

Prijedlog rješenja za povećanje energetske efikasnosti u heterogenoj mobilnoj mreži

Dalibor Ilić

Planiranje i izgradnja bežične pristupne mreže
Mtel, a.d.Banjaluka
Banjaluka, BiH
dalibor.ilic@mtel.ba

Milan Šunjevarić

Istraživačko-razvojni institut "RT-RK" d.o.o. Novi Sad
Novi Sad, Srbija
micosun@eunet.rs

Sadržaj—Jedan od glavnih izazova u današnjim informacionim i telekomunikacionim tehnologijama je smanjenje potrošnje električne energije. Najveći potrošači električne energije u telekomunikacionim mrežama su pristupni čvorovi u fiksnim pristupnim mrežama i bazne stanice u mobilnim pristupnim mrežama. U posljednjih deset godina posebna pažnja se posvećuje rješenjima koja imaju pozitivan uticaj na životnu sredinu. Ovaj rad predstavlja jedno moguće rješenje za smanjenje utroška električne energije u heterogenim mobilnim mrežama.

Ključne riječi—Energetska efikasnost, GSM, heterogena mobilna mreža, HSPA.

I. UVOD

Današnje telekomunikacione mreže su projektovane tako da obezbijede dovoljan kapacitet u času najvećeg intenziteta saobraćaja, dok se malo pažnje posvećivalo situacijama kada je saobraćaj u mreži nizak. Najveći potrošači električne energije u telekomunikacionim mrežama su pristupni čvorovi u fiksnim pristupnim mrežama i bazne stanice u mobilnim pristupnim mrežama [1]. Projektovanje prilagodljivih i fleksibilnih mobilnih mreža, koje mogu da isključe određene mrežne elemente u periodu niskog intenziteta saobraćaja, omogućava manju potrošnju električne energije. Povećanje energetske efikasnosti mobilnih mreža može se postići koristeći hibridnu hijerarhiju baznih stanica. Ako se koriste bazne stanice sa različitim veličinama ćelija i različitim primjenjenim tehnologijama, može se kreirati bazična pristupna mreža koja obezbjeđuje osnovnu pokrivenost ali sa manjim ostvarivim brzinama podataka. Na hijerarhijski većim nivoima baznih stanica, koje imaju manje ćelije, moguće je ostvariti veće brzine prenosa podataka i širokopolasni pristup. Ovakav pristup ima prednosti jer se manje ćelije mogu isključiti kada je saobraćaj u mreži niskog intenziteta i ponovo se aktivirati kada zahtjevi za saobraćaj porastu, bez većeg uticaja na pokrivenost.

Konvencionalna mobilna pristupna mreža, bazirana samo na makro ćelijama, je manje efektivna. Zbog toga se češće koriste ćelije manjih dimenzija. Makro ćelije se koriste kako bi se obezbijedila opšta pokrivenost ali one nisu efikasne u obezbjeđivanju većih brzina prenosa podataka. Zbog toga se koriste ćelije manjih dimenzija u oblasti sa većom

koncentracijom korisnika ili gdje su veći zahtjevi za većim brzinama prenosa podataka. Te manje ćelije se zovu mikro, piko ili femto ćelije, u zavisnosti od njihove veličine. One su sastavni dio baznih stanica koje imaju manju snagu i manje područje pokrivanja. Prečnik mikro i piko ćelija kreće se od nekoliko metara do nekoliko stotinjaka metara, dok su femto ćelije namijenjene za ostvarivanje pokrivenosti i kapaciteta u unutrašnjosti objekata (prodajni centri, hoteli, poslovni prostori, itd.). Femto ćelije imaju samo jedan pojačavač snage, npr. od 100 mW, dok je ukupna potrošnja manja u odnosu na potrošnju makro bazne stanice. Simulacije u [2,3] pokazuju da se može ostvariti ušteda električne energije i do 60% ako se za 20% korisnika obezbijedi pokrivenost piko ćelijama umjesto makro ćelijama, u poređenju sa mrežom koja bi bila koncipirana isključivo na makro ćelijama. U [3] autor je omogućio detaljan uvid u moguću arhitekturu mreže koja je projektovana od makro i femto ćelija, dok je u [4] istražen uticaj različitih strategija za arhitekturu mreže sa aspekta utroška električne energije u mobilnim mrežama. Rezultati koji su prikazani u [4] upućuju na to da u slučaju velikog intenziteta saobraćaja, upotreba mikro ćelija ima zanemariv uticaj na smanjenje utroška električne energije u odnosu na makro ćelije.

