64,08
$A_h = 13$	21,43	48,74	70,31
$A_h = 15$	28,57	56,28	78,03
$A_h = 20$	58,98	84,63	105,19

Očekivano, porastom prometa raste i broj izgubljenih poziva. Gotovo se može reći kako je porast ovisno o prometu  $A_v$  linearan, odnosno za 2 Erl porasta, razmak među linijama je gotovo jednak (slika 11). Ovaj zaključak vidi se i iz prikaza gdje je na  $x$  osi promet  $A_v$ , a različite linije predstavljaju različite vrijednosti prometa  $A_h$  (slika 12).



Slika 11 Ukupan broj izgubljenih poziva ovisno o prometu  $A_v$  i  $A_h$

Iz tog istog prikaza se uočava nagli porast izgubljenih poziva za veće vrijednosti prometa  $A_h$  kao veća razlika od linije za  $A_h = 15$  Erl do  $A_h = 20$  Erl, nego razlika između  $A_h = 9$  Erl i  $A_h = 15$  Erl, iako je porast prometa u drugom slučaju veći. Isti odnos vidi se i na slici 11 gdje su nagibi pravaca od 9 Erl do 15 Erl manji nego od 15 Erl do 20 Erl.



Slika 12 Ukupan broj izgubljenih poziva ovisno o prometu  $A_v$  i  $A_h$ .

## 6 ANALIZA PERFORMANSI ČELIJE OVISNO O RASPODJELI KANALA

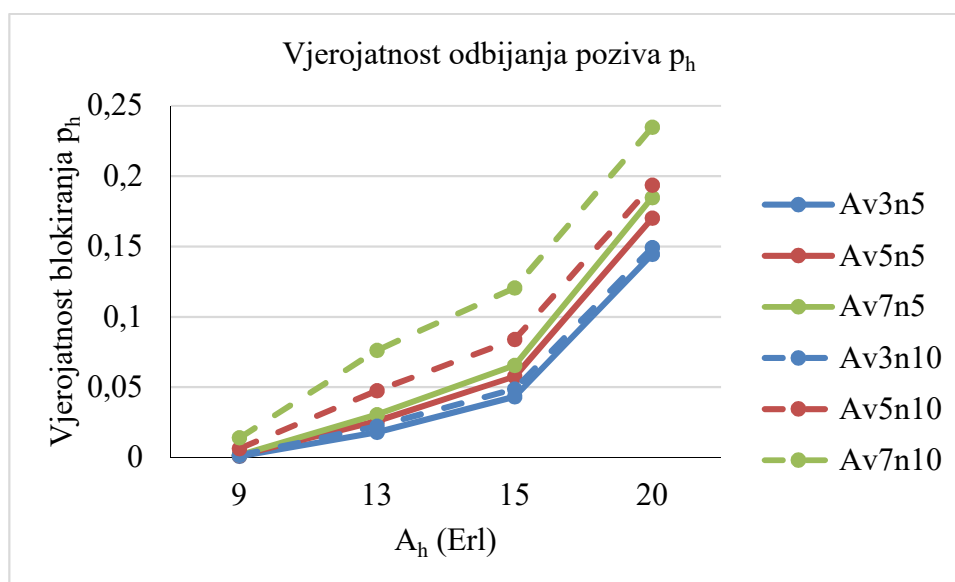
Cijeli postupak i proračun iz poglavlja 5 urađen je i za broj kanala  $n = 10$ . Odgovarajuće vrijednosti vjerojatnosti  $p_v$  i  $p_h$  odbijenih poziva dane su u tablici 8, dok su pripadni brojevi izgubljenih poziva navedeni u tablici 9.

Iz slike 13 vidi se kako ovisno o broju kanala vjerojatnosti  $p_h$  su veće za veći broj kanala. Oblici krivulja su relativno slični te se uočava kako su za veći broj kanala i međusobne razlike, tj. razmaci između linija istog tipa, ovisno o prometu  $A_v$ , veće.

