

# Moguća pitanja za usmeni ispit iz predmeta Mobilne komunikacije

Odgovore na pitanja skupili su studenti smjera KIST akademske godine 2023./2024.

Ovim putem zahvaljujem se svim kolegama koji su zajedničkim radom omogućili nastanak ove skripte te se u ime svih njih nadam da će biti od koristi i budućim generacijama.

Sretno!  
tux et al.

## 1. Vrste komunikacija između korisnika, osnovne značajke komunikacijskog sustava

Komunikacija između korisnika može biti:

JEDNOSMJERNA - komunikacija se odvija samo u jednom smjeru, nema mogućnosti odgovora (javljanja)

- najstariji oblik komunikacije - selektivni poziv (pager)

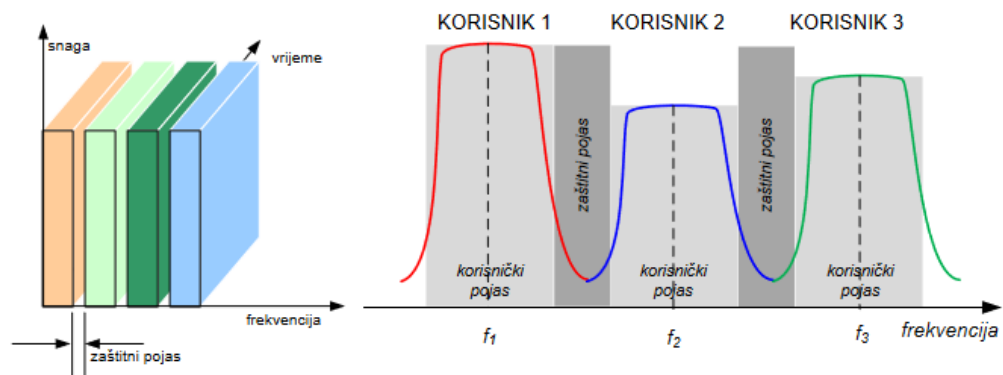
DVOSMJERNA - komunikacija se odvija u oba smjera i može biti SIMPLEKS (naizmjeničan mod rada) ili DUPLEKS (istovremeni mod rada)

Osnovne značajke komunikacijskog sustava su:

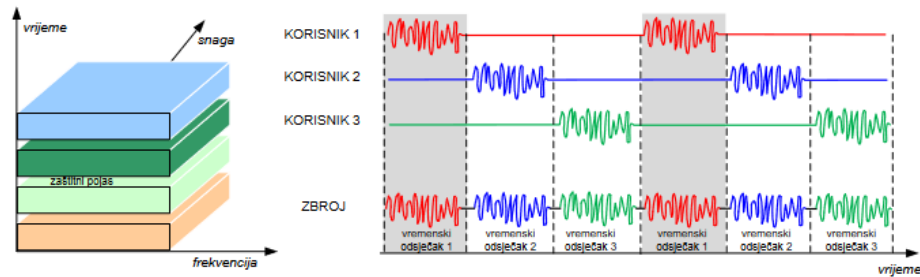
- komunikacija se odvija u određenom frekvenzijskom području (u određenoj širini pojasa)
- komunikacija se temelji na RF snazi bazne i mobilne stanice
- kodira se izvor informacije i kanalno kodiranje (Grayev kod?)
- koriste se modulacijske metode (bolja spektralna učinkovitost, smanjenje interferencije..)
- korisnik može biti mobilan

## 2. Vrste višestrukih pristupa

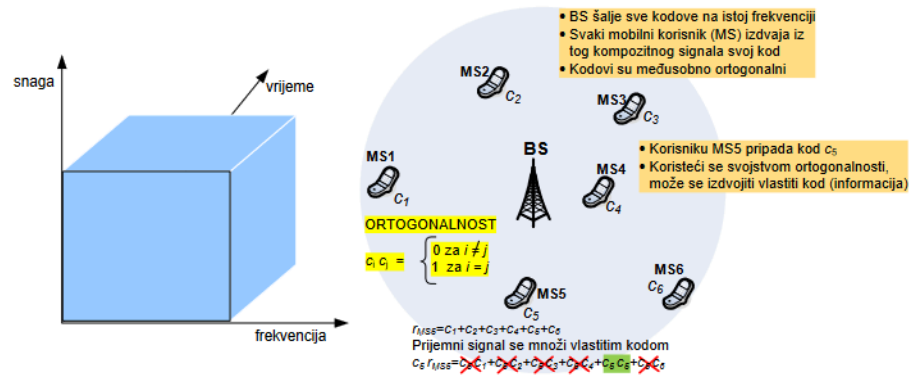
1. FDMA (Frequency Division Multiple Access) - višestruki pristup po frekvenciji, raspoloživo frekvenzijsko područje dijeli se na manje kanale određene širine
  - povijesno najstariji



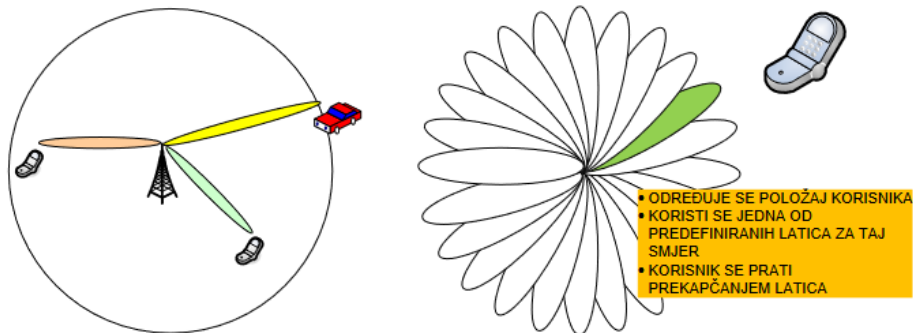
2. TDMA (Time Division Multiple Access) - višestruki pristup po vremenu, svaki korisnik ima određeni vremenski odsječak, a svi dijele zajednički frekvenzijski kanal.
  - jedan od osnovnih pristupa digitalnih mobilnih sustava 2G



3. CDMA (Code Division Multiple Access) - višestruki pristup po kodu, svaki korisnik ima određeni kod a svi korisnički kodovi su međusobno ortogonalni. Korisnici dijele zajednički frekventijski kanal i vrijeme
- jedan od osnovnih pristupa digitalnih mobilnih sustava 3G

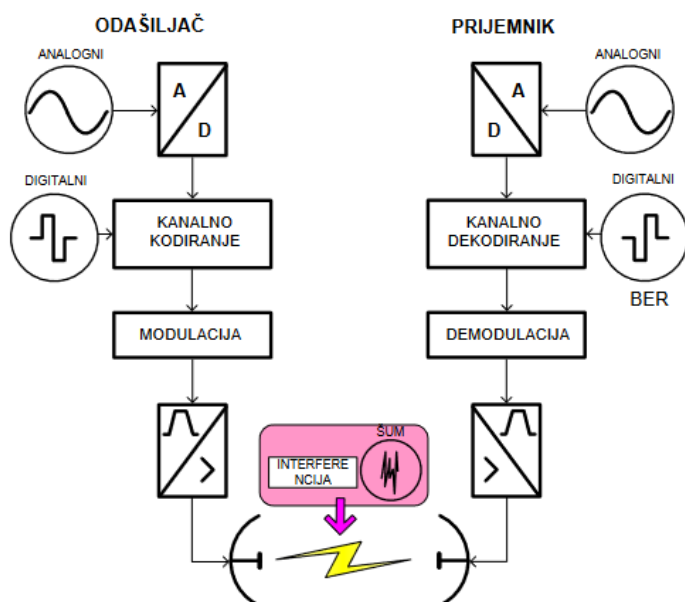


4. SDMA (Space Division Multiple Access) - višestruki pristup po položaju korisnika, vezan za upravljive uske snopove dijagrama zračenja bazne stanice
- praćenje korisnika spada u koncept “pametnih antena” i smanjuje potencijalnu interferenciju
- \*Pametne antene - adaptivno prilagođavaju dijagram zračenja prema korisniku i minimiziraju prijem iz smetajućeg izvora



5. PDMA (Polarization Division Multiple Access) - višestruki pristup razdiobom po polarizaciji, s 2 para ortogonalno polariziranih antena istovremeno mogu komunicirati 2 korisnika u istom frekventijskom pojasu na istoj lokaciji

### 3. Blok shema tipičnog komunikacijskog sustava



Primjer bežičnog komunikacijskog sustava. U slučaju da je odašiljač analogni prvo se nad signalom radi analogno - digitalna pretvorba, kada imamo digitalni signal radimo kanalno kodiranje i modulaciju kako bi se podaci prenijeli što efikasnije, s boljom iskoristivosti frekvencijskog pojasa, s minimalnim šumom i interferencijom... Kada signal stigne na prijamnik prvo se radi demodulacija i kanalno dekodiranje kako bi prijamnik mogao "pročitati" primljene podatke, te ako je prijamnik analogni potrebno je napraviti i digitalno - analognu pretvorbu.

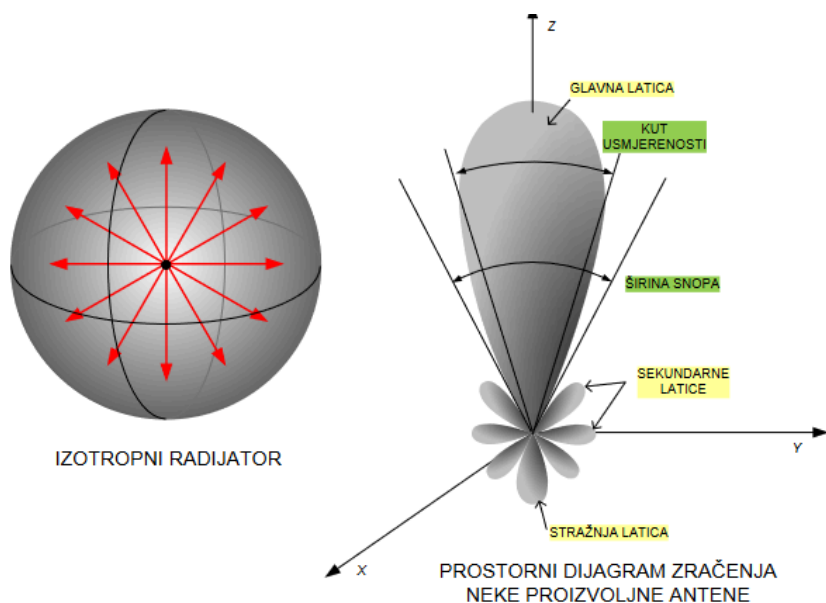
#### 4. Pojam izotropnog radijatora, karakteristični parametri antena

IZOTROPNI RADIJATOR - idealna antena koja ne postoji u stvarnosti, ponaša se kao točkasti izvor zračenja i u prostor odašilje kuglasti val (nije usmjerena). Često se koristi za usporedbu s realnim antenama

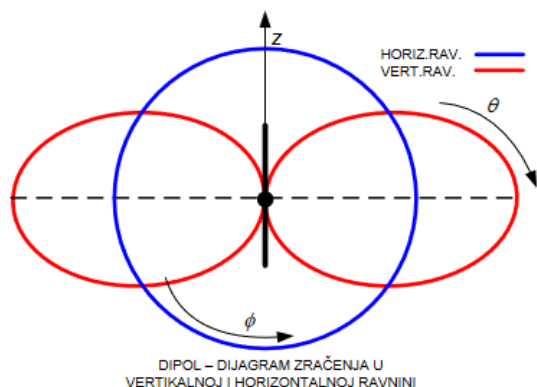
KARAKTERISTIČNI PARAMETRI ANTENA:

- polarizacija (orijentacija vektora  $E$  - električnog polja)
- dijagram zračenja (prostorni raspored intenziteta zračenja)
- impedancija (na priključnicama)
- usmjerenost (odnos intenziteta zračenja u određenom smjeru u odnosu na izotropni radijator)
- dobitak (vezan uz usmjerenost, uključeni gubici)
- antenski faktor AF (omjer električnog polja i napona koji se inducira)
- efektivna površina (površina kojom antena zrači, nije nužno vezana za fizičku površinu)
- temperatura šuma (temperatura na kojoj antena najjače šumi, važno za određivanje osjetljivosti prijamnika)
- mehaničke karakteristike...