II. PRIKAZ PRIMJERA HETEROGENE MOBILNE MREŽE

Kapacitet današnjih mobilnih mreža se dimenzioniše za intenzitet saobraćaja u času najvećeg intenziteta saobraćaja. Najveći broj baznih stanica, koje su u radu, je u onom području gdje ima najviše korisnika ili gdje se generiše najveći saobraćaj. Na takvim baznim stanicama je primjenjeno nekoliko tehnologija (GSM, UMTS, HSPA, itd.) i mogu da rade u različitim frekvencijskim opsezima (GSM900, DCS1800, UMTS900 ili UMTS2100) kako bi se obezbijedio dovoljan kapacitet i kvalitet usluge za čas najvećeg intenziteta saobraćaja. Zbog toga, jedno područje može biti pokriveno od strane nekoliko baznih stanica koje rade sa različitim tehnologijama i u različitim frekvencijskim opsezima. Ovo daje mogućnost da se mobilna mreža optimizuje u periodu niskog intenziteta saobraćaja u cilju smanjenja utroška električne energije.

Bazirano na ovim činjenicama, može se pronaći povezanost između potrošnje električne energije u heterogenoj mobilnoj mreži i obezbjeđivanja pokrivenosti i kapaciteta. Istraživanje je urađeno za područje grada Banjaluka, koje je podijeljeno na

gradsku, prigradsku i ruralnu oblast. Za procjenu pokrivenosti, za datu tehnologiju i uslugu, korišten je softver za radio planiranje i optimizaciju baziran na Okumura-Hata modelu. Na osnovu Okumura-Hata jednačine i parametara ove jednačine prilagođenih za određenu geografsku oblast i tip tehnologije, proračunava se prečnik ćelije. Prečnik ćelije određuje pokrivenost ćelije, odnosno bazne stanice.

Proračun za kapacitet se radi na osnovu informacija o broju stanovnika grada Banjaluka, procjeni broja korisnika i na osnovu procjene količine saobraćaja koju generiše tipični korisnik za određenu uslugu.

Na osnovu detaljnog proračuna za pokrivenost i kapacitet heterogene mobilne mreže, za područje grada Banjaluka, dobije se tačan broj baznih stanica i njihovih konfiguracija, koje su potrebne kako bi se obezbijedili pokrivenost i kapacitet za potencijalne korisnike za grad Banjaluka. Broj lokacija je osnovni podatak za proračun ukupne potrošnje električne energije u heterogenoj mobilnoj mreži.

Planiranje je bazirano na softverskom alatu Aircom3G i propagacionom modelu, koji je baziran na Okumura-Hata jednačini i njenim varijacijama za određeno frekvencijsko područje [5]. Okumura Hata jednačina proračunava maksimalno dozvoljeno slabljenje signala pri kojem će kvalitet usluge biti i dalje na prihvatljivom nivou.

Na osnovu proračuna linka, proračunava se maksimalno dozvoljeno slabljenje. Prema zahtjevima za korisnički i signalizacioni saobraćaj konačno se proračunava potreban broj baznih stanica za područje grada Banjaluka, kako je definisano u Tabeli 1. Konfiguracije baznih stanica su date u zagradama. Npr. konfiguracija 3/3/3 znači da bazna stanica ima tri ćelije i po tri nosioca na svakoj ćeliji.

TABELA 1: BROJ BAZNIH STANICA.

Broj baznih stanica	Gradsko područje	Prigradsko područje	Ruralno područje
GSM900	10(3/3/3)	24(2/2/2)	21(4/4/4)
DCS1800	10(6/6/6)	24(2/3/3)	/
UMTS900	/	/	21(2/2/2)
UMTS2100	20(2/2/2)	43(2/2/2)	/

III. MODEL POTROŠNJE MAKRO BAZNE STANICE

Sa aspekta potrošnje električne energije, bazna stanica može biti podijeljena na nekoliko funkcionalnih blokova. Takođe, potrošnja svakog funkcionalnog bloka može biti poznata. Svi funkcionalni blokovi mogu biti od različitih proizvođača, ali sa sličnim karakteristikama potrošnje električne energije. Tako, svaki funkcionalni blok ima srednje vrijednosti za ulaznu i izlaznu snagu i disipaciju. Ove vrijednosti, koje se mogu dobiti iz kataloga proizvođača opreme, korištene su kako bi se proračunao model potrošnje električne energije bazne stanice. Pokazuje se da potrošnja bazne stanice zavisi od broja aktivnih pojačavača snage u radio modulima [6]. Što je broj pojačavača snage veći to je veća i potrošnja električne energije na baznoj stanici. Najveći broj pojačavača snage ili radio modula je na onim baznim stanicama koje treba da obezbijede veliku pokrivenost ili veliki kapacitet. Zbog toga,

prikazani model potrošnje električne energije bazne stanice zavisi od broja aktivnih pojačavača snage. Imajući ovo u vidu može se proračunati potrošnja električne energije na svakoj baznoj stanici, u zavisnosti od konfiguracije.