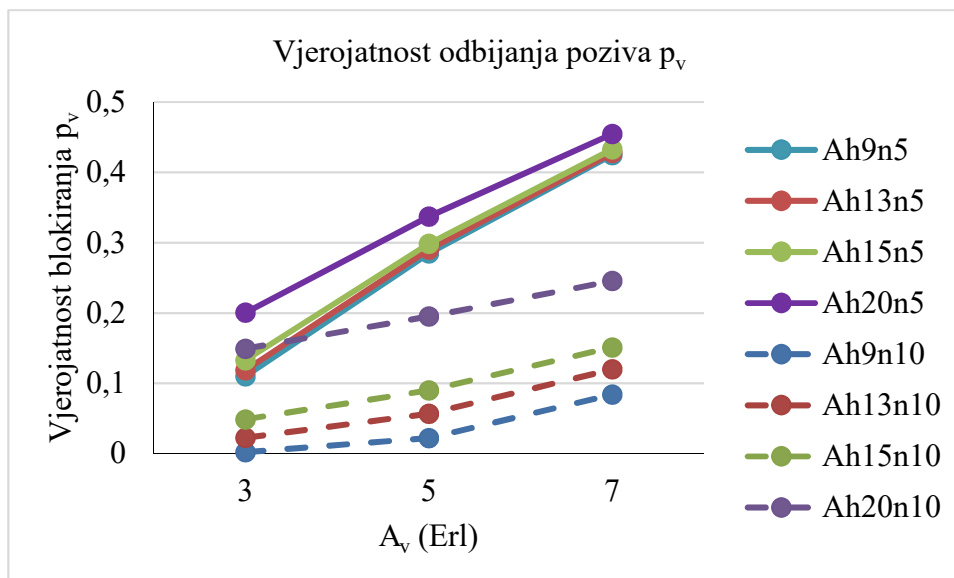
Kod vjerojatnosti odbijanja  $p_v$  situacija je suprotna (slika 14). U slučaju većeg broja kanala vjerojatnosti su manje uspoređujući s odgovarajućim vjerojatnostima za  $n = 5$  kanala. Porast vjerojatnosti s povećanjem prometa  $A_v$  izraženiji (veći) je uz manji broj kanala što se uočava kao strmiji nagib krivulja punih linija. Ovisno o prometu  $A_h$  razlike, tj. pomaci između linija istog tipa, veći su za  $n = 10$ .

Tablica 8 Vjerojatnosti blokiranja poziva  $p_v$  i  $p_h$  ovisno o prometu  $A_h$  i  $A_v$  za  $n=10$  kanala

n = 10	$p_h$			$p_v$		
	$A_v = 3$	$A_v = 5$	$A_v = 7$	$A_v = 3$	$A_v = 5$	$A_v = 7$
$A_h = 9$	0,0016	0,0063	0,014	0,0023	0,0226	0,0842
$A_h = 13$	0,0223	0,0474	0,0763	0,0227	0,0568	0,1200
$A_h = 15$	0,0487	0,0840	0,1206	0,0489	0,0902	0,1513
$A_h = 20$	0,1493	0,1935	0,2347	0,1494	0,1953	0,2457



Slika 13 Ovisnost vjerojatnosti odbijanja poziva  $p_h$  o broju kanala  $n$  i prometu  $A_v$  i  $A_h$ .



Slika 14 Ovisnost vjerojatnosti odbijanja poziva  $p_v$  o broju kanala  $n$  i prometu  $A_v$  i  $A_h$

Dakle, uz manji broj kanala  $n$  vjerojatnosti odbijanja poziva  $p_h$  su manje, dok je kod vjerojatnosti  $p_v$  situacija obrnuta. Razlog tome je činjenica kako se porastom broja kanala  $n$  povećava broj kanala koji se mogu koristiti za IA pozive, a time raste vjerojatnost odbijanja  $p_h$ . Ponovo se kao relevantna mjera koristi broj izgubljenih poziva. Dobiveni broj izgubljenih IA i HO poziva uz  $n = 10$  kanala nalazi se u tablici 9, a kako je ranije spomenuto nema potrebe prikazivati ih budući da su grafovi isti kao za odgovarajuće vjerojatnosti samo pomnoženi intenzitetom  $\lambda$ .