#### 5. Dijagram zračenja antene, pojam dobitka

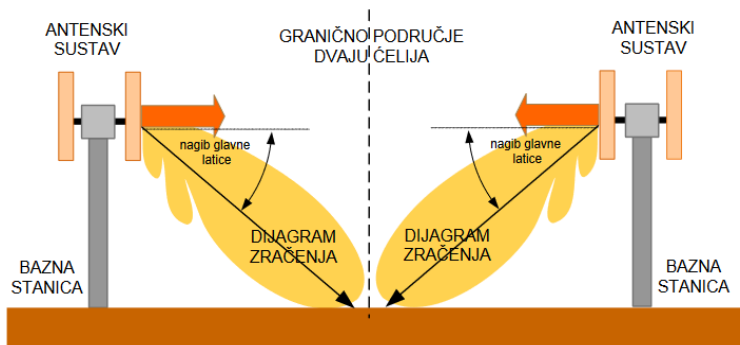


Izotropni radijator ima jednako zračenje u svim smjerovima, stvarna antena ima glavnu laticu u kojoj je izračena snaga najveća. Dobitak antene povezan je s usmjerenosti i intenzitetom zračenja. Dobitak antene definira stupanj do kojeg antena usmjerava snagu zračenja u određenom smjeru ili apsorbira incidentnu snagu iz tog smjera, u usporedbi s izotropnim radijatorom [dBi] ili poluvalnim dipolom [dBd]. Dijagram zračenja dipola u horizontalnoj ravnini je krug a u vertikalnoj “položena osmica”.



## 6. Značajke antena baznih stanica, naginjanje dijagrama zračenja

Zračenje antene neke bazne stanice treba pokriti točno onu površinu koja pripada ćeliji te bazne stanice. Pokrivanje je određeno horizontalnim dijagramom zračenja, a snop u vertikalnoj ravnini određuje utjecaj na susjedne ćelije. Ako postoji mogućnost interferencije u ostalim ćelijama dijagram antene možemo nagnuti u vertikalnoj ravnini (mehanički/električki tilt).



Na taj način maksimiziramo dobitke uz zadani dijagram zračenja.

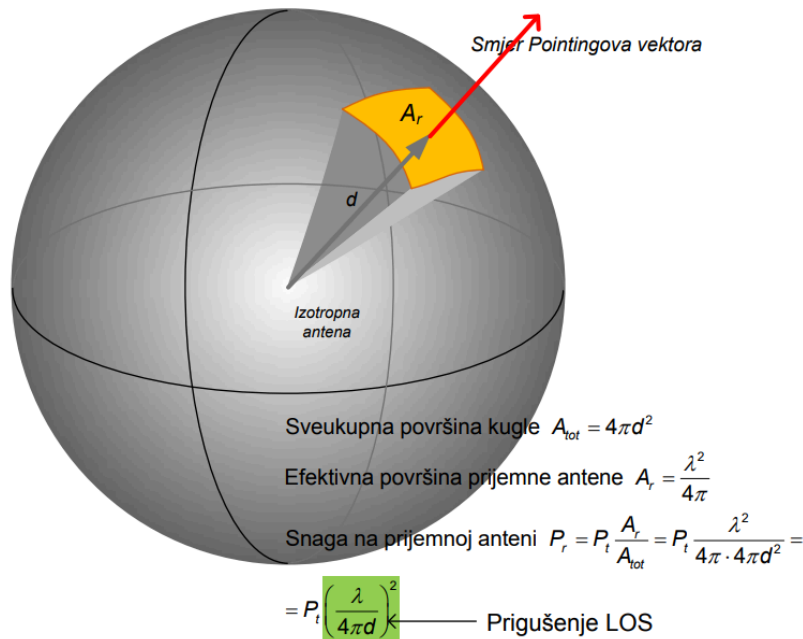
Zbog velikog broja kanala poželjno je koristiti širokopojasne antene (ili više uskopojasnih), a za antene baznih stanica koriste se vertikalni antenski nizovi.

## 7. Svojstva antena za prijenosne uređaje

Glavno svojstvo antena za prijenosne uređaje su male dimenzije. S obzirom da je dimenzija obrnuto proporcionalna s frekvencijom, prijenosni uređaji rade na visokim frekvencijama. Frekvencijsko područje mora pokriti podržane standarde a to su: 700, 800, 900, 1800, 1900, 2000 i 3500 MHz (postiže se kombiniranim antenama). Dobitak antena za prijenosne uređaje je često ispod 0 dBi (zbog dielektrika). Zbog potrebe za jeftinom proizvodnjom i malim dimenzijama koriste se monopoli i dipoli, no isto tako kako bi zračenje bilo efikasno duljina antene treba biti oko  $\lambda/4$  što je još uvijek nepraktično pa se koriste integrirane antene sa smanjenom efikasnošću u odnosu na dipole. Zbog jednostavne izvedbe i jeftine proizvodnje, koriste se mikrotrakaste antene izvedene kao geometrijska struktura na dielektriku ("patch"). Bolje rješenje su invertirane antene (PIFA) koje su planarne strukture nad vodljivom površinom. Daljnje poboljšanje su RCDLA antene. U prijenosnim uređajima koriste se hibridi nekoliko vrsta antena da se osigura potreban pojas.

## 8. Prigušenje vala u slobodnom prostoru, Friisova formula

Propagacijom EM vala od Rx do Tx antene (slobodni prostor - radiokanal) dolazi do prigušenja. Kako bi se osigurao kvalitetan prijenos informacija jedna od osnovnih zadaća jest određivanje prigušenja. Dobra početna točka je određivanje prigušenja u slobodnom prostoru bez ikakvih prepreka ( $L_{\text{Los}}$ ) koje je rezultat smanjenja gustoće snage na određenom segmentu površine s porastom radijusa kugle u čijem je središtu izotropni radijator.



Svaka prijemna antena ima određenu efektivnu površinu koja određuje razinu prijemne snage koju na udaljenosti  $d$  može uzeti iz prostora.

Iznos prigušenja može se dobiti pomoću Frisove formule:

$$L_{LOS}(d) = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad \begin{array}{l} d \text{ razmak odašiljačke i prijemne antene} \\ \lambda \text{ valna duljina vala koji se širi} \end{array}$$

$$L_{LOS}(\text{dB}) = 10 \log[L_{LOS}(d)] = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

Logaritam prigušenja često se izražava kao pozitivan ili negativan iznos dB, te treba uočiti da ne vrijedi za  $d = 0$ . Potrebno je biti u dalekoj zoni odašiljača.

### 9. Prijemna snaga za slučaj realnih antena, prijemna snaga izražena preko referentne razine, pojam EIRP-a i ERP-a

Stvarne antene nisu izotropni radijatori, već imaju neki dobitak, tj. usmjereni dijagram zračenja. Promatra li se sustav stvarnih antena može se odrediti snaga na prijemnoj strani ( $P_R$ ):

$$P_R(d) = P_T G_T G_R \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Gdje su:  $P_R$ ,  $P_T$  - prijemna i odašiljačka snaga,  $G_T$ ,  $G_R$  - dobitak odašiljačke i prijemne antene.

**EIRP** (eng. *Effective Isotropic Radiate Power*) je efektivna izotropna izračena snaga koja uzima u obzir i dobitak antene u odnosu na izotropni radijator, odnosno izračena snaga odašiljača u smjeru maksimalnog zračenja antene.

$$EIRP = P_t G_t (W)$$

$$EIRP(\text{dBW}) = 10 \log(P_t G_t)$$

**ERP** (eng. *Effective Radiate Power*) je efektivna izračena snaga koja u obzir uzima dobitak u odnosu na poluvalni dipol. Obzirom da on ima dobitak prema izotropnom radijatoru 1,64 (2,15 dB), ERP je za 2,15 dB manji od EIRP za istu odašiljačku strukturu.

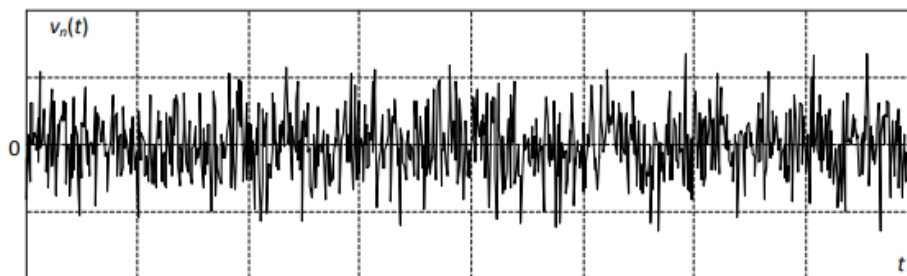
Nagib pravca prigušenja prikazan u log skali iznosi oko 20 dB/dekadi zbog čega možemo izračunati **prijamnu snagu preko referentne snage**. Uvodi se referentna udaljenost  $d_0$  koja je u dalekoj zoni antene (ovisno o okruženju od nekoliko do 1000 metara), te se sve prijemne snage za  $d > d_0$  mogu izraziti preko prijemne snage na referentnoj udaljenosti:

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left( \frac{d_0}{d} \right)^2$$

## 10. Šum, osjetljivost prijemnika

**Šum** je sveprisutan ometajući signal koji se sastoji od termičkog šuma i drugih izbora (prirodni i umjetni). Termički šum ovisi o temperaturi. Gustoća snage spektra termičkog šuma je  $N_0 = kT_e$  gdje je  $k$  – Boltzmannova konstanta, a  $T_e$  – efektivna temperatura. Sveukupna snaga šuma ovisi o širini pojasa  $B$  (Hz) i dana je izrazom:

$$P_n = N_0 B$$



**Osjetljivost prijemnika** odnosi se na najnižu razinu signala na ulazu u prijemnik pri kojoj se ostvaruju unaprijed zadani parametri kvalitete prijema informacije. Obzirom da su ulazne impedancije najčešće standardne (50 Ohm), osjetljivost je dana kao minimalna snaga u dB u odnosu na 1 mW – dBm. Tipična osjetljivost je oko -100 dBm ( $10^{-10}$  mW), a ovisi o sklopovlju prijemnika i o faktoru šuma (mjera dodanog vlastitog šuma signalu) tako da dolazi do pogoršanja ulaznog SNR-a.

Za analogne prijemnike, parametar kvalitete je odnos signala prema šumu (ili sveukupnoj interferenciji) –  $C/(I+N)$ . Kod digitalnih sustava mjera kvalitete je BER čija je dozvoljena najlošija vrijednost ovisi o vrsti podataka (prijenos govora  $\sim 10^{-2}$ , prijenos podataka  $\sim 10^{-6}$ )

## 11. Osnovni mehanizmi širenja elektromagnetskog vala

**Širenje optičkom vidljivošću (LOS)** je širenje kroz slobodni prostor bez ikakvih prepreka (idealni kanal)

**Releksija od tla i od prepreka** (prirodne i umjetne) Javlja se pri upadu vala na glatku (po Rayleigh kriteriju) reflektivnu površinu. Površine moraju biti mnogo veće od valnih duljina

**Ogib** (difrakcija) je sjenjenje pravca širenja EM vala objektom vrlo velikih dimenzija u odnosu na valnu duljinu. Iza objekta nastaje tzv. radio sjena kao rezultat sekundarnih izvora vala (Huygensovo načelo)

**Raspršenje vala na objektima koji su reda veličine valne duljine** – EM val se raspršuje u vrlo mnogo smjerova tako da snaga signala u smjeru glavne latice opada. U gradskim područjima to su obično stupovi javne rasvjete, prometni znakovi, drveće i zelenilo.

