

## TRENDOVI U PRIMENI INDOOR SISTEMA U MOBILNIM KOMUNIKACIJAMA

Vera Marković, Stefan Tomić, Zlatica Marinković  
Elektronski fakultet, Niš

**Sadržaj:** *Stalni porast saobraćaja mobilnih komunikacionih sistema mora biti ispraćen odgovarajućim razvojem infrastrukture koja će taj saobraćaj omogućiti. Veliki objekti u kojima boravi mnogo ljudi predstavljaju poseban izazov za mrežu, usled velikog broja istovremenih zahteva za korišćenjem servisa. Zbog toga se u cilju poboljšanja kvaliteta servisa, u ovakvim objektima implementiraju takozvani indoor (unutrašnji) sistemi. U ovom radu dat je prikaz tipičnih indoor sistema, a navedeni su i aktuelni postupci i tehnike koji se primenjuju prilikom projektovanja i instalacije ovih sistema. Postupak projektovanja ilustrovan je na konkretnom primeru projektovanja jednog manjeg indoor sistema.*

**Ključne reči:** *indoor radio planiranje, mobilni komunikacioni sistemi, distribuirani antenski sistemi*

### 1. Uvod

Moderno društvo je gotovo nemoguće zamisliti bez mogućnosti stalnog pristupa Internetu. Uz povećanje obima saobraćaja rastu i očekivane brzine prenosa podataka. Pojava i sve veća rasprostranjenost pametnih (*smart*) telefona dovela je do toga da se mobilni pristup Internetu sve intenzivnije koristi. To je, uz do sada često korišćene servise poput govornog poziva, dovelo do velikog povećanja obima saobraćaja u mobilnim mrežama. Zadatak operatora je pružanje usluge zadovoljavajućeg kvaliteta u svakom trenutku i na svakoj lokaciji, a pogotovu na mestima gde se okuplja i boravi veći broj ljudi. Kako su makro ćelije projektovane da signalom pokriju veće površine, kod velikih i prometnih objekata u kojima boravi veći broj ljudi (tržni centri, aerodromi, autobuske stanice, kao i podzemni objekti), lako može da dođe do poteškoća u korišćenju servisa. Zbog toga je u takvim objektima poželjno ugraditi indoor mobilni sistem, koji će opsluživati korisnike koji se nalaze unutar objekata.

Kroz više generacija, mobilni komunikacioni sistemi doživljavaju intenzivni razvoj. Kod sistema prve i druge generacije dominantna usluga je bio govorni saobraćaj, dok je kod sistema treće i četvrte generacije dominantan paketski saobraćaj, odnosno prenos podataka. Kako prenos podataka zahteva velike brzine, ovim trendom je i potreba kvalitetnijeg servisa generalno, pa i u zatvorenom prostoru, još više došla do izražaja. Potrebno je da brzina prenosa podataka kod mobilnih sistema novijih generacija, poput

*HSPA+* i *LTE*-a bude konkurentna ostalim tipovima bežičnih mreža i *WiFi* standardu, kako na otvorenom, tako i u zatvorenom prostoru.

Veliki procenat saobraćaja potiče od korisnika koji se nalaze unutar objekata [1], tako da se mora obratiti dosta pažnje obezbeđivanju signala zadovoljavajućeg kvaliteta unutar objekata. Put signala od bazne stanice do korisnika može biti pun prepreka koje vrše degradaciju signala i negativno utiču na kvalitet servisa. Otežavajuću okolnost u obezbeđivanju pokrivenosti signalom zatvorenih prostora može predstavljati i konstrukcija samog objekta, koja ponekad može dovesti do izuzetno velike degradacije signala. Zbog toga je sve popularnija ugradnja indoor, ili kako se još nazivaju, *In-Building (IB)* sistema. Ovi sistemi se ugrađuju u samom objektu, gde su predajne antene bliže korisniku, pružajući mu dosta bolji kvalitet signala, u odnosu na slučaj da se korisnici unutar objekta opslužuju spoljnom infrastrukturom i makro baznim stanicama.