Tablica 9 Broj izgubljenih poziva  $\lambda_h$  i  $\lambda_v$  ovisno o prometu  $A_h$  i  $A_v$  za  $n = 10$  kanala

n=10	$\lambda_h$ izg			$\lambda_v$ izg		
	$A_v = 3$	$A_v = 5$	$A_v = 7$	$A_v = 3$	$A_v = 5$	$A_v = 7$
$A_h = 9$	0,31	1,27	2,80	0,34	3,38	12,62
$A_h = 13$	4,47	9,48	15,25	3,41	8,53	17,99
$A_h = 15$	9,74	16,80	24,12	7,34	13,53	22,70
$A_h = 20$	29,86	38,71	46,95	22,40	29,30	36,85

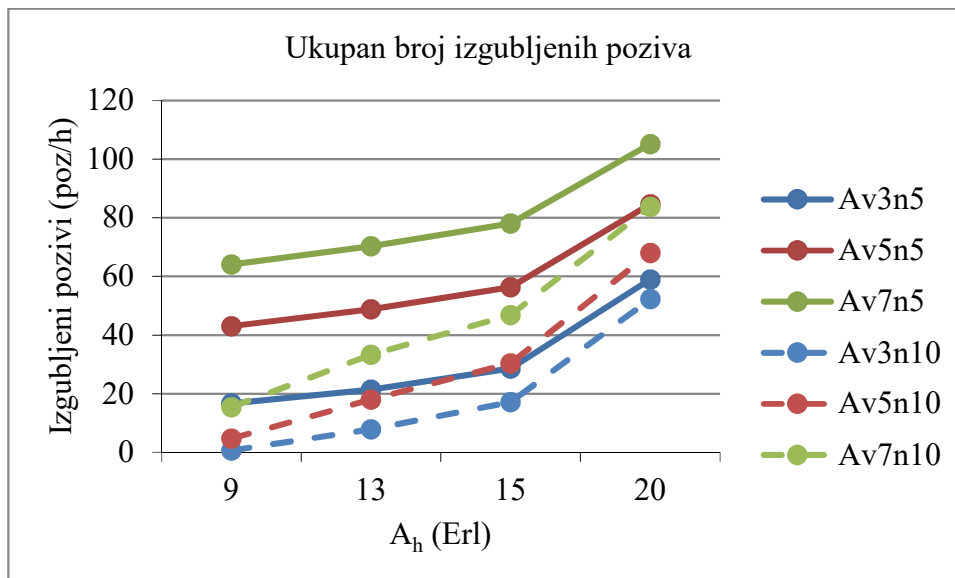
Na temelju tih vrijednosti dobiven je ukupan broj izgubljenih poziva za različite kombinacije prometa  $A_v$  i  $A_h$  i broj kanala  $n = 10$  (tablica 10) te je na slikama 14 i 15 prikazana usporedba s dobivenim rezultatima uz  $n = 5$  kanala. Dakle, ovisno o broju kanala raspoloživih za IA pozive, iz slika je vidljivo kako je ukupan broj izgubljenih poziva manji za veći broj kanala (crtkana linija ispod pune linije za svaku boju).



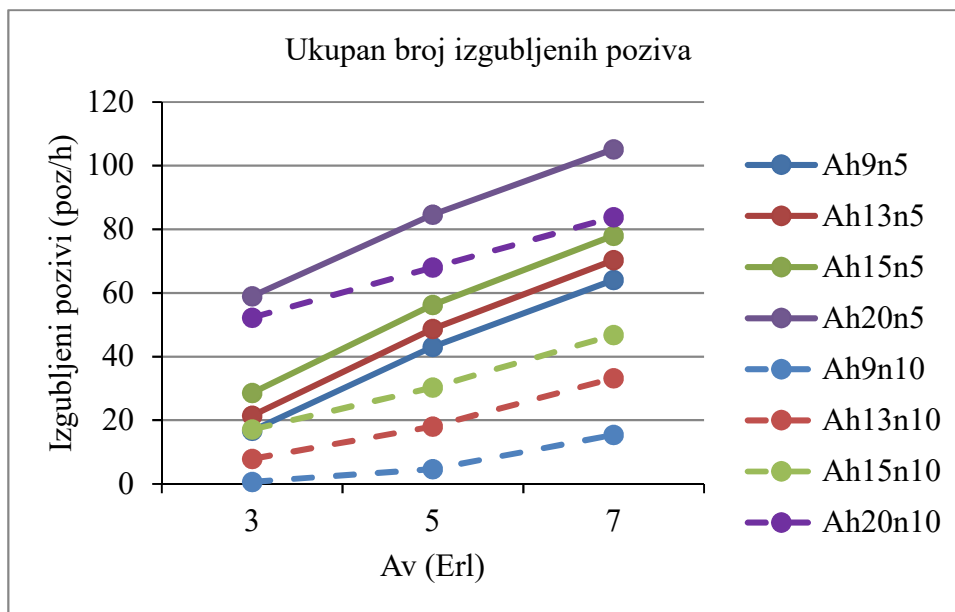
Tablica 10 Broj ukupnih izgubljenih poziva ovisno o prometu  $A_h$  i  $A_v$  za  $n = 10$  kanala