**Apsorpcija vala pri prolazu kroz prepreke** je slabljenje energije EM vala prolaskom kroz prepreke bilo prirodne, bilo umjetne. U gradskim sredinama najčešće je riječ o zgradama i slično. U većini modela ova se pojava zanemaruje.

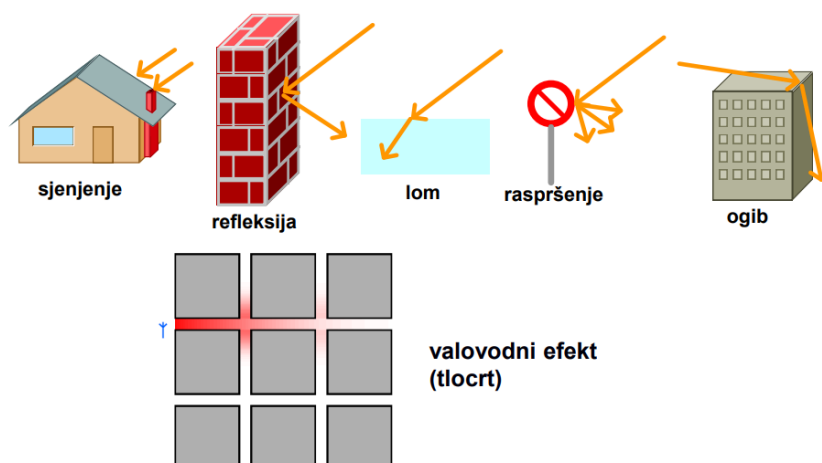
**Valovodni efekt** se javlja u tunelima, uličnim kanjonima i slično.

**Sjenjenje** nastupa kada prijemnik uđe u radio sjenu (iza veće prepreke ili grupe prepreka). Ulazak u zgradu može manifestirati sjenjenje i prigušenje apsorbicijom.

**Refleksija** je prisutna kod upada vala na površine relativno velikih dimenzija (zidovi tlo, površina vode). Hrapavost površine određuje snagu u smjeru reflektiranog signala. Manji objekti odnosno hrapave površine izazivaju raspršenje.

**Lom** je tipičan za dielektrička sredstva kojima se širi val. Značajan je utjecaj pri propagaciji na dulje staze. Npr. lom u heterogenim slojevima atmosfere koji imaju različitu temperaturu i vlažnost.

**Ogib** se najčešće javlja na rubovima prepreka, moguć je na horizontalnim i vertikalnim rubovima. Huygensovo načelo.

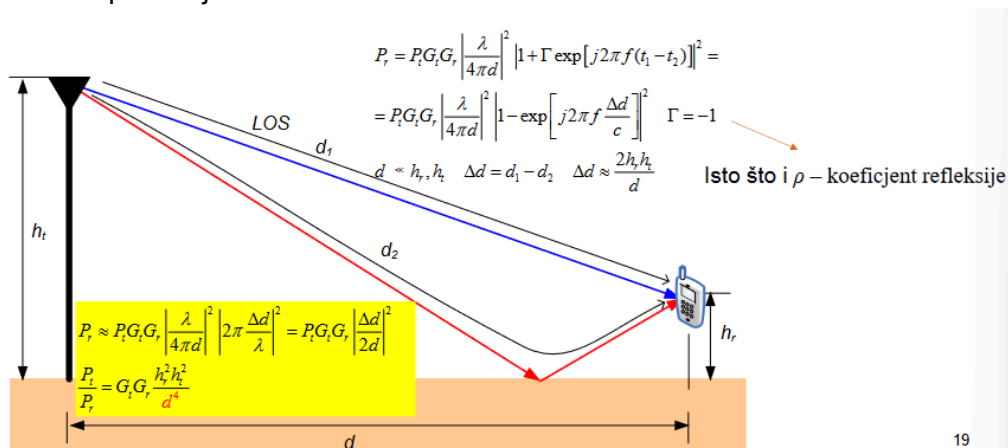


## 12. Model dvije zrake

Model dvije zrake opisuje prijenos signala u komunikacijskim sustavima. Odašiljačka i prijamna antena najčešće se nalaze na različitim visinama. Koristi se za analizu propagacije signala od odašiljača prema prijammiku gdje postoji direktan put koji je dominantan i reflektirani put. Direktna zraka putuje izravno od odašiljača do prijammika, a reflektirana zraka se odbije od neku površinu (tlo) prije nego dođe do prijammika i dolazi s vremenskim odmakom (razlikom u fazi). Zbog toga dolazi do interferencije koja može biti pozitivna (konstruktivna) ili negativna (destruktivna). Kada je udaljenost između odašiljača i prijammika manja od visine odašiljača dolazi do konstruktivne interferencije, kako se udaljenost povećava može doći i do destruktivne



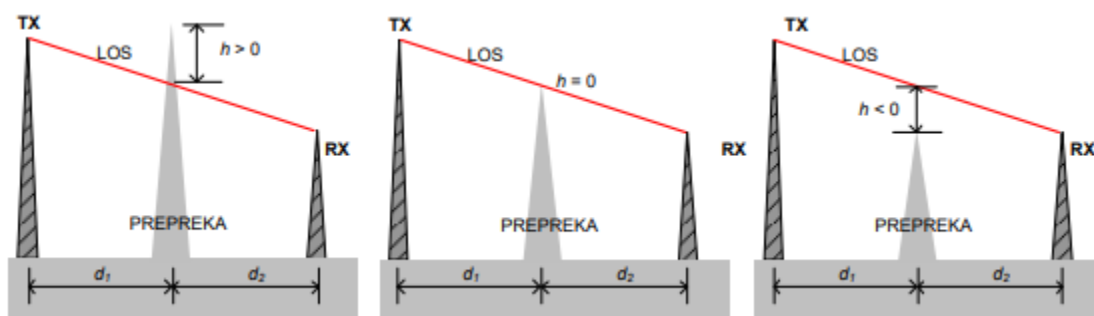
interferencije. Kritična udaljenost označava kraj prve Fresnelove zone, nakon nje snaga pada s četvrtom potencijom



19

### 13. Model oštrice noža

Model oštrice noža je teorijski model koji opisuje difrakciju EM valova oko oštih prepreka. Prepreka se predstavlja kao apsorbirajuća tanka poluravnina te se mogu razlikovati tri granična stanja: (i) opstrukcija LOS zrake, (ii) prepreka dodiruje LOS zraku i (iii) prepreka je ispod LOS zrake.



Određivanje polja na mjestu prijama svodi se na određivanje razlike prijeđenih puteva LOS zrake (Tx – Rx) te NLOS zrake koja nastaje ogibom. Jedno od mjerila razlike može biti i kut  $\alpha$ . Poznavajući kut  $\alpha$  dobije Fresnelov nezavisni parametar koji je bezdimenzionalna veličina te u sebi sadrži sve parametre geometrije i EM vala.

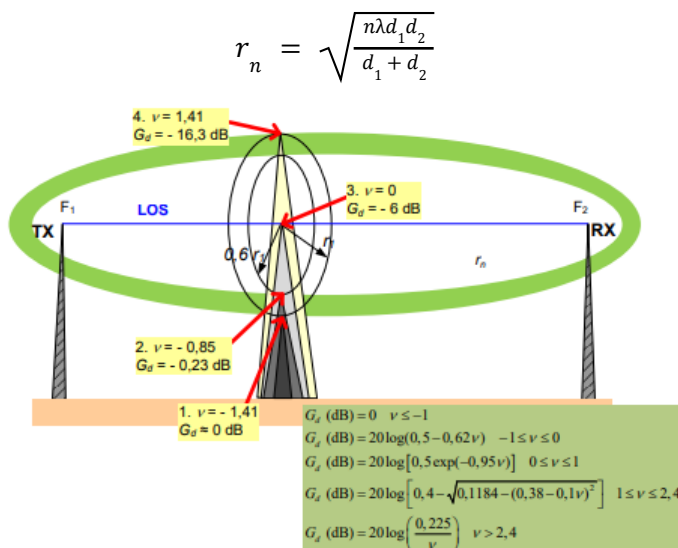
$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} = \alpha \sqrt{\frac{2d_1 d_2}{\lambda(d_1 + d_2)}}$$

Kod ogiba od višestrukih prepreka rabe se **Bullingtonova metoda** koja dvije prepreke aproksimira ekvivalentnom preprekom čiji je vrh sjecište tangenti koje povezuju Tx i rub prve oštrice, te Rx i rub druge oštrice. **Epstein - Petersonova metoda** zbraja učinke pojedinih oštrica, točnija je i detaljnija, a može biti korisna u situacijama gdje je potrebno analizirati ogib preko specifičnih prepreka kao što su planinski lanci ili zgrade u urbanim područjima.

### 14. Fresnelove zone

**Fresnelove zone** su važan koncept u bežičnim komunikacijama jer pomažu u procjeni utjecaja prepreka na širenje signala između odašiljača i prijatelja. One su serija elipsoidnih područja

oko linije LOS-a s fokusima Tx i Rx. Prva Fresnelova zona je najvažnija jer najveći dio energije signala prolazi kroz nju, povećanjem rednog broja zona opada njihov utjecaj na signal.



## 15. Višestazno širenje vala, Dopplerov pomak frekvencija

**Višestazno širenje vala** nastaje kada se radiovalovi šire od predajnika do prijemnika putem više putanja zbog refleksija, difrakcija i raspršenja na preprekama poput zgrada, drveća i drugih objekata. Različite putanje rezultiraju dolaskom signala u prijamnik s različitim kašnjenjem i faznim pomakom što može uzrokovati interferenciju i promjene u jačini signala. Zbog višestaznog širenja može doći do pojave konstruktivne i destruktivne interferencije.

**Dopplerov pomak** frekvencija nastaje kada postoji relativno kretanje između odašiljača i prijemnika. Ako se prijemnik približava odašiljaču, primljena frekvencija će biti veća od emitirane (pozitivan Dopplerov pomak), ako se prijamnik udaljava od odašiljača frekvencija će biti niža (negativna Dopplerov pomak). Ovaj efekt ima utjecaj na prijem signala i potrebno ga je uzeti u obzir pri dizajnu komunikacijskih sustava. (pr. Mobilnost kod 4G ~ 350 km/h i 5G ~ 500 km/h) **Dopplerov spektar** opisuje frekvencijsko raspršenje te nam daje mjeru vremenske promjenjivosti kanala – Dopplerov spektar  $\rightarrow T_c$  (koherencijsko vrijeme kanala)

## 16. Feding, uzroci, podjela

Stohastičko kolebanje razine prijemnog signala (neravnomjerno smanjivanje razine signala s udaljenosti od bazne stanice) nazivamo feding.

Na prijamni signal na mobilnom uređaju koji putuje od bazne stanice utječu razni fizikalni procesi unutar kanala. Uvijek postoji osnovno gušenje (LOS) bez obzira na fizikalnu strukturu kanala. Uz to postoje i mnoge prirodne ili umjetne prepreke (zgrade, brda, drveće...) čija prisutnost dovodi do višestaznog širenja tj. dolazi do toga da na ulaz prijemnika dolazi više vremenski zakašnjelih signala (signala s faznim pomacima). To uzrokuje da sveukupni signal na prijemniku ima promjenjivu amplitudu. Gibanje mobilne stanice također daje vremensku promjenjivost procesu zbog pojave Dopplerova pomaka (dolazi do frekvencijskog pomaka pojedinih linija).

Podjela fedinga: sporo promjenjivi (Gaussov) feding i brzo promjenjivi, duboki (Rayleighov) feding. Do sporog fedinga (sjenjenja) dolazi zbog velikih pomaka i ne uzrokuje duboke propade signala, a do brzog fedinga dolazi uslijed malih pomaka.

