

## UVODENJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U BEŽIČNIM KOMUNIKACIONIM MREŽAMA

Borislav Odadžić<sup>1</sup>, Dalibor Dobrilović<sup>1</sup>, Boban Panajotović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin,

<sup>2</sup>Republička agencija za elektronske komunikacije RATEL, Beograd

**Sadržaj:** *Kao veoma značajan deo ICT sektora, bežični komunikacioni sistemi takođe su odgovorni za smanjenje potrošnje i uštedu energije. Kako bežične mreže postaju integralna komponenta moderne komunikacione infrastrukture, spektralna efikasnost i energetska efikasnost bežičnih mreža dobija sve više na značaju. U radu su prikazani: osnove energetske efikasnosti, sistem merenja energetske efikasnosti i kompromis između snage i propusnog opsega, uvođenje energetske efikasne radio tehnologija i na Cloud-u zasnovane energetske efikasne radio mreže za pristup.*

**Ključne reči:** *Bežične mreže, energetska efikasnost, spektralna efikasnost, efikasnost snage, efikasnost propusnog opsega, Cloud radio mreže za pristup*

### 1. Uvod

Evropska Komisija postigla je saglasnost da se emisija gasova smanji za 2% do 2020. godine i poboljša energetska efikasnost u svim sektorima celokupne industrije za 20%. Globalno posmatrano info-komunikacione tehnologije primenjene u okviru ICT sektora, značajno i brzo doprinose povećanju emisije CO<sub>2</sub> i potrošnji energije. Na osnovu obavljenih istraživanja i studija [1] ICT sektor je emitovao 530 Megatona CO<sub>2</sub> u 2002. godini i 830 Megatona u 2007. godini. To je predstavljalo približno 2% ukupne emisije CO<sub>2</sub> koju je prouzrokovao čovek i bilo je ekvivalentno emisiji CO<sub>2</sub> globalne avijacije. ICT sektor kao pojedinačni, trenutno učestvuje sa oko 8% u ukupnoj potrošnji električne energije u Evropskoj Uniji i sa oko 2% emisije CO<sub>2</sub>. U slučaju daljeg razvoja telekomunikacija trenutnom dinamikom, predviđanja su, da bi do 2020. godine udeo ICT sektora u ukupnoj potrošnji električne energije mogao iznositi preko 20%.

Posvećujući pažnju ovom problemu, Evropska Unija je pozvala ICT industriju da se posveti uvođenju energetske efikasnosti u komunikacionim mrežama kako bi sektor telekomunikacija postao energetske efikasniji. To znači primenu energetske efikasne rešenja, upotrebu obnovljivih izvora energije, kao i aktivnu ulogu ICT-a u razvoju i implementaciji “smart grid” mreža, što bi za rezultat imalo smanjenje potrošnje električne energije i u ostalim sektorima i granama industrije.

Generalno, telekomunikacioni operatori u današnje vreme obnovljive izvore energije koriste pretežno na teško pristupačnim lokacijama gde nije tehnički i ekonomski

isplativo dovođenje elektrodistributivne mreže [2]. Da bi se ostvarili zadati ciljevi po pitanju energetske efikasnosti, obnovljivi izvori energije se od strane telekomunikacionih operatera moraju koristiti gde god za to postoji mogućnost, nezavisno od toga da li su u pitanju udaljene lokacije, ili veliki telekom i data centri.

Bežične komunikacije imaju do sada nezabeležen rast koji se nastavlja širom sveta. Kao veoma značajan deo ICT sektora bežični komunikacioni sistemi takođe su „odgovorni“ za smanjenje potrošnje i uštedu energije. Analize izvedene u poslednje vreme od strane telekomunikacione industrije i operatera pokazale su da bežične mreže nisu preterano energetske efikasne, što se posebno odnosi na bazne stanice putem kojih operateri vrše isporuku, odnosno korisnički terminali pristupaju do servisa. Zbog toga je smanjenje potrošnje energije sa odgovarajućim smanjenjem emisije CO<sub>2</sub> bežičnih mreža od velikog značaja za budućnost planete. Takođe, smanjenje elektromagnetskog zračenja kroz uvođenje energetske efikasnosti u bežičnim komunikacionim sistemima je veoma bitno za zdravlje ljudi, životinja i zaštitu životne okoline. Sa druge strane, mobilni terminali primenjeni u bežičnim sistemima zahtevaju neophodno uvođenje uštede i smanjenje potrošnje energije jer je tehnološki razvoj baterija koje se koriste u njima veoma spor u poređenju sa porastom potrošnje energije prouzrokovane porastom zahteva koji proizilaze iz uvođenja multimedijalnih aplikacija.