n = 10	$\lambda_{tot}$		
	$A_v = 3$	$A_v = 5$	$A_v = 7$
$A_h = 9$	0,65	4,65	15,43
$A_h = 13$	7,88	18,02	33,25
$A_h = 15$	17,08	30,33	46,83
$A_h = 20$	52,26	68,01	83,80

Iz slike 15 je vidljivo da je sustav s većim brojem kanala za IA pozive osjetljiviji na porast  $A_h$  prometa. Odnosno, usporedimo li kretanje grafova za slučaj  $n = 5$  i  $n = 10$  primjećuje se da je za  $n = 10$  porast brži, tj. broj izgubljenih poziva raste brže porastom  $A_h$  prometa u slučaju  $n = 10$ . Ovisno o prometu  $A_v$ , broj izgubljenih poziva je bitno smanjen za slučaj s većim brojem kanala, posebno za najveće vrijednosti prometa  $A_v$ , što je i očekivano s obzirom da su to kanali namjenjeni IA pozivima (slika 16).



Slika 15 Ovisnost ukupnog broja izgubljenih poziva o broju kanala  $n$  i prometu  $A_v$  i  $A_h$



Slika 16 Ovisnost ukupnog broja izgubljenih poziva o broju kanala  $n$  i prometu  $A_v$  i  $A_h$

Ovisno o željenim karakteristikama, odnosno kvaliteti usluge sustava, odabire se određena raspodjela kanala.

## 7 ZAKLJUČAK

Ubrzan način života, razvoj životnog standarda i širenje gradova samo su neki od brojnih razloga za razvoj mobilne telekomunikacije gdje korisnici za vrijeme trajanja komunikacije mogu biti u pokretu. Potrebe za uslugama koje mobilna komunikacija treba pružati rastu svakog dana (to su govorna, podatkovna i multimedijaska komunikacija). Kako bi se mogla razvijati mobilna komunikacija, nužan je razvoj resursa jer mobilni sustavi moraju pružati određenu kvalitetu usluge po pitanju brzine, uspješnosti i područja primjene.

Današnji mobilni sustavi sastavljeni su od ćelija. Za poznate veličine resursa (broj dostupnih kanala/proslužitelja) i prometa (dobivenog simulacijama) u nekoj ćeliji, cilj ovog rada bio je odrediti raspodjelu dostupnih kanala u ćeliji tako da gubitci budu minimalni. Podaci koji su generirani predstavljaju handover (HO) i inicijalne (IA) pozive. Za IA pozive napravljene su tri realizacije s različitim prosječnim trajanjem, a za HO pozive četiri, ukupno 12 simulacija stanja ponuđenog prometa. Ukupan broj dostupnih kanala u ćeliji bio je  $M = 23$ . Cijela daljnja analiza rađena je ovisno o iznosu  $A_v$  i  $A_h$  prometa te za dva slučaja broja kanala namjenjenih IA pozivima:  $n = 5$  i  $n = 10$ .