## 17. Gaussov feding, značajke

**Gaussov** (sporo promjenjivi) **feding** ili sporo sjenjenje odnosi se na spore varijacije u jačini signal koje se javljaju zbog velikih preprek poput zgrada, brda ili drveća koje blokiraju ili reflektiraju signal. Ove varijacije nastaju kada se MS kreće unutar područja pokrivanja, a promjene u jačini signala su primjetne na većim udaljenostima ( $\sim 10 - 100$  valnih duljina) te u većini slučajeva nisu previše izražene. Pokazalo se da je krivulja gustoće vjerojatnosti (pdf) simetrična Gaussova krivulja ako vrijednosti prikazemo u nekoj logaritamskoj formi (dB odnosno dBm za prijamnu snagu)

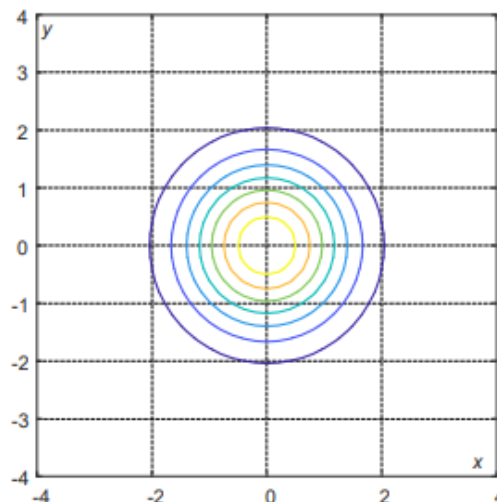
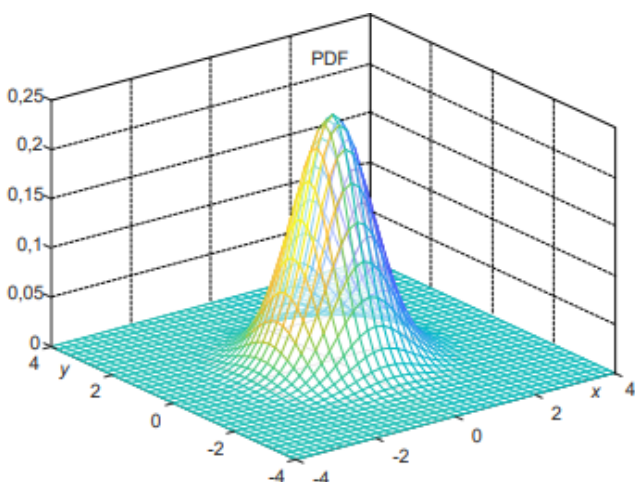
U slučaju ove vrste fedinga postoji barem jedna LOS zraka ili barem zraka s dominantnom snagom na koju su superponirane zrake osjetno manje amplitude nastale raspršenjem ili refleksijom.

## 18. Rayleigh-ov feding, značajke

**Brzo promjenjivi** (duboki) ili **Rayleighev feding** javlja se u slučaju kada ne postoji izražena izravna zraka već mnogo zraka otprilike slične amplitude te potpuno slučajne faze (jednaka vjerojatnost pojavljivanja svih faznih kutova). Tipičan scenarij sa višestaznim širenjem, refleksijom i raspršenjem valne fronte koji se javlja kada je MS okružena nizom prepreka.

Faza pojedinih komponenti igra veliku ulogu jer malim pomakom ( $\sim \lambda/2$ ) dolazi do konstruktivne ili destruktivne interferencije te vrlo izraženog propada signala (do -40dB) zbog toga se naziva i eng. **Small Scale Fading**. Rayleigheva razdioba rezultat je dvije nezavisne Gaussove razdiobe u x i y smjeru odnosno kofazne i kvadraturne komponente. (Svaka ima svoju devijaciju te  $\sigma$  nije standardna devijacija kao kod Gaussove razdiobe već njihov zajednički utjecaj,  $|r|$  je amplituda signala):

$$P_u(f(r)) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)$$



## 19. Rice-ova raspodjela, pojam faktora K

**Riceova razdioba** koristi se za modeliranje amplitude prijemnog signala gdje postoji izravna (LOS) ili dominantna komponenta i višestazne refleksije. Mogli bi reći da kombinira utjecaj sporog i brzog fedinga.

Faktor K definiran je kao omjer kvadrata snage izravne zrake (s) i dvostrukog kvadrata snage u stohastičkom dijelu ( $\sigma$ ):

$$K = \frac{s^2}{2\sigma^2}$$

**Visok K** ( $K \gg 1$ ) – LOS zraka dominira, razdioba prelazi u Gaussovu

**Nizak K** ( $K \ll 1$ ) – Dominiraju zrake uzrokovane višestaznim prostiranjem, razdioba prelazi u Rayleighovu.

## 20. Diverziti, vrste, utjecaj na prijem u Rayleigh-ovu kanalu

**Diverziti** je postupak kojim se borimo protiv brzog (Rayleigh) fedinga uz zaštitno kodiranje i ispreplitanje. Koristi višestruki prijem iste informacije (zalihost). Radi se zbog **pouzdanosti**, a ne kapaciteta čime se smanjuje vjerojatnost ispada. Zasniva se na pretpostavci da je mala vjerojatnost istovremenog propada dvaju paralelnih nekoreliranih kanala.

**Ciljevi:**

- smanjenje učestalosti fedinga
- smanjenje dubine fedinga
- duboki feding svesti na mali postotak

**Podjela:**

**Makroskopski** koji kombinira dva ili više signala koji se ponašaju po log-normalnoj razdiobi (rezultat sporog fedinga). Prijemne antene su na različitim lokacijama.

**Mikroskopski** kombinira dva ili više kanala koji su pod utjecajem brzog fedinga, a primljeni su s dvije ili više antena na istoj lokaciji.

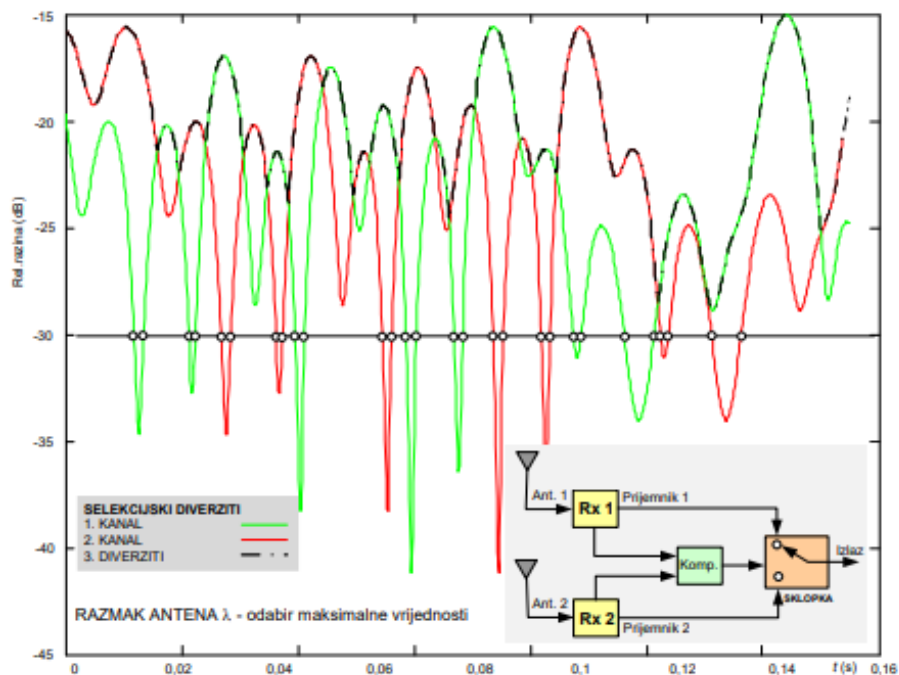
**Vrste:**

**Prostorni diverziti** koristi različitost statistike pojedinih staza propagacije u prostoru. Ako promatramo dvije fizički razmaknute antene za neki određeni razmak  $d$ , vjerojatno je da će valovi koji dolaze na pojedine antene biti nekorelirani. Razmak antena kako bi se ostvarila nekoreliranost mora biti  $0.5\lambda$ . Ako postoji više odašiljačkih antena potrebno je prostorno vremensko kodiranje (Alamouti), povećanje SNR-a osim pouzdanosti se povećava i kapacitet.

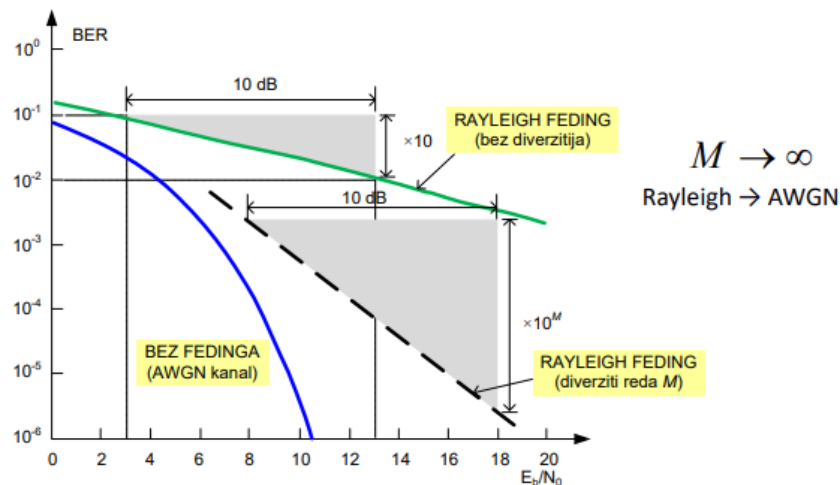
**Frekvencijski diverziti** koristi se samo jedna antena sa prijemom slanjem iste informacije na dvije ili više različitih prijenosnih frekvencija. Prijenosne frekvencije moraju biti razmaknute tako da svaka ima drugačiju statistiku fedinga (nekorelirane).

**Vremenski diverziti** koristi ponavljano slanje pojedine informacije kroz kanal s različitim vremenskim trenucima (nekoreliranim). Ova tehnika zahtjeva jedan kanal i posebno pohranjivanje signala. Primjenjuje se u sustavima u kojima je dozvoljeno kašnjenje u prijenosu. Da bi se ostvarila nekoreliranost informacija, one moraju odašiljati s vremenskim odmakom od minimalno  $1/(2f_d)$ .

**Selekcijski diverziti** je odabir boljeg signala sa anteni koje su razmaknute za  $\frac{1}{2}\lambda$  ili cijelu valnu duljinu koja daje bolje rezultate jer je manja koreliranost što rezultira boljim rezultatima.



Na grafu ispod vidimo da BER opada kako raste red diverzitija  $M$  te se približava AWGN kanalu kako  $M$  raste prema beskonačnosti.



**Sekvencijski diverziti** uključuje korištenje više antena ili prijamnika pri čemu se signali s različitih antena sekvencijalno kombiniraju ili kompariraju kako bi se poboljšao SNR.

**Kombiniranje maksimalnog odnosa (MRC)** je najbolja ali najsloženija tehnika koja zbraja amplitude sa pojedinih nekoreliranih signala, no sama izvedba je kompleksna jer treba treba nekorelirane signale zasebno pojačati i fazno zakretati. Jednostavniji način je **EGC** (eng. *equal gain control*)

## 21. Propagacijski modeli, Okumura-Hata model

Kako bismo ispunjavali zahtjeve za kvalitetnu uslugu moramo odrediti razinu prijamnog signala u prostoru. S obzirom da je okruženje u kojem se nalazimo većinom poprilično složeno moramo odrediti prigušenje vala do mjesta prijema, a propagacijski modeli nam služe za to.