Na Slici 1. prikazan je model potrošnje električne energije bazne stanice.

Ukupna potrošnja se izračunava [7]:

$$P_{total} = P_{Rin} + P_{AC} = P_{Rin} + [P_{Rin} - 500 - P_{out}] / 3 \quad (1)$$

gdje je:

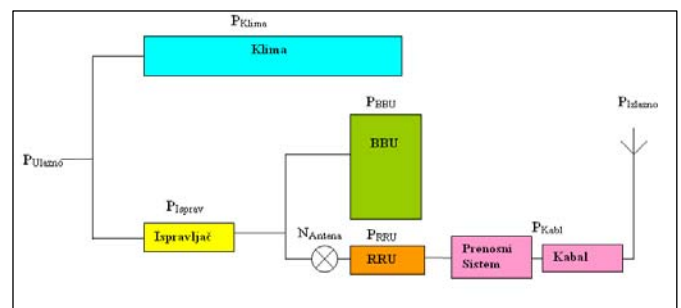
P_{out} -izlazna potrošnja

P_{Rin} -dio potrošnje koji se odnosi na ispravljač

P_{AC} -dio potrošnje koji se odnosi na klimatizaciju

$$P_{out} = \sum P_{out,n}, n=1, \dots, N_A \quad (2)$$

N_A -broj pojačavača snage.



Slika. 1. Model potrošnje električne energije bazne stanice.

Sada treba minimizovati izlaznu potrošnju P_{out} .

Za ispravljač R se može pisati:

$$P_{Rout} = \eta_R * P_{Rin} \quad (3)$$

gdje je η_R efikasnost ispravljača.

S druge strane vrijedi:

$$P_{Rout} = P_{SP} + N_A * P_{PAin} \quad (4)$$

Tako, da se može pisati:

$$P_{out} = \eta_F * P_{PAin} = \eta_F * \eta_{PA} * P_{PAin} = \eta_F * \eta_{PA} * (\eta_R * P_{Rin} - P_{SP}) / N_A \quad (5)$$

Prema prethodnim jednačinama i uzimajući u obzir:

$$P_{PA} = P_{PAin} - P_{PAout} \quad (6)$$

$$P_{PAin} = P_{PAout} / \eta_{PA} \quad (7)$$

zamjenom sljedećih vrijednosti:

$$\begin{aligned} \eta_R &= 0.95 & P_{SP} &= 250W \\ \eta_F &= 0.5 & P_{PAin} &= 80W & \eta_{PA} &= 0.15 \end{aligned} \quad (8)$$

dobije se potrošnja električne energije:

$$P = (2133.32 * N_A + 487) / 2.85 \quad (9)$$

Dobijena vrijednost predstavlja maksimalnu potrošnju u vatima.

Međutim, ova jendačina ne uzima u obzir smanjenu potrošnju električne energije tokom noći ili tokom vikenda. Prema [8] potrošnja električne energije je manja za oko 10% - 15% tokom vikenda u poređenju sa potrošnjom tokom radnog dana. Pretpostavlja se da je tokom perioda između 00h i 08h, potrošnja električne energije bazne stanice manja zbog manjeg saobraćaja.

Prema jednačini (9) potrošnja električne energije bazne stanice zavisi od broja pojačavača snage i ima sljedeće vrijednosti:

$$\begin{aligned} P_{24h,NA=3} &= 2416,48W \\ P_{24h,NA=6} &= 4662,08W \\ P_{24h,NA=9} &= 6907,68W \\ P_{24h,NA=12} &= 9153,28W \end{aligned} \quad (10)$$

Zbog manjeg intenziteta saobraćaja tokom noći potrošnja električne energije će biti manja:

$$PI[kWh] = 0.1 * P_{24h,NA=x} * 8 * 30 + P_{24h,NA=x} * 16 * 30 = P_{24h,NA=x} * 504 \quad (11)$$

Ako se pretpostavi osam dana vikenda u toku jednog mjeseca, dobije se potrošnja električne energije:

$$\begin{aligned} P2[kWh] &= 0.1 * (P_{24h,NA=x} / 24 * 30) * 24 * 8 + \\ &+ (P_{24h,NA=x} / 24 * 30) * 24 * 22 = \\ &= (P_{24h,NA=x} / 24 * 30) * 547.2 \end{aligned} \quad (12)$$

Prema ovome, konačna potrošnja električne energije na mjesečnom nivou, u zavisnosti od broja pojačavača snage, je:

$$\begin{aligned} P_{24h,NA=3} &= 925,6 kWh \\ P_{24h,NA=6} &= 1785,8 kWh \\ P_{24h,NA=9} &= 2645,9 kWh \\ P_{24h,NA=12} &= 3506,1 kWh \end{aligned} \quad (13)$$

2G i 3G bazne stanice su kolocirane kako bi se ostvarila dodatna ušteda. Međutim, 3G bazne stanice imaju veću gustinu, zavisno od korisničkih zahtjeva. U Tabeli 2. prikazan je ukupan broj baznih stanica za grad Banjaluka u obliku ukupnog broja ćelija po lokacijama.