Dobiveno je da je vjerojatnost odbijanja poziva  $p_h$  manja od vjerojatnosti  $p_v$  za odgovarajući par prometa  $A_v$  i  $A_h$ . Obzirom da su HO pozivi prioritetni i dostupno im je više kanala, rezultat je i očekivan. Također, najveće vjerojatnosti odbijanja odgovaraju najvećim iznosima prometa  $A_v$  i  $A_h$  i suprotno.

Zbog ograničenosti resursa, sa porastom  $A_h$  prometa HO poziva povećava se  $p_v$ , vjerojatnost gubitka IA poziva. Porast vjerojatnosti  $p_v$  ovisno o porastu prometu  $A_h$  puno je veći kod većih iznosa prometa  $A_h$ . Što je manji promet IA poziva u ćeliji, to je porast manji.

Ovisnost vjerojatnosti odbijanja poziva  $p_v$  o prometu  $A_v$  za odabrane vrijednosti je gotovo linearna, dakle za porast prometa od 2 Erl, porast vjerojatnosti  $p_v$  je gotovo jednak, no ipak nešto veći za manje vrijednosti prometa  $A_v$ . Ovisno o prometu  $A_h$ , do zamjetnih razlika dolazi tek za najveću vrijednost prometa  $A_h = 20$  Erl, dok se za niže vrijednosti krivulje gotovo preklapaju.

Budući da je broj izgubljenih IA i HO poziva iznos vjerojatnosti  $p_v$  i  $p_h$  pomnožen intenzitetom odgovarajućih poziva, grafovi i ovisnosti intenziteta ovisno o prometu  $A_v$  i  $A_h$  su sukladni onima za vjerojatnosti.

Za ukupan broj izgubljenih poziva vrijedi sličan odnos kao i kod pojedinih vjerojatnosti; ovisno o prometu  $A_h$  veći je porast pri većim vrijednostima prometa (od 15 do 20 Erl) te je ovisnost o prometu  $A_v$  gotovo linearna. Dakle, ovisno o  $A_v$  porast vjerojatnosti odbijanja je gotovo linearan, tj. u ovom radu za porast prometa  $\Delta A_v = 2$  Erl, porast  $\Delta izg = 20$  poz/h. Ovisno o prometu  $A_h$ , pokazalo se da je za porast prometa  $A_h$  sa 9 na 15 Erl broj izgubljenih poziva porastao za nešto više od 10 poz/h, dok je za manji  $\Delta A_h$  s 15 na 20 Erl, porast izgubljenih poziva veći od 20 poz/h.

Ovisno o broju kanala  $n$  za IA pozive, pokazalo se da su vjerojatnosti odbijanja  $p_h$  veće za veći broj kanala, dok su vjerojatnosti  $p_v$  tada manje. Osim toga, promjene vjerojatnosti  $p_h$  i  $p_v$  ovisno o prometu  $A_v$  i  $A_h$  su puno veće za  $n = 10$ , tj. uz veći broj kanala za jednak porast prometa vjerojatnosti odbijanja poziva puno se više mijenjaju.

Konačno ukupan broj izgubljenih poziva manji je za veći broj kanala namjenjenim IA pozivima  $n$ . Ipak, te razlike su veće za veće vrijednosti prometa  $A_v$ , dok za najmanji promet  $A_v$  (3 Erl) i najveći  $A_h$  (20 Erl) broj ukupnih izgubljenih poziva je vrlo blizak. Dakle, veći broj kanala za IA pozive doprinosi većem smanjenju broja izgubljenih poziva, pogotovo za veće vrijednosti prometa  $A_v$  i manji  $A_h$ .

Modeli i formule prezentirani u prijašnjim poglavljima samo su dio procesa dizajniranja/redizajniranja mobilnih sustava. Bitno je mjeriti promet i analizirati mrežne resurse. Nakon prikupljenih podataka, analiziraju se performanse sustava te naposljetku treba odrediti kvalitetu usluge koju sustav treba pružiti.