Budućnost i uspešnost primene bežičnih mreža zavisiće od prevazilaženja neusklađenosti između porasta zahteva za kvalitetom servisa QoS (Quality of Services) i ograničenih mrežnih resursa. Radio frekvencijski spektar kao ograničeno prirodno dobro ne može se neograničeno popunjavati i zbog toga se mora koristiti veoma efikasno. Kao mera efikasnosti korišćenja spektra uvodi se pojam spektralne efikasnosti SE (Spectral Efficiency). Sa druge strane energetska efikasnost EE (Energy Efficiency) bežičnih mreža i posebno mobilnih bežičnih terminala dobija sve više na značaju. Spektralna i energetska efikasnost utiču na sve slojeve modela bežičnih sistema počevši od hardvera pa sve do aplikacija. Raniji tradicionalni pristup polazio je od nezavisnog dizajniranja na svakom sloju koji je obezbeđivao rezultate na odgovarajućem sloju ali nije uzimao u obzir bežični sistem kao celinu. Uvođenjem pristupa sa ukrštenim slojevima (Cross Layer) koji uzima u razmatranje i međusobni uticaj različitih slojeva, mogu se u značajnoj meri poboljšati performanse bežičnih sistema kao što su: povećanje propusnosti (throughput) sistema, saobraćajne karakteristike, adaptacija za uvođenje novih servisa i odnos prema okruženju. Novija istraživanja bave se potrošnjom energije na svim slojevima bežičnih komunikacionih sistema počevši od arhitektura do algoritama [3]

## **2. Osnove energetske efikasnosti bežičnih mreža**

Energetska efikasnost uopšteno govoreću podrazumeva korišćenje manje energije da bi se obavio isti zadatak. U slučaju bežičnih komunikacionih sistema zadaci mogu biti realizacija govorne usluge, prenos podataka itd. Energetska efikasnost se uobičajeno definiše kao broj prenetih informacionih bita po jedinici energije. Energetska efikasnost je veličina od značajnog interesa za bežične sisteme jer uzima u obzir potrošnju energije.

Informaciona teorija koju je pronašao Klod Šenon (Claude Shannon) 1948. godine karakteriše granice pouzdanosti komunikacija. Šenon je dokazao da se sa inteligentnim kodovanjem informacija može komunicirati sa striktno pozitivnim protokima  $R$  (rate), a da se u isto vreme obezbedi što je moguće manji stepen greške bita (BER).

Maksimalni protok koji se može postići a da se pri tom ne naruši pouzdanost komunikacija naziva se kapacitet kanala  $C$ .

Za komunikacioni kanal sa aditivnim Gausovim šumom AWGN (Additive White Gaussian Noise) za datu otpremljenu snagu  $P$ , i širinu propusnog opsega sistema  $B$ , protok  $R$  dat je relacijom :

$$R = \frac{1}{2} \log_2 (1 + P/N_0 B) \text{ bita/realnoj dimenziji ili stepenu slobode} \quad (1)$$

Na osnovu teoreme o odmeravanju  $\Delta t = 1/2B$ , stepen slobode DOF (Degree of Freedom) je  $2B$ , pa je kapacitet kanala  $C = 2BR$  bita/s. Sa  $N_0$  je označena spektralna gustina snage šuma [11].

Na osnovu [4] i [8] energetska efikasnost je:

$$\eta_{EE} = C/P = 2R/N_0 (2^{2R} - 1) \quad (2)$$

Energetska efikasnost izračunata na osnovu jednačine (2) zasnovana na teorijskoj analizi ne može se ostvariti u realnim bežičnim sistemima usled: realnih performansi kanala, kodova za pristup kanalu, nedovoljnih informacija o stanju kanala CSI (Channel State Information), cene koja se plaća za sinhronizaciju, utroška energije elektronskih kola itd. [4]. Potrošnja energije elektronskih kola menja iz osnova kompromis koji se može postići između energetske efikasnosti i brzine prenosa podataka. Ako se uzme u obzir potrošnja energije elektronskih kola to zahteva redefinisavanje energetske efikasnosti kako je ona ranije navedena. Podrazumeva se da poboljšanje energetske efikasnosti bežičnih komunikacionih sistema ima svoju cenu, koja se ogleda u fundamentalnim kompromisima koji su posledica upravo uvođenja energetske efikasnosti u bežičnim komunikacionim sistemima. Navedeni kompromisi su sledeći:

