

ARHITEKTURE LOKALITETA MAKRO BAZNIH POSTAJA MOBILNIH OPERATORA

Josip Lorincz (josip.lorincz@fesb.hr)

Sveučilište u Splitu; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB)

Sažetak – Posljednjih deset godina možemo svjedočiti naglom porastu primjene mobilnih telefona u svakodnevnom životu. Takva masovna primjena pokretne komunikacijske usluge koja omogućuje prijenos govora, podataka i poruka ostvarena je na području gotovo cijele Hrvatske zahvaljujući velikom broju lokaliteta makro baznih postaja. Oprema postavljena na lokalitetima baznih postaja je u vlasništvu telekomunikacijskih operatora koji su zaduženi za njihovu izgradnju i održavanje, u cilju osiguranja besprekidne dostupnosti mobilnih usluga krajnjim korisnicima. U ovom radu su opisane različite vrste arhitekture lokaliteta makro baznih postaja operatora mobilne telefonije u Hrvatskoj. Također je dan pregled različitih vrsta konstrukcija antenskih sustava kao i sustava opskrbe energijom koji su dio arhitekture lokaliteta bazne postaje. Opisani su i novi trendovi vezani uz arhitekture lokaliteta makro baznih postaja za čiju se opskrbu energijom koriste obnovljivi izvori energije poput energije sunca, vjetra ili vodika.

Ključne riječi: makro, bazna postaja, arhitektura, lokalitet, objekt, antenski, stup, obnovljivi izvori, energija, mobilni operator,

1. Uvod

U Republici Hrvatskoj djeluju tri različita operatora mobilne telefonije pri čemu ukupan broj lokaliteta baznih postaja (engl. base station) svih operatora rasprostranjenih diljem Hrvatske iznosi oko 3000. U tehnološkom smislu, lokalitet svake bazne postaje sadrži: telekomunikacijsku opremu, stupove na kojima se nalaze odašiljačke antene, kabelsku infrastrukturu (vodove) za prijenos signala između telekomunikacijske opreme i antena, akumulatorske baterije za napajanje bazne postaje, te elektroenergetsku opremu za regulaciju napajanja (punjenja/pražnjenja baterija). Pored navedenoga, značajan broj lokaliteta baznih postaja može sadržavati i klimatizacijski uređaj koji ima zadatak održavanja temperature unutar lokaliteta u kojem se nalazi telekomunikacijska oprema i baterije.

