

# ANALIZA KVALITETA GSM SIGNALA MOBILNIH OPERATORA KORIŠĆENJEM MERNOG UREĐAJA ROHDE&SCHWARZ ROMES 4.11 ANALYSIS OF GSM SIGNAL QUALITY OF MOBILE OPERATORS USING TEST DEVICE ROHDE&SCHWARZ ROMES 4.11

Marija Vučićević, Jelena Sokić, Mladen Koprivica, Nataša Nešković, Aleksandar Nešković  
*Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu*

**Sadržaj** - U cilju sprovođenja uporedne analize kvaliteta GSM signala mobilnih operatora u Srbiji, u ovom radu opisan je merni postupak realizovan pomoću specijalizovanog ROMES (Rohde&Schwarz) mernog sistema. Detaljno je prikazan način sprovođenja merne kampanje, kao i proces obrade mernih rezultata. Za kvalitetnu analizu GSM signala izvršeno je merenje sledećih parametara: nivo snage signala na prijemu (RxLev), nivo kvaliteta signala na prijemu (RxQual), srednja vrednost odnosa C/I, dostupnost šest susednih ćelija i njima odgovarajuće srednje vrednosti snage signala, vrednost parametra TA (Timing Advance), korišćeni kodeci govora i njihove karakteristike, broj uspešno sprovedenih handover-a i raspoloživost kanala punog i polovičnog protoka (Full i Half Rate kanala). Na osnovu rezultata dobijenih merenjem izvršena je uporedna analiza kvaliteta GSM signala javnih mobilnih operatora u Srbiji i izveden zaključak.

**Abstract** - In order to make comparative quality analysis of GSM signal of mobile operators in Serbia, measuring procedure realized with specialized ROMES (Rohde&Schwarz) measurement system is introduced and represented in this paper. The measurement campaign and the essentials for evaluating and interpreting the measurement results are shown. In order to make quality analysis of GSM signal, following parameters were measured: Received Signal Level (RxLev), Received Signal Quality (RxQual), average value of carrier-to-interference ratio, availability of neighbor cells and average value of signal strength that corresponding to them, Timing Advance parameter, speech codecs and their characteristics, number of successfully completed handovers and percentage of usage of Full and Half Rate channels. Based on obtained measurement results comparative quality analysis of GSM signal of public mobile operators in Serbia was performed and appropriate conclusion was drawn.

**Ključne reči** – GSM, RxQual, RxLev, Timing Advance, kodeci govora.

**Keywords** – GSM, RxQual, RxLev, Timing Advance, speech codecs.

## 1. UVOD

Mobilni telekomunikacioni sistemi, kada se posmatra kontinuitet njihovog razvoja od prve generacije (1G) analognih mobilnih sistema do današnjih digitalnih mobilnih sistema treće (3G) i četvrte generacije (4G), značajno su promenili svoja primarna obeležja. U generacijskom smislu osnovna verzija GSM sistema spada u radio-sisteme, tzv. 2. generacije (2G), dok je u tehnološkom smislu GSM u osnovi moderan digitalni sistem sa frekvencijskom i vremenskom raspodelom kanala u radio-opsegu (FDMA/TDMA) sa 8 vremenskih slotova po jednom radio-nosiocu, što znači da jedan radio-kanal podržava 8 tzv. "fizičkih kanala" koji mogu biti saobraćajni ili kontrolni kanali. GSM je standard koji se stalno modifikuje i evoluira u cilju zadovoljavanja sve većih i sve raznovrsnijih potreba korisnika, obezbeđujući na taj način svoj kontinuirani rast.

U uslovima visoko-konkurentnog okruženja dolazi do promena u načinu kreiranja i pružanja servisa korisnicima. Uloge korisnika se menjaju tako da oni postaju aktivni učesnici sa direktnom kontrolom nad načinom izbora, korišćenja i zamene servisa koji im se obezbeđuje. Zbog toga provajderi servisa pokušavaju da ponudom servisa različitog nivoa kvaliteta što efikasnije iskoriste mrežne kapacitete i maksimiziraju svoj profit, vodeći računa o potrebama korisnika. U skladu sa navedenim, operatori moraju da kontrolišu i upravljaju svim faktorima koji utiču na kvalitet GSM mreže i najboljim načinom njihovog upravljanja. Na teritoriji Republike Srbije u operativnom radu su tri javna mobilna operatora i to: Mobilna Telefonija Srbije (MTS), Telenor i Vip Mobile, čiji su GSM signali mereni i analizirani u okviru ovog rada.