#### *Kompromis između snage i propusnog opsega kod bežičnih komunikacija*

Za različite digitalne modulacione šeme mogu se definisati dva načina merenja korišćenja resursa:

- Efikasnost snage podrazumeva prenos signala sa specificiranim verovatnoćom stepena greške bita/simbolu sa najmanjim mogućim nivoom prijemne snage. Prijemni nivo snage se uobičajeno meri u funkciji odnosa signal/šum SNR (Signal to Noise Ratio) izraženog kao odnos  $E_b/N_0$  između primljene energije po bitu i spektralne gustine snage šuma. Efikasnost snage se može izraziti kao odnos  $E_b/N_0$  zahtevan da bi se obezbedio dati stepen greške bita.
- Efikasnost propusnog opsega ili spektralna efikasnost SE podrazumeva prenos određene količine podataka u sekundi u okviru najmanje moguće širine propusnog opsega. Spektralna efikasnost  $\eta_{SE}$  se uobičajeno definiše kao odnos između protoka  $R$  i širine propusnog opsega  $B$  potrebne za prenos podataka.

Energetska efikasnost EE i spektralna efikasnost SE predstavljaju dve bitna indikatora performansi sistema, a kompromis između njih mora se uvesti u razmatranje prilikom dizajniranja bežičnih komunikacionih sistema.

### *Izbor sistema merenja energetske efikasnosti*

Veoma je bitno pitanje koji merni sistem primeniti za merenje energetske efikasnosti u "zelenim" bežičnim telekomunikacionim sistemima. Kad se razmatra energetska efikasnost može se poći od pristupa: koliko energije treba utrošiti za izvršenje nekog rada, ili obrnuto, koliki rad možemo da izvršimo sa nekom količinom energije. Razlika između ova dva pristupa je jedva primetna ali je bitna. Sistem merenja utroška energije može se izraziti ili *indeksom potrošnje* ili *indeksom efikasnosti*. U osnovi oba indeksa sadrže iste informacije i direktno se može konvertovati izmerena efikasnost u potrošnju i obrnuto.

Da bi se izvršila verifikacija „zelenih“ bežičnih komunikacionih mreža i u literaturi izloženih metoda, važno je tačno meriti energetske efikasnosti takvih mreža. Sistem merenja i metode izračunavanja treba tako specificirati da mogu adekvatno da porede različite konfiguracije i izračunavaju efikasnost različitih delova sistema. U proračune moraju biti uvrštene i operativana i opredmećena energija.

Jedna od metoda merenja energetske efikasnosti telekomunikacionih mreža i uređaja izložena je u literaturi [6], u kojoj je odnos prosečno utrošene energije za postizanje efektivne propusnosti za dvosmerni prenos dat kroz merenje odnosa utrošene energije ECR (Energy Consumption Ratio). Odnos ECR daje podatke o utrošku energije na pojedinim mrežnim elementima i izražava se u [J/bit]. Pored toga definiše se i dobitak utroška energije ECG (Energy Consumption Gain) koji daje relativan odnos pri kompariranju različitih sistema. Da bi se u analizama obuhvatio utrošak energije uvedena su dva indikatora:

- Snaga po jedinici površine [ $W/m^2$ ]
- Energija po bitu [J/bit]

Razlog za uvođenje dva različita indikatora leži u tome što su oba relevantna i što pružaju komplementarne informacije koliko je efikasno iskorišćenje energije u mreži.

Odnos snage po jedinici površine definisan kao odnos prosečno korišćene snage u mreži podeljene sa površinom koju pokriva mreža  $P/A$ , izražava se u jedinicama [ $W/m^2$ ]. Ovaj indikator predstavlja meru za ukupnu potrošnju energije i blisko je povezan sa  $CO_2$  emisijom. Takođe on je bitan kod niskog saobraćajnog opterećenja mreže jer je tada mreža ograničeno pokrivena. Uobičajeno se koristi i odnos [W/korisniku] koji se može izvesti iz indikatora [ $W/m^2$ ]. Pri određivanju performansi realnih mreža zasnovanih na realnim merenjima indikator [W/korisniku] predstavlja bolji izbor.