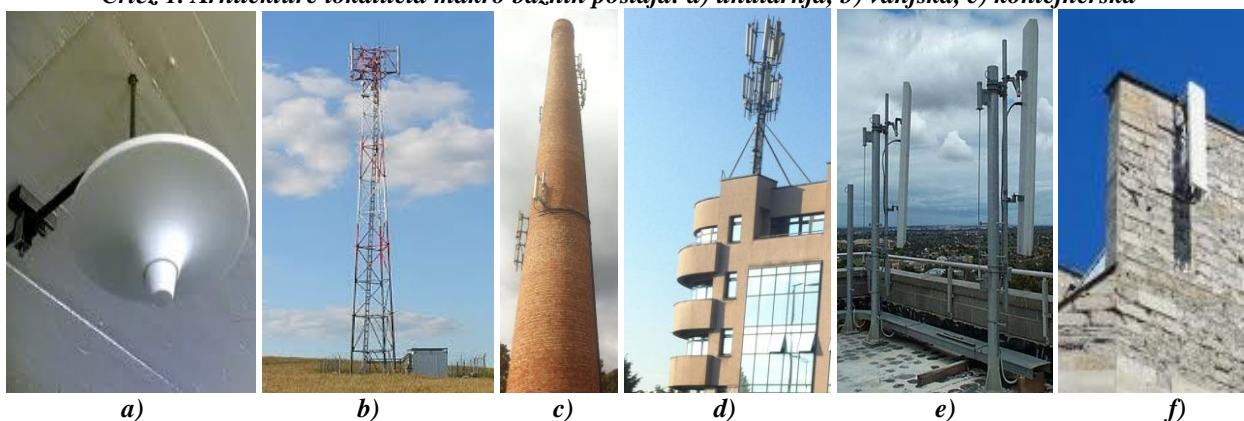
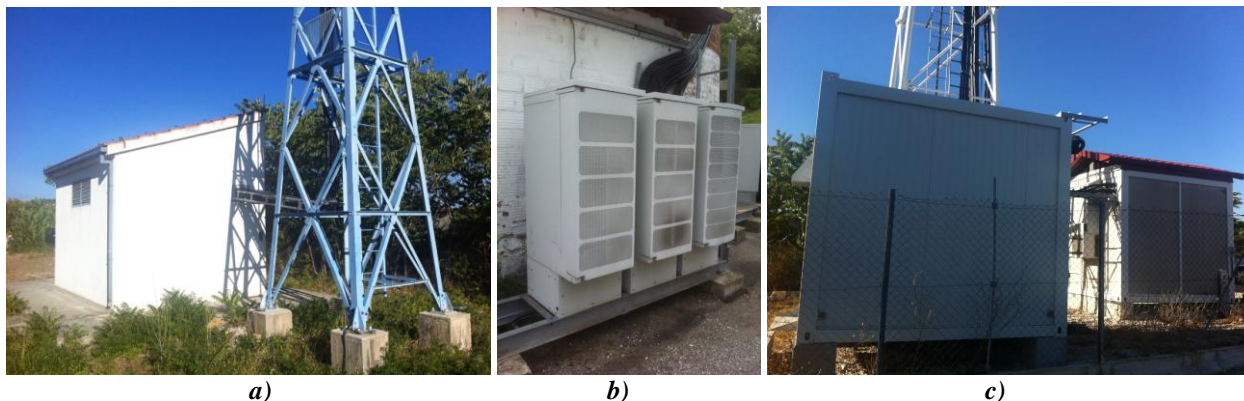
Za sam smještaj telekomunikacijske opreme i baterija potreban je zatvoreni prostor koji opremu štiti od atmosferskih utjecaja i fizičkog pristupa neovlaštenih osoba. Potrebna ukupna zatvorena površina lokaliteta bazne postaje ovisi o količini instalirane opreme. Od telekomunikacijske opreme najviše prostora zauzimaju kućišta baznih postaja kao i kućišta baterija koje služe kao pomoćni izvor energije u slučaju ispada glavnog izvora napajanja. Operatori često radi smanjenja troškova vrše kolokaciju, odnosno koriste postojeće lokalitete za dodavanje novih tehnologija baznih postaja onim već instaliranim na lokalitetu. Naime, uslijed brzog razvoja širokopodručnih bežičnih tehnologija, tijekom proteklog desetljeća operatori u Hrvatskoj su pored starijih baznih postaja druge generacije (GSM-Global System for Mobile Communications) instalirali i bazne postaje treće generacije (UMTS-Universal Mobile Telecommunications System), a u tijeku je uvođenje baznih postaja četvrte generacije (LTE-Long Term Evolution). Što je veći broj kućišta različitih vrsta tehnologija baznih postaja na istom lokalitetu, to je potrebna i veća zatvorena površina za njihov smještaj. Pritom je važno istaknuti da volumen koji kućište baznih postaja zauzima ovisi o konfiguraciji bazne postaje, pri čemu je trend da bazne postaje novijih tehnologija volumno zauzimaju manje nego one starijih tehnologija za slučaj slične konfiguracije. Stoga se općenito zatvorene površine za smještaj telekomunikacijske opreme na pojedinačnim lokalitetima baznih postaja kreću do 15 m² površine, sa visinom potrebnom da omogući smještaj opreme i nesmetano kretanje čovjeka za slučaj pojedinačnih prostora većih od 1 m² površine.

U Hrvatskoj se izgradnja lokaliteta bazne postaje vrši temeljem ishoda različitih dozvola od nadležnih tijela koje izdaju odgovarajuće suglasnosti za njihovu izgradnju. Određivanje potencijalnih lokacija za postavljanje baznih postaja vrše specijalizirani odjeli telekom operatora koji se bave planiranjem radio djela komunikacijske mreže. U većini slučajeva mobilni operatori nisu vlasnici same lokacije na kojoj se nalazi oprema bazne postaje, pa je konačni odabir lokacije uvijek stvar dogovora o najmu prostora između vlasnika lokacije i telekom operatora.