Potreba za opsluživanjem korisnika mobilnim signalom i servisom što boljeg kvaliteta čini instalaciju indoor sistema veoma bitnom stavkom, kojoj svaki mobilni operator mora da posveti pažnju, a istraživačima daje dosta prostora za proučavanje i potencijalna poboljšanja sistema.

Rad je organizovan na sledeći način: nakon Uvoda, u drugoj glavi je opisan značaj uvođenja indoor sistema u objekte. Nakon toga u trećoj glavi su prikazane osnovne karakteristike indoor sistema. Četvrta glava sadrži opis sistema distribuiranih antena (*DAS – Distributed Antenna System*), koji se koristi za dopremanje signala do krajnjeg korisnika indoor sistema. Postupak projektovanja indoor sistema prikazan je u petoj glavi na konkretnom primeru projektovanja jednog potencijalnog indoor sistema, uz korišćenje softverskog alata *iBwave Design*. Izvedeni zaključci su dati u poslednjoj, šestoj glavi.

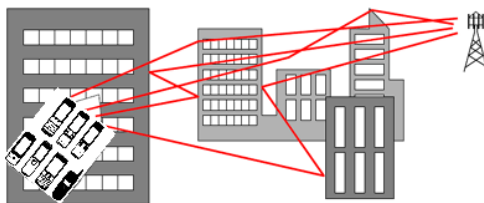
## **2. Značaj uvođenja indoor sistema**

Mobilni komunikacioni sistemi postoje zbog korisnika, kojima mora biti ponuđena najbolja moguća usluga. Operatoru je zadovoljstvo korisnika veoma bitno zbog povećanja prihoda i broja korisnika, što se posebno odnosi na kvalitet servisa unutar objekata imajući u vidu obim saobraćaja koji se svakodnevno ostvaruje unutar objekata. Istraživanja su pokazala da se u urbanim sredinama čak 70-80% saobraćaja ostvaruje unutar objekata [1],[2.]. U pojedinim slučajevima se čak 50% saobraćaja ostvaruje u samo 10% objekata, kao što su tržni centri, autobuske stanice, aerodromi, itd. Takvi objekti su najbolji kandidati za ugradnju indoor sistema, jer veliki ostvareni saobraćaj predstavlja značajan prihod za operatora.

Najčešći tehnički razlozi za ugradnju indoor sistema su: nedostatak pokrivenosti, poboljšanje kvaliteta usluga, potreba za većim kapacitetom i brzinama prenosa podataka. Veoma je bitno i rasterećivanje okolnih, makro ćelija, čiji će dotadašnji korisnici biti opsluženi indoor sistemom. Opsluživanje korisnika unutar objekata spoljnom infrastrukturom može da izazove određene probleme, koji su ponekad i nepredviđeni i time može negativno uticati na funkcionisanje mobilne mreže. To je najočiglednije kada je u pitanju novoizgrađeni objekat, koji nije postojao u trenutku projektovanja baznih stanica u okruženju. Infrastruktura u tom slučaju nije spremna da na odgovarajući način opsluži nove korisnike, čije korišćenje mrežnih reusrsa nije inicijalno predviđeno.

Instaliranje indoor sistema pogodno utiče na vrednost PLPU (*Power Load Per User*) faktora, koji predstavlja snagu opterećenja po mobilnom korisniku [1]. PLPU je važan faktor zbog činjenice da je snaga signala bazne stanice prema korisniku u direktnoj vezi sa njenim kapacitetom. Što je veći PLPU, veći je i kapacitet bazne stanice potreban po mobilnom korisniku. Ovo rezultira relativno visokim troškovima opsluživanja korisnika unutar zgrade spoljašnjom makro mrežom. Kod indoor sistema se postiže znatno manji PLPU faktor, usled činjenice da bazna stanica neće morati da prevaziđe velike gubitke koje unosi penetracija signala unutar zgrade (slabljenje od 20-50 dB).

Svest o uvođenju indoor sistema je rasla sa stalnim porastom broja korisnika i zahtevanim brzinama prenosa. Kako su najbitniji objekti uglavnom uvek nominalno pokriveni signalom, u ranijem, tzv. „tradicionalnom“ načinu planiranja mreže, postavlja se pitanje da li je moguće kvalitetno opslužiti korisnike unutar objekta signalom sa spoljašnje makro bazne stanice. Na Slici 1 je prikazan tipičan put signala od bazne stanice do korisnika koji se nalazi unutar objekta.