Drugi indikator koji iskazuje energiju po bitu [J/bit] definisan je kao utrošena energija u mreži  $E$ , u posmatranom vremenskom intervalu  $T$ , podeljena sa ukupnim brojem bita  $RT$  koji su korektno isporučeni u mreži. Broj korektno prenetih bita je prosečan protok bita  $R$  pomnožen sa trajanjem posmatranog vremenskog perioda  $T$ . Ovo se takođe može opisati kao prosečna snaga u mreži  $P=E/T$  u odnosu na prosečan protok bita  $R$ , izražena u [W/bit/s].

Utrošak energije meren u [J/bit] se fokusira na iznos energije povezan sa isporučenim bitom i predstavlja meru za efikasnost isporuke bita u mreži, što je bitno u situacijama kad je saobraćajno opterećenje u mreži veliko. Indikator [J/bit] se uobičajeno koristi u literaturi, posebno za teorijske studije i proračun pojedinačnih linkova. U literaturi se koristi takođe i indikator [bit/J] kao mera za efikasnost. Obe veličine, utrošak

energije u mreži i broj isporučenih bita u mreži predstavljaju promenljive veličine pa su rezultati merenja pod uticajem promena utroška energije i broja isporučenih bita.

### 3. Pristupi u uvođenju energetske efikasne radio tehnologije

Konzervacija i redukcija emisije CO<sub>2</sub> i migracija ka energetski efikasnoj bežičnoj i mobilnoj infrastrukturi su od velikog značaja za dalji razvoj bežičnih sistema. Za operatore ovih sistema energetska efikasnost predstavlja više od korporativne socijalne odgovornosti, ona predstavlja ključni faktor za dalji razvoj servisa i aplikacija. Usled neverovatnog porasta zahteva za mobilnim pristupom Internetu, celularni i bežični sistemi trenutno su u fazi tranzicije ka sistemima četvrte generacije obezbeđuje širokopojasni pristup i nove klase aplikacija mobilnim korisnicima. Da bi zadovoljili saobraćajne zahteve mobilni operatori su pod pritiskom da unaprede svoju infrastrukturu u relativno kratkom vremenskom periodu. Međutim, ulaganja u infrastrukturu nisu jednostavna jer prosečni prihodi po korisniku imaju sporu tendenciju rasta. To predstavlja takođe jedan od stimulanasa za operatore, da poprave energetske efikasnosti ključnih komponenti bežičnih sistema.

Korišćenjem energetske efikasne bazne stanice, koje su inače najveći potrošači energije u bežičnim i mobilnim sistemima, operatori mogu da smanje emisiju CO<sub>2</sub> u okviru sopstvene mreže. U životnom ciklusu bazne stanice utrošak energije u toku eksploatacije je dominantniji u odnosu na proizvodnu fazu te opreme. Zbog tih i drugih razloga u periodu rada bazne stanice vrlo je važno da se koristi oprema sa niskim nivoom utroška energije, što se prvenstveno odnosi na pojačavače snage i uređaje za hlađenje opreme.

Nezavisano od aktuelnih izvora napajanja energijom u radio mrežama za pristup veoma je bitna energetska efikasnost. To podrazumeva primenu "grid" napajanja mrežnih elemenata u velikim gradovima, kao i primenu solarnih sistema za napajanje bazne stanice, tamo gde ne postoje "grid" bazirani sistemi za napajanje.

Ušteda energije u mobilnoj i bežičnoj komunikacionoj infrastrukturi zahteva studiozan pristup, koji treba da sadrži zahteve za energetski efikasne komponente i za adaptaciju sistemskih platformi kako za bazne stanice tako i za druge mrežne elemente. Takođe on se odnosi i na arhitekturu na mrežnom nivou koja treba da podrži koordinacione funkcije i punu operativnu kontrolu nad sistemom.

Energetska efikasnost se može posmatrati kao optimizacija funkcija koje smanjuju potrošnju energije adaptacijom mrežnih kapaciteta na aktuelne zahteve u realnom vremenu. Samo-organizujuće mreže SON (Self Organizing Networks), su predmet standardizacije u 3GPP (3rd Generation Partnership Project) asocijaciji i u NGMN (Next Generation Mobile Networks) grupi, za buduće radio mreže za pristup, sa željom da se olakša planiranje, konfigurisanje, upravljanje i optimizacija u odnosu na dosadašnja rešenja. SON je definisana u 3GPP Release 8 specifikaciji, a prvi put je ta tehnologija primenjena u LTE sistemima. LTE specifikacije inherentno podržavaju SON karakteristike kao što su ANR (Automatic Neighbor Relation).