Ostatak rada organiziran je na sljedeći način: u poglavlju 2. dan je opis arhitekture za smještaj telekomunikacijske opreme mobilnog operatora. Arhitekture antenskih sustava lokaliteta baznih postaja su opisane u poglavlju 3. Poglavlje 4. daje pregled konvencionalnih sustava za opskrbu energijom lokaliteta baznih postaja, dok su u poglavlju 5. opisani sustavi obnovljivih izvora energije kao alternativa konvencionalnim sustavima opskrbe energijom. U poglavlju 6. dan je pregled metoda za poboljšanje energetske učinkovitosti lokaliteta baznih postaja, dok su u poglavlju 7. opisane mjere zaštite lokaliteta i opreme instalirane na lokalitetima. Konačno, zaključna opažanja su dana u poglavlju 8.

2. Arhitekture objekata za smještaj opreme

S obzirom na smještaj telekomunikacijske opreme, arhitekture objekata makro baznih postaja mogu se podijeliti u tri kategorije: unutarnje (engl. indoor), vanjske (engl. outdoor) i kontejnerske (eng. containers). Unutarnje objekte karakteriziraju prostorije sa čvrstim zidanim zidovima, podovima i stropovima izrađenim od betona i armiranog željeza koji mogu biti pokriveni ravnim ili kosim krovom sa kupama (crtež 1a). Pritom može biti riječ o prostorijama u već postojećim objektima ili objektima izrađenim ciljno za smještaj opreme bazne postaje.



Crtež 2. Arhitekture antenskih sustava makro baznih postaja: a) u zatvorenom prostoru, b) na samostojećim stupovima na zemlji, c) na stupovima dimnjaka, d) na krovovima objekata, e) na rubovima krovova objekata, f) na vanjskim zidovima objekata

Najčešće se takav tip arhitekture lokaliteta bazne postaje susreće na krovovima višekatnica u urbanim sredinama kao i na lokacijama u izvangradskim sredinama pri čemu je sam objekt smješten na tlo.

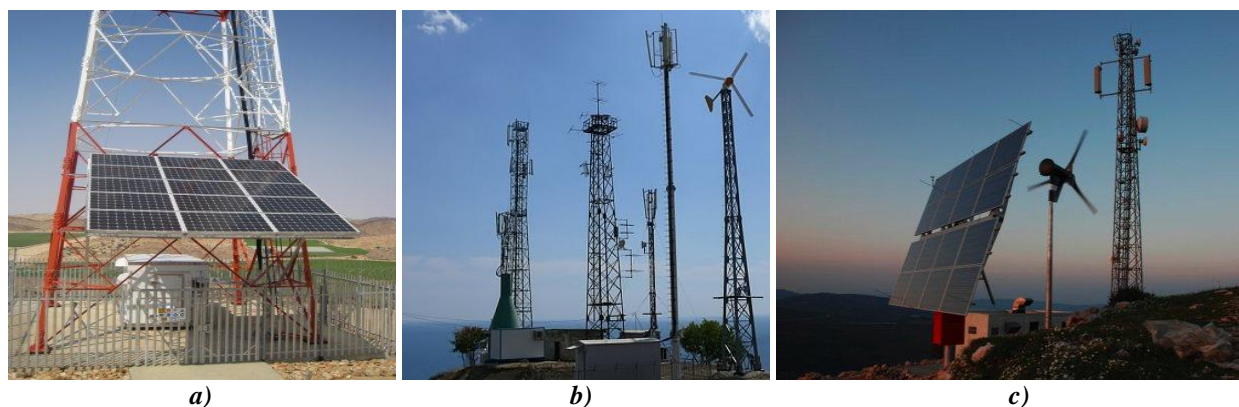
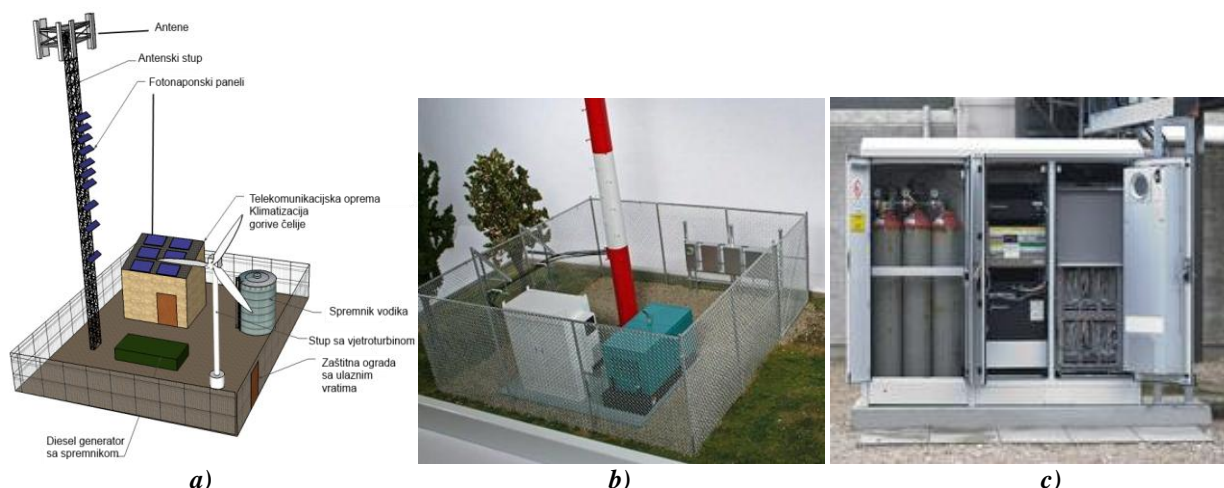
Vanjski objekti podrazumijevaju smještaj telekomunikacijske opreme u posebne metalne ormare koji se nalaze izvan zidanih zatvorenih prostora (crtež 1b). Ovakav tip arhitekture lokaliteta bazne postaje se može susresti na privatnim kućama, krovovima višekatnica ili u urbanim sredinama pri čemu se ormari smještaju na razini tla (crtež 1b).