Kao parametri koji ukazuju na kvalitet GSM signala izdvojeni su: ① RxLev (*Received Signal Level*, nivo signala

na prijemu - parametar korišćen od strane mobilnog terminala u cilju određivanja da li je signal koji potiče od servisne bazne stanice dovoljnog nivoa) i ② RxQual (*Received Signal Quality*, kvalitet signala na prijemu procenjen od strane mobilnog terminala). Vrednosti navedenih parametara se posmatraju unutar SACCH (*Slow Associated Control Channel*) *multiframe*-a koji je sastavljen do 104 uzastopno dodeljena vremenska slota, od kojih se četiri koriste za identifikaciju susednih ćelija pretragom BSIC-a (*Base Station Identity Code*) i tokom njihovog trajanja ne vrši se ni predaja ni prijem na servisnoj ćeliji. RxLevFull/RxQualFull vrednost definiše se na osnovu svih *frame*-ova u SACCH *multiframe*-u, bez obzira da li su oni emitovani od strane bazne stanice ili ne. Ukupno 100 *frame*-ova se koristi da bi se dobila Full vrednost određenog parametra. Za razliku od navedenog, Sub vrednost bazira se samo na mandatornim *frame*-ovima u SACCH *multiframe*-u, odnosno na *frame*-ovima koji uvek moraju biti emitovani. Ukupno 12 *frame*-ova se koristi da bi se dobila informacija o Sub vrednosti željenog parametra, u ovom slučaju RxLevSub/RxQualSub.

Pored ovih parametara, a sve u cilju pravilnog donošenja zaključka pri uporednoj analizi kvaliteta, izdvojeno je i posmatrano sledeće: srednja vrednost odnosa C/I, dostupnost šest susednih ćelija i srednja vrednost snage signala u njima, *Timing Advance* (TA) vrednost, raznovrsnost korišćenih kodeka i njihove karakteristike, ukupan broj uspešno sprovedenih *handover*-a na celoj trasi na kojoj je merenje izvršeno, pri čemu je izdvojeno i koji tip *handover*-a je u pitanju. Kako je, sa stanovišta korisnika, bitno da li mu je na raspolaganju kanal punog ili polovičnog protoka (*Full* ili *Half Rate* kanal), izdvojen je procenat korišćenja istih za svakog od mobilnih operatera.

## 2. OPIS MERNE OPREME I MERNA METODOLOGIJA

U cilju sprovođenja kvalitetnih merenja korišćen je specijalizovani merni sistem ROMES 4.11 (*Rohde&Schwarz*). Zahvaljući modularnom konceptu, ROMES predstavlja dobro rešenje za analizu kvaliteta mreža mobilnih operatera. ROMES obezbeđuje da procedure merenja i analize rezultata mogu biti konfigurisane i sprovedene nezavisno. Podešavanjem *driver*-a hardvera određuje se način na koji se merenje izvršava, dok se podešavanjem konfiguracije prikaza definiše kako se dobijeni rezultati mogu videti i analizirati [1]. Dok *measurement file* sadrži merene podatke, *workspace* (\*.rsxks) kontroliše njihovu vizuelizaciju i sadrži podešavanja ekrana za jednu R&S ROMES sesiju, uključujući tip, veličinu i poziciju svih otvorenih softverskih prikaza, kao i tipove parametara koji se mogu videti u svakom od prikaza i prikaz rute koja se koristi u toku merenja. U okviru konfiguracionog menija za potrebe prikaza i eksportovanja mogu se odabrati podaci koji su predstavljeni hijerarhijskim stablom. Stablo daje grafičku predstavu korelacije među podacima koji potiču od različitih uređaja i tehnologija. Podaci sačuvani u *measurement file*-u mogu biti eksportovani u *file*-ove specifičnih formata (dostupno je nekoliko ASCII i drugih formata u zavisnosti od konfiguracije sistema) radi korišćenja u drugim aplikacijama.

Merna oprema sadrži: ① Dva test mobilna telefona od kojih se jedan koristi za merenja u okviru GSM mreže, ② Laptop opremljen mernim softverom i ③ Sistem za

pozicioniranje. Mobilni primopredajnik je specijalno razvijen za ovaj tip testa i ima interfejs za komunikaciju sa laptopom. Pri mernoj kampanji korišćen je telefon Nokia 6680 koji je podešen na rad u GSM mreži i na taj način omogućeno je praćenje parametara kvaliteta samo ovog sistema.