## 8 LITERATURA

- [1] [nastava.sf.bg.ac.rs/mod/resource/view.php?id=17913](http://nastava.sf.bg.ac.rs/mod/resource/view.php?id=17913) (pristup: kolovoz 2017.)
- [2] Mrvelj, Š.: „Pokretne ćelijske mreže 2. i 3. Generacije“, FPZ, 2009.
- [3] [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/M/Mobilni\\_komunikacijski\\_sustavi/Materijali/04-Mobilne\\_komunikacije.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/M/Mobilni_komunikacijski_sustavi/Materijali/04-Mobilne_komunikacije.pdf) (pristup: kolovoz 2017.)
- [4] [http://www.academia.edu/9262052/Sistemi\\_i\\_servisi\\_mobilnih\\_telekomunikacija\\_Predavanje\\_1](http://www.academia.edu/9262052/Sistemi_i_servisi_mobilnih_telekomunikacija_Predavanje_1) (pristup: lipanj 2017.)
- [5] <http://www.hzn.hr/UserDocsImages/pdf/EIS-budu%C4%87nost%20mobilnih%20komunikacija%20i%20izazovi%20normizacije.pdf> (pristup: lipanj 2017.)
- [6] <http://www.racunalo.com/razvoj-mobilnih-mreza-infografika/>
- [7] [http://www.radio-electronics.com/info/telecommunications\\_networks/erlang/what-is-erlang-telecommunications-unit-tutorial.php](http://www.radio-electronics.com/info/telecommunications_networks/erlang/what-is-erlang-telecommunications-unit-tutorial.php) (pristup: lipanj, 2017.)
- [8] <http://www.erlang.com/whatis.html> (pristup: kolovoz, 2017.)
- [9] Mrvelj, Š.: Nastavni materijali iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa, [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija\\_telekomunikacijskog\\_prometa\\_I/Materijali/1predavanja-vjezbe.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa_I/Materijali/1predavanja-vjezbe.pdf) (pristup: lipanj 2017.)
- [10] Bošnjak, I.: Telekomunikacijski promet I, FPZ, Zagreb, 2001.
- [11] Mrvelj, Š.: Nastavni materijali iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa, [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija\\_telekomunikacijskog\\_prometa\\_I/Materijali/2\\_predavanje-vjezbe.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa_I/Materijali/2_predavanje-vjezbe.pdf) (pristup: lipanj 2017.)
- [12] [http://2007.telfor.org.rs/files/radovi/02\\_01.pdf](http://2007.telfor.org.rs/files/radovi/02_01.pdf) (pristup: lipanj 2017.)
- [13] Mrvelj, Š., Bošnjak, I.: Primjeri i zadaci iz telekomunikacijskog prometa, FPZ, Zagreb, 2001.
- [14] [https://www.researchgate.net/publication/248501081\\_An\\_Introduction\\_to\\_Erlang\\_B\\_and\\_Erlang\\_C](https://www.researchgate.net/publication/248501081_An_Introduction_to_Erlang_B_and_Erlang_C) (pristup: lipanj 2017.)

## POPIS SLIKA

Slika 1 Osnovne komponente ćelijskog sustava [2].....	3
Slika 2 Koncept ponovne upotrebe iste frekvencije [2] .....	4
Slika 3 Uzorci ponovne upotrebe iste frekvencije [2].....	5
Slika 4 Evolucija mobilnih ćelijskih sustava [4].....	8
Slika 5 Razvoj generacija pokretnih mreža.....	12
Slika 6 Prikaz prometa od jednog Erlanga na jednom kanalu [9].....	13
Slika 7 Prikaz prometa od jednog Erlanga na više kanala [9].....	13
Slika 8 Sustav sa prioritetom [13] .....	16
Slika 9 Ovisnost vjerojatnosti odbijanja poziva $p_h$ o prometu $A_h$ i $A_v$ .....	21
Slika 10 Ovisnost vjerojatnosti odbijanja poziva $p_v$ o prometu $A_v$ i $A_h$ .....	22
Slika 11 Ukupan broj izgubljenih poziva ovisno o prometu $A_v$ i $A_h$ .....	23
Slika 12 Ukupan broj izgubljenih poziva ovisno o prometu $A_v$ i $A_h$ .....	24
Slika 13 Ovisnost vjerojatnosti odbijanja poziva $p_h$ o broju kanala $n$ i prometu $A_v$ i $A_h$ .....	25
Slika 14 Ovisnost vjerojatnosti odbijanja poziva $p_v$ o broju kanala $n$ i prometu $A_v$ i $A_h$ .....	26
Slika 15 Ovisnost ukupnog broja izgubljenih poziva o broju kanala $n$ i prometu $A_v$ i $A_h$ .....	27
Slika 16 Ovisnost ukupnog broja izgubljenih poziva o broju kanala $n$ i prometu $A_v$ i $A_h$ .....	28