Kontejnerski objekti su slični unutarnjim, s tim da se umjesto zidane konstrukcije koristi metalni kontejner s ravnim i/ili kosim krovom u koji se smještaju telekomunikacijska oprema (crtež 1c.). Dominantno se ovakav tip arhitekture lokaliteta bazne postaje može susresti u izvangradskim sredinama, te udaljenim i teže pristupačnim sredinama. Karakteristično je da se za reguliranje topline u slučaju unutarnjih i kontejnerskih objekata koriste zasebni klimatizacijski uređaji čije se vanjske jedinice smještaju na zidove tih objekata (crtež 1c). Kod vanjskih objekata u pravilu se za reguliranje temperature koristi prirodna cirkulacija zraka (crtež 1b). U slučaju otvorenih odnosno kontejnerskih objekata smještenih na razini tla, metalni ormari odnosno kontejneri se ne smještaju izravno na tlo već se radi sprječavanja prodora vlage smještaju na armirano betonske blokove (crteži 1b i 1c).

3. Arhitekture antenskih stupova

S obzirom na način instalacije antenskog sustava, arhitekture lokaliteta baznih postaja se dalje mogu podijeliti na one sa antenskim sustavima: u zatvorenim prostorima, na samostojećim stupovima na zemlji i na postojećim objektima. Antenski sustav u zatvorenim prostorima se koriste u slučaju pokrivanja signalom zatvorenih prostora sa velikim brojem korisnika poput trgovačkih centara ili na mjestima gdje nema dostupnosti vanjskih signala kao što su primjerice tuneli. Koriste se sustavi manjih antena uglavnom vezanih na stropove ili zidove objekta (crtež 2a). Za naglasiti je da su takvi antenski sustavi manje svojstveni lokalitetima makro baznih postaja. U pravilu se takvi antenski sustavi koriste kod mikro, piko i femto baznih postaja. Telekomunikacijska oprema takvih baznih postaja je manjih dimenzija u odnosu na makro bazne postaje pa se ne smještaju u zasebne objekte, ormare ili kontejnere, već se postavljaju unutar postojećih objekata.