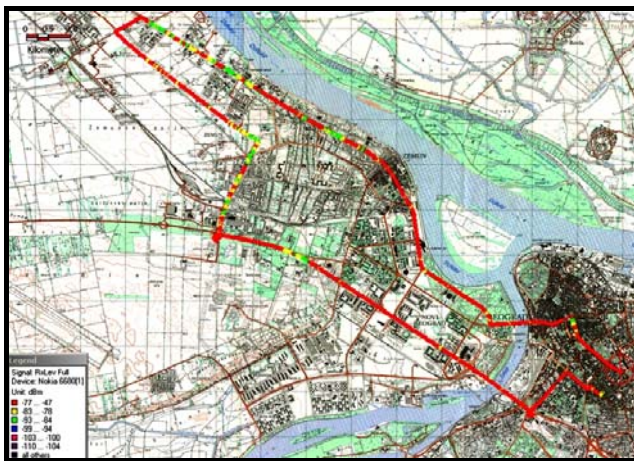
ROMES softverska platforma instalirana je na laptop računaru i u okviru nje obezbeđeno je lako postavljanje ulaznih parametara, kontrolisano prikupljanje i smeštanje rezultata merenja (zajedno sa podacima o geografskoj poziciji) u datoteke radi naknadne obrade. R&S ROMES kao metod određivanja geografske pozicije mernog sistema tokom merne kampanje koristi GINA GPS prijemnik koji se kalibriše pre početka merenja. Ovaj prijemnik, kao i svi ostali GPS prijemnici podržava NMEA (*National Marine Electronics Association*) protokol, i potrebno je učitavanje NMEA *driver*-a. Svi elementi mernog sistema mogu se napajati iz autonomnog izvora za napajanje (tj. akumulatora). Kompletan merni sistem smešten je u putnički automobil, koji se potom kretao po unapred utvrđenoj trasi za potrebe merenja kvaliteta signala sva tri mobilna operatera. Merne antene su montirane na krovu automobila na visini od približno 1.5m iznad zemlje, i to dve antene za mobilne uređaje i jedna GPS antena. Izgled korišćenog mernog sistema prikazan je na slici 1.



Slika 1: Prikaz korišćenog mernog sistema

GSM merna oprema podešena je na uspostavu i održavanje kontinualnog poziva ka određenom servisnom broju povezanom direktno na komutaciono čvorište operatera. Na taj način omogućen je poziv koji beskonačno traje, izuzev ako karakteristike same mreže ne dovedu do njegovog prekida.

Prilikom obrade rezultata korišćenjem *Route Track* dijagrama može se prikazati merna putanja, kao i promena merenih signala upotrebom projekcije na učitane pozadinsku mapu. U svrhu ovog merenja učitana je karta Beograda, koja je potom georeferencirana. Boja dobijene krive ukazuje na vrednost signala na način na koji je to objašnjeno u legendi, u kojoj se još mogu videti i geografske koordinate pojedinačnih tačaka pri merenju. Kao ilustracija, na slici 2 dat je prikaz merne putanje korišćenjem pomenutog programskog modula.



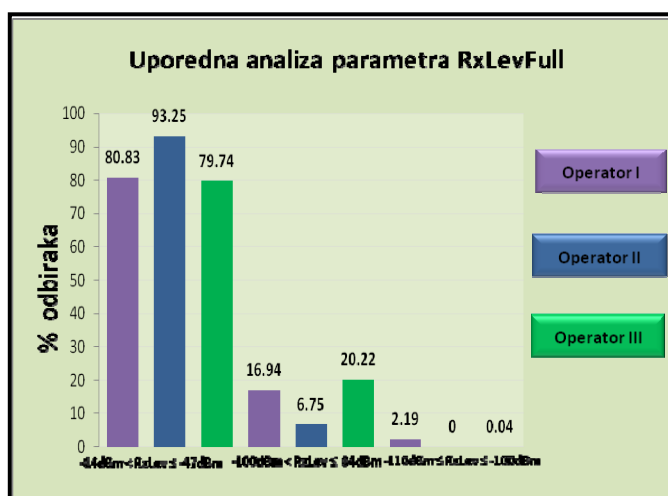
Slika 2: Prikaz merne putanje realizovane u okviru merne kampanje