TABELA 2: BROJ ĆELIJA.

Broj baznih stanica	6 ćelija	9 ćelija	12 ćelija
Gradska oblast	10	0	10
Prigradska oblast	19	0	24
Ruralna oblast	0	21	17
Ukupno	19	21	41

Sada se može izračunati ukupna potrošnja heterogene mobilne mreže za područje grada Banjaluka:

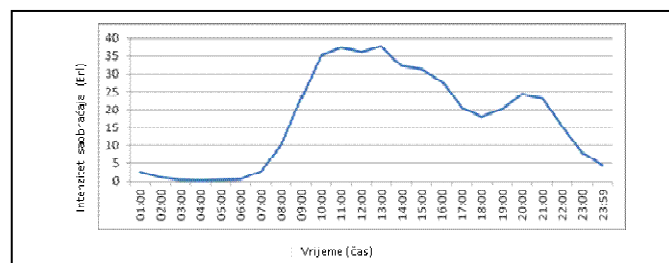
$$P_{Banjaluka,uklj.} = 19 * P_{24h,NA=6} + 21 * P_{24h,NA=9} + 41 * P_{24h,NA=12} \quad (14)$$

$$P_{Banjaluka,uklj.} = 233.244,2 kWh \quad (15)$$

IV. ENERGETSKA OPTIMIZACIJA HETEROGENE MOBILNE MREŽE

Primjer saobraćaja jedne gradske bazne stanice prikazan je na Slici 2. (podaci se odnose na mjerenja saobraćaja jedne bazne stanice sa gradskog područja u BiH).

Tokom jednog dana intenzitet saobraćaja se mijenja i ima maksimalnu vrijednost između 11h i 12h. To se naziva čas najvećeg intenziteta saobraćaja. Mjerenja, koja su izvršena tokom istraživanja, su pokazala da je intenzitet saobraćaja najmanji tokom vikenda i praznikom, dok je u toku noći saobraćaj najmanji. U [9-11] su analizirane karakteristike saobraćaja koje se mogu iskoristiti da se odrede regularnosti saobraćaja u smislu prostorne i vremenske varijabilnosti. U ovom radu je predložen statički metod isključivanja baznih stanica. Statički metod isključivanja baznih stanica se vrši daljinski u noćnim satima, kada je saobraćaj u mreži nizak, od strane zaposlenih i to aktiviranjem unaprijed definisanih programa. 2G i 3G bazne stanice će se gasiti istovremeno u periodu od 00h do 08h.



Slika 2. Intenzitet saobraćaja jedne gradske bazne stanice

Na osnovu izvršenih mjerenja i bez ikakvog rizika, može se zaključiti da će saobraćaj tokom noći imati 33% od vrijednosti saobraćaja u času najvećeg intenziteta saobraćaja. Ovo vrijedi za sve bazne stanice.

Glavni cilj je da sav saobraćaj sa komutacijom kola bude obrađen na GSM900 baznim stanicama, pri čemu zahtjevi za vjerovatnoću blokiranja moraju biti ispunjeni. Proračunavaju se nove konfiguracije 2G baznih stanica za kapacitet mobilne mreže tokom perioda isključivanja baznih stanica. Za gradsko područje konfiguracije će biti 4/4/3, za prigradsko 3/3/3 i za ruralno područje 3/2/2.

Što se tiče 3G dijela mobilne mreže, gradsko područje će biti obezbijeđeno uslugom prenosa podataka brzinama do 122 kb/s, dok će prigradsko i ruralno područje biti obezbijeđeni uslugom prenosa podataka brzinom do 12.2 kb/s, pri čemu pokrivenost ne smije biti izgubljena. Iste usluge će se moći koristiti i tokom perioda isključivanja kao i tokom dana, samo od strane manjeg broja korisnika. Takođe, samo će jedan nosilac biti aktivan na 3G baznim stanicama. U Tabeli 3. dat je ukupan broj ćelija po lokacijama baznih stanica kako bi se zadovoljili kriterijumi za pokrivenost i kapacitet heterogene mobilne mreže tokom perioda isključivanja.