Antenski sustavi na stupovima su dimenzijama mnogo veći od onih u zatvorenim prostorima, pa se za mobilne komunikacijske sustave obično koriste stupovi visina od 18 m do 50 m najčešće postavljenih na zemlji (crtež 2b). Pritom je potrebno naglasiti da se u antenske sustave na stupu svrstani svi stupovi koji su bilo namjenski ili nenamjenski izgrađeni za potrebe mobilne komunikacijske mreže. Premda su najviše zastupljeni namjenski postavljeni metalni stupovi izrađeni od željeza, čelika ili aluminija, u ovu skupinu spadaju i dimnjaci toplana (crtež 2c) ili vodotornjeva. U treću kategoriju su svrstane sve one lokacije na kojima je antenski sustav instaliran na objektu, pa se razlikuju antene na stupu smještenom na krovu objekta (crtež 2d), antene na rubu krova (crtež 2e), i antene postavljene



bočno na objektu (crtež 2f). Kod projektiranja metalnih antenskih stupova i onih instaliranih na objektima posebna pozornost se posvećuje statičkoj stabilnosti stupa kao i njegovoj otpornosti na udare vjetra. U praksi su moguće sve kombinacije arhitektura objekata za smještaj telekomunikacijske opreme i konstrukcija antenskih sustava.

4. Konvencionalni sustavi za opskrbu energijom

Jedan od važnih čimbenika koji utječe na ukupnu arhitekturu lokaliteta baznih postaja je i način opskrbe bazne postaje električnom energijom. S obzirom na vrste napajanja, lokaliteti baznih postaja dijele se na one sa trajnim priključkom na javnu elektro-energetsku mrežu (engl. on-grid) i bez priključka na mrežu (engl. off-grid) [1]. Lokaliteti baznih postaja sa trajnim priključkom se u pravilu nalaze u urbanim sredinama (gradovi, prigradska naselja i sela). Prethodno opisane arhitekture objekata (crteži 1) i antenskih sustava se odnose upravo na takve lokalitete. Međutim, za osiguranje što veće pokrivenosti svih područja Hrvatske signalom mobilne mreže, potrebno je postaviti i bazne postaje na udaljenim i teško pristupačnim područjima gdje nije moguće dovesti mrežni elektroenergetski priključak ili je njegovo dovođenje ekonomski neisplativo.

Arhitektu takvih lokaliteta, pored opisanih objekata za smještaj opreme i antenskog sustava, sačinjavaju i sustavi potrebni za proizvodnju električne energije koji moraju omogućiti neprekidni rad telekomunikacijske opreme (crtež 3a). Takvi sustavi se nalaze na lokalitetu bazne postaje u neposrednoj blizini objekta za smještaj opreme i antenskog stupa. U proteklom vremenskom razdoblju je bilo uobičajeno da se takvi lokaliteti napajaju električnom energijom koju proizvodi diesel agregat (generator) smješten na lokalitetu (crtež 3b). Agregat se u pravilu nalazi smješten u zasebnom kontejneru koji ga štiti od atmosferskih utjecaja pa je kod planiranja površine takvih lokaliteta nužno predvidjeti i površinu potrebnu za smještaj agregata koja iznosi od 3 m² do 8 m² (crtež 3a, 3b). Također je potrebno predvidjeti i površinu potrebnu za smještaj spremnika za diesel gorivo koji može zauzimati sličnu površinu kao i diesel agregat. U Hrvatskoj još uvijek postoji određeni broj takvih lokaliteta koji se redovito opskrbljuju diesel gorivom od strane kooperantskih tvrtki koje za mobilne operatore vrše dostavu i punjenje goriva. Premda je u Hrvatskoj broj takvih lokaliteta baznih postaja u postupnom padu, diljem svijeta, a posebno u zemljama u razvoju broj diesel generatorom napajanih lokaliteta iznosi i do 40% od ukupnog broja lokaliteta [1].