Slika 1. Prostiranje signala od bazne stanice do korisnika unutar objekta

U praksi se signal najčešće prostire po višestrukome putu (*multipath*). Na taj način dobija se više oslabljenih signala koji dolaze različitim putevima sa unetim kašnjenjem (od 1-2 ms) [3] i oslabljenim intenzitetom, koji dodatno slabe prolazeći kroz zidove objekta. Najčešće posledice takvog prostiranja signala su prekinuti pozivi, učestali *handover* i prenos podataka smanjenom brzinom. Čest je slučaj da zgrade na čijim se krovovima nalaze antene baznih stanica mogu imati problema sa pokrivenošću, pre svega na nižim spratovima. Ovaj problem se javlja zbog činjenice da se pokrivenost unutar zgrade oslanja na refleksije sa susednih zgrada. Na najvišim spratovima pokrivenost može biti savršena, ali problemi počinju sa približavanjem nivou tla, tako da je veoma čest slučaj nedostatka pokrivenosti stepeništa i liftova.

Problem može nastati i kada je signal u objektu na zadovoljavajućem nivou, ali se objekat nalazi u zonama pokrivanja više baznih stanica. U tom slučaju će korisnici unutar objekta stalno biti u stanju *soft handovera*, zauzimajući više linkova radi održavanja uspostavljenog poziva, dodatno opterećujući infrastrukturu i povećavajući cenu usluge za operatora.

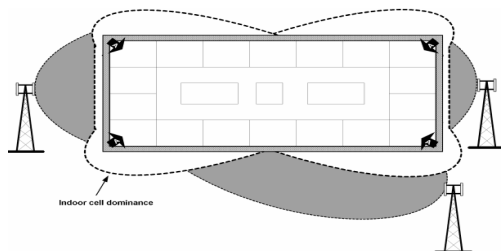
### 3. Karakteristike indoor sistema

Indoor sistem predstavlja sistem koji se sastoji od antena koje su instalirane unutar objekta i povezane sa ostatkom mreže, izvora signala, kablova i dodatnih komponenti poput razdelnika i tpera. Sistem antena koji se koristi je sistem distribuiranih antena – DAS (*Distributed Antenna System*). DAS može biti pasivan i

aktivan, a odluka o tome koji će se tip koristiti se donosi na osnovu specifičnosti i složenosti sistema. Signal na ulazu u indoor sistem može biti signal sa ripitera, ili to može obezbediti dodatna bazna stanica koja se može uvesti. Odluka o ulaznom signalu se donosi na osnovu predviđenog obima saobraćaja i stanja na konkretnoj lokaciji. Kako uvođenje nove bazne stanice značajno povećava troškove sistema, ripiter se koristi kad god je to moguće [1].

Pošto indoor sistem može uticati na funkcionisanje okolne mobilne mreže van objekta, prilikom projektovanja ovog sistema veoma je bitno voditi računa o izolaciji. Izolacija se definiše kao razlika između nivoa signala indoor sistema i signala spoljašnje mreže i obratno i predstavlja ključ uspešnog funkcionisanja sistema. Potrebno je obezbediti da ta razlika bude dovoljno velika, kako bi indoor sistem zadržao korisnika i sprečio ga da on izvrši *handover* na spoljnu mrežu. Takođe je važno sprečiti da korisnički uređaj koji je van objekta vrši prelazak na indoor sistem kada se nalazi u blizini objekta u kome je sistem implementiran. Veoma je važno da signal indoor sistema bude dominantan u celoj zgradi, a naročito u blizini prozora, jer staklo unosi manje slabljenje signala od betonskih zidova. Preporuka je da ta razlika nivoa signala bude najmanje 10-15 dB u korist signala indoor sistema. Takozvano curenje signala se može sprečiti korišćenjem specijalnih vrsta prozora, kao što su stakla sa tankim slojem metalnog premaza koji mogu uneti slabljenje od 20 do 40 dB. Moguće je koristiti i specijalna „Wi-Fi stakla“, koja se obično koriste za sprečavanje upotrebe bežičnog Interneta van objekta. Ovaj tip stakla unosi slabljenje do čak 70 dB, pa se zbog relativne blizine frekvencijskih opsega GSM ili UMTS sistema opsezima dodeljenim za WiFi, ova stakla mogu primeniti i kod indoor sistema.