TABELA 3: BROJ ČELIJA BAZNIH STANICA TOKOM PERIODA ISKLJUČIVANJA.

Broj ćelija	3 ćelije	6 ćelija
Gradska oblast	5	9
Prigradska oblast	17	14
Ruralna oblast	0	17
Ukupno	22	40

Potrošnja električne energije tokom osam dnevnih sati je:

$$P_{8h,NA=x} = (P_{24h,NA=x} / 24 * 30) * 8 * 30 = P_{24h,NA=x} / 3 \quad (16)$$

Na osnovu jednačine (16) može se izračunati:

$$\begin{aligned} P_{8h,NA=3} &= 308,3 \text{ kWh} \\ P_{8h,NA=6} &= 595,3 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (17)$$

Potrošnja električne energije tokom 16 sati zavisi od broja ćelija i dobije se na osnovu jednačine:

$$P_{16h,NA=x} = (P_{24h,NA=x} / 24 * 30) * 16 * 30 = (P_{24h,NA=x} / 24 * 30) * 480 \quad (18)$$

Ako se koristi statički metod isključivanja baznih stanica tokom noći, potrebno je izračunati novu potrošnju električne energije u tom slučaju. Sve bazne stanice će raditi normalno 16 sati dok će u periodu od 00h do 08h biti izvršeno isključivanje pojedinih baznih stanica. Ukupna potrošnja će biti zbir dvije vrijednosti. Jedna vrijednost predstavlja potrošnju koju naprave sve bazne stanice tokom 16 sati rada. Drugu vrijednost predstavlja slučaj kada rade samo određene bazne stanice, nakon što se izvrši isključivanje pojedinih baznih stanica, u periodu od 00h do 08h. Ukupna potrošnja se dobije:

$$P_{Banjaluka,isklj.} = 19 * P_{16h,NA=6} + 21 * P_{16h,NA=9} + 41 * P_{16h,NA=12} + 22 * P_{8h,NA=3} + 40 * P_{8h,NA=6} \quad (20)$$

$$P_{Banjaluka,isklj.} = 170.542,3 \text{ kWh} \quad (21)$$

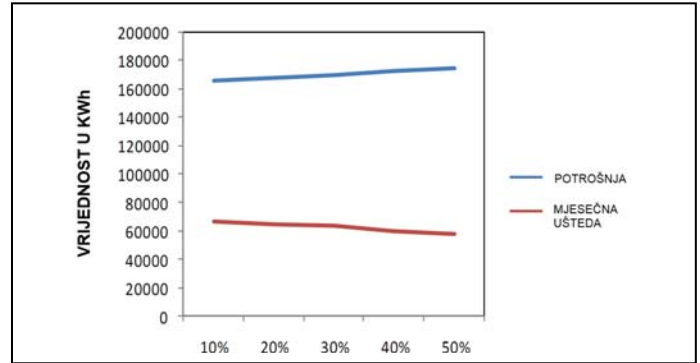
Ušteda koja se pri tome ostvari na mjesečnom nivou za područje grada Banjaluka je 62.701,9 kWh ili 752.422,8 kWh na godišnjem nivou.

Ako se pretpostavi da jedna četveročlana porodica potroši oko 4.400,00 kWh tokom jedne godine [12] može se zaključiti da je prema ovom modelu optimizacije heterogene mobilne mreže ostvarena ušteda električne energija koja je dovoljna za oko 170 četveročlanih porodica i to za period od jedne godine.

U Tabeli 4. i na Slici 4. su prikazani potrošnja električne energije i ušteda na mjesečnom nivou u zavisnosti od intenziteta saobraćaja tokom noći. Ukoliko je ovaj saobraćaj veći (u odnosu na intenzitet saobraćaja u času najvećeg intenziteta saobraćaja) to je veća potrošnja električne energije a manja je ostvarena ušteda energije.

TABELA 4. ZAVISNOST POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE OD SAOBRAĆAJA TOKOM ŠERIODA ISKLJUČIVANJA.

Vrijednost saobraćaja	10%	30%	50%
Potrošnja [kWh]	166.237,3	169.683,3	175.134,3
Mjesečna ušteda [kWh]	67.006,9	63.562,9	58.109,9
Godišnja ušteda [kWh]	804.082,8	762.754,8	697.318,8
Ekvivalentni broj porodica	182	173	158



Slika 4. Potrošnja električne energije u zavisnosti od saobraćaja.