5. Sustavi za opskrbu energijom iz obnovljivih izvora

Posljednjih godina trend je da operatori mobilne telefonije investiraju dodatna sredstva u lokacije sa diesel generatorima na način da ih povežu na elektro-energetsku mrežu ili da umjesto diesel generatora koriste obnovljive izvore energije [1]. Budući da je Hrvatska bogata insolacijom jer ima prosječno 2600 sunčanih sati godišnje, na lokalitetima koji koriste obnovljive izvore energije dominiraju fotonaponski sustavi (crtež 4a). Takvi lokaliteti moraju imati predviđen prostor za smještaj fotonaponskih panela koji pretvaraju sunčanu energiju u električnu. Trenutno se otprilike iz 1 m² fotonaponskog panela može dobiti od 130 W do 150 W instalirane snage, pa je često potrebna površina od 5 m² do 40 m² za instalaciju panela. Broj panela i površina na koju se paneli instaliraju ovisi o ukupnoj potrošnji lokaliteta bazne postaje, koja opet ovisi o broju baznih postaja različitih tehnologija (GSM, UMTS, LTE) instaliranih na lokalitetu i njihovim konfiguracijama. Stoga je potrebno kod planiranja ukupne površine lokaliteta bazne postaje predvidjeti površinu za instalaciju panela. Paneli se postavljaju na metalnu konstrukciju u pravilu izrađenu od aluminija pod nagibom od 25° do 40° sa orijentacijom prema jugu. Novije arhitekture takvih lokaliteta karakterizira smještaj panela na način da bacaju sjenu na objekt u kojem se nalazi telekomunikacijska oprema (crtež 4a). Na taj način se optimalnije iskorištava površina lokaliteta bazne postaje, a ujedno se u ljetnim danima doprinosi lakšem hlađenju telekomunikacijske opreme.

Budući da je sunce nestalan izvor energije sa značajnim dnevnim i mjesečnim varijacijama razine zračenja, pored fotonaponskih panela, na nekim lokalitetima baznih postaja u Hrvatskoj koristi se i energija vjetra kao samostalni ili dodatni izvor energije. Za dobivanje energije iz vjetra koriste se vjetroturbine koje se postavljaju na postojeće antenske stupove lokaliteta bazne postaje ili na zasebne, namjenski postavljene stupove (crtež 4b). Također se za opskrbu energijom lokaliteta baznih postaja bez priključka na mrežu koriste i tzv. hibridni sustavi napajanja koji na istom lokalitetu kombiniraju dva ili više sustava proizvodnje energije iz obnovljivih izvora. Primjerice, u Hrvatskoj postoje lokaliteti baznih postaja gdje se koristi energija sunca u kombinaciji sa energijom vjetra (crtež 4c), čime se povećava pouzdanost napajanja energijom one opreme koja je instalirana na lokalitetu.

Pored vjetra i sunca, kao obnovljivi izvor energije koristi se i komprimirani vodik pomoću kojega se putem tehnologije gorivih ćelija proizvodi električna energija (crtež 3c). Budući da smještaj vodika zahtjeva posebne spremnike, potrebno je na lokalitetu bazne postaje predvidjeti dodatnu površinu za njihov smještaj. Često se tehnologija gorivih ćelija koristi u kombinaciji sa fotonaponskim panelima i vjetroturbinom. Zbog trenutno visoke cijene vodika u Hrvatskoj i potrebe za spremnicima vodika većeg volumena, lokaliteti baznih postaja koje koriste sve tri tehnologije obnovljivih izvora energije su rijetki u praktičnoj primjeni u Hrvatskoj. U usporedbi sa sustavima koji koriste energiju sunca ili vjetra, u Hrvatskoj je stoga primjena tehnologije gorivih ćelija za opskrbu energijom baznih postaja zanemariva, ali ukoliko dođe do pada cijene vodika, moguće je očekivati značajniju primjenu ove tehnologije.

Premda od lokaliteta koji se napajaju iz obnovljivih izvora energije dominiraju oni koji koriste sunce i vjetar kao primarni izvori energije, zbog njihove nestalnosti postoje i lokaliteti koji kombiniraju obnovljive izvore energije i diesel generator kao pričuvni izvor energije (crtež 3a). Takvi lokaliteti zahtijevaju najveće površine, jer pored površine potrebne za smještaj objekta bazne postaje i antenskog sustava, moraju imati i predviđenu površinu za smještaj sustava proizvodnje energije iz fotonaponskih panela, vjetroturbina, gorivih ćelija i diesel generatora sa pripadajućim spremnicima goriva. U usporedbi sa površinama lokaliteta baznih postaja napajanih iz elektro-energetske mreže, kod izgradnje lokaliteta baznih postaja koje se opskrbljuju energijom iz obnovljivih izvora potrebno je predvidjeti veće površine lokaliteta. Te površine mogu biti od trideset do dvjesto metara kvadratnih, ovisno o količini opreme potrebne za neprekidnu opskrbu energijom lokaliteta bazne postaje.