Problem se može javiti i kod visokih zgrada, gde je potrebno obezbediti izolaciju od uticaja čelija iz spoljašnjeg makro nivoa, jer se može desiti da postoji linija vidljivosti sa baznom stanicom koja nije u njenom bliskom okruženju. U tom slučaju će na takvim mestima nivo signala biti zadovoljavajući, a korisnikov uređaj će vršiti *handover* na tu baznu stanicu. Međutim, servis će biti lošijeg kvaliteta, usled velike daljine i interferencije koja će se veoma verovatno javiti. Pored korišćenja gore navedenih stakala koja unose veliko slabljenje, ovaj problem se može rešiti i postavljanjem indoor antena u uglovima prostorija [1], kao što je prikazano na Slici 2.



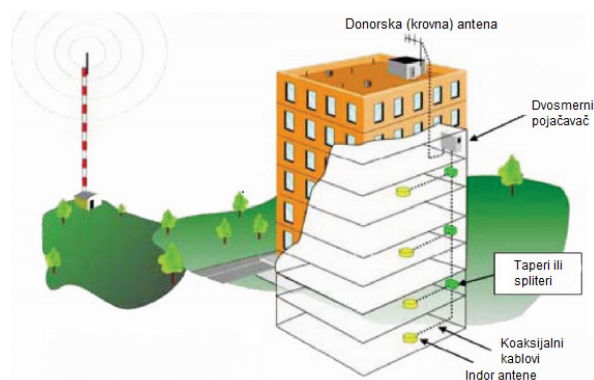
Slika 2. –Primer postavljanja indoor antena na višim spratovima objekta

#### 4. Sistem distribuiranih antena – DAS

DAS predstavlja bežičnu komunikacionu arhitekturu, koja se sastoji od više distribuiranih antena koje se instaliraju u objekat, kako bi se omogućio uniforman i

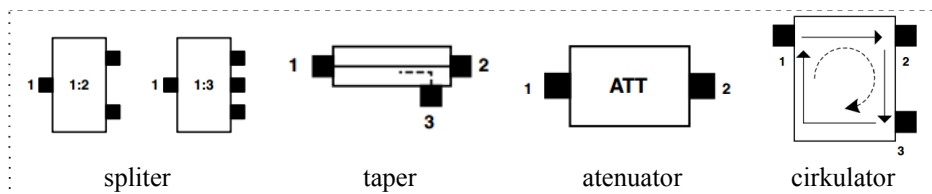
dominantan signal unutar objekta. DAS se praktično koristi kako bi se signal donorske spoljne (makro) ili unutrašnje mikro bazne stanice uniformno raspodelio kroz ceo objekat [4]. Time se umesto jednog signala velike snage, dobija više signala, manjih snaga, dovoljnih da obezbede optimalno pokrivanje objekta. U idealnom slučaju, ove antene treba da rade sa otprilike istim nivoom snage, kao i da imaju približno iste gubitke i šum na *uplink*-u do uslužne bazne stanice [5]. Pored primene u zatvorenom prostoru, DAS postaje i sve korišćenija tehnologija za poboljšanje pokrivanja na otvorenim prostorima poput stadiona ili određenih delova grada [4],[6]. Prednosti sistema distribuiranih antena su lako planiranje i dobra pokrivenost, dok nedostaci uključuju visoke troškove instalacije u odnosu na, npr. piko ćelije u zatvorenom prostoru ili ripitera od otvorenog ka zatvorenom prostoru.