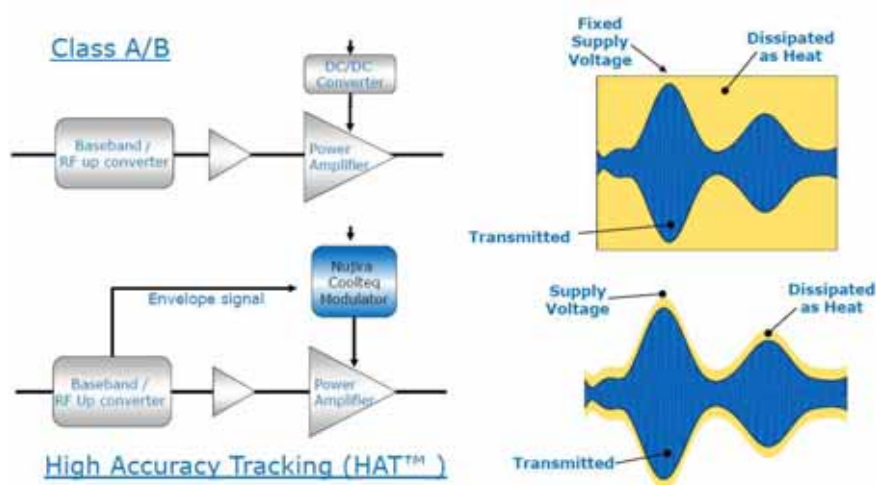
Razmatrajući odnos između mrežnih kapaciteta i utroška energije izbor najpogodnijeg pristupa zavisi od specifičnosti načina eksploatacije i strategije operatora bežičnih sistema. Na primer centralizovani pristup omogućava uvođenje kontrole uštede energije putem sistema za kontrolu rada i upravljanja OAM (Operation And

Maintenance) mrežom. Sa druge strane distribuisani hibridni pristup obezbeđuje optimizaciju i samo-organizovanje u pogledu uštede energije, razmenom informacija o opterećenju sistema. U distribuisanoj hibridnoj arhitekturi bazne stanice pružaju distribuisane funkcije uštede energije kao što je razmena informacija o opterećenju radi određivanja redundantnih ćelija koje se mogu isključiti. Sa druge strane OAM može da omogući izbegavanje tog procesa definisanjem pravila kao što su izbor povoljnijih mrežnih područja, vremenskog perioda i definisanje praga preopterećenja.

### *Poboljšanja energetske efikasnosti na baznim stanicama bežičnih sistema*

Generalno posmatrano radio bazna stanica je formirana od platformi sa odgovarajućim podsistemima i arhitekturama. Polazeći od elemenata bazne stanice najznačajnije mogućnosti uštede potrošnje energije su na sledećim elementima:

a) Predajnom pojačavaču snage, koji pojačava nivo predajnog radio frekvencijskog (RF) signala koji se prostire od bazne stanice do mobilne jedinice. Ova jedinica značajno troši energiju u baznoj stanici. U slučaju da se redukuje efikasnost ovoga pojačavača značajno se menjaju karakteristike prenošenog signala, posebno odnos Peak to Average Power Ratio (PAPR). Kao rešenje za uplink (UL) u LTE standardima razvijen je sistem prenosa signala sa jednim nosiocem SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) da bi se smanjila potrošnja energije mobilnih jedinica korisnika. Na downlink-u (DL) koristi se OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) tehnologija, gde signal ima visoke vrednosti PAPR.



Slika 1 *Envelope Tracking* tehnologija

Danas se intenzivno radi na razvoju predajnih pojačavača snage primenom tranzistorske tehnologije visokih performansi i raspoloživosti u RF delu, sa dodatnom nezavisnom optimizacijom Doherty RF kola. Na taj način postiže se efikasnost izlaznih pojačavača snage tako da proizvode izlaznu snagu od 45W pri utrošku energije od 100W u frekvencijskom opsegu oko 2.1GHz.