V. UŠTEDA UPOTREBOM MIKRO BAZNIH STANICA

Energetska efikasnost u heterogenoj mobilnoj mreži se može povećati i upotrebom mikro baznih stanica. Ukoliko bismo za određeno područje koristili mikro bazne stanice umjesto makro baznih stanica time bismo uticali na povećan broj lokacija kako bi se izašlo u susret zahtjevima za pokrivenost i kapacitet mobilne mreže, ali bi se znatno uticalo na smanjenje potrošnje električne energije. To je zbog toga, što mikro bazne stanice imaju manju snagu i potrošnju od makro baznih stanica. Međutim, potrebno je u ovom slučaju potražiti pravi odnos između broja mikro i makro lokacija kako povećan broj mikro lokacija u odnosu na makro lokacije ne bi doveo do velikih kapitalnih i operativnih troškova koji mogu da porastu i u potpunosti zanemare uštedu električne energije, usljed korištenja mikro umjesto makro baznih stanica.

Na osnovu jednačine (1), ako iz nje izbacimo dio koji se odnosi na potrošnju klimatizacionog uređaja i ukoliko se definiše manja izlazna snaga u odnosu na makro bazne stanice, dobije se model potrošnje električne energije mikro bazne stanice. Za slučaj modela potrošnje električne energije mikro bazne stanice podrazumijeva se samo druga vrijednost za P_{pain} , koja kod makro baznih stanica iznosi $P_{\text{pain}}=80\text{W}$, a kod mikro baznih stanica je $P_{\text{pain}}=20\text{W}$ [13].

Polazeći od jednačine (1) i podrazumijevajući da je, za mikro bazne stanice, dio koji se odnosi na potrošnju električne energije usljed klimatizacionog uređaja jednak nuli:

$$[P_{\text{Rin}} - 500 - P_{\text{out}}] / 3 = 0 \quad (22)$$

dobije se model potrošnje električne energije mikro bazne stanice u zavisnosti od broja antena ili pojačavača snage:

$$P_{mikro} = (133.33 * N_A + 250) / 0.95 \quad (23)$$

U toku jednog mjeseca, mikro bazna stanica napravi potrošnju električne energije koja zavisi od broja aktivnih ćelija.

$$P_{mikro,24h,NA=1} = [(133.33 * 1 + 250) / 0.95] * 24 * 30 = 290.5 \text{ kWh} \quad (24)$$

$$P_{mikro,24h,NA=2} = [(133.33 * 2 + 250) / 0.95] * 24 * 30 = 391.53 \text{ kWh} \quad (25)$$

$$P_{mikro,24h,NA=3} = [(133.33 * 3 + 250) / 0.95] * 24 * 30 = 492.62 \text{ kWh} \quad (26)$$

Kod mikro baznih stanica se neće pretpostavljati smanjenje potrošnje električne energije usljed smanjenja saobraćaja tokom dana vikenda, kao što je to bilo u slučaju makro baznih stanica. Razlog za to je što su mikro bazne stanice manjih snaga i manjeg kapaciteta u odnosu na makro bazne stanice i zbog toga većinu vremena rade u punom kapacitetu. Pretpostaviće se samo smanjenje saobraćaja tokom noći, na isti način kao što je pretpostavljeno kod makro baznih stanica.

Prvo se proračunava smanjenje potrošnje na mikro baznim stanicama usljed smanjenog intenziteta saobraćaja tokom osam noćnih časova.

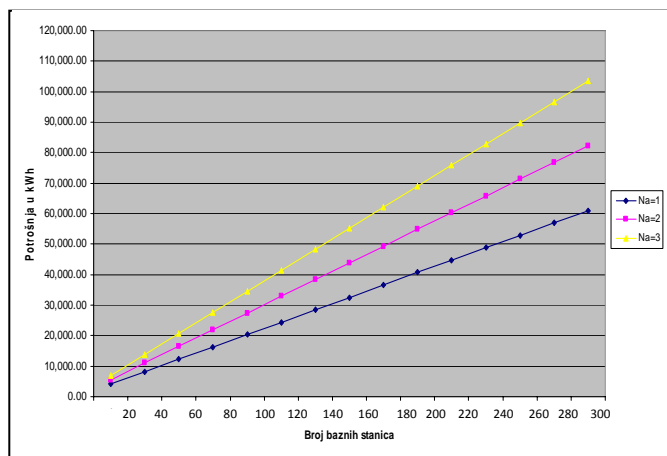
$$PI_{mikro} = 0.1 * [(133.33 * N_A + 250) / 0.95] * 8 * 30 + [(133.33 * N_A + 250) / 0.95] * 16 * 3 \quad (27)$$

$$PI_{mikro} = [(133.33 * N_A + 250) / 0.95] * 504 \quad (28)$$

Na osnovu (28) dobiju se optimizovane vrijednosti utroška električne energije mikro baznih stanica, u zavisnosti od broja aktivnih ćelija.