### 3. REZULTATI MERENJA

Značajni radio parametri GSM signala su nivo primljenog signala (RxLev) i kvalitet na prijemu (RxQual), koji su tokom testiranja GSM mreže mereni na svakih 480ms, i u skladu sa tim svi podaci dobijeni ovom mernom metodom eksportovani su na 0.5s. Dok su RxLev i RxQual opšti pojmovi, parametri koji se mogu meriti su RxLevSub, RxLevFull, kao i RxQualSub i RxQualFull. Pri tome treba naglasiti da su RxLevSub i RxQualSub pogodniji parametri za procenu pokrivanja teritorije. Tokom svih merenja u *dedicated* modu, SACCH *multiframe* je osnova za sva merenja [2].

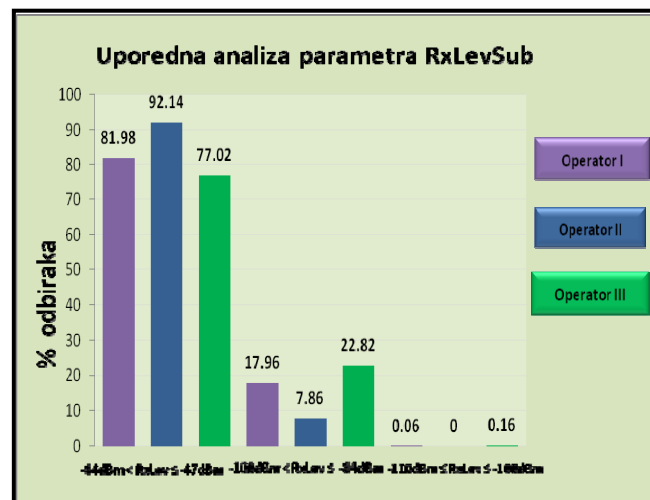
Svaki GSM mobilni terminal konstantno meri vrednost RxLev. U toku poziva ovaj parametar odgovara nivou primljene snage od strane mobilne stanice u saobraćajnom kanalu. Pri tome se dobijaju vrednosti u rasponu od -110dBm do -47dBm, iako mobilni terminal ustvari prijavljuje drugu vrednost (*step*) koja može biti iz opsega od 0 do 63, gde 0 odgovara nivou od -110dBm, a 63 nivoima signala od -47dBm ili višim.

Uparedna analiza mernih rezultata sva tri mobilna operatora, za RxLevFull i RxLevSub, data je na slikama 3 i 4, respektivno.



Slika 3: Uparedna analiza parametra RxLevFull

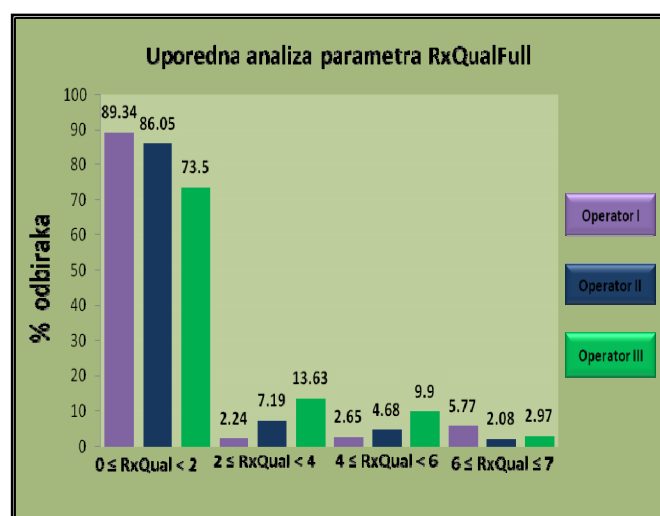
Srednja vrednost parametra RxLevFull za celokupni merni postupak najveća je za Operatora II i iznosi -68.60dBm, dok je za Operatore I i III vrednost tog parametra -75.81dBm, odnosno -75.16dBm.