Osnovne vrste propagacijskih modela su:

- Deterministički - rijeko se koriste, opisuju propagaciju elektromagnetskog vala što je vrlo složeno s obzirom da se okolina i fizikalni procesi teško (ili nikako) mogu modelirati
- Empirijski model - nastao je na osnovu mjerenja na neko određenom prostoru te u sebi nosi nerazlučivo karakteristike te okoline. Primjenjiv je s određenom razinom točnosti na sličnim prostorima ili uz dodatne korelacijske elemente.
- Empirijsko - deterministički - predstavljaju kombinaciju gore navedenih tehnika s ciljem veće točnosti i manje ovisnosti o karakteristikama okoline. Primjenjiv je na sve tipove ćelija

\*Empirijski modeli

Ukupno prigušenje vala može se jednostavno prikazati pomoću 2 komponente: prigušenjem slobodnog prostora (LOS) i različitim korekcijama prigušenja zbog utjecaja okoliša (npr. utjecaj tla se prikazuje pomoću modela 2 zrake). LOS je lako odrediti sa zadovoljavajućom točnošću no ostale utjecaje je teško modelirati, iz tog razloga koristimo bazu s nizom rezultata dobivenih mjerenjem polja na određenim područjima. Najčešći izraz za spomenuti model je:

$$L_p = 10n \log \left( \frac{d}{d_{ref}} \right) + L_{ref} \quad (\text{dB})$$

n - eksp prigušenja staze  
L<sub>ref</sub> - prigušenje na ref udaljenosti (d<sub>ref</sub>)

Svrha modeliranja prigušenja staze je da uspijemo pokriti cijelo područje dostatnim siganalom, a ne da odredimo točan iznos prijemnog polja u toj točki.

Okumura - Hata - empirijski model

Model je dobio naziv po tome što su empirijske krivulje koje se koriste pri projektiranju ćelijskih sustava dobivene iz niza mjerenja propagacijskih gubitaka u gradskim i prigradskim sredinama (Okumura i suradnici - Tokyo i okolica). Krivulje je Hata pretvorio u niz izraza kako bi bili pogodni za obradu na računalima. Frekvencija na kojoj se model koristi je 150-1500 MHz.

$$L_{50} = L_F + A(f, d) - a(h_t) - a(h_r) - G_{AREA}$$

L<sub>50</sub> - medijan prigušenja, L<sub>F</sub> - prigušenje slobodna prostora

A(f, d) - medijan prigušenja u odnosu na slobodni prostor za urbanu okolinu

a(h<sub>t</sub>), a(h<sub>r</sub>), G<sub>AREA</sub> - korekcijski faktori za visinu odašiljačke i prijemne antene te okolinu

A<sub>f</sub> i G<sub>area</sub> očitavaju se iz dijagrama modificiranog Okumura modela.

\*Okumura - dijagrami, Hata - analitički izrazi

Model okolinu i prepreke dijeli u 3 osnovne kategorije:

Ruralno područje - otvoren prostor, bez visokog drveća, prostor oko antene čist u području 300-400 m

Prigradsko područje - sela ili autoput gdje su zgrade sporadički raspoređene iz manji broj prepreka u blizini antene

Gradsko područje - visoke zgrade, gusto raspoređene i gusto sraslo drveće

Osnovni izrazi za za medijan gubitaka po Hati:

**URBANO PODRUČJE**  $L(\text{dB}) = A + B \log d(\text{km}) - E$

**SUBURBANO PODRUČJE**  $L(\text{dB}) = A + B \log d(\text{km}) - E - C$

**OTVORENO PODRUČJE**  $L(\text{dB}) = A + B \log d(\text{km}) - E - D$

$$A = 69,55 + 26,16 \log f(\text{MHz}) - 13,82 \log h_t(\text{m})$$

$$B = 44,9 - 6,55 \log h_t(\text{m}) \quad C = 2 \left[ \log \left( \frac{f(\text{MHz})}{28} \right) \right]^2 + 5,4$$

$$D = 4,78 (\log f_{\text{MHz}})^2 - 18,33 \log f_{\text{MHz}} + 40,94$$

$$E = 3,2 (\log(11,75 h_r))^2 - 4,97 \quad \text{za velike gradove } f \geq 300 \text{ MHz}$$

$$E = 8,29 (\log(1,54 h_r))^2 - 1,1 \quad \text{za velike gradove } f < 300 \text{ MHz}$$

$$E = (1,1 \log f_{\text{MHz}} - 0,7) h_r - (1,56 \log f_{\text{MHz}} - 0,8) \quad \text{za srednje do velikih gradova}$$



Mislim da ove formule nema smisla znati ali nek se nađu.

## 22. Pojam ćelije i ponavljanje frekvencija

### Koncept ponavljanja frekvencija - istokanalna interferencija

Površina grozda sa  $N$  ćelija:

$$P_H = NA = N \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$$

Površina elementarnog trokuta ekvivalentnog šesterokuta površine  $P_H$ :

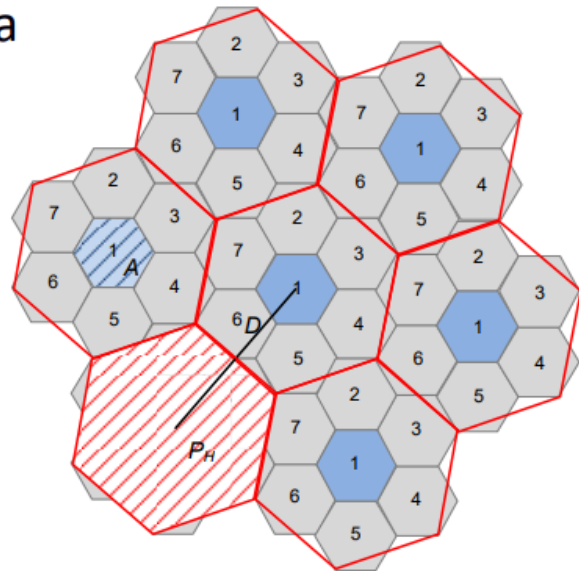
$$\frac{P_H}{6} = NR^2 \frac{\sqrt{3}}{4} \quad P_{\Delta} = a^2 \frac{\sqrt{3}}{4}$$

$$a = \sqrt{NR} \Rightarrow v_{eH} = \sqrt{NR} \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Iz toga izlazi izraz za istokanalni razmak  $D$ :



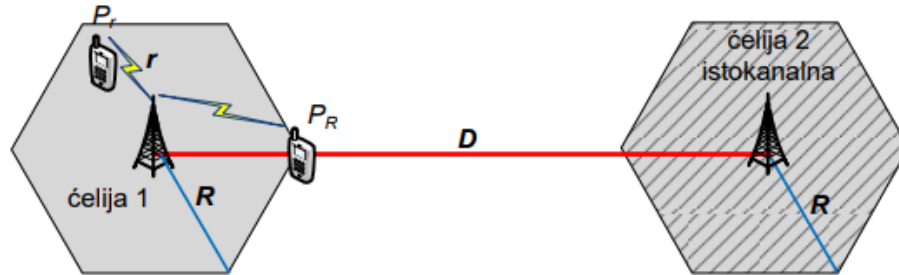
$$D = 2v_{eH} = \sqrt{3NR}$$



## 23. Istokanalna interferencija, interferencija od susjednog kanala



# Istokanalna interferencija



Prijemna snaga  $P_r = k_1 \frac{1}{r^n}$   $r$  udaljenost MS-a od BS-a  
 Prijemna snaga-  $P_R = k_1 \frac{1}{R^n}$   $R$  radijus ćelije  
 najgori slučaj  $n$  eksponent prigušenja (2-5)  
 $k_1$  konstanta  
 $D$  istokanalni razmak

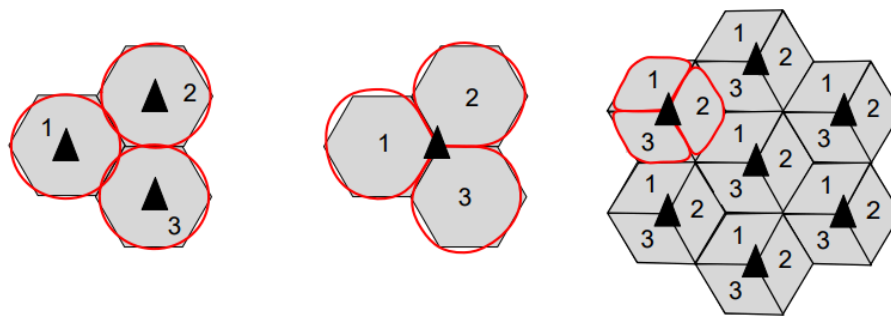


Odnos korisne snage prema interferenciji na mjestu MS  $I_R = k_1 \frac{1}{D^n} \Rightarrow \frac{P_r}{I_R} = \frac{C}{I} = \left( \frac{D}{R} \right)^n$

## 24. Sektoriranje ćelija

Sektoriranje ćelija provodi se zbog povećanja kapaciteta i uštede na infrastrukturi. Sektoriranje ćelija nastaje na sljedeći način:

- Ćelija se stvara centralnim smještajem bazne stanice. Antene imaju omnidirekcionalni dijagram zračenja u ravnini.
- Dijagram zračenja sektorira se u 3 dijela. Svaki dio stvara novu ćeliju.
- Prikaz sektoriranja pojedinih centralnih ćelija (umanjenje ICI - Isokanalne interferencije)



Izračun C/I za 120 stupnjeva:



60 stupnjeva nema prvi pribrojnik u nazivniku. D je is

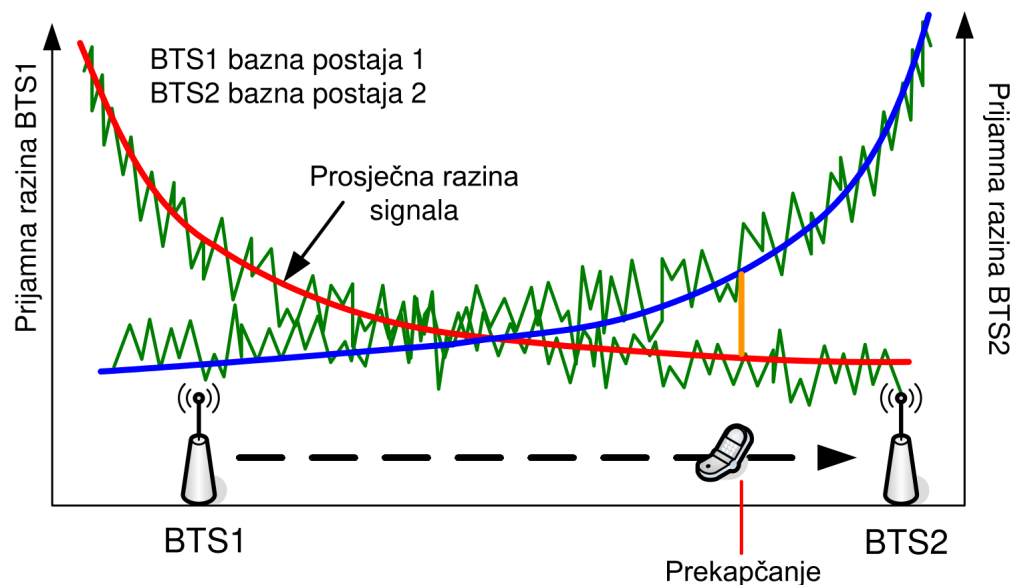
$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-n}}{D^{-n} + (D + 0.7R)^{-n}}$$

tonalani razmak, R je radijus ćelije.

C/I je za  
**120:** 24.50 dB,  
**60:** 28.91dB

## 25. Prekapćanje veze

Granično područje ćelija predstavlja područje preklapanja pokrivanja susjednih baznih stanica što osigurava prekapćanje postojeće veze. Prag prekapćanja ne smije biti postavljen prenisko (blizina osjetljivosti prijemnika) jer pri brzem gibanju MS ne stigne dovršiti prekapćanje. Ukoliko je taj prag previsoko, dolazi do čestih prekapćanja – može ih pokrenuti sjenjenje unutar radne ćelije.



## 26. Osnovne postavke prometa, modeli, trunking efekt

Modeli se uobičajeno zasnivaju na poznavanju sljedećih parametara:

- Prosječno trajanje poziva TH se uzima kao neko minimalno vrijeme u kojem je sustav zauzet (čak ukoliko je poziv i odbačen).
- Ukoliko je broj poziva (zahtjeva za kanalom) veći od resursa sustava dolazi do blokiranja sustava.