Antene koje se koriste u DAS-u su specijalno projektovane za upotrebu u indoor sistemima. Obično su to omnidirekzione („šesir“) ili usmerene (65-90°) antene. Signal sa ulaza u DAS se dovodi do antena u DAS-u preko mreže kablova, povezanih spliterima i taperima. Na Slici 3 je ilustrovan tipični DAS i njegove osnovne komponente.



Slika 3. –Tipični DAS

Sistemi distribuiranih antena se obično dele na pasivne i aktivne. Pasivni DAS uključuje pasivne komponente, koje služe za podelu signala i njegovo dopremanje do antena. Sistem se može podeliti na okosnicu mreže, preko koje se vrši vertikalna distribucija signala kod višespratnih objekata i sistem kablova u horizontalnoj ravni objekta [8]. Osnovne komponente koje se koriste kod pasivnog DAS-a su: koaksijalni kablovi, taperi, spliteri, atenuatori, cirkulatori itd. Prilikom projektovanja sistema sa pasivnim komponentama, veoma je važno imati na umu da se ne sme prelaziti maksimalni nivo snage predviđen za datu komponentu. To je poseban problem kod sistema velikog kapaciteta ili multioperatorskih pasivnih DAS rešenja, gde se kombinuje više nosioca i bazne stanice na visokim nivoima snage, u istom pasivnom distribucionom sistemu. Zbog toga u softverskim alatima za planiranje indoor sistema svaka komponenta u opisu ima jasno istaknut podatak o maksimalnoj snazi sa kojom ona može raditi, kao veoma bitnu informaciju.



Slika 4. –Osnovne komponente pasivnog DAS-a

Kod planiranja pasivnog DAS-a, veoma je važno izračunati maksimalni gubitak signala prilikom njegovog dopremanja do antene, i uraditi procenu budžeta linka za pojedine oblasti koje pokriva svaka od antena. Dizajn pasivnog DAS-a se mora prilagoditi ograničenjima zgrade koja utiču na to gde se i kako mogu instalirati teški koaksijalni kablovi. Kod sistema sa koaksijalnim kablovima se kao problem javljaju neizbežni gubici, koje unose sami kablovi, ali i konektori i ostala oprema [8]. Aktivni DAS predstavlja sistem distribuiranih antena, koji se odlikuje manjim gubicima u prenosu signala, što je posledica aktivnih i/ili optičkih komponenata koje postoje u sistemu. Aktivni DAS kombinuje elektronska čvorišta, optiku, i aktivne jedinice za pristup i distribuciju radio signala iz jednog, centralnog, izvora [1]. Aktivni DAS često daje najbolje performanse radio-veze i veće brzine prenosa podataka, posebno u primeni kod UMTS i HSPA tehnologija.

Primena aktivnih komponenti omogućava da snaga koja se emituje svakom od antena bude ista bez obzira na udaljenost od centralne radio jedinice. Svaka antena predstavlja jednostavno proširenje centralizovanog radio izvora, pa ne postoje smetnje između antena i ne postoji ograničenje u pogledu broja antena koje mogu biti raspoređena u okviru zgrade, ili njihove lokacije. Postoji više varijacija aktivnog DAS-a, koji se koriste u zavisnosti od potreba i specifikacija sistema koji je potrebno razviti. Često korišćeni tipovi aktivnog DAS-a su i optički aktivni DAS i hibridni DAS.

Korišćenje optičkog aktivnog DAS-a je rezultat rastuće potrebe za što većim propusnim opsegom, kao i njegove mogućnosti da podrži više standarda, kao što su: GSM, DCS, UMTS, Wi-Fi, Wi-MAX. To je podstaklo upotrebu optičkih vlakana u sistemu, koja se odlikuju velikim brzinama prenosa i malim kašnjenjem. Optički aktivni DAS je najefikasniji u pogledu performansi. Optička vlakna mogu da pokriju velike razdaljine i podrže više radio servisa. Druga prednost je ta što je optičko vlakno relativno jeftino i jednostavno za instalaciju. Optički aktivni DAS je najčešća tehnika koja se koristi kod indoor radio pokrivanja [1]. Naredna tabela pruža uporedne karakteristike različitih tipova DAS-a [1].