Slika 4: Uparedna analiza parametra RxLevSub

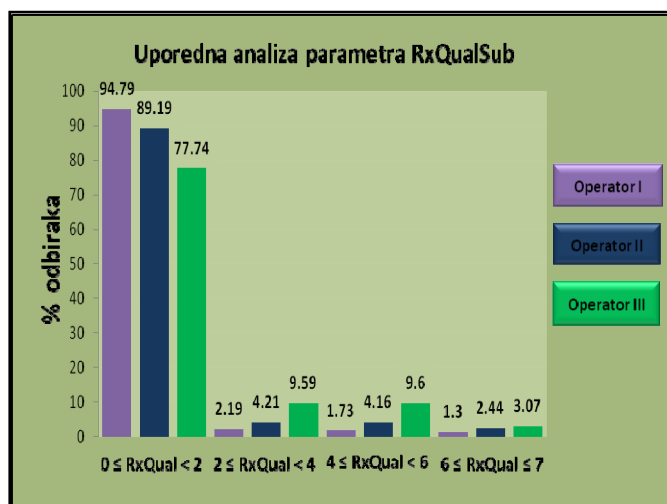
Vrednost RxLevSub usrednjena u vremenu celokupnog merenja najveća je za Operatora II i iznosi -69.16dBm, dok je dalji poredak izmenjen u odnosu na Full vrednosti, pa je sada za Operatora I vrednost parametra RxLevSub -75.81dBm, a za Operatora III je najniža i iznosi -75.75dBm.

RxQual se uglavnom bazira na merenju BER-a (*Bit Error Rate*) od strane mobilnog terminala. Merenje se vrši na osnovu svih primljenih *frame*-ova i ta vrednost se izveštava kroz SACCH kanal. Dobijeni RxQual predstavlja srednju vrednost BER-a, i rangira se u osam opsega (0 do 7), pri čemu 0 označava najmanji BER, odnosno najbolje performanse, dok je slučaj da RxQual iznosi 7 ujedno i najnepovoljniji. Rezultati uporedne analize kvaliteta signala na prijemu, RxQualFull i RxQualSub, za sva tri operatora prikazani su na slikama 5 i 6, respektivno.



Slika 5: Uparedna analiza parametra RxQualFull

Srednja vrednost parametra RxQualFull, kod Operatora I iznosi 0.57, kod Operatora II 0.56, dok je nešto veća, a samim tim i nepovoljnija, kod Operatora III i njena vrednost je 1.02.



Slika 6: Uporedna analiza parametra RxQualSub

Kada je u pitanju srednja vrednost parametra RxQualSub, Operator I je sada nešto dominantniji u odnosu na preostala dva operatora sa vrednošću od 0.22, dok je kod Operatora II i III 0.47 i 0.89, respektivno.

Kako visoka vrednost RxQual, ne mora biti samo posledica niskog nivoa snage signala na prijemu, već i postojanja interferencije, korisno je, kao još jedan od pokazatelja kvaliteta, uvesti i srednju vrednost odnosa C/I. U tabeli 1 prikazan je procenat zastupljenosti vrednosti parametra C/I prema naznačenim opsezima posmatranja, a izdvojene su i minimalna, maksimalna i srednja vrednost C/I za vreme celokupnog trajanja mernog postupka.

Tabela 1: Srednja vrednost odnosa C/I

|                       | Operator I | Operator II | Operator III |
|-----------------------|------------|-------------|--------------|
| Avg.C/I<9dB           | 0.77%      | 0.05%       | 0.72%        |
| 9dB<Avg.C/I<12dB      | 1.05%      | 0.02%       | 0.45%        |
| 12dB<Avg.C/I<15dB     | 1.70%      | 0.55%       | 2.19%        |
| Avg.C/I>15dB          | 96.60%     | 99.38%      | 96.82%       |
| Min C/I [dB]          | 0.7        | 3.8         | 2.1          |
| Max C/I [dB]          | 25         | 24.2        | 23           |
| Srednja vrednost [dB] | 19.14      | 19.48       | 18.8         |

Na osnovu prikazanog može se zaključiti da je Avg. C/I > 15dB najviše zastupljena za Operatora II i to u 99.38% slučajeva, koji se opet ističe kao najbolji i kada se analizira situacija u kojoj je Avg. C/I < 9dB tako što ima najmanji procenat odbiraka koji iznosi 0.05%. Najniža zabeležena Avg. C/I u okviru sprovedenih merenja iznosi 0.7dB, i dobijena je za mobilnog Operatora I.