Sledeći koraci u razvoju idu u pravcu uvođenja digitalne pojačavačke tehnologije koja treba da poveća efikasnost sa 45% na 55 do 60%. Tehnologije kao što je Doherty postižu dobru efikasnost od 45% i relativno su pogodne za primenu u izlaznim pojačavačima u baznoj stanici. Kako standardi za bežične sisteme nastavljaju da uvode sve veće protoke podataka i propusnost sistema (ali sa malim porastom spektralne efikasnosti) sistemi postaju širokopoljasni.

Kompanija Nujira sa sedištem u Engleskoj se bavi istraživanjima i komercijalizacijom Envelope Tracking tehnologije prikazanim na slici 1, čije performanse prevazilaze 45% efikasnosti, a u nekim slučajevima obezbeđuju 60% efikasnosti za radiodifuzne sisteme sa širokim propusnim opsegom. [7] i [8]. Treba napomenuti da na efikasnost utroška energije bazne stanice utiču i neke jedinice iz jezgra mreže pa se i one mogu obuhvatiti novim rešenjima u pogledu energetske efikasnosti.

b) Sistemima za hlađenje, koji u konvencionalnim baznim stanicama troše 10 do 20% ukupne energije. Izradom kompaktnih sistema za spoljnu ugradnju sa efikasnim odvođenjem toplote, mnogi proizvođači su izbegli ugradnju sistema za hlađenje. Pored uštede energije ova tehnička rešenja redukuju i emisiju gasova u okruženju.

#### *Energetski efikasni radio interfejsi*

Radio interfejsi utiču na energetska efikasnost radio linka koja se može izraziti u [J/bit]. Spektralna efikasnost predstavlja meru za iskorišćenost spektra koji stoju na raspolaganju za isporuku informacija. U Tabeli 1 dato je poređenje spektralne efikasnosti za različite mobilne tehnologije.

Tabela 1 Poređenje spektralne efikasnosti Tehnologija

Mobilne tehnologije	Propusnost	RF opseg	Ponovno korišćenje frekvencija	Efikasnost
GPRS	115Kb/s	200KHz	12	48Kb/s/MHz
EDGE	240Kb/s	200KHz	12	100Kb/s/MHz
UMTS	750Kb/s	5MHz	1	150Kb/s/MHz
HSDPA	1.7Mb/s	5MHz	1	340Kb/s/MHz
HSPA+	4.2Mb/s	5MHz	1	840Kb/s/MHz
LTE	15Mb/s	10MHz	1	1.5Mb/s/MHz

Sistem za merenje spektralne efikasnosti koristi se niz godina unazad i primenjivan je za istraživanja i razvoj novih standard.

Svojevremeno kad su tela za standardizaciju razvijala specifikacije za bežične linkove za celularne sisteme, prioritet nisu bile karakteristike energetske efikasnosti sistema. Karakteristike linka su prvenstveno bile definisane kroz spektralnu efikasnost, raspoloživi propusni opseg, vršnu brzinu prenosa podataka itd.

Kad se razmatra energetska efikasnost bežičnih tehnologija mora se posmatrati utrošak energije mobilne terminalne jedinice koja je povezana na mrežu i utrošak mrežne infrastrukture. Iz perspektive mobilne jedinice uvođenjem SC-FDMA u LTE sisteme za uplink, izbegava se visoki PAPR i doprinosi uštedi energije, odnosno dužini trajanja baterije. Kad se porede sistemi zasnovani na OFDM (LTE) sa sistemima zasnovanim na WCDMA (3G) postoje neke karakteristike radio linka koje daju dodatnu fleksibilnost za

podešavanje sistema u izboru između energetske efikasnosti i spektralne efikasnosti.

Kod oba sistema, LTE i WCDMA, link se u potpunosti opterećuje da bi se maksimizirala spektralna efikasnost, dok se manje obraća pažnja na poboljšanje energetske efikasnosti. Međutim LTE svojom mogućnošću selektivnog zajedničkog korišćenja frekvencija u proseku daje energetski efikasniji link. Resursni blokovi na fizičkom nivou mogu se koristiti sa selektivnim nivoom snage prema različitim korisnicima, mada u praksi ovaj pristup može izazvati probleme u pojačavačkom delu sistema. [9].