## POPIS TABLICA

Tablica 1 Razvoj mobilnih komunikacija od I do IV generacija [5].....	7
Tablica 2 Prikaz izračuna vjerojatnosti $p_h$ i $p_v$ za poznate veličine $M$ , $A_h$ i $A_v$ .....	18
Tablica 3 Slučajne vrijednosti vremena posluživanja (trajanja poziva).....	19
Tablica 4 Prosječno trajanje $T_s$ (min), intenzitet poziva $\lambda$ i odgovarajući promet $A$ za tri simulacije IA poziva i četiri simulacije HO poziva .....	20
Tablica 5 Vjerojatnosti blokiranja poziva $p_v$ i $p_h$ ovisno o prometu $A_h$ i $A_v$ za $n = 5$ kanala ..	21
Tablica 6 Broj izgubljenih poziva $\lambda_h$ i $\lambda_v$ ovisno o prometu $A_h$ i $A_v$ za $n = 5$ kanala.....	22
Tablica 7 Ukupan broj izgubljenih poziva ovisno o $A_v$ i $A_h$ prometu za $n = 5$ kanala .....	23
Tablica 8 Vjerojatnosti blokiranja poziva $p_v$ i $p_h$ ovisno o prometu $A_h$ i $A_v$ za $n=10$ kanala ...	25
Tablica 9 Broj izgubljenih poziva $\lambda_h$ i $\lambda_v$ ovisno o prometu $A_h$ i $A_v$ za $n = 10$ kanala.....	26
Tablica 10 Broj ukupnih izgubljenih poziva ovisno o prometu $A_h$ i $A_v$ za $n = 10$ kanala.....	27

## **POPIS KRATICA**

AMPS (engl. Advanced Mobile Phone Services)  
EDGE (engl. Enhanced Data for Global Evolution)  
EPC (engl. Evolved Packet Core)  
ETSI (engl. European Telecommunication Standard Institute)  
EUTRAN (engl. Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network)  
CDMA (engl. Code Division Multiple Access)  
CEPT (engl. Conference of European Posts and Telegraphs)  
D – AMPS (engl. Digital AMPS)  
DECT (engl. Digital Enhanced Cordless Telecommunication)  
FDMA (engl. Frequency Division Multiple Acces)  
FCFS (engl. First Come First Serve)  
GPRS (engl. General Packet Radio Service)  
GPS (glavni prometni sat)  
GSM (engl. Global System for Mobile Communications)  
GPRS (engl. General Packet Radio Service)  
HARQ (engl. Hybrid Automatic Repeat Reques)  
HO (Handover pozivi)  
HSCSD (engl. High Speed Circuit Switched Data)  
HSDPA (engl. High Spped Downlink Packet Access)  
HSUPA (engl. High Speed Uplink Packet Access)  
IA (inicijalni pozivi)  
IDA (engl. Internet Direct Access)  
ISDN (engl. Intergrated Services Digital Network)  
LTE (engl. Long Term Evolution)  
LCR (engl. Lost Calls Retried)  
MIMO (engl. Multiple Input Multiple Output)  
NEMT (engl. Nordic Mobile Telephone)  
OFDM (engl. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)  
PDC (engl. Personal Digital Communication)  
PCS (engl. Personal Communication Pervices)



PSK (engl. Phase Shift Keying)

PSTN (engl. Public Switched Telephone Network)

SAE (engl. System Architecture Evolution)

SMS (engl. Short Message Service)

TACS (engl. Total Access Communication System)

TDMA (engl. Time-Division Multiple Access)

UMTS (engl. Universal Mobile Telecommunication)

VAS (engl. Value Added Service)

VoIP-u (engl. Voice over Internet Protocol)

WCDMA (engl. Wideband Code Division Multiple Access)