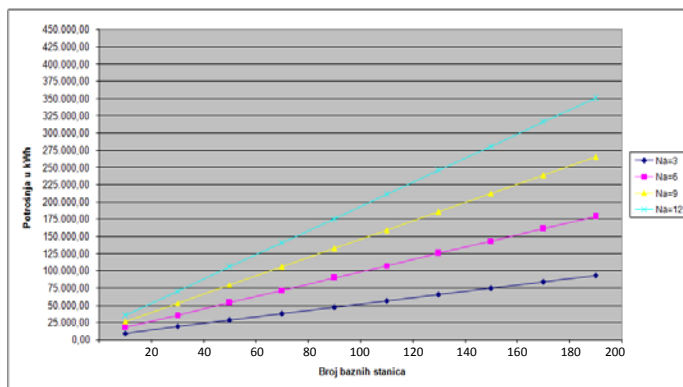
$$\begin{aligned} P_{mikro,24h,NA=1} &= 203.4 \text{ kWh} \\ P_{mikro,24h,NA=2} &= 274.1 \text{ kWh} \\ P_{mikro,24h,NA=3} &= 344.8 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (29)$$

Za ostvarivanje pokrivenosti gradskog područja Banjaluke makro baznim stanicama potrebno je ukupno 10 2G lokacija i 20 3G lokacija, kako je to ranije definisano.



Slika 5. Potrošnja električne energije mikro baznih stanica u zavisnosti od broja ćelija.

To znači da je potrebno 10 lokacija sa 12 ćelija i 10 lokacija sa 6 ćelija. Prema Slici 6. ukupna potrošnja na tim lokacijama je oko 60.000,00 kWh. Sa Slike 5. se vidi da toliku količinu električne energije može potrošiti 165 mikro baznih stanica sa tri sektora ili oko 210 mikro baznih stanica sa po dva sektora. Treba voditi računa o tome da potrošnja električne energije većeg broja mikro lokacija, zajedno sa manjim kapitalnim i operativnim troškovima, u odnosu na makro lokacije, ne prijeđe ukupne troškove makro lokacija. Treba imati na umu da korištenje mikro lokacija u mobilnoj mreži omogućava veću fleksibilnost i bezbjednije isključivanje pojedinih baznih stanica u cilju smanjenja potrošnje električne energije. Međutim, sa druge strane, veći broj mikro lokacija podrazumijeva i veći broj *handover*-a. To može vrlo lako da utiče na kvalitet veze i na povećanje signalizacionog saobraćaja. Drugim riječima, povećava se složenost mreže. Zbog toga je potrebno pronaći kompromis između kvaliteta i jednostavnosti mreže sa jedne strane i uštede električne energije sa druge strane.



Slika 6. Potrošnja električne energije mikro baznih stanica u zavisnosti od broja ćelija.

VI. ZAKLJUČAK

U ovom radu je istraživana način smanjenja utroška električne energije u heterogenim mobilnim mrežama. Izvršeno je detaljno planiranje heterogene mobilne mreže za

područje grada Banjaluka kako bi se ostvarila pokrivenost i obezbijedio dovoljan kapacitet za čas najvećeg intenziteta saobraćaja, što je konvencionalni način planiranja mobilne mreže. Na osnovu osobina bazne stanice i njenih funkcionalnih dijelova predložen je model potrošnje električne energije bazne stanice. Prema predloženom modelu potrošnje baznih stanica u ovom radu izračunata je ukupna potrošnja električne energije u heterogenoj mobilnoj mreži za područje Grada Banjaluka. U cilju smanjenja utroška električne energije iskorištene su određene karakteristike saobraćaja kako bi se uradila optimizacija mreže u periodu smanjenog intenziteta saobraćaja. Optimizacija podrazumijeva statički način isključivanja pojedinih baznih stanica tokom perioda smanjenog intenziteta saobraćaja, pri čemu se može ostvariti značajna ušteda po pitanju utroška električne energije. U radu je pokazano da se, u slučaju optimizacije mobilne mreže na području samo jednog većeg grada, može ostvariti ušteda od oko 750,000 kWh. Količina ostvarene uštede energije na godišnjem nivou je dovoljna za oko 170 četveročlanih porodica. Takođe, u radu je prikazan i drugačiji pristup planiranju mobilne mreže upotrebom većeg broja mikro baznih stanica što ima veliki uticaj na smanjenje utroška električne energije. Većom upotrebom mikro baznih stanica umjesto makro baznih stanica, povećava se broj mrežnih elemenata u mobilnoj mreži, ali se smanjuje utrošak električne energije.