#### *Upravljanje radio resursima*

Upravljanje radio resursima RRM (Radio Resource Management) obavlja se na nivou sistema, kontrolom parametara kao što su snaga predajnika, dodela radio kanala, brzina prenosa podataka, kriterijumi za handover, izbor modulacione šeme, metode za otkrivanje grešaka itd. Cilj je da se ograničeni resursi frekvencijskog spektra i radio mrežna infrastruktura što je moguće efikasnije koriste. U osnovi RRM ne razmatra energetska efikasnost sistema, ali svojim pristupom obuhvata i ove aspekte. Sa stanovišta uštede energija modulacione šeme nižih nivoa zahtevaju manje emitovane snage, a pri tom se održava nivo zahteva za kvalitet linka, što doprinosi energetskej efikasnosti.

#### **4. Energetski efikasne radio mreže za pristup zasnovane na Cloud tehnologiji**

Cloud računarstvo postaje jedna od vodećih tehnologija poslednjih godina. Obrada podataka, čuvanje sadržaja i aplikacije se nalaze u „oblaku“. U pogledu arhitekture, bežični komunikacioni sistemi i Cloud računarstvo imaju dosta zajedničkih karakteristika, kao što su velika baza korisnika, veliko geografsko pokrivanje i visoka agregaciona propusnost. Pored toga, mobilne mreže u budućnosti će biti potpuno IP zasnovane, što će olakšati komutiranje i procesiranje signala.

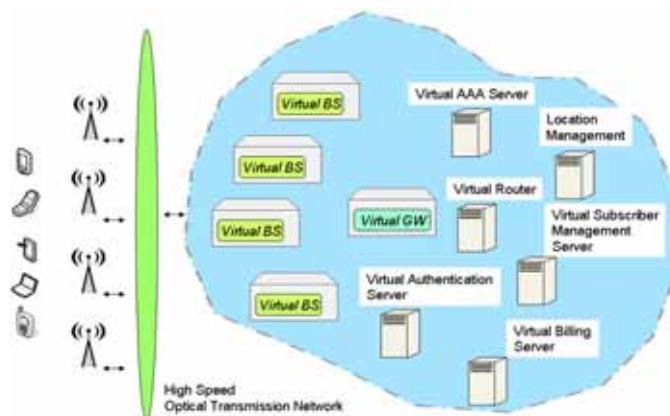
Razvoj Cloud radio mreža za pristup C RAN (Cloud Radio Access Network), predviđa kolaborativnu u realnom vremenu zasnovanu Cloud radio mrežu za pristup. Ona se zasniva na konceptu centralizovane platforme za obradu signala u osnovnom opsegu (BS pools), distribuisanim radio jedinicama RRU (Remote Radio Units) i antenama. Budući RAN-ovi treba da ispune sledeće zahteve:

- Da smanje troškove
- Da smanje potrošnju energije
- Da povećaju spektralnu efikasnost
- Da podrže mnoštvo standarda i obezbede evoluciju bez prepreka
- Pruže platformu za razvoj novih servisa

Kao što je prikazano na slici 3, većina funkcija bežične mreže će migrirati u „oblak“. Obrada bežičnih signala na baznim stanicama vršiće se u „oblaku“, kao i određene upravljačke funkcije u jezgro mreži. Virtuelne bazne stanice VBS (Virtual Base Station) u „oblaku“ zameniće tradicionalne bazne stanice. Udaljeni radio kontrolni paneli RRH se koriste za razdvajanje radio hedera od bazne stanice. Radio hederi su opremljeni sa primo-predajnim jedinicama, D/A i A/D konvertorima koji konvertuju signale sa radio frekvencija (RF) u signale na međufrekvenciji (IF). Signali na



međufrekvenciji iz različitih baznih stanica se prenose pomoću kablova sa optičkim vlaknima i prikupljaju u računarski centar radi obrade.



Slika 3. Cloud zasnovana radio mreža za pristup (Izvor: Literatura [6])

Od C RAN se očekuje da bude energetska efikasna „zelená“ infrastruktura. Sa centralizovanom obradom u okviru C RAN arhitekture broj baznih stanica se višestruko smanjuje. Samim tim se broj sistema za hlađenje i ostale prateće opreme smanjuje, pa se smanjuje i potrošnja energije. Rastojanje između udaljenih radio panela RRH i korisničkih mobilnih jedinica se takođe smanjuje. Manje ćelije sa manjom emisijom snage mogu da održe kvalitetno pokrivanje područja radio signalom. Energija koja je korišćena za prenos signala se takođe smanjuje, što povoljno utiče s jedne strane, na utrošak energije u RAN-u i sa druge na vek trajanja baterije korisničke mobilne jedinice. U slučajevima kad bazna stanica nema saobraćaja (na primer noću) ona se može ili privremeno isključiti ili postaviti u niže energetska stanje (sleep mode)[10].