Nakon prikaza osnovnih pokazatelja kvaliteta GSM sistema postavlja se pitanje koji je optimalan trenutak za izvršavanje *handover*-a. Osnova za procesiranje uspešnog *handover*-a je algoritam odlučivanja koji koristi rezultate merenja dobijene od mobilne stanice (MS) i bazne stanice (BS) da bi identifikovao moguće druge BS kao „mete“ *handover*-a, kao i da bi odredio optimalan trenutak za izvršavanje istog, pri čemu treba istaći važnost dobro dimenzionisanog *handover* algoritma. Mobilna stanica preko liste susednih kanala koju dobija može u kontinuitetu da prati do šest susednih ćelija, meri njihov nivo sa idejom da se, ako ti susedi imaju bolje uslove, i prebaci na njih. Podaci i mobilne i bazne stanice se prenose u BSC (*Base Station Controller*) koji će iste obraditi i doneti odluku kada se vrši *handover*. Može se istaći i dostupnost svih šest suseda, što je

ujedno i maksimalan broj koji se tokom ovog merenja može detektovati. Poređenja radi može se prikazati koja je srednja vrednost nivoa primljenog signala za svakog od suseda.

Tabela 2: Srednja vrednost nivoa primljenog signala za šest susednih ćelija i procenat dostupnosti svih šest suseda

| Srednja vrednost nivoa primljenog signala za šest susednih ćelija [dBm] |        |        |        |        |        |        | Procenat dostupnosti svih šest suseda |
|-------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------------|
| Redni broj suseda                                                       | N1     | N2     | N3     | N4     | N5     | N6     |                                       |
| Operator I                                                              | -61.39 | -67.02 | -70.86 | -73.72 | -76.25 | -78.56 | 86.78%                                |
| Operator II                                                             | -50.60 | -56.43 | -66.87 | -72.50 | -76.78 | -80.83 | 71.05%                                |
| Operator III                                                            | -55.54 | -61.46 | -68.87 | -73.61 | -78.98 | -83.99 | 79.90%                                |

Šest suseda procentualno je istovremeno bilo dostupno najviše kod mobilnog Operatora I i to u 86.78%, dok je ista situacija najmanje bila zastupljena za Operatora II i to u 71.05% slučajeva.

U GSM standardu, TA vrednost odgovara vremenu koje je potrebno da signal od mobilnog terminala stigne do bazne stanice. Kako su korisnici na različitim udaljenostima od bazne stanice i radio talasi putuju konačnom brzinom, dolazno vreme unutar *slot*-a može se iskoristiti od strane bazne stanice u cilju određivanja rastojanja mobilnog telefona. Vreme u kojem je mobilnoj stanici dozvoljeno da emituje *burst* saobraćaja unutar *time slot*-a mora biti prilagođeno u cilju sprečavanja kolizije sa susednim korisnicima. Vrednost TA parametra kreće se od 0 do 63, a u okviru sprovedenog merenja dobijeni su rezultati koji su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3: Vrednost TA parametra i procenat u kojem je zastupljena

| TA           | 0      | 1      | 2      | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|--------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Operator I   | 45.62% | 39.78% | 12.67% | 0.61% | 0.06% | 0.44% | 0.81% | 0.01% | -     | -     |
| Operator II  | 9.13%  | 53.99% | 30.02% | 5.82% | 0.99% | 0.05% | -     | -     | -     | -     |
| Operator III | 6.12%  | 51.62% | 21.23% | 6.99% | 5.41% | 1.88% | 0.41% | 0.95% | 3.99% | 1.40% |

Pri analizi parametra TA uočeno je da je TA=0 u 45.62% slučajeva za Operatora I, što je mnogo više u odnosu na druga dva operatora. Takođe, TA ima maksimalnu vrednost 9 i to kada je u pitanje Operator III, dok za Operatore I i II ona ide do 7, odnosno 5.

Sledi detaljan prikaz (tabela 4) izvršenih HO za sve mobilne operatore, uzimajući u obzir sve moguće vrste istog.

Tabela 4: Broj izvršenih HO za sve mobilne operatore

|                                                    | Operator I | Operator II | Operator III |
|----------------------------------------------------|------------|-------------|--------------|
| Intra-cell HO                                      | 9          | 5           | 5            |
| Inter-cell HO u okviru iste BS                     | 28         | 11          | 13           |
| Inter-cell HO između različitih BS                 | 61         | 70          | 52           |
| Inter-cell HO između različitih BS sa promenom LAC | 4          | 9           | 13           |
| Ukupan broj HO                                     | 102        | 95          | 83           |

Ako se u obzir uzme dužina trase na kojoj je sprovedena merna kampanja, zaključuje se da se za sva tri mobilna operatora izvrše oko tri *handover*-a po jednom kilometru.