Telekomunikacioni operatori se fokusiraju na proširenje svojih fiksnih i mobilnih mreža kako bi izašli u susret sve većem broju korisnika koji zahtjevaju sve veće brzine. Investicije koje jedan telekomunikacioni operator čini su bazirani na tradicionalnim metrikama kao što su kapitalni troškovi-CAPEX (*Capital Expenditures*), operativni troškovi-OPEX (*Operational Expenditures*) i zahtjevi za kapacitet. Najveća potrošnja električne energije je u pristupnim mrežama i zbog toga pristupne mreže moraju biti primarni fokus kako bi se ostvarila što veća ušteda u potrošnji električne energije. Potrošnja električne energije treba da bude parametar u planiranju investicija, odnosno jedan od primarnih parametara prilikom planiranja i izgradnje pristupne mreže. Potrošnja električne energije se uvijek posmatrala u kontekstu OPEX-a. Međutim, u današnjem vremenu, tradicionalne metrike za projektovanje ili proširenje telekomunikacione mreže više nisu održive i potrošnja električne energije treba da postane jedan od principskih parametara za projektovanje budućih mreža i opreme.

LITERATURA

- [1] F. Richter, A. J. Fehske, and G. P. Fettweis, "Energy efficiency aspects of base station deployment strategies for cellular networks," 2009 IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall), pp.1-5, 20- 23 Sept. 2009.
- [2] H. Claussen, L. T. W. Ho, and F. Pivitt, "Effects of joint macrocell and residential picocell deployment on the network energy efficiency," IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2008, pp.1-6, 15-18 Sept. 2008.

- [3] D. Calin, H. Claussen, and H. Uzunalioglu, "On femto deployment architectures and macrocell offloading benefits in joint macro-femto deployments," IEEE Communications Magazine, vol. 48, no. 1, pp. 26-32, 2010.
- [4] Yoram Haddad, Yisroel Mirsky, "Power efficient femtocell distribution strategies", Jerusalem College of Technology, Computer Science and Networks Department, Jerusalem, Israel, Ben Gurion University of the Negev, Dept. of Communication Syst. Eng., Beer-Sheva, Israel, haddad@jct.ac.il, mirsky1@gmail.com
- [5] T.S. Rappaport, Wireless communications principles and practice, Prentice Hall Communication Engineering and Emerging Technologies Series, 2009.
- [6] Zhisheng Niu, Yiqun Wu, Jie Gong, and Zexi Yang, "Cell zooming for cost-efficient green cellular networks", TsinghuaUniversity, IEEE Communications magazine, 74-79, November 2010.
- [7] F.Correia i F.A.Martins Travassos, "Implementation details of an automatic monitoring sytem used on a vodafone radiocommunication base station", Engineering Letters;2008, Vol. 16 Issue 4, p529, December 2008.
- [8] Josip Lorincz , Tonko Garma and Goran Petrovic "Measurements and modelling of base station power consumption under real traffic loads". FESB-Split, University of Split, R. Boskovicica 32, Split21000, Croatia;E-Mails: tonko.garma@fesb.hr (T.G.); goran.petrovic@fesb.hr (G.P.)
- [9] E. Oh, B. Krishnamachari, X. Liu, and Z. Niu, "Toward dynamic energy-efficient operation of cellular network infrastructure," IEEE Commun. Mag., Nov. 2010 (to appear).
- [10] S. Zhou, J. Gong, Z. Yang, Z. Niu, and P. Yang, "Green mobile access network with dynamic base station energy saving," in Proc. of ACM MobiCom, Beijing, China, Sept. 2009.
- [11] E. Oh and B. Krishnamachari, "Energy savings through dynamic base station switching in cellular wireless access networks," in Proc. of IEEE Globecom, Miami, FL, Dec. 2010 (to appear).
- [12] Agencija za razvoj Varaždinske županije -AZRA d.o.o.Franjevački trg 7 42 000 Varaždin Telefon: +385 42 422 200 Fax: +385 42 390 571 E-mail: info@azra.hr,(Internet: www.azra.hr)
- [13] Kyuho Son, Member, IEEE, Hongseok Kim, Member, IEEE, Yung Yi, Member, IEEE and Bhaskar Krishnamachari, Member, IEEE, "Base Station Operation and User Association Mechanisms for Energy-Delay Tradeoffs in Green Cellular Networks", September 2011

ABSTRACT

One of the main challenges for the future of information and telecommunication technologies is to reduce energy consumption in telecommunication networks. The largest consumers in telecom operators are access nodes on the customer premises for the fixed access network and base stations for wireless access network.

In the last decade, special attention is paid to solutions that have a greater impact on the environment. This paper is one of many possible solutions for reducing energy consumption in heterogeneous wireless network.

Solution proposal for energy efficiency increasing in heterogeneous mobile network

Dalibor Ilić, Milan Šunjevarić