Tabela 1. –Osnovne karakteristike različitih tipova DAS-a

	<b>Pasivni DAS</b>	<b>Aktivni DAS</b>	<b>Aktivni optički DAS</b>
Rastojanje	Do 400m	Do 400m	Do 6km
Cena opreme	Jeftina	Standardna	Standardna
Težina instalacije	Teška	Laka	Veoma laka
Multi-standard	Ne	Ne	Da
Ulazni signal (bazna stanica ili ripiter)	Visoka snaga	Niska snaga	Niska snaga

## 5. Praktični primer planiranja indoor sistema

Projektovanje, instalacija i implementacija jednog indoor radio sistema predstavljaju složen proces u koji je uključeno više profesija, počevši od inženjera radio planiranja, preko građevinskih inženjera, do radnika koji obavljaju samu instalaciju sistema, ali i inženjera za optimizaciju mreže, koji se staraju da ceo sistem funkcioniše bez ikakvih problema, vidljivih za korisnike.

Postupak projektovanja počinje tako što biznis sektor operatora odobrava instalaciju indoor sistema za dati objekat, prema kriterijumima isplativosti i održivosti sistema. Nakon inicijalne potvrde, posećuje se lokacija, kako bi se izmerio nivo signala unutar objekta. Ukoliko se koristi sistem sa ripiterom, nivo signala se meri i na krovu objekta i sličnim mestima pogodnim za postavljanje prijemne, „pick-up“ antene. Manji indoor sistemi, koji se najčešće koriste kod manjih biznis korisnika se sastoje od: donorske antene, koja prima signal zadovoljavajućeg nivoa, pojačavača i splitera, koji će taj signal distribuirati do predajnih antena putem kablovske infrastrukture. Predajne antene se postavljaju na posebno odabranim mestima unutar objekta, kako bi se kvalitetan servis pružio u celokupnoj oblasti od interesa.

U slučaju većih objekata, moguće je instalirati mikro, ili piko baznu stanicu, unutar samog objekta, čiji bi se signal distribuirao putem DAS-a do krajnjeg korisnika. *Pick-up* prijemna antena se može koristiti i kod većih objekata, ukoliko postoje odgovarajući uslovi, odnosno zadovoljavajući nivo signala na prijemu.

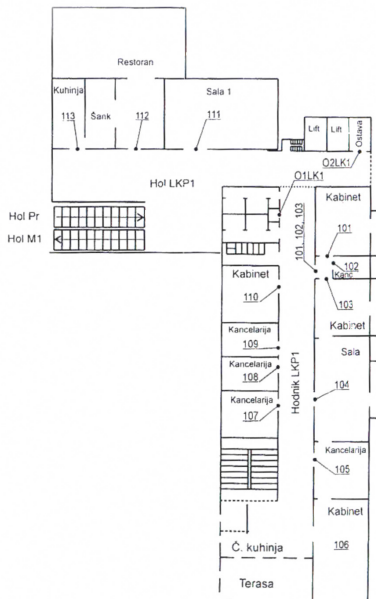
Lokacije za postavljanje antena unutar objekta se određuju na osnovu posete objektu i detaljne analize građevinskih planova objekta. Za određivanje lokacija antena se mogu koristiti i neki od predloženih algoritama za pozicioniranje antena, kao što je *Skeleton-Based* algoritam [9]. Ovakvi algoritmi su pogodni jer mogu smanjiti ukupan broj korišćenih antena u sistemu, međutim u praksi je često potrebno određenim delovima objekta dodeliti prioritete u pokrivanju signalom, što ovakvi automatizovani algoritmi ne čine.

Građevinski plan predstavlja poprečni presek objekta sa ucrtanim rasporedom prostorijama i on služi kao osnova za dalju softversku obradu (Slika 5). Softverski alat se koristi kako bi se u plan uneli zidovi odgovarajućeg tipa, kao i veći predmeti koji se ne nalaze u planu, a mogu uticati na prostiranje signala unutar objekta, npr. rafovi sa robom u velikim prodavnicama. Potrebno je znati sve dužine i tipove kablova, tako da se mogu izračunati gubici od *headend* stanice do svake pojedinačne antene. Ovi podaci se mogu lako dobiti iz plana objekta i uneti u softverski alat, koji će izračunati slabljenja i prikazati snagu na izlazu iz svakog čvora u sistemu. Kod dizajna pasivnog DAS-a, često će postojati ograničenja u tome gde je moguće instalirati krute kablove.