6. Metode za poboljšanje energetske učinkovitosti

Istraživanja su pokazala da su mobilne komunikacijske mreže veliki potrošači električne energije [2]. Zbog toga telekom operatori u razvijenim zemljama svijeta spadaju među prvih pet potrošača energije u zemlji. Preko 80% od ukupne potrošene energije operatora mobilne telefonije otpada na radio mrežu odnosno na bazne postaje kao najveće pojedinačne potrošače energije. Pridoda li se tome veliki broj lokacija baznih postaja, ukupna cijena koju operatori plaćaju za potrošenu energiju predstavlja značajan dio njihovih operativnih troškova (engl. operational expenditures - OPEX) [3]. Također je pokazano da mobilne komunikacijske mreže doprinose emisiji stakleničkih plinova. Primjerice diesel generator za napajanje bazne postaje emitira značajne količine ugljičnog dioksida (CO₂) [1]. Uzme li se u obzir ukupan broj takvih lokaliteta na globalnoj razini, pokazuje se da mobilni operatori imaju i ekološku obvezu da broj takvih lokaliteta svedu na minimum.

Stoga je trenutni trend i u Hrvatskoj ali i u svijetu da se takvi lokaliteti umjesto diesel generatorima opskrbljuju energijom iz obnovljivih izvora. Time se doprinosi poboljšanju energetske učinkovitosti mobilnih mreža te se smanjuju operativni troškovi mobilnog operatora i emisija štetnih plinova. Međutim, operatorima mobilne telefonije se još uvijek ne isplati na lokalitete koji imaju priključak na elektro-energetsku mrežu dovoditi sustave koji energiju proizvode iz obnovljivih izvora. Riječ je o lokalitetima u urbanim sredinama koji u pravilu troše više energije zbog veće količine instaliranih baznih postaja različitih tehnologija i njihovih snažnijih konfiguracija. Veća potrošnja energije zahtjeva i veće instalirane snage obnovljivih izvora energije, tj. veći broj fotonaponskih panela, vjetroturbina, odnosno veće kapacitete spremnika vodika. Zbog ograničenosti prostora lokaliteta baznih postaja u urbanim sredinama (npr. na krovovima višekatnica), sustavi temeljeni na obnovljivim izvorima energije u pravilu ne mogu osigurati kontinuiranu

opskrbu energijom takvih lokaliteta. Stoga se provode intenzivna istraživanja u području telekomunikacija kako bi se optimizirala potrošnja

energije telekomunikacijske opreme postavljene na lokalitetu bazne postaje. Jedna od metoda optimizacije potrošnje energije se temelji na paljenju i gašenju dijelova ili cijelih baznih postaja u ovisnosti o telekomunikacijskom prometu, koji zbog životnih navika ljudi varira na dnevnoj, tjednoj i prostornoj osnovi [4]. Ispitivanja su pokazala da se takvim inteligentnim upravljanjem resursima baznih postaja mogu postići značajna smanjenja potrošnje energije takvih lokaliteta [5], [6]. Usljed smanjenja potrošnje energije, u doglednoj budućnosti se može očekivati da će se i na lokalitetima baznih postaja u urbanim sredinama početi koristiti sustavi opskrbe energijom iz obnovljivih izvora. To će rezultirati novim arhitekturama lokaliteta baznih postaja u urbanim sredinama, koje će za realizaciju biti izazovnije jer će se u ograničenom prostoru morati instalirati elementi sustava za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora.

7. Zaštita lokaliteta bazne postaje

Pristup neovlaštenim osobama na lokalitete baznih postaja nije dozvoljen. Stoga se lokaliteti baznih postaja smještenih na zemlji štite metalnom ogradom (crteži 1c, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b) ili stavljanjem opreme u odgovarajuće metalne ormare koji se zaključavaju (crteži 1b, 3c). Ukoliko je lokalitet bazne postaje smješten na krovu nekog objekta, pristup prostoru unutar kojeg se nalazi telekomunikacijska oprema je moguć samo ovlaštenim osobama. Prilikom realizacije lokaliteta bazne postaje, nužno je voditi računa i o pravilnom uzemljenju svih objekata kao i antenskih stupova (crtež 1a, 1b). Uzemljenjem se objekti i stupovi štite od udara groma, pa je ovisno o veličini objekta ili antenskog stupa potrebno koristiti odgovarajuće uzemljivače. Antenski stupovi baznih postaja koji se nalaze na većim visinama, tijekom noći svoju maksimalnu visinu moraju isticati prikladnim svjetlosnim elementom.