## 5. Zaključak

Energetska efikasna rešenja u bežičnim i mobilnim komunikacionim sistemima sledeće generacije predstavljaju jedan od ključnih faktora u pogledu energetike, ekologije i ekonomije. Razvoj bežičnih i mobilnih tehnologija predstavlja danas jednu od mogućnosti za razvoj, tehnološke inovacije, politiku i regulativu telekomunikacija. Rad na daljem razvoju hardvera i softvera u modernim mobilnim i bežičnim sistemima, kao i povezanih neophodnih sistemskih komponenti, treba da dizajnira osnovnu tehnologiju za energetska efikasna sistema i Internet kompatibilne korisničke terminalne jedinice.

Modeliranje smanjenja potrošnje energije baznih stanica je od posebnog značaja da bi se došlo do jasnog stanovišta kako različite radio tehnologije mogu smanjiti utrošak energije u bežičnim i mobilnim komunikacionim sistemima. Konzervacija utroška energije u ovim sistemima do sada je uglavnom razmatrana na fizičkom sloju i pri tom su postignuti određeni rezultati i unapređenja. U narednim istraživanjima potrebno je razmotriti mogućnost povećanja energetske efikasnosti bežičnih sistema na višim slojevima bežičnog protokol steka.

Razvoj Cloud radio mreža za pristup C RAN, takođe, predstavlja jedno od perspektivnih rešenja za povećanje energetske efikasnosti bežičnih i mobilnih komunikacionih sistema.

## Literatura

- [1] ETSI Green Agenda GSC13-PLN-53, *ETSI Board*, June 27, 2008
- [2] B. Odadžić, B. Panajotović, M. Janković, „Zelene telekomunikacije, moguća rešenja i uticaj na životnu sredinu“, Naučno-stručni skup: *Energetske tehnologije - 2011*, Zbornik radova, Vrnjačka Banja, juni, 2011.
- [3] DCKTN Wireless Technology & Spectrum Working Group Energy Efficient Wireless Communications–*Russell Square House* 10 – 12 London, March 2011
- [4] J. Louhi, H.O.Scheck, „Energy Efficiency of Cellular Networks“, *WPMC* 2008
- [5] A. Burr, „Modulation and coding for wireless communications“ *Prentice Hall*, 2001.
- [6] ETSI, Environmental Engineering (EE) „Measurement Method for Energy Efficiency of Wireless Access Network Equipment“, *TS 102706 2008 V1.2.1 (2011-10)*
- [7] „Green Radio, NECs Approach towards Energy-efficient RAN“. *NEC, White paper*, 2010
- [8] T. Summers, „The semiconductors behind the networks“, *Freescale Europe, Cambridge Wireless Networks and the new economy*, November 2010
- [9] B. Odadžić, D. Odadžić, B. Panajotović, „Uvođenje energetske efikasnosti u bežičnim komunikacionim sistemima“, *Naučni E-forum: Energetske tehnologije - Menadžment, inovacije, razvoj 2012*, Zbornik radova elektronsko izdanje, Vrnjačka Banja, 2012
- [10] J.Chen, X. Chen, J. L. M. Zhao, „OpenWireless System Cloud: An Architecture for Future Wireless Communications System“, *Network and Communication Technologies*; Vol. 1, No. 2; E-ISSN 1927-0658.
- [11] D. Tse, P. Viswanath, „Fundamentals of Wireless Communication“, *Cambridge University Press*, ISBN: 9780521845274, U.K., Cambridge, 2005

**Abstract:** *As an important part of ICT, wireless communications systems are responsible for power consumption and energy saving. As wireless networks become an integral component of the modern communication infrastructure, the spectral efficiency and energy efficiency becoming increasingly important for wireless networks. This paper presents: energy efficiency definitions, metrics with trade-offs between power and bandwidth, approaches for introduction energy efficiency radio technologies and Cloud based efficient Radio Access Networks.*

**Keywords:** *Wireless networks, Energy efficiency, Spectral efficiency, Power efficiency, Bandwidth efficiency, Cloud RAN*

## INTRODUCTION THE ENERGY EFFICIENCY IN WIRELESS COMMUNICATION NETWORKS

Borislav Odadžić, Dalibor Dobrilović, Boban Panajotović