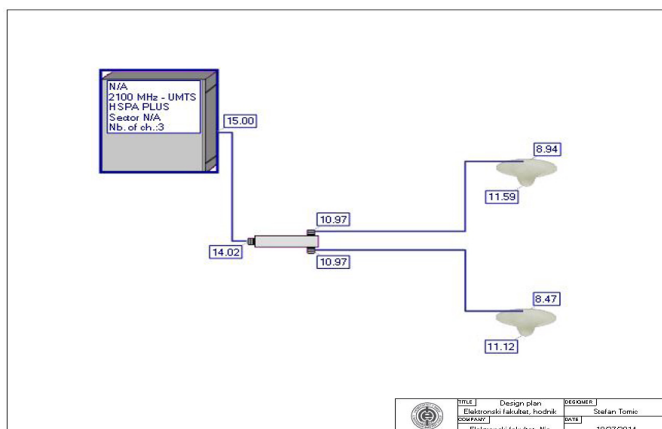
Na Slici 5 je prikazan građevinski plan dela Elektronskog fakulteta u Nišu, koji je odabran za projektovanje indoor sistema. Korišćen je softverski alat *iBwave Design* [10], koji predstavlja profesionalni softver za planiranje indoor bežičnih mreža.

Nakon razmatranja plana objekta i unošenja podataka o zidovima, kreira se novi sloj u programskom paketu, koji je sačinjen od komponenata koje će se koristiti, sa odgovarajućom kablovskom infrastrukturom (Slika 6). Korišćeni sistem je projektovan za UMTS i sastoji se od piko bazne stanice, splitera i dve omnidirekzione antene. Komponente su povezane koaksijalnim kablom i u pitanju je pasivni sistem. Lokalna

bazna stanica radi na frekvenciji od 2100 MHz, sa 3 nosioca i izlaznom snagom od 15 dBm po nosiocu.



Slika 5 – Deo građevinskog plana

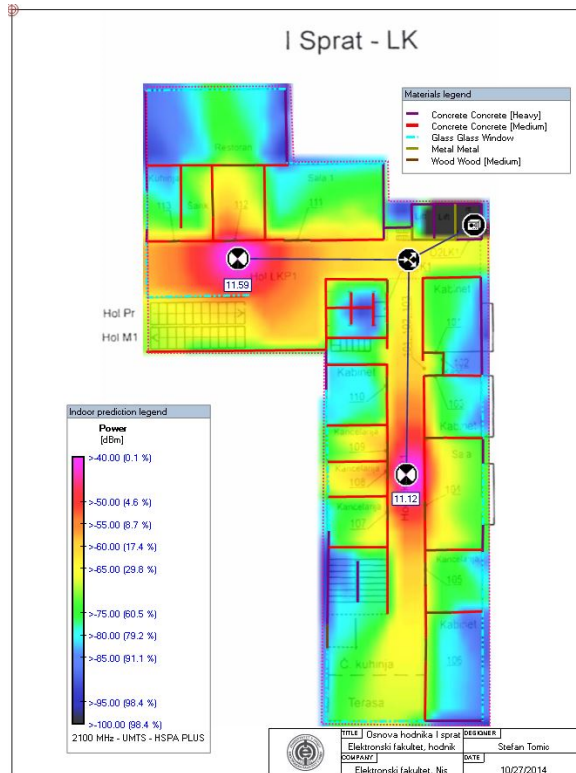


Slika 6 – Šematski prikaz predloženog sistema

Sledeći korak predstavlja postavljanje komponenti sistema na već obrađeni plan objekta, sa ciljem predikcije prostiranja signala unutar objekta. Na slici 7 je prikazan nivo polja dobijen simulacijom projektovanog sistema. Nivoi signala prikazani su odgovarajućim bojama, tako da se lako može uočiti nivo signala koji će biti zastupljen u objektu. Signal značajno degradira prilikom prolaska kroz zidove, ali na to utiče i mala