A.K.Erlang je 1909. godine objavio dva modela prometnog opterećenja:

**Erlang B model:** Korisnik pokušava uspostaviti poziv, ukoliko to iz nekog razloga ne uspije, napušta sustav i ne vraća se u njega (barem unutar tog sata). Uz zadovoljenje navedenog uvjeta, može se pretpostaviti da su pozivi međusobno neovisni. Taj model ima kraticu BCC (Blocked Calls Cleared ).

**Erlang C model:** U slučaju da korisnik ne uspije uspostaviti svoj poziv, ne napušta sustav već ulazi u red čekanja dok komunikacijski sustav ne bude raspoloživ. Ovakav model je primjeren za kraće pozive, što je uobičajena značajka privatnih mreža. Model je poznat po kratlici BCD (Blocked Calls Delayed).

**Trunking sustav (sustav s objedinjenim kanalima)** - sustav koji se prema potrebi iznajmljuje pojedinim korisnicima. Trunking efekt se ispoljava u slučaju da određeni broj korisnika ima potencijalni pristup komunikacijskim resursima koji su manji nego što je broj korisnika.

Obzirom da je pristup resursima statistička veličina, za očekivati je da svi korisnici neće istovremeno pokušati uspostaviti vezu. Na ovaj način je korisnost sustava povećana uz rizik duljih čekanja odnosno blokada poziva u vrijeme povećanog prometa.

Sa stanovišta radijskih veza kanali se dinamički dodjeljuju prema potrebama (kao **DCA - Dynamic Channel Allocation** u ćelijskom sustavu). Povećana spektralna efikasnost obzirom da jednu frekvenciju može koristiti više korisnika nego kod sustava s fiksnim pridjeljivanjem frekvencija. Uspostava veze je automatizirana tako da sustav pridjeljuje korisniku slobodnu frekvenciju pri pojavi slobodna kanala. Sustav se relativno lako proširuje tako da su dodani kanali dostupni svim korisnicima.

Mjera prometa je **1 Erlang** što predstavlja zauzeće 1 radio kanala 1 puni sat (najčešće se odnosi na najprometniji sat).

$A_p = \lambda * T_h$  - lambda predstavlja broj poziva u sat vremena,  $T_h$  predstavlja prosječno vrijeme trajanja poziva

## 27. Temeljna obilježja LTE-a

Radijsko sučelje podržava FDD i TDD način rad  
Prijenos podataka kod LTE temelji se na postupku OFDMA (eng. Orthogonal Frequency Division Multiple Access) u silaznoj vezi i SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access) u uzlaznoj vezi  
LTE je optimiran za paketski prijenos podataka (all IP)  
Dodjeljivanje resursa vrši se ovisno o stanju u kanalu (u vremenu i frekvenciji)  
Hybrid-ARQ (Automatic repeat request)  
MIMO  
ICIC (Inter-Cell Interference Coordination)  
MBSFN (Multicast-Broadcast Single Frequency Network)  
Kontrola brzine prijenosa umjesto kontrole snage

Rad u uparenom i u neuparenom spektru, sk alirajuća širina pojasa, mogućnost za kašnjenje u radijskoj pristupnoj mreži ispod 10ms, 2x1 MIMO

## 28. Usporedba CDMA s OFDMA (prednosti i mane)

### OFDM(A) ima sljedeće prednosti:

- Može se prilagoditi na različite širine kanala
- Otporan je na posljedice višestaznog širenja,
- Jednostavnija je izrada ekvalizatora u prijamniku
- Lakše je primijeniti MIMO

### OFDM ima sljedeće nedostatke:

- osjetljivost na Dopplerov pomak (frekvencijski pomak),
- osjetljivost na fazni šum
- velike razlike između vršnih i srednjih snaga signala (PAPR, Peak to Average Power Ratio)

## 29. Razlike između silazne i uzlazne veze kod LTE-a

### Silazna veza:

Podaci se prenose od bazne stanice (**eNodeB**) prema korisničkom uređaju (**User Equipment**)

Silazna veza koristi **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)**.

U silaznoj vezi koristi se napredna modulacija kao što su **64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation)** i **256-QAM**.

OFDMA pruža visoku spektralnu učinkovitost koja može doseći do **15 bps/Hz** u LTE-A (LTE-Advanced) mrežama. To omogućava prijenos velike količine podataka unutar ograničenog frekvencijskog spektra.

U silaznoj vezi koristi se **MIMO (Multiple Input Multiple Output)** tehnologija s višestrukim antenama (npr. 2x2 MIMO, 4x4 MIMO) na baznoj stanici, što povećava kapacitet i brzinu prijenosa podataka.

### Uzlazna veza:

Podaci se prenose od korisničkog uređaja prema baznoj stanici (eNodeB).

Uzlazna veza koristi **SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)**. SC-FDMA kombinira značajke OFDMA i single-carrier tehnologija, što smanjuje peak-to-average power ratio (PAPR).

Manji PAPR je važan za smanjenje energetske potrošnje i optimizaciju radnog vijeka baterija u mobilnim uređajima.

U uzlaznoj vezi koriste se jednostavnije modulatorske šeme kao što su **QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)** i **16-QAM**.

SC-FDMA omogućava spektralnu učinkovitost od oko **3-5 bps/Hz**, što je niže od OFDMA, ali je pogodnije za mobilne uređaje zbog niže energetske potrošnje i smanjenja opterećenja na odašiljaču..

Korisnički uređaji koriste manje antena, obično 1x2 MIMO ili 1x1, zbog ograničenja u veličini i energetske resursima uređaja.

### **Dodatno:**

LTE mreže koriste različite frekvencijske opsege za silaznu i uzlaznu vezu, često u parovima (FDD - Frequency Division Duplex), čime se omogućuje istovremeni prijenos podataka u oba smjera bez međusobne interferencije.

Na primjer, opseg 1800 MHz može koristiti frekvenciju 1710-1785 MHz za uzlaznu vezu i 1805-1880 MHz za silaznu vezu

U silaznoj vezi, bazna stanica dinamički raspoređuje resurse među korisnicima koristeći OFDMA, omogućavajući prilagodbu promjenjivim uvjetima mreže i potrebama korisnika.

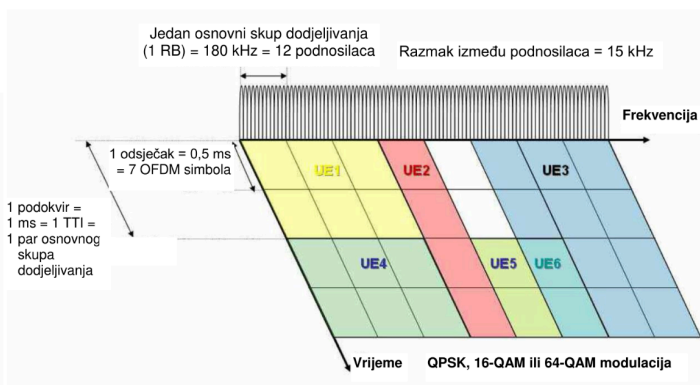
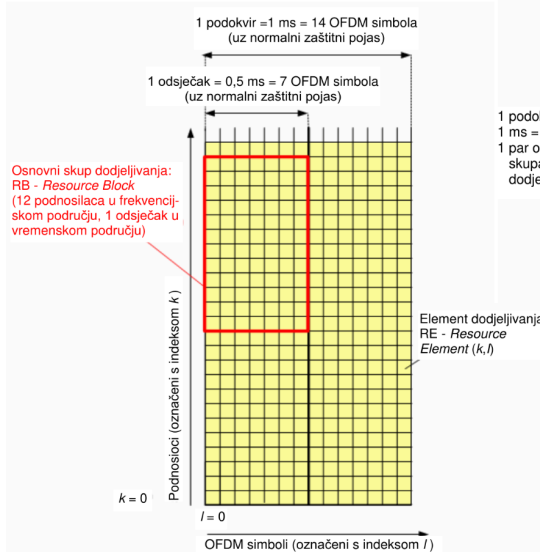
U uzlaznoj vezi, resursi su dodijeljeni prema zahtjevima korisničkih uređaja, s naglaskom na optimizaciju energetske potrošnje i smanjenje interferencije.

### **30. Fizički resursi i njihovo dodjeljivanje u LTE-u (silazna veza)**

Kod LTE definiraju su dvije strukture okvira:  
struktura okvira vrste 1 (**FS1, Frame Structure type 1**),  
**FDD – koristi se u Europi**  
struktura okvira vrste 2 (FS2, Frame Structure type 2),  
**TDD – nećemo je obraditi**

Dodjeljivanje je dinamičko, svakih 1 ms (TTI) donošenje nove odluke, odluku donosi **eNB**

## Fizički resursi 1

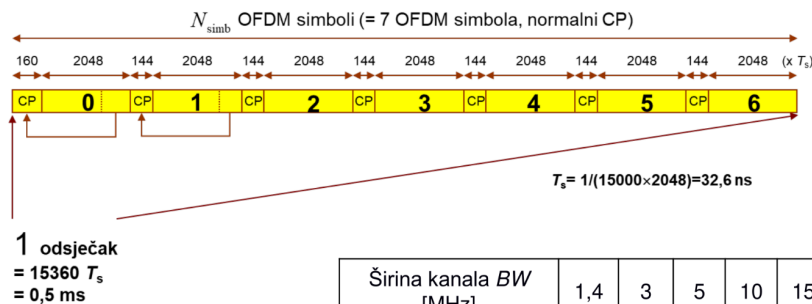


2 RB = 1 TTI = 1 podokvir

36

## Fizički resursi 2

1 OFDM simbol =  $66,7 \mu s$  ( $2048 \cdot T_s$ ) - trajanje bez zaštitnog intervala



Širina kanala $BW$ [MHz]	1,4	3	5	10	15	20
Broj osnovnih skupova dodjeljivanja $N_{RB}$	6	15	25	50	75	100

37



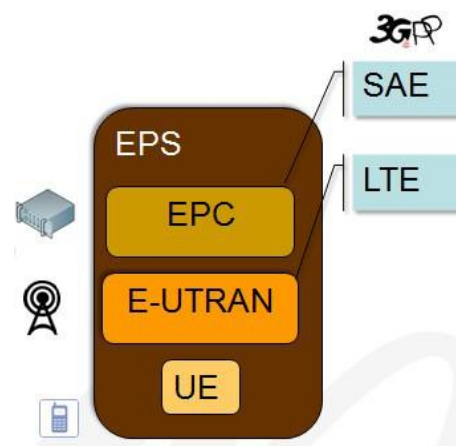
### 31. Topologija mreže i opis čvorova u 4G

### Dijelovi 4G mreže -

Jezgrena mreža (System Architecture Evolution - SAE) ili evoluirana paketska jezgrena mreža (Evolved Packet Core - EPC)

Radijska pristupna mreža (Radio Access Network - RAN). Zove se i E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) ili LTE (Long-Term Evolution)

Korisnička oprema (User Equipment - UE)  
SAE + LTE + UE = EPS (Evolved Packet System) LTE postaje poznat kao kratica za EPS iako se odnosi na radijski pristupni dio mreže



### Dijelovi EPC/SAE mreže:

**MME** (Mobility Management Entity)

**PGW** (Packet Data Network (PDN) Gateway)

**SGW** (Serving Gateway)

**HSS** (Home Subscriber Server)

**PCRF** (Policy and Charging Rules Function)

### Opis čvorova EPC mreže:

**Korisnička oprema (UE):** smart telefon, mobilni telefon...

Korisnička oprema = **Mobilna oprema + Kartica za pristup mreži**

Mobilna oprema (Mobile Equipment, skr. ME)

- 1) Mobilni prijemnik (Mobile Termination, skr. MT)  
MT je zadužen za sve funkcije komunikacije
- 2) Terminalna oprema (Terminal Equipment)  
Na TE završavaju svi podatkovni tokovi
- 3) UICC (Universal Integrated Circuit Card) „Pametna” kartica  
(mikroračunalo s OS) koja pokreće na njoj pohranjene aplikacije Na primjer u LTE mreži: aplikacija USIM (Universal Subscriber Identity Module) – jedinstveno određen korisnik