Kvalitet govora u trenutnim mobilnim sistemima limitiran je između ostalog i performansama algoritama kodovanja govora. *Full Rate* ili GSM-FR bio je prvi digitalni standard kodovanja govora korišćen u GSM sistemu, sa protokom



kodeka od 13kbit/s, za razliku od GSM-HR koji zahteva duplo manje opsega, odnosno radi na 5.6kbit/s. Kvalitet govora kodovanog GSM-FR-om je siromašan za današnje moderne standarde i postepeno se menja sa EFR (*Enhanced Full Rate*) i AMR standardima. GSM-EFR radi na 12.2kbit/s i obezbeđuje dobar kvalitet, ali troši oko 5% više energije, pa se shodno tome prednost daje AMR kodecima. Za razliku od prethodnih GSM kodeka govora (FR, EFR i HR) koji rade fiksnim protokom i sa konstantnim nivoom zaštite od greške, AMR kodeci prilagođavaju svoj nivo zaštite u skladu sa lokalnim radio kanalom i saobraćajnim uslovima. Osnovna ideja je da se AMR kodeci mogu dinamički adaptirati na različite uslove interferencije u kanalu tako što menjaju modove u kojima rade i na taj načina povećavaju broj bita namenjen kodovanju kanala kako interferencija raste smanjujući istovremeno broj bita namenjenih kodovanju izvora. Postoji osam različitih dostupnih bitskih protoka za kodovanje izvora, i to su: 4.75, 5.15, 5.90, 6.70, 7.40, 7.95, 10.20 i 12.20 kbit/s. Promena između različitih modova kodeka vrši se na osnovu odnosa C/I aktuelnog linka. Na osnovu sprovedenih merenja, za svakog operatora pojedinačno, izdvojeni su podaci o ukupnom procentu korišćenja pojedinačnih kodeka govora i prikazani u tabeli 5. Pored toga, analizirana je i srednja vrednost odnosa C/I za vreme za koje su pomenuti kodeci upotrebljeni (tabela 6). Dobijeni rezultati razdvojeni su za *uplink* i *downlink*, jer se različiti kodeci mogu koristiti za ova dva smera veze, dok mod kanala (*Full* ili *Half Rate*) mora biti isti.

Tabela 5: Procenat korišćenja kodeka govora

| Procenat korišćenja (%) | Operator I  | Operator II | Operator III |
|-------------------------|-------------|-------------|--------------|
| AMR 4.75Kbps (DL/UL)    | 0.01/-      | 0.26/0.1    | 0.92/0.55    |
| AMR 5.90Kbps (DL/UL)    | 0.07/0.03   | 0.16/0.36   | 0.15/0.47    |
| AMR 6.70Kbps (DL/UL)    | -/-         | 0.61/0.4    | 0.31/0.21    |
| AMR 7.40Kbps (DL/UL)    | 8.18/8.21   | 33.6/33.62  | 24.06/24.28  |
| AMR 7.95Kbps (DL/UL)    | 0.17/0.01   | 0.26/0.38   | 0.1/0.54     |
| AMR 12.20Kbps (DL/UL)   | 69.83/70.01 | 65.16/64.94 | 32.93/32.24  |
| GSM Full Rate (DL/UL)   | -/-         | -/-         | 41.53/41.61  |
| GSM EFR (DL/UL)         | 21.74/21.74 | -/-         | -/-          |

Tabela 6: Srednja vrednost C/I za vreme korišćenja kodeka

|              | Srednja vrednost odnosa C/I za vreme korišćenja pojedinačnih kodeka DL/UL [dB] |              |              |              |              |               |             |             |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
|              | AMR 4.75Kbps                                                                   | AMR 5.90Kbps | AMR 6.70Kbps | AMR 7.40Kbps | AMR 7.95Kbps | AMR 12.20Kbps | GSM FR      | GSM EFR     |
| Operator I   | 15/-                                                                           | 14.08/20.03  | -/-          | 19.33/19.32  | 12.85/21.6   | 19.31/10.29   | -/-         | 18.48/18.48 |
| Operator II  | 14.46/19.82                                                                    | 15.83/19.85  | 16.06/19.2   | 19.38/19.29  | 16.21/19.56  | 19.6/19.57    | -/-         | -/-         |
| Operator III | 7.29/6.7                                                                       | 12.92/12.2   | 15.43/17.18  | 18.84/18.74  | 14.2/14.8    | 18.95/18.95   | 18.98/19.01 | -/-         |

#### 4. ZAKLJUČAK

U cilju sprovođenja uporedne analize kvaliteta GSM signala mobilnih operatora u Srbiji izvršena su intenzivna merenja na teritoriji grada Beograda.