Također je potrebno osigurati pravilan odvod oborinskih voda sa krovova objekata u kojima se nalazi telekomunikacijska oprema (crtež 1a, 1b, 1c). Sukladno navedenom, projektiranje i izvedba lokaliteta baznih postaja zahtjeva multidisciplinarna znanja iz područja arhitekture, građevinarstva, strojarstva, elektrotehnike i telekomunikacija. Uspješna izgradnja lokaliteta bazne postaje sa ciljem smještanja u prostor na dugi vremenski period, podrazumijeva poštivanje zakonitosti svake od navedenih struka.

8. Zaključak

U radu je dan pregled arhitekture lokaliteta baznih postaja mobilnih operatora. Opisane arhitekture nisu svojstvene samo operatorima u Hrvatskoj, već je riječ o tipičnim arhitekturama koje koriste i drugi operatori mobilne telefonije diljem svijeta. S obzirom na smještaj telekomunikacijske opreme, arhitekture objekata makro baznih postaja mogu se podijeliti u tri kategorije: unutarnje, vanjske i kontejnerske. Nadalje, s obzirom na način instalacije antenskog sustava, arhitekture lokaliteta baznih postaja se mogu podijeliti na one sa antenskim sustavima: u zatvorenim prostorima, na stupovima i na postojećim objektima. Na arhitekturu lokaliteta baznih postaja također utječe postojanje ili ne postojanje priključka na elektroenergetsku mrežu. Lokaliteti koji nemaju priključak na elektroenergetsku mrežu zahtijevaju dodatne površine za smještaj opreme namijenjene proizvodnji energije neophodne za neprekidni rad telekomunikacijskih sustava. U slučaju proizvodnje energije korištenjem fosilnih goriva, na lokalitetu bazne postaje treba predvidjeti prostor za smještaj diesel generatora i spremnika goriva. Ako se lokalitet bazne postaje opskrbljuje energijom iz obnovljivih izvora, onda je nužno predvidjeti dodatne površine za instalaciju opreme kao što su fotonaponski paneli, vjetroturbine ili spremnici vodika sa gorivim ćelijama. Za uspješno projektiranje i realizaciju lokaliteta bazne postaje potrebna su stoga multidisciplinarna znanja iz područja različitih grana tehničkih znanosti poput: arhitekture, građevinarstva, strojarstva, elektrotehnike i telekomunikacija.

Literatura

- [1] J. Lorincz, I. Bule, „Renewable energy sources for power supply of base station sites“, International Journal of Business Data Communications and Networking (IJBDCN), Vol.: 9, No.: 3, 2013, stranice: 1-19
- [2] J. Lorincz, A. Capone, D. Begusic, „Optimized Network Management for Energy Savings of Wireless Access Networks“, Computer Networks Journal (ISSN: 1389-1286), Vol.: 55, No.: 3, 2011, str.: 626-648
- [3] J. Lorincz, A. Capone, D. Begušić, „Heuristic Algorithms for Optimization of Energy Consumption in Wireless Access Networks“, KSII Transactions on Internet and Information Systems (ISSN: 1976-7277), Vol.: 5, No.: 5, 2011., str.: 514-540
- [4] J. Lorincz, T. Garma, G. Petrovic, "Measurements and Modelling of Base Station Power Consumption under Real Traffic Loads", Sensors Journal (ISSN: 1424-8220), Vol.: 12, No.: 4, 2012, stranice: 4281-4310
- [5] J. Lorincz, „Energy-efficient wireless cellular communications through network resource dynamic adaptation“, International Journal of Business Data Communications and Networking (IJBDCN), Vol.: 9, No.: 2, 2013, stranice: 1-14
- [6] J. Lorincz, A. Capone, D. Begusic, "Impact of service rates and base station switching granularity on energy consumption of cellular networks", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking (ISSN: 1687-1499), Vol.: 342, 2012, stranice: 1-44