### LTE eNodeB:

Upravljanje resursima radijske mreže

Upravljanje radijskim nosiocima (Radio Bearer Control)

Upravljanje mobilnošću korisnika (Connection Mobility Control)

Upravljanje pristupom na radijskom sučelju (Radio Admission Control)

Dinamička dodjela resursa mreže za UE u uzlaznom i silaznom smjeru komunikacije

Kompresija zaglavlja IP paketa i enkripcija korisničkih podataka

Usmjeravanje podataka korisničke ravnine prema SGW-u

Raspoređivanje i slanje pagging poruka (od MME-a)

Raspoređivanje i slanje broadcast poruka Odabir MME-a za pojedini UE ukoliko isti nije definiran u UE

**MME (Mobility and Management Entity):**

Zadužen je za sve funkcije kontrolne ravnine koje se odnose na pretplatnike kao i upravljanje sesijama

Podržava:

**Kontrola pristupa mreži** (Network Access Control) – autorizacija i autentikacija korisnika te podrška povezanosti za UE

**Upravljanje resursima radio sučelja** (Radio Resource Management) – MME zajedno s HSS-om i RAN-om upravlja resursima radio sučelja za pojedinog korisnika

**Pokretljivost korisnika** (Mobility Management) – Jedna od najsloženijih funkcija koju MME podržava; Između eNodeB-ova, između različitih mrežnih tehnologija (npr. LTE i 2G/3G)

**Roaming** (Roaming Management) tj. odabir SGSN-a za 2G ili 3G mreže

**Balansiranje opterećenja između SGW-a** (Load balancing between SGWs) – odabir prikladnog SGW-a za korisnika

**Održavanje sesije UE LTE mreža** (bearer management) – odnosi se na procedure uspostave signalizacije (NAS) prema podatkovnim sadržajima i dogovaranje pridruženih QoS parametara

**Lociranje korisnika** (Tracking Area Management) – proces lociranja korisnika u mreži

**HSS (Home Subscriber Server)**

baza podataka

podaci o USIM (Universal Subscriber Identity Module) kartici parametri za autentikaciju UE-a

korisnički podaci (npr. IMSI)

broj mobilnog uređaja

korisnički profil (pretplata na usluge, QoS, ...)

**SGW (Serving Gateway)**

Jedan ili više SGW-ova poslužuju eNodeB-ove na korisničkoj razini

Svaki korisnik (UE) je, u svakom trenutku, poslužen od jednog SGW-a

SGW prima naredbe od MME-a za aktiviranje i deaktiviranje sesije za korisnika

Posreduje u signalizaciji između MME-a i PGW-a

Osigurava provedbu prekapčanja (handover) između eNodeB-ova i mobilnost korisnika između LTE i drugih mreža

Podaci u silaznom smjeru komunikacije (downlink) za korisnike koji su u stanju Idle se terminiraju u SGW-u

Prosljeđivanje (forwarding) i usmjeravanje (routing) IP paketa

Odgovoran za repliciranje korisničkog prometa u cilju zakonitog presretanja

### **PGW (PDN Gateway)**

Povezna točka korisnika s vanjskim mrežama

Korisnik (UE) može, u istom trenutku, biti povezan na više PGW-ova

Provodi politiku korisnika (policy enforcement)

Filtriranje paketa (packet filtering)

Podrška naplati usluge (charging support)

Odgovoran za repliciranje korisničkog prometa u cilju zakonitog presretanja (lawful interception)

Provjera paketa (packet screening)

Podrška mobilnosti korisnika

Provodi IP adresiranje za UE

## **32. Protokolna arhitektura u 4G**

**Flat arhitektura:** što manje kašnjenje i brza izmjena signalizacijskih poruka

Kontrolna i korisnička (podatkovna) ravnina:

**Kontrolna ravnina:** uspostava konekcije, mobilnost korisnika i sigurnost

**Korisnička (podatkovna) ravnina:** prijenos korisničkih podataka

Svakom sučelju unutar LTE arhitekture pridružen je protokolni složaj u cilju prijenosa podataka i signalizacijskih poruka

### **Tri vrste protokola:**

Signalizacijski protokoli

Protokoli korisničke ravnine

Transportni protokoli

User plane  
(Data)

Control plane  
(LTE signalling)

User plane  
protocols

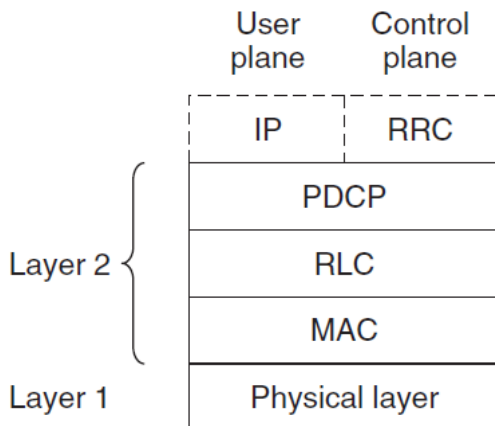
Signalling  
protocols

Transport protocols



## Transportni protokoli radijskog sučelja:

- 1) Fizički sloj (Physical layer)  
Funkcije procesiranja signala
- 2) Sloj podatkovne poveznice (Data Link Layer)
  - Podsloj MAC** (engl. Medium Access Control)  
Upravlja fizičkim slojem  
Raspoređuje prijenos podataka između UE i eNodeB-a
  - Podsloj RLC** (engl. Radio Link Control)  
Održava podatkovnu vezu između dva uređaja osiguravajući pouzdanu dostavu podatkovnih tokova
  - Podsloj PDCP** (engl. Packet Data Convergence Protocol)  
Osigurava sažimanje zaglavlja protokola viših slojeva te sigurnost podataka



## Transportni protokoli fiksne mreže:

Standardni IETF protokoli: IETF (Internet Engineering Task Force)

Za **prvi i drugi sloj** mogu se koristiti bilo koji L1/L2 protokoli (npr. Ethernet + MPLS)

**Treći sloj (Mrežni sloj): protokol IP:**

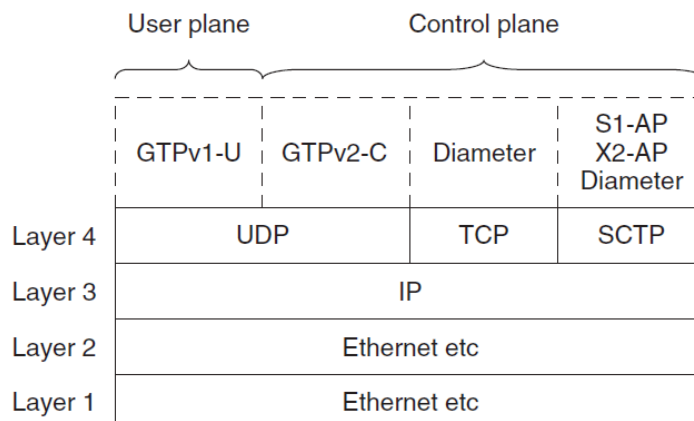
**EPC:** IPv4 mora biti podržan, IPv6 opcionalno (može i ne mora)  
Provodi adresiranje mrežnih komponenti u cilju usmjeravanja podataka

**Četvrti sloj (Transportni sloj):**

UDP, TCP i SCTP (Stream Control Transmission Protocol)

Protokoli korisničke ravnine koriste UDP u svrhu smanjenja kašnjenja u komunikaciji

Protokol transportnog sloja kontrolne ravnine ovisi o signalizacijskom protokolu



## Signalizacijski protokoli:

**Pristupni sloj (Access Stratum)**

**Nepristupni sloj (Non-Access Stratum)**

Signalizacijske poruke oslanjaju se na nepristupni sloj i šalju protokolima pristupnog sloja!

UE <> eNodeB: **RRC (Radio Resource Control)**

eNodeB <> eNodeB: **X2-AP (X2 Application Protocol)**

MME <> eNodeB: **S1-AP (S1 Application Protocol)**

MME <> HSS: **Diameter**

Većina ostalih sučelja koristi protokol **GTPv2-C**

## **NAS (Non-Access Stratum)**

Skup protokola kontrolne ravnine u EPS-u (Evolved Packet System) za prijenos kontrolnih signalizacijskih poruka između UE-a i MME-a

Određuje mobilnost korisnika i upravljanje sesijom

NAS je opisan preko dvije glavne funkcije (dva podsloja):

**EMM** (EPS Mobility Management)

**ESM** (EPS Session Management)

EPS sjednica (EPS session ili PDN connection): IP konekcija između UE i PDN-a  
EPS nosilac je virtualni tunel (engl. pipe) kroz koji se IP paketi prenose u LTE mreži  
(UE <> eNB <> PGW <> PDN)

## **33. MIMO sustav: definicija, vrste, model**

Višeantenski sustavi – MIMO

precizniji naziv sustavi s više ulaza i izlaza

(više odašiljača i prijamnika) odnosno

MIMO – (multiple input / multiple output) sustavi

rabe se za povećanje pouzdanosti, povećanje područja pokrivanja,  
povećanje brzine prijenosa

ako se rabe za povećanje brzine prijenosa podataka – prostorno  
multipleksiranje

**MIMO 2x2 model:**

model kanala vrijedi za ravni (flat) fading

podkanali kod OFDM-a – uvijek ravni fading

$$\begin{aligned} y_1 &= h_{1,1}x_1 + h_{1,2}x_2 + n_1 \\ y_2 &= h_{2,1}x_1 + h_{2,2}x_2 + n_2 \end{aligned} \quad \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad [Y] = [H] [X] + [N]$$

Vrste MIMO-a:

SU - MIMO (Single user MIMO)  
 MU - MIMO (Multi user MIMO)  
 Co - MIMO (Coperative MIMO)

Općeniti model:

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ \vdots \\ r_{nR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{1,1} & \cdots & H_{1,nT} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{nR,1} & \cdots & H_{nR,nT} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_{nT} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_{nR} \end{bmatrix} \quad \mathbf{r} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{s} + \mathbf{n}$$

Uskopojasni signal,  $H_{i,j}$  su koeficijenti kanalnog dobitka između  $j$ -te odašiljačke antene i  $i$ -te prijamne antene

$H$  je matrica koja ima  $nR$  redaka (broj prijamnih antena) i  $nT$  stupaca (broj odašiljačkih antena)

$\mathbf{r}$  je vektor primljenih signala,  $\mathbf{s}$  je vektor odaslanih signala,  $\mathbf{n}$  je vektor šuma na prijemu

### 34. Izračun kapaciteta u MIMO sustavu

Glavni limitirajući faktor MIMO sustava je korelacija između kanala - ključna operacija je dijagonalizacija matrice

$$C = n \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{\bar{\gamma}}{n} \right)$$

Kapacitet raste  $n$  puta (idealni uvjeti, rang matrice je maksimalan, virtualni kanali su jednakih uvjeta)

### 35. Usporedba prostornog multipleksiranja i diverzitija

Diverziti tehnika – poboljšava trenutni  $SNR$  ili  $\gamma$ , to znači da raste kapacitet

- Npr. prijamni diverziti s dvije antene :  $C = \log_2(1 + 2\bar{\gamma})$

MIMO (broj antena  $n \times n$ ) – idealni slučaj:  $C = n \cdot \log_2(1 + \frac{\bar{\gamma}}{n})$

- Kapacitet raste  $n$  puta

Diverziti povećava odnos signal šum i time uzrokuje i povećanje kapaciteta (ne veliko  $\rightarrow$  povećanje ispod logaritma). Ključna funkcija je ipak povećanje pouzdanosti odnosno smanjivanje vjerojatnosti ispada.