Prvo što se jasno može uočiti jeste da Operator II dominira kada je u pitanju nivo snage signala na prijemu i u najvišem definisanom opsegu prevazilazi preostala dva operatora za 10-14%, kao i da ovaj operator nema odbiraka u najnižem definisanom opsegu za parametre RxLevFull i RxLevSub. Treba navesti i da za opseg najnižih vrednosti

snage signala za slučaj RxLevFull parametra najviše je zastupljen mobilni Operator I, dok se za RxLevSub, koji je i značajniji parametar za procenu pokrivanja, ističe Operator III.

Ako se posmatraju slike 5 i 6 može se uvideti da se najboljim kvalitetom signala može pohvaliti Operator I, ali treba primetiti da, ako se posmatra RxQualFull parametar, isti operator je i najzastupljeniji kada je u pitanju i najlošiji kvalitet signala. Pri analizi RxQualSub parametra, može se zapaziti da je Operator I i dalje najdominantniji kada je u pitanju odličan kvalitet signala, sada i nekoliko procenata više u odnosu na Full vrednost, pri čemu je interesantno da isti operator ima najmanji procenat odbiraka kada je kvalitet signala jednak 6 ili 7. Meri rezultati su pokazali da je RxQualSub=0, što je ujedno i najpovoljnija vrednost, detektovan u 94.12% slučajeva za Operatora I, čime on stiče prednost u odnosu na Operatore II i III, kod kojih je isti procenat 86.75% i 74.66%, respektivno.

Nakon što se može zaključiti da Operator II ima najbolje rezultate kada je u pitanju nivo snage signala na prijemu, kao i da je Operator I najbolji kada je u pitanju kvalitet signala na prijemu, kada se razmatraju maksimalne vrednosti ovih parametara, potrebno je obratiti pažnju i na druge rezultate merenja predstavljene ovim radom, a koji mogu uticati na uporednu analizu.

Pored navedenih parametara, treba istaći da je, sa stanovišta korisnika, bitno da li mu je na raspolaganju kanal punog ili polovičnog protoka, što može ukazati i na postojanje zagušenja u mreži. Najbolje rezultate pri ovoj analizi pokazao je Operator I, gde je *full rate* kanal zastupljen u čak 92.24% slučajeva, što je mnogo veće u odnosu na njegove konkurente gde se ovaj tip kanala koristi u 75.64% i 67.15% za Operatore III i II, respektivno. Može se zaključiti da najbolja preraspodela kodeka, a samim tim i najveći procenat korišćenja kanala punog protoka (*full rate*), je i razlog što se za Operatora I može reći da ima najbolji kvalitet GSM signala.

Sprovedena uporedna analiza kvaliteta GSM mreža mobilnih operatora u Srbiji, pokazala je da se radi o veoma kompleksnom procesu koji u obzir mora uzeti dosta faktora u cilju donošenja pravilnih zaključaka.

#### LITERATURA

- [1] "R&S ROMES 4 Coverage Measurement System – Operating Manual version 4.11", Germany Rohde&Schwarz.
- [2] Ascom, "FER, RxQual, and DTX DL Rate Measurements in TEMS Investigation", December 2005.
- [3] Vučićević Marija, "Uporedna analiza kvaliteta GSM signala mobilnih operatora u Srbiji korišćenjem mernog uređaja Rohde&Schwarz ROMES 4.11", Master rad.
- [4] Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Performance Characterization of the GSM Adaptive Multi-Rate (AMR) speech codec (GSM 06.75 version 7.2.0 Release 1998), ETSI TR 101 714 V7.2.0 (2000-04).
- [5] 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project; Technical Specification Group GSM/EDGE Radio Access Network; Radio Subsystem Link Control (Release 9), 3GPP TS 45.008 V9.4.0 (2010-09).
- [6] A. Nešković, Predavanja iz predmeta Radio sistemi, Elektrotehnički fakultet, Beograd 2008.