„zaštitna margina“, koja se sastoji iz toga da su svi pregradni zidovi u projektu od betona, iako u praksi nije tako. Na taj način dobijamo povećano slabljenje i testiramo sistem u ekstremnijim uslovima. Može se videti da je sa dve antene postignut zadovoljavajući nivo signala koji emituju unutrašnje antene, tj. ostvareno je relativno ravnomerno pokrivanje objekta signalom. Proračunati nivoi su unutar tipičnih granica za indoor sisteme (-74 dBm do -65 dBm), odnosno dovoljni su za nesmetano korišćenje mobilnih servisa u unutrašnjosti objekta.



Slika 7 – Predikcija nivoa signala u objektu

## 6. Zaključak

Rast obima saobraćaja primorava mobilne operatore da stalno unapređuju svoju mrežnu infrastrukturu. Veliki procenat saobraćaja ostvaren unutar objekta, jasno ukazuje na potrebu da servisi unutar objekta moraju biti visokog kvaliteta. Uvođenje indoor sistema može sprečiti potencijalne probleme koji se mogu javiti i obezbediti visok procenat zadovoljnih korisnika mreže.

U radu su dati trendovi primene indoor sistema, kao i tehnologija koja je potrebna kako bi se oni primenili. S obzirom na to da su u pitanju komercijalni sistemi, opisan je i značaj za njihovo uvođenje, kao i korist koju imaju korisnici i pružaoci

usluga. Konačno, dat je i predlog projektovanja indoor sistema u delu zgrade Elektronskog fakulteta u Nišu.

Kako se prava ekspanzija indoor sistema u našoj zemlji tek očekuje, postoji veliki prostor za razvoj i doprinos u njihovoj implementaciji.

## Zahvalnica

Rezultati prikazani u ovom radu dobijeni su tokom istraživanja u okviru projekta III43012 koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.

## Literatura

- [1] T. Morten “Indoor radio planning: a practical guide for GSM, DCS, UMTS, HSPA and LTE”, Second Edition, Wiley 2011.
- [2] D. Vujić, On Indoor to Outdoor Radio Access Network Planning in Mobile Systems, Zbornik konferencije TELSIXS 2013, str. 623-626, 2013.
- [3] J. S. Seybold “Introduction to RF propagation”, Wiley 2005.
- [4] R. Heath, S. Peters, Y. Wang and J. Zhang “A Current Perspective on Distributed Antenna Systems for the Downlink of Cellular Systems”, IEEE Communications Magazine, April 2013.
- [5] R. Heath, S. Peters, Y. Wang and J. Zhang “A Current Perspective on Distributed Antenna Systems for the Downlink of Cellular Systems”, IEEE Communications Magazine, April 2013.
- [6] Rysavy Research/4G Americas “Mobile Broadband Explosion“, August 2012.
- [7] D. Castanheira A. Gameiro “Distributed Antenna System Capacity Scaling“, IEEE Wireless Communications, June 2010.
- [8] The Mobile Carriers Forum (MCF) “Das Design Specification”, April 2014.
- [9] H. Xu, W. Liu “A Skeleton-Based Antenna Positioning Algorithm for Indoor Radio Coverage“, 2010 International Conference of Information Science and Management Engineering.
- [10] iBwave Design: <http://www.ibwave.com/Products/iBwaveDesign.aspx>

**Abstract:** *The constant growth of mobile traffic must be followed by the development of infrastructure. Large objects are especially challenging since they are receiving a large number of people who are using mobile services at the same time. Therefore, indoor systems are being installed in these objects, for the purpose of upgrading services quality. This paper provides the description of typical indoor mobile systems as well as the description of the present procedures and techniques which are being applied during the design and installation of these systems. The design procedure is illustrated by the concrete design example of a small indoor system.*

**Keywords:** *indoor radio planning, mobile communication systems, distributed systems*

## TRENDS IN THE APPLICATION OF INDOOR SYSTEMS IN MOBILE COMMUNICATIONS

Vera Marković, Stefan Tomić, Zlatica Marinković