### 36. Realizacija MIMO-a u LTE-u

Dva načina prostornog multipleksiranja: **open loop i closed loop**

#### **Closed loop**

Bazna stanica odabire vrstu MIMO odašiljanja i matricu predkodiranja na osnovu povratne informacije o kvaliteti kanala dobivene od mobilne stanice

#### **Open loop**

Otvorena petlja prostornog multipleksiranja je zasnovana na unaprijed definiranim postavkama za prostorno multipleksiranje i predkodiranje

#### **Gruba shema odašiljanja (downlink)**

Odaberi MIMO uz closed loop, ako ne ide pređi na open loop, ako ne ide ni to, pređi na TX diverziti

### 37. Vrste prometa u 5G i usporedba osnovnih tehničkih zahtjeva 5G i 4G

#### **Vrste 5G prometa:**

poboljšani mobilni širokopojasni pristup  
(enhanced Mobile Broadband - **eMBB**)

masovna komunikacija strojeva (massive Machine-Type Communications - **mMTC**) ili masovni Internet stvari (Massive Internet of Things - MIoT)

ultra-pouzdana komunikacija s niskom latencijom  
(Ultra-Reliable and Low-Latency Communications - **URLLC**)

#### **5G tehnička specifikacija:**

Prijenosne brzine 1 ~ 10 Gbit/s;

Latencija od ~ 1ms;

Velika brzinu prijenosa po jedinici površine;

Veliki broj povezanih uređaja (IoT, M2M, D2D, IoV, itd.);

Raspoloživost mreže od 99,999% (to znači gotovo 100% pokrivenost

„u svako vrijeme i bilo gdje”);

Smanjenje disipacije snage uređaja, itd

### 38. Arhitektura 5G mreže

SA (Standalone, samostalna)

NSA (Non standalone, nesamostalna)

- Dvostruka povezanost LTE i NR
- Pruža povećanje kapaciteta i prijenosne brzine na 4G
- Ostavlja signalizaciju na 4G, dok je podatkovni sloj na 5G

Cjelokupna arhitektura:

Core + RAN + QoS + protokolni složaj + NR radio

### 5G CORE:

Upravljačka ravnina:

**AMF** Access and Mobility Management Function

**SMF** Session Management Function

**PCF** Policy Control Function

**UDM** Unified Data Management

**AUSF** Authentication Server Function

**SDSF** Structured Data Storage Network Function

**UDSF** Unstructured Data Storage Network Function

**NEF** Network Exposure Function

**NRF** NF Repository Function

**NSSF** Network Slicing Selector Function

Podatkovna ravnina:

**UPF** User Plane Function

EPC <> 5GC Correspondence

EPC		5GC
MME	↔	AMF + SMF + AUSF
SGW	↔	UPF
PGW	↔	UPF
PCRF	↔	PCF
HSS	↔	UDM

Funkcijska ekvivalencija s 4G, inače nema ali apsolutnog smisla.

### 39. Protokolna arhitektura u 5G

Raslojavanje mreže: stvaranje više virtualnih logičkih mreža na dijeljenoj fizičkoj infrastrukturi u skladu sa zahtjevima korisnika

Dodjela resursa u mreže temeljem QoS

### **5G RAN: Dvije vrste čvorova, gNB i ng-eNB**

Upravljanje radijskim resursima

Upravljanje pristupom

Uspostavljanje konekcije

Usmjeravanje podataka korisničke ravnine prema UPF-u te informacija

Upravljačke ravnine prema AMF-u

Upravljanje QoS-om

Protokolni složaj jednak kao i 4G uz promjenu: SDAP Service Data Application Protocol: mapiranje QoS nosioca na radijske nosioce

Raslojavanje mreže radi scheduler, a uslugom se upravlja **reflektivnim mapiranjem**

### **Radijsko sučelje: NR**

Operacije u visokom frekvencijskom području i fleksibilnost spektra

Veliki kapacitet prometa, vrlo visoke prijenosne brzine

Viša prigušenost kanala koja limitira područje pokrivanja

Zajedničko korištenje nižeg i višeg frekvencijskog područja

Izazov s aspekta regulative

Fleksibilna numerologija OFDM-a, prijenos u minislottovima

Kodiranje kanala temeljeno na LDPC kodovima

Niska latencija

Referentni i upravljački signali postavljeni na početku prijenosa, minislottovi

Višeantenski prijenos i dizajn usmjeren formiranju glavne latice

Usmjeravanje glavne latice za postizanje pokrivanja na visokim frekvencijama

Masovni MIMO i prostorno odvajanje na niskim frekvencijama

## **40. Fizički sloj u 5G i usporedba s 4G**

Fizički sloj prilagođen je ispunjavanju zahtjeva za prometom:

Skalirajući OFDM: različito trajanje vremenskog odsječka (slot), različiti razmak podnosilaca, različiti ciklički prefiksi:

$$\Delta f = 2^{\mu} \cdot 15\text{kHz}$$

Massive MIMO: oblikovanje dijagrama zračenja - beamforming

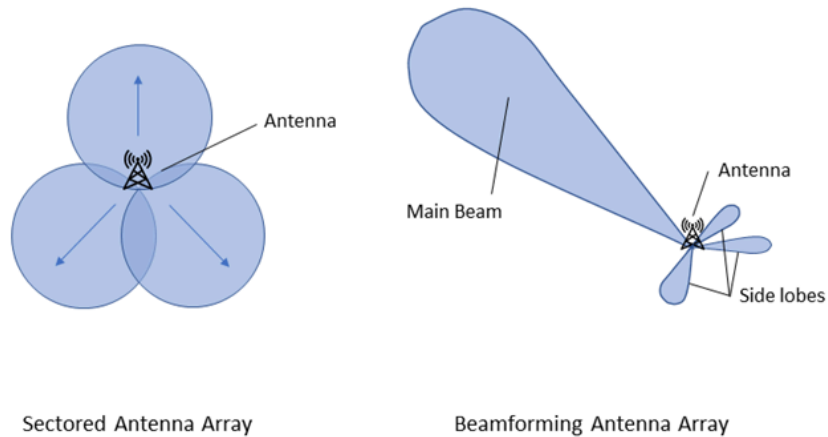
Agregacija nosioca - združivanje resursa u frekvencijskoj domeni

Odsječak (slot) ima 14 simbola ili minislott od 2, 4, ili 7 simbola

	LTE	5G -novi radio
Maksimalna frekvencijska širina po nosiocu	20 MHz	50 MHz ( $\Delta f=15$ kHz), 100 MHz ( $\Delta f=30$ kHz) 200 MHz ( $\Delta f=60$ kHz), 400 MHz ( $\Delta f=120$ kHz)
Maksimalan broj $f$ pojaseva za združivanje	5 (trenutno)	16
Razmak između podnosilaca $\Delta f$	15 kHz	$2^n \cdot 15$ kHz
Valni oblici signala	CP-OFDM za DL SC-FDMA za UL	CP-OFDM za DL CP-OFDM ili SC-FDMA za UL
Maksimalni broj podnosilaca	1200	3300
Trajanje podokvira	1 ms (pomiče se prema 0,5 ms)	1 ms
Latencija (na bežičnom sučelju)	10 ms (pomiče se prema 5 ms)	1 ms
Trajanje odsječka	7 simbola u 500 $\mu$ s	14 simbola (trajanje ovisi o $\Delta f$ ) 2, 4, 7 simbola za mini-odsječke
Kanalno kodiranje	Turbo kodovi za podatke TBCC za kontrolne informacije	LDPC kodovi za podatke Polarni kodovi za kontrolne informacije
Inicijalni pristup	Bez oblikovanja snopa	S oblikovanjem snopa
MIMO	8x8	8x8
Referentni signali	Specifični referentni signali za ćeliju Specifični DMRS signali za korisnika	Manji broj, DMRS signali se nalaze na početku okvira
Dvosmjerni prijenos podataka	FDD, statički TDD	FDD, statički i dinamički TDD

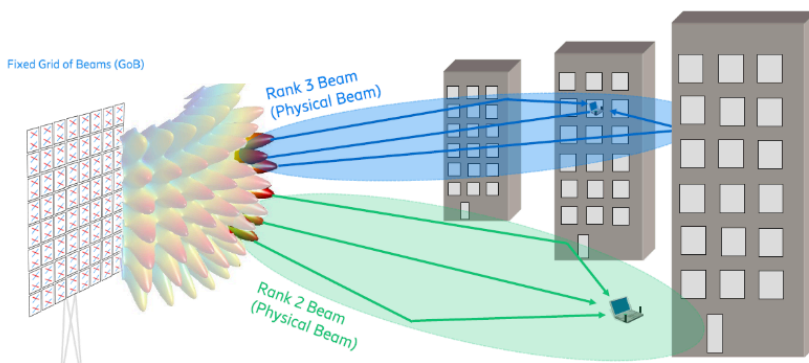
#### 41. Značajke upravljanja glavnom laticom u 5G mrežama (beamforming)

Beamforming označava upravljanje glavnom laticom zračenja antene. Radi se kako bi se povećao domet i efikasnost te kako bi se smanjile smetnje.



Na slici lijevo imamo baznu postaju koja zrači podjednako u svim smjerovima. Za razliku od nje na slici desno je antena koja ima mogućnost beamforminga, ona može usmjeriti svoje zračenje tako da najveći dio snage ide u glavnu laticu, a sama glavna latica usmjerena je prema mobilnoj stanici prema kojoj se odašilje signal. Možemo primjetiti da su sporedne latice puno manje što znači da nema pretjeranog rasipanja snage. MIMO tehnologija omogućava da jedan antenski niz bude najbolje iskorišten tako da zračenje svake antene (ili više njih) bude optimalno usmjereno prema mobilnim stanicama koje okružuju baznu postaju.

# MIMO



## 42. Razlike u realizaciji MIMO tehnologije između 5G i 4G

### 43. Nove funkcionalnosti u 5G: Network Slicing, Network Function Virtualization, Software Defined Network (SDN), MEC (Multi-access Edge Computing)

Network slicing je tehnika koja stvara više virtualnih mreža povrh zajedničke fizičke mrežne infrastrukture kako bi se osigurala veća fleksibilnost u korištenju i dodjeli mrežnih resursa. Svaki segment (slice) može biti prilagođen potrebama različitih korisnika/aplikacija i djeluje kao samostalna mreža s vlastitim resursima, performansama i karakteristikama. Također svaki segment je odvojen od ostalih.

Network Function Virtualization (virtualizacija mrežnih funkcija) za cilj ima učiniti mrežu što fleksibilnijom i jednostavnijom na način da se smanjuje ovisnost o hardverskim ograničenjima. Karakteristike NFV-a: virtualizacija (nije potrebno poznavati fizičku arhitekturu), orkestracija (upravljanje većim brojem uređaja), programabilnost, preglednost, performanse, dinamičko skaliranje, integracija usluga, otvorenost mreže. Za 5G je važno mrežno raslojavanje (network slicing), virtualizacija pristupne mreže (za jednostavno upravljanje i kontinuirani razvoj, smanjuje potrošnju) i virtualizacija jezgrene mreže (smanjuje trošak fizičke infrastrukture, efikasnije se koristi oprema, bolja je interoperabilnost...)

Software Defined Network (SDN - programski upravljane mreže) imaju za cilj jednostavno i fleksibilno upravljanje mrežnim elementima. Radi na principu da je podatkovna ravnina odvojena od ravnine kontrolera, upravljanje je logički centralizirano. Primjer je SD-RAN, on izdvaja upravljačku logiku RAN-a iz pojedinih komponenti i logički je centraliziran u obliku aplikacija SDN kontrolera.

MEC (Multi-Access Edge Computing - računarstvo na rubu mreže) - dio funkcionalnosti se pomiče prema rubu mreže tj. bliže krajnjem korisniku. Umjesto slanja svih podataka u oblak na obradu, na rubu se analiziraju, obrađuju i pohranjuju podaci.

\* Napomena: ovo su okvirna pitanja koja mogu doći na usmenom ispitu. Za bilo što obrađeno na predavanju i što se nalazi na prezentacijama postoji mogućnost da će se pojaviti prilikom ispitivanja.